



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (CASING) EN JUNTAS SOLDADAS CON EL PROCESO FCAW INNERSHIELD Y OUTERSHIELD

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

MEDINA TORRES CAMILO GUILLERMO
camilo.medina@epn.edu.ec

QUISHPE GUAMAN FRANKLIN HERNÁN
franklin.quishpe@epn.edu.ec

DIRECTOR:
ING. BARRAGÁN CAMPOS GALO HOMERO, M.Sc.
homero.barragan@epn.edu.ec

CODIRECTOR:
ING. DÍAZ CAMPOVERDE CARLOS WIME, M.Sc.
carlos.diaz@epn.edu.ec

Quito, febrero 2020

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **MEDINA TORRES CAMILO GUILLERMO** y **QUISHPE GUAMAN FRANKLIN HERNAN**, bajo mi supervisión.

Ing. Homero Barragán, Ms.C.
DIRECTOR

Ing. Carlos Díaz, Ms.C.
CODIRECTOR

DECLARACIÓN

Nosotros, **Camilo Guillermo Medina Torres** y **Franklin Hernán Quishpe Guamán**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Camilo Guillermo Medina Torres

Franklin Hernán Quishpe Guamán

DEDICATORIA

Camilo Medina

A mis padres Rosario y Guillermo por el sacrificio que hicieron día a día en todos estos años.

A mi hermana Andrea que siempre está presente en mi día a día.

A mi abuelita Luisa por su incondicional apoyo y alegrías que me brinda.

A mi tío Camilo que en paz descansa por su ayuda en los momentos que necesitaba.

Hernán Quishpe

Este logro se lo dedico a mis dos pilares fundamentales en mi vida, mi madre y abuelita, que con su apoyo incondicional en todo momento han hecho que este sueño se haga realidad y enseñarme que nada es imposible en esta vida.

A mi mujer por ser la persona incondicional que estuvo en los momentos buenos y malos a lo largo de mi carrera y me dio todo su amor y apoyo.

A mis hermanos por estar apoyándome, dándome ánimos en cada momento de mi carrera.

A mi tío Marco Caisa por el apoyo incondicional en los momentos difíciles de mi vida y poder cumplir mi sueño

AGRADECIMIENTO

Camilo Medina

A mis padres Rosario y Guillermo por su apoyo incondicional en todo ámbito.

A mi hermana Andrea por su motivación y momentos de alegría.

A mi abuelita Luisa por todos los consejos y enseñanzas que me guio a lo largo de la vida.

Al Ing. Carlos Mena y su esposa Ing. Sandra Torres por su apoyo y consejos que me supieron brindar.

Al Máster Juan Cachott por su ayuda académica y su amistad incondicional.

A mi compañero de tesis y amigo Hernán por la paciencia en la realización de esta tesis.

A la Señora María Eugenia Pinto por el apoyo que supo brindarme.

Al Ing. Homero Barragán por ser guía y brindarnos su conocimiento necesario para la realización de este proyecto.

Al Ing. Gabriel Velasteguí por el apoyo en este proyecto.

A Jorge por su apoyo en la realización de este proyecto y no dejarnos decaer.

Al equipo de Football Americano Lobos de Quito, sus coaches y jugadores por permitirme ser parte de esta gran familia.

A mis pocos amigos que siempre puedo contar con ellos en todo momento.

Hernán Quishpe

A mi madre y abuelita por todo el cariño, apoyo y dedicación en todo momento de la carrera y enseñarnos que los sueños se hacen realidad con esfuerzo y trabajo. A mi madre por siempre confiar en mí y hacerme sentir que puedo contar con ella en todo momento.

A mi mujer Karla Sangoquiza por estar a mi lado en cada uno de los momentos que nos ha tocado vivir y compartir durante estos años de estudio, por toda su comprensión y amor.

A mi amigo y compañero de tesis Camilo Medina por compartir todo este tiempo de estudio y más en la ejecución de este proyecto de tesis.

Al director de tesis Ing. Homero Barragán por todo su apoyo en la ejecución del presente proyecto de tesis, ya que con sus conocimientos y guía se pudo obtener buenos resultados.

Al Ing. Gabriel Velastegui por su colaboración desde el inicio del proyecto con sus conocimientos, con la colaboración del Gran Soldador.

A mi tío Marco Caisa por brindarme todo su apoyo desinteresado y ser como un padre al momento de quererme con un hijo más y estar ayudándome para cumplir mi sueño.

A mi mejor amigo Jimmy Lisintuña por sus enseñanzas, apoyo y consejos en cada momento de mi vida y principalmente en la carrera universitaria.

A mis hermanos Diego y Luis por cada uno de sus muestras de cariño y apoyo en el transcurso de toda mi carrera y vida personal.

A mi primo David Vega por sus consejos, apoyo en la realización de proyectos en el campo eléctrico y ser como un hermano en los malos momentos.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
DECLARACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Tubería de revestimiento (casing)	3
1.1.1. Descripción	3
1.1.2. Clasificación de la tubería de revestimiento según la API 5CT	4
1.2. Causas de falla en tuberías de revestimiento	5
1.2.1. Fallas en la soldadura de tuberías de revestimiento	5
1.3. Procedimientos de inspección y calificación de tubería de revestimiento usada..	8
1.3.1. Clasificación de la tubería usada	9
1.4. Elementos aleantes en tubería API 5CT	9
1.5. Diagrama hierro-carbono	10
1.6. Tratamientos térmicos aplicados a la tubería API 5CT.....	11
1.7. Soldabilidad.....	13
1.7.1. Análisis de la soldabilidad de la tubería API 5CT tipo P110.....	13
1.8. Proceso FCAW	14
1.8.1. Introducción	14
1.8.2. Equipo.....	14
1.8.3. Gases de protección.....	17
1.8.4. Material de aporte.....	17
1.8.5. Selección del material de aporte	19
2. METODOLOGÍA	22

2.1. Introducción.....	22
2.2. Determinación de la microestructura del metal base	22
2.3. DETERMINACIÓN DEL CICLO TÉRMICO A UTILIZAR	23
2.3.1. Temperatura de precalentamiento	23
2.3.2. Temperatura entre pases	24
2.3.3. Tratamiento postsoldadura.....	24
2.4. Calificación de soldadura según la norma AWS D1.1	25
2.4.1. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).....	25
2.4.2. Registro de calificación del procedimiento (PQR)	26
2.4.3. Ensayos realizados para calificación de desempeño y procedimiento del soldador	28
2.5. Procedimiento de soldadura, extracción de probetas y realización de ensayos.....	32
2.5.1. Soldadura, enfriamiento lento y tratamiento térmico	32
2.5.2. Equipo utilizado para la soldadura de la junta y tratamiento postsoldadura	35
2.5.3. Radiografía	36
2.5.4. Ensayo de tracción	38
2.5.5. Micrografía	39
2.5.6. Macrografía.....	42
2.5.7. Ensayo de dureza.....	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1. Introducción.....	45
3.2. Propiedades y composición química del material base	45
3.3. Resultados obtenidos de las juntas soldadas	46
3.3.1. Radiografía	46
3.3.2. Ensayo de tracción	47
3.3.3. Ensayo de doblado	50
3.3.4. Ensayo de dureza.....	56
3.3.5. Macrografía.....	58

3.3.6. Micrografía	61
3.4. Discusión de resultados	71
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
4.1. Conclusiones	75
4.2. Recomendaciones	76
5. Bibliografía	77
6. ANEXOS	79
6.1. ANEXO I. Composición del material base	79
6.2. ANEXO II. WPS	82
6.3. ANEXO III. PQR	90
6.4. ANEXO IV. INFORME DE RADIOGRAFÍA	106
6.5. ANEXO V. INFORME DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y DOBLADO	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Tipos de tuberías de revestimientos.....	3
Figura 1.2. Penetración incompleta.	5
Figura 1.3. Penetración incompleta debido a desalineación.....	6
Figura 1.4. Fusión incompleta.....	6
Figura 1.5. Fusión incompleta debido a junta fría.....	6
Figura 1.6. Concavidad interna.	7
Figura 1.7. Quemón (Burn Through).....	7
Figura 1.8. Diagrama Hierro – Carbono.....	12
Figura 1.9. Equipo utilizado en el proceso de soldadura FCAW.....	15
Figura 1.10. Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida con gas.	15
Figura 1.11. Soldadura por arco con núcleo de fundente y autoprotección.	16
Figura 1.12. Sistema de identificación del alambre tubular para FCAW.	18
Figura 1.13. Efecto del nivel de resistencia del metal de aporte.....	21
Figura 1.14. Metal de aporte Matching y Undermatching.....	21
Figura 2.1. Bandas de segregación e inclusiones tipo oxido globular (100X).	23
Figura 2.2. Microestructura tipo Martensita revenida (500X).	23
Figura 2.3. Formato de WPS para preparación de juntas soldadas.	26
Figura 2.4. Formato de PQR para preparación de juntas soldadas.....	27
Figura 2.5. Registro de resultados de los ensayos en juntas soldadas.....	28
Figura 2.6. Localización de muestras de ensayo en una tubería.....	29
Figura 2.7. Dimensiones de las probetas de doblado de cara y raíz.	30
Figura 2.8. Dimensiones de la probeta de tracción.	31
Figura 2.9. Valores de las variables de la probeta de tracción.	31
Figura 2.10. Preparación de la junta a soldar.....	33
Figura 2.11. Colocación de los puentes.....	33
Figura 2.12. Realización de los pases de soldadura.....	33
Figura 2.13. Enfriamiento lento en arena.....	34
Figura 2.14. Tratamiento térmico de recocido.	35
Figura 2.15. Datos de exposición de la película STRUCTURIX D7.....	36
Figura 2.16. Diagrama de operación de la máquina de rayos X.....	37
Figura 2.17. Probeta (dimensiones) - Ensayo de tracción de la junta soldada.	38
Figura 3.1. Esfuerzo vs Deformación (alambre tubular autoprotegido).	48
Figura 3.2. Esfuerzo vs Deformación (alambre tubular y gas de protección).	49
Figura 3.3. Esfuerzo vs Deformación (todas las probetas).	49
Figura 3.4. Indentaciones de la junta soldada.....	57

Figura 3.5. Indentaciones de las juntas soldadas con alambre tubular autoprotegido.	57
Figura 3.6. Indentaciones de las juntas soldadas con alambre tubular y gas de protección.	58
Figura 3.7. Resistencia última a la tracción vs deformación.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Dimensiones y función de cada tipo de tubería de revestimiento.	4
Tabla 1.2. Clasificación de la tubería de revestimiento según API 5CT.	4
Tabla 1.3. Ensayos no destructivos en una tubería de revestimiento usada.	8
Tabla 1.4. Clasificación de tubería de revestimiento usada.	9
Tabla 1.5. Variables recomendadas para E-71T-1C.	16
Tabla 1.6. Variables recomendadas para E-71T-11.	16
Tabla 1.7. Requerimientos de protección y polaridad para electrodos FCAW de acero dulce.	19
Tabla 2.1. Especificaciones de tubería.	22
Tabla 2.2. Especificaciones técnicas de la soldadora multiprocesos eléctrica.	35
Tabla 2.3. Horno de tratamiento postsoldadura (térmico).	35
Tabla 2.4. Factores de corrección.	37
Tabla 2.5. Parámetros de trabajo.	38
Tabla 2.6. Resistencia a la tracción del metal base y material de aporte.	39
Tabla 2.7. Especificaciones técnicas de la cortadora.	40
Tabla 2.8. Especificaciones técnicas de la desbastadora.	41
Tabla 2.9. Especificaciones técnicas del banco de desbaste fino.	41
Tabla 2.10. Especificaciones técnicas de la pulidora automática.	41
Tabla 2.11. Especificaciones técnicas del microscopio metalográfico.	42
Tabla 2.12. Especificaciones técnicas del microscopio estereoscópico.	42
Tabla 2.13. Especificaciones técnicas del durómetro.	44
Tabla 3.1. Resistencia mecánica del material base.	45
Tabla 3.2. Dureza del material base.	45
Tabla 3.3. Composición química de la tubería casing P110.	46
Tabla 3.4. Variables utilizadas en la elaboración de las juntas soldadas.	46
Tabla 3.5. Valores obtenidos en el ensayo de tracción de las probetas soldadas.	47
Tabla 3.6. Resultados del ensayo de doblado de raíz y cara.	50
Tabla 3.7. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P1.	51
Tabla 3.8. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P2.	52
Tabla 3.9. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P3.	52
Tabla 3.10. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P4.	53
Tabla 3.11. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P5.	54
Tabla 3.12. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P6.	54
Tabla 3.13. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P7.	55
Tabla 3.14. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P8.	56

Tabla 3.15. Valores de dureza de cada probeta soldada.....	57
Tabla 3.16. Resultados de macrografía de cada probeta soldada.	59
Tabla 3.17. Análisis comparativo de la ZAC de cada probeta soldada.	61
Tabla 3.18. Análisis micrográfico de la probeta 1.....	62
Tabla 3.19. Análisis micrográfico de la probeta 2.....	63
Tabla 3.20. Análisis micrográfico de la probeta 3.....	64
Tabla 3.21. Análisis micrográfico de la probeta 4.....	65
Tabla 3.22. Análisis micrográfico de la probeta 5.....	66
Tabla 3.23. Análisis micrográfico de la probeta 6.....	67
Tabla 3.24. Análisis micrográfico de la probeta 7.....	68
Tabla 3.25. Análisis micrográfico de la probeta 8.....	69
Tabla 3.26. Análisis micrográfico del material base.	70
Tabla 3.27. Procesos de cada probeta soldada.	71
Tabla 3.28. Defectos encontrados en el ensayo de radiografía de las tuberías soldadas.	73
Tabla 3.29. Comparación de la composición química de la tubería casing P110.	74

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata sobre el análisis de la soldabilidad de juntas soldadas de tubería de revestimiento (API 5CT) con proceso FCAW con alambre tubular autoprotegido (Innershield) y alambre tubular con protección gaseosa (Outershield). El objetivo de este estudio es determinar las propiedades mecánicas y defectos en las juntas soldadas con los dos diferentes materiales de aporte para poder comparar y elegir el que proporcione mejores prestaciones durante el proceso de soldadura.

La elevada dureza que presenta la tubería API 5CT limita la posibilidad de realizar un proceso de soldadura por lo que se establece parámetros como precalentamiento, enfriamiento lento y tratamiento térmico post soldadura para determinar un ciclo térmico adecuado y minimizar la presencia de problemas durante la soldadura y defectos en la junta soldada.

Mediante procedimientos de soldadura se realiza la parte experimental para luego ser analizadas las propiedades mecánicas mediante ensayos no destructivos y destructivos y los resultados obtenidos puedan ser ordenados, discutidos y comparados con las normas AWS D1.1 y API 1104, para elegir el mejor procedimiento de soldadura.

Por último, con los resultados de los diferentes ensayos realizados y comparados con las normas AWS D1.1 y API 1104, se determinó que el mejor procedimiento de soldadura es el proceso FCAW con alambre tubular con protección gaseosa (Outershield).

Palabras clave: API 5CT, FCAW, soldadura, AWS D1.1, END, API 1104

ABSTRACT

This research paper deals with the analysis of weldability of welded joints of casing (API 5CT) with FCAW process with self-protected tubular wire (Innershield) and gaseous protection tubular wire (Outershield). The objective of this investigation is to determine the mechanical properties and defects in the welded joints with the two different contribution materials to be able to compare and choose the one that provides the best performance during the welding process.

The high hardness of the API 5CT pipe limits the possibility of accomplish a welding process, which establishes parameters such as preheating, slow cooling and post welding heat treatment to determine an adequate thermal cycle and minimize the presence of problems during welding and defects in the welded joint.

The experimental part is realized by welding procedures and then the mechanical properties are analyzed through non-destructive and destructive tests and the results obtained can be ordered, discussed and compared with AWS D1.1 and API 1104 standards, to choose the best procedure for welding.

Finally, with the results of the different tests finished and compared to the AWS D1.1 and API 1104 standards, it was determined that the best welding procedure is the process FCAW with tubular wire with gaseous protection (Outershield).

Keywords: API 5CT, FCAW, welding, AWS D1.1, END, API 1104

ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (CASING) EN JUNTAS SOLDADAS CON EL PROCESO FCAW INNERSHIELD Y OUTERSHIELD

INTRODUCCIÓN

La utilización de tubería se ha diversificado y extendido para satisfacer la demanda de las diferentes industrias que la utilizan. Se tiene estimaciones generales de que como parte de los insumos que demanda un pozo de extracción de crudo, las tuberías representan un alto porcentaje en costo (15 al 30%) de la inversión total. (Tamsa, 2011)

Una vez cumplido su ciclo de servicio, cierto tipo de tubería es inspeccionada y desechada. En la industria petrolera ecuatoriana, debido a la gran cantidad de tubería de producción y revestimiento usada y desechada, las empresas se ven obligadas a almacenar aquella tubería en bodegas para luego transportar hacia las fundidoras y sin recurrir a su utilización en otras aplicaciones.

La reutilización de este tipo de tubería se ve limitada por la dificultad de ser sometida a procesos de soldadura debido a factores que modifican la función que debe cumplir este tipo de tubería como elemento estructural, estos factores son: microestructura del material, composición química, variaciones microestructurales no deseadas, etc. Existen estructuras metálicas que son construidas artesanalmente con este tipo de tubería sin tomar en cuenta las propiedades mecánicas y soldabilidad que posee, haciendo que estas estructuras corran peligro de derrumbarse.

Pregunta de investigación

¿Es soldable la tubería API 5CT con proceso FCAW?

Objetivo general

Analizar la soldabilidad y propiedades mecánicas de la tubería de revestimiento (casing) en juntas soldadas con proceso FCAW Innershield y Outershield.

Objetivos específicos

- Determinar las propiedades mecánicas de la tubería de revestimiento en la junta soldada.
- Analizar la soldabilidad de la tubería de revestimiento.
- Realizar un análisis metalográfico en la junta soldada.
- Establecer un procedimiento idóneo para la soldadura de este tipo de tubería.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se trata temas relacionados con la clasificación, causas de fallas, elementos aleantes y tratamientos térmicos de la tubería de revestimiento (casing) y el proceso de soldadura FCAW. Este estudio se lo realiza para elegir el mejor alambre tubular para realizar el proceso de soldadura y el tratamiento térmico postsoldadura.

Además, se estudia el procedimiento de inspección y calificación de tubería de revestimiento usada, ya que el objetivo del presente proyecto es la utilización de tubería usada.

1.1. Tubería de revestimiento (casing)

1.1.1. Descripción

Este tipo de tubería es utilizado en el área del petróleo, ya que es muy esencial al momento de la perforación de un pozo petrolero. Esto se debe a que nos permite aislar zonas acuíferas, evitar pérdidas de circulación y actúa como retenedor estructural del pozo. La tubería de revestimiento debe tener la capacidad de soportar presiones internas que se producen al momento de estar en servicio, presiones externas por motivo de la circulación de fluidos y cargas de tensión que se producen por la suspensión de su propio peso. Para alcanzar las extensas profundidades, se forma una columna de tuberías que van unidas mediante rosca para formar un tubo continuo. A continuación, se presentan los tipos de tuberías de revestimiento (Figura 1.1):

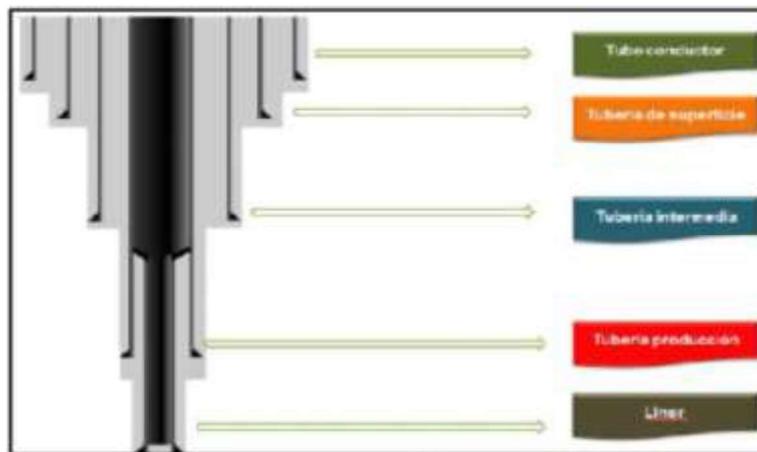


Figura 1.1. Tipos de tuberías de revestimientos.
Fuente: (Martínez, 2011)

1. Tubería guía
2. Tubería de superficie
3. Tubería intermedia

4. Tubería de producción
5. Liner

A continuación, la Tabla 1.1. presenta las dimensiones de cada tubería y su función.

Tabla 1.1. Dimensiones y función de cada tipo de tubería de revestimiento.

Tipo de tubería	Diámetro (pulgadas)	Función
Tubería guía	$18\frac{5}{8}$	<ul style="list-style-type: none"> • Aísla zonas acuíferas. • Protección contra escape de gases.
Tubería de superficie	$9\frac{5}{8} - 13\frac{3}{8}$	<ul style="list-style-type: none"> • Aísla zonas acuíferas. • Previenen pérdidas de circulación.
Tubería intermedia	$9\frac{5}{8} - 10\frac{3}{4}$	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento en zonas inestables del pozo y en capas productoras.
Tubería de producción	7	<ul style="list-style-type: none"> • Aislar zonas productivas y contener presiones de formación.
Liner	$4\frac{1}{2}$	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden funcionar como tubería intermedia o de producción.

Fuente: (Propia)

1.1.2. Clasificación de la tubería de revestimiento según la API 5CT

La norma API 5CT establece los requerimientos técnicos, diseño, fabricación y tratamiento térmico de la tubería de revestimiento (casing) que se utiliza en los pozos de extracción de petróleo y gas natural.

La Tabla 1.2. muestra la clasificación de la tubería de revestimiento, algunas propiedades mecánicas, proceso de fabricación y tratamiento térmico, según la API 5CT.

Tabla 1.2. Clasificación de la tubería de revestimiento según API 5CT.

Grado	Tipo	Resistencia a la fluencia (ksi)		Resistencia a la tensión (ksi)		Dureza (HB)		Proceso de fabricación	Tratamiento térmico
		Min	Max	Min	Max	Min	Max		
H40	----	40	80	60	----	----	----	S o EW	----
J55	----	55	80	75	----	----	----	S o EW	N, T, R
K55	----	55	80	95	----	----	----	S o EW	N, T, R
N80	1	80	110	100	----	----	----	S o EW	N
N80	Q	80	110	100	----	----	----	S o EW	T, R
R95	----	95	110	105	----	----	----	S o EW	T, R
M65	----	65	85	85	235	235	235	S o EW	N, T, R
L80	1	80	95	95	241	241	241	S o EW	T, R
L80	9Cr	80	95	95	241	241	241	S	T, R
L80	13Cr	80	95	95	241	241	241	S	T, R
C90	----	90	105	100	255	255	255	S	T, R
T95	----	95	110	105	255	255	255	S	T, R

C110	----	110	120	115	286	S	T, R
P110	----	110	140	125	----	S o EW	T, R
Q125	----	125	150	135	----	S o EW	T, R
N= Normalizado T= Temple R= Revenido S= Sin costura EW =Soldadura eléctrica							

Fuente: (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2010)

1.2. Causas de falla en tuberías de revestimiento

- Inapropiada selección del tubo para la profundidad y las presiones encontradas.
- Insuficiente inspección del cuerpo del tubo o roscas.
- Daños durante el manipuleo y/o transporte.
- Fatiga por las condiciones de trabajo.
- Corrosión tanto en la parte interna como en la parte externa de la tubería ocasionada por diversos motivos.
- Exceso de tensión, superando el límite de fluencia del material o la resistencia de la unión.
- Pandeo del tubo en zonas no cementadas si además se dejó la tubería asentada.
- Cuidado inadecuado durante el almacenamiento.
- Fugas en las conexiones debido a la presión interna o externa.
- Exceso de torque para forzar la bajada del tubo al pozo.
- Rotación del tubo debido a la mala cimentación.

1.2.1. Fallas en la soldadura de tuberías de revestimiento

1.2.1.1. Penetración incompleta

Es el llenado incompleto de la raíz de la soldadura y se produce por la falta de metal de aporte en todo el espesor de la junta.

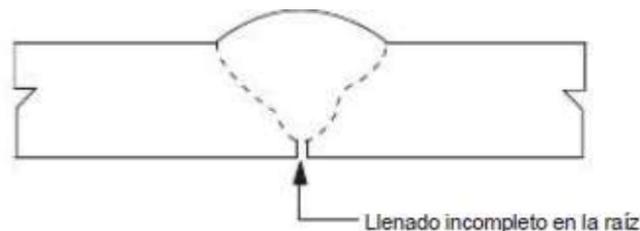


Figura 1.2. Penetración incompleta.
Fuente: (Norma API 1104, 2013)

1.2.1.2. Penetración incompleta debido a falta de alineación del material base

Se define como la condición que se produce cuando un borde de la raíz no está adherido totalmente a la base del material por falta de alineación.



Figura 1.3. Penetración incompleta debido a desalineación.
Fuente: (Norma API 1104, 2013)

1.2.1.3. Fusión incompleta

Es aquella imperfección superficial entre el material de aporte y el metal base que se identifica por la falta de fusión entre las dos superficies.

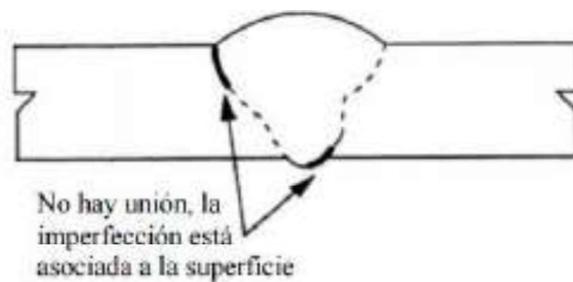


Figura 1.4. Fusión incompleta.
Fuente: (Norma API 1104, 2013)

1.2.1.4. Fusión incompleta debido a junta fría

Es una discontinuidad que no está abierta a la superficie y que se da entre los diferentes pases de soldadura adyacentes o entre un cordón de soldadura y el metal base.

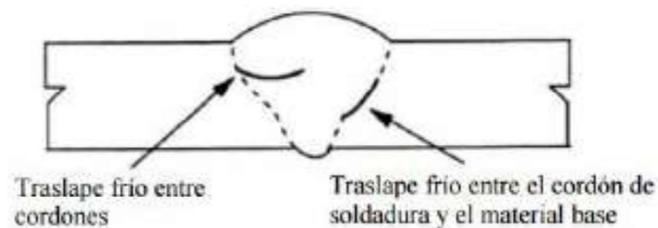


Figura 1.5. Fusión incompleta debido a junta fría.
Fuente: (Norma API 1104, 2013)

1.2.1.5. Concavidad interna

Es aquella imperfección que ocurre en el pase de raíz del cordón de soldadura y se expresa mediante una cavidad que hace que el centro de cordón aparezca por debajo de la superficie interior del material base.

