

Universidad Católica de Santa María
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales**
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica -
Eléctrica y Mecatrónica**



**PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA LAS COMBINACIONES DE ASTM
A106 Y ASTM A53 GRADO B SCH 160, PARA ESTACIONES DE DESCOMPRESIÓN
DE GAS NATURAL**

Tesis presentada por el Bachiller:

Corihuaman Surco, Juan Felipe

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Dr. Gordillo Andia, Carlos Alberto

Arequipa – Perú

2020

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 07 de Septiembre del 2020

Dictamen: 000831-C-EPIMMEM-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000831, presentado por:

2005223271 - CORIHUAMAN SURCO JUAN FELIPE

Titulado:

**PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA LAS COMBINACIONES DE ASTM A106 Y ASTM A53
GRADO B SCH 160, PARA ESTACIONES DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**



**1895 - CARPIO RIVERA MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR**

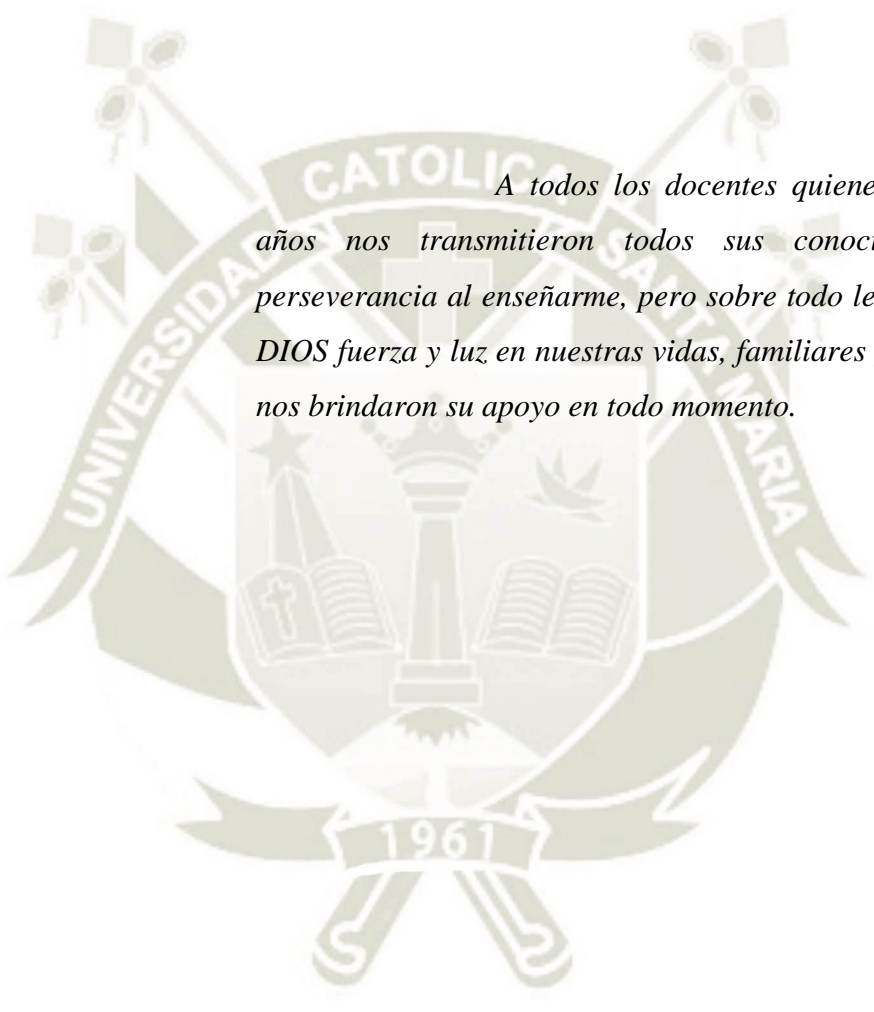


Dedicatorias

A mis padres y familiares con mucho cariño les dedicamos el esfuerzo, compromiso y perseverancia puesta para la realización de este proyecto de tesis ya que con ellos lo es posible todo.



Agradecimiento



A todos los docentes quienes durante estos años nos transmitieron todos sus conocimientos y su perseverancia al enseñarme, pero sobre todo le agradecemos a DIOS fuerza y luz en nuestras vidas, familiares y amistades que nos brindaron su apoyo en todo momento.

RESUMEN

El presente proyecto de **“PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA LAS COMBINACIONES DE ASTM A106 Y ASTM A53 GRADO B SCH 160, PARA ESTACIONES DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL”**, donde se elaborara procedimientos de soldadura para la unión de estos tubos de 2 pulgadas de diámetro, como también se realizara la calificación de los procesos realizados y la calificación del soldador, empleando las normas y códigos internacionales, para así poder seleccionar el mejor proceso de soldadura. Donde las tuberías trabajarán en estaciones de descompresión de gas natural a presiones de 250 bares y temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El procedimiento especificado de soldadura nos brindará parámetros de soldeo e indicará los materiales que se emplearán y el diseño de la junta u biselado del tubo. Como también en el proceso de calificación, se registrará si hubiera cambios en los parámetros de soldeo y los resultados de los ensayos realizados al cordón de soldadura como:

- Pruebas destructivas
 - Nick Break
 - Doblado de raíz
 - Doblado de cara
 - Charpy
 - Tracción
- Pruebas no destructivas
 - Inspección Visual
 - Líquidos penetrantes
 - Radiografía

El proyecto cumple con la meta propuesta de poder cumplir con las normas internacionales y nacionales de soldadura, para que el cordón de soldadura pueda trabajar en una estación de descompresión con los datos requeridos.

Palabras claves:

Ensayos destructivos, Procedimiento de soldadura, Discontinuidades del cordón.

ABSTRACT

The present project of "**WELDING PROCEDURES FOR THE COMBINATIONS OF ASTM A106 AND ASTM A53 GRADE B SCH 160, FOR NATURAL GAS DECOMPRESSION STATIONS**" where welding procedures for the union will be developed of these 2-inch diameter tubes, as well as the qualification of the processes carried out and the qualification of the welder, using international standards and codes, in order to select the best welding process. Where the pipes will work in natural gas decompression stations at pressures of 250 bars and temperatures of -20°C .

The specified welding procedure will provide us with welding parameters and indicate the materials to be used and the design of the joint or bevel of the tube. As well as in the qualification process, it will be recorded if there are changes in the welding parameters and the results of the tests carried out on the weld bead as:

- Destructive testing
 - Nick Break
 - Root bend
 - Face bend
 - Charpy
 - Tensile strength
- Non-destructive testing
 - Visual inspection
 - Penetrating liquids
 - Bone scan

The project meets the proposed goal of being able to comply with international and national welding standards, so that the weld cord can work in a decompression station with the required data.

Key words:

Destructive testing, Welding procedure, Weld bead discontinuities

INTRODUCCIÓN

La presente investigación del proyecto de tesis veremos la realización de cordones de soldaduras para tuberías de dos pulgadas que operan en el área de estación de descompresión de gas natural. Donde veremos el proceso de selección del material de aporte, diferentes tipos de procesos de soldadura, calificación de los cordones de soldadura mediante ensayos destructivos y no destructivos, como la verificación del material base, con lo que se trabajara de acuerdo a las normas y códigos internacionales y nacionales.

De la misma manera se realizara la calificación del soldador y se realizara un plan de inspección que abarcará desde el inicio del proyecto hasta la puesta en marcha del equipo.

Debido a que las tuberías trabajaran en estaciones de descompresión de gas natural comprimido, soportaran presiones elevadas de 250 bares y temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, al ser sometidos los metales de acero al carbono a temperaturas bajas algunos tiende a cambiar su comportamiento de ser dúctiles se convierten en frágiles. Con un factor de servicio para que pueda operar ciclos de 24 horas durante los 365 días del año.

INDICE GENERAL

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

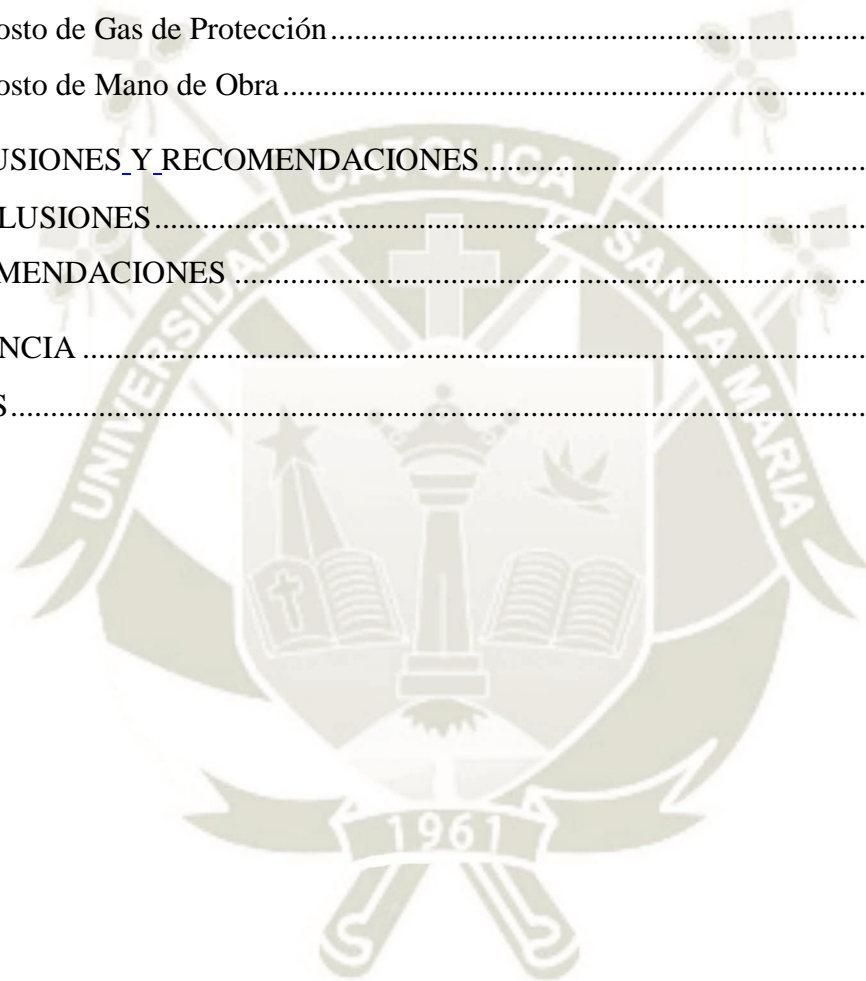
INDICE DE TABLAS

CAPITULO I GENERALIDADES	1
1. Antecedentes.....	2
2. Justificación.....	2
3. Objetivos.....	2
3.1. Objetivo General.....	2
3.2. Objetivos Específicos	3
4. Alcances	3
4.1. Alcances.....	3
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	4
1. Estación de Descompresión de Gas Natural Comprimido (GNC)	5
2. Soldadura.....	5
2.1. Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)	6
2.1.1. Parámetro de Soldeo.....	7
2.1.2. Ventajas	8
2.1.3. Desventajas.....	9
2.2. Soldeo TIG / GTAW	9
2.2.1. Selección Tipo de Corriente	10
2.2.2. Ventajas	11
2.2.3. Desventajas.....	12
3. Definición del Acero	12
4. Comportamiento de los Aceros Estructurales por Fusión	14
4.1. Consecuencia de los Ciclos Térmicos	16

5.	Tipos de Uniones Soldadas	17
6.	Posiciones de Soldeo a las Uniones Soldadas	19
7.	Equivalencia entre EN ISO 4063 y AWS A3.0.....	22
8.	Procedimiento de Soldadura.....	26
8.1.	Preparación de Tubo.....	26
8.2.	Alineamiento, Ajuste y Procedimiento de Aplicación de Puntos de Soldadura	27
8.3.	Proceso SMAW	29
8.3.1.	Soldadura de Tubo en Posición 1G	29
8.3.2.	Soldadura de Tubo en Posición 6G	33
8.4.	Proceso TIG - GTAW.....	37
8.4.1.	Aplicaciones de TIG en Tuberías Pase Raiz	38
8.4.2.	Gases de Protección	38
8.4.3.	Electrodos no Consumibles.....	40
8.4.4.	Tipo de Corriente	40
8.4.5.	Técnica Operativa al Momento de Soldeo	42
9.	Justificación Normas y Codigos	44
9.1.	Especificaciones	44
CAPITULO III ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		48
1.	Material Base.....	49
1.1.	Composición Química ASTM A53	50
1.2.	Composición Química ASTM A106	53
1.3.	Comparación de ASTM A53 Tipo S Gr B – ASTM A106 Gr B	54
2.	Elección del Material Aporte.....	55
2.1.	SMAW – Electrodo Revestido	55
2.2.	GTAW - TIG	65
3.	Tipos de Juntas a Emplear.....	69
3.1.	Introducción y Alcances del ASME B31.8.....	69
3.2.	Preparación del Biselado	70
3.3.	Selección del Tipo de Junta a Emplear.....	71
4.	Precalentamiento	72
5.	Registros de Procedimientos de Soldadura	73

CAPITULO IV	CALIFICACIÓN Y ENSAYOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLADURA	75
1.	Calificación del Procedimiento de Soldadura	76
2.	Calificación de Soldadores	78
3.	Ensayos Destructivos	79
3.1.	Ensayo Nick Break	79
3.2.	Ensayo Doblado Raíz	82
3.3.	Ensayos Extras	83
3.3.1.	Ensayo Resistencia a la Tracción	83
3.3.2.	Ensayo Doblado de Cara	84
3.3.3.	Ensayo de Impacto o Charpy	84
4.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	86
4.1.	Radiografía	87
4.1.1.	Grietas	90
4.1.2.	Socavación Interna	90
4.1.3.	Porosidad	90
4.1.4.	Acumulación de Discontinuidades	92
4.1.5.	Imperfecciones del Material Base	92
4.2.	Ensayo de Partículas Magnéticas	93
4.3.	Ensayo de Líquidos Penetrantes	93
4.4.	Ensayo de Ultrasonido	94
4.5.	Criterios de Aceptación Visual para Socavación Interna	96
CAPITULO V	EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA	97
1.	Procedimiento de Soldeo de Cupón	98
1.1.	Corte y Biselado	98
1.2.	Preparación de Equipos e Instrumentos	98
1.3.	Proceso de Soldadura	102
2.	Ensayos no Destructivos	107
2.1.	Ensayo de Inspección Visual	107
2.2.	Ensayo de Radiografía	111
2.3.	Ensayo de Partículas Magnéticas	117
3.	Extracción de Probetas	119
4.	Ensayos Destructivos	121

4.1.	Ensayo Nick Break	121
4.2.	Ensayo de Doblado de Raiz y de Cara.....	123
4.3.	Ensayo Resistencia a la Tracción	127
4.4.	Ensayo de Impacto o Charpy	130
5.	Programa de Inspección	135
6.	Análisis de Costos	135
7.	Costo de Metal de Aporte.....	138
8.	Costo de Gas de Protección.....	140
9.	Costo de Mano de Obra.....	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		142
CONCLUSIONES.....		143
RECOMENDACIONES		144
REFERENCIA		145
ANEXOS.....		148

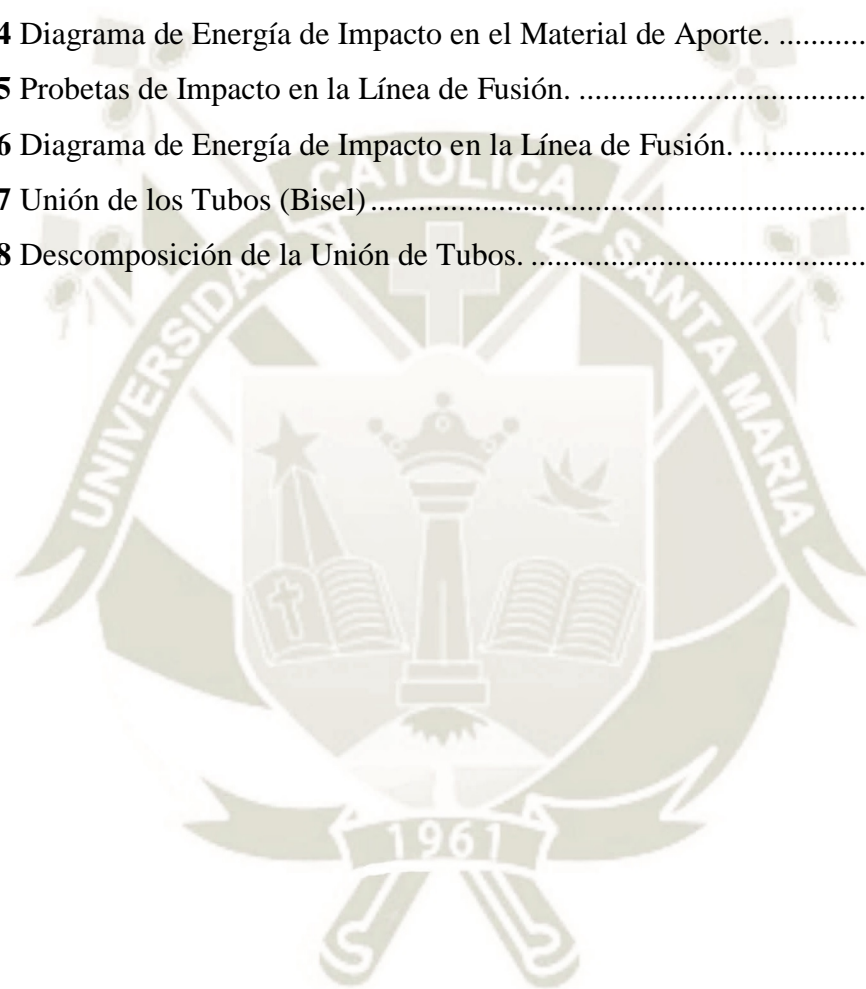


INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Longitud de Arco.....	8
Figura 2 Clasificación de las Aleaciones Ferrosas.....	13
Figura 3 Distribución de Temperatura.....	14
Figura 4 Aumento Tamaño de Grano ZAC.....	17
Figura 5 Posición de Soldeo Según la Norma EN ISO 6947:2011.....	20
Figura 6 Posición de Soldeo Según la Norma EN ISO 6947:2011.....	21
Figura 7 Sentido de Avance de Corte con Oxicorte.....	26
Figura 8 Angulo del Soplete para Cortar Tubo.....	27
Figura 9 Centrador de Tuberías de 1 A 3 plg.....	28
Figura 10 Colocación de los Separadores.....	29
Figura 11 Rotadores para Soldadura.....	29
Figura 12 Posición del Electrodo Revestido con el Portaelectrodo.....	32
Figura 13 Movimiento Latigazo.....	33
Figura 14 Posición de Soldadura 6G.....	34
Figura 15 Ángulos de Arrastre del Electrodo.....	35
Figura 16 Ángulo de Trabajo del Electrodo Revestido.....	35
Figura 17 Oscilación en Dirección Descendente.....	37
Figura 18 Preparación de Biseles Según Espesores del Material Base.....	70
Figura 19 Diseño de Unión a Tope en Tuberías de 2" Ø.....	71
Figura 20 Selección de Probetas en los Cupones para Calificación de Procedimiento.....	76
Figura 21 Probeta Ensayo Nick Break.....	81
Figura 22 Probeta Ensayo Doblado Raíz.....	83
Figura 23 Muestra Charpy y Ubicación de la Muesca en V para la Prueba de Impacto.....	85
Figura 24 Distribución Máxima de Bolsas de Gas: Espesor de Pared (T) Menor o Igual a 0.5 plg (12.7 Mm).....	91
Figura 25 Tubo ASTM A53 Gr. B / A106 Gr. B / API 5L Gr. B SCH 160.....	98
Figura 26 Tubo Biselado.....	98
Figura 27 Equipo Tig 2200i AC/DC – ESAB.....	100
Figura 28 Filtro de la Antorcha.....	100
Figura 29 Buzer Tobera.....	101
Figura 30 Tanque de Argón.....	101
Figura 31 Material de Aporte TIG - ER70S-6.....	101
Figura 32 Material de Aporte SMAW – Supercito.....	102

