

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE  
SOLDADURA PARA TUBERÍA DE ACERO  
BAJO LA NORMA API 1104, A FIN DE  
ASEGURAR LA CALIDAD DE SU  
FABRICACIÓN EN LA  
EMPRESA SERGEAR  
S.A.C. ILO**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Luis Miguel Cervantes Huanca

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO**

TACNA- PERÚ

2023


# UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

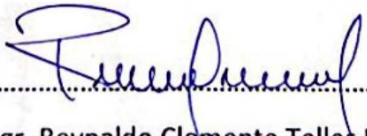
## Facultad de Ingeniería


Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica


### ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA TUBERÍA DE ACERO BAJO LA NORMA API 1104, A FIN DE ASEGURAR LA CALIDAD DE SU FABRICACIÓN EN LA EMPRESA SERGEAR S.A.C. ILO

Trabajo de tesis sustentado por bachiller Luis Miguel Cervantes Huanca,  
aprobado el 14 de diciembre del 2022 y con los jurados calificadores que estuvo  
integrado por:

PRESIDENTE :   
Dr. Francisco Gamarra Gómez

SECRETARIO :   
Mgr. Reynaldo Clemente Telles Ríos

VOCAL :   
Mgr. Wilson García Mamani

ASESOR :   
Dr. Avelino Godofredo Pari Pinto

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **AVELINO GODOFREDO PARI PINTO**, asesor de la tesis titulada “ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA TUBERÍA DE ACERO BAJO LA NORMA API 1104, A FIN DE ASEGURAR LA CALIDAD DE SU FABRICACIÓN EN LA EMPRESA SERGEAR S.A.C. ILO”, desarrollada por el Bachiller **Luis Miguel Cervantes Huanca** con Resolución de Facultad N° 06503 – 2021 – FAIN/UNJBG, emito el presente certificado de similitud, comprobado con el programa “TURNITIN”, arrojando una similitud general de 5 % (Se adjunta los resultados)

Se expide el presente certificado para los fines de tramite académico de titulación.

Tacna, 03 de enero del 2023



A blue ink handwritten signature, appearing to be 'A. Godofredo P. Pinto', written over a faint circular stamp.

---

Dr. Avelino Godofredo Pari Pinto  
Asesor de Tesis

## **DEDICATORIA**

Para mis queridos padres; Domingo Cervantes Yujra y Lourdes Huanca  
Mallea, por su apoyo incondicional en toda mi etapa de estudiante.

## **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios por darme una familia y amigos maravillosos.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica que me dio la bienvenida con docentes de primera calidad y llegaron a formarme para desempeñarme como un profesional de calidad.

A la empresa SERGEAR S.A.C., que no dudo en apoyarme para realizar esta investigación.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS: .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del problema .....	2
1.1.1. Antecedentes del problema .....	2
1.1.2. Problemática de la investigación.....	3
1.2. Formulación del problema .....	4
1.3. Sistematización del problema .....	4
1.4. Justificación e importancia.....	5
1.4.1. Justificación Social .....	5
1.4.2. Justificación ambiental.....	5
1.4.3. Justificación económica .....	5
1.5. Alcances y limitaciones.....	6
1.6. Objetivos .....	6

1.6.1. Objetivo General .....	6
1.6.2. Objetivo Específico .....	6
1.7. Hipótesis.....	7
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Antecedentes del estudio.....	8
2.2. Bases teóricas .....	9
2.2.1. Tubería API 5L .....	9
2.2.2. Instituto Estadounidense del Petróleo .....	11
2.2.3. Discontinuidades de la soldadura.....	22
2.2.4. Desalineamiento .....	28
2.2.5. Ensayos Destructivos de la soldadura .....	29
2.2.6. Ensayos no destructivos de la soldadura.....	40
2.3. Definición de términos .....	52
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>55</b>
3.1. Tipo de la investigación .....	55
3.2. Diseño de investigación .....	55
3.3. Población y muestras .....	55
3.3.1. Población.....	55
3.3.2. Muestras .....	55
3.4. Operacionalización de variables .....	56
3.5. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	57

CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	58
4.1. Determinar el amperaje y la velocidad de avance para el procedimiento.....	58
4.1.1. Diseño de experimentos .....	58
4.2. Elaborar el procedimiento de soldadura para tubería de acero API 5L X42R65	
4.2.1. Posición de soldadura.....	65
4.2.2. Diámetro y espesor de la tubería.....	66
4.2.3. Diseño de junta.....	67
4.2.4. Metal de aporte.....	68
4.2.5. Características eléctricas.....	69
4.2.6. Temperatura de precalentamiento.....	70
4.2.7. Pases de soldadura.....	73
4.2.8. Formato registro de calificación del procedimiento.....	73
4.3. Análisis de resultados.....	74
4.3.1. Análisis Estadístico de amperaje y la velocidad de avance .....	74
4.3.2. Análisis con el procedimiento y sin procedimiento de soldadura mediante el ensayo radiográficos.....	81
CAPITULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	86
CONCLUSIONES .....	88
RECOMENDACIONES .....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre el PSL1 Y PSL 2.....	9
Tabla 2. Composición química (%) de API 5L SPL2.....	11
Tabla 3. Propiedades Mecánicas de API 5L PSL2. ....	11
Tabla 4. Clasificación de electrodos según A.W.S. ....	20
Tabla 5. Tabla interpretativa para el último dígito, según la clasificación AWS de electrodos. ....	21
Tabla 6. Sufijos de electrodos de baja aleación. ....	22
Tabla 7. Número de espécimen para la calificación de un procedimiento para espesores $\leq 12,7$ mm (0,5 pulg.) .....	29
Tabla 8. Número de espécimen para la calificación de un procedimiento para espesores $>12,7$ mm (0,5 in) .....	29
Tabla 9. Número de espécimen para la calificación del soldador para espesores $\leq 12,7$ mm (0,5 pulg.).....	31
Tabla 10. Número de espécimen para la calificación del soldador para espesores $>12,7$ mm (0,5 in) .....	31
Tabla 11. Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM- A370.....	38
Tabla 12. Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM E8/E8M-16 A. .	39

Tabla 13. Requisitos de resistencia de acuerdo a certificado de calidad de API 5LX42R.....	40
Tabla 14 Operacionalización de Variables. ....	56
Tabla 15. Instrumentos para la recolección de datos. ....	57
Tabla 16 Pruebas de amperaje y velocidad.....	58
Tabla 17. Datos de la tubería a soldar para el procedimiento de soldadura.....	67
Tabla 18. Electrodo seleccionados de acuerdo a API 1104.....	68
Tabla 19. Características eléctricas para el soldeo de tubería. ....	69
Tabla 20. Propiedades químicas de la tubería API 5L X42R PSL 2.....	70
Tabla 21 Cantidad de probetas que fueron desarrolladas para la investigación. ..	74
Tabla 22 Tabla de contingencia de condición de aceptación o rechazo de probeta de prueba. ....	74
Tabla 23 Resultados de la prueba de tintes penetrantes. ....	76
Tabla 24. Tiempo de aplicación y espera en cada paso de inspección de tintes penetrantes.....	76
Tabla 25. Resultados de prueba radiográfica en la probeta calificada. ....	77
Tabla 26. Resultado de las pruebas de tracción realizadas a las muestras calificadas.....	78
Tabla 27. Cuadro comparativo de esfuerzos entre especificado y ensayado. ....	79
Tabla 28. Resultado de ensayo de doblez. ....	81

Tabla 29. Comparación de ensayos radiográficos con procedimiento y sin procedimiento.....	82
Tabla 30. Total, de indicaciones con procedimiento de soldadura. ....	83
Tabla 31 Comparaciones pareadas de pruebas efectuadas*.....	89
Tabla 32 Tabla estadística de Chi-cuadrado .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa de calidad de soldadura en la fabricación. ....	4
Figura 2. Tubería API5LX42R .....	10
Figura 3. Ensayos no destructivos y destructivos señaladas en API1104.....	12
Figura 4. Arco generado entre la pieza y el electrodo.....	14
Figura 5. Corriente continua y corriente alterna. ....	17
Figura 6. Polaridad directa en el proceso de soldadura SMAW. ....	18
Figura 7. Polaridad invertida en el proceso de soldadura SMAW.....	19
Figura 8. Componentes de un electrodo para la soldadura SMAW.....	20
Figura 9. Tipos de porosidades que se encuentran en un cordón de soldadura. ...	23
Figura 10. Indicación de soldadura tipo fisura.....	24
Figura 11. Indicaciones de falta de fusión entre pases de soldadura y cara de soldadura. ....	25
Figura 12. Falta de penetración en raíz de la soldadura. ....	25
Figura 13. Falta de penetración ocasionada por Hi Low. ....	26
Figura 14. Inclusión de escoria ocasionada por atrapamiento de un sólido.....	26
Figura 15. Refuerzo en raíz y cara de la soldadura .....	27
Figura 16. Socavación en raíz y cara de soldadura. ....	27
Figura 17. Golpes de arco ocasionadas por mala manipulación de porta electrodo. .....	28
Figura 18. Ubicación de especímenes para la calificación de procedimiento.....	30

Figura 19. Cupones para el ensayo de doblez de cara y raíz.....	32
Figura 20. Dimensiones de espécimen para el doblez de cara y raíz. ....	33
Figura 21. Ensayo de doblez con resultados rechazados (fisura).....	34
Figura 22. Gráfica de ensayo de tracción de esfuerzo vs deformación unitaria. ...	35
Figura 23. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción. ....	36
Figura 24. Dimensiones de probeta basado en norma ASTM A370-17A. ....	37
Figura 25. Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM E8/E8M-16A... 38	
Figura 26. Inspección de tintes penetrantes; zona de inspección.....	41
Figura 27. Rociado de tinte penetrante rojo.....	42
Figura 28. Limpieza de tinte penetrante luego de haber esperado 10 min.....	42
Figura 29. Rociado de revelador sobre la superficie de inspección. ....	43
Figura 30. Absorción de tinte penetrante sobre la superficie.....	43
Figura 31. Resultado de placa radiográfica.....	44
Figura 32. Ejemplo de placa radiográfica con zonas de alta absorción. ....	45
Figura 33. Ejemplo de placa radiográfica con baja zona de baja absorción. ....	45
Figura 34. Ejemplo de placa radiográfica con baja absorción. ....	45
Figura 35. Distancia mínima de inspección visual de acuerdo a API.....	47
Figura 36. Diagrama de etapas de inspección de visual antes de la soldadura. ....	48
Figura 37. Diagrama de etapas de inspección visual durante la soldadura.....	49
Figura 38. Diagrama de etapas de inspección visual después de la soldadura. ....	50
Figura 39. Maletín de instrumentos de inspección visual.....	51

Figura 40. Pantalla del equipo donde se verifica el sonido transmitido por el equipo,.....	61
Figura 41. Falta de penetración en raíz, longitud 26 mm, profundidad; L 8.6mm y 1mm de altura del defecto. ....	62
Figura 42. Defecto; falta de fusión en la raíz a profundidad de 9 mm, altura del defecto de 5mm con longitud 30 mm y defecto de inclusión de escoria a 4 mm de profundidad, acumulación de total de 26 mm. ....	62
Figura 43. Acumulación de escoria y porosidad a 6,4mm de profundidad, longitud acumulada de 32 mm, altura de poro 3 mm. ....	63
Figura 44. Falta de fusión en la raíz a una profundidad de 9mm, longitud de 27mm y altura 0.5mm ....	63
Figura 45. Inspección de ultrasonido sin defectos. ....	64
Figura 46. Inspección de ultrasonido sin defectos con resultados aceptables.....	64
Figura 47. Inspección de ultrasonido .....	65
Figura 48. Posición para la calificación del procedimiento de acuerdo API1104.	66
Figura 49. Dimensiones de la junta en V para la probeta en tubería de 14 Pulg. .	67
Figura 50. Dimensiones de junta de probeta. ....	68
Figura 51 Diagrama de Graville para evaluar la soldabilidad de los aceros.....	72
Figura 52. Método de relleno de la junta a soldar.....	73
Figura 53. Inspección visual de soldadura al culminar el soldeo de la probeta. ....	75
Figura 54. Inspección de acuerdo a API1104. ....	76

Figura 55: Aplicación de tinte penetrante. ....	76
Figura 56. Inspección de placa radiográfica de tubería de 14". ....	77
Figura 57. Placa radiográfica P1 del procedimiento calificado. ....	78
Figura 58. Placa radiográfica P2 del procedimiento calificado ....	78
Figura 59. Cuadro comparativo de esfuerzo especificado y ensayado. ....	79
Figura 60. Doblez de probeta soldada. ....	80
Figura 61. Doblado en raíz de la probeta soldada. ....	81
Figura 62. Doblado de cara de la probeta soldada. ....	81
Figura 63. Comparación de ensayos de radiografía con procedimiento y sin procedimiento con grafico de barras. ....	82
Figura 64. comparación de ensayos de radiografía con procedimiento y sin procedimiento. ....	83
Figura 65. Diagrama de Pareto de indicaciones con procedimiento de soldadura. ....	84
Figura 66. Diagrama de Pareto indicaciones sin procedimiento de soldadura. ....	85

## **RESUMEN**

La presente tesis de investigación titulada “Elaboración del procedimiento de soldadura para tubería de acero bajo la norma API 1104, a fin de asegurar la calidad de su fabricación en la empresa Seregear S.A.C. Ilo” tiene el objetivo de desarrollar un procedimiento de soldadura (WPS) y que se encuentra soportado por una calificación (PQR) bajo los requisitos de la normativa API 1104, esta norma abala todo lo relacionado al proceso de soldadura para el transporte de hidrocarburos; además, abala la calificación del soldador para que se pueda desarrollar el proceso de soldadura para la fabricación de Spool en planta Seregear S.A.C. Ilo.

En la parte experimental se analizó los resultados de laboratorio obtenidos de la probeta soldada y se comprobó que está de acuerdo a los requisitos de aceptación por API1104, se realizó pruebas de velocidad y amperaje para soldar adecuadamente y luego se concluyó que el procedimiento desarrollado favorecerá a la empresa para los proyectos en ejecución, obteniendo así un producto de buena calidad de soldadura con las exigencias indicadas en la norma.

Palabras claves: Procedimiento, Pruebas, Tubería, soldadura.

## **ABSTRACT**

This research thesis entitled "Development of welding procedure for steel pipe under API 1104, to ensure the quality of manufacture in the company Sergear S.A.C. Ilo" aims to develop a welding procedure (WPS) and that is supported by a qualification (PQR) under the requirements of API 1104. Ilo" has the objective of developing a welding procedure (WPS) and that is supported by a qualification (PQR) under the requirements of API 1104, these standard covers everything related to the welding process for the transport of hydrocarbons, also covers the qualification of the welder so you can develop the welding process for the manufacture of Spool in Sergear S.A.C. Ilo plant.

In the experimental part, the laboratory results obtained from the welded specimen were analyzed and it was verified that it is in accordance with the requirements of acceptance by API1104, speed tests were carried out, and then it was concluded that the procedure developed will favor the company for the projects in execution, thus obtaining a product of good welding quality with the requirements indicated in the standard.

Key words: Procedure, Testing, Pipe, welding.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de desarrollar empalmes de soldadura para el transporte de hidrocarburos derivados de combustible, hace que se requiera generar procedimientos de soldadura que cumplan los requisitos de la normativa API 1104 y así poder minimizar los defectos de soldadura que puedan ocurrir por un procedimiento inadecuado, además, se indica todos los puntos a tener en cuenta para poder desarrollar un depósito de material adecuado.

En el capítulo I, se presenta la realidad actual del soldeo de tuberías de materiales API 5L para el transporte de hidrocarburos, en este punto se ha definido los objetivos generales de esta investigación.

En el capítulo II, se desarrolla toda la base teórica que otros autores describen como datos, ejemplos, tipos de procesos, defectos, ensayos destructivos y no destructivos, etc.

En el capítulo III, el tipo y diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, son descritos de manera sencilla.

En el capítulo IV, se brinda los resultados obtenidos y el procesamiento de datos para determinar si el procedimiento cumple todos los requisitos requeridos por la normativa API1104.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción del problema**

##### **1.1.1. Antecedentes del problema**

En la actualidad, se ejecutan grandes proyectos donde intervine la soldadura; los problemas en su calidad se evidencian en nuestro país, tal como sucedió en el departamento de Cusco, provincia de la Convención; donde ocurrió un incidente de falla del ducto de transporte de líquidos de gases que ocasionó la contaminación del suelo y multas que asciende a los 415 UIT a la empresa Gas Perú S.A.C, este defecto fue a causa de la calidad de soldadura (OSINERGMIN, 2004).

“La falla ocurrida en el río Urubamba-Malvina y Pocobamba en Apurímac, ocasionó, de igual manera, contaminación del río y derrame de hidrocarburos. Estas fallas fueron dadas por una mala preparación de biseles en la soldadura y juntas con posición sobre cabeza en donde se detectó fisura” (Tirado, 2006).

En el territorio peruano, la institución pública que supervisa OSINERGMIN, hace frente a los problemas de contaminación ocasionadas por la una falla de soldadura, para ello, solicita una serie de requisitos, como ejemplo; procedimientos de soldadura, especificaciones de juntas soldadas y homologación de soldadores (Osinergmin, 2016).

### **1.1.2. Problemática de la investigación**

A nivel nacional, las empresas que desarrollan la soldadura en tuberías en distintas partes del país, deben cumplir un contrato que indica muchos términos a cumplir, entre estos se podría mencionar la calidad de fabricación, donde uno de los aspectos importantes es la soldadura, que debe cumplir todos los requisitos que fueron planteados con el fin de satisfacer al cliente.

Para la ejecución de proyectos, se tiene un cronograma que debe ser cumplido diariamente hasta culminar el proyecto. Dicho cronograma suele tener cambios por deficiencias o reparaciones de un defecto en la soldadura que han realizado. Estos vicios son controlados por los inspectores de calidad de las empresas ejecutoras, estas juntas de soldadura son aceptadas por medio de un registro de calidad que servirá posteriormente para poder cobrar la ejecución de la soldadura.

Como alternativa de solución, para obtener una soldadura de buena calidad, sería mediante un procedimiento que se encuentre calificado y aprobado, sin dejar de lado al personal técnico calificado que ejecutará estas soldaduras con todas las pruebas necesarias, a fin de obtener un producto de buena calidad y asegurar el servicio de las tuberías.

Para poder formular nuestro problema, realizaremos el diagrama indicado en la Figura 1.

## DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

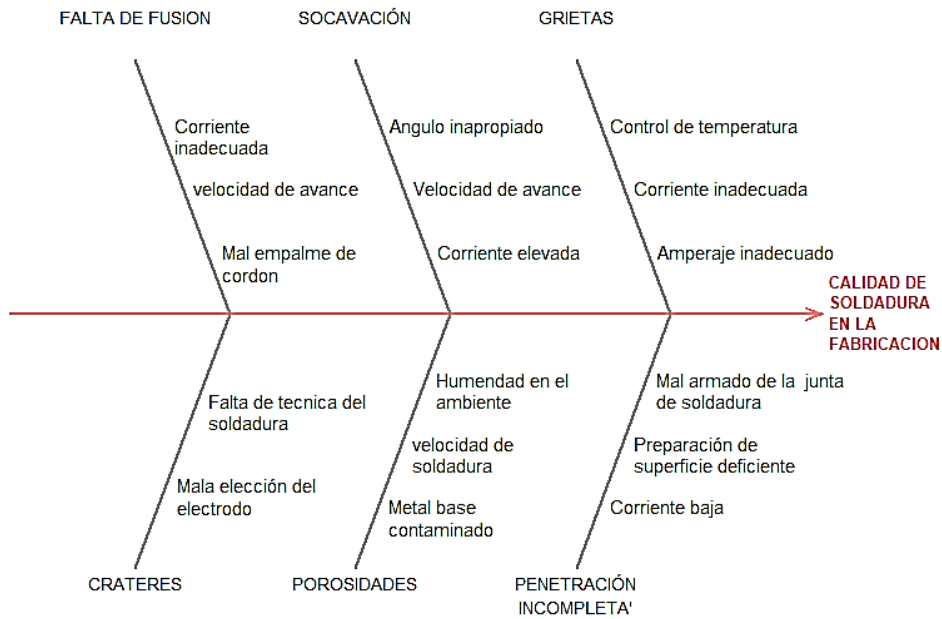


Figura 1. Diagrama de Ishikawa de calidad de soldadura en la fabricación.  
Fuente: propia.

### 1.2. Formulación del problema

¿Será posible elaborar un procedimiento de soldadura para tubería de acero bajo la norma API 1104, a fin de asegurar la calidad de su fabricación en la empresa SERGEAR S.A.C. Ilo?

### 1.3. Sistematización del problema

¿De qué manera se podrá determinar el amperaje y la velocidad de avance para el procedimiento de soldadura bajo norma API 1104?

¿Cómo se podrá elaborar el procedimiento de soldadura bajo la norma API 1104 para tubería de acero API 5L X42R?

¿De qué manera se podrá calificar el procedimiento de soldadura con los parámetros determinados en la norma API 1104, a fin de mejorar la calidad de su fabricación en el proceso de soldadura?

#### **1.4. Justificación e importancia**

##### **1.4.1. Justificación Social**

El beneficio será recibido por los técnicos soldadores, puesto que gracias a este procedimiento recibirán una homologación que esté certificada por la empresa y tendrán referencias que trabajaron bajo la norma API 1104.

El cliente, se asegurará sobre la obtención de un producto adecuado que satisfaga sus expectativas.

##### **1.4.2. Justificación ambiental**

Debido a la elaboración y calificación del procedimiento, se examinará mediante pruebas destructivas y no destructivas la buena calidad del cordón soldadura, lo que evitará fallas prematuras en tuberías de transporte de combustible, que podrían ocasionar contaminación del medio ambiente.

##### **1.4.3. Justificación económica**

El beneficio lo recibirá la empresa SERGEAR S.A.C., debido a que mejorará su producción en soldeo de juntas de tubería y se podrá evitar retrabajos ocasionados por la mala calidad de la soldadura, asimismo, evitará inconformidades que ocasionan pagar penalidades por trabajo mal realizado.

## **1.5. Alcances y limitaciones**

- El procedimiento de soldadura es realizado para tubería de acero API 5L X42R bajo la norma API 1104, con el fin de asegurar la calidad de soldadura en el proyecto “Reemplazo de tubería submarina de combustible etapa II”.
- La investigación ha sido ejecutada de acuerdo a las condiciones climáticas del departamento de Moquegua de la provincia de Ilo, debido a que las condiciones climáticas son muy influyentes en el proceso de soldadura.
- La investigación solo se realizó para tubería de espesores mayores a 4.80mm hasta 19.10mm.
- La investigación no se tomó en cuenta las pérdidas ocasionadas por no tener un procedimiento adecuado.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Elaborar el procedimiento de soldadura para tubería de acero bajo la norma API 1104, a fin de asegurar la calidad de su fabricación en la empresa SERGEAR S.A.C. Ilo.

### **1.6.2. Objetivo Específico**

- Determinar el amperaje y la velocidad de avance para el procedimiento de soldadura bajo API 1104.

- Elaborar el procedimiento de soldadura bajo la norma API 1104 para tubería de acero API 5L X42R
- Calificar el procedimiento de soldadura con los parámetros determinados en la norma API 1104, a fin de mejorar la calidad de su fabricación en el proceso de soldadura.

### **1.7. Hipótesis**

Para el procedimiento de soldadura influirá la corriente y la velocidad aseguraran la calidad de fabricación en tubería API 5L X42R.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

En este apartado se presentan investigaciones previas relacionadas con este estudio, es por ello que en un inicio se menciona a Jorge Luis Diaz Izarra (2021) de la Universidad Católica del Perú, donde el tema de investigación fue "Soldadura a tope en tuberías de 2" Sch 160 de material ASTM A106 grado B y ASTM A53 grado B, para estación de descompresión de gas natural" quien aplicó las pruebas destructivas y no destructivas y estas fueron analizadas mediante la normativa API 1104 (Izarra, 2021).

Así mismo, se tomó en cuenta la investigación de Enrique E. Niebles y William G. Arnedo, quienes desarrollaron una investigación titulada Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores, en el que aplicaron una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria (Arnedo, 2009).

Finalmente, se tomó como referencia investigativa a Rony Erix Ramos Ccanchi (2019) de la UNJBG de la ciudad Tacna que presentó una investigación titulada "Valoración del amperaje y la velocidad de soldadura de acero austenítico ANSI/SAE 304 por GMAW-P (MIG)".

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Tubería API 5L

La aplicación de esta tubería es para pequeñas y grandes construcciones de oleoductos, industrias químicas, plomería, calefacción, sistema de suministro de agua, plantas energéticas y el transporte de hidrocarburos.

Existe dos niveles del producto PSL que tienen diferentes requerimientos técnicos normativos para poder utilizarlos en el transporte de hidrocarburos.

**Tabla 1.**  
*Diferencias entre el PSL1 Y PSL 2*

Datos	SPL1	SPL2
Prueba de impacto CVN(Charpy)	Ningún requerimiento	Requerido para todos los grados
Inspección no destructiva (sin Costura)	Solo cuando el comprador especifica	SR4 obligatorio
Certificación	Certificados cuando se especifica según SR15	Certificado (SR 15.1) obligatorios
Trazabilidad	Solo se puede rastrear hasta que se pasen todas las SR15	Obligatorio
Examen hidrostático	Requerido	Requerido

Fuente: (Yizeng., 2000)

PSL2 como se observa en la tabla anterior, tiene requerimientos mandatorios y que, además, el cliente podría solicitar otras pruebas para poder validar si el producto tiene la calidad.

La tubería API 5L tiene diferentes grados de fabricación, como X42, x46, X52, X56, X60, X70, X80; los tamaños fabricados son desde el tamaño nominal de 2” hasta 32 “con espesores de cédula 10 a 160, STD, XS, XXS (Yizeng, 2000).