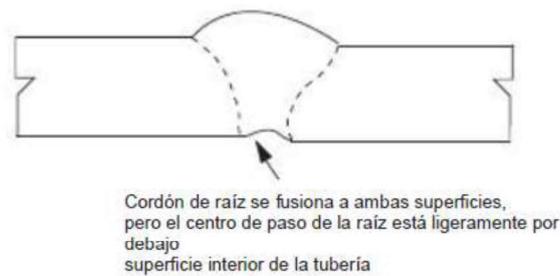


Figura 1.6. Concavidad interna.
Fuente: (Norma API 1104, 2013)

1.2.1.6. Quemón (Burn Through)

Se define como aquella imperfección de una porción del pase de raíz que debido a que la excesiva penetración ha causado un desprendimiento de la pileta fundida hacia afuera del material base y quedando de esta manera como una concavidad interna centrada en un punto.

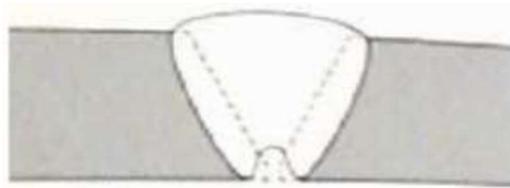


Figura 1.7. Quemón (Burn Through).
Fuente: (Norma API 1104, 2013)

1.2.1.7. Inclusiones de escoria

Se define a la inclusión de escoria como un sólido no metálico atrapado en el cordón de soldadura o entre el cordón y el material base. Se tiene dos tipos de inclusiones de escoria, las inclusiones de escoria alargadas (ESI's) y las inclusiones de escoria aisladas (ISI's). Las inclusiones de escoria alargadas son por ejemplo líneas de escoria continuas, las inclusiones de escoria aisladas son de forma irregular.

1.2.1.8. Poros

Los poros son discontinuidades gaseosas atrapadas por la solidificación del metal de soldadura antes que estos gases tengan la oportunidad de subir a la superficie y escapar. Las porosidades se presentan generalmente de forma esférica pero también pueden ser alargadas o de forma irregular.

1.2.1.9. Fisura

Las fisuras son también conocidas como grietas, se presentan en forma de pequeñas fracturas en el material base o en el cordón de soldadura. Pueden ser tan pequeñas que sean tan difícil de observar a simple vista.

1.2.1.10. Mordedura

Se define como una ranura fundida en el material base adyacente al borde de la soldadura, tanto en la raíz como en la cara, y dejada sin rellenar por el metal de aporte.

1.3. Procedimientos de inspección y calificación de tubería de revestimiento usada

La tubería al estar en contacto con fluidos abrasivos puede presentar algunos defectos y discontinuidades en los que se destacan, corrosión, desgaste y reducción de espesor de la tubería. En la Tabla 1.3. se puede observar los diferentes ensayos no destructivos que se pueden emplear en cada tipo de tubería de revestimiento usada.

Tabla 1.3. Ensayos no destructivos en una tubería de revestimiento usada.

Producto	Tipo	Inspección visual	Verificación de espesor de pared	Inspección de ultrasonido	Inspección de corriente de Eddy	Inspección de partículas magnéticas
Tubería y accesorios de material	H40, J55 K55, N80 Tipo 1	R	N	N	N	N
	N80Q L80 R95 M65	R	R	A	A	A
	P110	R	R	A	A	N/A

N = no se requiere

R = requiere

A = un método o cualquier combinación de métodos

B = al menos un método se utiliza además de la inspección por ultrasonido para inspeccionar la superficie exterior

C = inspección por ultrasonido se utiliza para inspeccionar el exterior y el interior de la superficie.

N/A = no aplica

Fuente: (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2012)

1.3.1. Clasificación de la tubería usada

Uno de los aspectos que se utiliza para realizar la clasificación de la tubería de revestimiento es el porcentaje de pérdida en el espesor nominal, como lo indica la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Clasificación de tubería de revestimiento usada.

Clase	Color de marcado	Pérdida de espesor nominal (%)	Espesor de pared mínima (%)
2	Amarillo	0-15	85
3	Azul	16-30	70
4	Verde	30-50	50
5	Rojo	Mayor a 50	Menor a 50

Fuente: (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 1999)

1.4. Elementos aleantes en tubería API 5CT

El acero consiste en una aleación de hierro y carbono, además que incluye ciertas cantidades pequeñas de elementos como manganeso, silicio, azufre y fósforo. Cuando se introduce uno o más elementos, a parte del carbono para modificar las propiedades del acero, se llama acero aleado. Entre los elementos aleantes que se usa en las tuberías de revestimiento tenemos:

- Cromo: La adición de este elemento permite que el acero sea duro, pero manteniendo su ductilidad. La elevada dureza se debe a la formación de carburos de cromo que son muy duros. El cromo mejora la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión de la tubería, este elemento permite el refinamiento estructural del grano incrementando la tenacidad y aumenta la resistencia a altas temperaturas del acero.
- Níquel: Este elemento incrementa la resistencia sin reducir la ductilidad del acero gracias a que no forma carburos u óxidos. El níquel se usa conjuntamente con el cromo para tener una combinación de tenacidad y ductilidad por parte del níquel con resistencia al desgaste y elevada dureza del cromo.
- Manganeso: Actúa como desoxidante y desulfurizante, mejora la templabilidad y la resistencia a la abrasión. La desventaja de este elemento aleante es que reduce la soldabilidad en la tubería.
- Silicio: Este elemento aleante actúa como agente desoxidante, al ser añadido a aceros de bajo contenido de carbono se llega a obtener un material frágil. Mejora la resistencia a la corrosión y la dureza; el silicio conjuntamente con el manganeso, el

cromo y el vanadio permite estabilizar los carburos. La desventaja que presenta es que reduce la maquinabilidad y el forjado en frío.

- Molibdeno: Este metal permite formar carburos elevando la resistencia al desgaste, al disolverse en ferrita permite elevar la dureza y tenacidad ya que contribuye a obtener un tamaño de grano fino. Este elemento aleante mejora la resistencia a la temperatura elevada y reduce la fragilización por revenido.
- Vanadio: Este elemento, al igual que el molibdeno, tiene la capacidad de disolverse en ferrita mejorando la tenacidad del acero. Tiene una gran tendencia a formar carburos por lo que se usa en pequeñas cantidades, además impide el crecimiento de grano durante el tratamiento térmico.
- Tungsteno: Se emplea para mejorar la dureza a elevadas temperaturas, agrega dureza y tenacidad gracias a que este elemento produce una estructura fina y densa.
- Fósforo: Reduce la tenacidad y ductilidad en la tubería de revestimiento y de producción por este motivo los porcentajes de uso no son mayores al 0.03%. Mejora la templabilidad y resistencia a la corrosión.
- Azufre: Junto con el manganeso mejora la maquinabilidad. Disminuye la resistencia al impacto y la ductilidad por lo que perjudica la calidad superficial y la soldabilidad de la tubería. Al igual que el fósforo el porcentaje en peso debe ser menor al 0.03%

1.5. Diagrama hierro-carbono

Los aceros usados para la obtención de tuberías y en la industria en general son aleaciones y no metales puros. El hierro es el elemento que tiene mayor porcentaje, junto con el carbono, para formar el acero. El carbono es el elemento que influye en mayor parte para conocer las propiedades y tratamientos térmicos que puede recibir el acero.

El diagrama hierro - carbono representa gráficamente las diferentes fases sólidas que tiene el acero dependiendo de su porcentaje de carbono, estas estructuras varían dependiendo del calentamiento que sufre el acero. En este diagrama no se considera la influencia de elementos aleantes como el manganeso, níquel, cromo, silicio, etc.

A continuación, se especifica los microconstituyentes que forman parte de las transformaciones que sufren las aleaciones de hierro y carbono.

- Ferrita: Hierro alfa (BCC) o hierro casi puro, que puede contener pequeñas cantidades de elementos como silicio, fósforo y otras impurezas. Tiene una resistencia de 28 kg/mm² y un porcentaje de alargamiento del 35%, posee una

dureza de 90 unidades Brinell. Es el más blando de los constituyentes, dúctil y magnética.

- Cementita: Carburo de hierro (Fe_3C), contiene 6.67% de carbono y 93.33% de hierro, es el constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono cuya dureza es superior a los 68 Rockwell C. Su forma de cristalización es de un paralelepípedo ortorrómbico. Es magnética a temperatura ordinaria, pero pierde su magnetismo a los 218°C.
- Perlita: Constituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita (hierro alfa) y cementita (carburo de hierro). Tiene una resistencia de 80 kg/mm² y un alargamiento aproximado del 15%. Su dureza varía entre los 200 y 300 Brinell. La ferrita y cementita aparecen formando láminas paralelas y alternadas cuya distancia de separación depende de la velocidad de enfriamiento.
- Austenita: Solución sólida de carbono en hierro gamma (FCC). Es constituyente de composición variable por contener entre 0 a 1.7% de carbono. Su resistencia aproximadamente es de 88 a 105 kg/mm², dureza de 300 Brinell y un porcentaje de alargamiento de 20 a 23%. Poco magnética, blanda, de muy buena ductilidad y tenaz. Tiene gran resistencia al desgaste.
- Martensita: Constituyente principal de los aceros templados, obtenida al enfriar aceros rápidamente desde altas temperaturas. Sus propiedades físicas varían de acuerdo con su composición, aumentado de resistencia, dureza y fragilidad con el contenido de carbono. Tiene una resistencia de 170 a 250 kg/mm², dureza de 50 a 68 Rockwell C y un porcentaje de alargamiento en un rango de 2.5 a 0.5 %, magnética.

1.6. Tratamientos térmicos aplicados a la tubería API 5CT

Los tratamientos térmicos son procesos en los que se controla la temperatura y el tiempo para obtener en el acero las propiedades mecánicas deseadas, el proceso del tratamiento térmico consiste en calentar el acero a cierta temperatura para luego mantenerla durante cierto tiempo y posteriormente enfriar en condiciones adecuadas para obtener la microestructura del material deseado.

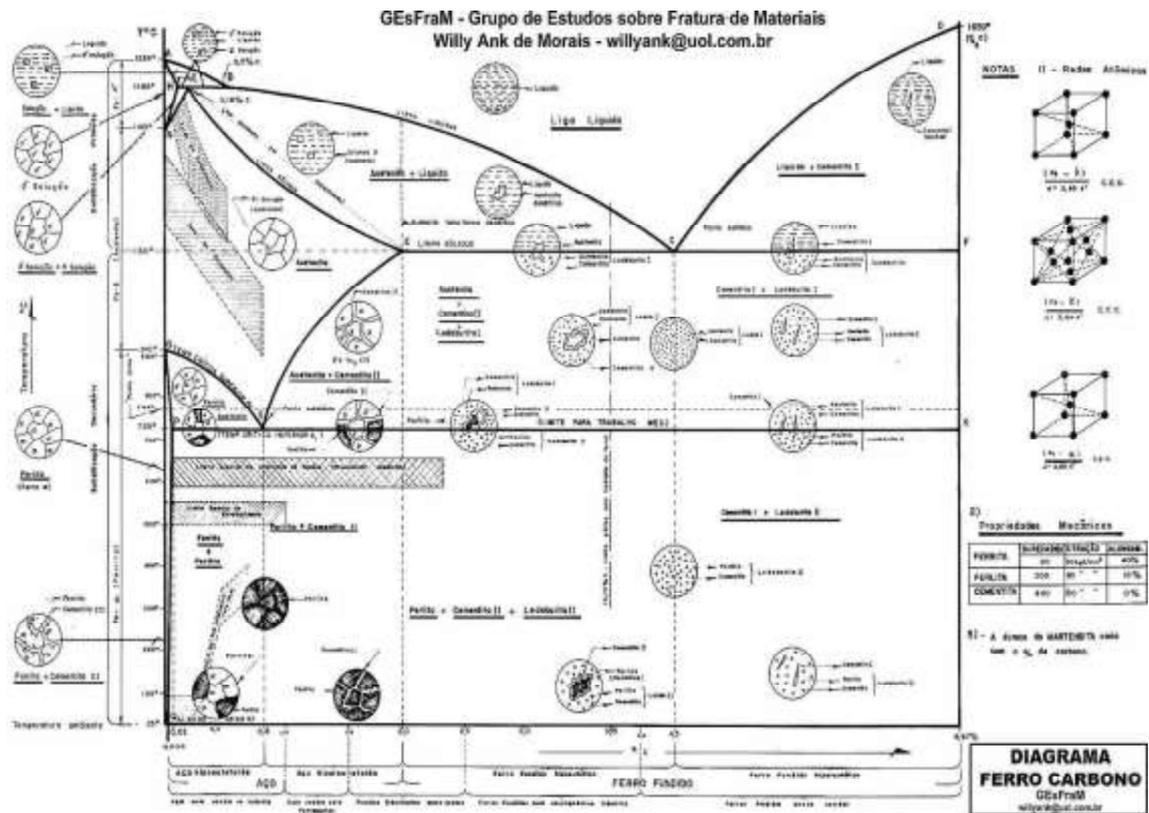


Figura 1.8. Diagrama Hierro – Carbono.

Fuente: (Grupo de estudio sobre fractura y materiales (willyank@uol.com.br))

A la tubería API 5CT se puede aplicar tres diferentes tipos de tratamientos térmicos durante su etapa de fabricación, dichos tratamientos térmicos son elegidos dependiendo de las propiedades que se desea obtener los mismos que son: normalizado, temple y revenido.

- Normalizado: Este tipo de tratamiento consiste en calentar las partes o piezas a normalizar a una temperatura mayor a la temperatura crítica superior para luego enfriarlo al aire a temperatura ambiente. Esto produce un tamaño de grano más grueso haciendo al acero más maquinable. El normalizado elimina tensiones internas, afina la estructura y baja la dureza. Muchas veces el normalizado se utiliza como operación de tratamiento final del acero.
- Temple: Este tratamiento tiene como objetivo elevar la dureza del acero para de esta manera aumentar su durabilidad durante su uso. El temple comprende el calentamiento del acero por encima del punto crítico de transformación para mantener durante un intervalo de tiempo a esta temperatura y finalmente un enfriamiento brusco en un medio adecuado como puede ser aceite, agua o aire comprimido.
- Revenido: El objetivo de este tratamiento es disminuir las tensiones que ha sufrido la tubería causada por el choque térmico del temple. El proceso para este

tratamiento térmico consiste en calentar la tubería a una temperatura menor a la temperatura crítica durante un intervalo de tiempo para luego ser enfriado en aire quieto. Otra finalidad del revenido es la reducción de la dureza y resistencia al desgaste para aumentar su tenacidad.

1.7. Soldabilidad

La soldabilidad es una propiedad que tienen los metales y aleaciones para saber con qué dificultad se puede realizar uniones soldadas homogéneas y de calidad para que cumplan con las funciones para que fueron diseñadas dichas juntas de unión permanente.

Los aceros en su mayoría son soldables, pero existe tipos de aceros que necesitan de procedimientos especiales para obtener cordones de soldadura de calidad y que sean aceptados por las diferentes normas que exigen un riguroso control de calidad.

Dependiendo del proceso de soldadura que se desea usar, el cordón de soldadura tendrá un diferente grado soldabilidad por lo que es necesario elegir para un proceso de soldadura adecuado.

1.7.1. Análisis de la soldabilidad de la tubería API 5CT tipo P110

El objetivo principal de realizar este tipo de análisis es llegar a determinar qué tan soldable es un determinado material con algún proceso de soldadura específico. Por tal motivo, se deben tener muy en cuenta varios parámetros y variables que van a afectar la soldabilidad y las propiedades mecánicas del cordón de soldadura.

Si al momento de realizar la soldadura, se tiene tiempos muy cortos de enfriamiento en el cordón de soldadura, se llega a tener puntos o sitios duros y que al momento de estar en funcionamiento el elemento soldado puede llegar a causar fisuras en el cordón. Se debe tener en cuenta que al momento de realizar el proceso de soldadura ciertas zonas de la pieza puedan tener distintos tipos de microestructura cristalina.

Uno de los problemas que se tiene al momento de tener una pieza soldada con algunos cambios en la microestructura es que la misma va a tener una dureza exagerada y por ende una alta fragilidad. Para evitar este problema se debe incorporar al proceso de soldadura un método de enfriamiento lento, precalentamiento y un control de temperatura entre pases del cordón de soldadura.

Hay que tener en cuenta que este tipo de tuberías al resistir altas presiones son elementos con alta dureza y que al añadirles calor al momento de ser soldadas han sido

endurecidos por temple, por tal motivo se debe realizar un tratamiento térmico post soldadura para que tenga las características iniciales y alivio de tensiones internas.

Para determinar la soldabilidad de la tubería API 5CT tipo P110 se llega a realizar el cálculo del carbón equivalente, ya que con este valor se llega a determinar la susceptibilidad al agrietamiento en la zona afectada por el calor y, de manera especial, cuando existe presencia de hidrogeno, dependiendo el valor que se obtenga se observa si se necesita o no realizar un precalentamiento.

También se efectúa algunos ensayos tanto destructivos como no destructivos y validando los resultados con las normas API 1104 y AWS D1.1. Se utiliza la norma API 1104 por tener como elemento soldado una tubería y la AWS D1.1 por utilizar la tubería para realizar estructuras metálicas. Estos resultados al final se los compara en cada ensayo y se llega a verificar si pasa o no cada norma.

1.8. Proceso FCAW

1.8.1. Introducción

El proceso de soldadura FCAW (soldadura al arco con núcleo de fundente) aprovecha el arco eléctrico entre el metal base y un electrodo continuo de metal de aporte. Este tipo de soldadura emplea un alambre tubular que en su interior contiene un fundente, el mismo que ayuda a que se forme una capa protectora en el cordón de soldadura. Existen dos tipos de alambre tubular, el que contiene en su interior un fundente y el que necesita de una protección externa gaseosa.

Los beneficios del alambre tubular se obtienen al combinar tres características generales:

1. Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
2. Una escoria que sustenta y moldea el cordón de soldadura.
3. La productividad de la soldadura de alambre continuo.

La soldadura FCAW combina características de la soldadura mig (GMAW), la soldadura por arco sumergido (SAW) y la soldadura por arco manual protegido (SMAW).

1.8.2. Equipo

1.8.2.1. Soldadora FCAW

Los equipos utilizados en el proceso de soldadura FCAW es similar a los empleados en GMAW (MIG/MAG), este equipo es similar para el alambre tubular autoprottegido y con gas de protección, como se observa en la Figura 1.9.

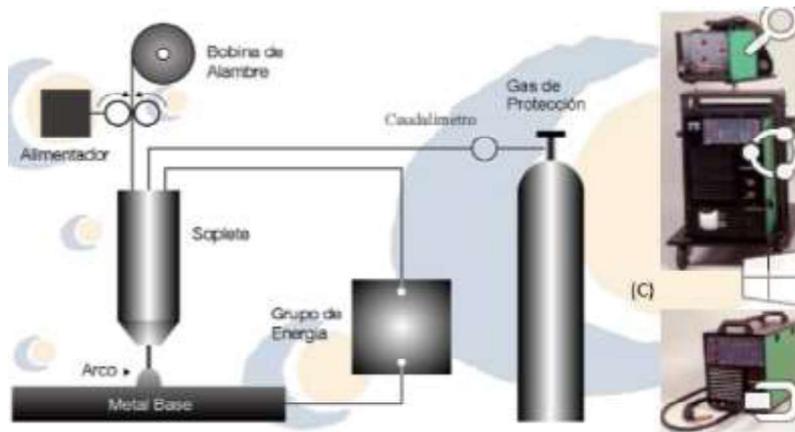


Figura 1.9. Equipo utilizado en el proceso de soldadura FCAW.
Fuente: (Cesol, 2012)

1.8.2.2. Soldadura FCAW con gas de protección

Este proceso de soldadura utiliza el escudo de gas para la protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación del ambiente que lo rodea. La mezcla gaseosa puede ser de argón y dióxido de carbono, también se utiliza 100% de dióxido de carbono, para el método con protección gaseosa externa. En la Figura 1.10. se muestra un esquema de este tipo de soldadura FCAW.

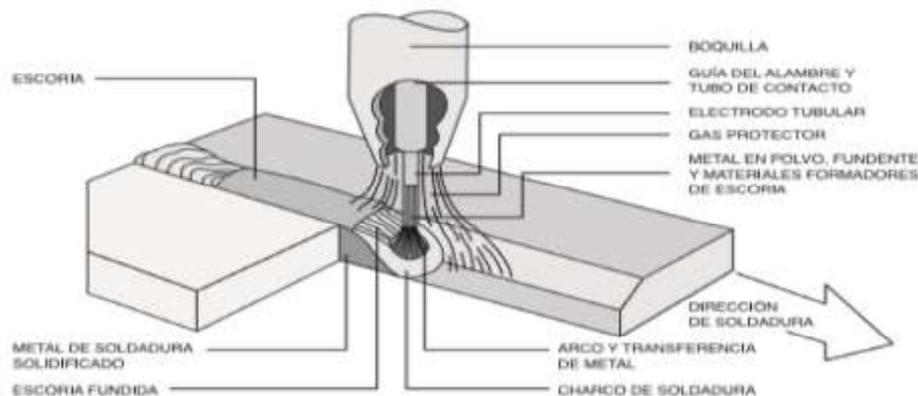


Figura 1.10. Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida con gas.
Fuente: (INDURA, 2007)

1.8.2.3. Soldadura FCAW con alambre tubular autoprotegido

Este proceso de soldadura FCAW, la protección del cordón de soldadura se obtiene a partir de ingredientes del fundente que se vaporizan, los mismos que se encuentran en el interior del alambre tubular autoprotegido y además por la escoria que cubre el contorno de soldadura o metal fundido. En la Figura 1.11. se muestra un esquema de este tipo de soldadura FCAW.

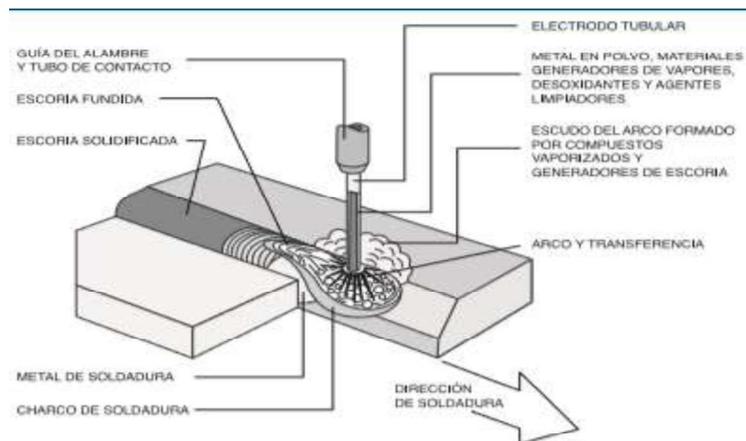


Figura 1.11. Soldadura por arco con núcleo de fundente y autoprotección.
Fuente: (INDURA, 2007)

1.8.2.4. Régimen de soldadura

Es uno de los aspectos importantes al momento de realizar un proceso de soldadura FCAW, para obtener un cordón de soldadura de buena calidad, por tal motivo se debe conocer las variables más importantes y por ende saber controlarlas. A continuación, se indica cada uno de estas:

- Voltaje del arco (V).
- Velocidad de avance de soldadura (S).
- Intensidad de corriente (I).
- Stickout del alambre tubular.

En la Tabla 1.5. y Tabla 1.6. se presentan como cambian estas variables con el diámetro del electrodo de los alambres tubulares utilizados en el proceso de soldadura.

Tabla 1.5. Variables recomendadas para E-71T-1C.

Diámetro (mm)	Voltaje (V)	Amperaje (A)		Stickout (mm)
		mín.	máx.	
1,2	22 - 30	120	300	0,90 - 1,60
1,6	22 - 30	180	400	0,90 - 1,60

Fuente: (INDURA, 2007)

Tabla 1.6. Variables recomendadas para E-71T-11.

Diámetro (mm)	Voltaje (V)	Amperaje (A)		Stickout (mm)
		mín.	máx.	
1,2	15 - 17	130	160	7 - 19
2	19 - 22	200	260	13 - 25

Fuente: (INDURA, 2007)

1.8.3. Gases de protección

1.8.3.1. Dióxido de carbono

Para el proceso de soldadura FCAW, el dióxido de carbono (CO₂) es el gas protector que más se utiliza. Esto se da por el bajo costo que representa el uso de este gas y la alta penetración que se logra. Este gas de protección a temperatura ambiente es relativamente inactivo.

El contenido de carbono presente en el metal base y el alambre tubular es muy importante, ya que de esos valores dependerá que disminuya o aumente el contenido de carbono del cordón de soldadura. Si este valor es menor que el 0.05%, el charco de soldadura va a tener una tendencia de absorber carbono del gas de protección CO₂. En cambio, si el valor es mayor al 10%, puede tener una tendencia a perder carbono del charco de soldadura. (Cesol, 2012)

1.8.3.2. Mezclas de gases

En la soldadura FCAW, las mezclas de gases nos ayudan a tener mejores resultados en el cordón de soldadura, ya que se combina las ventajas de cada uno de los gases empleados en la mezcla. Una de las ventajas que tiene el uso del argón en cantidades necesarias da como resultado menor oxidación, comparado con el uso del CO₂ sin mezclar. La proporción de cada gas más utilizada en el proceso FCAW es 25% de CO₂ y 75% de argón.

Lo que logramos con esta mezcla de gases es que el cordón de soldadura tenga mayor resistencia a la tensión que el obtenido al soldar con el gas activo CO₂ puro. Hay que tener en cuenta que el alambre tubular es distinto para una mezcla de gases y para CO₂ puro, ya que, si se utiliza una mezcla de gases y alambre tubular para CO₂, se puede tener una acumulación excesiva de elementos desoxidantes en el cordón de soldadura. Por tal motivo, se debe investigar con los fabricantes del alambre tubular las propiedades mecánicas que tiene el metal de soldadura depositado con cada mezcla de gases y con el CO₂ puro. (Cesol, 2012).

1.8.4. Material de aporte

1.8.4.1. Alambre tubular

Este tipo de electrodo por lo general está formado de un núcleo que contiene materiales fundentes, el mismo que está contenido en una funda de acero de bajo carbono o de alguna aleación.

Las principales funciones que tienen los elementos que forman el núcleo de fundente en la soldadura son las siguientes:

- Añadir o mejorar algunas propiedades mecánicas al cordón de soldadura, mediante un arreglo de la composición química.
- Proporcionar un arco estable, para evitar salpicaduras y que la deposición del metal de aporte se lo realice fácilmente.
- Crear una capa de escoria que proteja el cordón de soldadura del aire del medio ambiente en la solidificación.
- Quitar impurezas del cordón de soldadura mediante reacciones químicas con el fundente.

1.8.4.2. Identificación AWS del alambre tubular

La norma AWS A5.20 permite identificar al alambre tubular, usando una nomenclatura de letras y números para cada uno de los tipos de electrodos existentes para el proceso de soldadura FCAW. En la Figura 1.12. se identifica el patrón general de clasificación del alambre tubular.