Figura 33 Armado de Cupón.....	103
Figura 34 Posición del Cupón en 45°.....	103
Figura 35 Limpieza del Cordón de Raíz.	104
Figura 36 Pase de Raíz.	105
Figura 37 Pase en Caliente.....	105
Figura 38 Pase de Relleno.....	106
Figura 39 Pase de Acabado – 1.	106
Figura 40 Pase de Acabado – 2.....	107
Figura 41 Lectura de la Sobremonta del Cordón.	108
Figura 42 Revisión de los Cordones de Cara SMAW.....	108
Figura 43 Revisión de los Cordones de Cara - TIG.	109
Figura 44 Revisión de los Cordones de Raíz.	109
Figura 45 Cálculo de Exposición de Rayos X.	113
Figura 46 Ubicación de la Probeta en el Rayos X.....	115
Figura 47 Comprobación de la Densidad de la Película.	115
Figura 48 Radiografía de la Probeta Lado A.....	116
Figura 49 Radiografía de la Probeta Lado B.....	116
Figura 50 Líquido Fluorescente – Marker – MR 76F.	117
Figura 51 Realización de la Prueba de Partículas Magnéticas.....	118
Figura 52 Realización de la Prueba de Partículas Magnéticas.....	118
Figura 53 Marcado de Probeta para Doblado de Cara.....	119
Figura 54 Marcado de Probeta para Doblado Raíz.	119
Figura 55 Marcado de Probeta para Ensayo de Resistencia a la Tracción.....	120
Figura 56 Marcado de Probeta para Ensayo Nick Break.	120
Figura 57 Marcado de Probeta para Prueba de Impacto o Charpy.....	120
Figura 58 Preparación de la Probeta para el Ensayo Nick Break.....	121
Figura 59 Ruptura de la Probeta para el Ensayo Nick Break.....	122
Figura 60 Metal Soldado de la Probeta Nick Break de TIG-SMAW.....	122
Figura 61 Metal Soldado de la Probeta de Nick Break de TIG.....	123
Figura 62 Preparación de la Probeta para el Ensayo de Doblado.	124
Figura 63 Embolo de 90 mm para Ensayo de Doblado.....	125
Figura 64 Probeta del Ensayo de Doblado de Cara.....	125
Figura 65 Probeta del Ensayo de Doblado de Raíz de TIG-SMAW.....	126
Figura 66 Probeta del Ensayo de Doblado de Raíz de TIG.	126

Figura 67 Deformación Localizada en la Probeta del Ensayo de Tracción.	127
Figura 68 Después del Ensayo de Tracción.	128
Figura 69 Análisis de la Curva de Fuerza y Alargamiento.	129
Figura 70 Probetas de Impacto Metalografiadas.....	131
Figura 71 Selección de Zonas en las Probetas de Charpy.....	131
Figura 72 Medición de las Probetas de Charpy.	132
Figura 73 Probeta de Impacto en el Material de Aporte.	132
Figura 74 Diagrama de Energía de Impacto en el Material de Aporte.	133
Figura 75 Probetas de Impacto en la Línea de Fusión.	134
Figura 76 Diagrama de Energía de Impacto en la Línea de Fusión.	135
Figura 77 Unión de los Tubos (Bisel).....	138
Figura 78 Descomposición de la Unión de Tubos.....	139



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipo de Corriente TIG.....	11
Tabla 2 Tipos de Uniones Soldadas Según EN ISO 17659.	18
Tabla 3 Tipos de Uniones Soldadas Según AWS A3.0.	19
Tabla 4 Equivalencia Entre 4063 y AWS A3.0 Soldadura de Chapa a Tope.	22
Tabla 5 Equivalencia Entre 4063 Y AWS A3.0 Soldadura de Chapa en Ángulo.....	23
Tabla 6 Equivalencia Entre 4063 y AWS A3.0 Soldadura de Tubos a Tope.....	24
Tabla 7 Equivalencia Entre 4063 y AWS A3.0 Soldadura de Tubos en Ángulo.....	25
Tabla 8 Especificación de los Rotores.	30
Tabla 9 Diámetro del Electrodo Revestido	31
Tabla 10 Rango de Amperaje Respecto al Diámetro - Cellocorp P-T	31
Tabla 11 Rango de Amperaje Respecto al Diámetro - Supercito.....	31
Tabla 12 Conservación del Electrodo Supercito.....	33
Tabla 13 Propiedades Entre el Argón y Helio.....	39
Tabla 14 Electrodo no Consumible.	40
Tabla 15 Diámetro del Electrodo con Respecto al Tipo de Corriente.....	43
Tabla 16 Diámetro de la Tobera con Respecto al Espesor del Material Base.....	43
Tabla 17 Caudal del Gas de Protección con Respecto al Espesor del Material Base.	44
Tabla 18 Dimensiones, Pesos y Presiones de Prueba para Tubería de Extremo Liso.	51
Tabla 19 Propiedades Mecánicas ASTM A53.	52
Tabla 20 Composición Química ASTM53 Tipo S Grado B.	53
Tabla 21 Propiedades Mecánicas ASTM A106.	54
Tabla 22 Requerimiento de Tracción ASTM A106, Grado B.....	54
Tabla 23 Comparación de Propiedades Mecánicas ASTM A53 - A106.....	55
Tabla 24 Especificación de la AWS Según el Tipo de Electrodo.	56
Tabla 25 Requerimientos de Tracción de ASTM A53 – ASTM A106.....	56
Tabla 26 Tercer Dígito de Designación del Electrodo con Respecto a la Posición de Soldadura.....	57
Tabla 27 Clasificación de Electrodo.....	58
Tabla 28 Clasificación de Electrodos Revestidos E6010 y E7018.....	60
Tabla 29 Límites de la Composición Química E6010 y E7018.	60
Tabla 30 Composición Química de Cellocord P-T y Supercito.....	61
Tabla 31 Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del E6010 y E7018 en Condición de Soldeo.....	61

Tabla 32 Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del Cellocorp P-T.	62
Tabla 33 Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del Supercito.....	62
Tabla 34 Rango de Amperajes de E6010 Y E7018.....	63
Tabla 35 Rango de Amperajes de Cellocorp P-T.....	63
Tabla 36 Rango de Amperajes de Supercito.	64
Tabla 37 Condiciones de Almacenamiento y Secado de E6010 Y E7018.....	64
Tabla 38 Diámetro del Electrodo Revestido Respecto al Espesor del Material Base.	65
Tabla 39 Composición Química ER70S-6.....	66
Tabla 40 Composición Química TIGFIL St6.....	67
Tabla 41 Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del ER70S-6.	67
Tabla 42 Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del TIGFIL St6.	68
Tabla 43 Parámetros de Soldeo de TIGFIL St6.	69
Tabla 44 Variables que se Deben de Tener en Cuenta para el Procedimiento.....	74
Tabla 45 Tipo y Cantidad de Probetas para Ensayo de Calificación del Procedimiento.	77
Tabla 46 Tipo y Cantidad de Probetas para Ensayo de Calificación del Soldador.	79
Tabla 47 Ensayos Radiográficos	88
Tabla 48 Soldadura Burn-Trough.....	89
Tabla 49 Inclusión de Escoria.	89
Tabla 50 Criterios de Socavación.....	96
Tabla 51 Características Técnicas Tig 2200i AC/DC	99
Tabla 52 Sobremonta de los Cordones de Cara SMAW.	110
Tabla 53 Sobremonta de los Cordones de Cara TIG.....	110
Tabla 54 Selección de Indicador de Calidad de Imagen.	111
Tabla 55 Designación IQI del Cable, Diámetro del Cable y Identidad del Cable.....	112
Tabla 56 Entalle en V en la Zona del Material de Aporte.....	133
Tabla 57 Entalle en V en la Línea de Fusión.....	134
Tabla 58 Factor de Operación Según el Procesos de Soldadura.	137
Tabla 59 Eficiencia de los Procesos de Soldadura.	137



CAPITULO I
GENERALIDADES

1. ANTECEDENTES

El proyecto de tesis **“PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA LAS COMBINACIONES DE ASTM A106 Y ASTM A53 GRADO B SCH 160, PARA ESTACIONES DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL”**, fue realizado llevando una diplomatura de especialización de Ingeniería de Soldadura en INGESOLD de la Universidad Católica del Perú, donde se realizaron las pruebas de ensayo en la área de INGESOLD y la realización de la soldadura de las probetas en la área de Soldexa – Lima.

2. JUSTIFICACIÓN

Analizando las normas y códigos para la fabricación de las tuberías de distribución de gas y la calificación de procedimientos de soldadura, para el proyecto de tesis **“PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA LAS COMBINACIONES DE ASTM A106 Y ASTM A53 GRADO B SCH 160, PARA ESTACIONES DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL”**, para obtener cordones de soldaduras donde no presenten discontinuidades, defectos, falta de penetración o fusión y sean cordones de alta calidad. Realizado mediante el proceso especificado de soldadura que se va a desarrollar.

Para este procedimiento aplicaremos procesos de soldadura TIG (Tungsteno Inert Gas) y SMAW (Shielded Metal Arc Welding) o soldadura eléctrica con electrodo revestido. El proceso TIG podemos obtener soldaduras de alta calidad debido a que se puede tener mayor control por su arco estable y concentrado, mayormente utilizado en pasadas de raíz. El proceso SMAW es sencillo de usar, de costos bajos y todavía sigue siendo el proceso de soldadura más utilizado en nuestro país.

Utilizando la Norma API STD 1104 para la verificación de los criterios de aceptación del cordón de soldadura como también la calificación del soldador, realizando ensayos destructivos como no destructivos, Como Norma ASME B31.8 la utilizaremos para la fabricación de las tuberías para el transporte de gas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Obtener un procedimiento específico de soldadura, que este realizado bajo las normas internacionales y nacionales de diseño, fabricación, inspección de tuberías de transporte de gas. Para la realización de los cordones de soldadura en las tuberías que no presenten

discontinuidades ni defectos, asegurando así un cordón de alta calidad debido a que va a estar sometido a presiones elevadas y temperaturas bajas.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificación de adecuada para el armado de los cupones a soldar como la preparación del biselado y posicionamiento del cupón ya sea para calificación del procedimiento como para calificación del soldador.
- Realización de registros de especificación y calificación de procedimientos de soldadura, para la unión de tuberías de estaciones de descompresión de gas natural.
- Realización de pruebas de ensayos destructivos y no destructivos a los cordones de soldadura, para su evaluación del procedimiento de soldadura, como para la calificación del soldador.
- Justificación y selección de normas o códigos, los cuales nos permitirán usarlos para definir y sustentar los trabajos de soldadura a tope en tuberías de gas natural.

4. ALCANCES

4.1. ALCANCES

- En áreas de descompresión de gas natural, es común usar tuberías de acero al carbono sin costura, donde están sometidas a temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión hasta 250 bares. Donde está diseñada con un factor de servicio que pueda operar ciclos de 24 horas durante los 365 días al año.
- Desarrollar los procedimientos de soldadura para tuberías de ASTM A106 y ASTM A53 grado B, ambas tuberías de 2 pulgadas de diámetro con Schedule de 160.
- Considerando las posibles posiciones de soldadura que se llevaran a cabo para la construcción del presente proyecto.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1. ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

La estación de descompresión recibe el gas natural comprimido (GNC) a una presión máxima de 250 bares (25 MPa) y a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, para posteriormente reducir la presión de tal forma que se pueda alimentar las líneas de producción y usuarios. Las estaciones de descompresión son diseñadas para operar ciclos de trabajos de 24 horas durante los 365 días al año.

La estación de descompresión o centro de descompresión, se encarga de recibir y descomprimir el GNC, el cual permite la descarga para las instalaciones fijas como el sector industrial, grifos, redes residenciales y otros).

Los sistemas de tuberías y válvulas que van en las estaciones de descompresión, unidades de medición y líneas de producción deben estar construidas en acero al carbono sin costura y unidos por soldadura.

2. SOLDADURA

Es el método más usado y versátil en la industria, para la unión de dos o más piezas de un material logrando una fusión localizada, donde estas piezas de metal son unidas por la fundición de ellas generadas por un arco eléctrico y también se les puede agregar material de aporte, logrando así que se comporten como una sola pieza. Su integridad y resistencia depende de las propiedades físicas del metal a soldar, así como otros factores:

- Posición o forma de Soldadura
- Temperatura de la fuente de calor
- Potencia de la fuente.

Cada proceso tiene sus propios atributos y deben ser valorados de diferentes aspectos tales como resistencia, facilidad de fabricación, coste, resistencia a la corrosión y aspecto, antes de tomar la decisión final en función de las aplicaciones específicas de cada producto. (Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro, 2012, p. 27).

Se debe seleccionar teniendo en cuenta:

- El grado de dificultad de la soldadura.

- Tipo de materiales bases a soldar.
- Áreas o dimensiones del cordón a soldar.
- Aplicaciones a la que va a ser somita el cordón de soldadura..
- Lugar de fabricación: taller o campo
- Estimación de costos.
- Capacidad y destreza de los soldadores.

2.1. SOLDEO MANUAL POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)

SMAW → Shield Metal Arc Welding

Realizado mediante una descarga eléctrica continua, que se da entre dos conductores separados por una distancia mínima que son del material base y el material de aporte o electrodo revestido, por donde pasa el arco eléctrico, actúa como un conductor el gas producido por el revestimiento del electrodo al quemarse.

“El arco eleva extraordinariamente la temperatura por encima de la fusión del metal, temperaturas del orden de 5000 °C son normales en cualquier arco” (Aracil Cadenas & Romero Camacho, 2012, p. 2).

Donde el arco está formado por dos zonas concéntricas:

- Zona interior o plasma: Realiza el transporte de la corriente y está formada por los componentes que son los electrones, iones metálicos, metales fundidos, escoria, vapores y moléculas y átomos gaseosos.
- Zona exterior del arco o llama: Es más fría que el plasma y está generalmente formada por átomos generados por las moléculas gaseosas que, o bien al estar en contacto con la superficie de la columna de plasma se disocian, o bien se desprenden de la misma, ya disociados y que en la llama se vuelven a recombinar formando moléculas y liberando la energía absorbida para su disociación, en forma de calor.

2.1.1. PARÁMETRO DE SOLDEO

2.1.1.1. DIÁMETRO DEL ELECTRODO

Se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo (Aracil Cadenas & Romero Camacho, 2012, p. 6).

- Diámetros de electrodos mayores, debemos elegirlos para materiales bases de gran espesor, para posiciones de soldeo plana, ya que los diámetros mayores producen grandes tasas de deposición de soldadura y también se usa para recargues.
- Diámetros de electrodos menores, para soldeo en posición cornisa, vertical y bajo techo, la tasa de deposición de soldadura es baja y el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, para piezas de espesor delgados, pases de cordón de raíz.

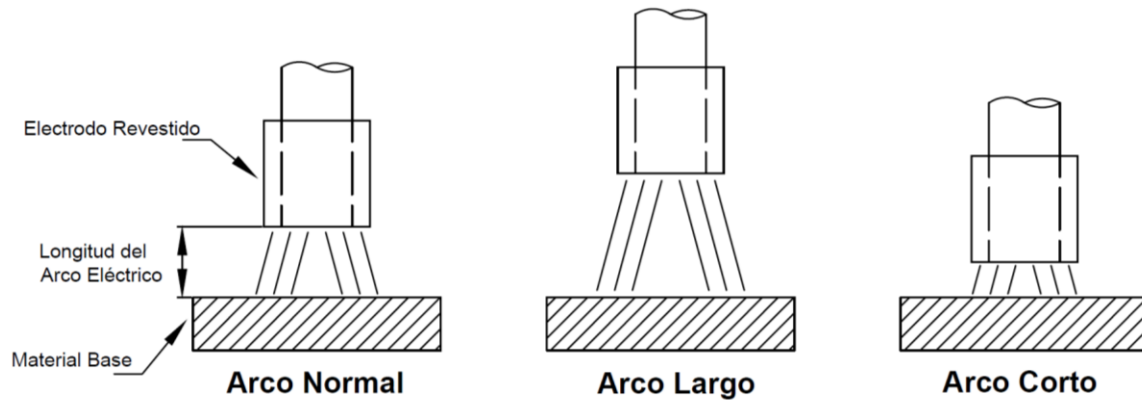
“El aporte térmico depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo” (Aracil Cadenas & Romero Camacho, 2012, p. 6).

2.1.1.2. LONGITUD DE ARCO

La longitud del arco varía según el tipo de electrodo, la posición que se va a ejecutar la soldadura, diámetro del electrodo y el amperaje o intensidad que se utiliza. La longitud del arco mayor mente, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se utilice los electrodos de tipo básico, que serán la mitad de su diámetro o iguales. Como se observa en la figura 1.

Figura 1

Longitud de Arco.



Fuente: Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, (2012).

- **Arco Normal:** Empleado en la mayoría de los electrodos.
- **Arco Largo:** Pierde dirección, fuerza y protección, donde se puede generar cordones de soldadura porosos.
- **Arco Corto:** Empleados con electrodos básicos.

“Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal” (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, 2012, p. 10).

Un arco bastante largo pierde dirección e intensidad, además la escoria y el gas generado por el revestimiento no son muy eficaces, donde genera contaminación en el cordón de soldadura, conteniendo el cordón oxígeno e hidrógeno ocasionando cordones con porosidad.

2.1.2. VENTAJAS

Donde las ventajas que nos indica Aracil Cadenas & Romero Camacho, (2012) son:

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- No requiere protección adicional más que el metal de aporte ya que es un electrodo revestido, que al soldar genera escoria y este actúa como protección de la soldadura.

- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio.
- Es aplicable para espesores mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal. (p. 3)

2.1.3. DESVENTAJAS

- Tiene una tasa de deposición baja, por lo que el procedimiento es lento.
- Para metales que tienen su punto de fusión bajo se es aplicable. (Estaño, zinc y plomo)
- Su protección de soldeo es bajo, ya que no es adecuado para los metales que son sensibles a la oxidación. (Niobio, titanio, zirconio y tantalio)
- No es aplica a espesores menores de 1.5 – 2 mm.
- Requiere mayor destreza del soldador.
- “La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm)” (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, 2012).

2.2. SOLDEO TIG / GTAW

TIG → Tungsteno Inert Gas.

GTAW→ Gas Tungsteno Arc Welding.

El proceso se realiza mediante un arco eléctrico y un gas protector para el baño de fusión, el electrodo no es consumible. Puede ser sin material de aporte o con material de aporte que es aplicado mediante varillas.

Es utilizado para el soldeo de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, circonio y sus aleaciones (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG, 2012).

2.2.1. SELECCIÓN TIPO DE CORRIENTE

En este proceso se puede utilizar dos tipos de corriente, como corriente continua (CC) y corriente alterna (AC), el tipo de corriente tiende a seleccionarse según los materiales bases que se va a soldar.

En corriente continua se tiene dos modalidades que son:

- Polaridad Directa: Donde el electrodo no consumible es conectado al polo negativo y su forma es en punta con un largo de 1,5 a 2 con respecto al diámetro del electrodo, ya que su forma de este hace que el calor sea puntual, arco estable, una buena velocidad de soldeo más rápida y una buena penetración. Si es muy puntiagudo corre con el peligro de inclusiones del electrodo en el baño de fusión.
Donde el electrodo soporta más al deterioro de fundirse que al ser conectado al polo positivo.
- Polaridad Inversa: Donde el electrodo no consumible es conectado al polo positivo, y nos produce un reparto térmico menos favorable, lo que hace que el baño de fusión sea más ancho, poca penetración
Donde el electrodo sufre mayor deterioro debido a que se concentra mayor calor en el electrodo no consumible, incluso a bajas intensidades de corriente.

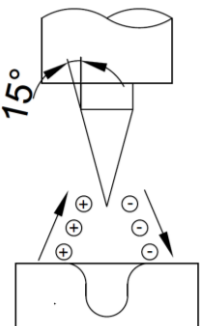
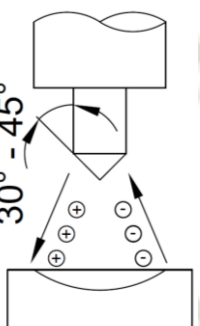
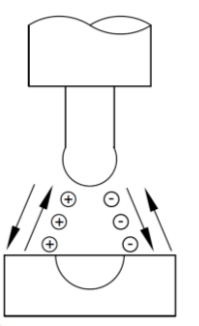



De acuerdo con esto la polaridad recomendada es en corriente continua a polaridad directa, con excepto cuando se suelda Al y Mg o en sus aleaciones ligeras.

En corriente Alterna suele emplearse para aleaciones ligeras, tales como el aluminio y magnesio. Uno de los inconvenientes es la dificultad del cebado y la estabilidad del arco, lo que obliga que el equipo tenga un generador de alta frecuencia.

Donde podemos observar en la tabla 1, la preparación de los electrodos no consumibles para cada tipo de corriente que utilizemos y su comportamiento que tiene al momento de ejecutar la soldadura.