Los números que se identifican en los grados como “X”, indican la resistencia mínima (000 PSI) que debe tener el material que se esté fabricando, como ejemplo el API 5L X42R que debe tener una resistencia mínima de 42000 PSI y la letra “R” indica que la condición de entrega.

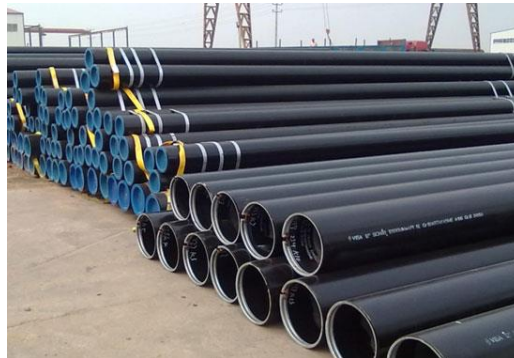


Figura 2. Tubería API5LX42R  
Fuente:(Acero,2018)

#### **2.2.1.1. Propiedades químicas del acero SPL2.**

Fundamentalmente, son aleaciones que son de hierro, carbono y otros elementos básicos como fósforo, azufre, silicio, magnesio y manganeso todos estos elementos según el porcentaje determinarán su utilización en diferentes tipos de estructuras o herramientas.

**Tabla 2.***Composición química (%) de API 5L SPL2.*

Calificación	C ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤	Si ≤	V ≤	Nb ≤	Ti ≤
B	0,24	1,2	0,025	0,015	0,40	C	C	0,04
X42	0,24	1,2	0,025	0,015	0,40	0,06	0,05	0,04
X46	0,24	1,2	0,025	0,015	0,40	0,07	0,05	0,04
X52	0,24	1,2	0,025	0,015	0,45	0,10	0,05	0,04
X56	0,24	1,2	0,025	0,015	0,45	0,10	0,05	0,05

Fuente: (Yizeng., 2000)

**2.2.1.2. Propiedades mecánicas del acero SPL2.**

Son las que describen el comportamiento de un material ante las fuerzas aplicadas, en el cual, se evidenciará la resistencia, la ductilidad, la dureza, y esto a su vez, dependerá de la estructura química del acero.

**Tabla 3.***Propiedades Mecánicas de API 5L PSL2.*

Calificación	Fuerza de producción (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)
B	245-450	415-760
X42	290-495	415-760
X46	320-525	435-760
X52	360-530	460-760
X56	390-545	490-760

Fuente: (Yizeng., 2000)

**2.2.2. Instituto Estadounidense del Petróleo**

La industria más grande del petróleo y el gas natural, es el grupo comercialamericano API; en este momento, representa unos seiscientos cincuenta corporaciones dedicadas a la producción y la distribución del petróleo.

### 2.2.2.1. API 1104

Es una normativa que abarca el soldeo de tuberías de transporte de petróleo crudo, gases combustibles, dióxido de carbono y nitrógeno.

La soldadura puede ser aplicada por diferentes procesos como: SMAW, FACA, GTAW, SAW, GMAW, soldadura por plasma. Este dispositivo es aplicable para las tuberías que se encuentren en servicio y para las que van a entrar en servicio.

Estas soldaduras deben cumplir con los requisitos mínimos descritos en las diferentes pruebas que se indica en el diagrama.

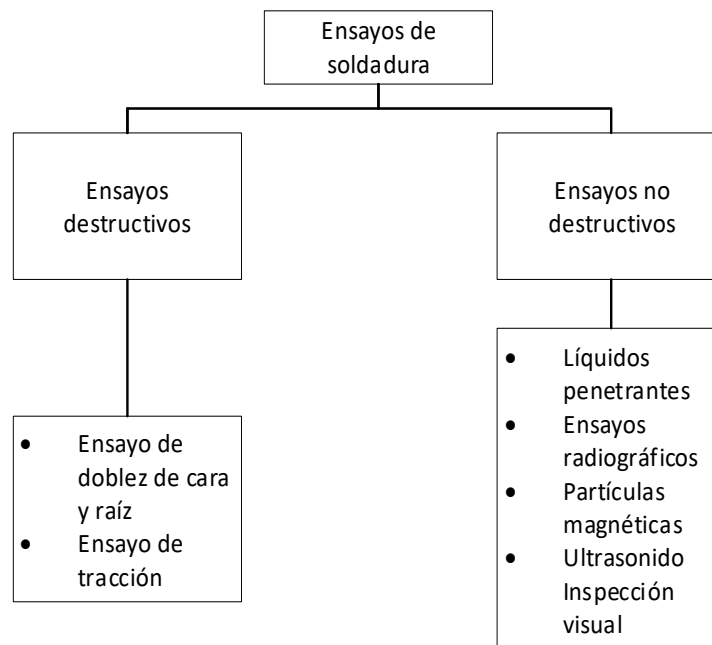


Figura 3. Ensayos no destructivos y destructivos señaladas en API1104.

Fuente: Propia.

### **2.2.2.2. Procesos de soldadura**

Es la unión de dos materiales que son fusionados; la técnica más antigua era unir metales mediante el calentamiento dos piezas hasta que llegaban a ser blandas y flexibles para luego ser golpeadas con un martillo o forjaban las piezas entre sí en un yunque y se dejaban enfriar y endurecer.

La soldadura actual es la unión de dos piezas que va ser logrado a través de la fusión mediante un material de aporte, que tendrá la función de fundirse y lograr unir o soldar piezas. Esta fusión será conocido como cordón de soldadura que puede ser realizado por múltiples procesos que actualmente existen como son; SMAW, GTAW, FCAM, GMAW. (Ferrepát, 2019)

### **2.2.2.3. Proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding)**

El soldeo por arco con un metal de aporte (electrodo) es gracias a las temperaturas elevadas que son alrededor de  $5000^{\circ}\text{C}$  que conllevará a fundir fácilmente los metales; cuando el electrodo entra en contacto con el metal base, como se muestra en la siguiente Figura, se habrá logrado cerrar el circuito y la corriente logrará circular a través del electrodo durante un corto tiempo.

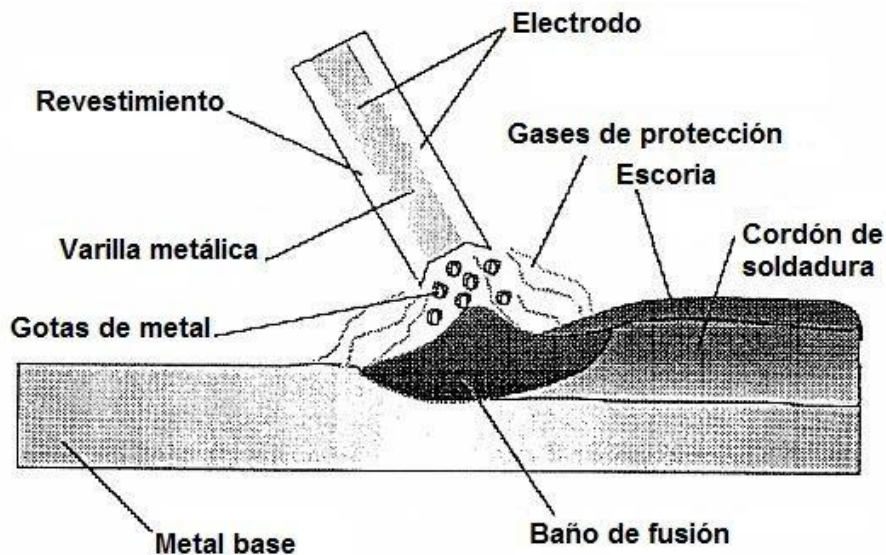


Figura 4. Arco generado entre la pieza y el electrodo.  
Fuente: (LTDA, 2015)

Con este proceso podemos lograr unir una gran variedad de metales con espesores de 1,5 mm hasta 200 mm y versatilidad de la posición que se requiera; su campo de aplicación no se restringe debido a que se puede usar en lugares que son complicados de acceder ya que el equipo de soldeo es portátil, práctico y económico.

La desventaja de este proceso es que se requiere de una gran habilidad del operador para que lo ejecute, por ello, el soldador deberá contar con una calificación que esté de acuerdo con los requerimientos de la normativa para la soldadura que se esté ejecutando.

### **2.2.2.3.1. Fuente de potencia**

La soldadura necesita una fuente de potencia para poder trabajar a altas intensidades y bajas tensiones. Además, para poder ejecutar esta fuente, se necesita de cables, porta electrodo, electrodos y lo más elemental una máscara, un casco, guantes de cuero y la ropa de cuero de protección para el soldador.

La fuente se encargará de transformar la corriente eléctrica de alterna o continua y con todos los requisitos descritos en un procedimiento como voltaje y la intensidad de corriente eléctrica. Dichas fuentes de energía, hoy en día, son conocidas como máquina de soldar y transformadores.

### **2.2.2.3.2. Cable del electrodo**

Este será el responsable de transportar la corriente hasta el electrodo y así poder producir un cordón de soldadura. Cuanto mayor sea la longitud será mayor el diámetro para poder lograr la caída de voltaje y la resistencia.

### **2.2.2.3.3. Pinza de masa**

Es un elemento que se utiliza para generar arco eléctrico durante una soldadura, esta generalmente suele ser conectada a la pieza que se va soldar o a la mesa de trabajo; el material adecuado debe ser de chapa o latón, y debe tener la capacidad de transportar la corriente sin correr con el riesgo de sobrecalentarse debido a la resistencia eléctrica (De máquinas y herramientas, 2018).

#### **2.2.2.3.4. Velocidad de desplazamiento**

La velocidad para realizar un cordón dependerá mucho de la habilidad del soldador; por lo general, los procedimientos de soldadura deberán indicar la velocidad de soldeo, por motivos que si el desplazamiento es mayor como resultado obtendrá una mala penetración de soldadura depositada y se generará indicaciones como mordeduras, y la velocidad baja ocasionará cordones con sobre monta y calentarán el material base hasta generar un soplo. La velocidad, comúnmente, viene en la ficha técnica del producto, por ello, es que se debe elegir el electrodo adecuado de acuerdo a AWS.

#### **2.2.2.3.5. Tipo de corriente**

La corriente es el desplazamiento de electrones con un sentido determinado, existen dos tipos de corriente empleado en el proceso de soldadura como corriente continua y corriente alterna.

La corriente continua es cuando los electrones transitan en un solo sentido por un conductor.

La corriente alterna es cuando cambia de sentido periódicamente en un corto tiempo, usualmente cambia en un sentido 10 veces y 10 veces con el sentido contrario. Este cambio respecto a un tiempo se llama frecuencia.

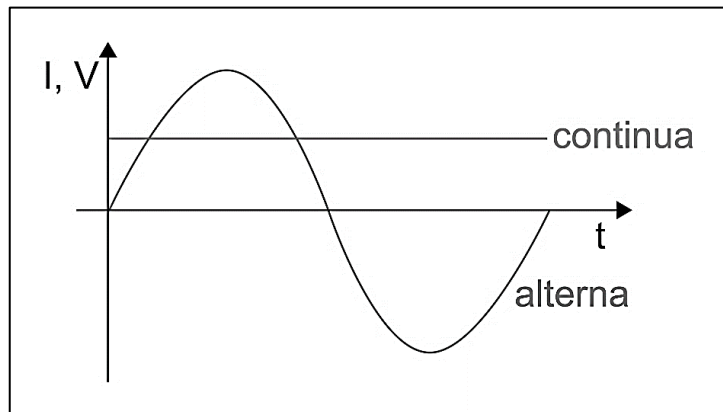


Figura 5. Corriente continua y corriente alterna.  
Fuente: (Diariomotor., 2019)

### A. Corriente continua

- **Conexión en polaridad directa:**

La conexión en polaridad directa indica que los electrones fluyen de polo negativo a polo positivo; por ello, cuando se realiza un cordón en raíz con polaridad directa existirá mejor penetración, es decir, el material depositado tendrá mejores características.

Algunos autores manifiestan que la temperatura de nuestro metal base es de  $2/3$  calor con respecto al electrodo que será de  $1/3$ .

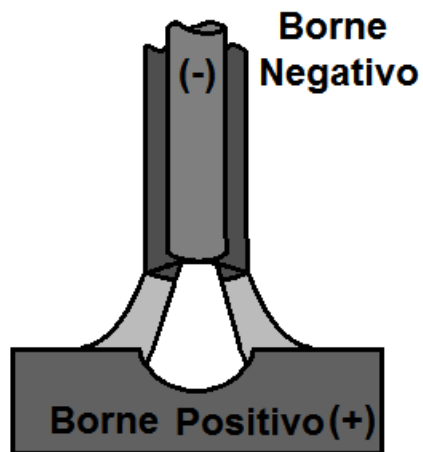


Figura 6. Polaridad directa en el proceso de soldadura SMAW.  
Fuente: (Arévalo, 2018)

- **Conexión en polaridad inversa.**

Este tipo de conexión será al contrario a la polaridad directa, es decir, que la porta electrodos estará conectada al polo positivo y la temperatura será mayor en  $\frac{2}{3}$  y menor en un  $\frac{1}{3}$  en el material base, por ende, la penetración será menor. Por lo general, esta polaridad suele ser utilizada en cordones de relleno y acabado (Hernández T. M., 2014).

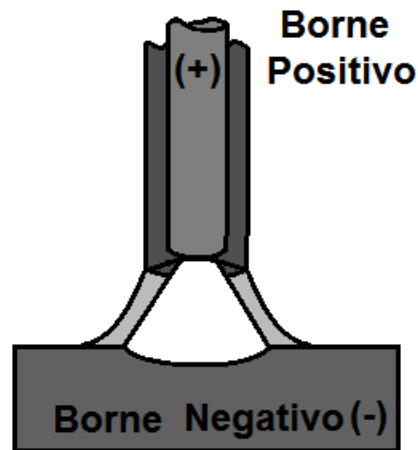


Figura 7. Polaridad invertida en el proceso de soldadura SMAW.  
Fuente: (Arévalo, 2018)

#### **2.2.2.3.6. Materiales de aporte electrodo revestido**

Es un elemento conductor de energía eléctrica que estará en contacto directo con la pieza a soldar y la máquina.

La dimensión de cada electrodo será muy influyente en la calidad de soldadura y tipo de material que se quiera soldar, por lo general, cada electrodo ya tiene una ficha técnica de fabricación donde se indica el tipo de corriente, la polaridad, la velocidad de avance y la penetración.

La AWS tiene clasificaciones de electrodos para el proceso Smaw con la especificación A5.1, A5.5 y las clasifica de la siguiente manera

**Tabla 4.**

*Clasificación de electrodos según A.W.S.*

Grupo	AWS Especificación	AWS clasificación de electrodos	Tipo de metal	Proceso
1	A5.1	E6010, E6011	Acero al carbono	SMAW
	A5.5	E7010, E7011	Acero al carbono	SMAW
2	A5.5	E8010, E8011, E9010	Acero al carbono	SMAW
	A5.1 o A5.5	E7015, E7016, E7018	Acero al carbono	SMAW
3	A5.5	E 8015, E8016, E8018	Acero al carbono	SMAW
	A5.5	E9018	Acero al carbono	SMAW

Fuente: (API1104, 2013)

La numeración que clasificó el AWS en los electrodos tiene diferentes significados, por ejemplo: E6010

Donde:

E: Electrodo

60: Indica la resistencia mínima  $62000 \text{ lbs/pulg}^2$  (62 Ksi)

1: Posiciones de soldadura.

0: Alta penetración.

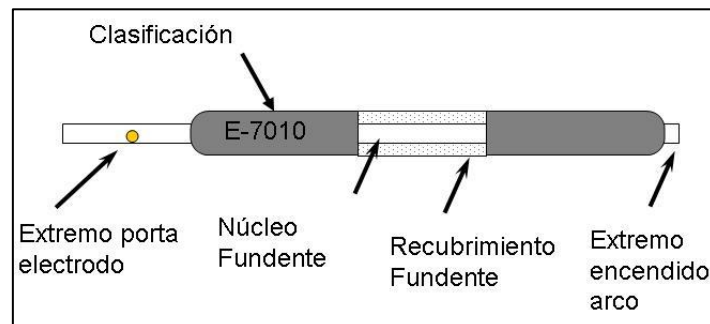


Figura 8. Componentes de un electrodo para la soldadura SMAW.

Fuente: Arévalo, 2018.

**Tabla 5.***Tabla interpretativa para el último dígito, según la clasificación AWS de electrodos.*

Ultima cifra	Tipo de corriente	Tipo de Arco	Penetración
E XX10	CCPI Polaridad inversa	Fuerte	Profunda
E XX11	CA o CCPI Polaridad inversa	Fuerte	Profunda
E XX12	CA o CCPD Polaridad directa	Mediano	Mediana
E XX13	CA o CC Ambas polaridades	Suave	Ligera
E XX14	CA o CCPI Polaridad inversa	Suave	Ligera
E XX15	CCPI Polaridad inversa	Mediano	Mediana
E XX16	CA o CCPI Polaridad inversa	Mediano	Mediana
E XX17	CCPI Polaridad inversa	Suave	Mediana
E XX18	CA o CCPI Polaridad inversa	Mediano	Mediana

Fuente: (Ingemecanica, 2018)

Algunos productos tienen un código extra luego de la última cifra como A1, B1.etc. Estos sufijos, indican que son de la clasificación de los electrodos para acero de baja aleación, es decir, se caracterizan por tener y depositar un porcentaje aproximado de aleación en el cordón de soldadura, y se puede determinar de acuerdo a la siguiente Tabla (Ingemecánica, 2018).

**Tabla 6.**  
*Sufijos de electrodos de baja aleación.*

SUFIJOS	COMPOSICIÓN QUÍMICA
A1	0,5% MO
B1	0,5% CR, 0,5% MO
B2	1,25% CR, 0,5% MO
B3	2,25% CR, 1,0% MO
B4	2,0% CR, 0,5% MO
B5	0,5% CR, 1,0% MO
C1	2,5% NI
C2	3,25% NI
C3	1,0% NI, 0,35% MO, 0,15% CR
D1 Y D2	0,25-0,45% MO, 1,75% MN
G (*)	0,5% MÍN. NI, 0,3% MÍN. CR, 0,2% MÍN MO, 0,1% MÍN. V, 1.0% MÍN MN

Fuente: (Soldexa, s.f)

### 2.2.3. Discontinuidades de la soldadura

Es la falta de homogeneidad en un cordón de soldadura que puede ser un poro, una fisura, la falta de fusión, la falta de penetración, la inclusión de escoria, la socavación, la concavidad interna, los golpes de arco, las salpicaduras, etc. Esto determinará si es riesgo para el servicio cumple con los criterios de aceptación que estén descritas en API 1104.

#### 2.2.3.1. Porosidad

El poro es un gas atrapado de aire, esto se da cuando el material inicia el proceso de enfriamiento y solidificación; existen diferentes formas de porosidades que puede ser: Alargadas en forma de gusano, esférica agrupadas.

La aceptación dependerá de los criterios establecidos por el cliente, por la normativa, especificación en el alcance del trabajo. En esta investigación, el criterio de aceptación se realizará de acuerdo a los requisitos establecidos por la normativa API 1104, que indica que una porosidad individual o dispersa no puede superar el diámetro de 1/8" o el 25 % de espesor más delgado que se encuentre soldado.

Las porosidades agrupadas solo se encuentran en la raíz y relleno que podrán ser rechazadas si exceden la longitud de agrupación de 1/2", esta debe ser evaluada en la zona encontrada a cada 300 mm. Del cordón de soldadura (API 1104, 2013).

A continuación, en la siguiente Figura (9) se observa los diferentes tipos de porosidades que se encuentran en el cordón de soldadura.

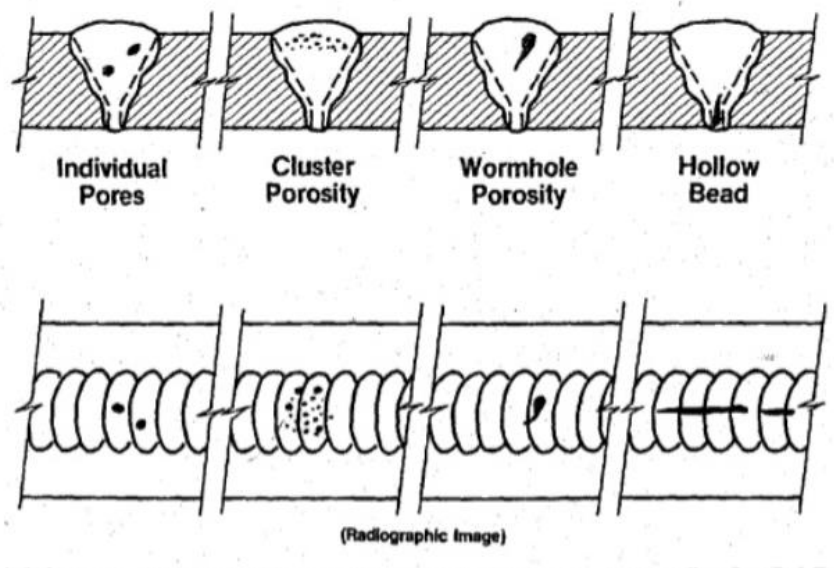


Figura 9. Tipos de porosidades que se encuentran en un cordón de soldadura.

Fuente: (Quality consulting company , 1996)

### **2.2.3.2. Fisura**

La fisura es una abertura que puede traer grandes problemas en un cordón de soldadura, por lo general, es una indicación no aceptable, debido a que puede ocasionar fractura por medio de liberación de energías en ese punto.

Tenemos distintas formas geométricas de grieta: perpendiculares o longitudinales al cordón de soldadura; por ejemplo: grietas de garganta, grietas en la raíz, grietas en pie, grietas en cráter, grietas en la zona zac, grietas que puede ser ocasionadas con el golpe de arco en el material base.

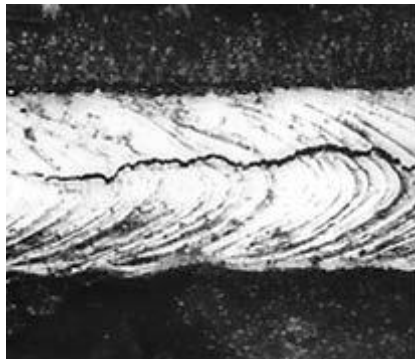


Figura 10. Indicación de soldadura tipo fisura.  
Fuente: (Kobelco , 2020)

### **2.2.3.3. Falta de fusión**

Es una discontinuidad muy relevante, al igual que la fisura, debido a la existencia en un cordón de soldadura que puede ocasionar grandes accidentes; generalmente la geometría de esta es de distintas formas, lo más común es que no

se fusione el material base con el material de aporte o que no se fusione entre cada pase de soldadura.

En la siguiente imagen se muestra los diferentes tipos de falta de fusión y lugar donde se encuentran.

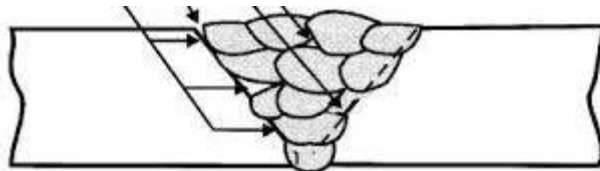


Figura 11. Indicaciones de falta de fusión entre pases de soldadura y cara de soldadura.  
Fuente: (Fabricación mecánica, 2018)

#### 2.2.3.4. Falta de penetración

Es una discontinuidad muy común, debido a que la soldadura no llega a penetrar la zona del talón del bisel, puede que también ocurra este problema en una mala preparación del bisel de armado; por lo general, se suele dar en la unión entre codo y tubería debido a que el espesor de estos dos componentes suele ser diferente (High Low), para ello se debe realizar un limado en ambos componentes para que tengan el mismo espesor.

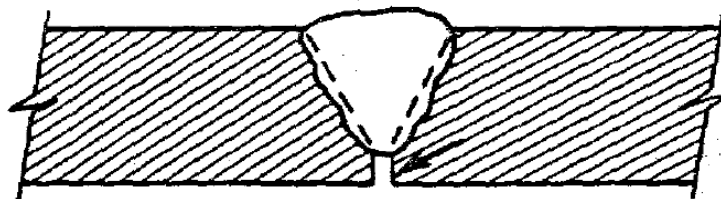


Figura 12. Falta de penetración en raíz de la soldadura.  
Fuente: (Quality consulting company , 1996)

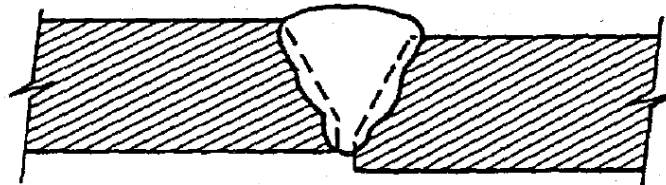


Figura 13. Falta de penetración ocasionada por Hi Low.  
Fuente: (Quality consulting company , 1996)

#### **2.2.3.5. Inclusión de escoria**

La inclusión de escoria de acuerdo a la normativa API 1104 es inaceptable en cualquiera de sus formas, esta indicación es un sólido atrapado dentro de la soldadura que deposita y esto ocurre durante la solidificación.

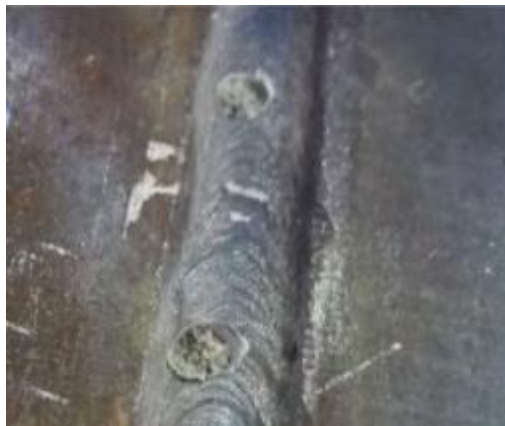


Figura 14. Inclusión de escoria ocasionada por atrapamiento de un sólido.  
Fuente: (Aguia, 2019)

#### **2.2.3.6. Refuerzo de soldadura**

Es el exceso de soldadura depositada, esto se va evidenciar en el último pase y en la raíz; cómo se puede apreciar en la siguiente imagen, el criterio de aceptación según la API 1104 indica que debe ser como máximo una altura de 1.6 mm.