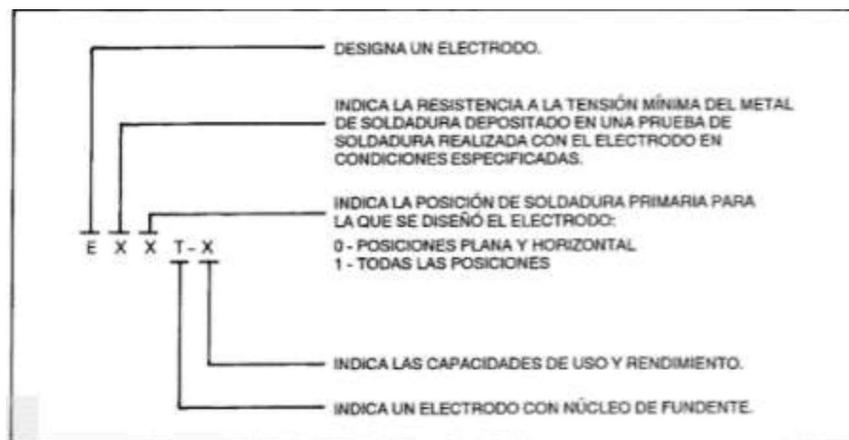


Figura 1.12. Sistema de identificación del alambre tubular para FCAW.
Fuente: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2000)

En base al último valor de la identificación del alambre tubular, la AWS A5.20 establece los requerimientos de protección y polaridad para cada tipo de electrodo como se muestra en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Requerimientos de protección y polaridad para electrodos FCAW de acero dulce.

CLASIFICACION AWS	MEDIO PROTECTOR EXTERNO	CORRIENTE Y POLARIDAD
EXXT-1 (multitudes pasadas)	CO ₂	cc, electrodo positivo
EXXT-2 (pasada única)	CO ₂	cc, electrodo positivo
EXXT-3 (pasada única)	CO ₂	cc, electrodo positivo
EXXT-4 (multitudes pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-5 (multitudes pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-6 (multitudes pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-7 (multitudes pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-8 (multitudes pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-10 (pasada única)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-11 (multitudes pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXXT-G (multitudes pasadas)	*	*
EXXT-GS (pasada única)	*	*

* Según el convenio entre el proveedor y el usuario

Fuente: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2000)

1.8.5. Selección del material de aporte

Al tener muchas aplicaciones el proceso FCAW, es imposible seleccionar un solo tipo de alambre tubular y que proporcione resultados aceptables, al trabajar con alguna norma. Por lo tanto, existen algunos criterios que se puede implementar al momento de seleccionar el material de aporte adecuado. A continuación, se presenta alguno de estos criterios:

- El diseño de la junta. Al tener poca separación de la junta o que no se tenga bisel, se debe seleccionar un alambre tubular que tenga buena penetración.
- Las especificaciones técnicas del equipo. Si la maquina trabaja con los dos tipos de alambre tubular (autoprotegido y con protección gaseosa).
- Propiedades y composición química del material base. Se necesita alambres tubulares con mayor ductilidad para materiales con alto y medio contenido de carbono.
- Condiciones ambientales de trabajo. Si la soldadura se lo realiza en obra y no en un taller de soldadura, se debe tener en cuenta que ya no sería factible utilizar gas de protección.
- Condiciones de servicio (ductilidad, resistencia a la tracción, dureza, etc.)

1.8.5.1. Resistencia mecánica del metal de aporte inferior a la del metal base (Undermatching)

La resistencia mecánica del metal de soldadura está definida como la mínima resistencia a la tracción y a la fluencia del metal de soldadura depositado. La misma que es una variable que nos ayuda a diseñar el tamaño suficiente del cordón de soldadura, con el fin de que la unión soldada debe ser lo suficientemente fuerte para resistir las cargas externas en los elementos soldados. En las normas o códigos de soldadura lo que se toma en cuenta es la similitud o igualdad (Matching) entre la resistencia mecánica del material base con la del material de aporte. Para entender mejor se presenta el siguiente ejemplo, para un acero A572 grado 50 se utiliza un electrodo E70XX. La resistencia mecánica de la combinación del metal de soldadura/ metal base es 75/65 ksi para la resistencia a la tensión y 60/50 ksi para la resistencia a la fluencia. (Foundation The James F. Lincoln Arc Welding, 1997)

Es demasiado habitual utilizar las recomendaciones que nos brindan los códigos en referencia al material de aporte para varios grados de acero, tomando en cuenta las posibles combinaciones de igualdad de resistencia entre el metal de aporte y el metal base, como la única opción y descartar otras, que en ciertas aplicaciones es mejor tener la resistencia mecánica del metal de aporte menor al del metal base (Undermatching). Uno de los aspectos en los que se puede mejorar es lo económico, ya que necesita menos material de aporte para realizar la junta soldada, como se muestra en la Figura 1.13.

El método Undermatching es una muy importante opción al tener que soldar aceros de alta resistencia, ya que al tener un material de aporte de menor resistencia mecánica que el material base, por lo general tienen más ductilidad, esfuerzos residuales de menor intensidad (Figura 1.14.), con esto se reduce la posibilidad de que se presente una fisura en la junta.

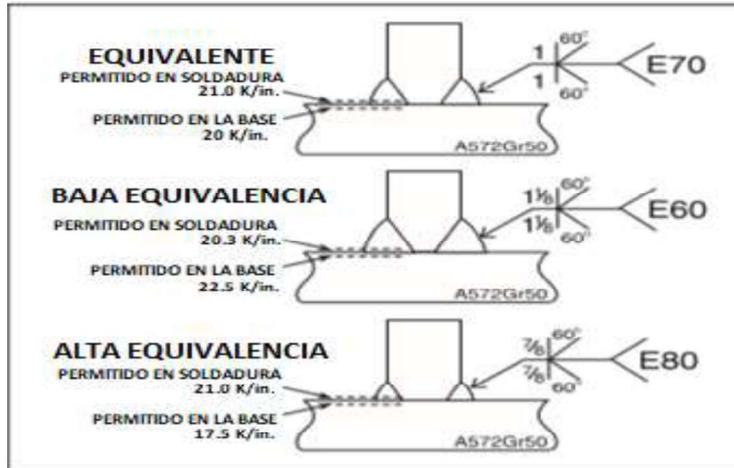


Figura 1.13. Efecto del nivel de resistencia del metal de aporte.
 Fuente: (Foundation The James F. Lincoln Arc Welding, 1997)

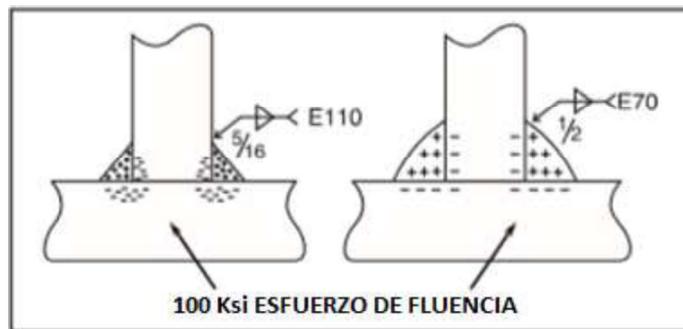


Figura 1.14. Metal de aporte Matching y Undermatching.
 Fuente: (Foundation The James F. Lincoln Arc Welding, 1997)

Teniendo en cuenta estos criterios, se eligió 2 tipos de alambre tubular para realizar cada uno de los pases de soldadura, los mismos que se indican a continuación.

1.8.5.2. Electrodo E71T-1C

El primer número "7" se refiere a que tiene una resistencia mínima a la tensión de 70000 psi, el siguiente número "1" nos indica que se puede soldar en todas las posiciones. Los últimos dígitos nos indican que "1" es un electrodo con protección gaseosa, trabaja con corriente continua (cc) y el electrodo al polo positivo y la "C" que utiliza 100% de CO₂. Si estuviera la letra "M" es una mezcla de gas inerte (argón) con CO₂.

1.8.5.3. Electrodo E71T-11

Este alambre tubular es parecido al E71T-1C por los dígitos iniciales, lo que se diferencia es en los dígitos finales, los mismos que nos indican la denominación "11" que este tipo de electrodo nos sirve para varias pasadas, que es autoprottegido (no necesita gas de protección) y trabaja con corriente continua (cc) y el electrodo al polo positivo.

2. METODOLOGÍA

2.1. Introducción

El proceso experimental permite verificar las propiedades mecánicas y la soldabilidad de la tubería API 5CT grado P110 obtenida en la junta soldada de la misma, para cada uno de los diferentes procesos de soldadura que se detallan en los procedimientos de soldadura elaborados (WPS). Cada proceso es calificado en base a los requerimientos de la norma AWS D1.1, los mismos que se registra en un PQR y comparado con cada una de las juntas obtenidas. Las especificaciones de la tubería se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Especificaciones de tubería.

Especificaciones	API 5CT	
Grado	P110	
Diámetro	5.5 in	139.7 mm
Espesor	0.375 in	9.53 mm
Resistencia a la fluencia	Min. 110 ksi, Máx. 140 ksi	Min. 759 MPa, Máx. 966ksi
Resistencia a la tensión	Min. 125 ksi	Min. 862 MPa
Proceso de fabricación	Sin costura	
Tratamiento térmico	Temple y Revenido	

Fuente: Propia

2.2. Determinación de la microestructura del metal base

Para poder determinar la microestructura del material base se procede a realizar un corte longitudinal, el mismo que se lo efectúa en frío para evitar cambios en la microestructura del material.

El material es un acero de medio contenido de carbono, laminado en caliente, terminado en frío y aleado. Se observa en la microestructura la presencia de bandas de segregación, esto se debe al proceso de conformado mecánico. También se distingue que la microestructura es de tipo martensita revenida, debido a que el material ha sido tratado térmicamente por temple y revenido. Se observa inclusiones de óxido globular, los mismos que se generan durante el proceso de fabricación. En la Figura 2.1. y Figura 2.2. se muestran las diferentes partes antes mencionadas.

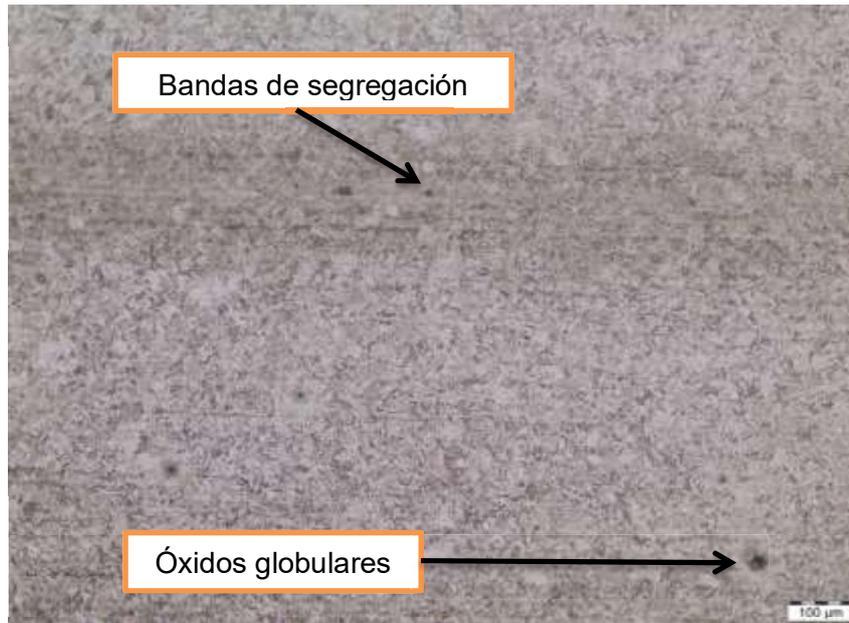


Figura 2.1. Bandas de segregación e inclusiones tipo oxido globular (100X).
Fuente: (Propia)

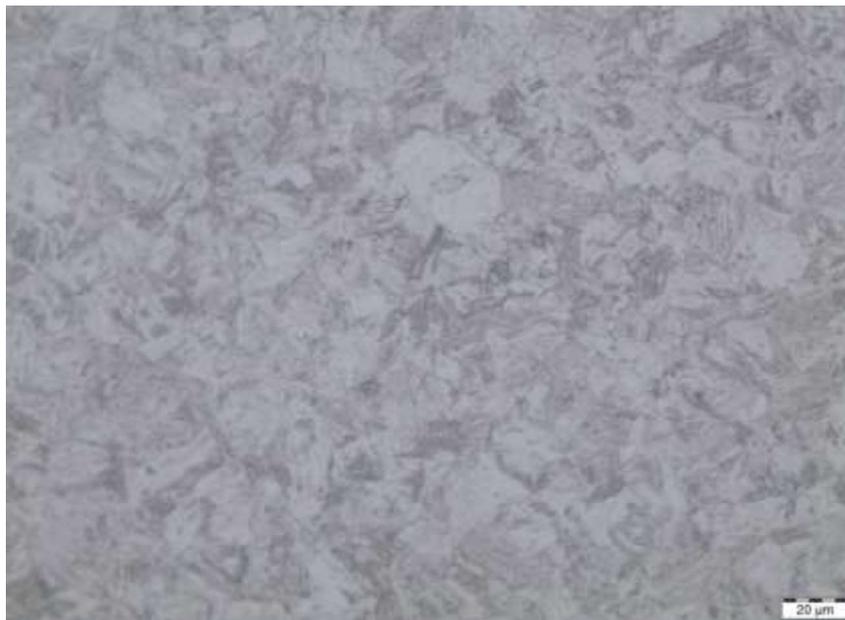


Figura 2.2. Microestructura tipo Martensita revenida (500X).
Fuente: (Propia)

2.3. DETERMINACIÓN DEL CICLO TÉRMICO A UTILIZAR

2.3.1. Temperatura de precalentamiento

Con el método de Seférian se puede determinar la temperatura de precalentamiento a la que se someterá la tubería antes de soldar. Para calcular esta temperatura se utiliza las ecuaciones que se encuentra en el método y los datos de la composición química del material base que se muestra en el ANEXO 1.

- Carbono equivalente químico (CEQ):

$$CEQ = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} + \frac{\%Co}{4} + \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

$$CEQ = 0.225 + \frac{1.206}{4} + \frac{0.028}{20} + \frac{0.131}{10} + \frac{0.0}{4} - \frac{0.0}{50} - \frac{0.0}{10}$$

$$CEQ = 0.541$$

- Carbono equivalente del espesor (CEE):

$$CEE = 0.005 * CEQ * E$$

Dónde:

E: Espesor de la tubería

$$CEE = 0.005 * 0.541 * 9.525$$

$$CEE = 0.0257$$

- Carbono equivalente total (CET):

$$CET = CEQ + CEE$$

$$CET = 0.541 + 0.0257$$

$$CET = 0.566$$

- Temperatura de precalentamiento (Tp):

$$Tp = 350\sqrt{CET - 0.25}$$

$$Tp = 350\sqrt{0.566 - 0.25}$$

$$Tp = 197 [^{\circ}C]$$

2.3.2. Temperatura entre pases

En cada pase de cordón de soldadura se realiza la inspección de la temperatura en la junta soldada, esto para controlar la velocidad de enfriamiento. La temperatura mínima que debe tener cada pase es la temperatura de precalentamiento, que en este caso es 197 [°C]. Si la temperatura es menor se procede a calentar uniformemente por toda la junta soldada hasta alcanzar la misma.

2.3.3. Tratamiento postsoldadura

El tratamiento postsoldadura se lo realiza para la eliminación de tensiones residuales que se generan por la aplicación de la soldadura, reducir el porcentaje de martensita en la microestructura de la junta soldada, el mismo que se realiza en base a las propiedades químicas deseadas y a la composición química del material.

Al tener claro lo que se necesita en el tratamiento postsoldadura se procede a elegir que tratamiento es el mejor, en este caso es el recocido, que se lo realiza a una temperatura de 600 [°C] por el lapso de 1 hora para luego enfriarlo lentamente en el mismo horno. La elección de la temperatura a la que se va a realizar el recocido depende tanto del tipo de material, como si existe variación de las propiedades mecánicas de una temperatura a otra.

2.4. Calificación de soldadura según la norma AWS D1.1

La norma AWS D1.1 abarca la calificación de procedimientos empleados para soldadura con aplicación estructural, operadores de soldadura y calificación de soldadores.

2.4.1. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

Es uno de los documentos más importantes al momento de calificar un procedimiento de soldadura, ya que en el mismo se detallan todas las variables consideradas al momento de realizar la soldadura, tal como tipo y diámetro del material de aporte, posición de soldadura, si se utiliza gas de protección o no, velocidad de avance y la intensidad de corriente. Se realiza un esquema en el que se identifica las dimensiones del material base, el número de pases que se realizaron, dimensiones de la junta y con qué equipos se van a realizar la limpieza en cada pase de cordón de soldadura. Otra de las informaciones que se presenta en un WPS es si se debe dar algún tratamiento térmico, temperatura de precalentamiento y entre pases. En la Figura 2.3. se muestra un formato de una junta soldada preparada con todas las variables establecidas. En el ANEXO 2 se encuentran todos los WPS de todas las juntas soldadas realizadas.

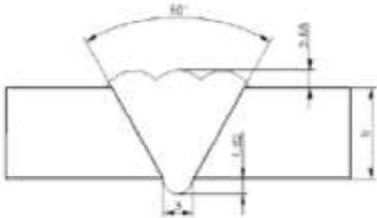
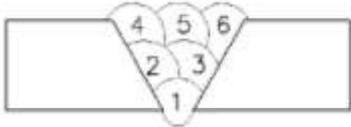
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-001 Según norma: AWS D1.1		No. Identificación: WPS-EPN-FIM-001 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input type="checkbox"/> Automática <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input type="checkbox"/> Dos lados <input checked="" type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5 20		Temperatura de precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: N/A						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: — Caudal: —		Artículo VII. Notas						
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	150	17	54,38	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	142,32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	139,32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	195,92	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	173,47	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	174,15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 2.3. Formato de WPS para preparación de juntas soldadas.
 Fuente: (Propia)

2.4.2. Registro de calificación del procedimiento (PQR)

Este documento califica a la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) teniendo en cuenta todas las variables que se encuentra en el mismo. El documento PQR se lo realiza para cada probeta soldada y también se coloca los resultados que se presenta en cada ensayo destructivo y no destructivo tal como se presenta en la Figura 2.4. y la Figura 2.5., en el mismo indica si la probeta ensayada es aceptada o rechazada en base a los requerimientos establecidos en la norma AWS D1.1. El registro de todos los PQR de las probetas se presentan en el ANEXO 3.

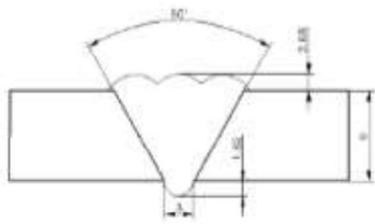
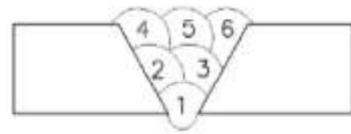
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-001 Según norma: AWS D1.1		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-001 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5.5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: N/A						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---		Artículo VII. Notas						
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	150	17	54,38	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	142,32	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	139,32	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	195,92	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	173,47	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	174,15	x	

Figura 2.4. Formato de PQR para preparación de juntas soldadas.
 Fuente: (Propia)

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-001				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-001		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm ²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,04	9,33	186,97	120,47	644,3	Junta soldada
2	20,21	9,16	185,12	121,18	654,6	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo	Hallazgo	Resultados				
Cara	Fractura total	Rechazada				
Raíz	Fractura total	Rechazada				
RADIOGRAFÍA						
Toma	Defectos	Resultados				
1	IE, FP	Rechazada				
2	IE, FP	Rechazada				
3	IE, FP	Rechazada				
4	IE, FP	Rechazada				
5	IE, FP	Rechazada				
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

Figura 2.5. Registro de resultados de los ensayos en juntas soldadas.
Fuente: (Propia)

2.4.3. Ensayos realizados para calificación de desempeño y procedimiento del soldador

A continuación, se presenta las pruebas realizadas para la calificación de desempeño y procedimiento del soldador, que son:

- Radiografía

- Ensayo de doblado
- Ensayo de tensión
- Macrografía

Para realizar los ensayos de doblado y tracción se debe tener en cuenta la distribución de los cortes en la tubería para cada uno de los mismos, esta distribución se encuentra en la norma AWS D1.1 y se muestra en la Figura 2.6.

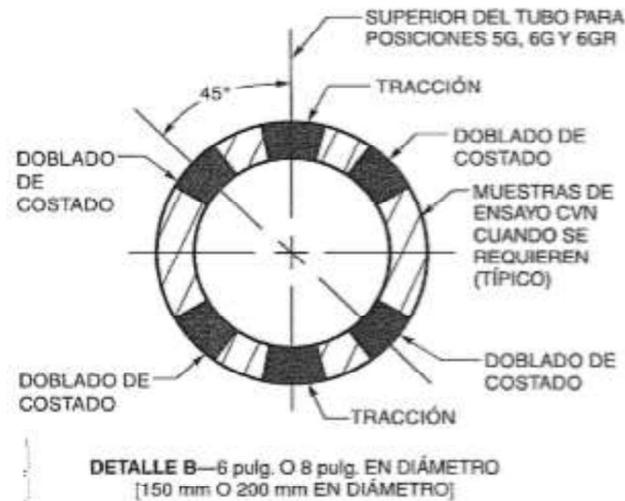


Figura 2.6. Localización de muestras de ensayo en una tubería.
Fuente: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

2.4.3.1. Radiografía

Este ensayo se lo realiza en toda la superficie de la tubería, por tal motivo, se debe realizar los ensayos no destructivos antes que los destructivos. Para la calificación del ensayo se utiliza la norma AWS D1.1 sección 6 parte C, en donde indica que si la soldadura no cumple con estos requerimientos o criterios alternos que se estipula en la sección 6.8., deberán ser reparados en conformidad a la sección 5.26. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

2.4.3.2. Ensayo de doblado

La finalidad de realizar este tipo de ensayos es determinar la ductilidad que tiene la junta soldada. El corte de los especímenes se los realiza con mucho cuidado para tener una sección transversal constante. El ensayo de doblado presenta dos tipos diferentes, el uno que se denomina de doblado de raíz y el otro doblado de cara, esto dependiendo la parte del cordón de soldadura.

Las dimensiones a las que deben ser cortadas las probetas para el ensayo de doblado de raíz y de cara según la norma AWS D1.1 se presenta en la Figura 2.7.



Figura 2.7. Dimensiones de las probetas de doblado de cara y raíz.
Fuente: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

2.4.3.3. Ensayo de tracción

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia máxima que puede soportar el cordón de soldadura antes de su fractura. Las dimensiones y la forma de las probetas se encuentran especificadas en la norma AWS D1.1 para la preparación de las mismas. A continuación, en la Figura 2.8. y Figura 2.9. se presentas las dimensiones en forma general para la construcción de las probetas de tracción.

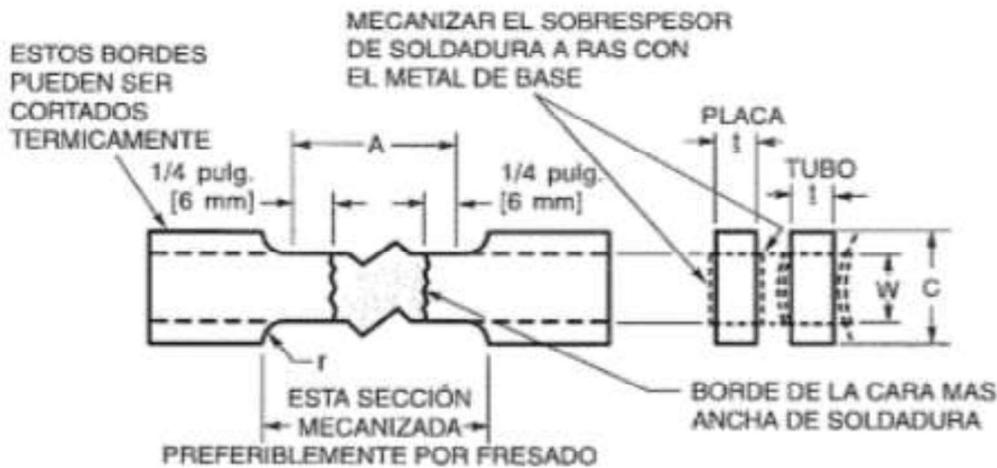


Figura 2.8. Dimensiones de la probeta de tracción.
Fuente: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

	Dimensiones en pulgadas [mm]			Tubo de Ensayo	
	Espesor de la Placa de Ensayo, T_p			Tubo de Ensayo	
	$T_p \leq 1$ pulg. [25 mm]	1 pulg. [25 mm] < $T_p < 1-1/2$ pulg. [38 mm]	$T_p \geq 1-1/2$ pulg. [38 mm]	2 pulg. [50 mm] & 3 pulg. [75 mm]	6 pulg. [150 mm] & 8 pulg. [200 mm] Diámetro o el Mayor Tamaño del Tubo
A—Longitud de la sección reducida	Cara mas ancha de la soldadura + 1/2 pulg. [12 mm], 2-1/4 pulg. [60 mm] min.			Cara mas ancha de la soldadura + 1/2 pulg. [12 mm], 2-1/4 pulg. [60 mm] min.	
L—Longitud total, min. ^a	Segun lo requerido por el equipo de ensayo			Segun lo requerido por el equipo de ensayo	
W—Ancho de la sección reducida ^{b,c}	3/4 pulg. [20 mm] min.	3/4 pulg. [20 mm] min.	3/4 pulg. [20 mm] min.	1/2 ± 0.01 (12 ± 0.025)	3/4 pulg. [20 mm] min.
C—Ancho de la sección de agarre ^{c,d}	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.	W + 1/2 pulg. [12 mm] min.
t—Espesor de la muestra ^{e,f}	T_p	T_p	T_p/n (Nota f)	El máximo posible con caras planas y paralelas dentro del largo A	
r—Radio de filete, min.	1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	1 pulg. [25 mm]	1 pulg. [25 mm]

Figura 2.9. Valores de las variables de la probeta de tracción.
Fuente: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010),

El espécimen debe romperse por la acción de la carga de tracción, en ese punto se debe tomar el valor de la carga máxima. Antes de realizar el ensayo de tracción se debe calcular el área transversal, que se lo obtiene multiplicando el espesor por el ancho de la sección reducida. Con estos valores se puede determinar la resistencia a la tracción con el cálculo de dividir la carga máxima por el área transversal. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

2.4.3.4. Macrografía

Para realizar el ensayo de macrografía se debe preparar la probeta con un acabado adecuado para obtener buenos resultados. Dependiendo de la microestructura que se quiera observar en el microscopio se debe seleccionar la solución adecuada para realizar el ataque químico. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010)

Los aspectos necesarios para que la probeta pueda ser aceptada son que la sección transversal de la soldadura debe estar libre de grietas y tener una fusión completa.

2.5. Procedimiento de soldadura, extracción de probetas y realización de ensayos

2.5.1. Soldadura, enfriamiento lento y tratamiento térmico

Se comienza con la obtención de la tubería en un centro de reciclaje, luego se corta la misma en secciones de 30 cm. Se realiza un ensayo de composición química y un ensayo de tracción del material base para determinar el tipo de tubería con la que se va a trabajar y elegir el alambre tubular que brinde mejores propiedades mecánicas al momento de utilizar en la soldadura. Es importante realizar una limpieza interna y externa de la zona de la tubería donde se va a realizar la soldadura para eliminar óxidos y evitar la contaminación del cordón de soldadura e influir en las propiedades de la junta soldada.