Tabla 1

Tipo de Corriente TIG

Tipo de Corriente	Corriente Continua – CC		Corriente Alterna – AC
	Directa	Inversa	AC
Polaridad			
Flujo de electrones e iones			
Aspecto de la penetración			
Acción decapante	No	Si	Si, Una vez durante el semiciclo positivo.
Balance calórico (aproximado)	70% en la pieza, 30% en el electrodo.	30% en la pieza, 70% en el electrodo.	50% en la pieza, 50% en el electrodo.
Penetración	Profunda y estrecha.	Ancha y menos profunda.	Media
Comportamiento del electrodo	Excelente Ej. 400 A: 3,2 mm	Pobre Ej. 30 A: 3,2 mm	Buena Ej. 225 A: 3,2 mm
Preparación del afilado del electrodo	Si	No	No

Fuente: Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG (2012)

2.2.2. VENTAJAS

- Soldadura de alta calidad.
- Aplicable para diferentes tipos de juntas y posiciones de soldeo.
- Soldadura limpia libre de salpicadura.
- En los pases de raíz, obtenemos un buen control en la penetración de soldeo.

- Podemos controlar la tasa de deposición de soldadura o el material de aporte, independientemente a la fuente de poder.
- Se puede soldar materiales de menores espesores desde 0,6 mm.

2.2.3. DESVENTAJAS

- Requiere una gran destreza del soldador.
- Para espesores mayores de 6 – 8 mm no es económico.
- En zonas abiertas no es recomendable soldar por las corrientes de aire, se deberá proteger o cerrar las zonas donde se va a soldar.

3. DEFINICIÓN DEL ACERO

Para poder hablar de las características del acero de medio carbono, tenemos que definir el acero, y este se puede definir desde un aspecto de lo metalúrgico como una aleación de hierro – carbono, debido a que el hierro por sí solo no posee tan buenas propiedades como su aleación, esta aleación será una de las más utilizadas en la industria de la construcción, aprovechando que el hierro es un material que tiene las propiedades alotrópicas la cual es un fenómeno que hace que su estructura cristalina cambie a variaciones de temperatura, por consecuencia variando sus propiedades mecánicas.

El carbono será uno de los elementos más importantes y significativo al alearse con el hierro, influirá en las temperaturas de transición de transformaciones alotrópicas, siendo las principales microestructuras de los aceros en temperatura ambiente las soluciones sólidas como la ferrita y austenita, y un compuesto intersticial como la cementita, esto dependerá de la composición que exista de carbono, teniéndose en cuenta que los aceros como tal serán entre 0.008% a 2.11% carbono en masa, además el acero tendrá una estructura cristalina BCC a temperatura ambiente.

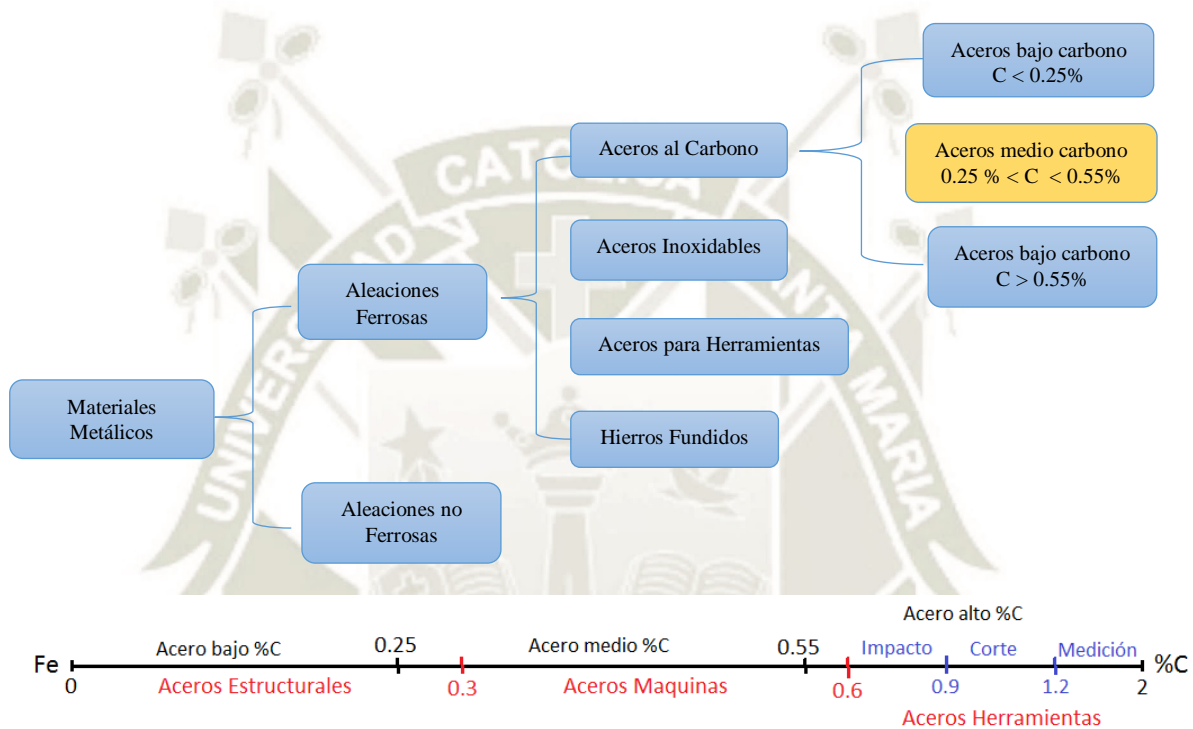
Esto podemos observarlo en el diagrama Hierro – Fe_3C , el cual abarca hasta 6.67% C ya que los materiales con mayores concentraciones de C, no son utilizados en la industria.

Y enfocándonos un poco más, aquellos materiales con composición superiores a 2% de C, se les denomina fundiciones, por lo que en la imagen se podrá observar el diagrama Hierro – Fe_3C hasta un 2% de C.

La clasificación de los aceros al carbono, serán según su porcentaje de carbono observado en el Diagrama Fe – Fe₃C y además según el uso industrial se ha podido agrupar según la Figura 2 siguiente.

Figura 2

Clasificación de las Aleaciones Ferrosas.



Fuente: Elaboración propia

Las propiedades de un metal de medio carbono como es el material asignado, tienen las siguientes principales características:

- Posee un porcentaje de carbono entre 0.25% a 0.55% C.
- Contiene Mn entre 0.3% a 0.95%, el cual aumenta la resistencia mecánica.
- Contiene Si, entre 0.2% a 0.4%, el cual tiene la finalidad de desoxidante.
- En algunos casos se le añade cierto porcentaje de cobre para mejorar su resistencia a la corrosión.
- Contiene cantidades limitadas de P y S generalmente menor a 0.05% debido a que son impurezas que podrían ocasionar fisuras.

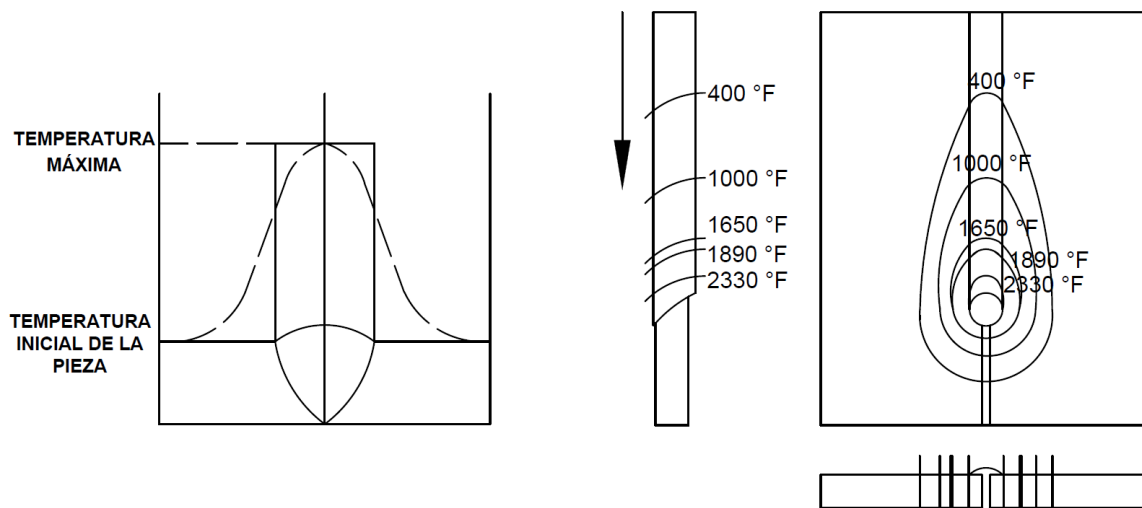
4. COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES POR FUSIÓN

Durante el proceso de soldadura el aporte de energía se localizará en una zona focalizada del material, donde se realiza una transferencia o disipación de calor por convección y conducción (líquido y estado sólido). Mientras que la disipación de calor hacia el aire es por convección y radiación.

La distribución de temperaturas en el cordón se observa en la siguiente Figura 3:

Figura 3

Distribución de Temperatura.



Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Como se observa en la imagen la temperatura máxima alcanzada es la zona que recibe directamente el aporte de energía, y mientras nos alejamos de él transversalmente disminuirá la temperatura máxima alcanzada, de una forma gradual.

Mientras si lo enfocamos desde una perspectiva longitudinal, de misma manera la temperatura irá disminuyendo mientras se aleje del punto de aporte de energía, sin embargo mientras va dejando paso al cordón, las temperaturas máximas obtenidas a su paso, serán las tangentes a las curvas isotérmicas.

Los factores de influencia en el ciclo térmico ocasionado por la soldadura serán:

- Energía aportada (Heat input).
- Material
- Conductividad
- Calor latente
- Diseño de junta
- Temperatura de precalentamiento (Tp)
- Condiciones externas

Hay que tener en cuenta dichos factores debido a que la soldadura es un proceso térmico, puede afectar en cambios microestructurales, tensiones residuales y deformaciones.

Para entender las influencias de los factores y teniendo en cuenta que durante el proceso de soldadura se realiza un ciclo térmico, se puede describir y definir a través de un acercamiento en ecuaciones de transferencia de calor.

Por ejemplo en el soldeo a tope con penetración completa de un pase se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{T_m - T_0} = 4.13\rho ce \frac{Y}{ENA} + \frac{1}{T_f - T_0}$$

Donde:

- Tm: Temperatura máxima alcanzada
- To: Temperatura inicial del material
- Tf: Temperatura de fusión
- P: Densidad del material (g/mm³)
- c: Calor específico (J/°C)
- e: espesor del material (mm)
- Y: Distancia del punto a la línea de fusión
- ENA: Energía neta aportada

Tal ecuación denominada del máximo temperatura, podemos obtener y entender el comportamiento del ciclo térmico, por ejemplo también nos sería útil para:

- La determinación de la temperatura máxima en puntos determinados de la zona ZAC.
- Estimación del ancho de la ZAC.
- Demostrar el efecto causado por el precalentamiento sobre el ancho de la ZAC.

De las consideraciones anteriores, se demuestra lo siguiente:

- La energía aportada, al aumentarse generará temperaturas más elevadas, además provocará que la ZAC sea más ancha, sin embargo provoca una disminución en las velocidades de enfriamiento.
- Cuando mayor sea la conductividad del material, más rápido evacua el calor aportado, por lo que sí es muy elevada esta característica, se tendrá que depositar mayor aporte térmico para fusionar completamente al material base.
- Al incrementar la temperatura de precalentamiento, provocará una ZAC mucho más ancha, sin embargo a veces es necesario, debido a que disminuye la temperatura de enfriamiento, evitando así microestructuras frágil.

De similar forma se estableció una ecuación para la determinación de la velocidad crítica de enfriamiento, la que se mostrará a continuación es aplicable para planchas delgadas.

$$R = 2\pi k\rho c \left(\frac{e}{ENA}\right)^2 (T_c - T_0)^3$$

Donde:

R: Velocidad de enfriamiento

K: Conductividad térmica (J/mms°C)

Tc: Temperatura a la que se calcula la velocidad de enfriamiento

To: Temperatura inicial de la plancha

Esta ecuación nos ayudará a obtener una velocidad crítica de temple.

El estudio de una unión soldada se puede distinguir en tres zonas.

- Zona fundida.
- Zona afectada por el calor (ZAC).
- Zona sin afectar.

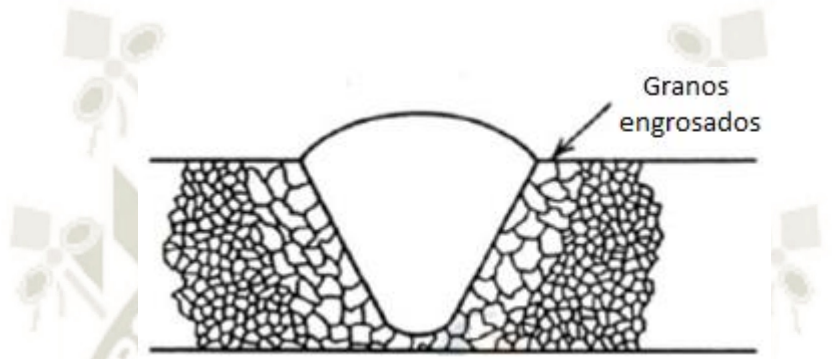
4.1. CONSECUENCIA DE LOS CICLOS TÉRMICOS

El calentamiento durante el ciclo térmico, provoca por lo general un crecimiento de grano en la ZAC y también en la zona fundida. Podemos observar en la siguiente Figura 4 una estructura en el tamaño de granos clásicas de una unión soldada.

Como se observa en la Figura 4, la zona ZAC los granos serán más gruesos que del material base, hay que tener en consideración que si existe un mayor aporte de calor, será posible de que estos granos de la ZAC sean más gruesos aún, siendo un punto negativo ya que bajaría la tenacidad en esta zona.

Figura 4

Aumento Tamaño de Grano ZAC.



Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Zona de la ZAC

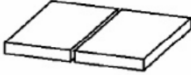
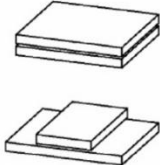
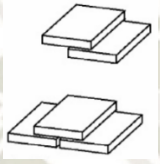
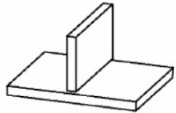
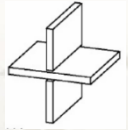
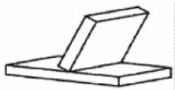
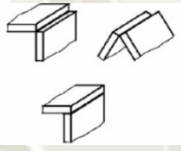

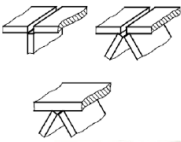

- Zona de sobrecalentamiento: sobre los 1200 °C
- Zona de Recocido: 900 a 1100 °C
- Zona de transformación: desde A1 hasta A3

5. TIPOS DE UNIONES SOLDADAS

Según la Norma Europea EN ISO 17659: “Soldeo, Relación multilingüe de términos con ilustraciones para uniones soldadas” como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Tipos de Uniones Soldadas Según EN ISO 17659.

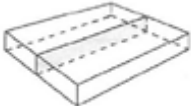
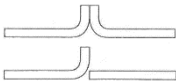
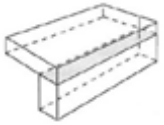
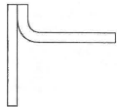
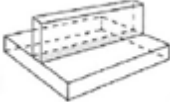

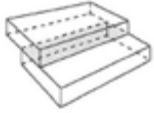
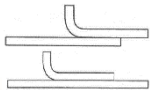
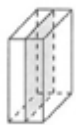

Tipo	Croquis	Tipo	Croquis
Unión a tope		Unión en paralelo	
Unión a solape		Unión en T	
Unión cruciforme		Unión en ángulo	
Unión en esquina		Unión en canto	
Unión en múltiple		Unión en cruz	

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Según la Norma Americana AWS A3.0 “Standard Welding Terms and Definitions”, como se observa en al Tabla 3.

Tabla 3

Tipos de Uniones Soldadas Según AWS A3.0.

Tipo	Croquis	Tipo	Croquis
Junta a tope		Junta a tope pestañada	
Junta en esquina		Junta en esquina pestañada	
Junta en T		Junta en T pestañada	
Junta traslapada		Juntas Solapadas pestañadas	
Junta de borde		Juntas de borde pestañadas	

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

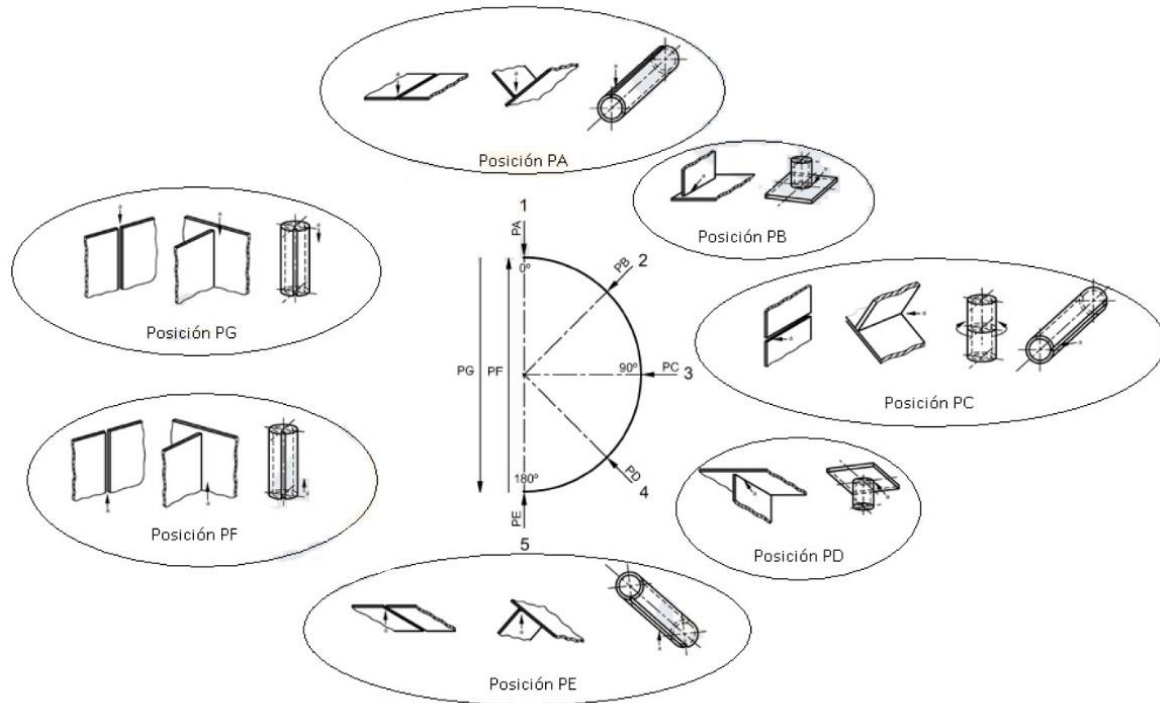
6. POSICIONES DE SOLDEO A LAS UNIONES SOLDADAS

Según la Norma EN ISO 6947: 2011. “Soldaduras. Posiciones de trabajo. Definición de los ángulos de pendiente y de rotación”.

La norma se define en diversas posiciones principales de soldeo en función de cómo se orienta la pistola o el electrodo respecto a la pieza. Las posiciones PB y PD son exclusivas de uniones de ángulo y no tienen aplicación en uniones a tope (Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro, 2012). Como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Posición de Soldeo Según la Norma EN ISO 6947:2011.