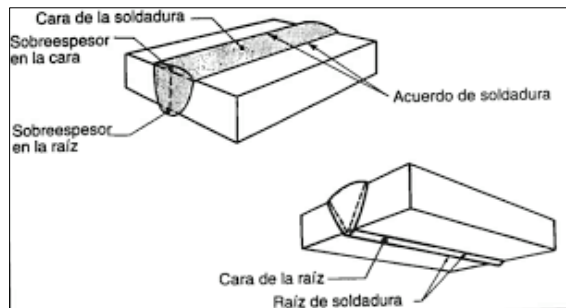


Figura 15. Refuerzo en raíz y cara de la soldadura

Fuente: (Proyectos piping., 2014).

### 2.2.3.7. Mordedura o socavación

Esta indicación es a causa que no se funde el material base con el material de aporte, esto ocurre en el último pase de soldadura y en la raíz, y esto puede ocasionar grandes problemas si no se encuentra dentro de lo aceptado.

La normativa API 1104 que indica que el 0.8 mm de longitud o el 12.5% del espesor del material base, será aceptable el que sea menor de los dos y no mayor a 50 mm de una sección de longitud de 300 mm (API1104, 2013).

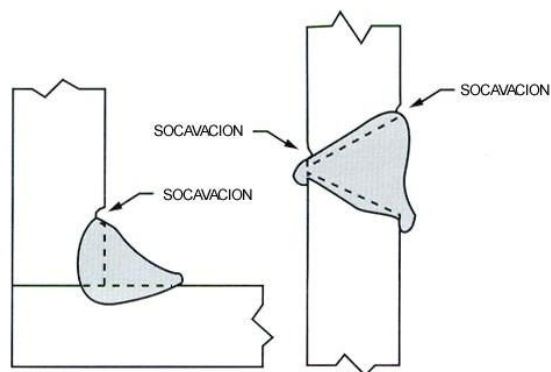


Figura 16. Socavación en raíz y cara de soldadura.

Fuente: (Francia, 2013)

#### 2.2.3.8. Golpes de arco

Los golpes de arco para la normativa API 1104 no es aceptable, esta indicación se debe a que el electrodo genera un arco con el material base que se está soldando, desde un punto de vista microscópico se observa una serie de poros y fisuras pequeñas que a largo plazo pueden generar grandes problemas en el servicio de la estructura o tubería que se encuentre soldando.

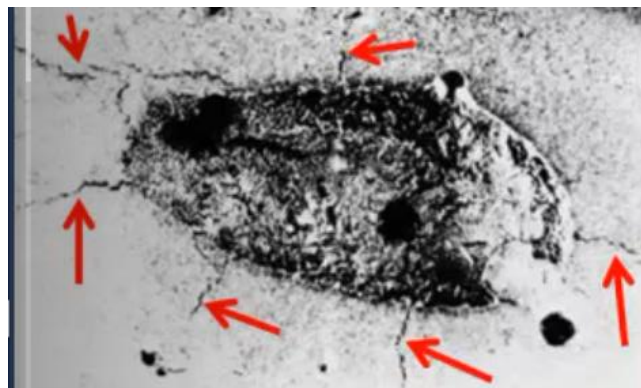


Figura 17. Golpes de arco ocasionadas por mala manipulación de porta electrodo.  
Fuente: (Soldadurayend, 2011)

#### 2.2.4. Desalineamiento

El desalineamiento como su nombre lo indica, es la falta de uniformidad en un cordón de soldadura, para la normativa API 1104. El desalineamiento no debe ser mayor a 1.5 mm.

### 2.2.5. Ensayos Destructivos de la soldadura

Se aplican una vez que ya esté culminado el cupón de soldadura, para ello, el cordón deberá pasar las pruebas no destructivas como: inspección visual, tintes penetrantes y radiografía.

En la siguiente imagen, se verificará los requisitos que indica la normativa API 1104, como la cantidad de espécimen que pasará pruebas de tracción, Nick break, doblado en raíz y cara. La cantidad será determinada de acuerdo al diámetro de prueba que se está realizando.

**Tabla 7.**

*Número de espécimen para la calificación de un procedimiento para espesores  $\leq 12,7$  mm (0,5 pulg.)*

Diámetro exterior de la tubería		Número de especímenes					Total
Pulgadas	Milímetros	Especimen tracción	Nick break	Doblado en raíz	Doblado en cara	Doblado de lado	
< 60,3	< 2,375	0	2	2	0	0	4
60,3 a 114,3	2,375 a 4,5	0	2	2	0	0	4
>114,3-323,9	4,5-12,75	2	2	2	2	0	6
> 12,75	> 323,9	4	4	4	4	0	16

Fuente: (API1104, 2013)

**Tabla 8.**

*Número de espécimen para la calificación de un procedimiento para espesores  $>12,7$  mm (0,5 in)*

Diámetro exterior de la tubería		Número de especímenes					Total
pulgadas	milímetros	Especimen tracción	Nick break	Doblado en raíz	Doblado en cara	Doblado de lado	
$\leq 4,5$	$\leq 114,3$	0	2	0	0	2	4
> 4,5- 12,750	> 114,3-323,9	2	2	0	0	4	8
> 12,75	323,9	4	4	0	0	8	16

Fuente: (API1104, 2013)

La siguiente imagen detalla la ubicación de donde se debe extraer cada cupón que pasará la prueba de doblez de cara y raíz, y la prueba de Nick break.

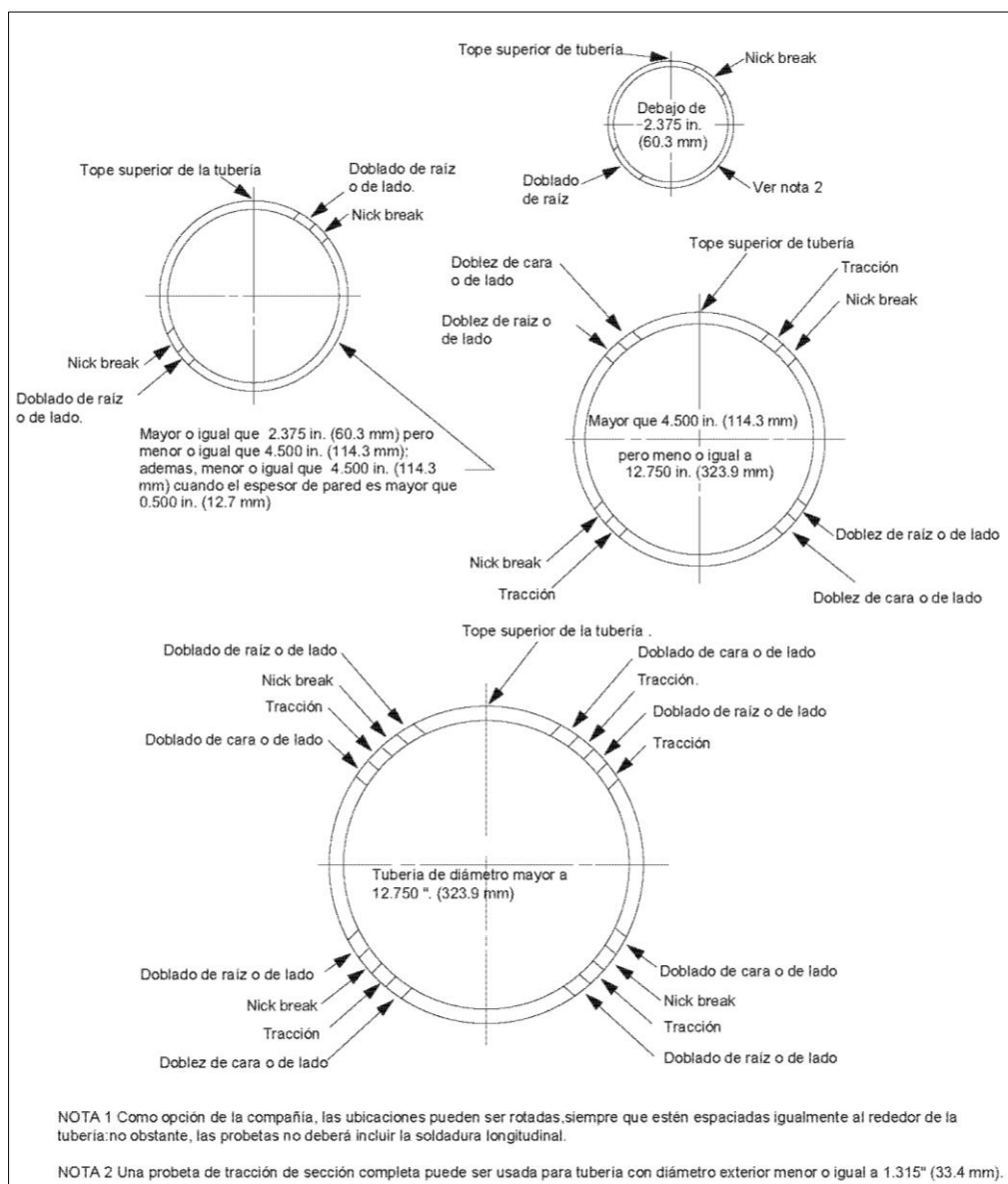


Figura 18. Ubicación de especímenes para la calificación de procedimiento.  
Fuente: (API1104, 2013)

Para la homologación, de mismo modo se tiene detallado la cantidad de pruebas que se deben realizar y está determinada en la siguiente tabla.

**Tabla 9.**

*Número de espécimen para la calificación del soldador para espesores  $\leq 12,7$  mm (0,5 pulg.)*

Diámetro exterior de la tubería		Número de especímenes					Total
Pulgadas	Milímetros	Especímen tracción	Nick break	Doblado en raíz	Doblado en cara	Doblado de lado	
< 60,3	< 2,375	0	2	2	0	0	4
60,3 a 114,3	2,375 a 4,5	0	2	2	0	0	4
>114,3-323,9	4,5-12,75	2	2	2	0	0	6
> 12,75	> 323,9	4	4	2	2	0	12

Fuente: (API1104, 2013)

**Tabla 10.**

*Número de espécimen para la calificación del soldador para espesores  $>12.7$  mm (0.5 in)*

Diámetro exterior de la tubería		Número de especímenes					Total
Pulgadas	Milímetros	Especímen tracción	Nick break	Doblado en raíz	Doblado en cara	Doblado de lado	
$\leq 4,5$	$\leq 114,3$	0	2	0	0	2	4
> 4.5- 12,750	> 114,3-323,9	2	2	0	0	2	6
> 12,75	323,9	4	4	0	0	4	12

Fuente: (API1104, 2013)

### 2.2.5.1. Ensayo de doblez de raíz y cara

Este ensayo es para verificar que la soldadura tenga sanidad en el cordón realizado, por lo general, se aplica para la calificación del soldador y calificación del procedimiento. El ensayo se realizará luego de haber culminado la soldadura y haber aprobado la inspección visual y aplicación de tintes penetrantes.

Los cupones deben ser extraídos de la tubería soldada en forma rectangular y con las dimensiones que la normativa indique; el cupón debe ser doblado en forma de U con la superficie de cara y la otra de raíz.

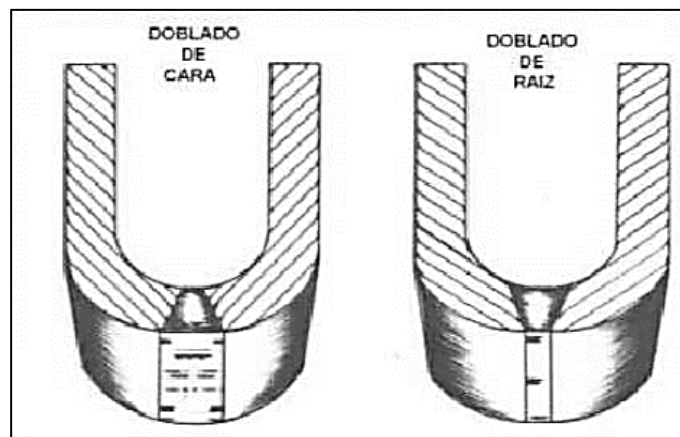


Figura 19. Cupones para el ensayo de doblado de cara y raíz.

Fuente: (Pireda, 2002)

Para API 1104, las probetas o cupones de ensayo deben tener una longitud de 228,60 mm (9 pulg) aproximadamente y un ancho de 25,4 mm (1 pulg), esto aplica para tuberías menores a 12,7 mm.

En la siguiente Figura detallamos como deberá ser un espécimen extraído del cupón de soldadura.

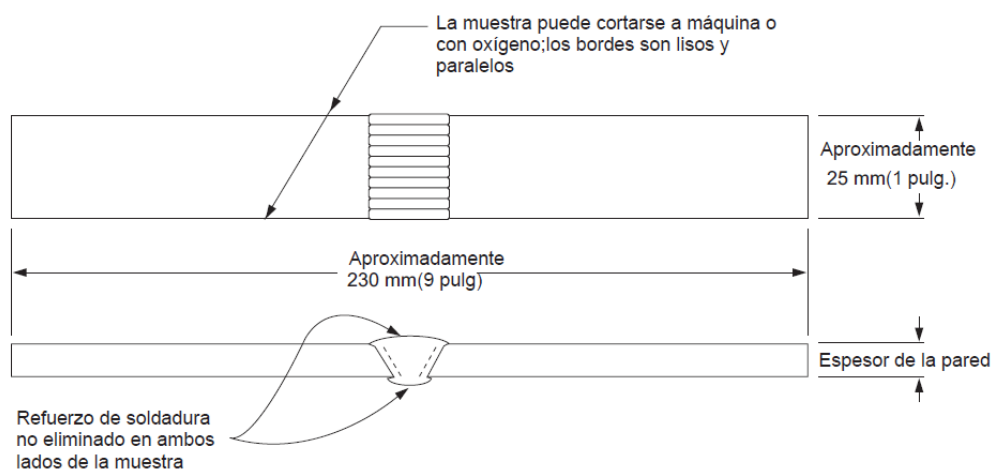


Figura 20. Dimensiones de espécimen para el doblado de cara y raíz.  
Fuente: (API1104, 2013)

#### 2.2.5.1.1. Requisitos para la aceptación de la prueba de doblado

Cuando se realice el doblado, no se debe aceptar ninguna grieta superior a 3 mm (1/8") que se pueda presentar tanto en la raíz y cara de la soldadura; a continuación, observamos la fisura que suele ocurrir.



Figura 21. Ensayo de doblez con resultados rechazados (fisura)  
Fuente: propia.

Las fisuras que se originen en el radio externo del largo del borde o en la curvatura del cupón de prueba menores a 6 mm (1/4”) no se consideran, a menos que se observe imperfecciones originadas por la soldadura. (API1104, 2013)

#### **2.2.5.2. Ensayo de tracción**

Este ensayo consiste en la aplicación de una carga determinada a una probeta debidamente normalizada, con el objetivo de determinar la máxima resistencia que soportaría.

- **Las magnitudes importantes para esta prueba son:**

- Esfuerzo a la fluencia. – Es el esfuerzo que separa la zona elástica con la zona plástica en un material.

- Esfuerzo máximo. - Es el máximo esfuerzo que toma un material durante la prueba de tracción.
- Deformación plástica final. - Es la máxima deformación plástica que experimenta un acero durante la prueba de tracción, se puede entender que es la longitud final del material en relación a la longitud inicial.
- **Las gráficas del ensayo de tracción**

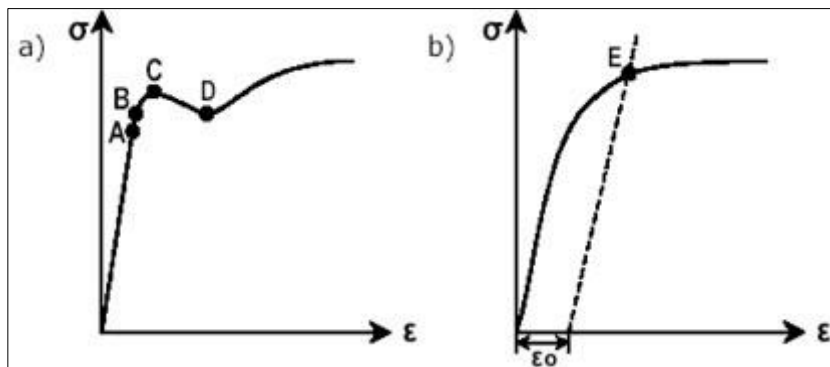


Figura 22. Gráfica de ensayo de tracción de esfuerzo vs deformación unitaria.

Fuente: (Cogollo, 2008)

Donde A: Límite de proporcionalidad, B: Límite elástico, C: Esfuerzo de fluencia superior, D: Es el esfuerzo de fluencia inferior, E: Esfuerzo de fluencia para materiales dúctiles.

- **Dimensiones del cupón de acuerdo a API 1104**

Para el ensayo de tracción se deberá extraer cupones de soldadura de acuerdo a la figura (26) y la cantidad será de acuerdo a la tabla (10)

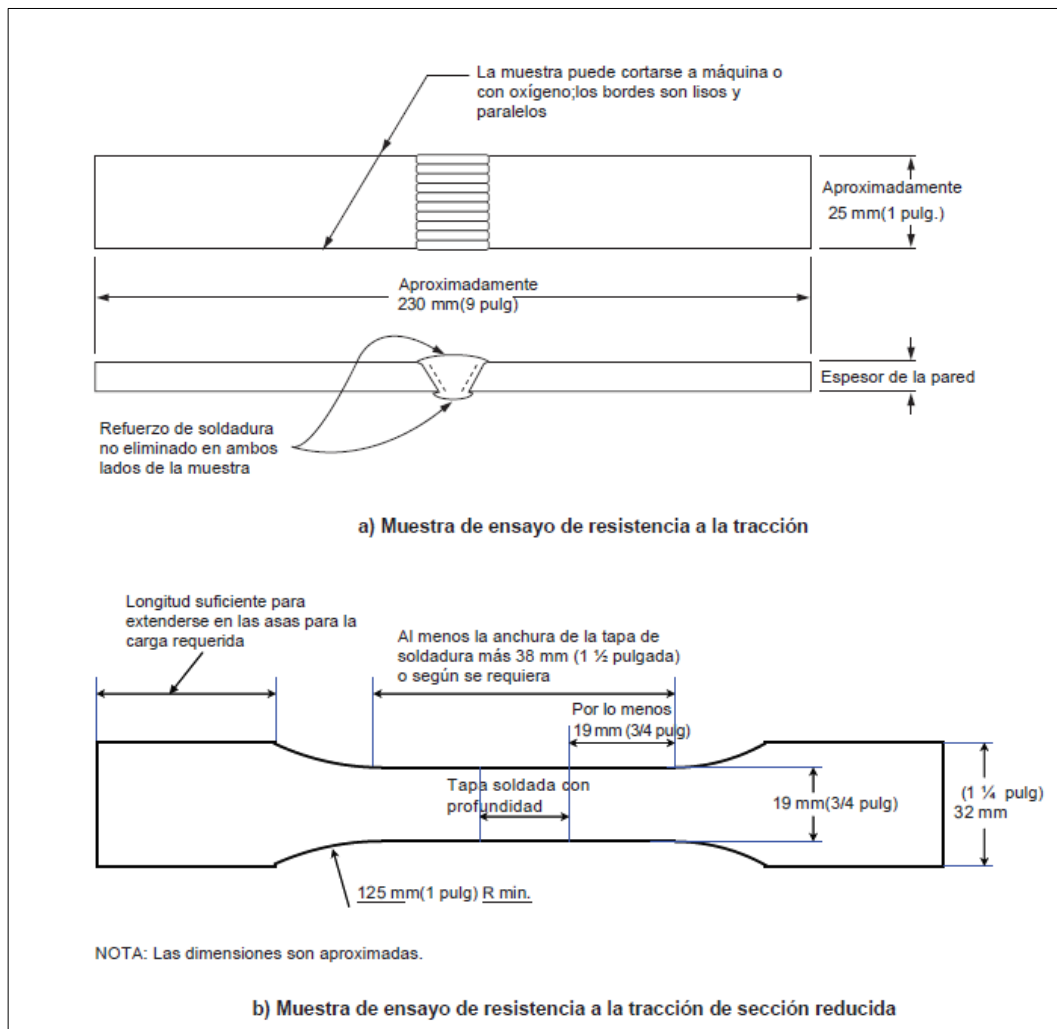


Figura 23. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción.  
Fuente: (API1104, 2013)

- **Dimensiones del cupón de acuerdo a ASTM A370-17A**

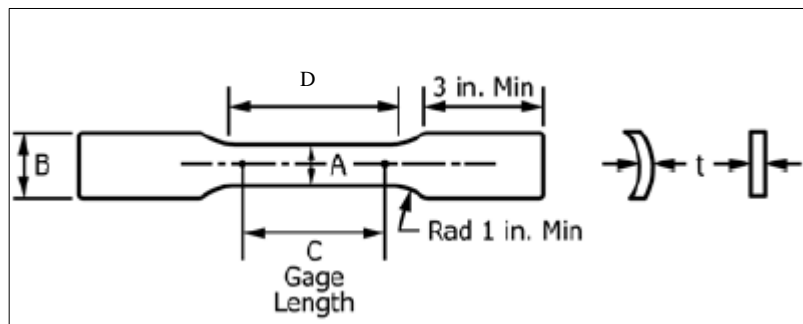


Figura 24. Dimensiones de probeta basado en norma ASTM A370-17A.

Fuente: (ASTM A370-17A, 2017)

A: Ancho de la probeta

C: Longitud entre marcas

D: Longitud de la sección reducida

B: Ancho de la probeta

t: Espesor de la probeta

Rad: radio de la probeta

En la siguiente tabla presentamos las medidas que debe tener una probeta para realizar la prueba de tracción.

**Tabla 11.**

*Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM- A370.*

Dimensiones	Probetas medidas (in)	Probetas medidas (mm)
A	$\frac{3}{4} \pm 0,031$	$19,050 \pm 0,79$
B	1	25,4
C	$2 \pm 0.005$	$50,8 \pm 0,127$
D	2 1/4	57,15
T	Espesor del material	Espesor del material
Rad.	1	25,4

Fuente: (ASTM A370-17A, 2017)

- **Dimensiones del cupón de acuerdo a ASTM E8/E8M-16 A**

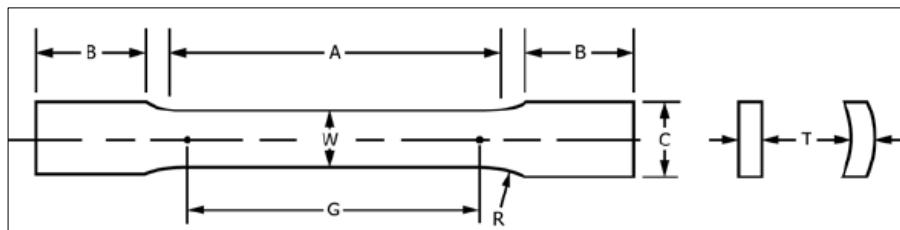


Figura 25. Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM E8/E8M-16A.

Fuente: (ASTM E8/E8M-16A, 2016)

W: Ancho de la probeta

R: Radio o redondeo

T: Espesor de la probeta

B: Sección de sujeción

A: Longitud de la sección reducida

C: Ancho de la probeta

G: Longitud entre marcas

En la siguiente Tabla presentamos las medidas que debe tener una probeta para realizar la prueba de tracción.

**Tabla 12.**

*Dimensiones de la probeta de tracción según ASTM E8/E8M-16 A.*

Dimensiones	Probeta medidas (in)	Probeta medidas (mm)
G	2 ±0,01	50,0 ± 0,1
W	0,75 ±0,031	20,0 ± 0,005
T	2 ± 0,005	Espesor del material
R	1	25
A	2,25	60
B	3	75
C	1	25

Fuente: (ASTM E8/E8M-16A, 2016)

#### **2.2.5.2.1. Requisitos para la aceptación de tracción**

El cupón soldado no se deberá romper en el cordón de soldadura que une ambas piezas unidas, y la norma API 1104 indica que la resistencia a la tracción aprobada será igual o mayor a la resistencia especificada en la tubería. En la tabla siguiente indicamos la resistencia mínima y máxima de acuerdo al certificado de calidad de la tubería Api 5LX42R.

**Tabla 13.**

*Requisitos de resistencia de acuerdo a certificado de calidad de API 5LX42R.*

Material	Resistencia a la tracción	Resistencia a la tracción
	máxima [MPa]	mínima [MPa ])
API 5L X 42 R	655	415

Fuente: (Wuxi HuaYou Special Steel Co, Ltd, 2018)

#### **2.2.6. Ensayos no destructivos de la soldadura**

Los ensayos no destructivos son pruebas donde no son necesarios para la intervención de la fuerza o cambiar la geometría de las probetas de soldadura, en este punto se definirá cada ensayo que se debe aplicar para la homologación del soldador, calificación de soldador e inspecciones de soldadura desarrolladas en campo con el objetivo de comprobar la calidad de la soldadura.

##### **2.2.6.1. Ensayo de tintes penetrantes**

Este ensayo es para poder verificar indicaciones en la superficie de la soldadura, se emplea el principio de capilaridad que admite evidenciar las discontinuidades de la soldadura como poro, fisuras, mordeduras, golpe de arco. etc. Generalmente se aplica en materiales no porosos metálicos, plásticos, vidrios, etc.