Este proyecto se basa en realizar la soldadura con dos diferentes alambres tubulares, uno que es autoprotegido y el otro con protección gaseosa, por cada tipo de alambre tubular se realiza cuatro procesos distintos, que se especifican a continuación:

- Soldadura simple (sin ningún método adicional, aparte de la soldadura).
- Soldadura con precalentamiento.
- Soldadura con precalentamiento y enfriamiento lento (en arena).
- Soldadura con precalentamiento, enfriamiento lento y tratamiento térmico (recocido).

Una vez que está preparada la junta (Figura 2.10.) y el alambre tubular en la soldadora, se coloca los puentes para unir las dos secciones con un ancho de 3 mm de pie de raíz, como se muestra en la Figura 2.11.



Figura 2.10. Preparación de la junta a soldar.
Fuente: Propia



Figura 2.11. Colocación de los puentes.
Fuente: Propia

Se empieza con el primer proceso y alambre tubular autoprottegido, se realiza el pase de raíz con las variables especificadas en el WPS. Se realiza los siguientes pases (Figura 2.12.) teniendo en cuenta los cambios de las variables establecidas en el WPS.



Figura 2.12. Realización de los pases de soldadura.
Fuente: Propia

Los siguientes procesos (2, 3 y 4) tienen los mismos pasos al momento de realizar el cordón de soldadura, con la diferencia de que en cada uno se realiza un precalentamiento a una temperatura de 190°C con la ayuda de un cilindro de gas y un soplete. Se utiliza este método de precalentamiento, uno por la facilidad de uso y otro para realizarlo en el mismo laboratorio de soldadura y no tener que ir de un lugar a otro, ya que en ese transcurso de tiempo puede variar la temperatura y los resultados que se desean obtener.

En los procesos tres y cuatro se realiza un enfriamiento lento en arena como se observa en la Figura 2.13., esto para evitar el choque térmico al estar en el medio ambiente. Luego de introducir la tubería en la arena, esta se calienta hasta una temperatura de 100°C. Con este método lo que se logra es evitar microestructuras indeseadas por el enfriamiento brusco, debido a que los granos de la microestructura tienden a formarse de mejor manera por tener más tiempo de enfriamiento.



Figura 2.13. Enfriamiento lento en arena.
Fuente: (Propia)

Finalmente, en el último proceso se realiza un tratamiento térmico (Figura 2.14.), que en este caso es un recocido, el mismo que se lo realiza a una temperatura de 600 °C por el lapso de una hora para luego enfriarlo lentamente en el mismo horno. Con este tratamiento térmico lo que se desea lograr es reducir la martensita, para obtener una soldadura más dúctil y por ende menos frágil.



Figura 2.14. Tratamiento térmico de recocido.
Fuente: (Propia)

2.5.2. Equipo utilizado para la soldadura de la junta y tratamiento postsoldadura

Para realizar el proceso de soldadura en cada una de las probetas, con los dos tipos de alambre tubular, se utiliza el siguiente equipo mostrado en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Especificaciones técnicas de la soldadora multiprocesos eléctrica.

	EQUIPO:	Soldadora multiprocesos eléctrica
	MODELO:	Invertec V350-Pro
	MARCA:	Lincoln Electric
	VOLTAJE DE ENTRADA	220 V (trifásica)
	AMPERAJE DE SALIDA:	5 - 200 A
	FRECUENCIA:	60 Hz
	CICLO DE TRABAJO:	60-100%

Fuente: Propia

Para efectuar los procesos de precalentamiento, temperatura entre pases se lo realiza con un cilindro de gas y un soplete. El equipo utilizado para realizar el tratamiento postsoldadura (térmico) es del Laboratorio de Cerámicas de la Facultad de Ingeniería Química de la EPN y las especificaciones técnicas se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Horno de tratamiento postsoldadura (térmico).

	EQUIPO	Horno de cocido de cerámicos y tratamientos térmicos
	MARCA	Nabertherm
	RANGO DE TEMPERATURAS	100-1300 °C
	DIMENSIONES CÁMARA DE CALENTAMIENTO	450x800x700 mm
	VOLTAJE	220 V
	CONTROL	Relé y regulador OEL LMP Termocupla tipo K Resistencia eléctricas como medio de calentamiento

Fuente: (Propia)

2.5.3. Radiografía

Este tipo de ensayo no destructivo se basa en radiografiar el cordón de soldadura mediante radiación penetrante que permita visualizar los defectos internos. El equipo para realizar este tipo de ensayo se encuentra en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la EPN, los parámetros que se consideran para la realización de las radiografías son el tiempo de exposición y el voltaje de exposición, los cuales están en función del espesor de la tubería y la distancia desde la fuente a la parte de la tubería a ser radiografiada. Los datos del espesor y la distancia de la fuente son 9,525 y 500 mm, respectivamente. Al ser una tubería de gran diámetro se divide el perímetro en cinco partes iguales, por lo que se tuvo que cortar cinco pedazos de película de 13 cm para poder tener la radiografía completamente el cordón de soldadura, por tal motivo se debe tomar en cuenta para el análisis de defectos que podrían repetirse.

La película con la que se va a radiografiar las probetas es la Structurix D7, en la Figura 2.15. se observa datos como espesor de la probeta a radiografiar, intensidad de corriente y voltaje necesario, el cual se determina con el espesor y la intensidad de la corriente que se va a usar. En nuestro caso, el voltaje necesario es de 140 kV.

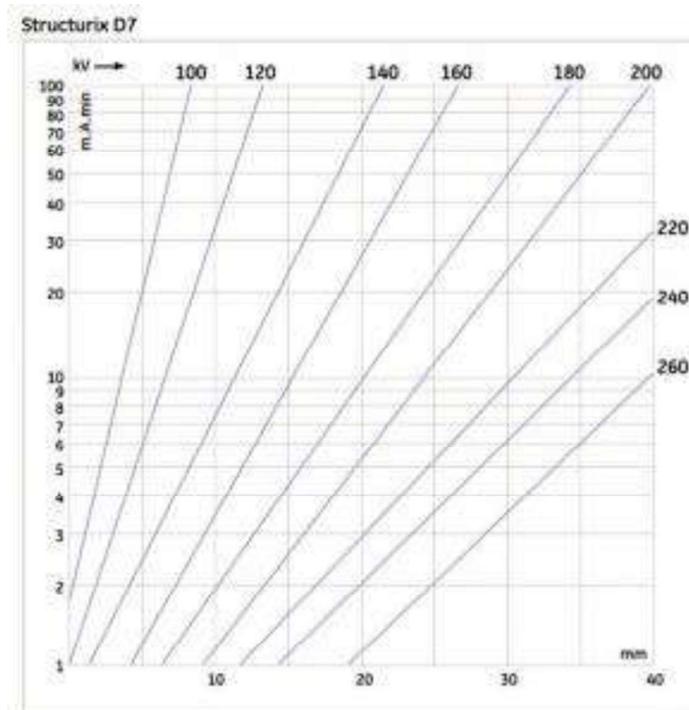


Figura 2.15. Datos de exposición de la película STRUCTURIX D7.
Fuente: (Ilog, 2018)

La Figura 2.16. muestra el diagrama de operación del equipo de rayos X del laboratorio, el mismo que determina el tiempo de exposición de las probetas a radiografiar dependiendo del espesor, intensidad de corriente y el voltaje que se va a usar.

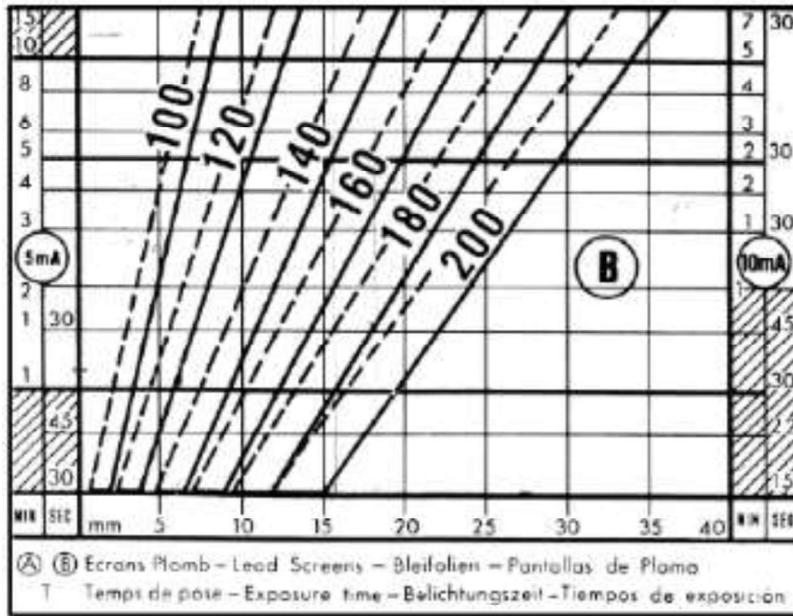


Figura 2.16. Diagrama de operación de la máquina de rayos X.
Fuente: (Balteau, 1970)

Una vez obtenido el tiempo de exposición se debe tener en consideración los factores que permiten realizar las correcciones necesarias como son factor de densidad de película, distancia a la fuente, por película y varios. Dichos factores se detallan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Factores de corrección.

Densidad		Película				Distancia	
N = 1	Tx1	GEVAERT		STRUCTURIX		35 cm (14")	Tx0.25
N = 1.5	Tx1.6	D10	Tx1	D7	Tx1	50 cm (20")	Tx0.5
N = 2	Tx2.2	D7	Tx4	D4	Tx3.7	70 cm (27.5")	Tx1
N = 2.5	Tx3	D4	Tx15	D2	Tx15	100 cm (40")	Tx2
		A		B		140 cm (55")	Tx4
						200 cm (80")	Tx8.8

Fuente: (Cely, Sotomayor y Oviedo, 2016)

Cálculo del tiempo de exposición para la toma radiográfica.

$$t_{exp} = t_c \times f_n \times f_p \times f_D \times f_v$$

Dónde:

- t_{exp} : Tiempo de exposición.
- t_c : Factor de corrección por densidad.
- f_n : Factor de corrección por película.
- f_p : Factor de corrección por película.
- f_D : Factor de corrección por distancia.

f_v : Factor de corrección por varios (mA, kV, material, técnica, etc)

El desarrollo de la ecuación del tiempo de exposición para este caso es el siguiente:

$$t_{exp} = t_c \times f_n \times f_p \times f_D \times f_v$$
$$t_{exp} = 100 \times 2.2 \times 1 \times 0.25 \times 1.8$$
$$t_{exp} = 99 \text{ [s]}$$
$$t_{exp} = 1 \text{ minuto y } 39 \text{ segundos}$$

Después de la evaluación de los diferentes parámetros y los cálculos realizados, para el ensayo de radiografía industrial se tiene los datos que se indican en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Parámetros de trabajo.

Voltaje	140 [kV]
Amperaje	5 [mA]
t_{exp}	99 [s]

Fuente: (Propia)

2.5.4. Ensayo de tracción

Este tipo de ensayo destructivo de tracción de la junta soldada permite determinar la resistencia a la tracción y el límite de fluencia, también permite saber la adherencia que existe entre el metal base y el material de aporte de manera que garantice la unión soldada. El dimensionamiento de la probeta debe cumplir con lo mostrado en la Figura 2.17.

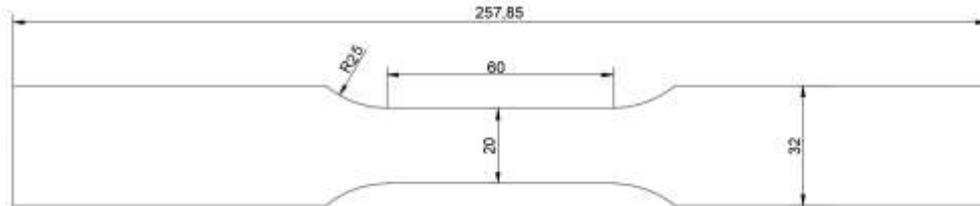


Figura 2.17. Probeta (dimensiones) - Ensayo de tracción de la junta soldada.

Fuente: (Propia)

Para la realización de este ensayo se toma en consideración el criterio de aceptación undermatching filler metal, que es el uso de un material de aporte con un nivel de resistencia igual o menor al metal base, esto se debe a que en este caso la resistencia del metal base es mayor (casi el doble) que la resistencia del metal de aporte. En la Tabla 2.6. se detalla la resistencia a la tracción, el límite de fluencia del material base y los dos tipos de material de aporte usados durante la soldadura.

Tabla 2.6. Resistencia a la tracción del metal base y material de aporte.

Material		Resistencia a la tracción		Límite de fluencia	
		St		Sy	
		[MPa]	[ksi]	[MPa]	[ksi]
Metal base	API 5CT - P110	965	139,96	862	125,02
Metal base	Ensayo de Tracción	913,5	132,3	857	124,3
Alambre tubular 1 (E71T1C)	Requerimientos	480	70	400	58
	Resultados	570	82	515	74
Alambre tubular 2 (E71T11)	Requerimientos	480	70	400	58
	Resultados	605	88	435	63

Fuente: (API 5CT, 2006; Lincoln Electric Company, 2018; Ensayo de tracción EPN-FIM, 2019)

2.5.5. Micrografía

Con la ayuda de la micrografía se puede observar la microestructura del cordón de soldadura, la zona afectada por el calor (ZAC) y el metal base, también permite identificar los límites de cada zona. Con la microestructura obtenida se puede también determinar las propiedades que tendrá cada zona del cordón de soldadura.

Adicionalmente se puede señalar la presencia de incrustaciones de algún elemento, como puede ser el caso de cobre y con esta información determinar cómo puede afectar el mismo en el comportamiento de la soldadura. A continuación, se indica el proceso para preparar las probetas y realizar las micrografías.

- Preparar y señalar las probetas en la tubería soldada.
- Realizar un corte longitudinal y transversal al cordón de soldadura. Este corte se lo realiza con la cortadora en frío, esto para evitar el cambio en la microestructura por la adición de calor. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.7.
- Preparar la probeta con la ayuda de un molde que tiene las medidas necesarias para colocarlas en la pulidora automática y con la ayuda de los elementos químicos como la resina, cobalto y meck se obtiene un solo cuerpo con la probeta para facilitar el trabajo de pulir.
- Empezar a debastar la cara transversal al cordón con la ayuda de la pulidora giratoria y con la lija número 80, se realiza este proceso para eliminar las múltiples caras que quedan por el proceso de corte. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.8.
- Seguir debastando con las lijas de agua 240, 320, 400, 600 y 1200 hasta eliminar la superficie afectada por el debate grueso anterior. Hay que pasar a la probeta por todas las lijas antes mencionadas y en el orden que se encuentran, hasta

obtener la superficie deseada. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.9.

- Terminar puliendo con la pulidora automática con la lija más fina 2400 y al último con jabón y alúmina de 1 micra y 0.3 micra. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.10.
- Atacar químicamente en la superficie que se va a estudiar la micrografía, en este caso como la microestructura que deseamos observar es martensita con bainita procedemos a utilizar vilella.
- Observar la probeta en el microscopio metalográfico, se identifica las zonas de la soldadura y se empieza a tomar fotografías de las mismas con un aumento de 100X y 500X dependiendo de la zona que se está estudiando. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.11.

2.5.5.1. Equipos utilizados para el ensayo de micrografía

A continuación, se muestra las especificaciones técnicas de cada equipo utilizado en la parte de micrografía en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Especificaciones técnicas de la cortadora.

	EQUIPO:	Cortadora
	MODELO:	TF-4288BC
	MARCA:	Lincoln
	VOLTAJE:	230/460 V
	POTENCIA:	10 HP
	MEDIO DE ENFRIAMIENTO:	Agua

Fuente: (Propia)

Tabla 2.8. Especificaciones técnicas de la desbastadora.

	EQUIPO:	Desbastadora
	MODELO:	121-OM-84
	MARCA:	Bueheler
	VOLTAJE:	110V
	POTENCIA:	1HP
	MEDIO DE ENFRIAMIENTO:	Agua

Fuente: (Propia)

Tabla 2.9. Especificaciones técnicas del banco de desbaste fino.

	EQUIPO:	Banco de desbaste
	MODELO:	39-1470-AB
	MARCA:	Bueheler
	ABRASIVO:	240,320,400,600, 1200
	MEDIO DE ENFRIAMIENTO:	Agua

Fuente: (Propia)

Tabla 2.10. Especificaciones técnicas de la pulidora automática.

	EQUIPO:	Pulidora automática
	MODELO:	N20161074
	MARCA:	Forcipol 2V- Forcimat
	VOLTAJE:	220v
	POTENCIA:	100 W
	MEDIO DE FUNCIONAMIENTO:	Agua

Fuente: (Propia)

Tabla 2.11. Especificaciones técnicas del microscopio metalográfico.

	EQUIPO:	Microscopio Metalográfico
	MODELO:	IM 7200
	MARCA:	Meiji
	LENTEs:	E50X, E100X, E200X, E500X, E1000X
	SOFTWARE METALOGRAFICO:	Pax-it

Fuente: (Propia)

2.5.6. Macrografía

Este método de ensayo ayuda a identificar las zonas de la soldadura como son: material base, zona afectada por el calor (ZAC) y el cordón de soldadura. Con las macrografías se puede observar las medidas de cada zona y de algún defecto que se presente en la misma. Al tener esta información se puede verificar si la probeta es aceptada o rechazada con la ayuda de la norma AWS D1.1.

Los pasos que se debe seguir en el proceso de preparación de las probetas es la misma que se realizó para el ensayo de micrografía que se presentó anteriormente, la única diferencia es la utilización del microscopio, ya que es diferente para cada método.

2.5.6.1. Equipos utilizados para el ensayo de macrografía

A continuación, se presenta las especificaciones técnicas del Microscopio Estereoscópico en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Especificaciones técnicas del microscopio estereoscópico.

	EQUIPO	Microscopio Estereoscópico
	MODELO	EMZ-13 TR
	MARCA	Meiji
	LENTEs	10 X - 70X
	SOFTWARE METALOGRAFICO	Pax-it

Fuente: (Propia)

2.5.7. Ensayo de dureza

La dureza del material depende de la estructura cristalina de la misma, por tal motivo, al realizar el ensayo de dureza, se lo efectúa en el cordón de soldadura. Este ensayo se realizó con el durómetro del Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la EPN. El ensayo consiste en ejercer presión mediante un indentador sobre la probeta de acuerdo con la norma ASTM E18. El ensayo permite estudiar el efecto de los diferentes procesos de soldadura en la dureza de la junta soldada y el metal base. Una vez elegida la escala de dureza para realizar el ensayo se prepara la máquina y el indentador adecuado, se realiza la precarga que establece la norma.

Se lo realiza en la superficie de la probeta para conocer la dureza del material base, la zona afectada por el calor (ZAC) y el cordón de soldadura, con estos valores se realiza una gráfica para identificar como cambia la dureza en distintos puntos de la probeta. Para poder identificar la escala con la que se realiza el ensayo se debe tener la composición química del material base, en este caso se realizó con Rockwell C en toda la probeta.

Se empieza realizando las mediciones desde el material base que se encuentra en un extremo de la probeta, las siguientes mediciones se las realiza en el límite de cada zona y terminar en el centro del cordón de soldadura. Esta distancia depende de la probeta que se va a ensayar, ya que cada uno tiene diferente tamaño de cordón y zona afectada por el calor.

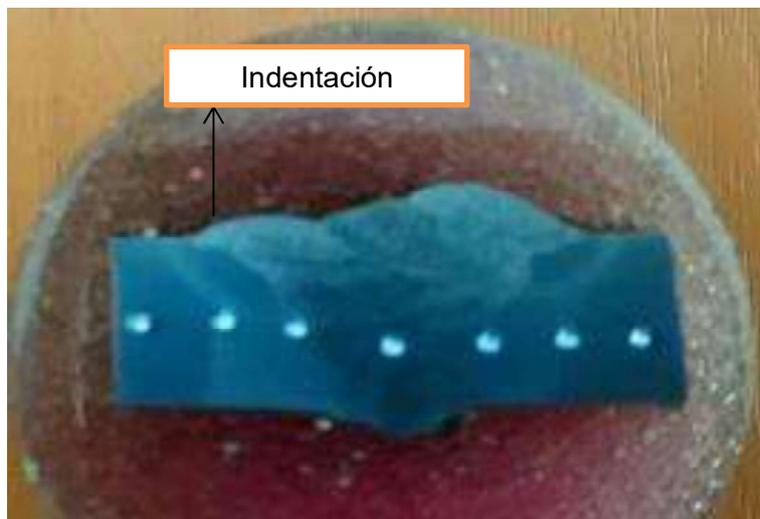


Figura 2.18. Mapeo de dureza de la probeta
Fuente: (Propia)

2.5.7.1 Equipo utilizado para el ensayo de dureza

En la Tabla 2.13. se indica las especificaciones técnicas del equipo utilizado en el ensayo de dureza en las probetas soldadas y el material base.

Tabla 2.13. Especificaciones técnicas del durómetro.

	EQUIPO	Durómetro
	MODELO	HR-150A
	MARCA	Hardrocker
	ESCALAS DE MEDICIÓN	Rockwell A Rockwell B Rockwell C
	MODO DE CONTROL DE CARGA	Sistema hidráulico amortiguado
	CARGA MÍNIMA	10Kgf
	CARGA MÁXIMA:	60,100,150 Kgf
	MODO DE APLICACIÓN DE CARGA	Sistemas de pesos muertos

Fuente: (Propia)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Introducción

En este capítulo se analizarán los resultados que se obtuvieron en cada uno de los ensayos que se realizó y se encuentran en el capítulo 2. Estos ensayos tanto destructivos como no destructivos se realizaron bajo la norma AWS D1.1 y por lo que la aceptación o rechazo de las probetas ensayadas se realizará bajo la misma norma y también con la norma API 1105. También se discutirá las microestructuras obtenidas en cada zona de la probeta soldada (material base, ZAC y cordón de soldadura) y las durezas de las mismas. Con estos resultados se procede a realizar la caracterización de la soldadura efectuada mediante la microestructura y propiedades mecánicas propias de cada probeta.

3.2. Propiedades y composición química del material base

La resistencia mecánica y la dureza son propiedades importantes a ser tomadas en cuenta del material base, ya que estos datos sirven para la realización de las juntas soldadas. En la Tabla 3.1. y Tabla 3.2. se indican los resultados de la resistencia mecánica y la dureza del material base.

Tabla 3.1. Resistencia mecánica del material base.

Probeta	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	lbf	N	ksi	Mpa	ksi	Mpa	
Material base	29 595	131 644	121	834,5	128,6	888,4	19,1

Fuente: (Propia)

Tabla 3.2. Dureza del material base.

Escala	Medición					Promedio
	1	2	3	4	5	
HRC	31	32	31	31	31	31,2

Fuente: (Propia)

La composición química que presenta la tubería de revestimiento (casing) P110 que se utilizó en el presente proyecto, se obtuvo por el análisis de espectrometría por chispa. En la Tabla 3.3. se encuentra los valores de la composición química que se obtuvieron por el equipo de espectrometría de chispa.

Tabla 3.3. Composición química de la tubería casing P110.

Elemento	Valor de laboratorio (%)
Carbono (C)	0,225
Manganeso (Mn)	1,206
Cromo (Cr)	0,131
Silicio (Si)	0,166
Níquel (Ni)	0,028
Cobre (Cu)	0,013
Aluminio (Al)	0,033
Titanio (Ti)	0,020
Hierro (Fe)	98,16

Fuente: (Propia)

3.3. Resultados obtenidos de las juntas soldadas

Se realizan ocho juntas de tubería soldada, la mitad de ellas se la realiza con alambre tubular autoprotectido y la otra mitad con alambre tubular y protección gaseosa. En la Tabla 3.4. se observa cada una de las variables utilizadas en las juntas soldadas.

Tabla 3.4. Variables utilizadas en la elaboración de las juntas soldadas.

Probeta	Temperatura de precalentamiento [°C]	Temperatura de tratamiento térmico [°C]	Calor entregado [J/mm]	Velocidad de avance [mm/min]	Voltaje [V]	Amperaje [A]
P1	NA	NA	1346,11	124,12	17,25	131,19
P2	200	NA	1300,04	100,29	15,57	134
P3	200	NA	1149,63	120,42	16,28	134,58
P4	200	600	1202,45	114,23	16,43	130,17
P5	NA	NA	1262,44	140,09	20,1	163
P6	200	NA	1084,79	159,88	19,88	134,33
P7	200	NA	1048,79	169,85	19,62	132,92
P8	200	600	1025,26	179,92	20,3	141

NA = No aplica

Fuente: (Propia)

A continuación, se presentan los resultados de los diferentes ensayos, tanto destructivos como no destructivos en las ocho juntas de tubería soldada, de las cuales se sacaron probetas dependiendo el ensayo que se va a realizar.

3.3.1. Radiografía

Es el primer y único ensayo no destructivo que se efectúa a las tuberías soldadas antes de realizar los ensayos destructivos. Al ser una tubería el elemento que se va a efectuar la radiografía, se utiliza el método de simple imagen simple pared. Los resultados se presentan en el ANEXO 4.

3.3.2. Ensayo de tracción

En la Tabla 3.5. se muestran los valores de resistencia a la tracción, carga máxima y localización de la falla que son relevantes para el estudio que se está realizando, los mismos que fueron obtenidos en el ensayo de tracción de cada probeta soldada. En el ANEXO 5 se pueden observar los resultados del ensayo de tracción de cada probeta.

Tabla 3.5. Valores obtenidos en el ensayo de tracción de las probetas soldadas.

Probeta	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Localización de falla
	lbf	N	ksi	Mpa	
P1T1	27 083	120,5	93,5	644,3	FJS
P1T2	27 244	121,2	94,9	654,6	FJS
P2T1	26 010	115,7	88,4	609,5	FZC
P2T2	25 374	112,9	84,1	580,1	FJS
P3T1	28 033	124,7	94,6	652,1	FJS
P3T2	27 457	122,1	91,4	630,5	FJS
P4T1	23 112	102,8	69,7	480,2	FJS
P4T2	27 671	123,1	94	648,2	FJS
P5T1	26 530	118,0	86,8	598,6	FJS
P5T2	23 703	105,4	77,2	532	FJS
P6T1	27 501	122,3	92,1	635,2	FJS
P6T2	28 003	124,6	92,6	638,4	FJS
P7T1	25 290	112,5	81,2	559,8	FJS
P7T2	25 256	112,4	83,9	578,6	FJS
P8T1	25 712	114,4	82,2	567	FJS
P8T2	25 752	114,6	84,1	579,6	FJS
FJS = Falla en la junta soldada.					
FZC = Falla en la zona afectada por el calor.					