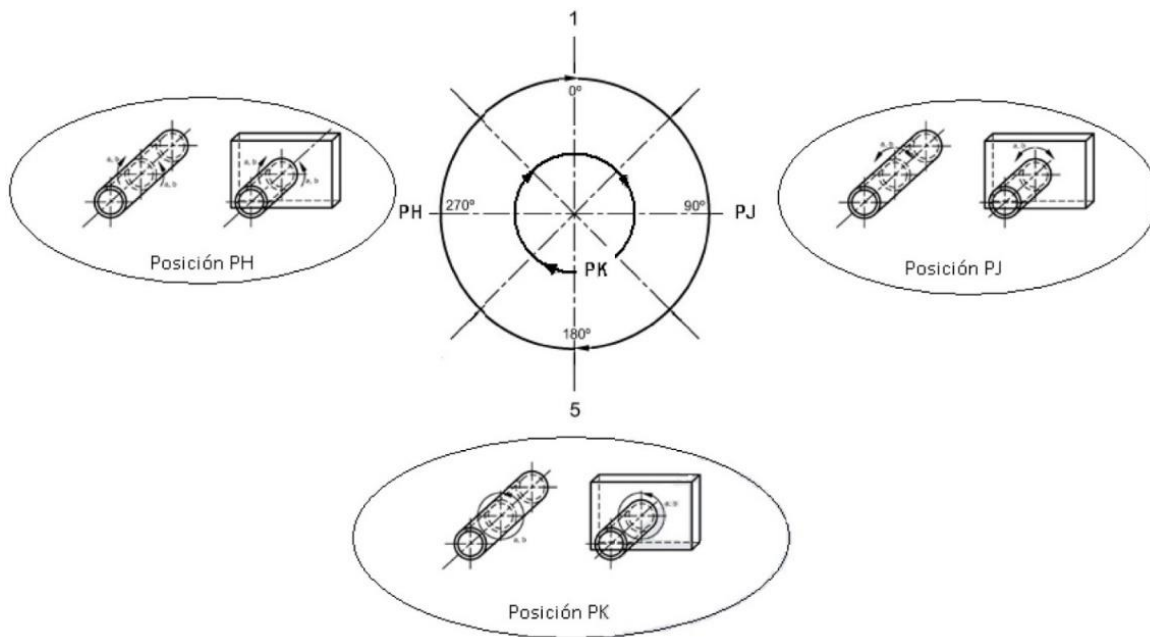


Fuente: Norma EN ISO 6947 (2011)

Aplicación exclusivamente a tuberías y que son las posiciones PH (soldeo de tubos en ascendente), PJ (soldeo de tubos en descendente) y PK (soldeo orbital de tubos) (Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro, 2012). Como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Posición de Soldeo Según la Norma EN ISO 6947:2011.



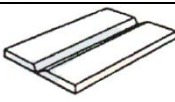
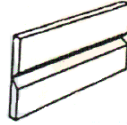
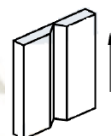
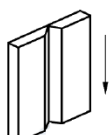
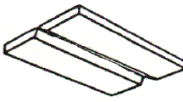
Fuente: Norma EN ISO 6947 (2011)

7. EQUIVALENCIA ENTRE EN ISO 4063 Y AWS A3.0

En forma de realizar la comparación entre EN ISO 4063 y AWS A3.0, se representaran en la tabla 4, tabla 5, tabla 6 y tabla 7 sus equivalencias entre las posiciones de soldeo.

Tabla 4

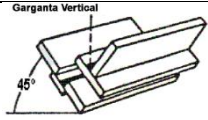
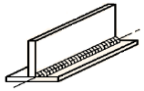
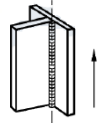
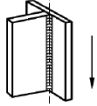
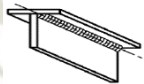
Equivalencia Entre 4063 y AWS A3.0 Soldadura de Chapa a Tope.

Soldaduras de Chapa a Tope			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0		
PA	1G	Chapa horizontal Soldadura plana	
PC	2G	Chapa vertical Soldadura en cornisa	
PF	3G ascendente	Chapa vertical Soldadura vertical ascendente	
PG	3G descendente	Chapa vertical Soldadura vertical descendente	
PE	4G	Chapa horizontal Soldadura bajo techo	

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Tabla 5

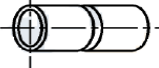

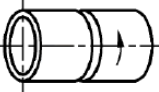
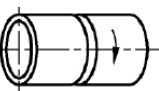
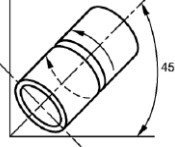
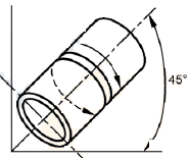
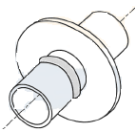
Equivalencia Entre 4063 Y AWS A3.0 Soldadura de Chapa en Ángulo.

Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0		
PA	1F	Chapa inclinada 45°. Soldadura plana acunada.	
PB	2F	Chapa horizontal Soldadura en rincón	
PF	3F ascendente	Chapa vertical Soldadura vertical ascendente	
PG	3F descendente	Chapa vertical Soldadura vertical descendente	
PD	4F	Chapa horizontal Soldadura bajo techo	

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Tabla 6

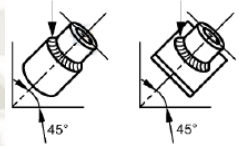
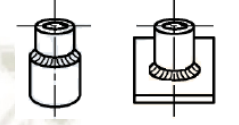
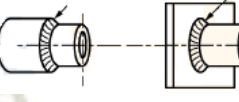
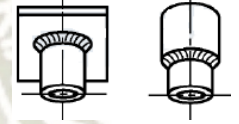
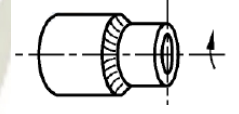
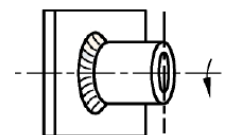
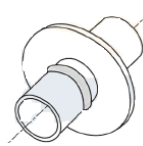
Equivalencia Entre 4063 y AWS A3.0 Soldadura de Tubos a Tope.

Soldaduras de Tubos a Tope			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0		
PA	1G	Tubería horizontal rotando Soldadura plana	
PC	2G	Tubería vertical fija Soldadura en cornisa	
PH	5G ascendente	Tubería horizontal fija Soldadura plana, en vertical y bajo techo	
PJ	5G descendente	Tubería horizontal fija Soldadura plana, en vertical y bajo techo	
H-L045	6G ascendente	Tubería fija a 45° con la horizontal	
J-L045	6G descendente	Tubería fija a 45° con la horizontal	
-----	6GR	Tubería fija a 45° con la horizontal Acceso restringido mediante anillo.	

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Tabla 7

Equivalencia Entre 4063 y AWS A3.0 Soldadura de Tubos en Ángulo.

Soldaduras de Tubos en Ángulo				
Norma		Descripción	Croquis	
EN ISO 4063	AWS A3.0			
PA	1FR	Tubería rotando a 45° con la horizontal Soldadura plana		
PB	2F	Tubería vertical fija Soldadura en cornisa		
PB	2FR	Tubería horizontal rotando		
PD	4F	Tubería horizontal fija Soldadura bajo techo		
PH	5F ascendente	Tubería fija horizontal		
PJ	5F descendente	Tubería fija horizontal		
-----	6GR	Tubería fija Eje a 45° con la horizontal Acceso restringido mediante anillo.		

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

8. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

8.1. PREPARACIÓN DE TUBO

Se limpia el tubo de todos los residuos del óxido con:

- Martillándolo: golpeándolo levemente sacándole las partes muy oxidadas de las superficies del exterior e interior.
- Cepillo de Alambre.
- Esmeriladora o amoladora.

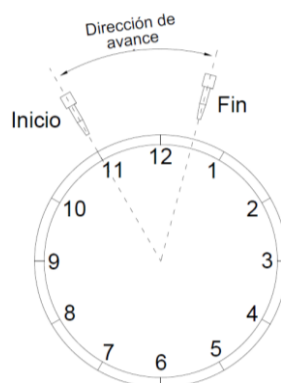
El biselado se puede proceder con una biseladora de tubos, torno, equipo de oxicorte o con esmeril pero este debe de ser utilizado por un biselador (pipefitter). Teniendo en cuenta que el oxicorte no deja un acabado fino e incluso puede cambiar la microestructura del metal por el calor que ejerce al ser piezas de gruesas, su hueso debe de ser adecuado para no dañar la pieza.

Al utilizar oxicorte se debe sostener con un ángulo de 30 grados y la boquilla debe de estar separada a 1/8 o menos de la superficie del tubo.

El corte se debe de realizar a las 10 en sentido antihorario y se deberá de detener brevemente antes de las 12 (no se debe de realizar el corte que vaya más allá de las 12:30). Como se observa en la figura 7.

Figura 7

Sentido de Avance de Corte con Oxicorte.

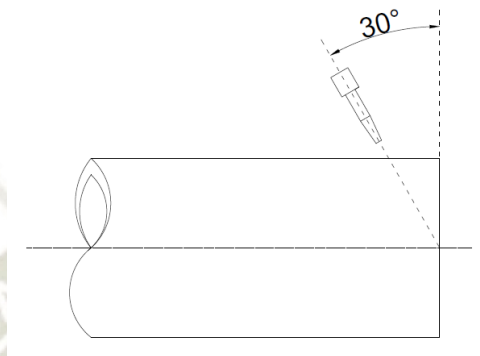


Fuente: Koellhoffer (2007)

La punta del soplete debe de formar un ángulo de 30 grados y debe de apuntar al siempre hacia el centro del tubo. Como se observa en la figura 8.

Figura 8

Angulo del Soplete para Cortar Tubo.



Fuente: Koellhoffer (2007)

Cuando este el soplete a las 12 o 12:30, este se desplazara lejos de la línea y en dirección opuesta del tubo, y se tendrá que realizar un orificio pequeño antes de la apertura del oxígeno de corte. Este orificio nos va a indicar el nuevo punto de inicio para la reiniciación del corte. Y así, evitar que el bisel se dañe cuando se inicia el siguiente corte.

El sentido de giro del tubo será antihorario donde se ejecutara el siguiente corte (segundo corte). En cada corte el tubo se seguirá girando hasta culminar el corte de todo el bisel.

Para la eliminación de la escoria que genera cada corte, procedemos a retirarla con un martillo de bola golpeándole ligeramente en los bordes del bisel. Cuando no es fácil el retiro de la escoria, eso nos da inicio que el movimiento de la antorcha es lenta o que flama es elevada.

Una vez culminado el corte del biselado se procede a dar el acabado, colocándolo en un banco y procediendo a lijar los residuos que género el corte y la oxidación que podría generarse.

8.2. ALINEAMIENTO, AJUSTE Y PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DE PUNTOS DE SOLDADURA

Se colocan los dos tramos de tubos en caballetes o borriquetas, con el fin de poder alinear los tubos y sujetarlos, que las caras de raíz casi se toquen. Con una regla de nivel se revisa si están

alineados los tubos realizando varias medias en diferentes lados, utilizando centradores de tuberías visto en la Figura 9, donde nos ayudamos a centralarlos.

Figura 9

Centrador de Tuberías de 1 A 3 plg.



Fuente: <https://www.dwt-pipetools.com/es>

La colocación de los separadores de la raíz, son entre los puntos como se muestra en la Figura 10. Una vez procedido el colocamiento de los separadores se debe de apretar los tubos entre ellos, para evitar el desalineamiento de ellos y asegurar la misma distancia del bisel se igual en todo los puntos.

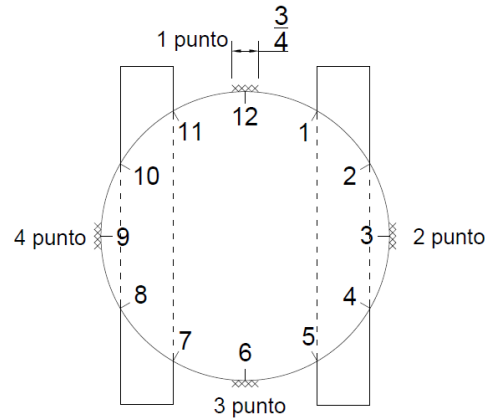
Los puntos de soldadura se realizaran como se observa en la Figura 10, estos puntos deben de tener 3/4 pulg o 19 mm aproximadamente. Estos puntos deben de realizarse con el mismo material de aporte que se va a realizar los cordones de soldadura. Después de a ver colocado el punto de la 12 se procede a retirar los separadores y proceder con los puntos 4 y 8, el último punto será de las 6.

Para facilitar el retiro de los separadores se recomienda envolverlos con papel, para que el deslizamiento de ellos se fácil.

Se debe de revisar si las separaciones que hay a las 3 y a las 9 son iguales.

Figura 10

Colocación de los Separadores.



Fuente: Koellhoffer (2007)

8.3. PROCESO SMAW

8.3.1. SOLDADURA DE TUBO EN POSICIÓN 1G

Para este proceso de 1G contemplamos, la unión del tubo utilizando rotadores como se observa en la Figura 11, la selección de los rotadores se da según la carga que van a soportar ver tabla 8, ya que el proceso de la soldadura será más rápido y dará mejor soldadura, es como si se estuviera soldando en horizontal. En este proceso solo se está contemplado para instalaciones o fabricaciones que se realicen el taller.

Figura 11

Rotadores para Soldadura.



Fuente: Lincoln Electric (2019)

Tabla 8*Especificación de los Rotores.*

Nombre del producto	Numero de Producto	Carga rotativa lb (kg)	Energía de entrada Voltaje/Fase/Hertz/Amps	Rango del diámetro de tubería pulg (mm)	Capacidad de carga lb (kg)	Rango de velocidad IPM	Rango del motor HP	Diámetro de Rueda pulg (mm)	Distancia entre el centro de las ruedas in (mm)	Peso lb (kg)
Rodillo Motriz 16 pulg (406 mm)	AD2407-1	1500	115/1/60/6	2 - 16	750	1-50	1/15	6	63/8	45 (20.4)
Rodillo Seguidor 16 pulg (406 mm)	Ad2407-2	(680)	N/A	(51 - 406)	(340)	N/A	N/A	(152)	(162)	20 (9.1)

Fuente: Lincoln Electric (2019)

El soldador debe de asegurar o verificar el tubo de manera que el eje quede en posición horizontal.

Se debe de asegurar el diámetro de electrodo visto en la tabla 9 y los parámetros de corriente para cada tipo de electrodo, de la tabla 10 y tabla 11:

Tabla 9

Diámetro del Electrodo Revestido

Espesor del Material a Soldarse (plg.)	Diámetro del Electrodo (plg.)
3/16 a 3/8	5/32 a 3/16
1/4 a 1/2	3/16 a 1/4

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Tabla 10

Rango de Amperaje Respecto al Diámetro - Cellocorp P-T

Para Corriente Continua (DC): DCEP / DCEN			
Diámetro	mm	4	5
	pulgadas	5/32	3/16
Amperaje mínimo		110	140
Amperaje máximo		150	200

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Tabla 11

Rango de Amperaje Respecto al Diámetro - Supercito.

Para Corriente Continua (DC) DCEP y Corriente Alterna (AC)				
Diámetro	mm	4	5	6.3
	pulgadas	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		120	170	210
Amperaje máximo		190	240	280

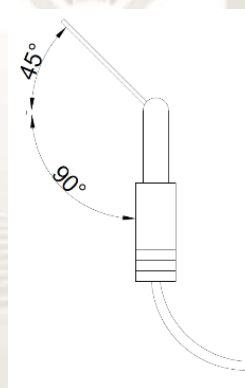
Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

En nuestro caso la pared (espesor) del tubo es de 0.344 plg. ASTM A53 S Gr B y ASTM A106 Gr B ambos de Schedule 160. Para este caso escogeremos como relleno y acabado el SUPERCITO y en como raíz el CELLOCORP P-T, en el acabado se escogerá de un diámetro mayor del electrodo del que se escogió para el relleno, ya que nos proporcionara mayor aportación. Y en el caso de la raíz escoger el diámetro menor del electrodo.

Se debe de colocar el electrodo en el portaelectrodo ya sea empleando en un ángulo de 90 grados o de 45 grados con respecto a la punta del portaelectrodo (Koellhoffer, 2007), como se observa en la Figura 12. El soldador debe acomodarse de manera que quede formando un ángulo de 90 grados con respecto al tubo en una postura cómoda.

Figura 12

Posición del Electrodo Revestido con el Portaelectrodo.



Fuente: Koellhoffer (2007)

El electrodo se deberá de colocar a las 12 y hacer rotar el tubo con los rotores, en el paso de raíz después de soldada se deberá de hacer una pausa suficientemente larga para que se fundan las caras de la raíz.

Pase raíz con CELLOCORP P-T: Se utiliza el movimiento de latigazo como se observa en la Figura 13. Se utilizara el electrodo con ángulo entre 5 y 15 grados (Koellhoffer, 2007), teniendo cuidado de no dejar marcas en la superficie del tubo, a los lados de la ranura en V.

Figura 13

Movimiento Latigazo.



Fuente: Elaboración Propia

En el caso que se terminase el electrodo se deberá de encender el electrodo ligeramente debajo del cráter. Sin antes de haber limpiado antes del encendido.

Una vez terminado el cordón se deberá de limpiar todo el cordón terminado.

Pase relleno y acabado: antes de utilizar el electrodo revestido se deberá de tener en cuenta su conservación y el calentamiento o resecado que debe de someterse debido a que estamos utilizando un electrodo básico, las temperaturas y tiempo que debe estar el electrodo lo establece el fabricante, como se observa en la tabla 12.

Tabla 12

Conservación del Electrodo Supercito.

Almacenamiento en Horno	Resecado
125 - 150 °C	300 a 350 °C por 2 horas

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

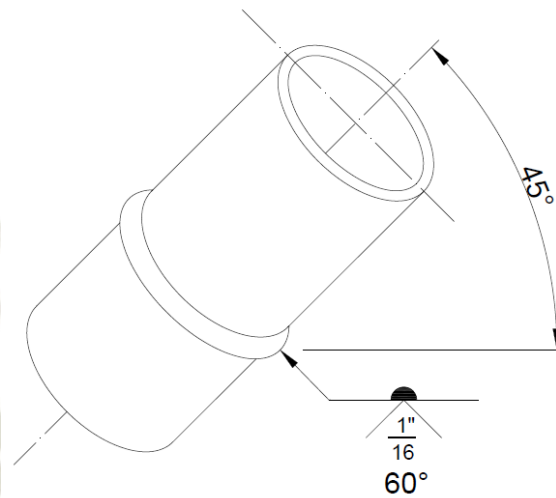
La segunda y la tercera pasada se pueden depositar ya sea con movimiento triangular o con oscilación alternada. Se debe tener la precaución de hacer una breve pausa a los lados de la unión, se debe fundir la escoria que haya quedado atrapada y rellenar los rebajos indeseables.

8.3.2. SOLDADURA DE TUBO EN POSICIÓN 6G

La preparación de tubo se realiza como se observa en el apartado 8.1 del capítulo II y el alineamiento en el apartado 8.2 del capítulo II vistos anterior. Se asegura el tubo en una posición de 45° o en posición de 6G como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Posición de Soldadura 6G.



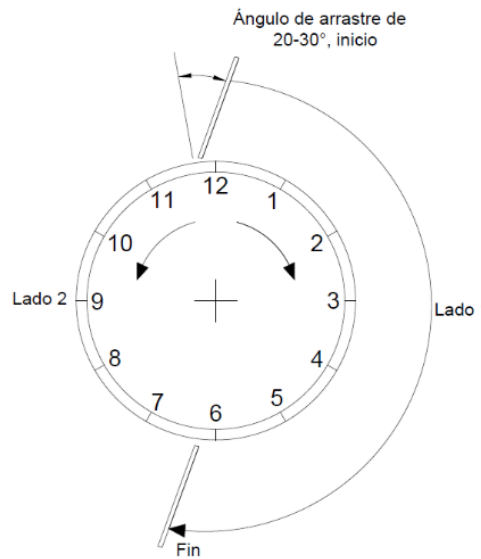
Fuente: Koellhoffer (2007)

Se debe de colocar los parámetros de corriente, en el caso anterior se encuentra la Tabla 15, de parámetros ya que se va a utilizar los mismos tipos de electrodos.

El recorrido del arco ser ascendente o descendente en este caso de soldadura con electrodo revestido lo veremos descendente. El inicio del cordón de soldadora se realiza, entre las 11:30 y las 12. Empleando un ángulo de arrastre de entre 20 y 30 grados con respecto a la superficie del tubo, como se muestra en la Figura 15 (Koellhoffer, 2007). Se conserva este ángulo durante toda la primera pasada completa.

Figura 15

Ángulos de Arrastre del Electrodo.

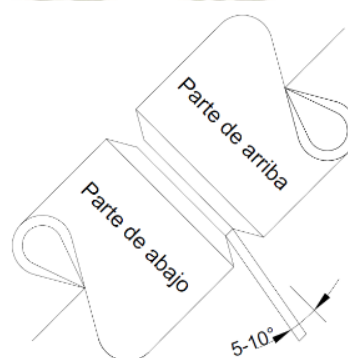


Fuente: Koellhoffer (2007)

Se mantiene un ángulo de trabajo entre 5 y 10 grados con respecto a la perpendicular, como se muestra en la Figura 16. El ángulo será determinado por las caras de la raíz. Se pueden fundir en forma simétrica las dos caras de raíz (Koellhoffer, 2007, p. 289).

Figura 16

Ángulo de Trabajo del Electrodo Revestido.