### 2.2.6.1.1. Aplicación del método

La aplicación de este método consiste en 5 pasos que se describirán a continuación:

- a) Limpieza de la zona a inspeccionar: primeramente, se debe realizar la limpieza inicial con un trapo que no expulse pelusa debido a que esto ocasionaría falsas indicaciones en la prueba; en seguida, se realizará una limpieza con el líquido llamado “Cleaner Magnaflux” en zona donde se va a inspeccionar.

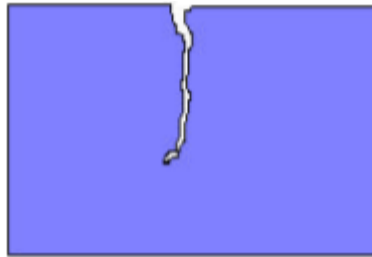


Figura 26. Inspección de tintes penetrantes; zona de inspección.  
Fuente: (Echevarria, 2003)

- b) Luego de haber realizado la limpieza, se procederá a aplicar con una brocha el líquido penetrante en la zona donde se realizó la soldadura, luego se dejará transcurrir 10 min para que el líquido penetrante pueda ingresar a indicaciones que puedan encontrar en la soldadura.

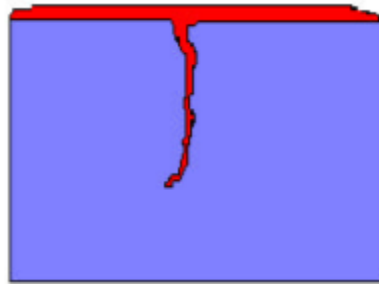


Figura 27. Rociado de tinte penetrante rojo.  
Fuente: (Echevarria, 2003)

- c) Luego de aplicar el tinte penetrante se procederá a hacer la limpieza de exceso del líquido, para ello se utilizará un trapo limpio y luego se procederá a limpiar con el líquido “Cleaner Magnaflux”.

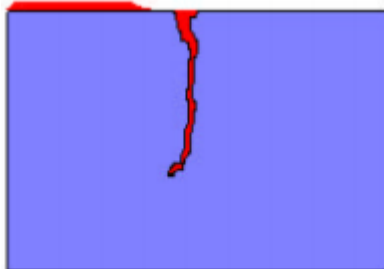


Figura 28. Limpieza de tinte penetrante luego de haber esperado 10 min.  
Fuente: (Echevarria, 2003)

- d) Como cuarto paso, se procederá a aplicar el revelador que ocasionará que el producto aplicado absorba el líquido penetrante ingresado en las indicaciones, primero; en Figura (35) podemos notar cómo actúa el revelador sobre la indicación, y segundo; observamos en la Figura (36) cómo el revelador absorbe

la indicación, luego de ello, se realizará la inspección; por experiencia la profundidad del poro o fisura se determinará de acuerdo al diámetro de líquido rojo expulsado sobre la superficie.

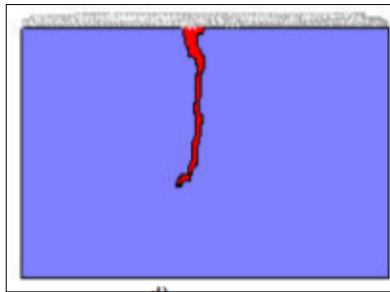


Figura 29. Rociado de revelador sobre la superficie de inspección.  
Fuente: (Echevarria, 2003)

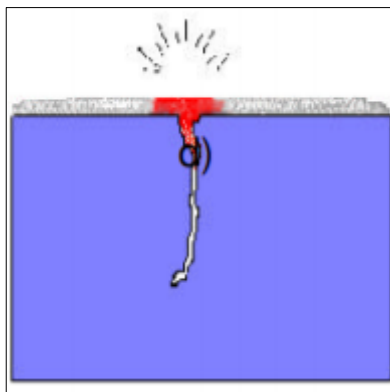


Figura 30. Absorción de tinte penetrante sobre la superficie.  
Fuente: (Echevarria, 2003)

- e) Luego de realizar inspección y determinar el tipo de indicación, se procederá a retirar el revelador.

#### 2.2.6.2. Ensayo de radiografía

Es una técnica de inspección no destructiva que se basa en la transferencia y reabsorción de radiación del cupón de soldadura que se esté examinando.

La cantidad de absorción será diferente en los materiales debido a la variación de la masa, la geometría, el contenido de la tubería, el espesor, etc., esa variación podrá ser detectada por una película y reflejado en una imagen conocida como placa radiográfica (Arévalo, 2018).

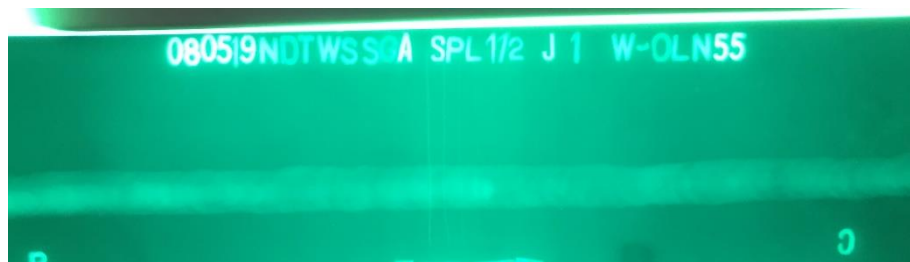


Figura 31. Resultado de placa radiográfica.  
Fuente: Propia

Las zonas oscuras que se reflejan en la placa son los materiales de baja absorción, y las áreas blancas son materiales de alta absorción.

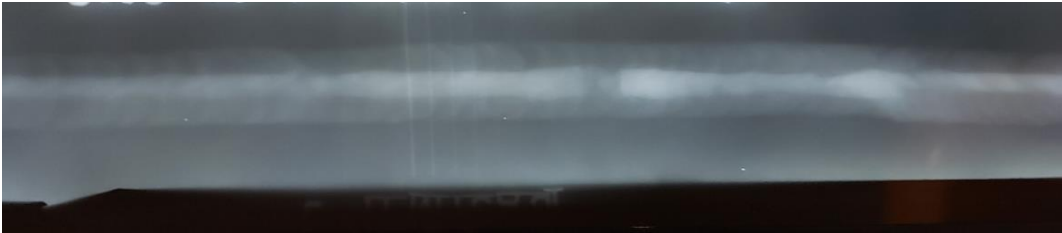


Figura 33. Ejemplo de placa radiográfica con baja zona de baja absorción.  
Fuente: Propia.



Figura 32. Ejemplo de placa radiográfica con zonas de alta absorción.  
Fuente: Propia.



Figura 34. Ejemplo de placa radiográfica con baja absorción.  
Fuente: Propia.

En la Figura 32 se observa zonas demasiadas blancas que indican que habría un exceso de material, por ello, se deduce que hay demasiada radiación que fue atrapada en esa zona, y las áreas negras indican que hay un vacío donde no fue atrapada la radiación, por ende, impactará en la placa radiográfica.

- **Seguridad en radiografía.**

Todo personal que integra para realizar la prueba radiográfica deberá tener nivel I o II, para ello deben tener un dosímetro personal tipo lapicero o detector sonoro para registrar y controlar que la radiación sobrepase los límites permitidos. Antes de realizar las pruebas deben tener IPRC, certificado de calidad del equipo, certificado de habilitación emitida por IPEN.

Para mejorar la protección de todo el personal se deberá realizar una delimitación en un radio 100 metros, este es una sugerencia debido a que los couries con que se encuentre cargado el equipo determinará el radio de radiación.

### **2.2.6.3. Inspección visual de soldadura**

La inspección visual de soldadura es un ensayo primordial debido a que, con ello, se determinará la aceptación del cordón de soldadura de acuerdo al código que se esté aplicando, para esto, se necesitará de instrumentos que ayuden a inspeccionar las juntas de soldadura.

La visión y la experiencia del inspector es muy importante, por ende, el inspector debe tener certificación y calificación de nivel II en inspección visual de soldadura de acuerdo a la práctica recomendada ASNT TC-1A.

El inspector deberá conocer primero; los principios de inspección visual de soldadura, segundo; manejo de los equipos de inspección visual, tercero; aplicar técnicas de inspección visual, cuarto; saber y conocer los procedimientos de soldadura y para ello saber el método y la norma a aplicar, quinto; conocer la defectología de la soldadura y saber decidir sobre requisitos ambiguos.

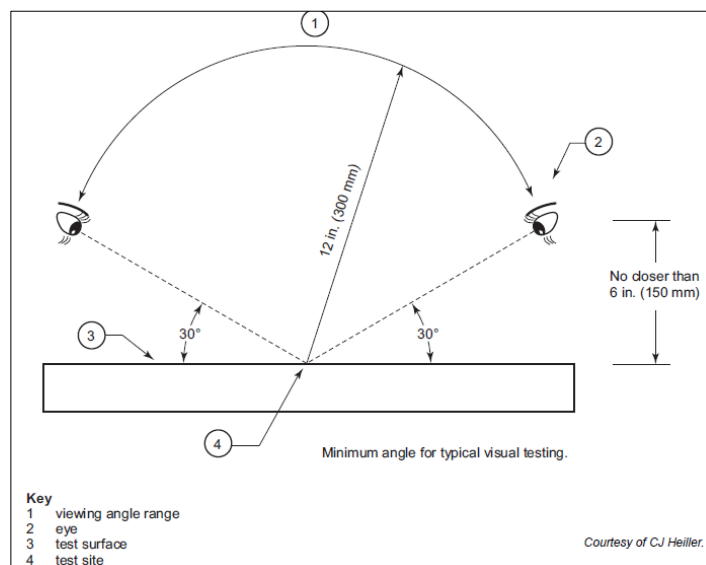


Figura 35. Distancia mínima de inspección visual de acuerdo a API.

Fuente: (American Petroleum Institute , 2013)

La inspección visual se debe realizar a una distancia mínima de 300 mm (12 pulg) del punto a inspeccionar y con un ángulo no menos a 30°, con una altura máxima de 150 mm, de esta forma, se ejecutará correctamente la inspección visual,

esto dependerá de cada persona, por ello, antes que un inspector verifique y de resultados, debe ser un profesional que se encuentre capacitado.

### 2.2.6.3.1. Etapas de control de inspección visual.

- Inspección visual antes de la soldadura.

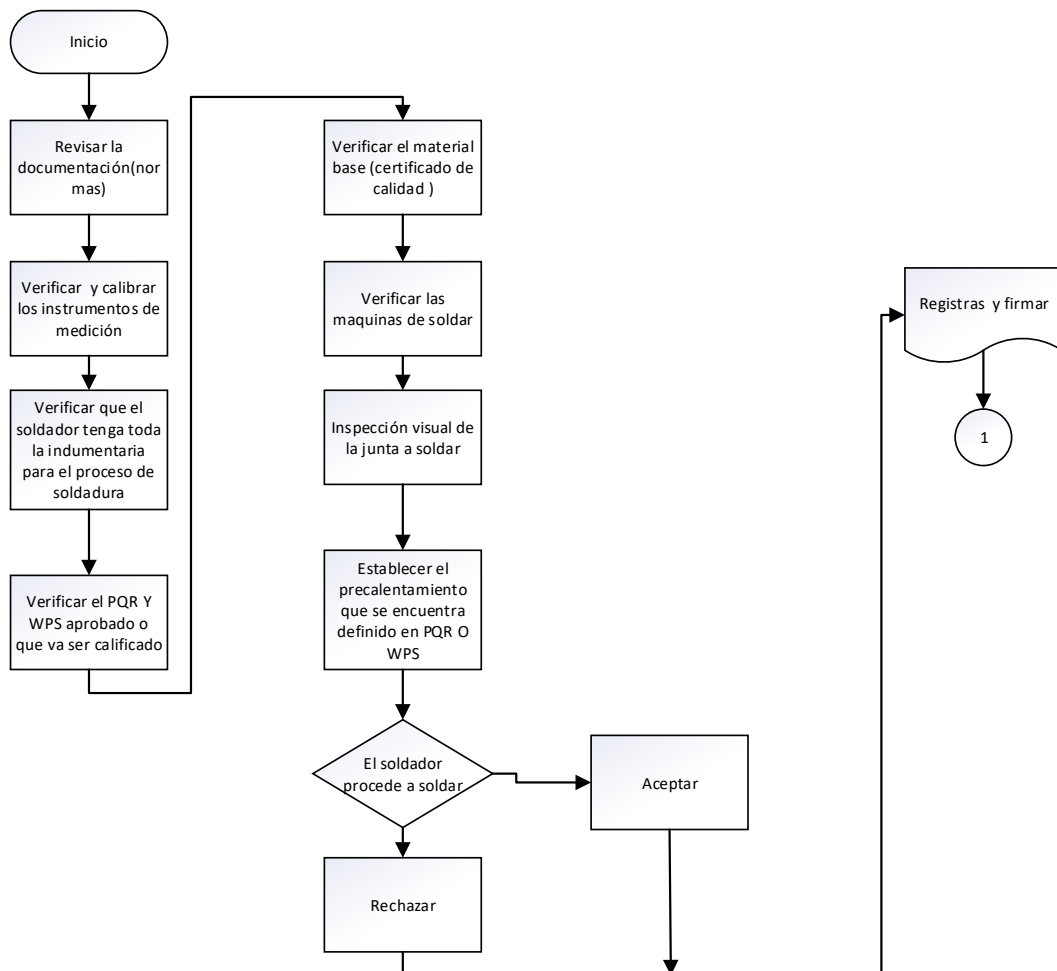


Figura 36. Diagrama de etapas de inspección de visual antes de la soldadura.  
Fuente: Propia.

- Durante la soldadura:

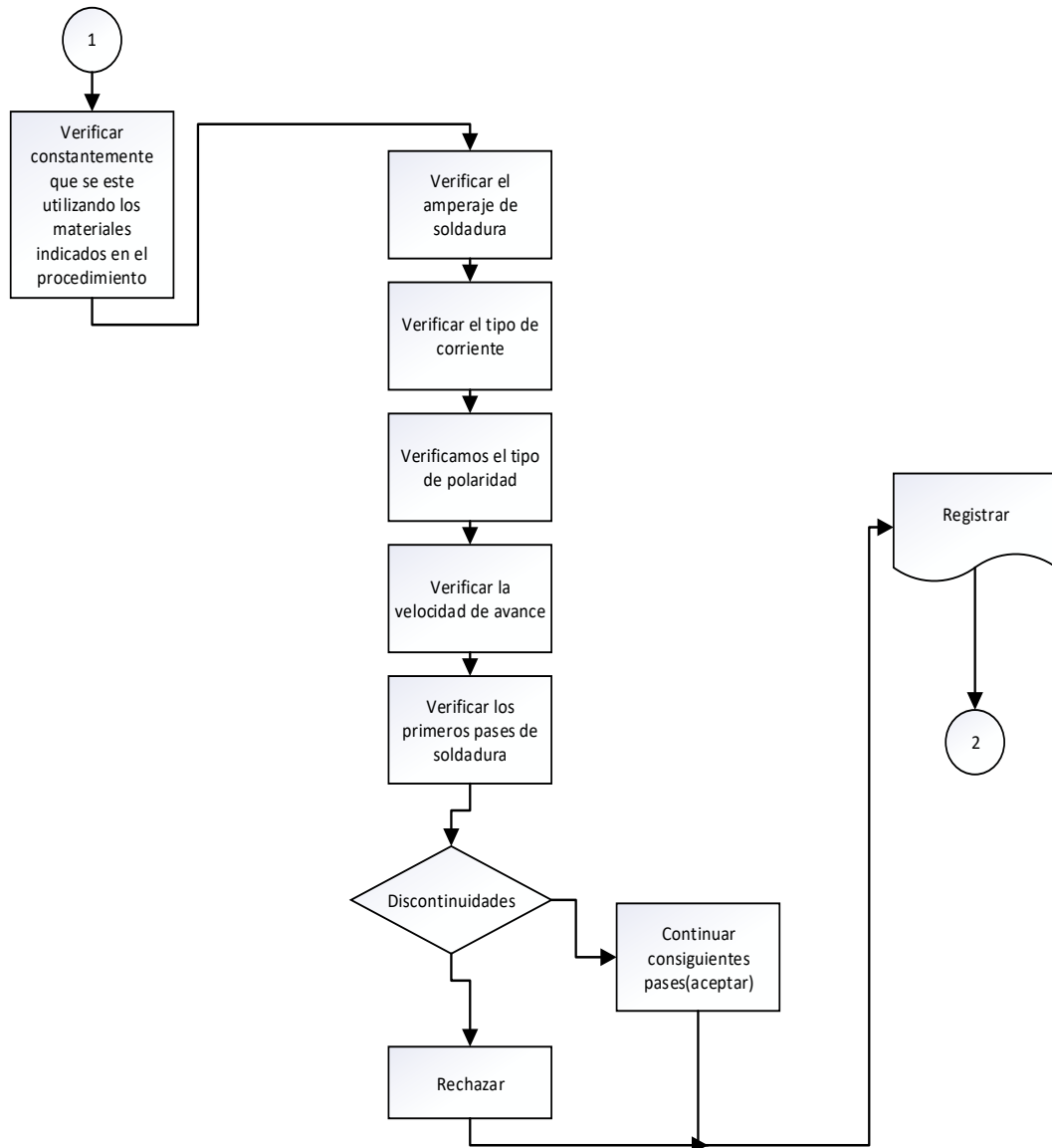


Figura 37. Diagrama de etapas de inspección visual durante la soldadura.  
Fuente: Propia

- Después de la soldadura

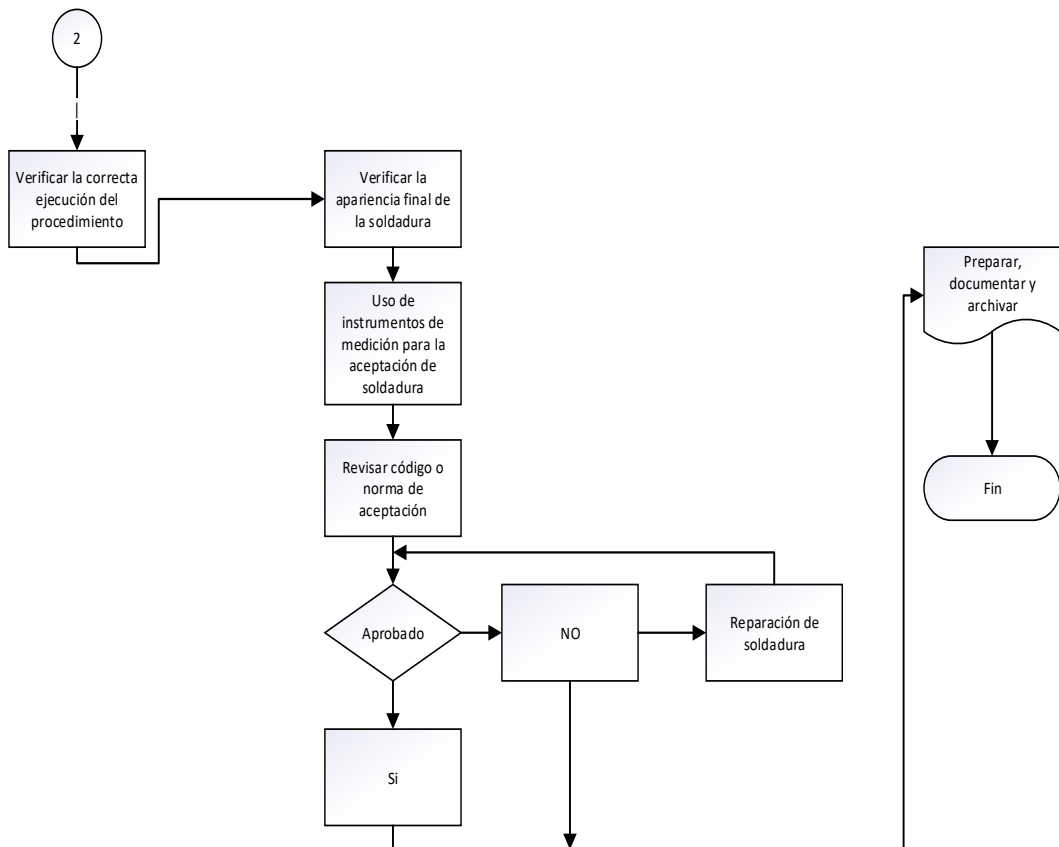


Figura 38. Diagrama de etapas de inspección visual después de la soldadura.  
Fuente: Propia

### 2.2.6.3.2. Instrumentos para la inspección visual

Durante la inspección visual de soldadura se necesitará de instrumentos que permitan medir y esclarecer las decisiones sobre una discontinuidad, estos

instrumentos debes ser calibrados cada 6 meses para tener la exactitud de la inspección. A continuación, se definirá cada uno de los instrumentos.



Figura 39. Maletín de instrumentos de inspección visual.  
Fuente: Propia

- **Bridge Cam.** - Este instrumento es para medir la altura del refuerzo, la socavación, el tamaño de cordón, etc.
- **Galga para medir el tamaño de la soldadura.** - Es un instrumento que está diseñado para medir la sobremonta de la soldadura y podemos medir la garganta en cada pase de la soldadura.
- **Galga Hi-lo.** -Este instrumento es para ver los desalineamientos internos de la tubería, debido a que los accesorios generalmente tienen una variación de espesor.
- **Goniómetro.** – Este instrumento es para verificar la preparación del bisel.

### **2.3. Definición de términos**

**APERTURA DE RAÍZ:** Es la distancia entre dos elementos que van a unirse por soldadura.

**PENETRACIÓN:** Es la acción de rellenar o depositar material de aporte.

**BISEL:** Preparación de cantos de un material en forma inclinada o con ángulo determinado en el procedimiento.

**CAPA:** Material que fue depositado en una junta de soldadura.

**JUNTA:** Cordón de soldadura que fue soldada entre dos componentes metálicos.

**CORDÓN:** Depósito de un metal de soldadura sobre una superficie que este compuesto de metal base y metal de aporte.

**CALIFICACIÓN:** Es un documento donde se puede evidenciar la habilidad del soldador para realizar un cordón de soldadura de buena calidad.

**CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO:** Demostración de que la soldadura depositada cuenta con todos los requisitos solicitados en una norma.

**CARA DE RAÍZ:** La parte interna de la tubería; es donde se deposita el primer cordón de soldadura.

**DISEÑO DE UNIÓN:** Dimensiones que fueron seleccionadas para la unión de soldadura.

**FUSIÓN COMPLETA:** Es la fusión que se ocasionó entre el metal base y el metal de aporte, es decir que no se encuentra metal base expuesto.

**MÁQUINA DE SOLDAR:** Equipo para poder desarrollar un cordón de soldadura mediante el arco eléctrico.

**METAL BASE:** Metal que va a ser fusionado mediante la soldadura.

**METAL DE APORTE:** Metal que va a ser agregado en un cordón de soldadura a desarrollar, por lo general es conocido como electrodo.

**METAL DEPOSITADO:** Metal de aporte que fue agregado en un cordón de soldadura ya solidificado.

**PORTA ELECTRODO:** Pinza que sostiene el metal de aporte o electrodo.

**WPS:** Documento donde esta descrito todos los procedimientos y requisitos para poder desarrollar un cordón de soldadura aceptable.

**IMPERFECCIÓN:** La discontinuidad o irregularidad que es detectable por métodos descritos en esta norma.

**FISURAS:** Grieta longitudinal.

**PQR (*Procedure Qualification Record*):** Es un documento donde se encuentra registrado las variables para poder desarrollar un cordón de soldadura, además se describe las pruebas mecánicas como sustento de la calidad de soldadura.

**CWI:** Está capacitado para realizar inspecciones y verificar que el trabajo inspeccionado y la documentación se mantienen conforme a los requerimientos de las normas que se apliquen en cada proyecto.

**CORRIENTE DE SOLDADURA:** La corriente que fluye por un conductor para poder lograr fusionar el material de aporte con el material base.

**WELDING BOOK:** En castellano indica libro de soldadura, y es un registro que se utiliza para el control de juntas de soldadura realizadas.

**WELDIG MAP:** En castellano indica mapa de soldadura, y es un registro que se utiliza para identificar las juntas dentro de un croquis o plano.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

Investigación es de tipo aplicativo, “razón del uso de técnicas, conocimientos, procesos y equipo necesarios para generar bienes y que gracias a ello puedan generar la solución de problemas prácticos” (Uribe & Garcia Nieto, 2006).

El nivel de investigación explicativo es a razón que se tiene una causa y efecto. La causa es el procedimiento de soldadura y el efecto; mejorar la calidad de soldadura.

#### **3.2. Diseño de investigación**

La presente investigación pertenece a una indagación experimental, debido a que se efectúa manipulación de variables en el procedimiento de soldadura, para obtener una calidad de soldadura óptima.

#### **3.3. Población y muestras**

##### **3.3.1. Población**

- Cordones de soldadura

##### **3.3.2. Muestras**

- 71 muestras que pertenecen a las 12 probetas

### 3.4. Operacionalización de variables

**Tabla 14**  
*Operacionalización de Variables.*

Variables	Definición	Dimensiones	Indicador
VD: Tubería de acero bajo la norma API 1104	"El fabricante debe identificar y planificar los procesos de fabricación, que afecten a la calidad y debe asegurarse que este proceso se lleve a cabo en condiciones controladas" (Casal, Salueñas , & Ortiz, 2003)	Procedimiento de soldadura.	Aceptado/Rechazado por CWI la calidad
		Inspección visual	Aceptado/Rechazado la calidad
		Tracción=T	T= 415 Mpa a 655Mpa.
		Doblez=D	
VI: Procedimiento de soldadura	Un documento escrito donde su importancia es fundamental; por ende, se debe elaborar con pautas para que la junta de soldadura sea de calidad.	Radiografía	Aceptado/Rechazado la calidad
		Tintes penetrantes	
		-Corriente	I: Amperios.
		-Diámetro	Ø: milímetro.
		-Velocidad de avance	Pulg/min
-Temperatura de precalentamiento.	Ø: milímetro.		
			Aceptado/Rechazado

Fuente: propia.