Fuente: (LAEV, 2019)

Según los datos que se muestra en la Tabla 3.5., ninguna probeta pasaría el ensayo de tracción, ya que la resistencia a la tracción del material base es 128 ksi (888.4 MPa) y en promedio de las probetas nos da un valor de 86.91 ksi (600 MPa). Esto se debe a que la resistencia mínima a la tracción del alambre tubular es 70 ksi (482.3 MPa) y se eligió este tipo de alambre tubular por ser más comercial y no importar otro tipo de

alambre tubular con mayor resistencia por motivo que elevaría los costos del proceso de soldadura y ya no sería factible en el ámbito costo – beneficio.

En la Figura 3.1. y Figura 3.2. se muestra las gráficas esfuerzo – deformación de las probetas soldadas con alambre tubular autoprotegido y alambre tubular con gas de protección, respectivamente.

En la Figura 3.3. se observa la unión de las dos gráficas para poder comparar las mismas y llegar a determinar algunas conclusiones.

En la Figura 3.1. se observa que la probeta P3 tiene mayor resistencia a la tracción y porcentaje de deformación que las otras tres probetas, debido a que se realizó un precalentamiento y enfriamiento lento. En la probeta P4 se realizó un tratamiento térmico una vez finalizado el proceso de soldadura, debido a este tratamiento de postsoldadura y a que la probeta tiene defectos detectados en la radiografía, el ensayo de tracción llegó al valor de 480 MPa, siendo este el menor valor de resistencia a la tracción de todas las probetas.

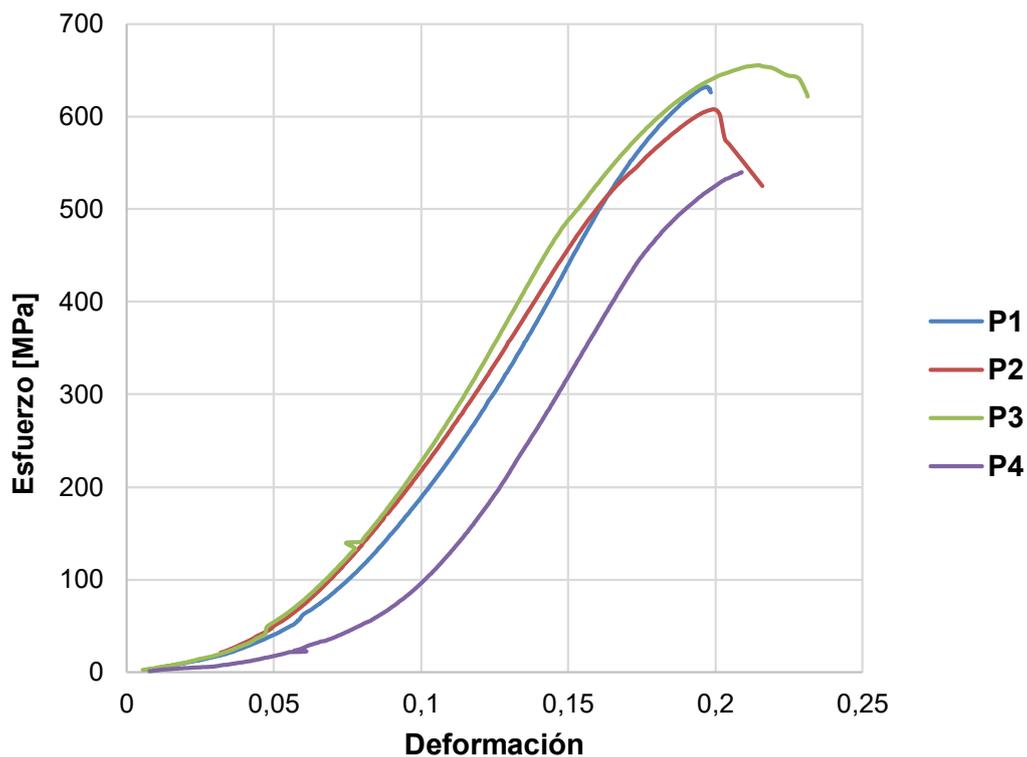


Figura 3.1. Esfuerzo vs Deformación (alambre tubular autoprotegido).
Fuente: (Propia)

De acuerdo a la Figura 3.2. la probeta P8 es la que tiene mayor porcentaje de deformación de todas, debido a que tiene los procesos de precalentamiento, enfriamiento lento y tratamiento térmico de recocido.

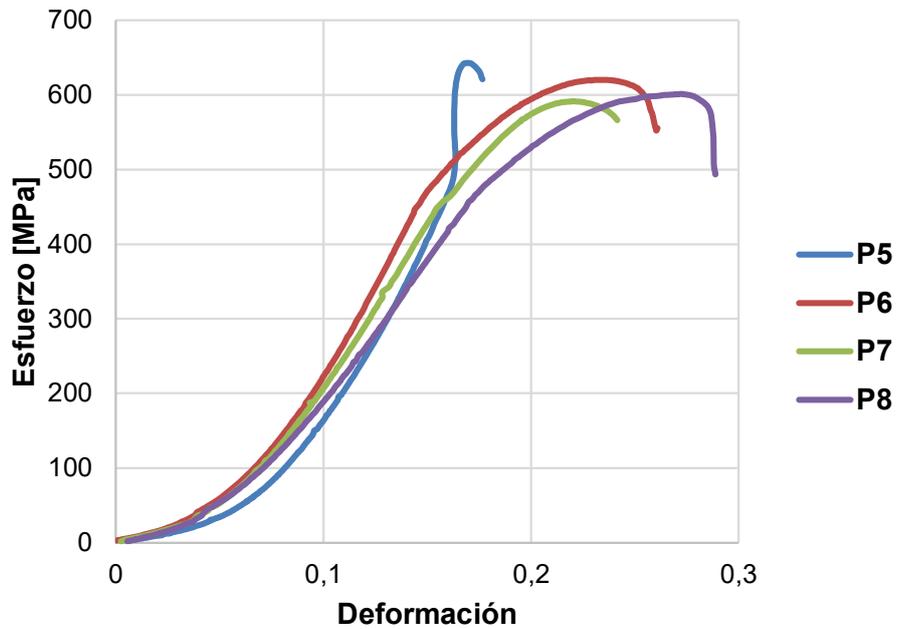


Figura 3.2. Esfuerzo vs Deformación (alambre tubular y gas de protección).
Fuente: (Propia)

Por último, la Figura 3.3. sirve para realizar un análisis comparativo de las probetas de los dos tipos de proceso de soldadura, las probetas soldadas con alambre tubular y gas de protección (CO₂) tienen menor resistencia a la tracción y mayor porcentaje de deformación que las probetas soldadas con alambre tubular autoprotegido.

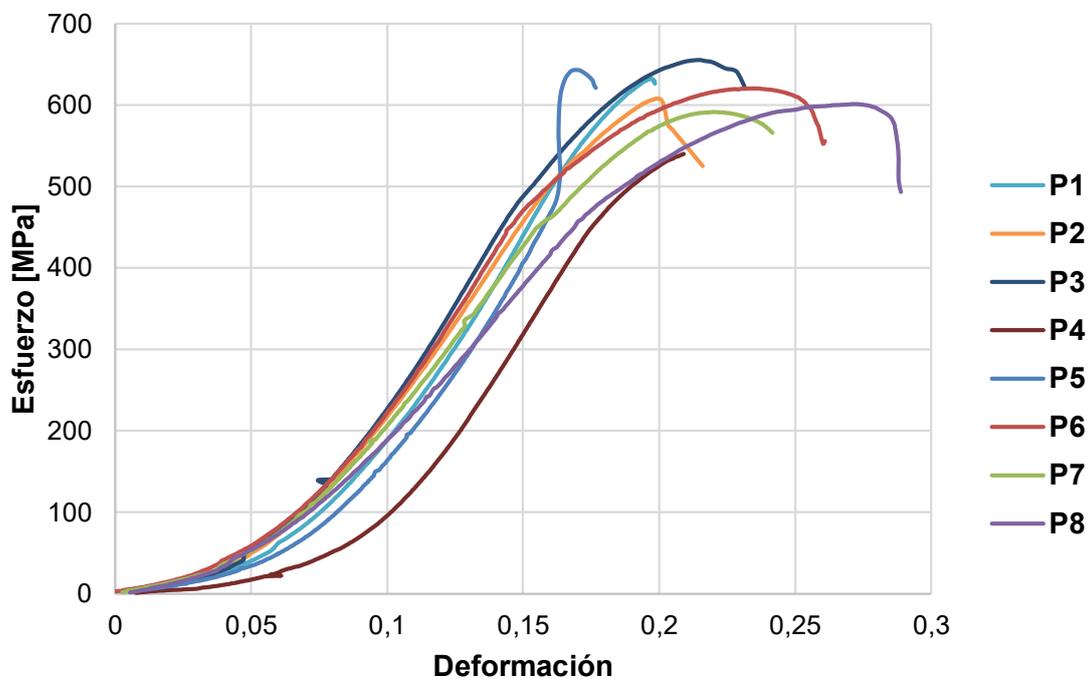


Figura 3.3. Esfuerzo vs Deformación (todas las probetas).
Fuente: (Propia)

3.3.3. Ensayo de doblado

En la Tabla 3.6. se muestran los resultados de los ensayos de doblado de raíz y cara realizados a todas las probetas soldadas y también se encuentra la aceptación o no, todo de acuerdo a la norma AWS D1.1 y API 1104.

Tabla 3.6. Resultados del ensayo de doblado de raíz y cara.

Probeta		Doblado de raíz	Doblado de cara	Cumplimiento según AWS D1.1	Cumplimiento según API 1104
P1	P1.1	Fractura total del cordón de soldadura	Fractura total del cordón de soldadura	No	No
	P1.2	Fractura total del cordón de soldadura	Fractura total del cordón de soldadura	No	No
P2	P2.1	Fractura total del cordón de soldadura	Fractura total del cordón de soldadura	No	No
	P2.2	Fractura total del cordón de soldadura	Fractura total del cordón de soldadura	No	No
P3	P3.1	Fractura total del cordón de soldadura	Discontinuidades de 3,26; 1,4 y 0,86 mm	No	No
	P3.2	Fractura total del cordón de soldadura	Fractura total del cordón de soldadura	No	No
P4	P4.1	Fractura total del cordón de soldadura	Discontinuidades de 9,4 y 0,84 mm	No	No
	P4.2	Discontinuidades de 0,54; 0,85 y 1,1 mm	Discontinuidades de 0,54; 0,85 y 1,1 mm	Si	Si
P5	P5.1	Discontinuidades de 2,89 mm	Discontinuidades de 14,87 mm	No	No
	P5.2	Discontinuidades de 20,58 mm	No hay discontinuidades	No	No
P6	P6.1	Fractura total del cordón de soldadura	Discontinuidades de 0,56 mm	No	No
	P6.2	Discontinuidades de 12,22 mm	No hay discontinuidades	No	No
P7	P7.1	Fractura total del cordón de soldadura	Discontinuidades de 1,12 y 3,87 mm	No	No
	P7.2	Fractura total del cordón de soldadura	Discontinuidades de 2,84 y 4,98 mm	No	No
P8	P8.1	Discontinuidades de 5,89; 3,22 y 1,06 mm	Discontinuidades de 1,9 mm	No	No
	P8.2	Fractura total del cordón de soldadura	Discontinuidades de 4,24; 2,23 y 0,80 mm	No	No

Fuente: LAEV, 2019

Teniendo en cuenta que se está trabajando con los códigos AWS D1.1 y API 1104, el primero nos especifica que no serán aceptadas las probetas que tengan fisuras mayores a 3 [mm] medidas en cualquier dirección sobre la superficie soldada y 6 [mm] en el borde excepto si esa fisura resulta de una inclusión de escoria, en este caso la fisura debe ser máximo 3 [mm]. En la segunda norma no serán aceptadas fisuras mayores a 3 [mm] y 6 [mm] en los bordes. Según los valores de la Tabla 3.6. y comparado con las normas, se puede observar que se aprueba solo la probeta P4.2, la misma que se realizó el proceso de soldadura con alambre tubular autoprotegido, precalentamiento y con tratamiento térmico de recocido.

Las imágenes de cada probeta en las que se realizó el ensayo de doblado se presentan desde la Tabla 3.7. hasta la Tabla 3.14.

Tabla 3.7. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P1.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P1	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P1.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P1.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada
	
P1.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P1.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.8. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P2.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P2	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P2.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P2.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada
	
P2.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P2.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.9. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P3.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P3	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P3.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P3.1: Discontinuidades de 3,26; 1,4 y 0,86 mm

	
P3.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P3.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.10. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P4.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P4	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P4.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P4.1: Discontinuidades de 9,4 y 0,84 mm
	
P4.2: Discontinuidades de 0,54; 0,85 y 1,1 mm	P4.2: Discontinuidades de 0,54; 0,85 y 1,1 mm

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.11. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P5.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P5	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P5.1: Discontinuidades de 2,89 mm	P5.1: Discontinuidades de 14,87 mm
	
P5.2: Discontinuidades de 20,58 mm	P5.2: No hay discontinuidades

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.12. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P6.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P6	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P6.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P6.1: Discontinuidades de 0,56 mm

	
P6.2: Discontinuidades de 12,22 mm	P6.2: No hay discontinuidades

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.13. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P7.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P7	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
P7.1: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P7.1: Discontinuidades de 1,12 y 3,87 mm
	
P7.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada	P7.2: Discontinuidades de 2,84 y 4,98 mm

Fuente: LAEV, 2019

Tabla 3.14. Resultados del ensayo de doblado de la probeta P8.

Ensayo de doblado de la probeta soldada P8	
Doblado de Raíz	Doblado de Cara
	
<p>P8.1: Discontinuidades de 5,89; 3,22 y 1,06 mm</p>	<p>P8.1: Discontinuidades de 1,9 mm</p>
	
<p>P8.2: Fractura total de la probeta por falta de ductilidad en la junta soldada</p>	<p>P8.2: Discontinuidades de 4,24; 2,23 y 0,80 mm</p>

Fuente: LAEV, 2019

3.3.4. Ensayo de dureza

Se efectúa la obtención de siete valores de dureza en las probetas preparadas anteriormente de las juntas soldadas, las mismas que se las realiza a una distancia promedio de 4 mm entre indentación. En la Figura 3.4., se observa cada una de estas indentaciones (I) que se las realiza en cada zona de la probeta soldada (material base, ZAC y cordón de soldadura).



Figura 3.4. Indentaciones de la junta soldada.
Fuente: (Propia)

A continuación, en la Tabla 3.15. se observan los valores de dureza que se obtuvieron en cada probeta soldada.

Tabla 3.15. Valores de dureza de cada probeta soldada.

Probeta	Escala	Zona						
		M. base (I1)	ZAC (I2)	Límite (I3)	Cordón (I4)	Límite (I5)	ZAC (I6)	M. base (I7)
P1	HRC	30	12	15	11	16	15	30
P2	HRC	23	19	11	6	15	19	28
P3	HRC	30	10	10	5	11	14	31
P4	HRC	14	6	6	4	5	6	9
P5	HRC	27	19	12	5	8	8	31
P6	HRC	28	21	16	8	14	13	27
P7	HRC	29	14	10	9	7	14	29
P8	HRC	16	7	11	9	15	7	17

Fuente: (Propia)

En la Figura 3.5. y Figura 3.6. se observa la variación de la dureza en las probetas soldadas con alambre tubular autoprotegido y con gas de protección, respectivamente.

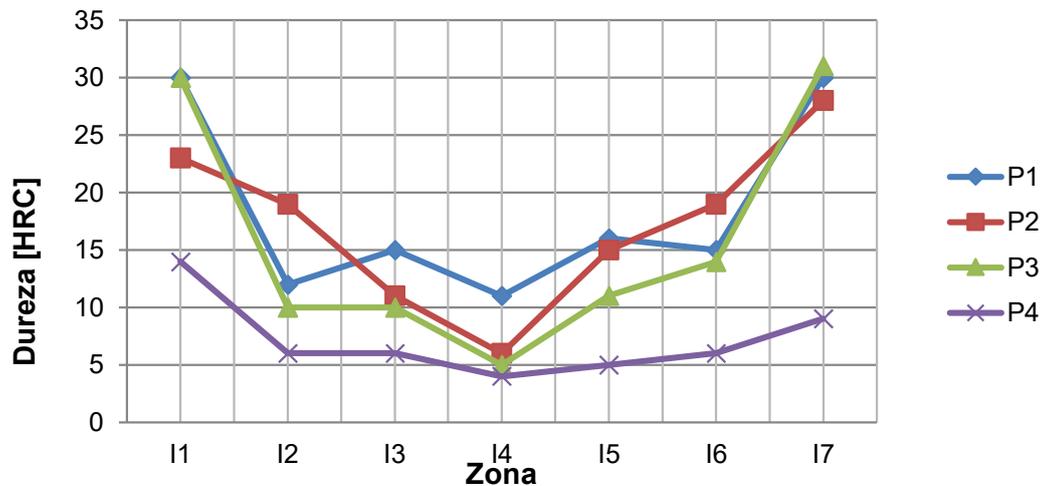


Figura 3.5. Indentaciones de las juntas soldadas con alambre tubular autoprotegido.
Fuente: (Propia)

Lo que se observa en la Figura 3.5. es que la dureza va bajando desde la probeta P1 hasta la P4 debido a cada uno de los procesos que fueron sometidas estas probetas. La probeta P4 es la que tiene la menor dureza y es la que estuvo sometida a los procesos de precalentamiento, enfriamiento lento y tratamiento térmico de recocido. En la Figura 3.6. se puede identificar que la probeta P8 tiene menor dureza que las anteriores, esto se debe a los procesos que se realizaron durante la soldadura y postsoldadura.

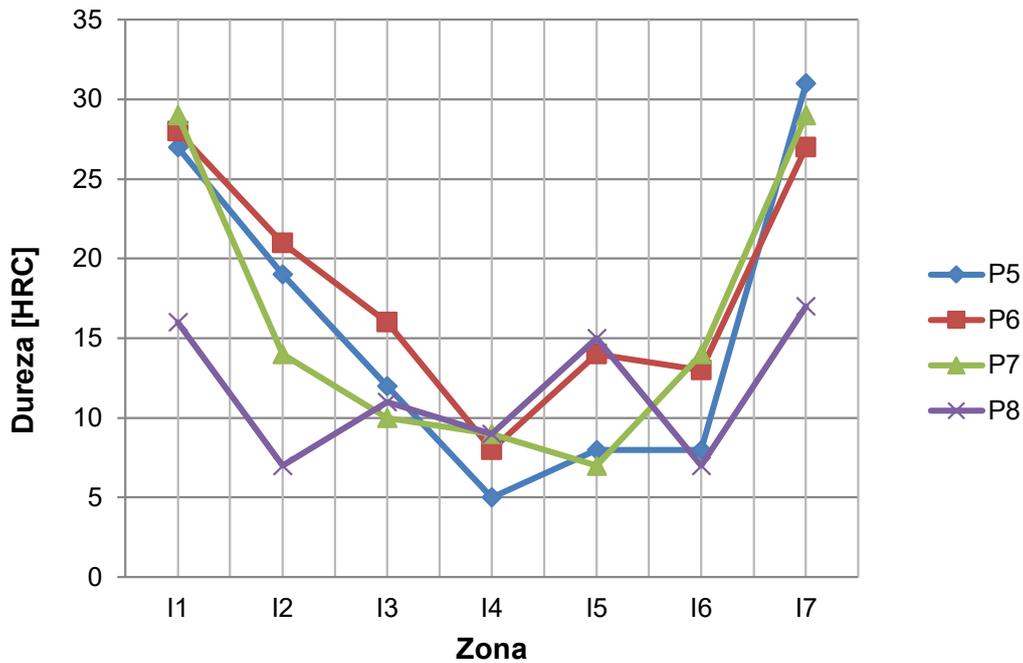


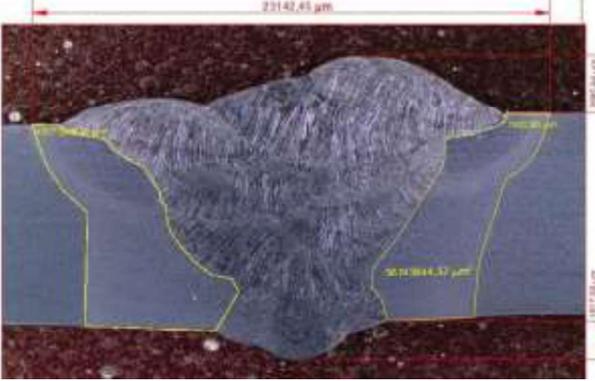
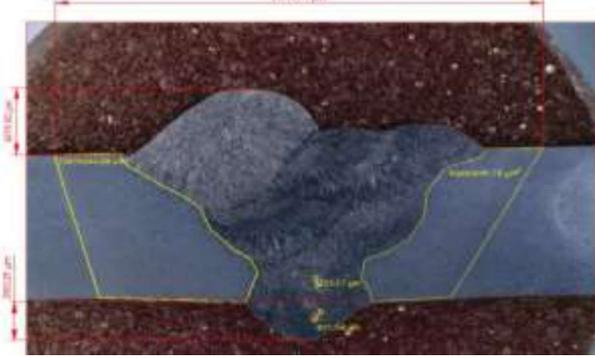
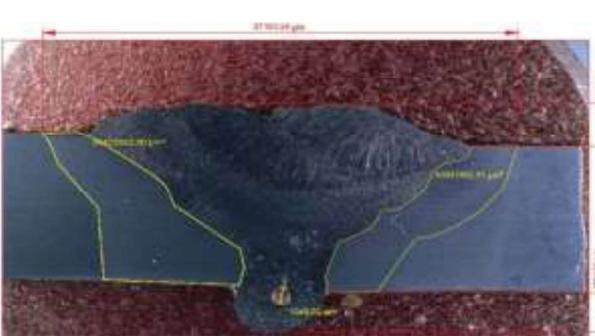
Figura 3.6. Indentaciones de las juntas soldadas con alambre tubular y gas de protección.
Fuente: (Propia)

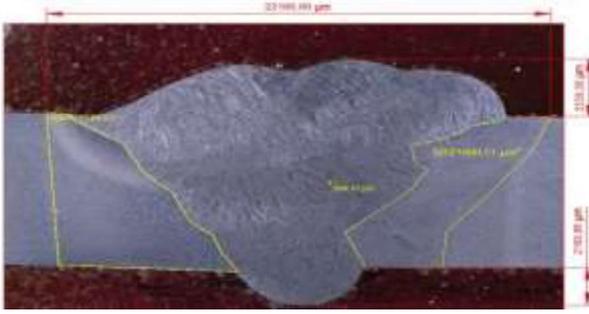
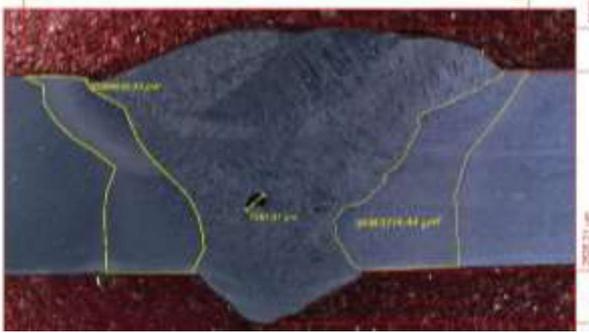
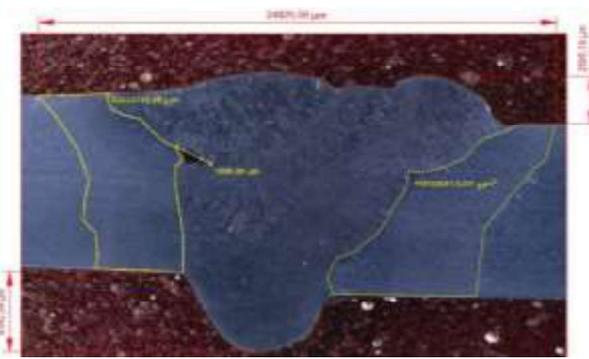
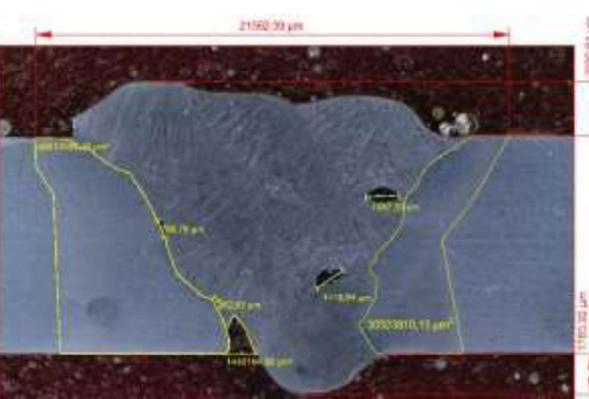
Al comparar la dureza de todas las probetas soldadas se determina que la probeta P4 y P8 son las que tienen menor dureza, y esta se encuentra localizada en el cordón de soldadura, debido a la baja resistencia a la tracción del alambre tubular.

3.3.5. Macrografía

Este análisis se lo realiza con la finalidad de identificar las zonas de la junta soldada (metal base, ZAC y cordón de soldadura) y también algún defecto en la soldadura. Se realiza el análisis macrográfico en las probetas preparadas y atacadas químicamente, a las mismas se efectúa una medición de la distancia que tiene entre la ZAC y la parte media de la soldadura y el área de la ZAC. En la Tabla 3.16. se presentan estas mediciones de cada una de las probetas.

Tabla 3.16. Resultados de macrografía de cada probeta soldada.

Probeta	Macrografía	Observaciones
P1		<p>La ZAC: 23,14 mm.</p> <p>Área de la ZAC: 80,3 mm².</p> <p>Sobremonta: 2,68 mm</p> <p>La raíz: 1,82 mm</p>
P2		<p>La ZAC: 26,57 mm.</p> <p>Área de la ZAC: 118mm².</p> <p>Sobremonta: 4,3 mm</p> <p>La raíz: 2,5 mm</p> <p>Poros: 0,87 y 0,72 mm</p>
P3		<p>La ZAC: 27,1 mm.</p> <p>Área de la ZAC: 94 mm².</p> <p>Sobremonta: 2,93 mm</p> <p>La raíz: 2,67 mm</p> <p>Poro: 1,4 mm</p>
P4		<p>La ZAC: 27,23 mm.</p> <p>Área de la ZAC: 94,5mm².</p> <p>Sobremonta: 2,39 mm</p> <p>La raíz: 3,2 mm</p> <p>Poro: 1,37 mm</p>

Probeta	Macrografía	Observaciones
P5		<p>La ZAC: 22,16 mm. Área de la ZAC: 83,4mm². Sobremonta: 3,33 mm La raíz: 2,17 mm</p>
P6		<p>La ZAC: 22,9 mm. Área de la ZAC: 66,8mm². Sobremonta: 2,09 mm La raíz: 2,52 mm Poros: 1,08 mm</p>
P7		<p>La ZAC: 24,82 mm. Área de la ZAC: 89,5mm². Sobremonta: 2,59 mm La raíz: 4,3 mm Falta de fusión: 1,89 mm</p>
P8		<p>La ZAC: 21,56 mm. Área de la ZAC: 79,9mm². Sobremonta: 2,39 mm La raíz: 1,78 mm Poros: 1,47 y 1,48 mm Falta de fusión: 0,78 mm Mordedura: 1,23 mm</p>

Fuente: (Propia)

La Tabla 3.17. muestra un análisis comparativo de la ZAC de cada probeta soldada con sus respectivas medidas, las mismas que se van a comparar con las normas AWS D1.1 y API 1104.