Fuente: Koellhoffer (2007)

O que una de ellas tienda a hacerlo más rápidamente y acabe por consumirse. Si una de ellas se funden más rápidamente, el ángulo del el electrodo se debe de desplazar hacia ese lado. Al realizar esta operación forzamos al metal depositado a desplazarse hacia esa área para generar una unión uniforme.

Debe de ser constante la distancia y presión del electrodo mientras se realiza la soldadura. Para mantener el ángulo de arrastre, se deberá de bajar la mano y el portaelectrodo mientras se va consumiendo el electrodo. No se podrá consumir toda la varilla de electrodo debido a que se sobrecalienta y se puede pegar a la unión, se tendrá que dejar aproximadamente entre 60 a 72 mm. y será desechado el electrodo y se utilizara otro, en cada cambio de electrodo se deberá de limpiar el cordón de la escoria y salpicaduras.

Al comenzar la segunda mitad del pase de raíz del otro lado del tubo, Se cubre el cordón del pase de raíz del otro lado aproximadamente 20 mm. Generando un arco largo hasta ocasionar la abertura de la raíz.

Al generar la apertura, se incrementara la longitud del arco hasta llegar a su tamaño normal. Se continúa con el soldeo hasta cubrir el primer cordón generado aproximadamente 20 mm.

Se limpia el cordón de raíz antes de proseguir con el siguiente cordón.

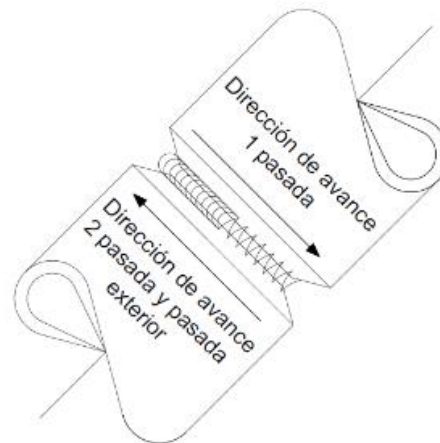
Para la pasada de relleno y acabado con SUPERCITO. Se utilizara amperajes más elevados que con el CELLOCORP P-T, como se muestra en las Tabla 15 del caso anterior, se deberá de tener en cuenta su conservación y el calentamiento o resecado que debe de someterse. Como se observa en la Tabla 18 de conservación de electrodo SUPERCITO.

El polvo de hierro de revestimiento del electrodo SUPERCITO, de bajo hidrogeno hace que deposite más de metal.

La pasada de relleno se empieza cerca de la parte de abajo del tubo entre las 5 y 6. Se deposita un cordón rectilíneo hacia la parte superior del lado 2 (Koellhoffer, 2007). Se efectúan movimientos ligeramente oscilatorios, como se demuestra en la Figura 17. No se debe de realizar oscilaciones excesivas del electrodo. “No se deben realizar movimientos de latigazo con el electrodo ni separarlo del charco en ningún momento. Generando un ángulo de arrastre entre 0 y 5 grados” (Koellhoffer, 2007, p. 291).

Figura 17

Oscilación en Dirección Descendente.



Fuente: Koellhoffer (2007)

Se procede a la limpieza del cordón soldado, es difícil remover la escoria que producen los electrodos con bajo contenido de hidrógeno. Es casi imposible eliminarla aprovechando el calor de la siguiente pasada.

Al realizar la soldadura del otro del tubo. Al comenzar la soldadura debe cubrir al otro cordón del otro lado del tubo como al finalizar. Se debe realizar el mismo procedimiento en las siguientes pasadas de cordón, como los mismos ángulos y movimientos del electrodo.

8.4. PROCESO TIG - GTAW

El proceso TIG, es uno de los procesos de soldadura más limpios que existen, hablando respecto al acabado y calidad del cordón. Este proceso requiere de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno y metal base, con el cual se fundirá el metal de aporte, cabe mencionar que el electrodo será no consumible diferenciándose de los procesos SMAW, GMAW, FCAW, SAW, entre otros, sin embargo se puede desgastar por mal uso.

Este proceso es utilizado en el soldeo de todo material, incluso a niveles más exigentes como a materiales sensibles a la oxidación, esto debido a lo ya mencionado de su gran calidad y pureza metalúrgica, y de buena acabado superficial, siendo ideal en los usos de la industria de petróleo, generación de energía, entre otros (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG, 2012).

8.4.1. APLICACIONES DE TIG EN TUBERÍAS PASE RAIZ

El proceso TIG al dejar una soldadura de gran calidad, será utilizado con mucha frecuencia para los pase raíz, el cual es el cordón más crítico en una tubería o tanque, debido al contacto con el fluido que se transportará, el cual estará a diferentes condiciones de presión y temperatura, es por tal motivo que al no producir proyecciones, ni escoria, y se puede utilizar en todo tipo de posiciones, además que permite un control excelente de la penetración en el pase de raíz, será aquel que utilizaremos para nuestro proyecto con los materiales de ASTM A106 Gr B y ASTM A53 Gr B.

8.4.2. GASES DE PROTECCIÓN

Durante el proceso TIG, tanto la ZAC, material que ha sido fusionado y el electrodo de tungsteno, estarán protegidos por una atmósfera de gas inerte, este gas no genera alguna reacción en el baño. Entre aquellos gases inertes más empleados son el Argón y el Helio, describiendo algunas propiedades de estos cómo interactúan en la soldadura, como se observa en la tabla 13.

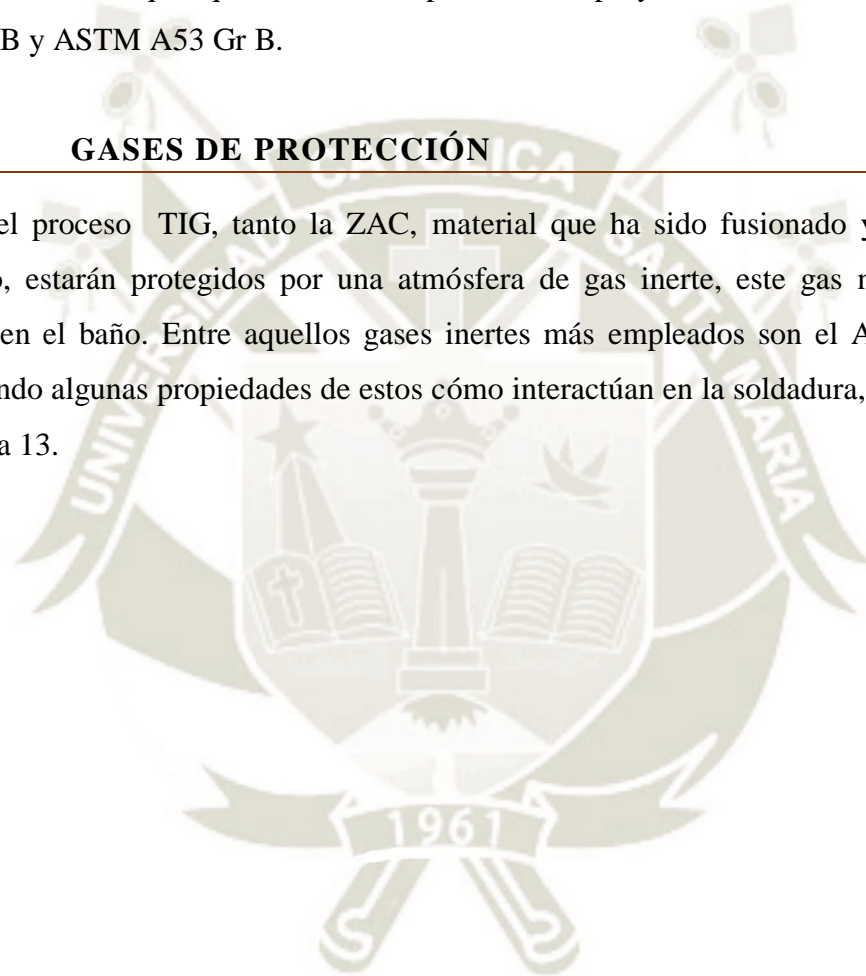


Tabla 13

Propiedades Entre el Argón y Helio.

	Gas	
	Argón	Helio
Densidad	Elevada, proporciona alta protección.	Más ligera que el Ar, por lo que requerirá un caudal muy superior, para dar buena protección.
Energía de ionización	Baja energía, facilita cebado y origina arcos estables, al necesitar baja tensión, tendrá arcos poco energéticos, idóneo para piezas de bajo espesores.	Alta energía, siendo más dificultoso el cebado y estabilidad de arco, pero al requerir mayor tensión, aporta mayor energía, requeridos para elevados aportes térmicos.
Conductividad térmica	Baja, ocasiona una gran cantidad en la zona central, produciendo una mayor penetración local.	Alta, por lo que la distribución de energía es homogénea, ocasionando cordones más anchos y penetración uniforme.

Fuente: Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG (2012)

Entre ambas opciones existe una tercera, la cual es una mezcla entre 70% Ar, y 30% de He, generalmente no es muy común utilizar Helio al 100%, tanto que resulta mucho más caro que el Ar.

Por lo observado en la tabla 19 sería recomendable utilizar He, o una mezcla Ar-He en caso tengamos que soldar algún material con alta conductividad térmica, puesto que gracias a estos gases nuestro aporte de calor sería mayor, sin embargo para nuestro caso tratándose de acero de medio carbono, en caso de optar por este proceso sería utilizando solo el gas Ar.

8.4.3. ELECTRODOS NO CONSUMIBLES

Dentro de los electrodos que se usan existirán 5 tipos principales, los cuales son el tungsteno puro, tungsteno aleado con torio, tungsteno aleado con zirconio, tungsteno aleado con cerio y el último aleado con lantano.

En la siguiente Tabla 14 se observará en que materiales su uso es el más adecuado y otras características específicas.

Tabla 14

Electrodo no Consumible.

	EWP (Tungsteno puro)	EWTh (Aleado con Torio)	EWCe (Aleado con Cerio)	EWLa (Aleado con Lantano)	EWZr (Aleado con Zirconio)
Material	Aluminio y aleaciones	Aceros de bajo carbono, aceros de baja aleación, inoxidables, Cu, Ti ,etc.	Aceros de bajo carbono, aceros de baja aleación, inoxidables, Cu, Ti ,etc.	Aceros de bajo carbono, aceros de baja aleación, inoxidables, Cu, Ti ,etc.	Aluminio y Mg
Tipo de corriente	CA	CA/CC	CA/CC	CA/CC	CA

Fuente: Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG (2012)

Para el ámbito local los electrodos serán especificados por la American Welding Society, cuya norma para electrodos no consumibles serán según la AWS- A5.12. y los materiales de aporte siendo varillas para aceros al carbono encontrados en la AWS – A5.18.

8.4.4. TIPO DE CORRIENTE

En el proceso TIG tal como lo hemos visto en la tabla 20 de electrodos, pueden ser utilizados en ambos tipos de corriente, pero según el material y las siguientes características será su elección:

Corriente Continua - CC

➤ **Polaridad directa:**

- Energía del arco concentrada en la pieza
- Rendimiento térmico aceptable y buena penetración
- Gran capacidad del electrodo para soportar altas intensidades.

➤ **Polaridad inversa:**

- Excesiva concentración de calor en el electrodo, provocando rápido deterioro en los electrodos.
- Baño relativamente ancho.
- Poca penetración
- Efecto decapante para materiales como el Al y Mg.

Corriente Alterna - AC

- Utilizado para Al y Mg, debido a que estos materiales forman una capa de óxidos refractarios, recubren el baño e imposibilitan la soldadura, por lo que la AC enfría en un periodo el electrodo y en el otro limpia el baño.
- Difícil cebado y estabilidad, por lo que se necesita de un generador de alta frecuencia.

Arco pulsado con CC

- La corriente de soldadura varía entre un nivel mínimo y máximo
- Al punto pico se va depositando puntos de cordón, mientras que en valor mínimo enfría el baño y lo solidifica parcialmente.
- Generalmente usado en casos donde se requiere limitar el aporte de calor
- Presenta gran ventaja en soldadura de cordones circunferenciales en tuberías, debido a que no es necesario cambiar de intensidades o velocidad de avance, frente a las diferentes posiciones que se dan cuando van rodeando el tubo.

- Como ventajas posee mayor control de penetración, menor aporte térmico por lo que se obtiene una ZAC más estrecha, y por último se posee un mejor control del baño de fusión en posiciones difíciles.

Considerando lo mencionado anteriormente, para nuestro caso de tubería de acero medio carbono, usaremos corriente continua de polaridad directa

8.4.5. TÉCNICA OPERATIVA AL MOMENTO DE SOLDEO

8.4.5.1. CEBADO DEL ARCO

Utilizaremos el método de Lift Arc, debido a que es un método de rápido encendido, que consiste en tocar el material base sin rasparlo, generando al instante un cortocircuito, calentando el electrodo, el cual al elevarlo, se inicia automáticamente el arco. Este método es mucho más ventajoso que el método por raspado el cual puede darnos inclusiones de tungsteno en la junta soldada.

Para extinguir el arco se posicionará el electrodo hasta una posición horizontal, con un rápido movimiento de la muñeca (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG, 2012).

8.4.5.2. CONDICIONES DE EJECUCIÓN EN EL SOLDEO

Existen recomendaciones prácticas para la determinación de ciertos parámetros, por ejemplo la intensidad a utilizar será proporcional al espesor, por el cual es 25 a 30 A/mm de acero a soldar, en nuestro caso solo utilizáramos para el pase raíz, supongamos que sea de 2 mm aproximadamente, entonces utilizaríamos un amperaje de aproximadamente 60 A, y de la Tabla 15 obtenemos un estimado de corriente respecto al diámetro del electrodo:

Tabla 15

Diámetro del Electrodo con Respecto al Tipo de Corriente.

Diámetro (mm)	C.A.	CCPD	CCPI
1	5 - 50	25 - 70	15
1.6	50 - 100	60 - 150	10 - 20
2.4	100 - 160	150 - 200	15 - 30
3.2	130 - 180	200 - 350	25 - 40
4	170 - 240	350 - 520	40 - 60

Fuente: Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG (2012)

Otra recomendación es obtener el diámetro de la boquilla o tobera, teniendo en cuenta el espesor a del material, y esta vez considerando que la tobera tendrá que estar cerca a la raíz, solo consideraremos los 2mm aproximadamente que se soldarán, obteniendo el diámetro de la tobera de la tabla 16.

Tabla 16

Diámetro de la Tobera con Respecto al Espesor del Material Base.

Espesor de la Chapa (mm)	Boquilla (mm)
1	6
1 a 2	8 o 9
2 a 4	10 o 11
4 a 6	12 o 13

Fuente: Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo TIG (2012)

El caudal de gas llega a ser aproximadamente hasta 1 litro por mm, es decir tendríamos aproximadamente 9 litros/min.

Sin embargo también nos indica una recomendación para materiales de aceros al carbono y de baja aleación según el espesor del material, como podemos observar la tabla 17.

Tabla 17

Caudal del Gas de Protección con Respecto al Espesor del Material Base.

Espesor de Piezas (mm)	Corriente Polaridad Directa (A)	Diámetro de la Varilla (mm)	Caudal Ar a 1.4 kg/cm ³	
			Litros/min	m ³ /hora
1	100			
1.2	100 - 125	1.5	4 - 5	0.24 - 0.30
1.5	125 - 140			
2	140 - 170			

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Todos estos datos mostrados en tablas son referencias, nos otorga una información inicial para poder seleccionar un material de aporte, tobera, electrodos, sin embargo, de los catálogos de los proveedores de estos productos, también nos otorgarán más datos técnicos, para poder trabajar con más precisión.

9. JUSTIFICACIÓN NORMAS Y CODIGOS

A continuación se describen y detallan los códigos y normas seleccionados que sustentan nuestro proyecto:

Estándares:

- ASTM: American Society for Testing Materials)
- AWS: American Welding Society
- ASME: American Society of Mechanical Engineering

9.1. ESPECIFICACIONES

AWS A3.0M/A3.0:2010: Standard welding terms and definitions.

Definiciones y términos estándar de las soldaduras.

AWS A2.4:2012: Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination.

Símbolos estándar para soldadura, soldadura fuerte y ensayos no destructivos.

AWS A5.1 Specification for mild steel covered arc welding electrodes.

La especificación AWS A5.1 refiere a los electrodos para soldadura de aceros al carbono.

AWS A5.18/A5.18M:2017 Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding.

“Especificación para electrodos de acero al carbono y varillas para soldadura por arco con protección de gas” (ANSI/AWS A5.18, 2017).

ASME B31.8-2018: Gas Transmission and Distribution Piping Systems

Sistemas de Tuberías de Distribución y Transporte de Gas. Los requerimientos del presente Código son adecuados para brindar seguridad bajo las condiciones usuales que se encuentran en la industria del gas. Este código cubre el diseño, fabricación, inspección y pruebas de instalaciones de ductos usados para el transporte de gas. Este Código también abarca los aspectos de seguridad de la operación y mantenimiento de dichas instalaciones (ASME B31.8, 2018, p. 11).

El presente Código no se aplica según ASME B31.8, (2018):

- El diseño y fabricación de recipientes a presión.
- Tuberías con temperatura del metal por encima de los 450°F (232°C) o menores a -20°F (-29°C).

API STD 1104- 2018: Welding of Pipelines and Related Facilities, 21st Edition,

Esta norma en su capítulo 1.1 (Generalidades/Alcance) cubre las soldaduras por arco y de gas de uniones a tope, filete y de socket de tuberías de acero al carbono y de baja aleación utilizadas en la compresión, bombeo y transporte de petróleo crudo, derivados del petróleo, gases combustibles, dióxidos de carbono y nitrógeno y en donde sea aplicable, incluye soldadura en sistemas de distribución (API STD 1104, 2018, p. 8).

Es aplicable tanto para construcciones nuevas como aquellas que se encuentran en servicio.

Incluye procesos y técnicas de soldadura o combinación de ellos, donde los procesos de soldadura son SMAW, SAW, GTAW, GMAW, FCAW, soldadura por arco plasma, soldadura

oxiacetilénica o soldadura por chisporroteo. Las soldaduras pueden realizarse por posición o con rotación o mediante una combinación de ambos sistemas

Adicionalmente esta norma en su capítulo 4.2.1 (Tuberías y Conexiones.) indica API STD 1104 (2018) que “es aplicable a soldaduras de tuberías y accesorios, que correspondan a las siguientes especificaciones:

- API Especificación 5L.
- Especificaciones ASTM” (p. 10).

ASME SECCION IX: Boiler and Pressure Vesel Code Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators

La Sección IX del Código de Calderas y Recipientes Sometidos a Presión de la ASME se relaciona con la calificación de soldadores, operarios de soldadura, soldadores para uniones fuerte y operarios de uniones fuerte, y los procedimientos que ellos emplean al soldar o al hacer uniones fuertes de acuerdo con el Código de Calderas y Recipientes Sujetos a Presión de la ASME y con el Código ASME B31 para Tubería Presión. Está dividido en dos partes: la Parte QW de requerimientos para soldadura y la Parte QB contiene requerimientos para uniones fuertes (ASME BPVC.IX, 2015, p.1).

ASTM A106/A106M – 19: Especificación estándar de tuberías de acero al carbono sin costura para servicio de alta temperatura

“Esta especificación cubre tuberías de acero al carbono sin soldadura para servicio de alta temperatura. Los tamaño nominal de tubería (NPS) son de: 1/8 a NPS 48 (Diámetro nominal: DN 6 a DN 1200)” (ASTM A106, 2019, p. 1).

ASTM A53/A53M-07: Especificación Normalizada para Tubos de Acero Negro e Inmersos en Caliente, Galvanizados, Soldados y Sin Costura

“Esta especificación trata sobre tubos de acero galvanizados por inmersión en caliente, negro, soldado y sin costura en NPS 1/8 hasta NPS 26 [DN 6 hasta DN 650]” (ASTM A53, 2007, p. 1).

Los tubos en esta especificación son trabajos a presión y mecánicos y también incluye en líneas de trabajos de vapor, agua, gas y aire.

ANSI Z49.1:2012, Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes

Seguridad de los procesos de soldadura, corte y afines

Norma técnica peruana: NTP 111.031

Estación de compresión, módulos contenedores o de almacenamiento, y estación de descarga para el gas natural comprimido.





CAPITULO III
**ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO
DE SOLDADURA**

1. MATERIAL BASE

Material base o Metal base, es el material que va a ser sometido a cualquier tipo de soldeo o corte. Al ser soldados limita la utilización de algunos procesos de soldadura, ya que el proceso puede modificar las características del material base, y aquellos efectos mecánicos y metalúrgicos que potencialmente puede llegar a generar, las propiedades físicas y mecánicas del material y su composición química.