### 3.5. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

La información de la presente investigación se obtendrá usando los instrumentos descritos en la tabla, los cuales serán aceptados por ingenieros de especialidad.

**Tabla 15.**

*Instrumentos para la recolección de datos.*

Técnica	Uso	Instrumento
Observación	Análisis de resultados de laboratorios y ensayos	Unidades de datos

Fuente: propia

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Determinar el amperaje y la velocidad de avance para el procedimiento.

##### 4.1.1. Diseño de experimentos

Para determinar el efecto que tiene los distintos parámetros muestreados en la soldadura se determinara que corriente y velocidad puede ser para nuestro procedimiento, dichos rangos establecidos por soldadores capacitados en este rubro de la soldadura, que con base en su experiencia van eligiendo parámetros para la soldadura.

se realizarán pruebas donde se verifique cual es lo más óptimo para mejorar la calidad de la soldadura, por ello haremos pruebas divididas en 4 días

Se planteó realizar 12 probetas que contendrán cada una 6 pase de soldadura y se tendrá como respuesta aprobado o rechazado. Cada prueba se volverá a repetir para verificar si las pruebas son confiables.

**Tabla 16**  
*Pruebas de amperaje y velocidad*

DIA	N° DE PROBETA	PRUEBA	PASE	AMPERAJE	VELOCIDAD	DEFECTO	VARIABLE DE RESPUESTA
1	1	pr01	Raíz	70	4	falta de fusión	rechazado
1	1	pc01	caliente	100	5	falta de fusión	rechazado
1	1	pr01	relleno 1	90	6	poros	rechazado
1	1	pr2_1	relleno 2	90	6	escoria alargada	rechazado
1	1	pa01	acabado 1	70	4	falta de fusión e inclusión de escoria	rechazado
1	1	pa2_1	acabado 2	70	4	falta de fusión y mordeduras	rechazado

1	2	pr02	Raíz	70	4	Mordedura	rechazado
1	2	pc02	caliente	100	5	grietas	rechazado
1	2	pr02	relleno 1	90	6	falta de relleno y grosor del cordón	rechazado
1	2	pr2_2	relleno 2	90	6	poros	rechazado
1	2	pa02	acabado 1	70	4	traslape en frio	rechazado
1	2	pa2_2	acabado 2	70	4	falta de fusión	rechazado
1	3	pr03	Raíz	70	4	falta de penetración	rechazado
1	3	pc03	caliente	100	5	grietas	rechazado
1	3	pr03	relleno 1	90	6	falta de relleno y grosor del cordón	rechazado
1	3	pr2_3	relleno 2	90	6	cráter	rechazado
1	3	pa03	acabado 1	70	4	falta de fusión	rechazado
1	3	pa2_3	acabado 2	90	4	falta de fusión	rechazado
2	4	pr01	Raíz	90	5	n/a	aprobado
2	4	pc01	caliente	120	6	n/a	aprobado
2	4	pr01	relleno	110	7	n/a	aprobado
2	4	pr2_1	relleno 2	110	7	n/a	aprobado
2	4	pa01	acabado 1	90	5	n/a	aprobado
2	4	pa2_1	acabado 2	90	5	n/a	aprobado
2	5	pr02	Raíz	90	5	n/a	aprobado
2	5	pc02	caliente	120	6	n/a	aprobado
2	5	pr02	relleno	110	7	n/a	aprobado
2	5	pr2_2	relleno 2	110	7	n/a	aprobado
2	5	pa02	acabado 1	90	5	n/a	aprobado
2	5	pa2_2	acabado 2	90	5	n/a	aprobado
2	6	pr03	Raíz	90	5	n/a	aprobado
2	6	pc03	caliente	120	6	n/a	aprobado
2	6	pr03	relleno	110	7	n/a	aprobado
2	6	pr2_3	relleno 2	110	7	n/a	aprobado
2	6	pa03	acabado 1	90	5	n/a	aprobado
3	7	pr01	Raíz	110	6	n/a	aprobado
3	7	pc01	caliente	130	7	n/a	aprobado
3	7	pr01	relleno	130	8	n/a	aprobado

3	7	pr2_1	relleno 2	130	8	n/a	aprobado
3	7	pa01	acabado 1	110	6	n/a	aprobado
3	7	pa2_1	acabado 2	110	6	n/a	aprobado
3	8	pr02	Raíz	110	6	n/a	aprobado
3	8	pc02	caliente	130	7	n/a	aprobado
3	8	pr02	relleno	130	8	n/a	aprobado
3	8	pr2_2	relleno 2	130	8	n/a	aprobado
3	8	pa02	acabado 1	110	6	n/a	aprobado
3	8	pa2_2	acabado 2	110	6	n/a	aprobado
3	9	pr03	Raíz	110	6	n/a	rechazado
3	9	pc03	caliente	130	7	n/a	aprobado
3	9	pr03	relleno	130	8	n/a	aprobado
3	9	pr2_3	relleno 2	130	8	n/a	aprobado
3	9	pa03	acabado 1	110	6	n/a	aprobado
3	9	pa2_3	acabado 2	110	6	n/a	aprobado
4	10	pr01	Raíz	140	7	Quemón	rechazado
4	10	pc01	caliente	180	8	mordeduras	rechazado
4	10	pr01	relleno	160	9	inclusión de escoria	rechazado
4	10	pr2_1	relleno 2	160	9	porosidades e inclusión de escoria	rechazado
4	10	pa01	acabado 1	140	7	socavaciones , salpicaduras y cordón con mala apariencia	rechazado
4	10	pa2_1	acabado 2	140	7	chisporroteo e inclusiones de escoria	rechazado
4	11	pr02	Raíz	140	7	exceso de penetración	rechazado
4	11	pc02	caliente	180	8	mordeduras y exceso de penetración	rechazado
4	11	pr02	relleno	160	9	Porosidades	rechazado
4	11	pr2_2	relleno 2	160	9	fisura	rechazado
4	11	pa02	acabado 1	140	7	falta de penetración y salpicaduras y mala apariencia	rechazado
4	11	pa2_2	acabado 2	140	7	de soldadura mordedura y cordón de mala apariencia	rechazado

4	12	pr03	Raíz	140	7	quemón	rechazado
4	12	pc03	caliente	180	8	exceso de penetración y chisporroteo	rechazado
4	12	pr03	relleno	160	9	fisura	rechazado
4	12	pr2_3	relleno 2	160	9	porosidades	rechazado
4	12	pa03	acabado 1	140	7	socavaciones y salpicaduras y cordón con mala apariencia	rechazado
4	12	pa2_3	acabado 2	140	7	grieta en material base	rechazado

Fuente: propia

Cada prueba se probada 3 veces para verificar que la inspección sale aprobada o rechazada.

La inspección y la evaluación de los resultados fue realizada por inspección de ultrasonido donde se determinó el resultado de nuestra soldadura.

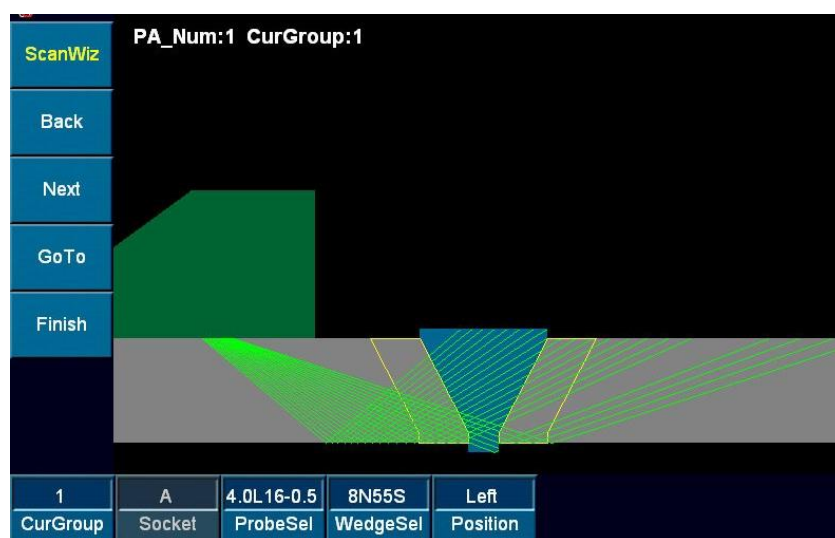


Figura 40. Pantalla del equipo donde se verifica el sonido transmitido por el equipo,  
Fuente: propia

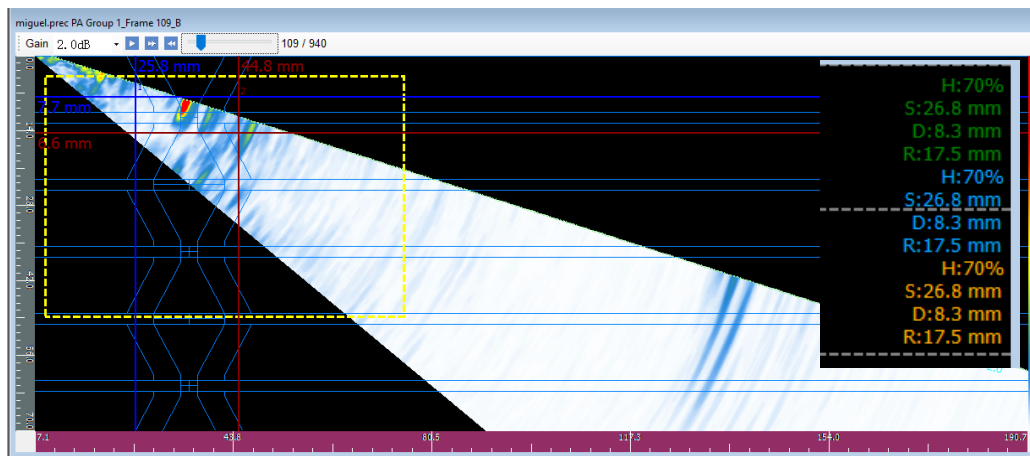


Figura 41. Falta de penetración en raíz, longitud 26 mm, profundidad; L 8.6mm y 1mm de altura del defecto.  
Fuente: propia

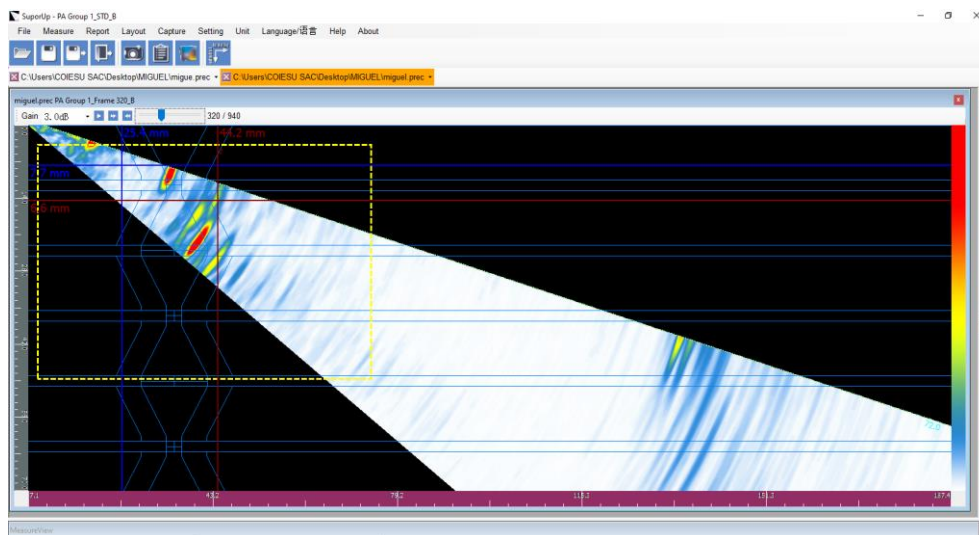


Figura 42. Defecto; falta de fusión en la raíz a profundidad de 9 mm, altura del defecto de 5mm con longitud 30 mm y defecto de inclusión de escoria a 4 mm de profundidad, acumulación de total de 26 mm.  
Fuente: Propia

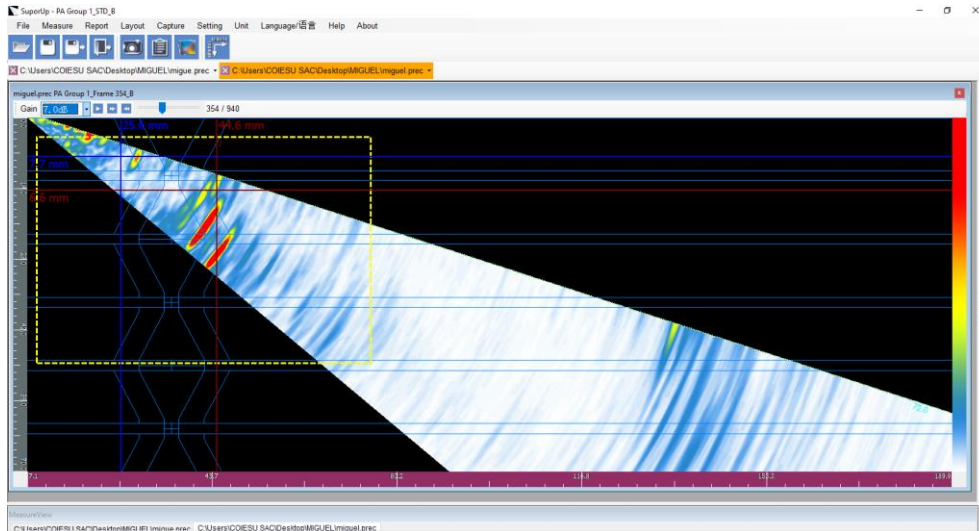


Figura 43. Acumulación de escoria y porosidad a 6,4mm de profundidad, longitud acumulada de 32 mm, altura de poro 3 mm.  
Fuente: Propia

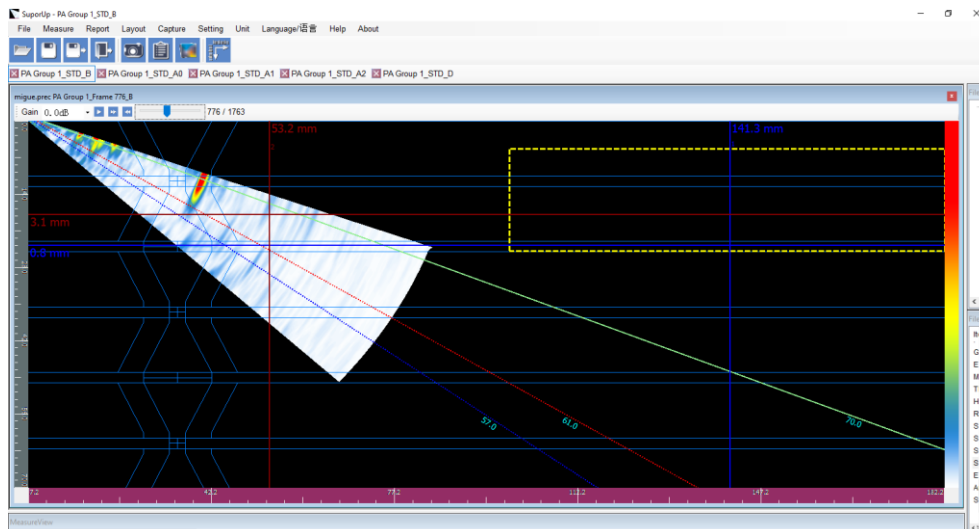


Figura 44. Falta de fusión en la raíz a una profundidad de 9mm, longitud de 27mm y altura 0.5mm  
Fuente: Propia

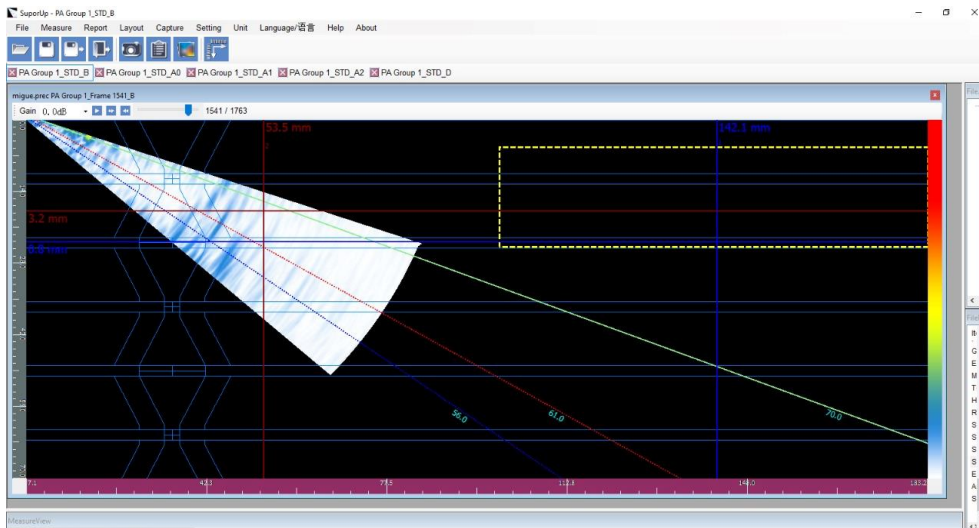


Figura 45. Inspección de ultrasonido sin defectos.  
Fuente: Propia.

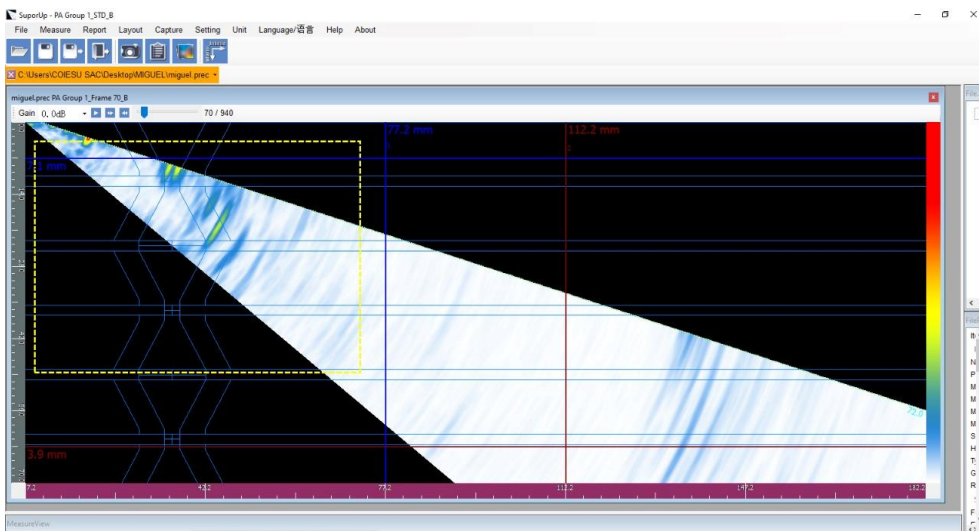


Figura 46. Inspección de ultrasonido sin defectos con resultados aceptables.  
Fuente: propia

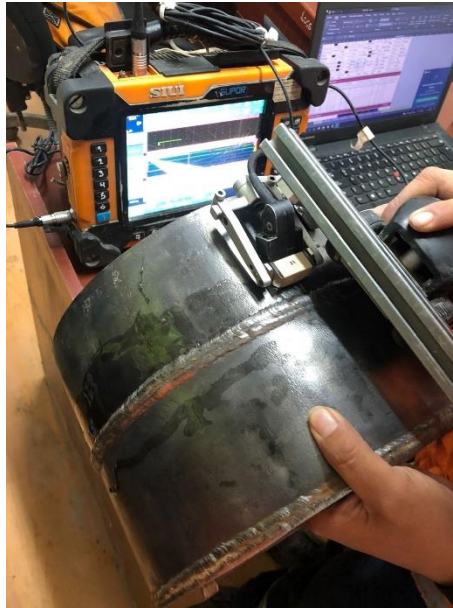


Figura 47. Inspección de ultrasonido  
Fuente: propia

## **4.2. Elaborar el procedimiento de soldadura para tubería de acero API 5L X42R**

Como primer paso, se debe realizar la recolección de datos de acuerdo al API1104 y como segundo paso, y último objetivo se comprobará la calidad de soldadura para luego plasmará los resultados en un documento PQR.

### **4.2.1. Posición de soldadura.**

Para iniciar con el PQR se necesita definir la posición en que el soldador va a posicionarse para poder realizar el cupón de prueba, esta posición es de 45° y este grado es para dificultar la prueba de homologación del soldador; generalmente en

el campo de ejecución se observa diferentes posiciones para realizar el cordón de la soldadura en la tubería.

(API1104, 2013) Indica que el soldador debe hacer una soldadura a tope, ya sea en el laminado o la fija posición. Cuando la soldadora está calificando en la posición fija, el eje de la tubería debe ser horizontal, vertical o inclinada desde la horizontal en un ángulo de no más de 45° (p.25).



Figura 48. Posición para la calificación del procedimiento de acuerdo API1104.  
Fuente: Propia.

#### 4.2.2. Diámetro y espesor de la tubería.

En este caso el procedimiento es realizado para una tubería de 14" SCH 40 con un espesor de 11,3 mm

**Tabla 17.***Datos de la tubería a soldar para el procedimiento de soldadura.*

Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor de pared		Identificación	
Pulgadas (pulg)	Milímetros mm	(pulg)	(mm.)	Weight Class	Schedule	Weigth Claw	Schedule
14	350	14	355,6	0,25	6,35	-	10
				0,281	7,14	-	-
				0,312	7,92	-	20
				0,344	8,74	-	-
				0,375	9,52	STD	30
				<b>0,438</b>	<b>11,13</b>	-	<b>40</b>
				0,469	11,91	-	-
			0,5	12,7	XS	-	

Fuente: Propia.

**4.2.3. Diseño de junta.**

Para el diseño de junta será una unión a tope V, este diseño ya está indicado por API 1104, T sería de 11,13mm; la junta realizada es de penetración completa sin respaldo o refuerzo.

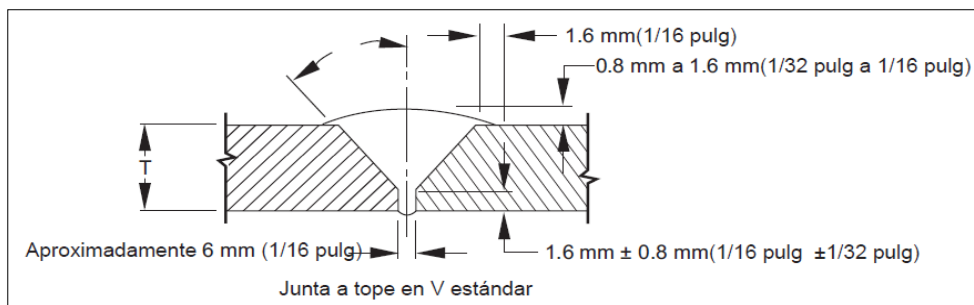


Figura 49. Dimensiones de la junta en V para la probeta en tubería de 14 Pulg.

Fuente: (API1104, 2013)

De acuerdo a la imagen se define las dimensiones de la junta.

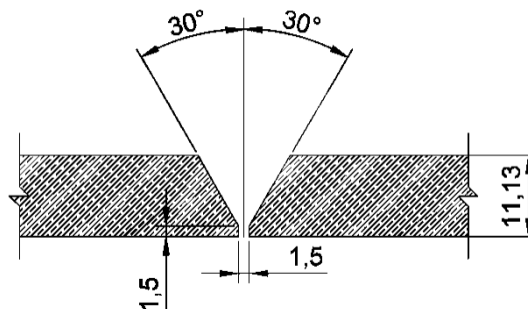


Figura 50. Dimensiones de junta de probeta.  
Fuente: Propia

#### 4.2.4. Metal de aporte.

Se seleccionará el material de aporte donde se va identificar y considerar las propiedades físicas, químicas importantes, el tipo de material a soldar, el tipo de unión que se va realizar y los requerimientos que el cliente solicita; en este caso, la soldadura se realizará en junta de unión en V y el material base a soldar será una tubería API5L X42R.

Para seleccionar el material de aporte API1104 a clasificado los materiales en función de la especificación AWS A5.1 y AWS A5.5

**Tabla 18.**

*Electrodos seleccionados de acuerdo a API 1104.*

<b>Requerimientos del metal del metal de aporte</b>			
<b>Proceso</b>	<b>AWS especificación</b>	<b>Clasificación de electrodo</b>	<b>Nombre comercial</b>
SMAW	AWS A 5.1	E6010	Cellocord PT
SMAW	AWS A 5.5	E7010-A1	Cellocord 70T

Fuente: Propia.

De acuerdo a esta tabla se seleccionaron estos electrodos ya que tienen alta penetración, la junta de soldadura es mejor ante una prueba radiográfica y la soldabilidad permite que se ejecute en diferentes posiciones. Estos electrodos son conocidos como celulósicos.

#### 4.2.5. Características eléctricas.

El amperaje y la velocidad de avance son datos importantes para desarrollar la soldadura de buena calidad, por ello, se va utilizar los resultados aceptables en la

Tabla 19

**Tabla 19.**

*Características eléctricas para el soldeo de tubería.*

VARIABLES DE SOLDADURA				
Descripción	Raíz	Caliente	Relleno	Terminación
	1pase	2do pase	3er (n-1) pases	(Último pase)
Clasificación AWS	E6010	E7010-A1	E7010-A1	E7010-A1
Diámetro del electrodo (mm)	3,25	4	4	4
Corriente	90	120	110	90
Polaridad	CC-EN	CC-EP	CC-EP	CC-EP
Velocidad (pulg/min)	5	6	7	5
Marca del producto	Soldexa Cellocord PT	Soldexa Cellocord 70-T	Soldexa Cellocord 70-T	Soldexa Cellocord 70-T

Fuente: Propia.