Tabla 3.17. Análisis comparativo de la ZAC de cada probeta soldada.

Probeta	Área de la ZAC [mm²]	Distancia de la ZAC [mm]
P1	80,3	23,14
P2	118	26,57
P3	94	27,1
P4	94,5	27,23
P5	83,4	22,16
P6	86,8	22,9
P7	89,5	24,82
P8	79,9	21,56

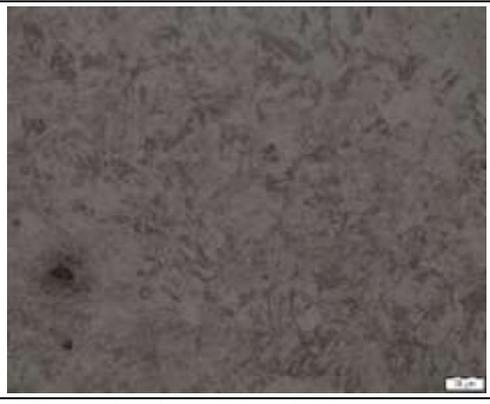
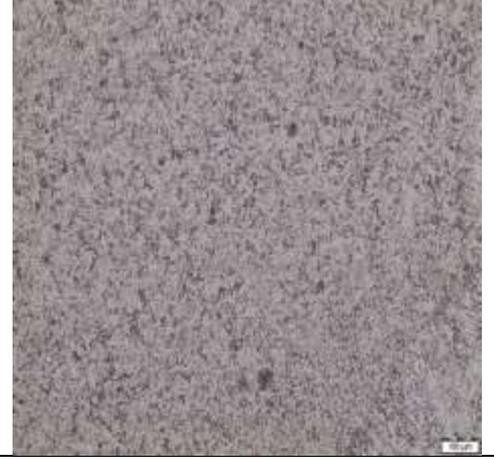
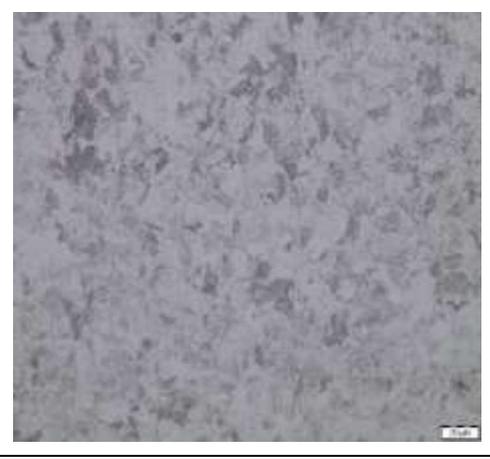
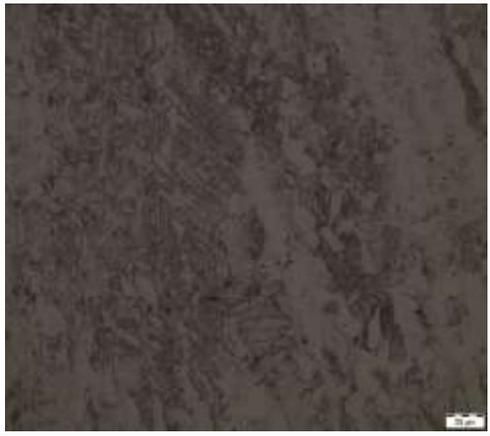
Fuente: (Propia)

Con las macrografías de las probetas soldadas identificadas en la Tabla 3.16., y los valores del área y la distancia de la ZAC de la Tabla 3.17., se puede observar que las probetas soldadas con alambre tubular autoprotegido son las que tienen mayor zona afectada por el calor que las soldadas con alambre tubular y gas de protección y la probeta P8 tiene menor área de ZAC que el resto de probetas soldadas.

3.3.6. Micrografía

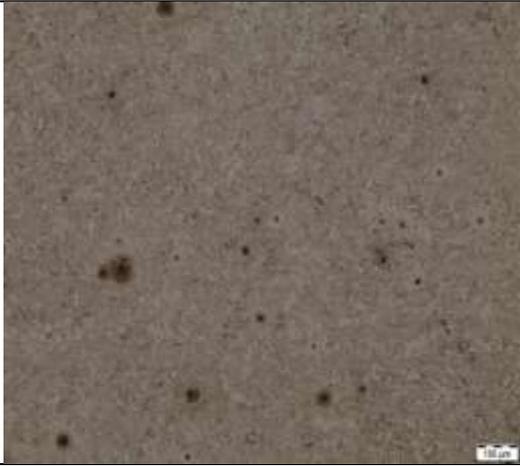
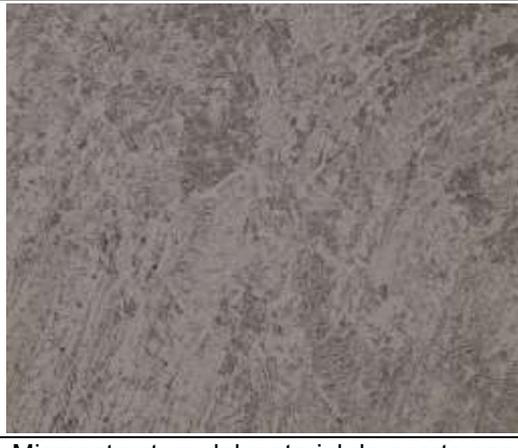
En las siguientes tablas que van desde la Tabla 3.18. a la Tabla 3.25. se observa imágenes del material base, interfase y material de aporte obtenidas del microscopio electrónico con 100x y 500x de aumento, en las mismas se puede determinar qué tipo de microestructura se encuentra en cada fase del cordón de soldadura, para determinar la influencia que causa la misma en las propiedades mecánicas de la soldadura.

Tabla 3.18. Análisis micrográfico de la probeta 1.

Id	Probeta 1	
Metal base		
	Microestructura del metal base con un aumento de 100x	Microestructura del metal base con un aumento de 500x cuya microestructura es martensita revenida
Interfase		
	Microestructura de la interfase con un aumento de 100x	Microestructura de la interfase con un aumento de 500x cuya microestructura observada es martensita revenida y ferrita
Material de aporte		
	Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x	Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x en donde la microestructura que se observa formación de martensita revenida y ferrita

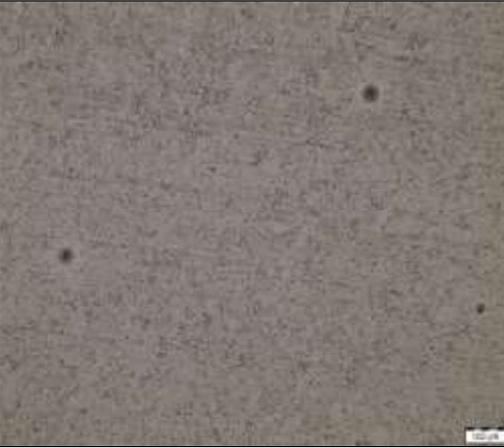
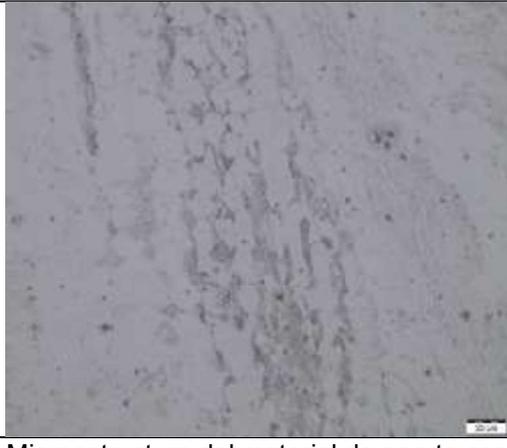
Fuente: (Propia)

Tabla 3.19. Análisis micrográfico de la probeta 2.

Id	Probeta 2	
Metal base		
	Microestructura del metal base con un aumento de 100x	Microestructura del metal base con un aumento de 500x cuya microestructura es martensita revenida y segregaciones
Interfase		
	Microestructura de la interfase con un aumento de 100x	Microestructura de la interfase con un aumento de 500x cuya microestructura observada es martensita revenida y ferrita
Material de aporte		
	Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x	Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x cuya microestructura observada es martensita y ferrita

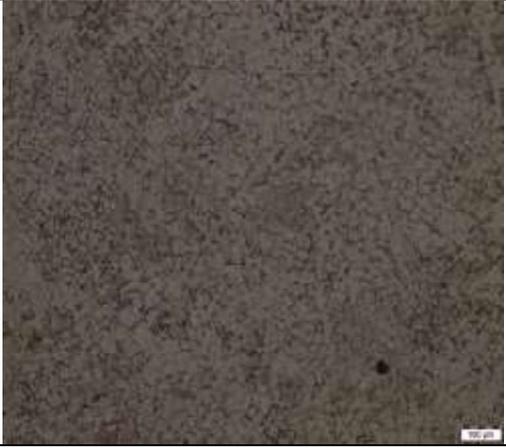
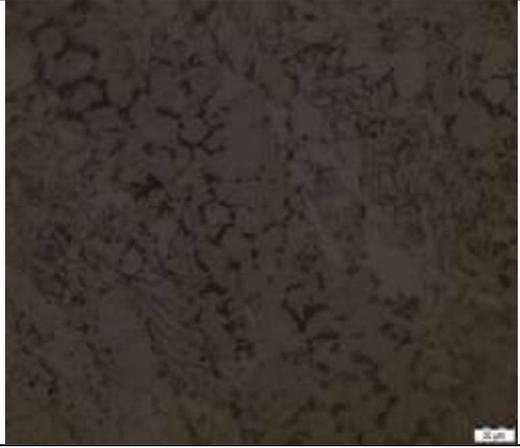
Fuente: (Propia)

Tabla 3.20. Análisis micrográfico de la probeta 3.

Id	Probeta 3	
Metal base		
	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 500x, se observa microestructura martensita revenida</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 500x, presenta martensita revenida</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x donde se observa ferrita</p>

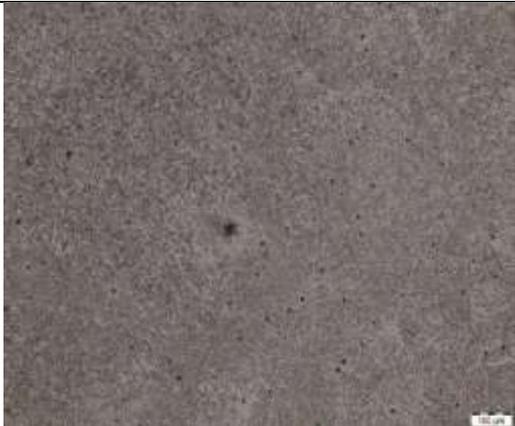
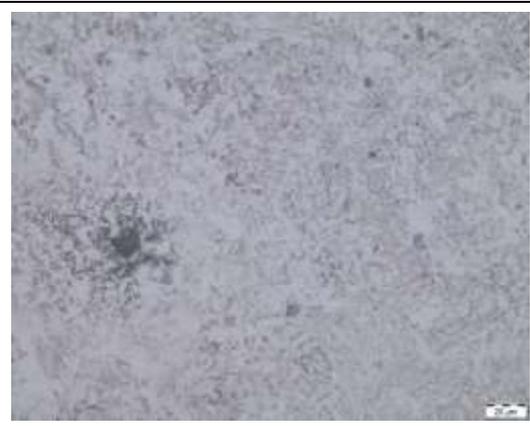
Fuente: (Propia)

Tabla 3.21. Análisis micrográfico de la probeta 4.

Id	Probeta 4	
Metal base		
	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 500x, presenta como microestructuras martensita revenida</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 500x cuya microestructura es ferrita y martensita revenida afectada por la temperatura del proceso de soldadura</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x cuya microestructura es ferrita</p>

Fuente: (Propia)

Tabla 3.22. Análisis micrográfico de la probeta 5.

Id	Probeta 5	
Metal base		
	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del metal base con aumento de 500x, presenta microestructura de martensita revenida</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 500x donde se observa martensita revenida y ferrita como microestructura</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x cuya microestructura es ferrita</p>

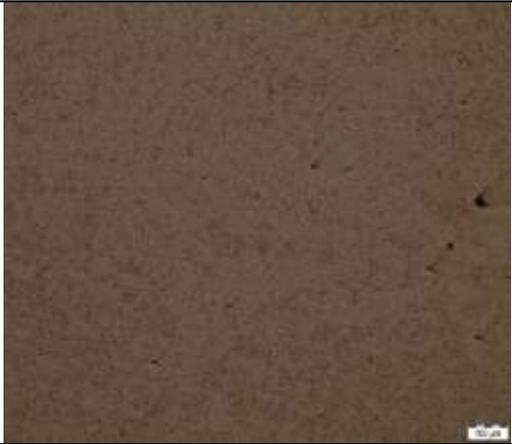
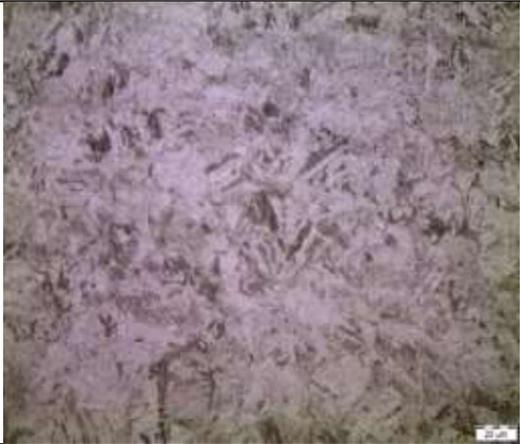
Fuente: (Propia)

Tabla 3.23. Análisis micrográfico de la probeta 6.

Id	Probeta 6	
Metal base		
	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 500x, presentando martensita revenida</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 500x, presenta martensita revenida y ferrita</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x ferrita</p>

Fuente: (Propia)

Tabla 3.24. Análisis micrográfico de la probeta 7.

Id	Probeta 7	
Metal base		
	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 500x donde se observa como microestructuras martensita revenida</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 100x donde se observa la presencia de dos zonas, la una que es del material base que se observa martensita revenida y en la zona del material de aporte donde la microestructura que se observa es ferrita y martensita revenida</p>	
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 500x cuya microestructura es ferrita</p>

Fuente: (Propia)

Tabla 3.25. Análisis micrográfico de la probeta 8.

Id	Probeta 8	
Metal base		
	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del metal base con un aumento de 500x, presenta martensita revenida, también se tiene presencia de inclusiones de cobre</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura de la interfase con un aumento de 500x cuya microestructura es ferrita y martensita revenida</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con un aumento de 100x</p>	<p>Microestructura del material de aporte con aumento de 500x donde se observa ferrita e inclusiones de cobre</p>

Fuente: (Propia)

Tabla 3.26. Análisis micrográfico del material base.

Material Base	
	
Microestructura del metal base con un aumento de 100x	Micrografía del material base con aumento de 500x, donde se observa microestructura martensítica revenida

Fuente: (Propia)

3.4. Discusión de resultados

A continuación, se presenta el análisis de los resultados de cada probeta, cada una diferenciada por el proceso realizado entre pases, postsoldadura y el tipo de alambre tubular utilizado en el proceso de soldadura. En la Tabla 3.27. se muestra los procesos que se realizaron a cada probeta.

Tabla 3.27. Procesos de cada probeta soldada.

Probeta	Procesos durante y después de la soldadura	Alambre tubular utilizado
P1	Sin proceso	Alambre tubular autoprotegido
P2	Pre calentamiento	Alambre tubular autoprotegido
P3	Pre calentamiento y enfriamiento lento	Alambre tubular autoprotegido
P4	Pre calentamiento, enfriamiento lento y tratamiento térmico (recocido)	Alambre tubular autoprotegido
P5	Sin proceso	Alambre tubular con gas de protección (CO ₂)
P6	Pre calentamiento	Alambre tubular con gas de protección (CO ₂)
P7	Pre calentamiento y enfriamiento lento	Alambre tubular con gas de protección (CO ₂)
P8	Pre calentamiento, enfriamiento lento y tratamiento térmico (recocido)	Alambre tubular con gas de protección (CO ₂)

Fuente: (Propia)

De acuerdo a los resultados de cada uno de los ensayos efectuados a cada probeta soldada, se puede identificar cual fue el alambre tubular y el proceso que se realizó durante y después de la soldadura tiene mejores resultados.

Las probetas (P1 a la P4) que fueron soldadas con alambre tubular autoprotegido, la mayoría tiene alto índice de falta de penetración, debido a que no tiene una fuente de corriente estable y por tal motivo al momento de realizar el cordón de soldadura se tenía que regular constantemente el voltaje. Por este problema y al tener alta resistencia mecánica, el ensayo de doblado no cumplió con la norma AWS D1.1 y API 1104, las primeras tres probetas se fracturaron totalmente, la última llega a doblarse por el tratamiento térmico de recocido. Se tiene mejores resultados con las probetas soldadas con alambre tubular y gas de protección, ya que la mayoría llega a doblarse y el defecto de fusión incompleta en un 98%, tal como se muestra en el informe del ensayo de radiografía.

En la Figura 3.7. se observa que las probetas que fueron soldadas con alambre tubular y gas de protección (CO₂) tienen un incremento del 11% en la deformación, la probeta P8 tiene la mayor deformación, debido al tratamiento térmico que se le realizó en el horno a 600 °C por una hora y enfriado en el mismo horno. Con este tratamiento se logró reducir la formación de estructura martensita. La probeta P4 fue realizada con los

mismos procesos, durante la soldadura y postsoldadura, pero en este caso se tiene el problema que al tener excesiva falta de penetración, el cordón de soldadura es muy frágil y esto se verifica con la resistencia a la tracción de 480 (MPa), la menor de todas las probetas.

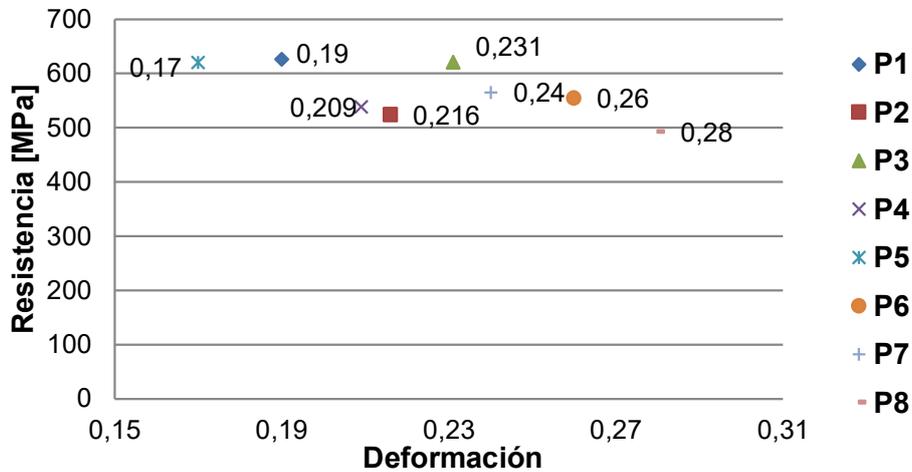


Figura 3.7. Resistencia última a la tracción vs deformación.
Fuente: (Propia)

A las probetas que se realizó el tratamiento térmico de postsoldadura tienen la menor dureza que el resto de probetas, como se muestra en las Figura 3.5. y Figura 3.6., debido a que el recocido reduce tensiones internas en la probeta soldada, los granos están mejor distribuidos en cada zona y tienen mayor tamaño, por este motivo tiene menor dureza.

Las probetas P1 y P5, al no tener ningún proceso durante la soldadura y postsoldadura, los valores de durezas mostradas en la Figura 3.5. y Figura 3.6., respectivamente, son los más altos que el resto de probetas soldadas. De igual manera los valores de resistencia a la tracción de estas dos probetas son altos, esto se debe a la formación de martensita revenida en el cordón de soldadura, ya que la misma otorga alta dureza y resistencia mecánica a la soldadura, lo que ocasiona que la junta soldada se vuelva frágil y tienda a la fisura y agrietamiento, la presencia de bainita también es responsable de la fragilidad en estas probetas.

La dureza en la interfase es un aspecto que se debe considerar. Las probetas P1, P2, P3, P5, P6 y P7 presentan mayor dureza en el material base e inicio y fin de la zona afectada por el calor como detalla la Figura 3.5. y Figura 3.6., la presencia de martensita revenida y los diferentes procesos a los que fueron sometidos durante el proceso de soldadura cada probeta son las responsables de esta dureza superior. Al comparar con

los dos tipos de alambres tubulares utilizados y en promedio se puede observar que son similares las durezas en cada zona del cordón de soldadura.

El tratamiento térmico de postsoldadura que se realizó a las probetas P4 y P8, se observa una notable disminución de la dureza y un aumento de ductilidad en comparación a las demás probetas. La reducción de la microestructura martensita revenida y el tratamiento térmico de recocido que se realizó en dichas probetas justifica la baja dureza y mayor ductilidad con respecto a las demás probetas usadas en esta investigación. Al comparar los valores de dureza de cada tipo de alambre tubular utilizado, se puede observar que se obtiene mayor dureza en cada una de las zonas con el alambre tubular con gas de protección (outershield).

Todos los resultados que se obtuvieron en cada uno de los ensayos realizados a cada una de las probetas soldadas se compararon con los códigos AWS D1.1 y API 1104, las mismas que al verificar sus valores con las normas en el proceso de radiografía, se determina que el proceso de soldadura FCAW innershield no pasa, ya que excede al valor máximo de falta de penetración que es 50 mm (2 pulgadas), como se indica en el ANEXO IV. A continuación, en la Tabla 3.28. se observa el análisis radiográfico de cada tubería soldada, teniendo en cuenta que, para poder realizar la radiografía de todo el contorno de la soldadura se tuvo que dividir en 5 tramos la tubería y cortar la película de 13 cm para cada tramo.

Tabla 3.28. Defectos encontrados en el ensayo de radiografía de las tuberías soldadas.

Probeta	Defectos										Cumple según AWS D1.1	Cumple según API 1104
	Inclusiones de escoria					Fusión incompleta						
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5		
P1	10	8	11	3	--	48	32	50	60	64	No	No
P2	8	6,5	3	19	8	37	71	72	55	--	No	No
P3	14,5	9	8	8,5	15	10	59	20	16	11	No	No
P4	12,5	2,5	10	12	--	58	35	61	70	39	No	No
P5	33	9	0,5	5	--	--	--	--	--	--	No	No
P6	26	19	17	24	12	--	--	--	--	--	No	No
P7	2	17	16	5	17	4	--	8	--	--	No	No
P8	22	13	20	38	42	--	--	--	--	--	No	No

* T: Tramo (mm)

Fuente: (Propia)

Las últimas probetas que van desde la P5 hasta la P8 y que fueron soldadas con el proceso outershield tienen una fusión completa en cada uno de los pases de soldadura y aprueban con las dos normas, en cambio las otras probetas que fueron soldadas con el otro proceso (innershield) tienen fusión incompleta que ninguna de las dos normas

aceptaría. Por otro lado, observamos que en todas las probetas tenemos como defecto la inclusión de escoria, con menor dimensión en las probetas soldadas con el proceso innershield (P1-P4) pero, que de igual manera ninguna probeta aprueban con las dos normas.

A continuación, en la Tabla 3.29. se encuentran los valores de la comparación química de la tubería casing P110, tanto la que se obtuvieron por el equipo de espectrometría de chispa y los que se encuentra en la norma API 5CT.

Tabla 3.29. Comparación de la composición química de la tubería casing P110.

Elemento	Valor de laboratorio (%)	Valor norma API 5CT
Carbono (C)	0,225	0,26 - 0,35
Manganeso (Mn)	1,206	0,40 - 0,70
Cromo (Cr)	0,131	0,8 - 1,10
Silicio (Si)	0,166	0,17 - 0,36
Níquel (Ni)	0,028	0,2
Cobre (Cu)	0,013	0,2
Fosforo (P)	-	≤ 0,02
Azufre (S)	-	≤ 0,01
Aluminio (Al)	0,033	-
Titanio (Ti)	0,020	-
Hierro (Fe)	98,16	97,93 – 97,06

Fuente: (Propia)

Se observa que existe variación en los valores de la composición química, esto puede ser por el motivo de que la tubería es usada y se desconoce a los químicos a los que estuvo en contacto en toda su vida útil, por otro lado, otro motivo puede ser que la tubería se encuentra almacenada a la intemperie y eso hace que la misma se deteriore por la corrosión y otros agentes externos que se encuentra en el medio ambiente.

En resumen, para una tubería de revestimiento API 5CT del tipo P110 y que se utilizó el proceso de soldadura FCAW innershield y outershield, se debe tener en cuenta el proceso de precalentamiento a 200 °C controlando la misma en cada pase que se realice, el pase de raíz se debe realizar con proceso SMAW para una mayor penetración, un enfriamiento lento en arena de sílice para que la temperatura baje lentamente y no haya choque térmico y por último el tratamiento térmico de recocido efectuado en el horno a 600 °C, recomendando mantener la temperatura mínima por una hora y enfriado en el mismo horno lentamente.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se lograron los objetivos planteados en el presente proyecto, estableciendo cual es mejor proceso de soldadura FCAW (innershield y outershield) para soldar la tubería API 5CT del tipo P110. Con los resultados obtenidos en los diferentes ensayos que se efectuó a cada probeta, se determina que el proceso FCAW con alambre tubular y gas de protección CO₂ (outershield) tiene mejores resultados.
- Con los resultados que se obtuvieron en los ensayos de tracción y composición química realizados al material base se determina que es una tubería API 5 CT del tipo P110.
- Los resultados del ensayo de dureza de cada probeta están relacionados con la microestructura de cada zona de la probeta soldada, siendo la martensita revenida la microestructura predominante en la mayoría de probetas.
- Las probetas P4 y P8 que se realizaron tratamiento térmico de recocido tienen una microestructura de tipo martensita revenida en la junta soldada dando como resultado una mayor deformación en los ensayos a tracción.
- Las propiedades mecánicas y la ZAC de cada junta soldada, que se elaboró con dos procesos de soldadura FCAW, no tienen diferencias marcadas entre sí, pero, la probeta P8 tiene mejores propiedades y un área menor de ZAC.
- Se tiene que hay una mayor cuantificación de calor entregado (Heat Input) en las probetas P1 y P5, las mismas no sufrieron ni precalentamiento ni tratamiento térmico luego de ser soldadas.
- En las probetas P1 y P5 la fractura de la zona soldada es de tipo frágil.
- Los defectos predominantes observados con END en las juntas soldadas son poros en su mayoría y falta de penetración en el pase raíz como entre pases.
- La tubería API 5CT del tipo P110 tiene baja soldabilidad, esto se determinó con la ayuda del valor del carbono equivalente, el diagrama de Graville y la norma AWS D1.1.