- Composición química: Debido a su bajo punto de fusión de algunos componentes de las aleaciones de aceros, pueden llegar a desaparecer debido a las altas temperaturas que se alcanza al momento de soldar en el material base ocasionando su evaporación de estos.
- Propiedades físicas: Según Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012) afirma. “La soldabilidad es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica y térmica del material. Si la conductividad térmica es elevada no pueden ser utilizados procesos que aprovechen la resistencia eléctrica de material para generar calor (efecto Joule)” (p. 29).

Donde el coeficiente de dilatación térmica de cada material tiende a influir en el momento que se genera el soldeo, ocasionando el aumento de la dilatación y contracciones a los materiales que tengan su coeficiente más alto, teniendo en cuenta lo tensionado que estén los materiales que se están soldando, en lo cual esto nos genera tensiones residuales y deformaciones de las piezas.

- Propiedades mecánicas: Cuando los materiales no son capaces de soportar los esfuerzos a los que va a trabajar, el material comienza a presentar agrietamientos. Mientras más dúctiles sean los materiales mayor resistencia van a tener a los esfuerzos, a lo contrario que los materiales que presentan mayor dureza, un material dúctil es mucho más fácil soldar que un material de gran dureza. El calentamiento y enfriamiento muy rápidos, puede ocasionar la alteración de las propiedades o la microestructura del material ya sea produciendo el crecimiento de los granos o reducción de ellos.

“En la mayoría de los procesos de soldeo causan efectos en la unión ya que requieren, en mayor o menor cantidad, el calentamiento del material base, siendo más elevado en aquellos que requieren la fusión de los mismos. Esto puede llegar a introducir cualquiera de los siguientes efectos” (Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro, 2012, p. 31)

- Tensiones residuales: Pueden generar distorsiones en la estructura del material base y agrietamientos en el cordón de soldadura. Es ocasionado debió a la solidificación y el enfriamiento de esta, ya que cambia su microestructura.
- En la zona afectada térmicamente agrandamiento de los granos, lo que genera una modificación en su microestructura.
- Disolución y precipitación de partículas.
- Disolución de gases: Puede dar atrapamiento de este en el momento de su solidificación, generando porosidad, compuestos químicos del gas que se utiliza y fragilidad al cordón soldado, esto varía según los diferentes casos.
- Fusión parcial localizada en los límites de grano: Que provoca la fragilidad en caliente.

En este caso es el material base que se encarga del transporte del gas natural dentro de la estación de descompresión, donde serán los siguientes:

- ASTM A53 Gr B
- ASTM A106

Según la norma ASTM los aceros se definen bajo la siguiente descripción:

- ASTM A53: Tubo de acero negro y sumergido en caliente, recubierto de zinc, soldado y sin costura.
- ASTM A106: Tubo de acero al carbono sin costura para servicio a alta temperatura.

Las descripciones de ambos materiales son exclusivamente para tuberías que suelen ser las más utilizadas para el transporte de hidrocarburos gaseosos, siendo un principal detalle que los diferencia, su proceso de fabricación, mientras que el ASTM A53 se produce tanto en opciones con costura y sin costura, el ASTM A106 es exclusivamente fabricado sin costura.

1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA ASTM A53

El principal detalle es su proceso de fabricación.

Estas especificaciones cubren los siguientes tipos y grados:

- Tipo F – Soldado a tope, soldado continuo, Grado A.
- Tipo E – Soldado por resistencia eléctrica, Grado A y B.
- Tipo S – Sin costura, Grado A y B

Usando la norma de ASME B31.8 (2018) para hallar el grado del tubo, aplicando la fórmula de Barlow.

$$S_H = \frac{P \times D}{2 \times t}$$

S_H → Tensión de Esfuerzos

P → Presión

D → Diámetro del tubo

t → espesor de la pared

Utilizando los datos de trabajo en una estación de descompresión e indicando que es un SCH 160, podremos verificar el grado que cumpla con la presión de trabajo, en la tabla 18.

Tabla 18

Dimensiones, Pesos y Presiones de Prueba para Tubería de Extremo Liso.

NPS	DN	Diámetro Exterior		Espesor de la Pared Nominal		Peso Nominal por Unidad de Longitud		Categoría de Peso	N° SCH	Presión de prueba			
		plg	mm	plg	mm	lb/pies	kg/m			Grado A		Grado B	
										psi	kPa	psi	kPa
2	50	2.38	60.3	0.154	3.91	3.66	5.44	STD	40	2300	15900	2500	17200
				0.218	5.54	5.03	7.48	XS	80	2500	17200	2500	17200
				0.344	8.74	7.47	11.11	-	160	2500	17200	2500	17200
				0.436	11.07	9.04	13.44	XXS	-	2500	17200	2500	17200

Fuente: ASTM A53 (2007)

$$S_H = \frac{\left(250 \text{ bar} \times \frac{14.5038 \text{ psi}}{1 \text{ bar}}\right) \times (2.375 \text{ pulg} - (0.344 \times 2) \text{ pulg})}{2 \times 0.344 \text{ pulg}}$$

$$S_H = 8890.9558 \text{ psi}$$

$$S_H = 8890.9558 \text{ psi} \times \frac{0.00689 \text{ MPa}}{1 \text{ psi}}$$

$$S_H = 61.301 \text{ MPa}$$

Según la Norma ASME B31.8 (2018):

CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y SOLDADORES

Para los sistemas de tuberías que operan en tensiones de esfuerzos de menos del 20% del mínimo especificado de la fuerza de rendimiento.

Según la norma ASME B31.8 (2018) en el punto 823.11 nos indica “Los soldadores cuyo trabajo se limite a las tuberías que operan a niveles de tensión de esfuerzos de menos del 20% de la resistencia a la fluencia mínima especificada deberán estar calificados bajo cualquiera de las referencias dadas en el párrafo. 823.2.1 o de acuerdo con el Apéndice G” (p. 16). Obligatorio.

Para verificar que cumple con el nivel de tensión, que la resistencia a la fluencia sea mayor un 20%, debemos obtener los valores de resistencia de fluencia del material base según su tipo y grado, obteniéndolo de la tabla 19.

Tabla 19

Propiedades Mecánicas ASTM A53.

	Tipo F		Tipo E y S			
	Horno Eléctrico, Grado A		Grado A		Grado B	
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa
Resistencia a la tracción, min.	48000	330	48000	330	60000	415
Resistencia a la fluencia, min.	30000	205	30000	205	35000	240

Fuente: ASTM A53 (2007)

Resistencia de la Fluencia mínima:

$$\sigma_y = 35000 \text{ psi} = 240 \text{ MPa}$$

$$20\% \sigma_y = 7000 \text{ psi} = 48 \text{ MPa}$$

Comparando:

$$S_H > 20\% \sigma_y$$

$$8890.9558 \text{ psi} > 7000 \text{ psi}$$

$$61.301 \text{ MPa} > 48 \text{ MPa}$$

Verificamos que se cumple y con el tipo S y grado B, que es el que soporta la mayor presión, en el cual tiene mayor resistencia a la fluencia mínima de 35000 psi.

Teniendo el tipo y el grado podemos ver su composición química de la tabla 20.

Tabla 20

Composición Química ASTM53 Tipo S Grado B.

Composición Química, máx. %								
Carbón	Manganeso	Fósforo	Azufre	Cobre ^A	Níquel ^A	Cromo ^A	Molibdeno ^A	Vanadio ^A
0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08

^A La combinación de estos cinco elementos no debe de exceder el 1.00%.

Fuente: ASTM A53 (2007)

1.2. COMPOSICIÓN QUIMICA ASTM A106

En el tubo ASTM A106 es de una sola modalidad de fabricación sin costura donde ofrece mayor resistencia a la presión debido a su microestructura es más homogénea, que a con costura (soldados). Utiliza donde se requiere mayores exigencias. Obteniendo la sus resistencias a la fluencia en la tabla 21 y su composición química según el grado B que se va a utilizar en la tabla 22.

Tabla 21

Propiedades Mecánicas ASTM A106.

	Grado A		Grado B		Grado C	
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa
Resistencia a la tracción, min.	48000	330	60000	415	70000	485
Resistencia a la fluencia, min.	30000	205	35000	240	40000	275

Fuente: ASTM A106 (2019)

Tabla 22

Requerimiento de Tracción ASTM A106, Grado B.

Composición Química, %									
Carbón, n, máx. ^A	Manganeso	Fósforo, máx.	Azufre, máx.	Silicio, min	Cromo, máx. ^B	Cobre, máx. ^B	Molibdeno, máx. ^B	Níquel, máx. ^B	Vanadio, máx. ^B
0.3	0.29 - 1.06	0.035	0.035	0.1	0.4	0.4	0.15	0.4	0.08

^A Para cada reducción de 0.01% por debajo del máximo de carbono especificado, se permitirá un aumento de 0.06% de manganeso por encima del máximo específico hasta un máximo de 1.35%.

^B Estos cinco elementos combinados no deberán exceder el 1%.

Fuente: ASTM A106 (2019)

1.3. COMPARACIÓN DE ASTM A53 TIPO S GR B – ASTM A106 GR B

Las propiedades mecánicas de los materiales son las mismas realizando una comparación de ellas en la tabla 23.

Tabla 23

Comparación de Propiedades Mecánicas ASTM A53 - A106.

	ASTM A53 Tipo S Grado		ASTM A106 Grado	
	B		B	
	psi	MPa	psi	MPa
Resistencia a la tracción, min.	60000	415	60000	415
Resistencia a la fluencia, min.	35000	240	35000	240

Fuente: ASTM A53 (2007), ASTM A106 (2019)

En el mercado internacional y nacional los proveedores lo ofrecen como trinorma, donde se abarca los siguientes aspectos:

Los tubos con las normas ASTM A53, ASTM A106 y API 5L, son para aplicaciones mecánicas y de presión (conducción de vapor, agua, gas y aire). Son aptas para soldadura y roscada.

- ASTM A53, Grados A y B: Se fabrican con diferentes tipos de porcentajes de carbono a efectos de obtener de ellos diferentes características mecánicas (grado A y B)
- ASTM A106, Grado A, B y C: Material similar al ASTM A53, pero con mayor contenido de carbono (mejores valores de resistencia mecánica). Su composición química permite un trabajo con fluidos a temperaturas elevadas (250 – 350 °C).
- API 5L: Son tubos de aceros sin costuras para el transporte de gas natural y de petróleo.

Los tubos trinorma combinan las características de las normas ASTM A53 / ASTM A106 / API 5L, que toman como referencia los valores máximos y/o mínimos de las propiedades mecánicas y composición química.

2. ELECCIÓN DEL MATERIAL APORTE

2.1. SMAW – ELECTRODO REVESTIDO

Especificación de AWS para los electrodos revestidos lo podemos observar en la tabla 24.

Tabla 24

Especificación de la AWS Según el Tipo de Electrodo.

Especificación	Tipo de Electrodo
A 5.1	Acero al carbono
A 5.3	Aluminio y sus aleaciones
A 5.4	Acero resistentes a la corrosión
A 5.5	Acero de baja aleación
A 5.6	Cobre y sus aleaciones
A 5.11	Níquel y sus aleaciones
A 5.15	Hierro colado
A 5.13	Careado, núcleo sólido
A 5.21	Careado, núcleo compuesto

Fuente: Hernández Riesco, Rosell González, & Isidro (2012)

Teniendo la resistencia de tracción de los metales base ASTM A53 Tipo S Gr B y ASTM A106 Gr B, como vemos la tabla 25.

Tabla 25

Requerimientos de Tracción de ASTM A53 – ASTM A106.

	ASTM A53 Tipo S Gr B		ASTM A106 Gr B	
	psi	MPa	psi	MPa
Resistencia a la Tracción, min.	60000	415	60000	415
Resistencia a la Fluencia, min.	35000	240	35000	240

Fuente: ASTM A53 (2007), ASTM A106 (2019)

Podemos obtener los dos primeros números de la designación del electrodo, que nos indica la resistencia de tracción del metal de la Tabla 25.

$$60000 \text{ psi} = 60000 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$$

El tercer numero podemos obtenerlo según la posición de soldeo que vamos a realizar en nuestro caso es la soldadura de tuberías, por lo que completa todas las posiciones. Donde la designación del tercer digito lo observamos en la tabla 26 que nos indica las posiciones de soldadura.

Tabla 26

Tercer Digito de Designación del Electrodo con Respecto a la Posición de Soldadura.

Digito	Significado
1	F, V, OH, H
2	F, filetes H

Nota: Donde F es plano, V es vertical, H es horizontal y OH es sobre cabeza.

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

El último digito establece el tipo de corriente que se tiene que usar y el tipo de revestimiento del electrodo, aunque siempre hay que considerarlo en combinación con el tercero como se observa en la tabla 27.

- **Electrodos Celulósicos:** Son mayor mente para tuberías donde la secuencia de soldeo es vertical descendente, debido a que presentan mejor penetración en la soldadura y obtenemos una mayor velocidad al realizar la soldadura, su fusión es más rápida por eso se utiliza en soldaduras vertical descendente, en el cual también se puede utilizar en toda las posiciones.

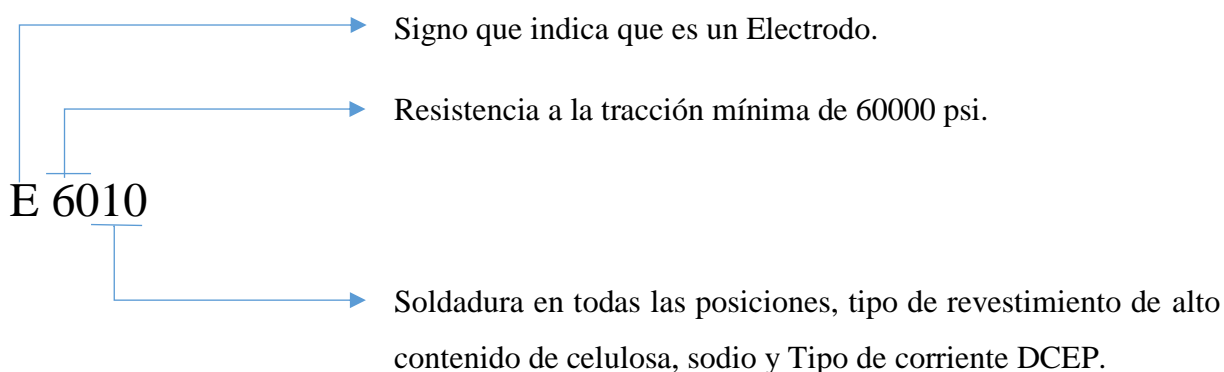
Tabla 27

Clasificación de Electrodo.

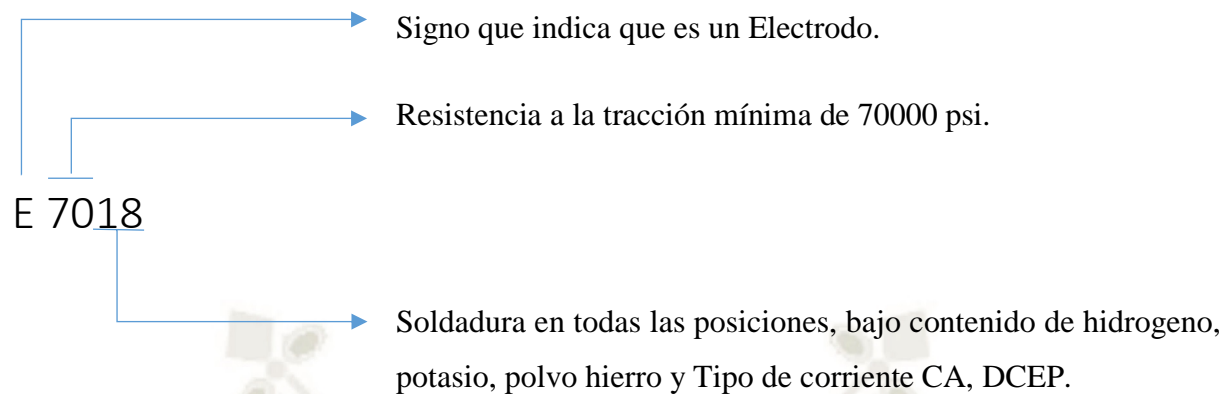
Número	Revestimiento	Tipo de Corriente
EXX 10	Alto contenido de celulosa, sodio	CDEP
EXX 11	Alto contenido de celulosa, potasio	CA, CDEP
EXX 12	Alto contenido de rutilo, sodio	CA, CDEN
EXX 13	Alto contenido de rutilo, potasio	CA, CDEP o CDEN
EXX 15	Bajo contenido de hidrógeno, sodio	CA, CDEP
EXX 16	Bajo contenido de hidrógeno, potasio	CA, CDEP
EXX 18	Bajo contenido de hidrógeno, potasio, polvo hierro	CA, CDEP
EXX 20	Alto contenido de óxido de hierro	CA, CDEN
EXX 22	Alto contenido de óxido de hierro	CA, CDEP o CDEN
EXX 24	Polvo de hierro, rutilo	CA, CDEP o CDEN
EXX 27	Alto contenido de óxido de hierro, polvo de hierro	CA, CDEN
EXX 28	Bajo contenido de hidrogeno, potasio, polvo de hierro	CA, CDEP

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

Obteniendo:



Obteniendo:



Revisando y comparando el producto del fabricante CELLOCORD P-T, SUPERCITO con la norma ANSI/AWS A5.1.

ANSI/AWS A5.1

- Se refiere a la especificación para electrodos recubiertos de acero al carbono.

CELLOCORD P-T, Soldexa (2019)

- Muy buena penetración para soldadura en toda posición y buena estabilidad del arco.
- Apto para soldadura de tubos y aceros de baja, media y alta presión. Tuberías en general, ASTM A53 Gr B, ASTM A106 Gr B, API 5L Gr B. (Soldadura Multipases)
- Está clasificado según la AWS A5.1 como E6010.
- Es ideal para el pase a raíz.

SUPERCITO, Soldexa (2019)

- Electrodo de bajo hidrógeno con buenas características mecánicas.
- Bajo nivel de salpicaduras y fácil remoción de la escoria y un buen control del arco.
- Contiene buenos niveles de resistencia a la tracción.
- Para aceros laminados en frio.
- Es adecuado para soldaduras de tuberías de vapor, calderas de alta presión, instalaciones de la industria petrolera, petroquímica y minera.

La norma AWS A5.1 (2012) clasifica los electrodos de revestimiento como se observa en la tabla 28, en este caso solo observamos con los que vamos a trabajar.

Tabla 28

Clasificación de Electrodo Revestidos E6010 y E7018.

Clasificación AWS	Tipo de Revestimiento	Posición de Soldadura	Tipo de Corriente
E 6010	Alto contenido de celulosa, sodio	F, V, OH, H	DCEP
E 7018	Alto hidrogeno potasio, hierro en polvo	F, V, OH, H	CA ó DCEP

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

Al seleccionar el material de aporte del fabricante por sus especificaciones que nos dan, debemos de ver si cumplen con la norma AWS, visto en su composición química como nos muestra la tabla 29 de la norma AWS A5.1 (2012), como en la tabla 30 del proveedor.

Tabla 29

Límites de la Composición Química E6010 y E7018.

Clasificación AWS	Composición Química, % máx.^{ac}					
	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
E 6010	No especifica los límites químicos					
E 7018 ^d	1.60**	0.75	0.30**	0.20**	0.30**	0.08**

^a Los límites de composición están destinados a asegurar un depósito de acero al carbono simple.

^c El total de todos los elementos con el doble asterisco (**) no debe exceder el 1.75%.

^d Previo acuerdo entre el proveedor y el comprador, los electrodos clasificados como E7016 o E7018 pueden suministrarse con un requisito mínimo de impacto en V Charpy de 20 pies x lb a - 50 ° C (27J a -46°C). Dichos electrodos se identificarán como E7016-1 o E7018-1, según corresponda.

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

Tabla 30

Composición Química de Cellocord P-T y Supercito.

	Composición Química, % máx.							
	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	C	P	S
Cellocord P-T	0.05	0.42	0.20	Máx.	Máx.	-	-	-
	0.09	0.70	0.30	0.05	0.05	-	-	-
Supercito	1	0.6	-	-	-	0.05	Máx. 0.020	Máx. 0.020

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

De igual manera revisamos la tabla 31 de la AWS, con las del fabricante de la tabla 32 para electrodo CELLOCORP P-T y de la tabla 33 para el electrodo SUPERCITO.

Tabla 31

Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del E6010 y E7018 en Condición de Soldeo.