#### 4.2.6. Temperatura de precalentamiento.

La temperatura de precalentamiento se calcula por el método de Seferian. Para ello, con la siguiente fórmula se calculó la temperatura de precalentamiento.

$$TP(^{\circ}c) = 350\sqrt{CT - 0,25} \quad [ 1 ]$$

Para determinar CT se tendrá que verificar el carbono equivalente.

$$C_T(\%) = C_q + C_e = C_q(1 + 0,005e) \quad [ 2 ]$$

Donde (e) es el espesor del material en mm, y de acuerdo a la tabla presentada anteriormente, el espesor será de 11,13 mm.

$C_q$  = Es el carbono equivalente y se halla de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C_q = C + \frac{Mn + cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \quad [ 3 ]$$

**Tabla 20.**  
*Propiedades químicas de la tubería API 5L X42R PSL 2.*

	Propiedades químicas								
	C	SI	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Otros
X42R	0,24	0,4	1,2	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	Cu ≤ 0,50 Ni ≤ 0,30 Mo ≤ 0,15 Cr ≤ 0,30

Fuente: (OCTAL, 2020)

Se ingresó los datos de la tabla en la Ecuación 3

$$Cq = C + \frac{Mn + cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}$$
$$Cq = C + \frac{1,20 + 0,30}{9} + \frac{0,30}{18} + \frac{7(0,15)}{90}$$
$$Cq = 0,435$$

Posteriormente, se calculó el carbono equivalente en la Ecuación 2

$$C_T(\%) = C_q + C_e = C_q(1 + 0,005e)$$
$$C_T(\%) = C_q(1 + 0,005e)$$
$$C_T(\%) = 0,435(1 + 0,005(11,13))$$
$$C_T(\%) = 0,459$$

Luego, los datos calculados se reemplazaron en la siguiente Ecuación 1

$$TP(^{\circ}c) = 350\sqrt{CT - 0.25}$$
$$TP(^{\circ}c) = 350\sqrt{0.459 - 0.25}$$
$$TP(^{\circ}c) = 160$$

Con los datos determinados realizamos el cruce de resultados donde obtendremos si es necesario realizar el precalentamiento.

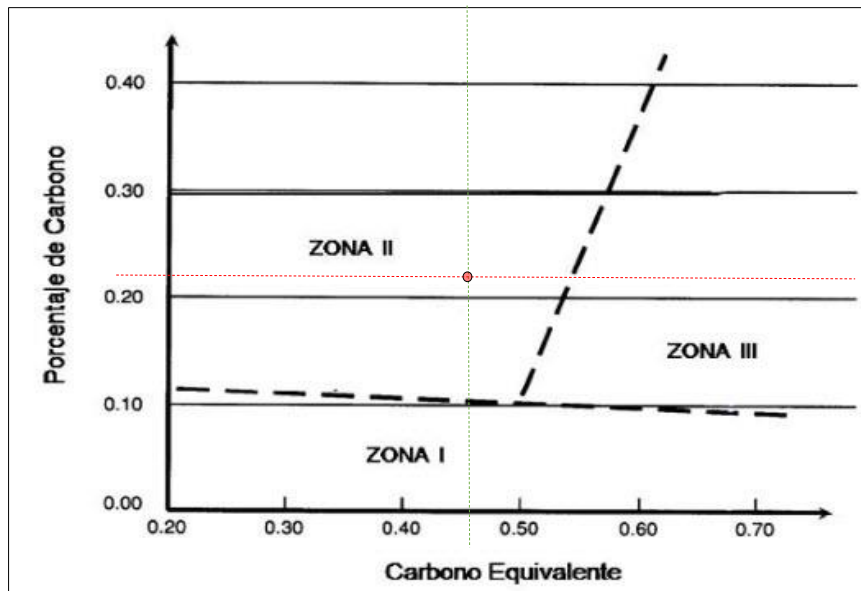


Figura 51 Diagrama de Graville para evaluar la soldabilidad de los aceros  
Fuente: (Zalazar, 2013)

De los datos obtenidos se puede indicar que se encuentra en la zona II, donde se indica que el riesgo a fisura en la zona ZAC se puede evitar mediante el control de velocidad de enfriamiento (precalentamiento).

#### 4.2.7. Pases de soldadura

Para la determinar el método y forma de rellenar la soldadura se va realizar de acuerdo a la siguiente imagen:

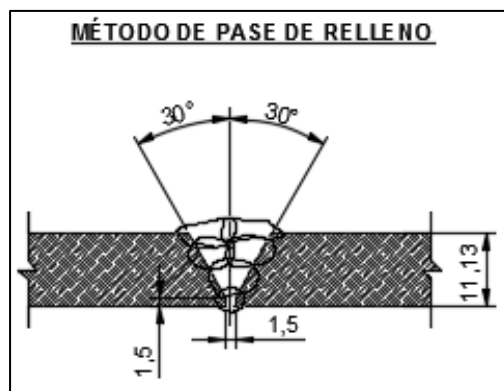


Figura 52. Método de relleno de la junta a soldar.  
Fuente: (American Petroleum Institute , 2013)

Este método esta descrito en AWS como una técnica de relleno que será útil debido a que asegura un completo y uniforme relleno de soldadura.

De acuerdo a la prueba realizada en la probeta, la junta va lograr rellenar con 6 pases.

#### 4.2.8. Formato registro de calificación del procedimiento

Este formato será un resumen de todos los datos utilizados para realizar la soldadura. Para ello, se presenta el procedimiento PQR que se encuentra en el anexo 1.

### 4.3. Análisis de resultados

#### 4.3.1. Análisis Estadístico de amperaje y la velocidad de avance

Luego de haber realizado las pruebas se determinará que amperaje y velocidad se utilizará en el procedimiento, para ello realizamos un cálculo estadístico por chi cuadrado.

Para esto estas pruebas fueron desarrollados en 4 días, como se muestra continuación.

**Tabla 21**

*Cantidad de probetas que fueron desarrolladas para la investigación.*

Día	Probetas	Prueba
1	1 al 3	1
2	4-6	2
3	7-9	3
4	10-12	4

Fuente: propia

Para hacer el resumen de las pruebas realizadas, se ordenó los resultados en una tabla de contingencia que se muestra a continuación.

**Tabla 22**

*Tabla de contingencia de condición de aceptación o rechazo de probeta de prueba.*

Condición	Pruebas de probeta de soldadura								Total	
	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		N	%
	N	%	N	%	N	%	N	%		
Aceptado	0	0,0	18	100,0	17	94,4	0	0,0	35	48,6
Rechazado	18	100,0	0	0,0	1	5,6	18	100,0	37	51,4
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>100,0</b>	<b>18</b>	<b>100,0</b>	<b>18</b>	<b>100,0</b>	<b>18</b>	<b>100,0</b>	<b>72</b>	<b>100,0</b>

Fuente: propia.

En este cuadro se presenta un resumen donde se verifica que la prueba 2 resulta con el 100 % de aceptación y luego sigue la prueba número 3 con 94,4 de aceptación y con 5,6 % de rechazo.

#### **4.3.1.1. Ensayos de inspección visual**

En cada proceso del soldeo se realizó la inspección visual de soldadura y esta debe estar de acuerdo a los criterios de aceptación que están indicados en la normativa API 1104, por ello, en este caso determinamos que la probeta tiene un aspecto aceptable.



Figura 53. Inspección visual de soldadura al culminar el soldeo de la probeta.

Con la ayuda de los instrumentos se podrá verificar la buena soldadura que fue desarrollada.

### 4.3.1.2. Ensayo de tintes penetrantes

Se realizó la prueba de tintes penetrantes de acuerdo al procedimiento descrito en el marco teórico y de las cuales los resultados fueron descritos en la Tabla 23



Figura 55: Aplicación de tinte penetrante.  
Fuente: Propio.



Figura 54. Inspección de acuerdo a API1104.  
Fuente: Propio.

**Tabla 23**

*Resultados de la prueba de tintes penetrantes.*

Tipo de limpieza	Tipo de líquido penetrante	Tipo de revelador	Criterio de aceptación	Resultado
Manual	Magnaflux	Magnaflux	API1104	Aceptable

Fuente: Propio.

**Tabla 24.**

*Tiempo de aplicación y espera en cada paso de inspección de tintes penetrantes.*

Tiempo de secado	Tiempo de penetración	Tiempo de revelado	Post limpieza
6 min	12 min	6 min	Manual

Fuente: Propio.

### 4.3.1.3. Ensayos Radiográficos

Las pruebas radiográficas serán enviadas al laboratorio para verificar que tan eficaz fueron la junta soldada.



Figura 56. Inspección de placa radiográfica de tubería de 14".  
Fuente: Propio.

En este caso los resultados son favorables como se puede apreciar en los siguientes resultados indicados en la tabla.

**Tabla 25.**

*Resultados de prueba radiográfica en la probeta calificada.*

Elemento	Placa	Espesor	Discontinuidad	Resultado
Tubería API 5L X42R	P-1	11,13	Indicación redondeada	Aceptable
Tubería API 5L X42R	P-2	11,13	Ninguna	Aceptable
Tubería API 5L X42R	P-3	11,13	Ninguna	Aceptable
Tubería API 5L X42R	P-4	11,13	Ninguna	Aceptable

Fuente: propia

En la Tabla 25 La placa P-1 presenta una indicación redondeada, y este sería aceptable debido a que estaría dentro del rango de aceptación como indica API 1104 en el párrafo 9.3.9.2 donde indica que el poro no puede exceder los 3 mm.

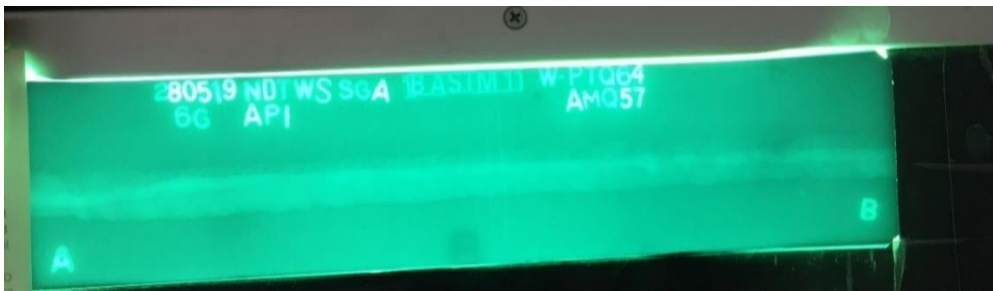


Figura 57. Placa radiográfica P1 del procedimiento calificado.  
Fuente: propia.



Figura 58. Placa radiográfica P2 del procedimiento calificado  
Fuente: propia.

#### 4.3.1.4. Ensayo de Tracción

Las muestras que se extrajeron de la probeta soldada fueron emitidas a ensayo de tracción como lo indica API 1104 en el párrafo 5.6.2 el material ensayado es API 5L X42R, y las dimensiones de esta probeta está de acuerdo a ASTM A370-17<sup>a</sup>

**Tabla 26.**

*Resultado de las pruebas de tracción realizadas a las muestras calificadas.*

Muestra	Sección transversal	Carga (kN)	Esfuerzo(Mpa)
---------	---------------------	------------	---------------

	Ancho(mm)	Espesor(mm)	Área(mm <sup>2</sup> )		
T7 (P1)	19,1	9,42	179,1	107,0	598
T8 (P2)	19,8	9,27	176,9	107,8	609
T9 (P3)	19,7	11,02	210,2	123,4	587
T10 (P4)	19,1	10,75	204,4	118,0	557

Fuente: (Laboratorio de Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2019)

Para verificar si estos esfuerzos son aceptables se realizará la comparación entre el esfuerzo especificado en la ficha técnica del material:

**Tabla 27.**

*Cuadro comparativo de esfuerzos entre especificado y ensayado.*

Muestra	Esfuerzo de tracción especificado		Esfuerzo de tracción	Resultado
	Mínimo(kN)	Máximo(kN)	Ensayado(kN)	
T7 (P1)	415	655	598	Aceptable
T8 (P2)	415	655	609	Aceptable
T9 (P3)	415	655	587	Aceptable
T10 (P4)	415	655	557	Aceptable

Fuente: propia.

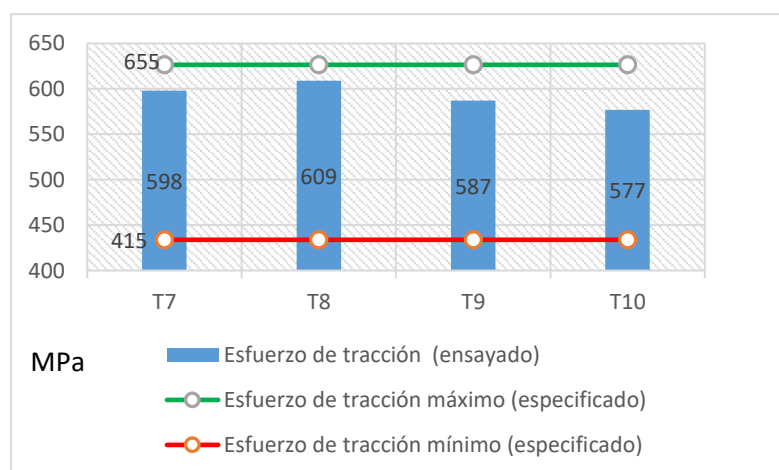


Figura 59. Cuadro comparativo de esfuerzo especificado y ensayado.

Fuente: propia.

#### 4.3.1.5. Ensayo de doblez Guiado

Este ensayo es un requerimiento por API 1104, por ende, debe ser desarrollados bajos los criterios de aceptación de la norma. El ensayo obtuvo resultados aceptables como se puede evidenciar en la Tabla 28 donde se describe que ninguna indicación pueda afectar o invalidar el procedimiento de soldadura desarrollado.



Figura 60. Dobleza de probeta soldada.  
Fuente: Propia.

En la anterior fotografía, observamos que la probeta ya fue doblada en forma de U, el doblez debe ser en raíz y cara, quiere decir que la soldadura tiene dos caras tanto interior y exterior como indica la siguiente imagen:



Figura 61. Doblado en raíz de la probeta soldada.  
Fuente: Propia.



Figura 62. Doblado de cara de la probeta soldada.  
Fuente: Propia.

**Tabla 28.**

*Resultado de ensayo de dobléz.*

Probeta	Estampa del soldador	Doblado de probeta		Inspección visual	
				Cara	Raíz
01	FACH37	Cara	-	Sin defectos	
02	FACH37	Cara	-	Sin defectos	
03	FACH37	Cara	-	Sin defectos	
04	FACH37	Cara	-	Sin defectos	
05	GCHC67	-	Raíz		Sin defectos
06	GCHC67	-	Raíz		Sin defectos
07	GCHC67	-	Raíz		Sin defectos
08	GCHC67	-	Raíz		Sin defectos

Fuente: Propio.

#### **4.3.2. Análisis con el procedimiento y sin procedimiento de soldadura mediante el ensayo radiográficos.**

Para realizar este análisis se soldaron 8 probetas donde en 4 de ellas se realizó con el amperaje y velocidad determinada, y el resto con otras velocidades y amperajes, donde se tuvo los siguientes resultados.

Comparando los reportes originados con soldadura sin procedimiento y con procedimiento se puede evidenciar la reducción de indicaciones como se detalla en la tabla 32.

**Tabla 29.**  
*Comparación de ensayos radiográficos con procedimiento y sin procedimiento.*

Reporte	Indicaciones redondeadas	Inclusión de escoria	Porosidad	Fusión incompleta	Crack	Penetración inadecuada	Total, de indicaciones
Sin procedimiento	2	3	3	6	2	2	18
Con procedimiento	0	1	0	1	0	0	2

Fuente: Propia.

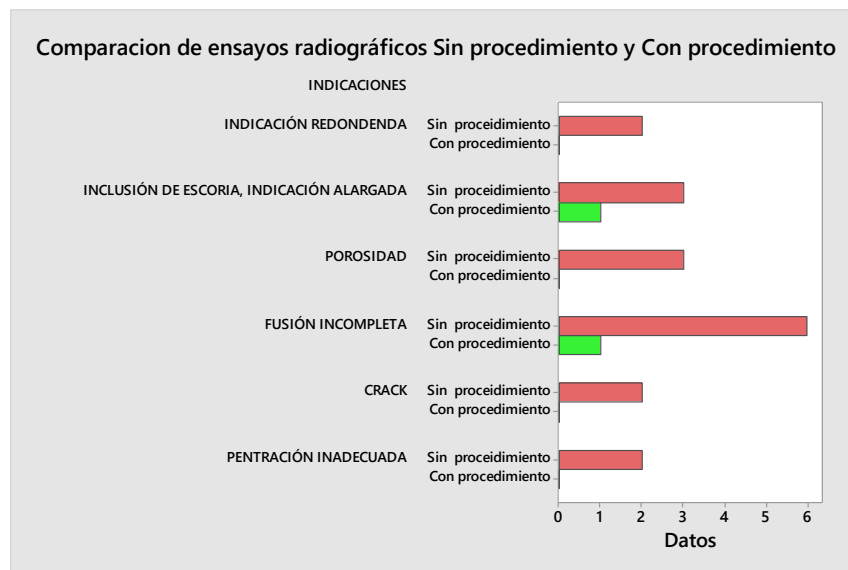


Figura 63. Comparación de ensayos de radiografía con procedimiento y sin procedimiento con grafico de barras.

Fuente: propia

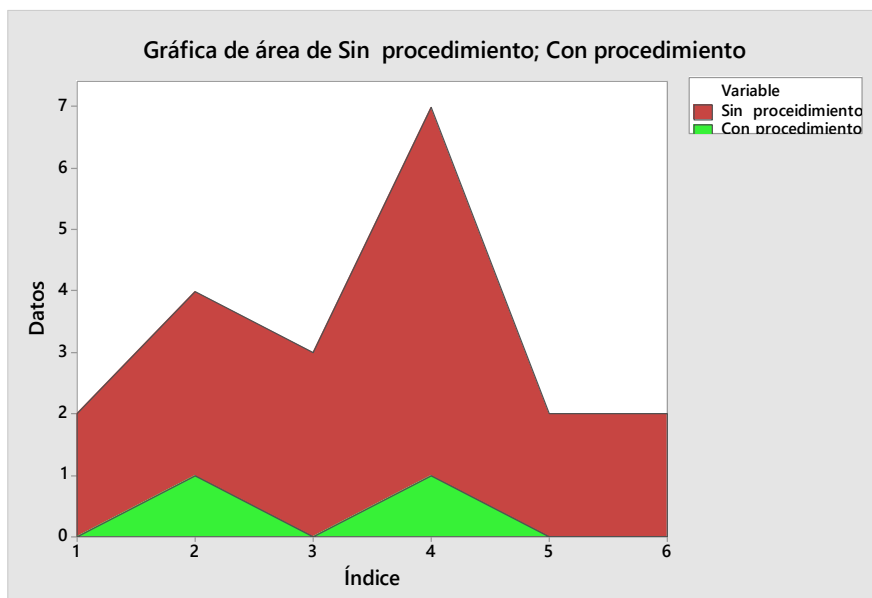


Figura 64.comparación de ensayos de radiografía con procedimiento y sin procedimiento.  
Fuente: Propia.

En la tabla 30 evidenciamos que redujo la gran cantidad de indicaciones que se originaban sin contar con el procedimiento. Las indicaciones reducidas en 0 indicaciones redondeadas, 1 indicación de inclusión de escoria, 0 indicaciones de porosidad, 1 indicaciones de fusión incompleta, cero indicaciones del tipo crack o fisura y cero indicaciones del tipo de penetración inadecuada.

**Tabla 30.** Total, de indicaciones con procedimiento de soldadura.

Abreviatura	Indicaciones	Con Procedimiento
RI	INDICACIÓN REDONDENDA	0
EI	INCLUSION DE ESCORIA, INDICACIÓN ALARGADA	1
P	POROSIDAD	0
IF	FUSIÓN INCOMPLETA	1
C	CRACK	0
IP	PENETRACIÓN INADECUADA	0
TOTAL		2

Fuente: Propia.

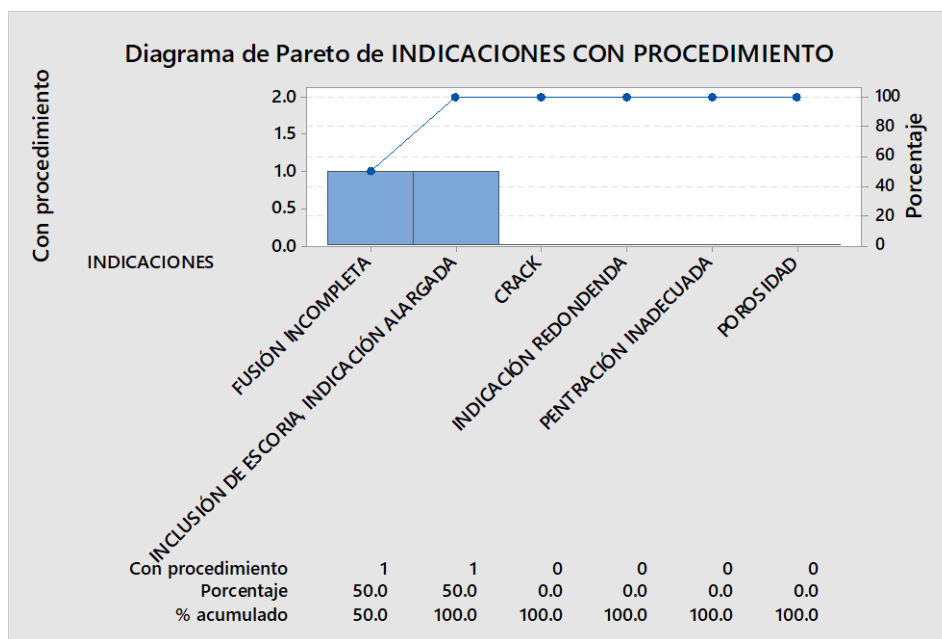


Figura 65. Diagrama de Pareto de indicaciones con procedimiento de soldadura.  
Fuente: propia

Sin procedimiento de soldadura se pudo evidenciar que 6 indicaciones eran por fusión incompleta, tres por inclusión de escoria, tres indicaciones por porosidades, dos indicaciones por crack o fisura, dos indicaciones por indicaciones redondeadas y dos indicaciones por penetración inadecuada.

El siguiente diagrama (ver Figura 66) es para identificar el error más común durante la aplicación de soldadura sin el procedimiento, y de acuerdo a ello se puede evidenciar, que estos errores son por aplicar un inadecuado voltaje, amperaje, velocidad de avance, precalentamiento y en conclusión podemos ver que no se tiene un conocimiento del procedimiento de soldadura.

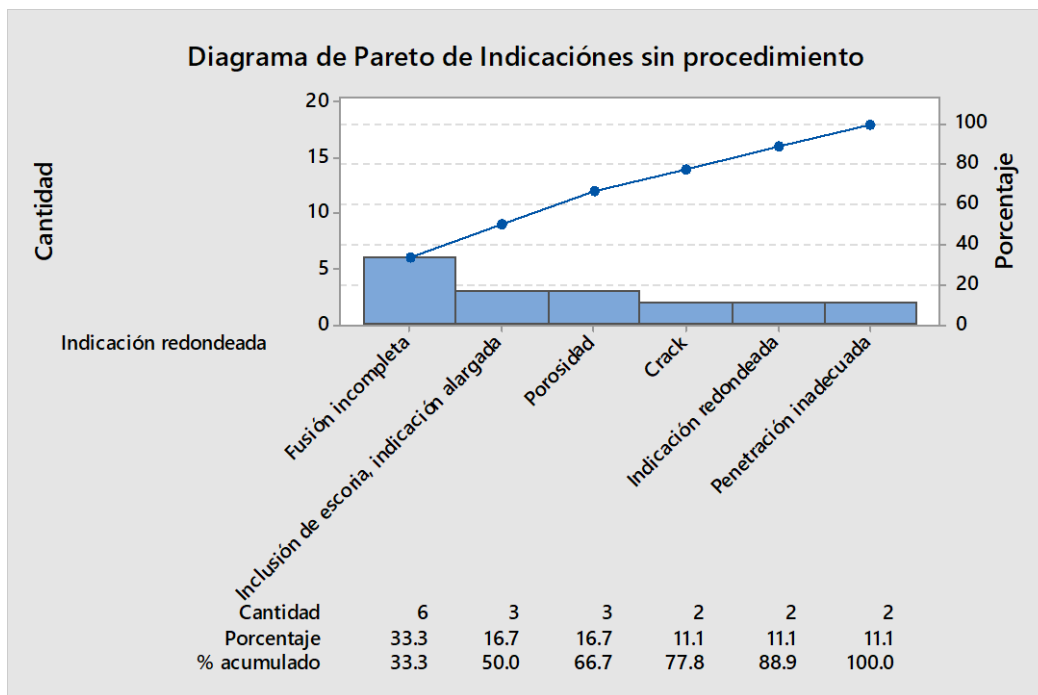


Figura 66. Diagrama de Pareto indicaciones sin procedimiento de soldadura.  
Fuente: Propia.

## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A partir de hallazgos encontrados, aceptada la hipótesis general de este proyecto debido a que los resultados de la velocidad y corriente afectarán en el cordón de soldadura depositada de calidad. De las 71 muestras realizadas de 12 probetas se determinó como primer pase será con velocidad de 5 pulg/min y amperaje de 90 Amp, segundo pase, será de velocidad de 6 pulg/min y amperaje de 120 Amp, tercer y cuarto pase, será con 7 pulg/ min y amperaje de 110 Amp, y como penúltimo y el último pase será de 5 pulg/min y amperaje de 90 Amp y por ende, los resultados guardan relación de lo que sostiene (Ccanchi, 2019) que la corriente y la velocidad que se suministra durante el proceso de soldadura se manifiesta en la mejora de resistencia en el cordón de soldadura, es decir que mejorará la calidad del cordón.

Los resultados del procedimiento son acordes a lo que indica (Izarra, 2021) debido a que se realizaron ensayos destructivos y no destructivos para determinar si el procedimiento es adecuado para realizar la soldadura, estos resultados fueron analizados de acuerdo a los criterios de aceptación que indica API 1104.