4.2. Recomendaciones

- Al ser la tubería API 5CT del tipo P110 una de las que tiene mayor resistencia mecánica a comparación de los otros tipos, se debe realizar el pase de raíz con el proceso de soldadura SMAW y electrodo E-6010, para tener mejores resultados al momento de realizar los ensayos y evitar defectos como la falta de penetración.
- Para reducir la penetración incompleta y mejorar los resultados obtenidos de los ensayos realizados a cada probeta, se debe controlar que la fuente de corriente sea estable.
- Antes de utilizar un proceso de soldadura en alguna tubería usada, se debe realizar un análisis químico y un ensayo a tracción a la tubería, esto para determinar el mejor proceso de soldadura y mejor electrodo para la aplicación que se va a emplear.
- Al momento de realizar el proceso de soldadura en campo, es recomendable la utilización de un elemento que nos ayude a controlar el enfriamiento lento, estos elementos pueden ser mantas térmicas.
- Cuando se vayan a realizar la extracción de las probetas para realizar los diferentes ensayos destructivos, no destructivos, se debe efectuar con una cortadora con enfriamiento a base de agua, esto para no cambiar la microestructura de las probetas.
- Se recomienda usar el criterio de resistencia mecánica del material de aporte menor que la resistencia del material base (undermatching) cuando las cargas que va a resistir la junta soldada sean menores a las cargas que va a resistir el electrodo.
- Para la soldadura de tubería API 5CT se recomienda realizar una limpieza con grata de la superficie para poder eliminar residuos de corrosión y evitando de esta manera contaminación del cordón de soldadura.
- Para mejorar los resultados en el proceso de soldadura con alambre tubular y gas de protección se debe elegir un alambre tubular que utilice una mezcla de gases, estos pueden ser argón y CO₂, un ejemplo es el E71T-1M
- Se debe realizar un estudio más profundo en el ámbito de método de enfriamiento, precalentamiento y tratamiento térmico para reducir las tensiones internas y mejorar la ductilidad del material.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aceros Bohler del Ecuador. (2010). Manual de Tratamientos Térmicos de Aceros Especiales Bohler.
- American Petroleum Institute. (1999). *Recommended Practice for Care and Use of Casing and Tubing* (Vol. Octava). USA.
- American Petroleum Institute. (2010). *Specification for Casing and Tubing (5CT)*. USA: API Publishing Services.
- American Petroleum Institute. (2012). *Specification for Casing and Tubing* (Vol. Noveno). USA.
- American Petroleum Institute. (2013). *Welding of Pipelines and related facilities (1104)*. EEUU: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.
- American Welding Society. (2000). *Manual de Soldadura*. Mexico: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.
- American Welding Society. (2010). *Structural Welding Code- Steel*. Estados Unidos.
- American Welding Society. (2010). *Structural Welding Code- Steel*. Estados Unidos.
- Apraiz, J. (1971). *Tratamiento Térmico de los Aceros* (Vol. VII). Madrid: Dossat S.A.
- ASM Handbook. (1993). *Metallography and Microstructure* (Vol. IX). USA: ASM International.
- Avner, S. (1988). *Introducción a la Metalurgia Física* (Vol. II). México: McGraw Hill.
- Budynas, R., & Nisebett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Vol. IX). México: McGraw Hill.
- Cely, M., Sotomayor, V., & Oviedo, F. (2016). *Guía de Prácticas Laboratorio de Ensayos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cesol. (2012). *Soldeo con Alambre Tubular*. España.
- Foundation The James F. Lincoln Arc Welding. (1997). *Welding Innovation*. 28.
- Indura. (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Chile: Ograma.
- Kalpakjian, S., & Schmid, R. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (Vol. V). México: Pearson Education.

Martínez, J. (2011). Consideraciones técnicas para la selección de tubería de Revestimiento del pozo estratigráfico profundo ANH-BVTURA.

Senati. (2014). *Soldadura con Alambre Tubular*.

Soldadura con Alambre Tubular. (2014). In SENATI.

Sornoza, L. (2014). *Estudio de la Utilización de Tubería API 5CT Nivel IV mediante Proceso de Soldadura en Aplicaciones Estructurales*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Tamsa. (2011). *Tuberías*. México.

6. ANEXOS

6.1. ANEXO I. Composición del material base



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Ing. Galo Homero Barragán C. Msc.

Tipo de Trabajo: Espectrometría por chispa

Fecha: 18 de febrero del 2019

Realizado por: Ing. Oscar Sotomayor/Ing. Luis G. Huilca

Descripción: Muestra de material metálico.

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una probeta de material metálico.

Se solicita realizar la prueba de espectrometría con la finalidad de determinar los componentes presentes en la muestra entregada.

2. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA.

La probeta para el análisis correspondiente es identificada como
continuación:



Nombre	Identificación de la probeta	Identificación Gráfica
Pipe Sample	M 1	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



3. ANTECEDENTES TÉCNICOS

3.1. **Limpieza Superficial:** Según norma ASTM E415 – 17 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry

3.2. **Método:** Fe 110 Low Alloy

4. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se tomaron 3 mediciones en distintos puntos del espécimen y finalmente se promediaron los valores respectivos:

		M 1
Elemento		Valor [%]
Carbono	[C]	0,225
Silicio	[Si]	0,166
Manganeso	[Mn]	1,206
Cromo	[Cr]	0,131
Níquel	[Ni]	0,028
Cobre	[Cu]	0,013
Aluminio	[Al]	0,033
Titanio	[Ti]	0,020
Hierro	[Fe]	98,16
Total		99,98

Ing. Luis G. Huilca

Técnico Responsable

Ing. Oscar E. Sotomayor Msc.

Jefe del Laboratorio de Fundición.



Con la finalidad de mejorar nuestros servicios, solicitamos de la manera más comedida se llene la encuesta mediante la captura del código QR adjunto, agradecemos su colaboración.

Bruker Analysis Report



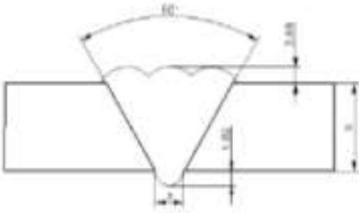
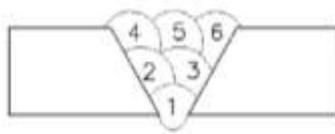
Sample: M1

Analysis Time: 15.02.2019 14:30:44

Method: Fe110

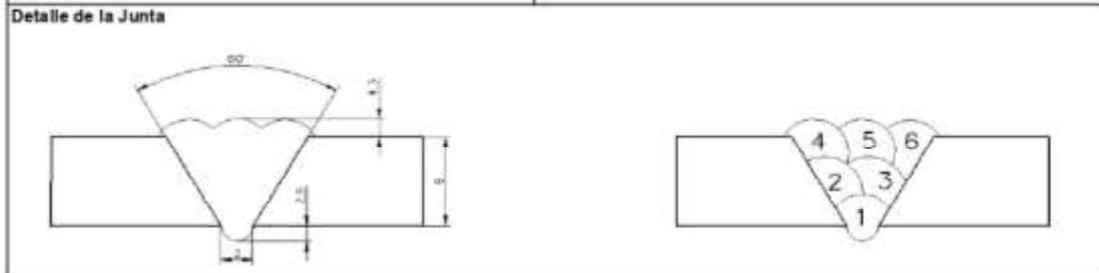
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,225	0,166	1,206	0,0057	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,131	<0,0060	0,028	0,013	0,033
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,0086	<0,0050	0,020	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0030	<0,0020	98,16		

6.2. ANEXO II. WPS

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-001 Según norma: AWS D1.1		No. identificación: WPS-EPN-FIM-001 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar besel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tuberia <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: N/A						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---		Artículo VII. Notas						
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Volts]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	150	17	54,38	x	
2	E71T-11	1,2	DC-	128,5	17	142,32	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	139,32	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	195,92	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	173,47	x	
6	E71T-11	1,2	DC-	128,5	17,4	174,15	x	

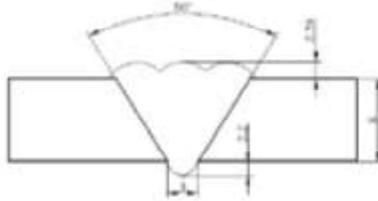
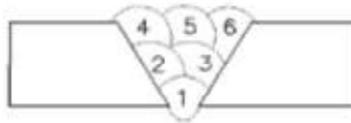
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

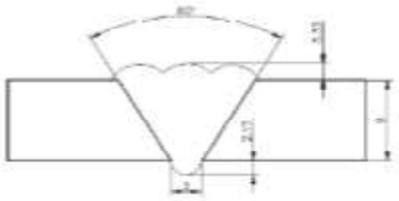
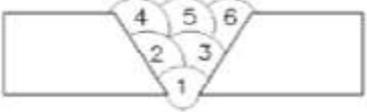
Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-002 Según norma: AWS D1.1	No. Identificación: WPS-EPN-FIM-002 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)	Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha: <input type="checkbox"/> Un pase <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20	Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200[°C]
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---	Artículo VII. Notas



No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	89	13,4	51,75	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	143	16	134,21	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	143	16	122,93	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	143	16	127,58	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	143	16	125,39	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	143	16	103,75	x	

		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO						
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-003 Según norma: AWS D1.1			No. Identificación: WPS-EPN-FIM-003 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán					
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Método: Amoladora			Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata					
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)			Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>					
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20			Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]					
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---			Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice					
Detalle de la Junta								
								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Volios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	88,5	13,2	61,98	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	140	16	122,93	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	140	17,2	109,72	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	140	17,2	185,96	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	145	17,2	127,95	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	145	16,9	179,13	x	

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-004 Según norma: AWS D1.1		No. Identificación: WPS-EPN-FIM-004 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> sí Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200[°C]						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---		Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice Tratamiento térmico de recocido en horno a 600[°C] por una hora y enfriamiento en el mismo horno						
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	95,5	13,5	53,19	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	130	16	96,45	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	139	17,8	107,3	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	139	17	144,84	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	139	17	144,84	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	139	17	171,43	x	

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-005 Según norma: AWS D1.1		No. Identificación: WPS-EPN-FIM-005 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: N/A						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25L/min		Artículo VII. Notas						
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1.2	DC+	150	17	61.81	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	E71T-1C	1.2	DC+	180	19.6	134.62	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	142.95	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	205.08	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	214.08	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	276.02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



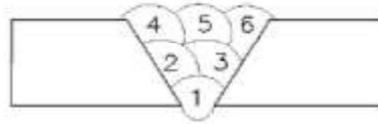
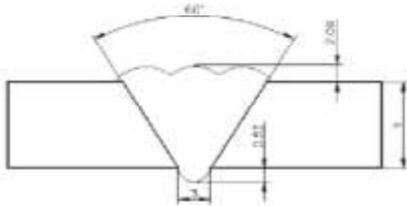
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-006 Según norma: AWS D1.1	No. Identificación: WPS-EPN-FIM-006 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Método: Amoladora	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)	Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha: <input type="checkbox"/> Un pase <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20	Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25 L/min	Artículo VII. Notas

Detalle de la Junta



No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1,2	DC+	128	17,9	84,07	x	
2	E71T-1C	1,2	DC+	134,5	19,7	133,8	x	
3	E71T-1C	1,2	DC+	137	20,5	182,1	x	
4	E71T-1C	1,2	DC+	137	20,5	207,01	x	
5	E71T-1C	1,2	DC+	137	20,5	207,01	x	
6	E71T-1C	1,2	DC+	132,5	20,2	199,49	x	



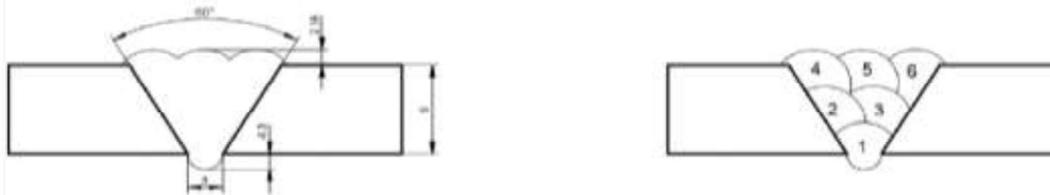
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: WPS-EPN-FIM-007	
PQR No: PQR-EPN-FIM-007		Revisado por: Msc. Velastegui	
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán	
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata	
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha: <input type="checkbox"/> Un pase <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>	
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]	
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO ₂ Caudal: 25 L/min		Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice	

Detalle de la Junta



No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1,2	DC+	131	17,8	69,44	x	
2	E71T-1C	1,2	DC+	130	20	188,36	x	
3	E71T-1C	1,2	DC+	130	20	211	x	
4	E71T-1C	1,2	DC+	134,5	20	198,58	x	
5	E71T-1C	1,2	DC+	136,5	20	203,18	x	
6	E71T-1C	1,2	DC+	135,5	20	194,19	x	

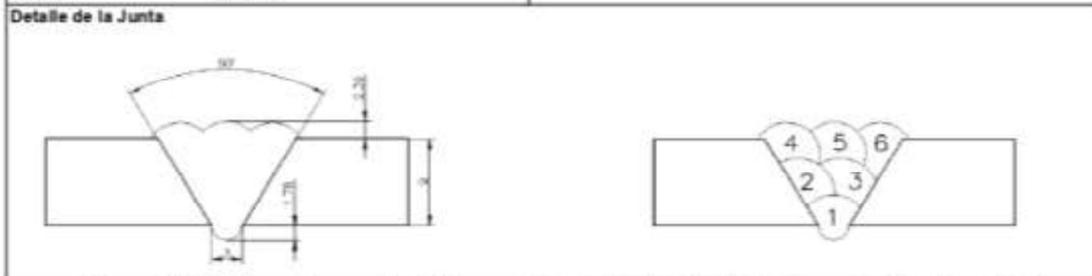


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



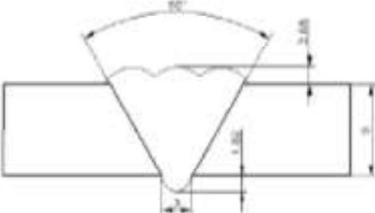
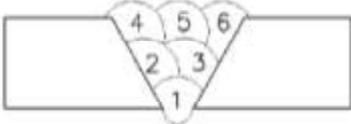
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Organización: Escuela Politécnica Nacional PQR No: PQR-EPN-FIM-008 Según norma: AWS D1.1	No. identificación: WPS-EPN-FIM-008 Revisado por: Msc. Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)	Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20	Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25 Lit/min	Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílica Tratamiento térmico de recocido en horno a 600 [°C] por una hora y enfriamiento en el mismo horno



No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1.2	DC+	134.5	18	98.62	x	
2	E71T-1C	1.2	DC-	154	20	207	x	
3	E71T-1C	1.2	DC+	137.5	21	172.1	x	
4	E71T-1C	1.2	DC+	137.5	21	198.58	x	
5	E71T-1C	1.2	DC-	139.5	21	284.98	x	
6	E71T-1C	1.2	DC+	143	21	219.44	x	

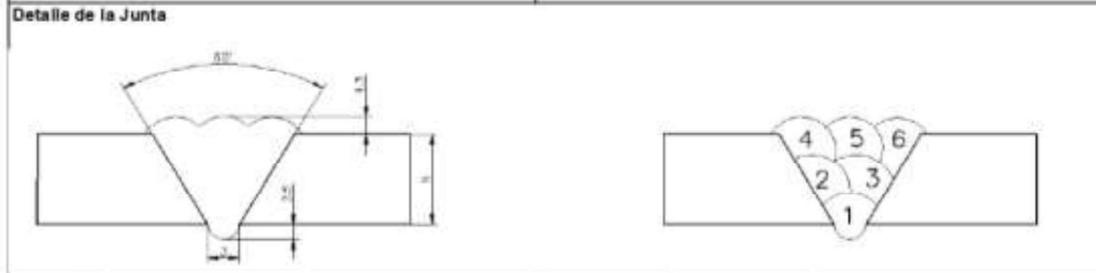
6.3. ANEXO III. PQR

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-001 Según norma: AWS D1.1		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-001 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: N/A						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---		Artículo VII. Notas						
Detalle de la Junta <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	150	17	54,38	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	142,32	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17	139,32	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	195,92	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	173,47	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	128,5	17,4	174,15	x	

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-001				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-001		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,04	9,33	186,97	120,47	644,3	Junta soldada
2	20,21	9,16	185,12	121,18	654,6	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo	Hallazgo	Resultados				
Cara	Fractura total	Rechazada				
Raíz	Fractura total	Rechazada				
RADIOGRAFÍA						
Toma	Defectos	Resultados				
1	IE, FP	Rechazada				
2	IE, FP	Rechazada				
3	IE, FP	Rechazada				
4	IE, FP	Rechazada				
5	IE, FP	Rechazada				
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

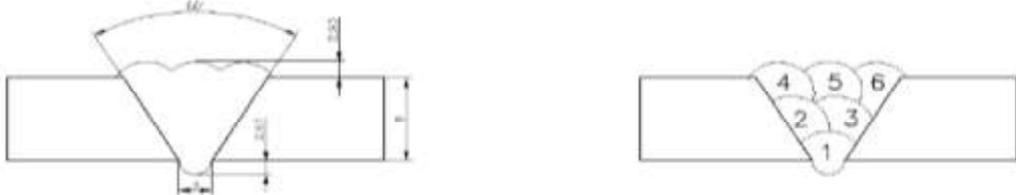
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)

Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-002 Según norma: AWS D1.1	No. Identificación: PQR-EPN-FIM-002 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)	Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20	Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200[°C]
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---	Artículo VII. Notas



No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	89	13,4	51,75	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	143	16	134,21	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	143	16	122,93	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	143	16	127,58	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	143	16	125,39	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	143	16	103,75	x	

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-002				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-002		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,11	9,44	189,83	115,70	609,5	ZAC
2	20,12	9,67	194,56	112,86	680,1	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo		Hallazgo		Resultados		
Cara		Fractura total		Rechazada		
Raíz		Fractura total		Rechazada		
RADIOGRAFÍA						
Toma		Defectos		Resultados		
1		IE, FP		Rechazada		
2		IE, FP		Rechazada		
3		IE, FP		Rechazada		
4		IE, FP		Rechazada		
5		IE, FP		Rechazada		
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO								
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-003 Según norma: AWS D1.1		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-003 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán						
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Método: Amoladora		Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: sí <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata						
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)		Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>						
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20		Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]						
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---		Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice						
Detalle de la Junta 								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1.2	DC+	88.5	13.2	61.98	x	
2	E71T-11	1.2	DC+	140	16	122.93	x	
3	E71T-11	1.2	DC+	140	17.2	109.72	x	
4	E71T-11	1.2	DC+	140	17.2	185.96	x	
5	E71T-11	1.2	DC+	145	17.2	127.95	x	
6	E71T-11	1.2	DC+	145	16.9	179.13	x	

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-003				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-003		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,30	9,42	191,22	124,69	652,1	Junta soldada
2	19,93	9,72	193,71	122,13	630,5	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo		Hallazgo		Resultados		
Cara		Fractura total		Rechazada		
Raíz		Fractura total		Rechazada		
RADIOGRAFÍA						
Toma		Defectos		Resultados		
1		IE, FP		Rechazada		
2		IE, FP		Rechazada		
3		IE, FP		Rechazada		
4		IE, FP		Rechazada		
5		IE, FP		Rechazada		
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)

Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-004 Según norma: AWS D1.1	No. identificación: PQR-EPN-FIM-004 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Método: Amoladora	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Amoladora y grata
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)	Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha: <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-11 Casa comercial: KISWEL Especificación AWS: A5.20	Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200[°C]
Artículo VI. Gas Protector Tipo: --- Caudal: ---	Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice Tratamiento térmico de recocido en horno a 600[°C] por una hora y enfriamiento en el mismo horno

Detalle de la Junta



No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-11	1,2	DC+	95,5	13,5	53,19	x	
2	E71T-11	1,2	DC+	130	16	96,45	x	
3	E71T-11	1,2	DC+	139	17,8	107,3	x	
4	E71T-11	1,2	DC+	139	17	144,84	x	
5	E71T-11	1,2	DC+	139	17	144,84	x	
6	E71T-11	1,2	DC+	139	17	171,43	x	

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-004				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-004		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm ²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	21,28	10,06	191,22	102,80	480,2	Junta soldada
2	20,33	9,34	193,71	123,08	648,2	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo	Hallazgo	Resultados				
Cara	Fractura total	Rechazada				
Raíz	Fractura total	Rechazada				
RADIOGRAFÍA						
Toma	Defectos	Resultados				
1	IE, FP	Rechazada				
2	IE, FP	Rechazada				
3	IE, FP	Rechazada				
4	IE, FP	Rechazada				
5	IE, FP	Rechazada				
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

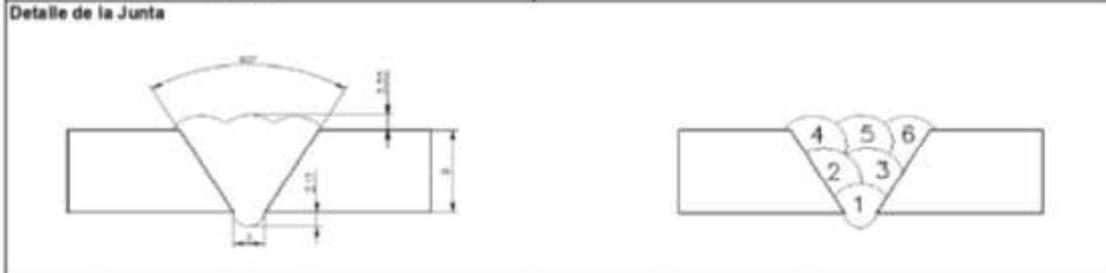


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



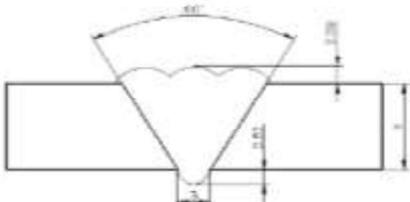
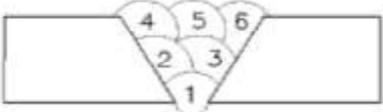
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)

Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-005 Según norma: AWS D1.1	No. Identificación: PQR-EPN-FIM-005 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora	Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)	Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha: <input type="checkbox"/> Un pase <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20	Temperatura de precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: N/A
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25L/min	Artículo VII. Notas

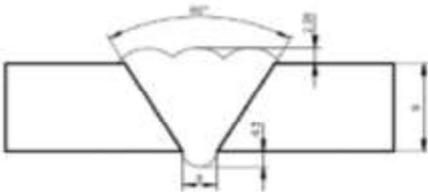
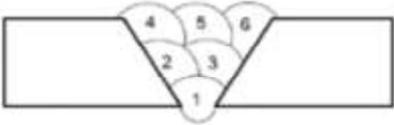


No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1.2	DC+	150	17	61.81	x	
2	E71T-1C	1.2	DC+	160	19.6	134.62	x	
3	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	142.95	x	
4	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	205.08	x	
5	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	214.08	x	
6	E71T-1C	1.2	DC+	167	21	276.02	x	

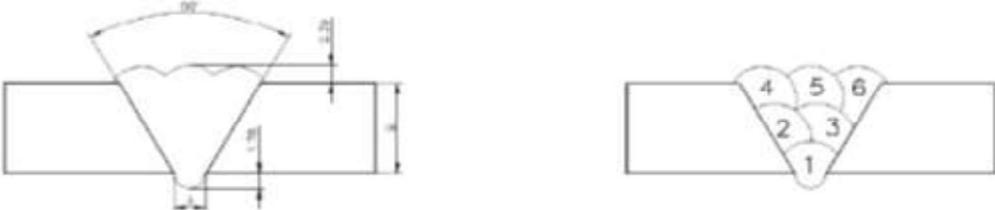
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-005				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-005		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm ²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,45	9,64	197,13	118,01	598,6	Junta soldada
2	20,39	9,72	198,19	105,43	532,0	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo	Hallazgo	Resultados				
Cara	Fractura total	Rechazada				
Raíz	Fractura total	Rechazada				
RADIOGRAFÍA						
Toma	Defectos	Resultados				
1	IE, FP	Rechazada				
2	IE, FP	Rechazada				
3	IE, FP	Rechazada				
4	IE, FP	Rechazada				
5	IE, FP	Rechazada				
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO						
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-006 Según norma: AWS D1.1			No. Identificación: PQR-EPN-FIM-006 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán					
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> sí Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora			Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata					
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)			Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>					
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20			Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]					
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25 L/min			Artículo VII. Notas					
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1,2	DC+	126	17,9	84,07	x	
2	E71T-1C	1,2	DC+	134,5	19,7	133,8	x	
3	E71T-1C	1,2	DC+	137	20,5	182,1	x	
4	E71T-1C	1,2	DC+	137	20,5	207,01	x	
5	E71T-1C	1,2	DC+	137	20,5	207,01	x	
6	E71T-1C	1,2	DC+	132,5	20,2	199,49	x	

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-006				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-006		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,21	9,53	192,60	122,33	635,2	Junta soldada
2	20,22	9,65	195,12	124,56	638,4	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo		Hallazgo		Resultados		
Cara		Discontinuidades		Aceptada		
Raíz		Fractura total		Rechazada		
RADIOGRAFÍA						
Toma		Defectos		Resultados		
1		IE, FP		Rechazada		
2		IE, FP		Rechazada		
3		IE, FP		Rechazada		
4		IE, FP		Rechazada		
5		IE, FP		Rechazada		
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado de raíz y el hallazgo de discontinuidades en las probetas de doblado de cara y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

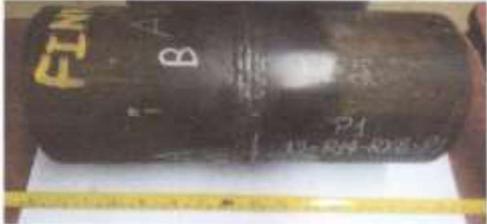
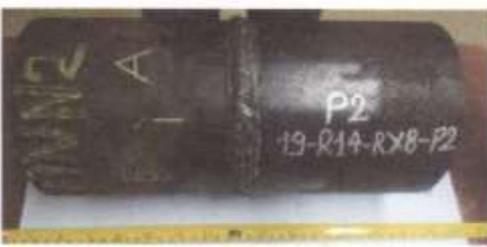
		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO						
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No: WPS-EPN-FIM-007 Según norma: AWS D1.1			No. Identificación: PQR-EPN-FIM-007 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán					
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Ángulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora			Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata					
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139,7 mm (5,5 in) Espesor: 9,5 mm (3/8 in)			Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha: <input type="checkbox"/> Un pase <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>					
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1,2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20			Temperatura de precalentamiento: 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]					
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25 L/min			Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice					
Detalle de la Junta  								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1,2	DC+	131	17,8	69,44	x	
2	E71T-1C	1,2	DC+	130	20	188,36	x	
3	E71T-1C	1,2	DC+	130	20	211	x	
4	E71T-1C	1,2	DC+	134,5	20	198,58	x	
5	E71T-1C	1,2	DC+	136,5	20	203,18	x	
6	E71T-1C	1,2	DC+	135,5	20	194,19	x	