Clasificación AWS	Resistencia a la Tracción,		Resistencia a la Fluencia,		Porcentaje de Elongación, min
	min. ^B		min. ^B		
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E 6010 ^C	60	430	50	340	22
E 7018 ^C	72	500	60	420	22

^B Para obtener información sobre las consideraciones para aliviar el estrés, consulte las secciones A2.4 a A2.6 del apéndice.

^C Por cada aumento de un punto porcentual de alargamiento sobre el mínimo, la resistencia a la tracción o resistencia a la fluencia y 48 Ksi (330 MPa) para el límite elástico para todas las clasificaciones de los electrodos E60 excepto E6012, E6013 y E6022.

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

Tabla 32

Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del Cellocorp P-T.

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción, min. B		Resistencia a la Fluencia, min. B		Elongación en 2" (%)	Energía Absorbida ISO-V (-30°C) (J)
	ksi	MPa	ksi	MPa		
	Sin Tratamiento	62.350	430	mín. 50.75		

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Tabla 33

Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del Supercito.

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción, min. B		Resistencia a la Fluencia, min. B		Elongación en 2" (%)	Energía Absorbida ISO-V (-30°C) (J)
	ksi	MPa	ksi	MPa		
	Sin Tratamiento	75.400	520	mín. 58		

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

De igual manera se realiza la comparación para las intensidades que se tienden a utilizar según el diámetro del electrodo observando de la tabla 34 la norma AWS y de las tablas 35 CELLOCORP P-T y tabla 36 SUPERCITO del fabricante.

Tabla 34

Rango de Amperajes de E6010 Y E7018.

		Diámetro de Electrodo								
Plg.		1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	5/16
mm		1.6	2	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.4	8
E 6010	Amp.	-	-	40	75	110	140	170	210	275
		-	-	a	a	a	a	a	a	a
		-	-	80	125	170	215	250	320	475
E 7018	Amp.	-	-	70	115	150	200	260	315	375
		-	-	a	a	a	a	a	a	a
		-	-	100	165	220	275	340	400	470

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

Tabla 35

Rango de Amperajes de Cellocorp P-T.

Para Corriente Continua (DC): DCEP / DCEN						
Diámetro	mm	2.5	3.25	4	5	6.3
	pulgadas	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		50	75	110	140	190
Amperaje máximo		70	120	150	200	250

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Tabla 36

Rango de Amperajes de Supercito.

Para Corriente Continua (DC) DCEP y Corriente Alterna (AC)							
Diámetro	mm	1.6	2.5	3.25	4	5	6.3
	pulgadas	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	60	90	120	170	210
Amperaje máximo		-	90	140	190	240	280

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Debido a que el electrodo E7018 es básico debe ser sometido a un calentamiento por un tiempo recomendado y el almacenamiento adecuado antes de ser utilizado como se observa en la tabla 37.

Tabla 37

Condiciones de Almacenamiento y Secado de E6010 Y E7018.

Clasificación	Condiciones de Almacenamiento*			
	AWS	Aire Ambiente	Hornos de Mantenimiento	Secado ^A
E 6010		Temperatura ambiente	No se recomienda	No se recomienda
		80 ± 20 °F (30 ± 10 °C)	50 °F (30°C) a 250 °F (140°C) por encima de la temperatura ambiente.	475 ± 25°F (245 ± 15 °C) 2 horas a temperatura.
E7018		50% máx. de humedad relativa.		

^A Debido a las inherentes diferencias del fabricante, los proveedores de estos electrodos deben ser consultados para conocer las condiciones exactas de secado.

* Después de sacarlo del embalaje del fabricante.

Fuente: ANSI/AWS A5.1 (2012)

Los diámetros del electrodo son seleccionados según el espesor del material base vistos en la tabla 38, aunque según el proceso de soldadura se va variando el diámetro, el diámetro es referencia a la varilla sola.

Tabla 38

Diámetro del Electrodo Revestido Respecto al Espesor del Material Base.

Esesor del Material a Soldarse (plg.)	1/16 a 3/32	1/8 a 5/32	5/32 a 1/4	3/16 a 3/8	1/4 a 1/2	3/8 a 3/4
Diámetro del Electrodo (plg.)	3/32	1/8	5/32	5/32 a 3/16	3/16 a 1/4	1/4

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

2.2. GTAW - TIG

Revisando y comparando el producto del fabricante TIGFIL St6 con la norma ANSI/AWS A5.18.

(ANSI/AWS A5.18, 2017).

- Especificación para electrodos de acero al carbono y varillas para soldadura por arco con gas de protección.

TIGFIL St6 (Soldexa, 2019).

- Con depósito es en acero al carbono con mediano contenido de manganeso y silicio.
- Buena soldabilidad, su depósito es libre de poros y fisuras, en el cual es ideal para soldar pases de raíz en toda posición.

De igual manera realizamos la comparación según la norma como el producto del fabricante, donde observamos en la tabla 39 la composición química según la norma AWS y en la tabla 40 la composición química del fabricante.

Tabla 39

Composición Química ER70S-6.

		Composición Química Requerida para Electrodo Sólidos y Varas												
Clasificación AWS ^b	UNS Número ^c	Porcentaje en Peso ^a												
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu ^d	Ti	Zr	Al
		0.06	1.4	0.8										
ER70S-6	K11140	a	a	a	0.025	0.035	e	e	e	e	0.5	-	-	-
		0.15	1.85	1.15										

^a Los valores individuales son máximos.

^b La letra N como sufijo de una clasificación indica que el metal de soldadura está destinado a la región central de la correa de los recipientes del reactor nuclear, como se describe en el Anexo de la especificación. Este sufijo cambia los límites de fósforo, vanadio y cobre de la siguiente manera:

P = 0.012% máximo.

V = 0.05% máximo.

Cu = 0.08% máximo

^c SAE/ASTM Unified Numbering System (Sistema Numérico Unificado) para metales y aleaciones.

^d El cobre debido a cualquier recubrimiento en el electrodo o varilla con contenido de cobre en el metal de relleno en sí, no deberá exceder el 0.50% máximo establecido.

^e Estos elementos residuales no deberán de exceder el 0.50% en total.

Fuente: ANSI/AWS A5.18 (2017)

Tabla 40

Composición Química TIGFIL St6.

Análisis Químico del Alambre Sólido %									
C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0.06	1.40	0.8	máx.	máx.	-	-	-	-	-
0.12	1.60	1.15	0.025	0.025	-	-	-	-	-

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

Así como también se revisa la tabla 41 de la norma AWS, con la del fabricante que es la tabla 42.

Tabla 41

Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del ER70S-6.

Requisito de Prueba de Tensión (como Soldado)						
Clasificación AWS	Gas Protector	Resistencia a la Tracción, min.		Resistencia a la Fluencia, ^b min.		Porcentaje de Elongación ^b
		psi	MPa	psi	MPa	
ER70S-6	CO ₂ ^c	70000	480	58000	400	22

^b Resistencia a la fluencia con una compensación del 0.2% y elongación en una longitud de calibre de 2" (51 mm).

^c CO₂ = gas protector de dióxido de carbono. El uso de CO₂ para fines de clasificación no debe interpretarse como un impedimento para el uso de mezclas de gases de protección Ar/CO₂ o Ar/O₂. Un metal de relleno probado con mezclas de gases, como Ar/O₂ o Ar/CO₂, puede dar como resultado que el metal de soldadura tenga mayor resistencia y menor elongación.

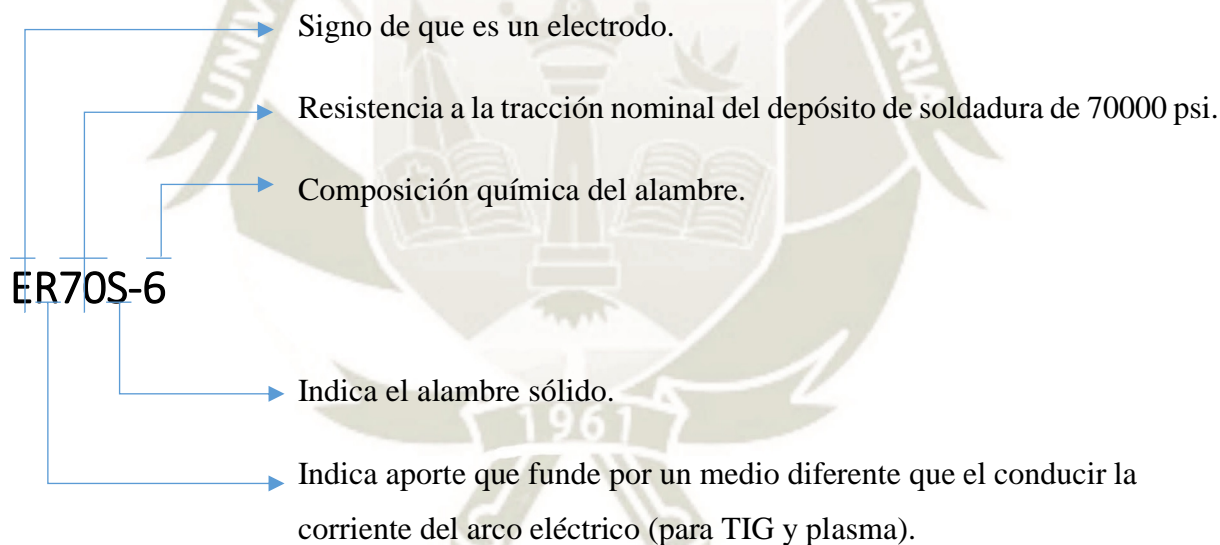
Fuente: ANSI/AWS A5.18 (2017)

Tabla 42

Resistencia a la Tracción, Resistencia a la Fluencia y Requisitos de Elongación del TIGFIL St6.

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción, min. B		Resistencia a la Fluencia, min. B		Elongación en 2" (%)	Energía Absorbida ISO-V (-30°C) (J)
	ksi	MPa	ksi	MPa		
	Sin Tratamiento	78.300	500	60.9		

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)



El fabricante del material de aporte nos brinda los parámetros de soldeo para los diferentes diámetros de varilla como se observa en la tabla 43.

Tabla 43

Parámetros de Soldeo de TIGFIL ST6.

Diámetro (mm.) (plg.)	2.5 (3/32")	3.25 (1/8")
Polaridad		DCEN
Gas protector		100 % Ar
Amperaje (A)	20 - 150	30 - 250
Voltaje (V)	9 - 15	10 - 20
Stick out (mm)	-	-
Flujo de Gas (l/min)	5 - 15	5 - 15

Fuente: Soldexa, Manual de soldadura (2019)

3. TIPOS DE JUNTAS A EMPLEAR

3.1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCES DEL ASME B31.8

El presente código, abarca la soldadura en tramos de tubería, la norma ASME B31.8 (2018) afirma que las “uniones soldadas a tope, soldaduras en ángulo en tuberías, válvulas, bridas, accesorios, ramales de tubería, etc., que se aplican a gasoductos y conexiones a los aparatos o equipos” (p. 22).

Este código en su Apéndice I, describe los detalles que se deberán de considerar en la preparación de los extremos de las uniones a tope. En este apéndice se considera:

- Unión de tuberías de diámetros internos desiguales
- Unión de tuberías para diámetros externos desiguales
- Unión de tuberías para diámetros internos y externos desiguales.

La soldadura se puede realizar mediante cualquier proceso o combinaciones de distintos procesos, donde cumpla el código ASME B31.8.

Antes de soldar tuberías, componentes de tuberías, se deberá de haber establecido un procedimiento de soldadura, y se debe de haber calificado. Cada soldador u operador de soldadura, debe ser calificado en la aplicación del procedimiento establecido antes de efectuar soldadura en alguna tubería,

componentes de tubería o equipo relacionado, instalado en conformidad con este Código (ASME B31.8, 2018, p. 22).

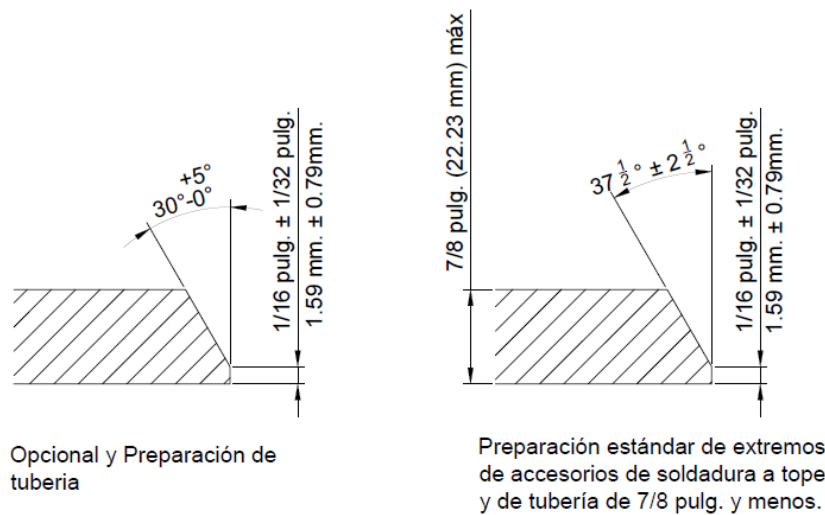
En este caso las soldaduras son para tuberías que operan a igual o más del 20% de la tensión de fluencia mínima, según lo dicte el código API 1104.

3.2. PREPARACIÓN DEL BISELADO

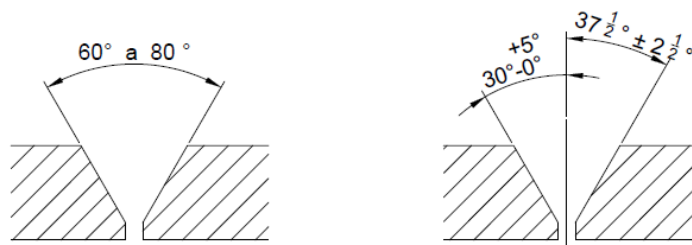
En soldadura a tope la preparación del biselado de los tubos, nos indica el código ASME A31.8, Apéndice I, Fig. 1-4, en nuestro caso es la figura 18.

Figura 18

Preparación de Biseles Según Espesores del Material Base.



Preparaciones Estándares Finales



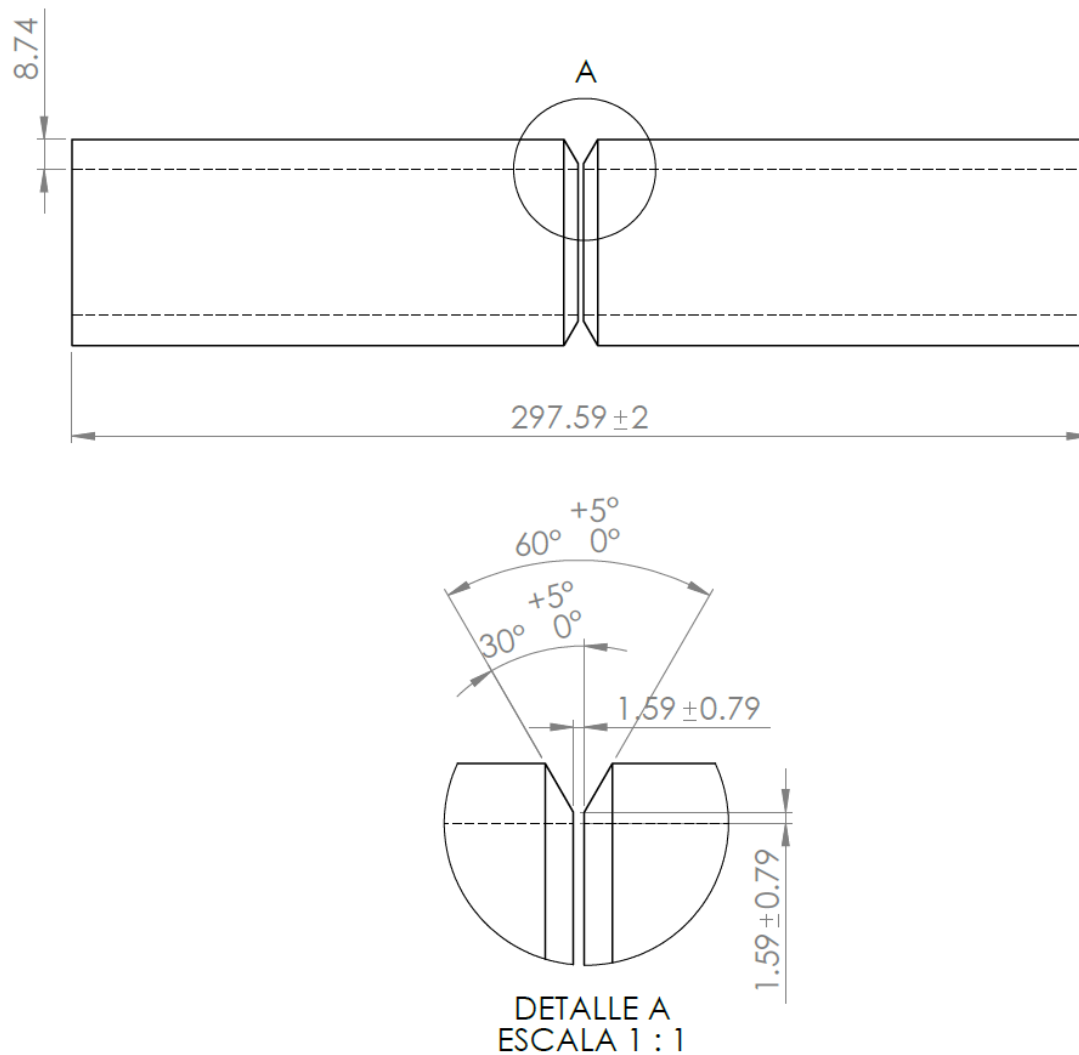
Fuente: ASME B31.8 (2018)

3.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE JUNTA A EMPLEAR

Detalle del diseño de la junta a tope de la tubería de 2" de diámetro SCH 160 lo observamos en la figura 19, para el proyecto de la estación de descompresión de gas natural.

Figura 19

Diseño de Unión a Tope en Tuberías de 2" Ø



Fuente: Elaboración propia

4. PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento se realiza con la finalidad de limitar la velocidad de enfriamiento para evitar así obtener una microestructura frágil y dura luego de la soldadura, además este precalentamiento ayuda a difundir el hidrógeno fuera del área de soldadura.

Hay 4 factores que tomar en cuenta si se debe realizar un precalentamiento o no, ya que como todo proceso en adición a la soldadura, tiene un costo, los factores principales son los siguientes:

- Carbono Equivalente
- Geometría de la unión
- Contenido de hidrógeno inducido
- Aporte térmico de soldadura

Si bien se tienen en consideración todas, el carbono equivalente es uno de los más importantes debido a que mayor contenido de carbono mayor será su CE (calor equivalente) por lo que será un material más templable y además más duro su martensita a obtener.

Para nuestro caso, al tratarse de un acero con 0.30% de C, calculando por ejemplo su CE:

$$\% CE (ASTM A53 Gr B) = 0.30 + \frac{1.06}{6}$$

$$\% CE (ASTM A53 Gr B) = 0.47 \%$$

$$\% CE (ASTM A106 Gr B) = 0.30 + \frac{1.20}{6}$$

$$\% CE (ASTM A106 Gr B) = 0.5 \%$$

El código de fabricación **ASME B31.8** nos dice que se realizará precalentamiento, en caso el material tenga composición mayor a 0.32%C o mayor a 0.65% CE, en este caso como podemos ver no sería necesario proceder con un precalentamiento, ya que en sí los contenidos de carbono son considerablemente bajos, siendo muy bajos en templabilidad.

Sin embargo el código nos indica que a pesar de eso podríamos nosotros precalentar considerando los demás factores, sin embargo para nuestro proyecto al tratarse de una unión a

tope de un espesor aproximadamente a 9 mm y que no estará con un grado de embridamiento elevado, optamos por no realizar el precalentamiento

5. REGISTROS DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

El procedimiento de soldadura es un documento donde se registra diferentes variables que involucran al proceso completo, desde el material base hasta parámetros empleados en el proceso de soldeo, y se realiza con la finalidad de que la unión soldada obtenga las propiedades mecánicas y calidad adecuada, como se observa en los anexos 2 y 3.

Para realizar el procedimiento de soldadura se hace referencia al apartado 5 de la norma API 1104, el cual a su vez nos indica que este procedimiento es necesario y obligatorio antes de realizarse una soldadura de producción, además este procedimiento tendrá que ser calificado previamente mediante diferentes ensayos no destructivos, esto se verá en el apartado 1 del Capítulo IV de este trabajo.