Los resultados con respecto al esfuerzo de tracción que soportará la unión, este promedio del esfuerzo alcanzado fue de 592.75 MPa y cumplen con variable que indica que debe ser de como mínimo 415 Mpa y máximo 655 Mpa y por ende mejorará la calidad de soldadura, lo cual, estos resultados no concuerdan con el

autor (Ccanchi, 2019) debido a que el material usado es distinto a los usado en esta tesis.

El procedimiento de soldadura es una guía para realizar el cordón de buena calidad como lo indica el autor (Arnedo, 2009) que realizó un guía para que se pueda mejorar el cordón de soldadura mediante un procedimiento adecuado, por ende, nuestro objetivo de tener una cordón de soldadura mediante un procedimiento que en esta investigación se redujo en 95%, lo cual, indicaría que se mejoró la calidad y este guardaría relación con lo que indica el autor que con un procedimiento se mejora la calidad de soldadura.

La temperatura de pre calentamiento fue de máxima de 160°C y mínima 90°C son factores que afectarán en el proceso de soldadura y este sería un dato importante para este procedimiento debido a que el autor (Carrasco Verástegui, 2018) indica que el deficiente análisis de precalentamiento se ha convertido en un fracaso en el proceso de soldadura.

## CONCLUSIONES

Se determinó los parámetros de velocidad y corriente que fueron seleccionadas mediante pruebas de ultrasonido y esencial para que el procedimiento de soldadura obtenga la soldadura de buena calidad.

Dado que las comparaciones pareadas que se muestran en la Tabla 24, respecto a las pruebas de probeta de soldadura no muestran diferencias significativas entre la prueba 2 y 3, las cuales resultan con los mayores porcentajes de aceptación, se asumen que ambas pruebas tienen resultados estadísticamente similares a un nivel de confianza del 95%, por tanto, no existiría diferencia en recomendar alguna de estas pruebas; pero, en este caso, se recomienda calificar y elaborar con los amperajes y velocidad indicadas en la Tabla 19 debido a que en la prueba 2 el nivel de confianza es más elevado.

En este cuadro de chi cuadrado de homogeneidad se presenta un resumen donde se verifica que la prueba 2 resulta con el 100% de aceptación y luego sigue la prueba número 3 con 94,4 de aceptación y con 5,6% de rechazo, por ende, se seleccionó la prueba 2 como las variables de velocidad y amperaje.

En la Tabla 24 cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de las muestras 3 y 2 son las mismas. Para este caso estadístico, el nivel de significancia es 0,05 y la distribución Chi cuadrada, error típico 6,040, por ende, las pruebas 2 y 3 es mayor a 0,05, en este caso es de 0,741.

**Tabla 31***Comparaciones pareadas de pruebas efectuadas\*.*

<b>Muestra a-muestra b</b>	<b>Prueba estadística**</b>	<b>Significancia (p-valor)</b>
Prueba2- Prueba3	2,00	0,741
Prueba2- Prueba1	36,00	0,000
Prueba2- Prueba4	-36,00	0,000
Prueba3- Prueba1	34,00	0,000
Prueba3- Prueba4	-34,00	0,000
Prueba1- Prueba4	0,000	1,00

Fuente: propia

En este caso como se muestra en la tabla 32 el valor de significancia es menor a 0,05 y en la tabla se verifica que es 0,000 % por lo tanto, se acepta la hipótesis de aceptación que sería H1 donde indica que la condición de aceptación es distinta en las cuatro pruebas.

**Tabla 32***Tabla estadística de Chi-cuadrado*

<b>Estadístico</b>	<b>Valor</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Significancia asintótica (bilateral) (p-valor)</b>
Chi-cuadrado de Pearson	68,219	3	0,000
Razón de verosimilitudes	92,034	3	0,000
Asociación lineal por lineal	0,011	1	0,917
N de casos válidos	72	-	-

Fuente: Propia.

Se elaboró el procedimiento con los parámetros seleccionados como velocidad, característica eléctrica, cantidad de pases, electrodo, tiempo de precalentamiento mínimo y máximo.

Se calificó el procedimiento mediante pruebas como: esfuerzo de tracción que soportará la unión, este promedio del esfuerzo alcanzado fue de 592.75 MPa y cumplen con variable que indica que debe ser de 415 Mpa a 655 Mpa y por ende,

mejorará la calidad de soldadura. También se realizó inspección visual, tintes penetrantes, ensayo de doblez y radiográfico con la finalidad de ser aprobado y calificado por CWI que es autorizado por American Welding Society.

Para la calificación del procedimiento se realizó el ensayo de doblez guiado a 180° con resultados favorables para la aprobación del CWI, del mismo modo se realizó visual y tintes donde se verifico que la soldadura no tenía indicación que puedan indicar un cordón defectuoso.

Para la aceptación del procedimiento se realizó la prueba de radiográfica para verificar si internamente la soldadura tiene una indicación que pueda afectar al funcionamiento del cordón

Se verifico que velocidad y corriente influyo en mejorar la calidad de soldadura y con ello, se determinaron que se mejoró los resultados debido al uso del procedimiento. Sin un procedimiento se determinaron 18 indicaciones en las probetas y contado con un procedimiento se redujo en 2 indicaciones, esto indicaría que el porcentaje de la calidad de soldadura mejoro.

## **RECOMENDACIONES**

La escuela profesional de Ingeniería Mecánica debe ser un centro de homologación de soldadores para todo tipo de procesos que el área de construcción necesita, con esto se generaría un extra de ingresos para comprar instrumentos para laboratorio.

Las temperaturas climáticas podrían afectar a una soldadura con indicaciones como; poros y grietas, por ello, se debe realizar el precalentamiento establecido.

Se recomienda que los egresados de ingeniería mecánica evalúen la corrosión en el cordón de soldadura, debido a que siempre se ve afectado el material por este punto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguía, C. O. (2019). Análisis de las inclusiones de escoria. *3C Tecnología.*, 19.
- API. (2013). American Petroleum Institute. *Welding Processes, Inspection, and Metallurgy*. Api rp 577 2nd ed. 2013
- API1104, N. (2013). *Soldadura de Tuberías y Conexas*. EE.UU: API Publishing Services.
- API5L, I. A. (2000). Especificación para Tubería de Línea. *Especificación Api*, 72.
- Arévalo, J. L. (2018). *Soldadura y su inspeccion*. Colombia: UTP.
- Arnedo, E. E. (2009). Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: Una propuesta de Enseñanza y Guía de aplicación para la industria. *Scielo*, 12.
- arquitecturaenacero. (2020). *Asociación Latinoamericana del Acero*.  
<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/proceso-siderurgico>
- ASTM A370-17A. (2017). Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. En ASTM. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM E8/E8M-16A. (2016). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials . En ASTM. Estados Unidos : ASTM .
- Bridas tubos. (2018, 22 de setiembre). Tubería.

<https://www.bridas-tubos-accesorios-tuberia.com/api-51-x42-psl1-psl2-linea-de-tuberia.html> Cal, M. (2013).

<https://slideplayer.es/slide/159173/>

Carrasco Verástegui, A. J. (2018). “*Análisis de efecto de temperatura de precalentamiento en proceso de soldadura Fcaw G respecto a la dureza del acero ASTM A514*”. Chiclayo.

Casal, J., Salueñas, X. & Ortiz, J. (2003, 15 de noviembre). *interempresas.net*.

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulo/8527-calidad-en-el-proceso-de-union-por-soldadura.html>

Casals, J., Salueña, X. & Ortiz, J. (2003, 15 de noviembre). *Canales Sectoriales*.

<https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/8527-Calidad-en-el-proceso-de-union-por-soldadura.html>

Castro Revelo, J. F. y Serrano Aguiar, C. O. (2016). *Influencia del tamaño de las discontinuidades en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas bajo la norma API 1104*. Ecuador.

Ccanchi, R. E. (2019). *Valoración del Amperaje y Velocidad de soldadura del Acero Austenítico ANSI/SAE 304 Por GMAW-P (MIG)*. Tacna.

Central, E. d. (2019). *Procesos de Manufactura*. Obtenido de

<https://sites.google.com/site/procesosdemanufacturaetitic/tipos-de-procesos/proceso-de-soldadura>

Chambergó, E. J. (2015). *Calificación de las pruebas de soldadura utilizando WPS, PQR Y WPQ según norma API 1104 para la construcción de derivación de una línea de tubería para transporte - Camisea III*. Huancayo.

Cogollo, I. J. (2008). *Universidad Del Norte- Division Ingenierias*.

<http://ylangylang.uninorte.edu.co:8080/objetos/Ingenieria/EnsayoDeTension/grafica.html>

De máquinas y herramientas. (2018). *De máquinas y herramientas*.

<https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>

Diariomotor. (2019). *Diariomotor, empresa dedicada a la venta de automóviles*.

<https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/cuales-son-las-diferencias-entre-corriente-continua-y-corriente-alterna/>

Echevarría, R. (2003). *Líquidos penetrantes*. Argentina.

ESAB. (2018). *ESAB Distribuidor*.

[https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso\\_soldadura\\_electrodo\\_revestido.cfm](https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_electrodo_revestido.cfm)

Fabricación mecánica. (2018). *Soldadura y calderería*.

<https://cifpaviles.webcindario.com/SAN-IMPERFECCIONES%20DE%20LAS%20UNIONES%20SOLDADAS.pdf>

Ferrepat. (2019). *Ferrepat*.

<https://www.revista.ferrepat.com/herramientas/procesos-de-soldadura-mig-tig-smaw-pac-saw-tandem-y-rayo-laser/>

Flores, C. E. (2018). Soldadura al arco eléctrico SMAW. *Boletín Electrónico* , 12.

Flores, J. X. (2015). “*Elaboración de Inspección de Soldadura y calificación de Soldadores Aplicando a las normas Asme BPVC Y Api 1104*” . Quito.

Francia, S. R. (2013, 10 de agosto). *Metfusión*.

<https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc Graw Hill.

Hernández, T. M. (2014, 7 de enero). *Soldadura Cursos* .

<http://soldaduracursos.blogspot.com/2014/01/tipo-de-corriente-y-polaridad-empliar.html>

Ingemecánica. (2018). *Ingengería, consultora y construccion*.

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>

Izarra, J. L. (2021). *Soldadura a tope en tuberías de 2” Sch160 de material ASTM a 106 grado B y ASTM A53 Grado B, para estación de descompresión de gas natural* . Lima.

Kobelco . (2020). *Es una de las unidades de negocio gestionados por Kobe Steel, Ltd.*

[https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC\\_2008-01.html](https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC_2008-01.html)

Laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú. (2019). *Informe de Ensayo*. Lima: Inacal.

Ltda. I. I. (2015). *Documentación técnica en supervisión de construcciones soldadas*. Bogotá. Colombia.

Management, I. P. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. EE.UU.

Maturana, J. L. (2009, 20 de agosto). *Cursos industriales*.

<http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/maquinas-soldar-generator>

Núñez, J. L. (2007). Manual de Aseguramiento de Calidad - Solcon. *Indura*, 27.

OCTAL. (2020).

<https://www.octalsteel.com/resources/api-5l-x42-steel-pipe-specification>

Osinergmin. (2004). *Informe sobre primera falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de camisea a la costa de la empresa concesionaria transportadora del Gas del Perú S.A.* Cusco.

Osinergmin. (2016, 5 de mayo). Resolución de consejo directivo que apruebe el procedimiento para la habilitación de suministros en instalaciones de gas natural.

*NORMAS LEGALES*, pág. 100.

Pireda, M. V. (2002). *Soldadura Eléctrica Manual*. Mexico: Limusa.

Proyectos piping. (2014). *Blog de soldadura*.

<http://proyectopiping.blogspot.com/2014/07/terminos-y-definiciones-de-soldadura.html>

Quality Consulting Company . (1996). *Rdiografic film interpretation of weldments*. Unite state of America: Traning Center .

Serrano, R. (2019). *Ensayos no destructivos por ultrasonido*.

[http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias\\_t8.4\\_ultrasonidos.pdf](http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.4_ultrasonidos.pdf)

<https://www.youtube.com/watch?v=H-gxEKILrKY>

Soldexa. (s.f). *Manual de Soldadura y Catálogos de Productos*. Lima: LEBAL PERU.

Soto, R. G. (1995). *Aseguramiento de la calidad en soldadura*. Lima: Ingenieria y Servicios Tecnológicos S.A.

Tirado, C. S. (2006). *Evaluacion de fallas en tubeñas del proyecto Camisea y soluciones a largo plazo* . Lima Perú.

Uribe, F. O. y García Nieto, M. d. (2006). *Metodología de la investigación*.

Mexico: Limusa S.A.C.

Wuxi HuaYou Special Steel Co, Ltd. (2018). *Mill test certificate*. China : HuaYou Special Steel.


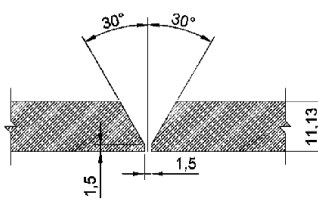
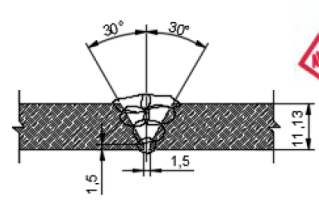

Wuxi Huayou Special Steel Co., L. (2018). *Informe de prueba de material certificado*. China: Wuxi Huayou.

Yizeng. (2000). *Cangzhou Yizeng Industry co., Ltd Fabricantes profesionales en tubos sin soldadura.*


<http://m.czyzindustry.com/info/what-is-the-meaning-of-api-5l-pipe-40937718.html>

# **ANEXOS**

## Calificación de procedimiento de soldadura (PQR) (1/2)

		CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)			SGI-SGA-REG-GEN-001			
Según API 1104 Edición 2013				Página 1 de 1				
Nombre de la compañía: <u>SERGEAR S.A.C.</u>		Identificación: <u>PQR-SGA-001-19</u>						
Proyecto: <u>"REEMPLAZO DE TUBERÍA SUBMARINA"</u>		Revisión: <u>0</u>		Por: <u>Miguel Cervantes</u>				
Proceso (s) de Soldadura: <u>SMAW</u>		Autonzado por:		Fecha:				
		Tipo: Manual <input type="checkbox"/>		Semi automático <input checked="" type="checkbox"/>				
		Maquina <input type="checkbox"/>		Automático <input type="checkbox"/>				
DATOS DE PRUEBA								
Proceso de soldadura		SMAW						
Posición de soldadura		Fijo a 45° (6G)						
Hora inicio de prueba		11:20 a.m.						
Hora de finalización.		12:10 p.m.						
Tiempo de soldadura		50 minutos						
Material base		API 5L Grado X42R						
Diámetro/espesor		14" /0.438"						
Diseño de junta		A tope ranura simple en V de acuerdo a diseño adjunto.						
Especificación del material de aporte		AWS 5.1 /AWS 5.5						
Nombre comercial		CELLOCORD PT /CELLOCORD 70 T						
Numero de soldadores		02						
Tiempo entre el primer y segundó pase		5 minutos						
Temperatura de precalentamiento		90- 160 °C						
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pase o Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal (es) de aporte		Características Eléctricas			Velocidad (pulg/min)	Dirección
		Clase	Diámetro	Volatje	Amperaje	Polaridad		
Raiz	SMAW	E-6010	1/8"	--	90	CC (-)	5-8	Descendente
Caliente	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	120	CC (+)	6-7	Descendente
Relleno 1	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	110	CC (+)	7-8	Descendente
Relleno 2	SMAW	E-7010-A1	5/32"	--	110	CC (+)	7-8	Descendente
Acabado 1	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	90	CC (+)	5-6	Descendente
Acabado 2	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	90	CC (+)	5-6	Descendente
<b>DISEÑO DE JUNTA</b> 				<b>METODO DE RELLENO DE SOLDADURA</b> 				
								

## Calificación de procedimiento de soldadura (PQR) (2/2)

	<b>CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)</b>	<b>SGI-SER-REG-GEN-001</b>
	Según API 1104 Edición 2013	Página 1 de 1


ENSAYO DE TRACCION					
MUESTRA	ULTIMA CARGA TOTAL(KN)	ESFUERZO DE TRACCIÓN MÍNIMO (ESPECIFICADO)(Mpa)	ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO (ESPECIFICADO) (Mpa)	ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO (ENSAYADO) (Mpa)	UBICACIÓN DE ROTURA
T7	107.0	415	655	598	Metal de soldadura
T8	107.8	415	655	609	Metal de soldadura
T9	123.4	415	655	587	Metal de soldadura
T10	118.0	415	655	577	Metal de soldadura

ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO		
MUESTRA	TIPO DE Y FIGURA N°	RESULTADO (API 1104)
Fach37-003-19-DC-1	Doble de cara a 180°	Conforme.
Fach37-003-19-DC-2	Doble de cara a 180°	Conforme.
Fach37-003-19-DR-1	Doble de cara a 180°	Conforme.
Fach37-003-19-DR-2	Doble de cara a 180°	Conforme.
GChC7-003-19-DC-1	Doble de cara a 180°	Conforme.
GChC7-003-19-DC-2	Doble de cara a 180°	Conforme.
GChC7-003-19-DR-1	Doble de cara a 180°	Conforme.
GChC7-003-19-DR-2	Doble de cara a 180°	Conforme.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
PROBETA	ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL	ENSAYOS RADIOGRÁFICOS	ENSAYOS DE TINTES PENETRANTES
Tubería de 14"	Aceptable	Aceptable	Aceptable


  
*Emmanuel Benjamin*
  
 Loayza Arias
   
 CWI 22083111
   
 QC1 EXP. 8/1/2025

# Especificación de procedimiento de soldadura WPS

	<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>	SGI-SER-REG-GEN-001
	Según API 1104 Edición 2013	Página 1 de 1

Nombre de la compañía: <u>SERGEAR S.A.C.</u>	Identificación: <u>WPS-SGA-001-19</u>
Proyecto: <u>"REEMPLAZO DE TUBERÍA SUBMARINA"</u>	Revisión: <u>0</u> Por: <u>Miguel Cervantes</u>
Proceso (s) de Soldadura: <u>SMAW</u>	Autorizado por: _____ Fecha: _____
PQR de Soporte: <u>PQR-SGA-001-19</u>	Tipo: Manual <input type="checkbox"/> Semi automático <input checked="" type="checkbox"/> Maquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>

DISEÑO(S) DE JUNTA			
Tipo	A tope, ranura en V, ver imagen.		
Simple	<input checked="" type="checkbox"/>	Soldadura Doble	<input type="checkbox"/>
Respaldo:	SI <input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
Abertura de Raíz	<u>1.5 mm</u>	Dimensiones caras de Raíz	<u>0 mm</u>
Angulo de Ranura	<u>45° (fijo)</u>	Radio (J - U)	----
Remoción de Raíz:	SI <input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
Método	----		

POSICION (			
Posición de Ranura	<u>6G</u>	Filete	----
Progresión vertical	Ascendente <input type="checkbox"/>	Descendente	<input checked="" type="checkbox"/>

CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
Modo de Transferencia (SMAW)			
Corto Circuito	<input type="checkbox"/>	Globular	<input type="checkbox"/>
Roció "Spray"	<input type="checkbox"/>		
Corriente	AC <input type="checkbox"/>	CC EP	<input checked="" type="checkbox"/>
		DC EN	<input checked="" type="checkbox"/>
		Pulsada	<input type="checkbox"/>
Fuente de Alimentación	CC <input type="checkbox"/>	CV	<input type="checkbox"/>
Otro	----		

METALES BASE			
Espec. De Material	<u>API 5L X42R</u>		
Tipo o Grado	<u>X42R SPL2</u>		
Espesor (e)s Ranura	<u>4.80 mm hasta 19.10 mm</u>	Filete	----
Diámetro (Tubería)	<u>14 pulgadas</u>		

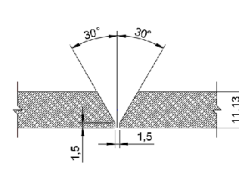
ELECTRODO DE TUNGSTENO (GTAW)	
Tamaño	----
Tipo	----

METALES DE APORTE	
Especificación AWS	<u>AWS 5.1/ AWS 5.5</u>
Clasificación AWS	<u>E6010/ E7010-A1</u>
Nombre comercial	<u>CELLOCORD PT /CELLOCORD 70-T</u>

TECNICA	
Cordón Estrecho u Oscilado	<u>Estrecho u Oscilado, según sea requerido</u>
Pase Simple o Multipase (Por Lado)	<u>Ambo, según se requiera</u>
Numero de Electrodo	<u>Uno a la vez</u>
Numero de soldadores	<u>2 alavez</u>


PRECALENTAMIENTO		
Minima Temperatura de Precalentamiento e Interpase (Según calculo ítem 4.2.9)	Espesor	Temperatura(°C)
	Precalentamiento mínimo	90
	Precalentamiento máximo	160

TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA	
Temperatura	----
Tiempo	----

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
Pase o Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal (es) de aporte		Características Eléctricas			Velocidad (pulg/min)	Dirección	Detalle de Junta
		Clase	Diámetro	Voltaje	Amperaje	Polaridad			
Raíz	SMAW	E-6010	1/8"	---	90	CC (-)	5	Descen.	
Caliente	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	120	CC (+)	6	Descen.	
Relleno 1	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	110	CC (+)	7	Descen.	
Relleno 2	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	110	CC (+)	7	Descen.	
Acabado 1	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	90	CC (+)	5	Descen.	
Acabado 2	SMAW	E-7010-A1	5/32"	---	90	CC (+)	5	Descen.	


  
 Emmanuél Benjamín
   
 Loayza Arias
   
 CNA 22083111
   
 QC1 EXP. 8/1/2025

## Registro de calificación de soldador API 1104 FACH37.

	Registro de calificación de desempeño de soldador, Operador de soldadura o Apuntalador(WPQR)	SGI-SGA-REG-001
	Según API 1104 Edición 2013	Página 1 de 1

Nombre	FREDY RONALD ALVARADO CHOQUECONDOR	Fecha de Prueba	12.04.2021	Rev.
DNI	04653137	N° de registro	SERGEAR/WPQR/FACH37001	0
N° De Estampa	FACH37	N° WPS	WPS-SGA-001-19	0
Compañía	SERGEAR S.A.C.			

MATERIAL BASE	Especificación	Tipo Grado	AWS Grupo No.	Tamaño (NPS)	Cedula	Espesor (mm)	Diámetro
Metal Base A	API 5L	X42R	.....	14"	40	11.13 mm	355.6
Metal Base B	API 5L	X42R	...	14"	40	11.13 mm	355.6

VARIABLES	VALORES ACTUALES	RANGO CALIFICADO
Tipo de junta de soldada	A tope con ranura en V	A tope con ranura en V
Metal Base	API 5L Grado X42R PSL2	API 5L Grado X42R PSL2

	Canal	Canal
Espesor de tubería	0.0438"	DE 0.188" Hasta 0.750"
Diámetro de tubería	14"	OD> 12.750

Proceso de soldadura	SMAW	SMAW
Tipo (Manual, semiautomático, mecanizado, automático)	Manual	Manual
Backing	No aplica, penetración completa.	No aplica, penetración completa.
Especificación AWS del Electrodo	A 5.1/ A 5.5	A 5.1/ A 5.5
Clasificación AWS	E 6010/E7010-A1	Grupo 1
Numero de cordones	6	-----
Posición	6G	Todas las posiciones
Tipo de corriente /polaridad Raíz CC (+/-)	Corriente continua /polaridad (-)	Corriente continua /polaridad (-)
Tipo de corriente /polaridad otros pases DC (+/-)	Corriente continua /polaridad (+)	Corriente continua /polaridad (+)
Progresión de soldadura		
Pase en raíz	Descendente	Descendente
Pase de relleno y acabado	Descendente	Descendente
Temperatura de precalentamiento	100° C	90-160 °C


### Resultado de la prueba

Tipo de prueba	Criterio de Aceptación	Resultado	Observaciones
Examinación Visual	API 1104	Aceptado	-----
Doble de Cara	API 1104	Aceptado	-----
Doble de Raíz	API 1104	Aceptado	-----
Ensayo de tracción	API 1104	Aceptado	

### Certificación

Prueba conducida por: Inspector Luis Miguel Cervantes Huanca.	Autorizado por: Rider Coaquira
---	--------------------------------

## Registro de calificación de soldador según API 1104 GChC67

 <b>SERGEAR SAC</b> INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN	Registro de calificación de desempeño de soldador, Operador de soldadura o Apuntalador(WPQR) <b>Según API 1104 Edición 2013</b>	<b>SGI-SGA-REG-001</b>  Página 1 de 1
---	--	---

Nombre	GIANCARLO CHOQUETAPE CENTENO	Fecha de Prueba	12.04.2021	Rev.
DNI	43283467	N° de registro	SERGEAR/WPQR/GChC67/001	0
N° De Estampa	GChC67	N° WPS	WPS-SGA-001-19	0
Compañía	SERGEAR S.A.C.			