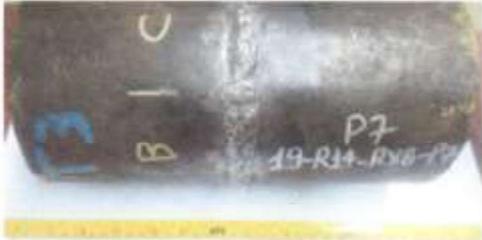
	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-007				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-007		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm ²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	21,22	9,47	200,95	112,49	559,8	Junta soldada
2	20,79	9,34	194,17	112,34	578,6	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo	Hallazgo	Resultados				
Cara	Discontinuidades	Rechazada				
Raíz	Fractura total	Rechazada				
RADIOGRAFÍA						
Toma	Defectos	Resultados				
1	IE, FP	Rechazada				
2	IE, FP	Rechazada				
3	IE, FP	Rechazada				
4	IE, FP	Rechazada				
5	IE, FP	Rechazada				
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado de raíz y el hallazgo de discontinuidades en las probetas de doblado de cara y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO						
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)								
Organización: Escuela Politécnica Nacional Basado en WPS No. : WPS-EPN-FIM-008 Según norma: AWS D1.1			No. Identificación: PQR-EPN-FIM-008 Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui Aprobado por: Msc. Homero Barragán					
Artículo I. Junta Utilizada Tipo de junta: A tope simple - V Abertura raíz: 3 mm (+0.0, -0.5) Angulo de ranura: 60° (+10°, -10°) Placa de respaldo: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> sí Preparar bisel: <input checked="" type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Método: Amoladora			Artículo II. Técnica de soldadura Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomát. <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> sí <input checked="" type="checkbox"/> no Limpieza: Amoladora y grata					
Artículo III. Metal Base Especificación: API 5CT Grado: P110 Diámetro: 139.7 mm (5.5 in) Espesor: 9.5 mm (3/8 in)			Artículo V. Posición de soldadura Posición de soldadura: 2G Plancha <input type="checkbox"/> Tubería <input checked="" type="checkbox"/> Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>					
Artículo IV. Material de Aporte Diámetro: 1.2 mm Denominación AWS: E71T-1C Casa comercial: PROWAR Especificación AWS: A5.20			Temperatura de precalentamiento : 200 [°C] Temperatura entre pases: 200 [°C]					
Artículo VI. Gas Protector Tipo: CO2 Caudal: 25 L/min			Artículo VII. Notas Enfriamiento lento en arena sílice Tratamiento térmico de recocido en horno a 600 [°C] por una hora y enfriamiento en el mismo horno					
Detalle de la Junta								
								
No. de pases	Electrodo		Corriente		Tensión de trabajo [Voltios]	Velocidad de avance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro [mm]	Tipo y polaridad	Intensidad [Amperios]			Oscilado	Recto
1	E71T-1C	1.2	DC+	134.5	18	98.62	x	
2	E71T-1C	1.2	DC+	154	20	207	x	
3	E71T-1C	1.2	DC+	137.5	21	172.1	x	
4	E71T-1C	1.2	DC+	137.5	21	198.58	x	
5	E71T-1C	1.2	DC+	139.5	21	284.98	x	
6	E71T-1C	1.2	DC+	143	21	219.44	x	

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	LABORATORIO DE SOLDADURA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO					
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)						
Organización: Escuela Politécnica Nacional		No. Identificación: PQR-EPN-FIM-008				
Basado en WPS No.: WPS-EPN-FIM-008		Revisado por: Msc. Gabriel Velastegui				
Según norma: AWS D1.1		Aprobado por: Msc. Homero Barragán				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
ENSAYO DE TRACCIÓN						
Probeta	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Área [mm ²]	Carga Max. [N]	Resistencia a la tracción[MPa]	Localización de la fractura
1	20,84	9,68	201,73	114,37	567,0	Junta soldada
2	20,61	9,59	197,65	114,55	579,6	Junta soldada
ENSAYO DE DOBLADO						
Tipo		Hallazgo		Resultados		
Cara		Discontinuidades		Rechazada		
Raíz		Fractura total		Rechazada		
RADIOGRAFÍA						
Toma		Defectos		Resultados		
1		IE, FP		Rechazada		
2		IE, FP		Rechazada		
3		IE, FP		Rechazada		
4		IE, FP		Rechazada		
5		IE, FP		Rechazada		
*IE: Inclusión de escoria						
*FP: Falta de penetración						
OBSERVACIONES:						
Existe falta de penetración en gran parte de la tubería y la mayoría en el pase de raíz, esto da como resultado la fractura total de las probetas de doblado de raíz y el hallazgo de discontinuidades en las probetas de doblado de cara y que no son aceptadas por la norma AWS D1.1.						
Nombre del soldador: Jorge Guzmán						
Ensayos conducidos por: Hernán Quishpe, Camilo Medina						
Se garantiza que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con la norma AWS D1.1						

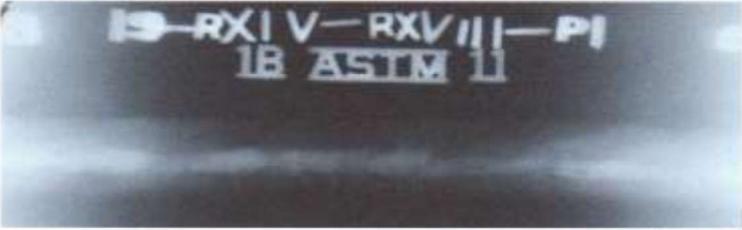
6.4. ANEXO IV. INFORME DE RADIOGRAFÍA

REPORTE DE INSPECCION RADIOGRÁFICA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEPARTAMENTO DE MATERIALES	
Información General	
Cliente: Camilo Medina Hernán Quishpe, Estudiantes titulación	Reporte N°: LABEND-EPN-2019-R14-RX-08
Fecha de Inspección: 03 de julio de 2019	Lugar: Quito – EPN
Identificación de la Pieza	
Descripción: 2019-R14-RX-08-01: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-02: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-03: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-04: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-05: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-06: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-07: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm 2019-R14-RX-08-08: de acero soldada de E: 12 mm y Dext: 152 mm	Identificación: 2019-R14-RX08-001 2019-R14-RX08-002 2019-R14-RX08-003 2019-R14-RX08-004 2019-R14-RX08-005 2019-R14-RX08-006 2019-R14-RX08-007 2019-R14-RX08-008
Material: Acero Aleado API 5CT	Estado Superficial: Rugosidad Normal del Material
Componente(s) a Inspeccionar	
2019-R14-RX08-001	2019-R14-RX08-001
	
2019-R14-RX08-002	2019-R14-RX08-002
	
2019-R14-RX08-003	2019-R14-RX08-003
	

<p>2019-R14-RX08-004</p> 	<p>2019-R14-RX08-004</p> 
<p>2019-R14-RX08-005</p> 	<p>2019-R14-RX08-005</p> 
<p>2019-R14-RX08-006</p> 	<p>2019-R14-RX08-006</p> 
<p>2019-R14-RX08-007</p> 	<p>2019-R14-RX08-007</p> 
<p>2019-R14-RX08-008</p> 	<p>2019-R14-RX08-008</p> 

Equipos y Materiales			
Equipo de RX			
Marca: Baltographe	Modelo: BF 200/10	kV: 200 kV	mA: 10 mA
Película			
Marca: Structurix	Tipo: II – D7		
Condiciones de Trabajo			
Normas de Referencia:			
Pieza: 2019-R14-RX08-001			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0002			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0003			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0004			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0005			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0006			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0007			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Pieza: 2019-R14-RX08-0008			
Tomas: 5	Kv: 140 kV	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 53 s	Distancia a la Fuente: 42 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQJ Tipo 1B			
Procesamiento de Película			
Temp. Ambiente: 20 °C	T. Revelado: 5 min	T. Parada: 1 min	T. Fijado: 10 min
Baño de Parada: 1 min	T. Lavado Final: NA	T. Lav. Deshumectante: NA	T. de Secado: 30 min

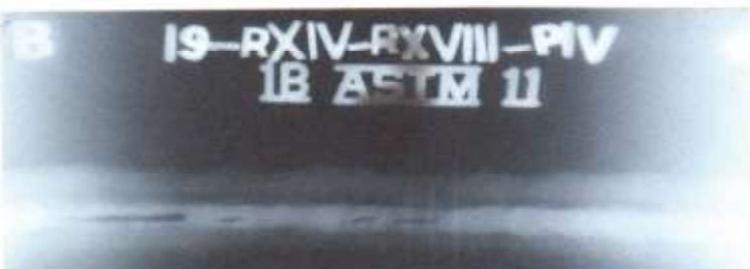
Imágenes Radiográficas

<p>TOMA 1 2019-R14-RX08-001-1</p>	
<p>TOMA 2 2019-R14-RX08-001-2</p>	
<p>TOMA 3 2019-R14-RX08-001-3</p>	
<p>TOMA 4 2019-R14-RX08-001-4</p>	

<p>TOMA 5 2019-R14-RX08-001-5</p>	
<p>TOMA 6 2019-R14-RX08-002-1</p>	
<p>TOMA 7 2019-R14-RX08-002-2</p>	
<p>TOMA 8 2019-R14-RX08-002-3</p>	

<p>TOMA 9 2019-R14-RX08-002-4</p>	
<p>TOMA 10 2019-R14-RX08-002-5</p>	
<p>TOMA 11 2019-R14-RX08-003-1</p>	
<p>TOMA 12 2019-R14-RX08-003-2</p>	

<p>TOMA 13 2019-R14-RX08-003-3</p>	
<p>TOMA 14 2019-R14-RX08-003-4</p>	
<p>TOMA 15 2019-R14-RX08-003-5</p>	
<p>TOMA 16 2019-R14-RX08-004-1</p>	

<p>TOMA 17 2019-R14-RX08-004-2</p>	
<p>TOMA 18 2019-R14-RX08-004-3</p>	
<p>TOMA 19 2019-R14-RX08-004-4</p>	
<p>TOMA 20 2019-R14-RX08-004-5</p>	

<p>TOMA 21 2019-R14-RX08-005-1</p>	
<p>TOMA 22 2019-R14-RX08-005-2</p>	
<p>TOMA 23 2019-R14-RX08-005-3</p>	
<p>TOMA 24 2019-R14-RX08-005-4</p>	

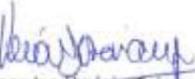
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 1 2019-R14-RX08-001-1		TOMA 2 2019-R14-RX08-001-2		TOMA 3 2019-R14-RX08-001-3		TOMA 4 2019-R14-RX08-001-4	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	44	1						
	47	0.5						
	50	1						
	50	0.5						
	55	0.5			40	1	88	3
	57	1			50	1.2	91	2
	52	0.6	---		74	1.5	87	1
	67	1			32	1	89	1
	70	1			32	3	101	1
	73	0.6					104	3
	73	1.5						
90	1							
65	1							
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Nido de Poros	---	---	---	---	---	---	---	---
Concavidad interna	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta			85	7			25	5
			100	10	10	10	33	6
			73	1	35	15	45	10
	35	48	85	1	52	7	72	28
			91	0.6	63	19	102	3
			40	1	93	3	117	8
			121	11	105	6		
Salpicaduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones:								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 5 2019-R14-RX08-001-5		TOMA 6 2019-R14-RX08-002-1		TOMA 7 2019-R14-RX08-002-2		TOMA 8 2019-R14-RX08-002-3	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria					94	0.6		
					102	1		
	65	0.5	50	1	72	0.6	40	0.8
	75	0.3	57	0.8	79	1	60	0.5
	76	1	92	5	82	0.8	83	1
	118	1	100	1	89	1	103	1.5
				95	1			
				98	0.6			
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---

Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	13	8					11	16
	32	10						
	45	5	15	12	27	14	42	8
	67	20	37	13	50	29	60	20
	89	15	70	14	88	28	81	18
	115	8	82	10			101	26
127	6							
Otros:	---	---	---	---	---	---	---	---
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones:								
Identificación de Discontinuidades								
Discontinuidades	TOMA 9		TOMA 10		TOMA 11		TOMA 12	
	2019-R14-RX08-002-4		2019-R14-RX08-002-5		2019-R14-RX08-003-1		2019-R14-RX08-003-2	
	X (mm)	Dim. (mm)						
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta			10	19			43	6
			30	20				
	---	---	52	9	56	6	50	15
			69	3	65	4	67	32
			75	10			97	6
		88	13					
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	48	2						
	59	2						
	62	1						
	65	0.8						
	70	1.5	28	3	39	0.8	34	4
	76	1	56	0.5	90	0.6	43	1
	78	0.8	61	0.5	102	1.5	52	0.8
	60	1	67	0.5	99	3	44	1
	96	1	73	0.5	85	3	75	0.5
	98	0.6	86	2	51	4	76	1.5
	100	2	90	1	102	1.5		
	103	1						
	93	1						
102	2							
111	1							
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Escoria Alargada			46	10				
			68	8				
	---	---	78	4				
			87	6				
			98	3				
Otros:	---	---	---	---	---	---	---	
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	

Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	---	---
Salpicadura	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones:								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 13 2019-R14-RX08-003-3		TOMA 14 2019-R14-RX08-003-4		TOMA 15 2019-R14-RX08-003-5		TOMA 16 2019-R14-RX08-004-1	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	0	27	39	3	51	6	13	5
	47	5	88	9	72	4	37	16
	73	15	103	4	79	1	55	20
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	57	1.5	---	---
	---	---	---	---	51	1	---	---
	---	---	---	---	66	1.5	---	---
	---	---	---	---	57	1	36	1
	---	---	56	0.8	85	1	29	1
	---	---	68	1	45	0.5	46	1
	97	1	83	0.5	49	0.5	47	1
	98	1	83	0.3	54	0.5	101	1.5
	103	6	100	2	55	0.5	116	4
	---	---	114	3	103	2	56	1
	---	---	42	1	86	0.2	48	1
---	---	---	---	99	3	49	1	
---	---	---	---	109	1	---	---	
---	---	---	---	109	1	---	---	
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Nido de Poros	---	---	---	---	---	---	---	---
Concavidad interna	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones:								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 17 2019-R14-RX08-004-2		TOMA 18 2019-R14-RX08-004-3		TOMA 19 2019-R14-RX08-004-4		TOMA 20 2019-R14-RX08-004-5	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	0	20
	10	25	28	20	11	10	25	7
	41	5	62	4	21	36	37	5
	62	7	96	18	58	20	49	4
	71	9	116	19	87	16	61	4
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	60	1.5	68	1	54	1	---	---
	53	0.4	69	1	64	2	---	---
	67	0.4	74	0.6	52	1	---	---
---	---	77	2	84	3	---	---	

			78	2	88	1		
			98	1.5	90	1		
			49	1	99	1		
			95	1	112	2		
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones: P4-4 toma19 inclusiones de tungsteno 109mm de 1.8mm, 109mm de 1.5mm								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 21 2019-R14-RX08-005-1		TOMA 22 2019-R14-RX08-005-2		TOMA 23 2019-R14-RX08-005-3		TOMA 24 2019-R14-RX08-005-4	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	38 68 74 42 117 53 82	3 5 4 10 8 2 1	63 68 72 54	2 4 3 0.6	---	---	87	0.5
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Nido de Poros	---	---	---	---	---	---	---	---
Concavidad interna	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones:								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 25 2019-R14-RX08-005-5		TOMA 26 2019-R14-RX08-006-1		TOMA 27 2019-R14-RX08-006-2		TOMA 28 2019-R14-RX08-006-3	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	38	5	31 39 63 68 83 102 36 58	4 1 1 2 6 6 2 4	84 90 101 66 70 76 82	3 4 5 2 2 2 1.5	26 38 46 58 62 70 79	6 3 2 2 1 2 1
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	77	16	---	---	---	---	---	---
Escoria Alargada	---	---	---	---	20 50	21 37	24	11
Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	---	---
Salpicadura	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones:								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 29 2019-R14-RX08-006-4		TOMA 30 2019-R14-RX08-006-5		TOMA 31 2019-R14-RX08-007-1		TOMA 32 2019-R14-RX08-007-2	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	---	---	111	4	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	85	30	15	53
Inclusiones de Escoria	54	2	42	1	72	2	67	7
	61	4	45	1				
	64	4	52	2				
	78	8	62	3				
	85	4	69	3				
	92	1	82	2				
98	1					89	4	
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	20	5
	---	---	---	---	---	---	43	5
	---	---	---	---	---	---	49	2
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	
Nido de Poros	---	---	---	---	---	---	---	---
Concavidad Interna	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones: toma 32 penetración excesiva								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 33 2019-R14-RX08-007-3		TOMA 34 2019-R14-RX08-007-4		TOMA 35 2019-R14-RX08-007-5		TOMA 36 2019-R14-RX08-008-1	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	---	---	47	8	---	---	---	---
Penetración excesiva	30	30	15	23	---	---	15	28
	66	8	55	70	---	---	50	12
	91	31					104	31
Inclusiones de Escoria	60	5	51	2	65	2	85	4
	78	2						
	84	1.5						
	84	1						
	35	5						
	58	3						
65	2	77	7	100	7			
91	6	64	2					
52	2	69	4					
87	3					87	3	
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	44	4
	---	---	---	---	---	---	54	19
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones: toma 35 penetración excesiva								
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades							
	TOMA 37 2019-R14-RX08-008-2		TOMA 38 2019-R14-RX08-008-3		TOMA 39 2019-R14-RX08-008-4		TOMA 40 2019-R14-RX08-008-5	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---

Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	35	3	47	9	61	6	62	10
	67	5	59	4	72	16	67	5
	77	3	74	1	92	5	58	12
	93	2	83	1.5	101	7	95	10
			90	1	114	4	112	5
		100	3					
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	74	3	40	7	22	13		
			53	9	44	2	57	4
			68	3	49	21	62	4
			77	5	84	4	78	3
			86	3	102	4	95	5
			56	6	109	7		
		70	7					
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	---
Otros: concavidad interna	33	10	---	---	---	---	---	---
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones:								
Laboratorio de E.N.D Firma:  Elaborado por: Ing. Santiago Camacho Asistente de Ensayos LEND ASNT Nivel II en Radiografía Limitada a la Interpretación. Firma:  Revisado por: Ing. Verónica Sotomayor MSc. Jefe de Laboratorio de Ensayos No Destructivos. ASNT Nivel II en Radiografía Limitada a la Interpretación. Fecha: 06 de septiembre de 2019					Cliente Firma:  Nombre: Camilo Medina Cargo: Estudiante titulación FIM Correo: camilo.medina@epn.edu.ec Firma:  Nombre: Hernán Quishpe Cargo: Estudiante titulación FIM Correo: franklin.quispe@epn.edu.ec Fecha: 06/09/2019			



6.5. ANEXO V. INFORME DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y DOBLADO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

INFORME

LAEV – M19.022

Quito, 19 de febrero de 2019

Solicitado por: M.Sc. Galo Barragán
Persona de contacto: Camilo Medina, Hernán Quishpe
Teléfono: 0999015588
Correo: franklinquishpe@epn.edu.ec
Fecha de recepción: 13/02/2019
Fecha de ejecución: 19/02/2019

ORDEN DE TRABAJO: N/A

1. **MUESTRAS:** Dos (2) probetas de material base para ensayo de tracción.

2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (CASING) EN JUNTAS SOLDADAS CON EL PROCESO FCAW

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Id. cliente	Id. del LAEV
T1	M19.022.01
T2	M19.022.02

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $22,2 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa: $52,2 \pm 0,6\%$



Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)
Teléfono: 022576300 ext. 3715, 3716
Correo: laev@epn.edu.ec

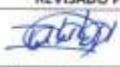
4. ENSAYO DE TRACCIÓN A MATERIAL BASE

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción

Tabla 2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
M19.022.01	15,98	9,29	29 595	131 644	121,0	834,5	128,6	888,4	19,1
M19.022.02	13,62	9,23	26 479	117 782	127,6	879,5	135,9	938,6	16,8

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamin
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES MILANILA





INFORME

LAEV – M19.104

Quito, 15 de agosto de 2019

Solicitado por: M.Sc. Galo Homero Barragán
Persona de contacto: Camilo Medina, Hernán Quishpe
Teléfono: 0992519422
Correo: camilo.median01@epn.edu.ec
Fecha de recepción: 02/08/2019
Fecha de ejecución: 13/08/2019

ORDEN DE TRABAJO N°: N/A

- MUESTRAS:** Dieciséis (16) probetas de junta soldada para ensayo de tracción, treinta y dos (32) probetas para ensayo de doblado.
- GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:**

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: ANÁLISIS DE LA SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (CASING) EN JUNTAS SOLDADAS CON EL PROCESO FCAW INERTSHIELD Y OUTERSHIELD.

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Ensayo	Id. cliente	Id. del LAEV
Tracción	P1T1	M19.104.01
	P1T2	M19.104.02
	P2T1	M19.104.03
	P2T2	M19.104.04
	P3T1	M19.104.05
	P3T2	M19.104.06
	P4T1	M19.104.07
	P4T2	M19.104.08
	P5T1	M19.104.09
	P5T2	M19.104.10
	P6T1	M19.104.11



Dirección: Av. Mesa Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716
Correo: laev@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Tabla 1. Identificación de las muestras (continuación).

Ensayo	Id. cliente	Id. del LAEV
Tracción	P6T2	M19.104.12
	P7T1	M19.104.13
	P7T2	M19.104.14
	P8T1	M19.104.15
	P8T2	M19.104.16
Doblado	P1DC1	M19.104.17
	P1DC2	M19.104.18
	P2DR1	M19.104.19
	P2DR2	M19.104.20
	P2DC1	M19.104.21
	P2DC2	M19.104.22
	P2DR1	M19.104.23
	P2DR2	M19.104.24
	P3DC1	M19.104.25
	P3DC2	M19.104.26
	P3DR1	M19.104.27
	P3DR2	M19.104.28
	P4DC1	M19.104.29
	P4DC2	M19.104.30
	P4DR1	M19.104.31
	P4DR2	M19.104.32
	P5DC1	M19.104.33
	P5DC2	M19.104.34
	P5DR1	M19.104.35
	P5DR2	M19.104.36
	P6DC1	M19.104.37
	P6DC2	M19.104.38
	P6DR1	M19.104.39
	P6DR2	M19.104.40
	P7DC1	M19.104.41
	P7DC2	M19.104.42
	P7DR1	M19.104.43
	P7DR2	M19.104.44
	P8DC1	M19.104.45
	P8DC2	M19.104.46
	P8DR1	M19.104.47
	P8DR2	M19.104.48

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $21,2 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa: $34,6 \pm 1,9\%$



Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)
 Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716
 Correo: laev@epn.edu.ec

4. ENSAYO DE TRACCIÓN EN JUNTA SOLDADA

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.

Tabla 2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M19.104.01	20,04	9,33	27 083	120,472	93,5	644,3	FJS
M19.104.02	20,21	9,16	27 244	121,187	94,9	654,6	FJS
M19.104.03	20,11	9,44	26 010	115,700	88,4	609,5	FZC
M19.104.04	20,12	9,67	25 374	112,869	84,1	580,1	FJS
M19.104.05	20,30	9,42	28 033	124,699	94,6	652,1	FJS
M19.104.06	19,93	9,72	27 457	122,133	91,4	630,5	FJS
M19.104.07	21,28	10,06	23 112	102,805	69,7	480,2	FJS
M19.104.08	20,33	9,34	27 671	123,087	94,0	648,2	FJS
M19.104.09	20,45	9,64	26 530	118,013	86,8	598,6	FJS
M19.104.10	20,39	9,72	23 703	105,434	77,2	532,0	FJS
M19.104.11	20,21	9,53	27 501	122,333	92,1	635,2	FJS
M19.104.12	20,22	9,65	28 003	124,561	92,6	638,4	FJS
M19.104.13	21,22	9,47	25 290	112,496	81,2	559,8	FJS
M19.104.14	20,79	9,34	25 256	112,345	83,9	578,6	FJS
M19.104.15	20,84	9,68	25 712	114,373	82,2	567,0	FJS
M19.104.16	20,61	9,59	25 752	114,551	84,1	579,6	FJS

* FJS = Falla en la junta soldada

* FZC = Falla en la zona afectada por el calor

5. ENSAYO DE DOBLADO

En las tablas 3 y 4 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P1.

Tabla 3. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P1.

Identificación	Observaciones
M19.104.17	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.18	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

Tabla 4. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P1.

Identificación	Observaciones
M19.104.19	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.20	Se observa fractura total del cordón de soldadura.



En las tablas 5 y 6 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P2.

Tabla 5. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P2.

Identificación	Observaciones
M19.104.21	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.22	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

Tabla 6. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P2.

Identificación	Observaciones
M19.104.23	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.24	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

En las tablas 7 y 8 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P3.

Tabla 7. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P3.

Identificación	Observaciones
M19.104.25	Se observan discontinuidades de 3,26; 1,40 y 0,86 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.26	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

Tabla 8. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P3.

Identificación	Observaciones
M19.104.27	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.28	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

En las tablas 9 y 10 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P4.

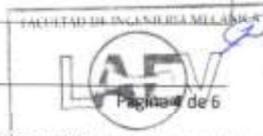
Tabla 9. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P4.

Identificación	Observaciones
M19.104.29	Se observan discontinuidades de 9,04 y 0,84 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.30	Se observan discontinuidades de 0,54; 0,85 y 1,10 mm en el cordón de soldadura.

Tabla 10. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P4.

Identificación	Observaciones
M19.104.31	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.32	Se observan discontinuidades de 0,54; 0,85 y 1,10 mm en el cordón de soldadura.

LAEV-M19.104



Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional) ITI - NIJA NACHPSB
 Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716
 Correo: laev@epn.edu.ec

En las tablas 11 y 12 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P5.

Tabla 11. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P5.

Identificación	Observaciones
M19.104.33	Se observan una discontinuidad de 14,87 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.34	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 12. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P5.

Identificación	Observaciones
M19.104.35	Se observan una discontinuidad de 2,89 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.36	Se observan una discontinuidad de 20,58 mm en el cordón de soldadura.

En las tablas 13 y 14 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P6.

Tabla 13. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P6.

Identificación	Observaciones
M19.104.37	Se observan una discontinuidad de 0,56 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.38	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 14. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P6.

Identificación	Observaciones
M19.104.39	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.40	Se observan una discontinuidad de 12,22 mm en el cordón de soldadura.

En las tablas 15 y 16 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P7.

Tabla 15. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P7.

Identificación	Observaciones
M19.104.41	Se observan discontinuidades de 1,12 y 3,87 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.42	Se observan discontinuidades de 2,84 y 4,98 mm en el cordón de soldadura.

Tabla 16. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P7.

Identificación	Observaciones
M19.104.43	Se observa fractura total del cordón de soldadura.
M19.104.44	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

En las tablas 17 y 18 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación P8.



LAEV-M19.104

Página 5 de 6

Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716
Correo: laev@epn.edu.ec

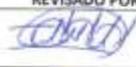
Tabla 17. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras P8.

Identificación	Observaciones
M19.104.45	Se observan una discontinuidad de 1,90 mm en el cordón de soldadura.
M19.104.46	Se observan discontinuidades de 4,24; 2,23 y 0,80 mm en el cordón de soldadura.

Tabla 18. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras P8.

Identificación	Observaciones
M19.104.47	Se observan discontinuidades de 5,89; 3,22 y 1,06 mm en el cordón de soldadura
M19.104.48	Se observa fractura total del cordón de soldadura.

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilsof Guachamin
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