MATERIAL BASE	Especificación	Tipo Grado	AWS Grupo No.	Tamaño (NPS)	Cedula	Espesor (mm)	Diámetro
Metal Base A	API 5L	X42R	.....	14"	40	11.13 mm	355.6
Metal Base B	API 5L	X42R	...	14"	40	11.13 mm	355.6

VARIABLES	VALORES ACTUALES	RANGO CALIFICADO
Tipo de junta de soldada	A tope con ranura en V	A tope con ranura en V
Metal Base	API 5L Grado X42R PSL2	API 5L Grado X42R PSL2

	Canal	Canal
Espesor de tubería	0.0438"	DE 0.188" Hasta 0.750"
Diámetro de tubería	14"	OD> 12.750

Proceso de soldadura	SMAW	SMAW
Tipo (Manual, semiautomático, mecanizado, automático)	Manual	Manual
Backing	No aplica, penetración completa.	No aplica, penetración completa.
Especificación AWS del Electrodo	A 5.1/ A 5.5	A 5.1/ A 5.5
Clasificación AWS	E 6010/E7010-A1	Grupo 1
Numero de cordones	6	.....
Posición	6G	Todas las posiciones
Tipo de corriente /polaridad Raíz CC (+/-)	Corriente continua /polaridad (-)	Corriente continua /polaridad (-)
Tipo de corriente /polaridad otros pases DC (+/-)	Corriente continua /polaridad (+)	Corriente continua /polaridad (+)
Progresión de soldadura		
Pase en raíz	Descendente	Descendente
Pase de relleno y acabado	Descendente	Descendente
Temperatura de precalentamiento	100° C	90-160 °C



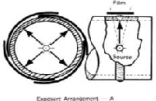


### Resultado de la prueba

Tipo de prueba	Criterio de Aceptación	Resultado	Observaciones
Examinación Visual	API 1104	Aceptado	-----
Doble de Cara	API 1104	Aceptado	-----
Doble de Raíz	API 1104	Aceptado	-----
Ensayo de tracción	API 1104	Aceptado	

### Certificación

Prueba conducida por: Inspector Luis Miguel Cervantes Huanca.	Autorizado por: Rider Coaquira
---	--------------------------------

# Informe de laboratorio de prueba de gammagrafía industrial

		<b>INFORME DE INSPECCIÓN POR GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL</b>								
CLIENTE : SERGEAR S.A.C.				INFORME : 04-RT-SERGEAR-19						
PROYECTO : REMPLAZO DE TUBERÍA SUBMARINA DE COMBUSTIBLE - ETAPA II				FECHA : 28/05/2019						
ESTRUCTURA : PROBETA Ø14" PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADOR				HOJA : 01/04						
LUGAR : ILO				OT : -						
<b>DATOS DEL COMPONENTE INSPECCIONADO</b>										
ELEMENTO : TUBERÍA	DIAMETRO NOMINAL : 14" (350.0 mm)	PROCESO DE SOLDADURA : SMAW	TIPO DE JUNTA : TOPE							
CÓDIGO : 6G	DISTANCIA MÁX. OBJ.-FILM : 30.6 mm	ESPESOR DE REFUERZO : 1.5 mm	ESTADO SUPERFICIAL : ACEPTABLE							
ESPESOR : 11.13 mm	MATERIAL BASE : API 5L X42R	BACKING : N.A. ESPESOR : N.A.	TRATAMIENTO TÉRMICO : N.A.							
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>										
FUENTE : IR - 192	TIPO DE PELÍCULA : D5 - (T200)	PANTALLAS : FRONTAL - POSTERIOR	TÉCNICA DE ENSAYO 							
DIMENSIÓN FOCAL : 4.07 mm	FABRICANTE DE PELÍCULA : KODAK	POSICIÓN DE LA FUENTE : INTERIOR								
ACTIVIDAD : 5.4 Ci (0.20 TBq)	LONGITUD DE PELÍCULA : 12" (300 mm)	TÉCNICA : PARED SIMPLE / SIMPLE IMAGEN								
TIEMPO DE EXPOSICIÓN : 00 h. 03 min. 15 seg.	PANTALLAS : 0.005" - 0.010"	REVELADO : MANUAL								
PENUMBRAS GEOMÉTRICAS : 0.26 mm	PENETRIMETRO IQI : ASTM - 1B	TEMPERATURA : 20 °C TIEMPO REVELADO : 5 min.								
DIST. FOCO A LADO OBJETO : 175 mm	LADO COLOCACIÓN IQI : LADO FUENTE	RANGO DE DENSIDAD : 2 - 4 H&D								
CÓDIGO DE PROCEDIMIENTO : WS-NDT-P-RT-05	CRITERIO DE ACEPTACIÓN : API 1104 - 2013									
<b>IDENTIFICACIÓN DE PLACAS RADIOGRÁFICAS</b>										
ELEMENTO	CÓDIGO	JUNTA	PLACA	ESTAMPA	ESPESOR (mm)	HILO ESENCIAL (IQI)	RANGO DE DENSIDAD (H&D)	DISCONTINUIDAD - UBICACIÓN (mm)	FECHA	RESULTADO
<b>TUBERÍA</b>	6G	-	P-1	W - AMQ57 W - PTQ64	11.13	8	(2.84 - 3.09)	RI	28/05/2019	✓
			P-2	W - AMQ57 W - PTQ64	11.13	8	(2.29 - 2.62)	RI	28/05/2019	✓
			P-3	W - AMQ57 W - PTQ64	11.13	8	(2.73 - 2.79)	-	28/05/2019	✓
			P-4	W - AMQ57 W - PTQ64	11.13	8	(2.58 - 2.80)	-	28/05/2019	✓
<b>ESQUEMA DE INSPECCIÓN</b>										
										
OBSERVACIONES:										
<b>CÓDIGO DEFECTOLOGÍA</b>										
RI: Rounded Indication (Indicación Redondeada)				CI: Clustered Indication (Indicaciones Agrupadas)				ACEPTADO	✓	
ARI: Aligned Rounded Indications (Indicaciones Redondeadas Alineadas)				IF: Incomplete fusion (Fusión Incompleta)				RECHAZADO	X	
EI: Internal slag inclusion tungsten elongated indication (Escoria interna, inclusión de tungsteno, indicación alargada)				C: Crack (Fisura)				TOTAL PLACAS :	4	
EIC: Internal slag inclusion tungsten elongated indication cum ulatived (Escoria interna, inclusión de tungsteno, indicación alargada acum ulatived)				IP: Incomplete penetration (Penetración Inadecuada)						
CRS: Concave root surface (Concavidad en la raíz)				U: Undercutting (Socavación)						
BT: Burn-Through (Quemón)										
<b>INSPECTOR</b>			<b>QC CLIENTE</b>			<b>SUPERVISIÓN</b>				
Nombre: Insp. Darwin Oca Yucra Nivel : II-ASNT-SNT-TC-1A-RT			Nombre :			Nombre :				
Firma :  Insp. Darwin E. Oca Yucra Nivel II ASNT-SNT-TC-1A-RT Reg. CEN-CC-917			Firma :			Firma :				
Fecha : 28/05/19			Fecha :			Fecha :				

# Ensayo de tracción de probeta de muestra T7

 <b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b>	<b>LABORATORIO DE MATERIALES CITE materiales</b>	 <b>INACAL</b> DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado <small>Registro N° LE - 027</small>
---	--	--

CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-ABR-0437-7/2019

## ENSAYO DE TRACCIÓN

MAT-Lab-4.04 Rev.6

### INFORME DE LABORATORIO

Número Total de Páginas: 3

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 03.  
MUESTRA : 14" SCH40 - FACH / T7  
FECHA DE EJECUCIÓN : 2019.04.09.

### RESULTADOS:

MUESTRA		T7
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,01
	ESPESOR (mm)	9,42
	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	179,1
CARGAS (kN)	MÁXIMA	107,0
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	598

Incertidumbres (factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%)

• Esfuerzo máximo (MPa)

± 5,0

### OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La probeta ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Soldadura: Welding of Pipelines and Related Facilities API 1104-2015.
- La muestra rompió en el metal de soldadura.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

  
Msc. ANIBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Gráfico de ensayo de tracción de probeta de T7.

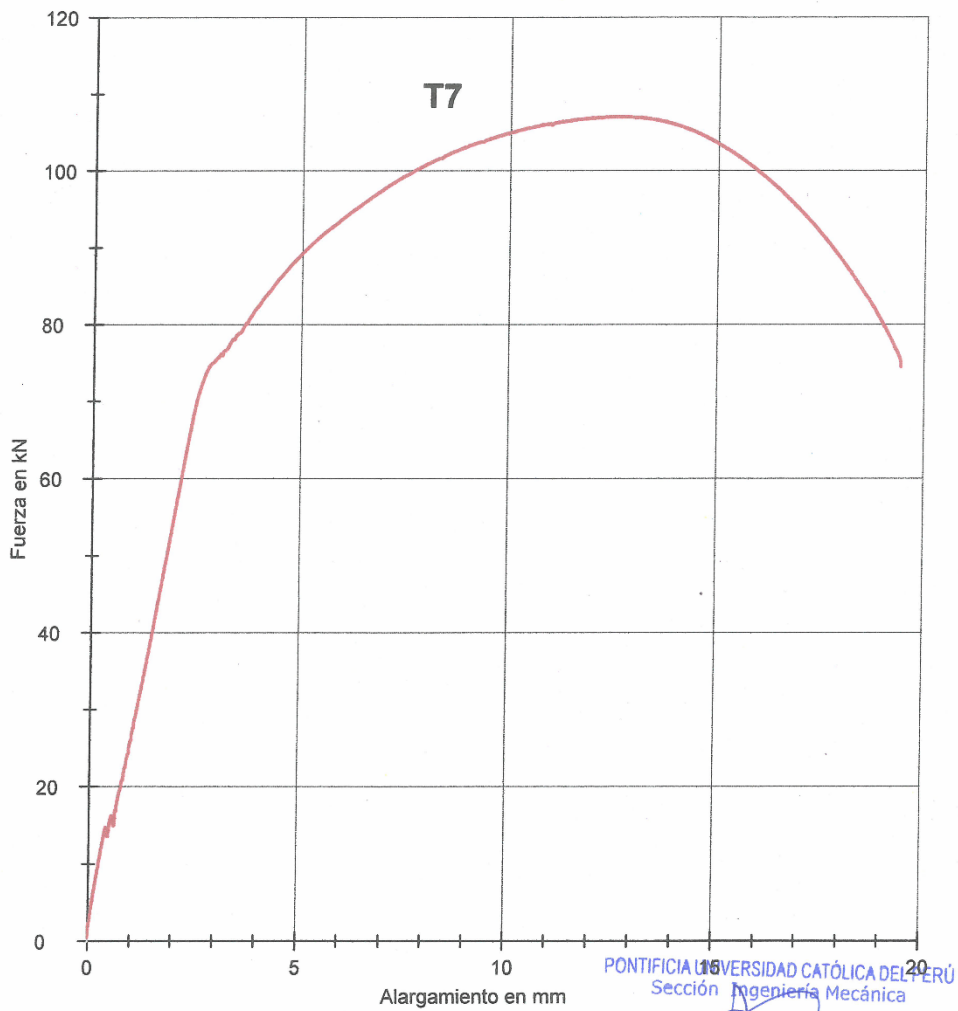
	<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	<p><b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> CITE materiales</p>	<p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 027</p>
<p>CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025</p>			

**Zwick / Roell**

10.04.19

**MAT-ABR-0437-7/2019**

**CURVA FUERZA - ALARGAMIENTO**  
(14" SCH40 - FACH)



3 de 3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica  
  
MSc. ANÍBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales

## Ensayo de tracción de probeta de muestra T8.



### LABORATORIO DE MATERIALES CITE materiales

CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-ABR-0437-8/2019

## ENSAYO DE TRACCIÓN

MAT-Lab-4.04 Rev.6

### INFORME DE LABORATORIO

Número Total de Páginas: 3

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 03.  
MUESTRA : 14" SCH40 - FACH / T8  
FECHA DE EJECUCIÓN : 2019.04.09.

### RESULTADOS:

MUESTRA		T8
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,08
	ESPESOR (mm)	9,27
	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	176,9
CARGAS (kN)	MÁXIMA	107,8
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	609

**Incertidumbres** (factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%)

- Esfuerzo máximo (MPa)

± 5,1

### OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La probeta ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Norma de Soldadura: Welding of Pipelines and Related Facilities API 1104-2015.
- La muestra rompió en el metal de soldadura.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

Msc. ANÍBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

# Gráfico de ensayo de tracción de probeta de T8

 <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	<p><b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>CITE materiales</b></p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N°LE - 027</p>
---	--	--

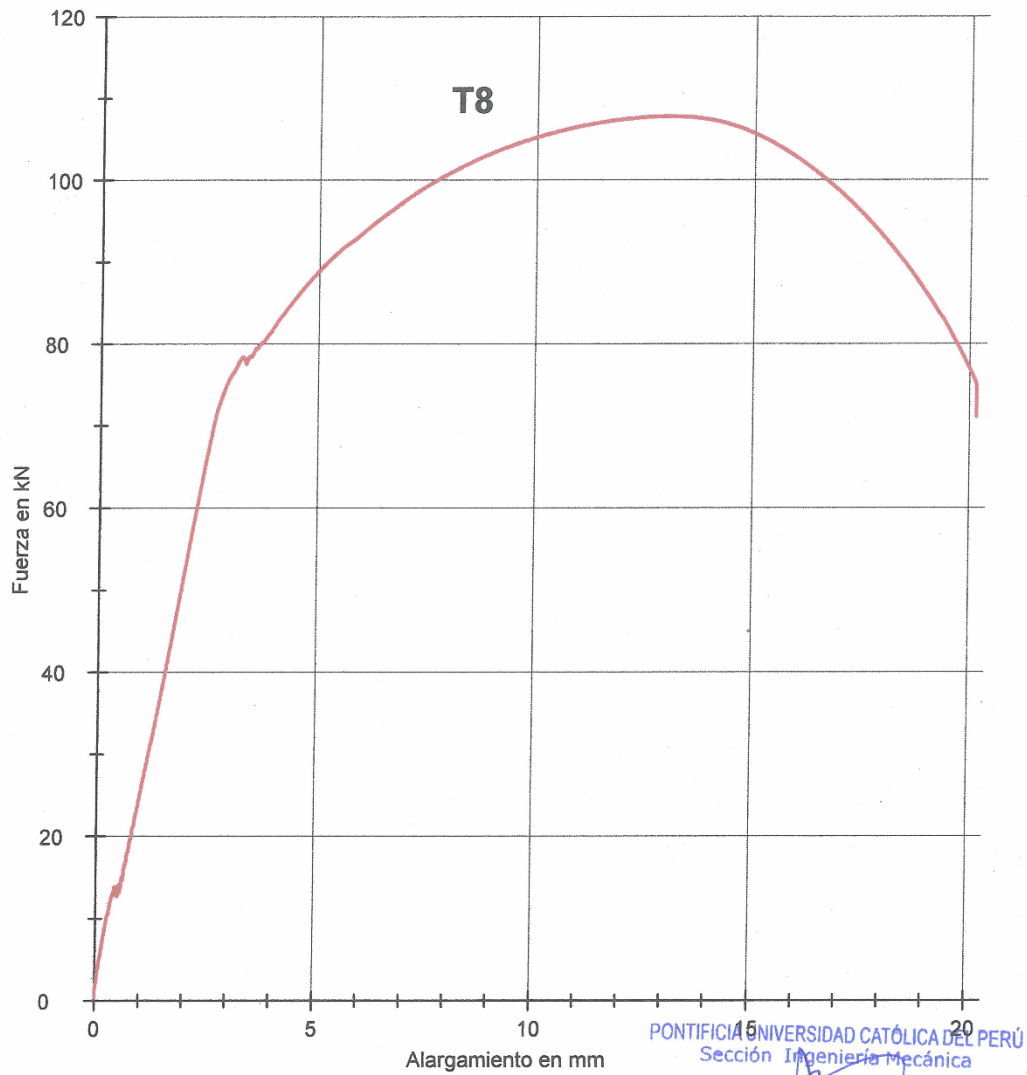
CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

## Zwick / Roell

10.04.19

**MAT-ABR-0437-8/2019**

### **CURVA FUERZA - ALARGAMIENTO** (14" SCH40 - FACH)



3 de 3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. ANIBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales

## Ensayo de tracción de probeta de muestra T9

 <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>CITE materiales</b>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 027</p>
<b>CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025</b>		

**MAT-ABR-0437-9/2019**

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		MAT-Lab-4.04 Rev.6
<b>INFORME DE LABORATORIO</b>		
Número Total de Páginas: 3		
<b>REALIZADO POR</b>	: Laboratorio de Materiales - Analista 03.	
<b>MUESTRA</b>	: 14" SCH40 - GChC / T9	
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	: 2019.04.09.	

### RESULTADOS:

MUESTRA		T9
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,07
	ESPESOR (mm)	11,02
	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	210,2
CARGAS (kN)	MÁXIMA	123,4
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	<b>587</b>

**Incertidumbres** (factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%)

- Esfuerzo máximo (MPa)

**± 4,9**

### OBSERVACIONES:

- . Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- . La probeta ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- . Norma de Soldadura: Welding of Pipelines and Related Facilities API 1104-2015.
- . La muestra rompió en el metal de soldadura.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

  
MSc. ANIBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

# Gráfico de ensayo de tracción de probeta de T9



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

LABORATORIO DE MATERIALES  
CITE materiales



Registro N° LE - 027

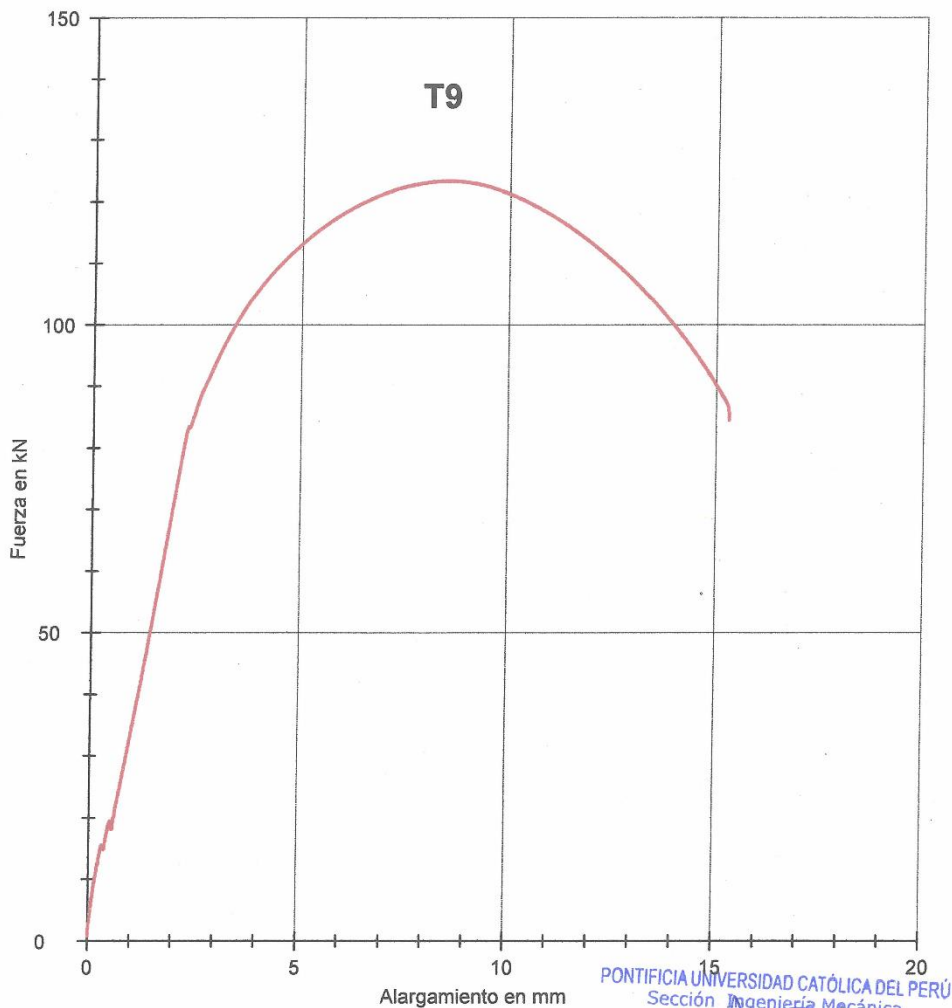
CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

Zwick / Roell

10.04.19

MAT-ABR-0437-9/2019

## CURVA FUERZA - ALARGAMIENTO (14" SCH40 - GChC)



3 de 3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica


MSc. ANÍBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales

Ensayo de tracción de probeta de muestra T10

 <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	<p><b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>CITEmateriales</b></p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado</p> <p>Registro N°LE - 027</p>
---	---	---

CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-ABR-0437-10/2019

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		MAT-Lab-4.04 Rev.6																
<b>INFORME DE LABORATORIO</b>																		
Número Total de Páginas: 3																		
REALIZADO POR	: Laboratorio de Materiales - Analista 03.																	
MUESTRA	: 14" SCH40 - GChC / T10																	
FECHA DE EJECUCIÓN	: 2019.04.09.																	
<b>RESULTADOS:</b>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">MUESTRA</th> <th style="text-align: center;">T10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">SECCIÓN TRANSVERSAL</td> <td style="text-align: center;">ANCHO (mm)</td> <td style="text-align: center;">19,01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ESPESOR (mm)</td> <td style="text-align: center;">10,75</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ÁREA (mm<sup>2</sup>)</td> <td style="text-align: center;">204,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">CARGAS (kN)</td> <td style="text-align: center;">MÁXIMA</td> <td style="text-align: center;">118,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ESFUERZOS (MPa)</td> <td style="text-align: center;">MÁXIMA</td> <td style="text-align: center;">577</td> </tr> </tbody> </table>			MUESTRA		T10	SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,01	ESPESOR (mm)	10,75	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	204,4	CARGAS (kN)	MÁXIMA	118,0	ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	577
MUESTRA		T10																
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,01																
	ESPESOR (mm)	10,75																
	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	204,4																
CARGAS (kN)	MÁXIMA	118,0																
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	577																
<p><b>Incertidumbres</b> (factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfuerzo máximo (MPa) <span style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px 10px;"><b>± 4,8</b></span></li> </ul>																		
<p><b>OBSERVACIONES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.</li> <li>. La probeta ensayada fue proporcionada por el solicitante.</li> <li>. Norma de Soldadura: Welding of Pipelines and Related Facilities API 1104-2015.</li> <li>. La muestra rompió en el metal de soldadura.</li> </ul> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Sección Ingeniería Mecánica</p>  <p>----- MSc. ANÍBAL ROZAS GALLEGOS-GIP. 123020 Jefe de Laboratorio de Materiales</p> </div>																		

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

# Gráfico de ensayo de tracción de probeta T10

	<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	<p><b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> CITE materiales</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N°LE - 027</p>
---	---	---	--

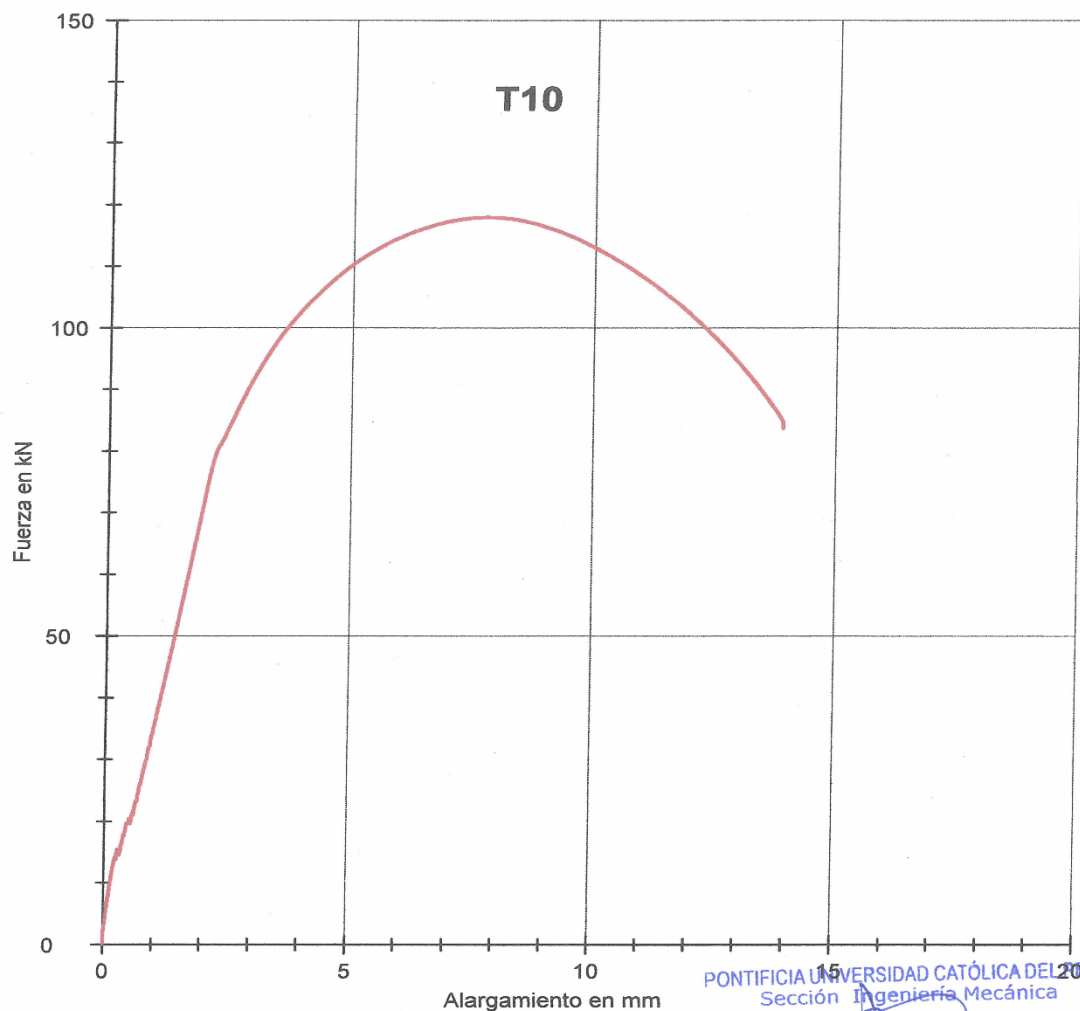
CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

## Zwick / Roell


10.04.19

**MAT-ABR-0437-10/2019**

### **CURVA FUERZA - ALARGAMIENTO** (14" SCH40 - GChC)



3 de 3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica  
  
MSc. ANÍBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 123020  
Jefe de Laboratorio de Materiales