Las variables que deberá tener el procedimiento de soldadura se mostrarán en la Tabla 44, además también se especificará las variables esenciales, las cuales al ser modificadas, se tendrá que realizar una recalificación y validarse como otro procedimiento con la variable modificada.

Tabla 44

Variables que se Deben de Tener en Cuenta para el Procedimiento.

Variables WPS	Variables Esenciales
Material base	X
Diámetro de tubo	
Espesor de pared	X
Diseño de uniones	X
Metal de aporte	X
Número de pasadas	
Características eléctricas	X
Características de la llama	
Posición de soldadura	X
Dirección de soldadura	X
Tiempo entre pasadas	X
Tipo y retiro de acoplador	
Limpieza y/o cepillado	
Pre y post calentamiento	X
Gases de protección y caudal	
Fundente de protección	X
Velocidad de avance	

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO IV

**CALIFICACIÓN Y ENSAYOS PARA EL
PROCEDIMIENTO DE SOLADURA**

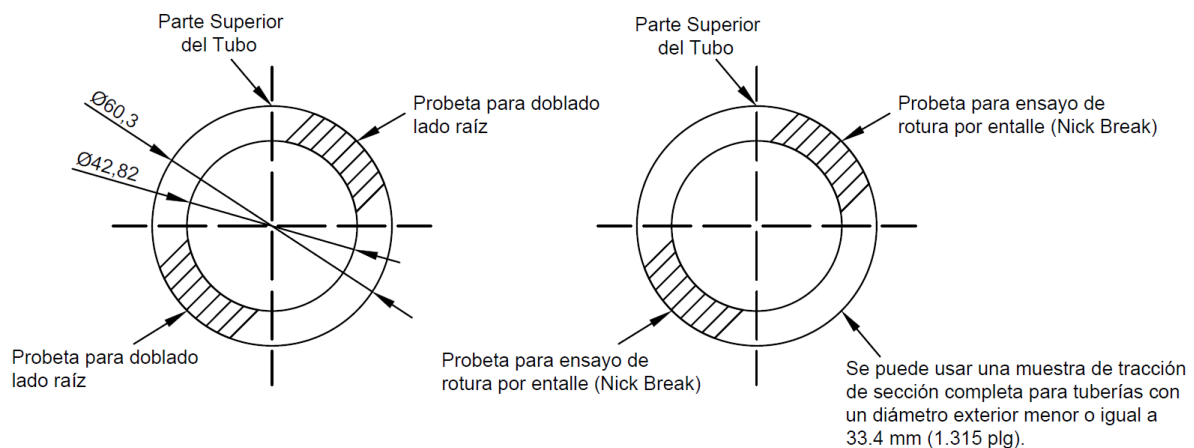
1. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Para la calificación del procedimiento de soldadura, la Norma API STD 1104 nos indica que se deberá definir en un primer lugar el registro de especificación de procedimiento de soldadura (WPS), lo cual lo podemos encontrar en el apartado 5 del Capítulo III de trabajo, por lo que ahora sigue la calificación del procedimiento de soldadura (PQR), para poder verificar si el WPS que se planteó es el adecuado, para obtener una unión soldada de calidad, esto se logra mediante ensayos destructivos y no destructivos según nos indique la norma API STD 1104.

La Norma ASME B31.8, nos indica el tipo de unión que se trabajará, el cual es unión a tope, y la figura 3 de la norma API STD 1104 nos indica el lugar de la extracción de las probetas a ensayar, donde se indica según el diámetro externo del tubo, para nuestro caso, la tubería es de 60.3 mm el diámetro externo, como podemos observar la figura 20 de nuestro trabajo, los cuadrantes donde se extraerán las probetas para el tamaño a escala de la tubería de 2" a trabajar.

Figura 20

Selección de Probetas en los Cupones para Calificación de Procedimiento.



Fuente: API STD 1104 (2018)

Teniendo ya identificado y establecido la zona de extracción de probetas, se necesita ahora definir cuantas probetas y de qué tipo de ensayos serán necesarios para la calificación del procedimiento de soldadura de nuestra tubería de 60.3 mm de diámetro externo, para esto nos vamos a la Tabla 2 de la Norma API STD 1104 (2018) que en nuestro caso es la Tabla 45, donde nos referencia la cantidad y tipo de probetas a ensayar.

Tabla 45

Tipo y Cantidad de Probetas para Ensayo de Calificación del Procedimiento.

Diámetro Exterior del Tubo		Número de Probetas					Total
plg	mm	Ensayo Tracción	Nick Break	Doblado Raíz	Doblado Cara	Doblado de Lado	
Espesor de pared < 0.500 pulgadas (12.7 mm)							
< 2.375	< 60.3	0 ^b	2	2	0	0	4 ^a
2.375 a 4.500	60.3 a 114.3	0 ^b	2	2	0	0	4
> 4.500 a 12.750	>114.3 a 323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.750	> 323.9	4	4	4	4	0	16
Espesor de pared > 0.500 pulgadas (12.7 mm)							
≤ 4.500	≤ 114.3	0 ^b	2	0	0	2	4
> 4.500 a 12.750	>114.3 a 323.9	2	2	0	0	4	8
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	8	16

^a Una probeta Nick Break y una de doblado de doblado de raíz son tomados cada una de las dos soldaduras de prueba, o para tuberías de menos o igual a 1.315 pulgadas (33.4 mm) en diámetro, se toma una muestra de resistencia a la tracción de sección completa.

^b Para materiales con SMYS mayor que el material especificado como API %L Grado X42, se requiere un mínimo de una prueba de tracción.

Fuente: API STD 1104 (2018)

De la Tabla 45 mostrada, obtenemos que se necesita lo siguiente:

- 2 probetas para ensayo Nick Break
- 2 probetas para ensayo doblado de raíz

Las probetas para cada tipo de ensayo, tendrán diferente preparación y esto así lo muestra las siguientes imágenes extraídas de la norma API STD 1104 donde detallan las dimensiones y diferentes acabados para cada respectivo ensayo.

Ya obtenido el número y tipo de ensayos, se tiene que definir el tipo de preparación y dimensiones del ensayo en sí, así como tener en claro sus criterios de aceptación.

A continuación se describirá los ensayos de Nick break y doblado raíz respectivamente.

2. CALIFICACION DE SOLDADORES

La norma API STD 1104 nos señala, que el soldador tendrá que pasar por una calificación simple, lo cual dice que el soldador deberá pasar por un ensayo de soldadura utilizando el registro de especificación de procedimiento de soldadura (WPS) a ejecutar. Con respecto a las probetas, serán extraídas en la zona especificada según la Figura 20. El tipo de ensayos y cantidad que se deben de realizar la obtenemos de la tabla 46.

Los resultados se llenan en un registro de calificación de soldador (RCS), donde se puede observar en el Anexo 5.

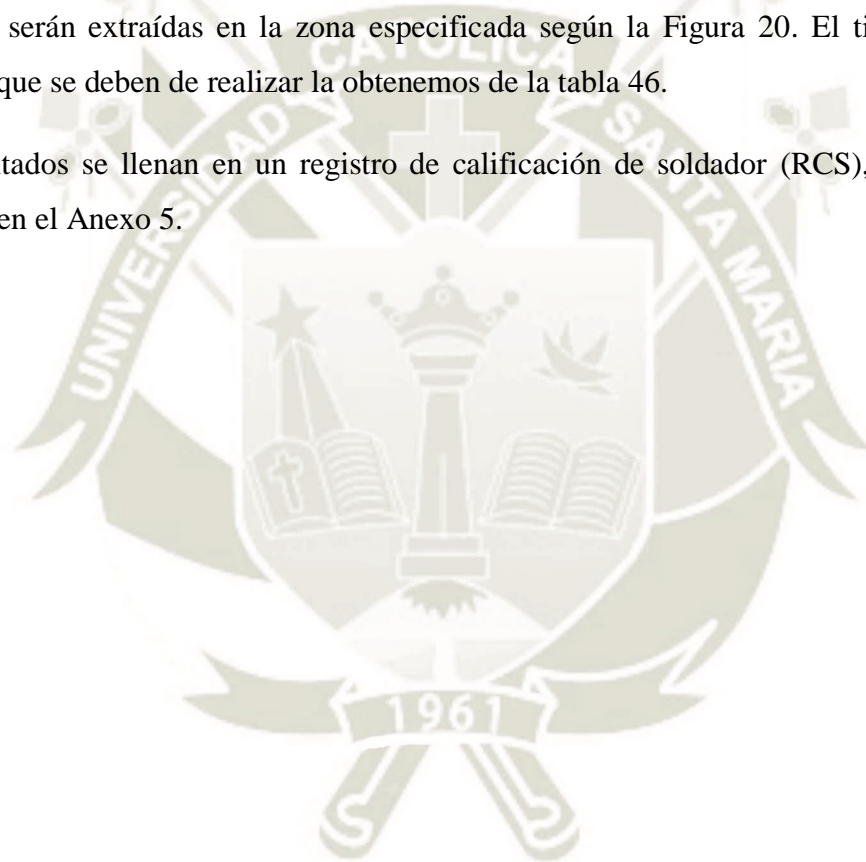


Tabla 46

Tipo y Cantidad de Probetas para Ensayo de Calificación del Soldador.

Diámetro Exterior del Tubo		Número de Probetas					Total
plg	mm	Ensayo Tracción	Nick Break	Doblado Raíz	Doblado Cara	Doblado de Lado	
Espesor de pared < 0.500 pulgadas (12.7 mm)							
< 2.375	< 60.3	0	2	2	0	0	4 ^a
2.375 a 4.500	60.3 a 114.3	0	2	2	0	0	4
> 4.500 a 12.750	> 114.3 a 323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.750	> 323.9	4	4	2	2	0	12
Espesor de pared > 0.500 pulgadas (12.7 mm)							
≤ 4.500	≤ 114.3	0	2	0	0	2	4
> 4.500 a 12.750	> 114.3 a 323.9	2	2	0	0	2	6
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	4	12

^a Para tuberías de diámetro exterior igual o inferior a 1.315 plg, (33.4mm), probetas Nick Break y doblado de raíz de dos soldaduras o se toma una muestra de resistencia a la tracción de una sección completa.

Fuente: API STD 1104 (2018)

De la tabla podemos obtener lo siguiente:

- 2 probetas Nick Break.
- 2 probetas doblado de raíz.

3. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

3.1. ENSAYO NICK BREAK

Como se observa en la Figura 21 la longitud de la probeta deberá ser aproximadamente de 230 mm por un ancho de 25 mm, además de ello existen unos pequeños entalles que se tendrán que

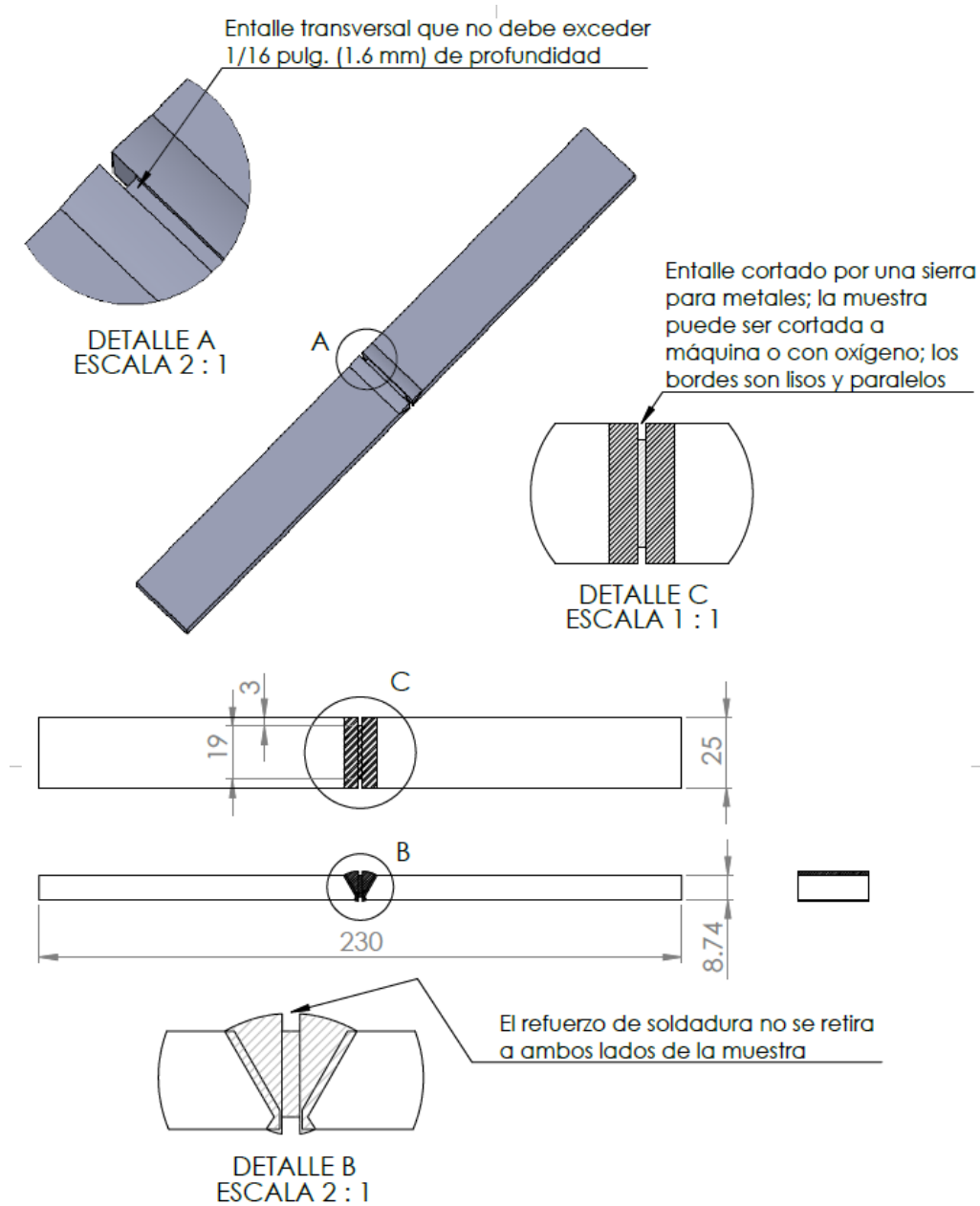
realizar con una profundidad de 3 mm aproximadamente. La norma también nos indica que la probeta puede ser extraída mediante corte máquina u oxígeno. Además en caso se utilizara soldadura automática o semiautomática, se le tendría que realizar un entallado de 1.6 mm al reforzamiento de la cara, nosotros al utilizar el proceso TIG en el pase raíz, se tendrá que realizar.

Los criterios de aceptación:

- Las superficies deben mostrar penetración y fusión completa.
- Dimensión máxima cavidad de gas 1.6 mm u área de suma total no mayor a 2% de la superficie
- Inclusiones de escoria no mayor a $1/32''$ (0.8mm) en profundidad y tampoco mayores a $1/8''$ (3mm) en longitud.
- Existencia mínima de $1/2''$ (13mm) metal de soldadura constante entre inclusiones de escoria adyacentes.
- Los ojos de pescado no son causa de rechazo.

Figura 21

Probeta Ensayo Nick Break.



Fuente: API STD 1104 (2018)

3.2. ENSAYO DOBLADO RAÍZ

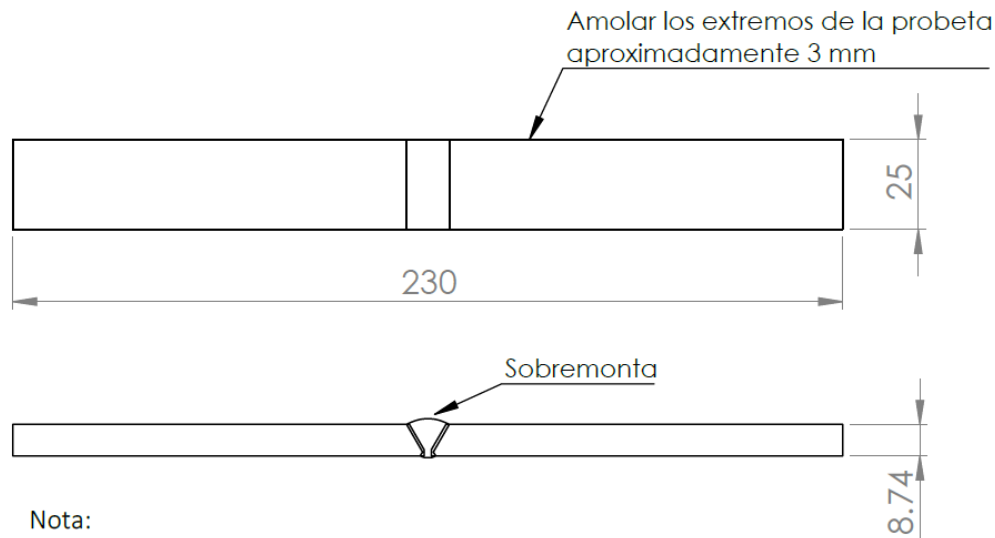
Similar a la probeta de Nick break con respecto a dimensiones, poseerá 230 mm aproximadamente de longitud y 25 mm de ancho. Sin embargo la preparación de la probeta será diferente ya que nos indica que todo reforzamiento deberá ser eliminado tanto el de cara como de raíz y se deberá de amolar los extremos de la probeta aproximadamente 3 mm para que el momento del doblado no genere mordeduras por las superficies afiladas que genera el corte de la generación del cupón. Como se muestra la Figura 22.

Los criterios de aceptación según la norma API STD 1104, (2018) son:

- No debe existir defecto, grieta u otro que exceda a 1/8" (3 mm) o mitad de espesor de pared nominal, en cualquier dirección, ya sea en la soldadura o entre la zona de fusión y soldadura luego del doblado.
- Las grietas originadas en el radio extremo de curvatura en los bordes, deberán ser inferiores a 1/4" (6 mm) en cualquier sentido. (p. 21)

Figura 22

Probeta Ensayo Doblado Raíz.



Nota:

La sobremonta y sobreespesor de raíz deben ser removidos al ras con la superficie del espécimen.

El espécimen no debe ser aplanado antes del ensayo.

La medida del ancho de la probeta se toma del interior del tubo.

En los extremos de la probeta se debe de hacer un amolado de 3 mm aproximado, para evitar las mordeduras que se generan al momento de doblar con las esquinas.

Fuente: API STD 1104 (2018)

3.3. ENSAYOS EXTRAS

La norma API STD 1104 nos pide solo 2 tipos de ensayos vistos anteriormente (ensayo de doblado de raíz y Nick break) para que pueda ser aprobado el proceso de soldadura, eso no nos limita a hacer otros tipos de ensayo para asegurar su eficiencia.

3.3.1. ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Las probetas tienen las mismas dimensiones que el ensayo de doblado de raíz como en la Figura 22, con excepción que no se debe amolar la sobremonta de la soldadura ya sea la de cara y de raíz.

Las probetas deben romperse bajo carga de tracción utilizando un equipo que dé los resultados de la carga que se ejerce al producirse la falla de ruptura. La resistencia a la tracción la

obtenemos al dividir su carga máxima en el momento de la falla por el área de la sección transversal más pequeña de la probeta, esta área deberá ser medida antes de producirse el ensayo.

Los criterios de aceptación que nos indica API STD 1104, (2018) son:

- La resistencia a la tracción de la soldadura, incluida la zona de fusión de cada muestra, deberá ser mayor o igual a la resistencia a la tracción mínima especificada (SMTS – Specified Minimum Tensile Strength) del material de la tubería, pero no necesita ser mayor o igual a la resistencia a la tracción real del material. Si la muestra se rompe fuera de la zona de soldadura y fusión (es decir, en el metal base) con una resistencia a la tracción no menor al 95% de la del SMTS del material de la tubería, se aceptará que la soldadura cumple con los requisitos.
- Si la muestra se rompe en la zona de soldadura o fusión y la resistencia observada es mayor o igual que la SMTS del material de la tubería y cumple con los criterios de aceptación del Nick break visto en el punto X.1, se aceptará que la soldadura cumple con los requisitos.
- Si la muestra se rompe en la soldadura y por debajo del SMTS del material de la tubería, la soldadura se dejará a un lado y se realizará una nueva soldadura de prueba. (p. 16)

3.3.2. ENSAYO DOBLADO DE CARA

Tiene el mismo procedimiento, dimensiones y criterios de aceptación que el ensayo doblado de raíz vistos en el apartado 3.2 del presente Capítulo. Solo varía el lado de la probeta al ejecutarse el doblado.

3.3.3. ENSAYO DE IMPACTO O CHARPY

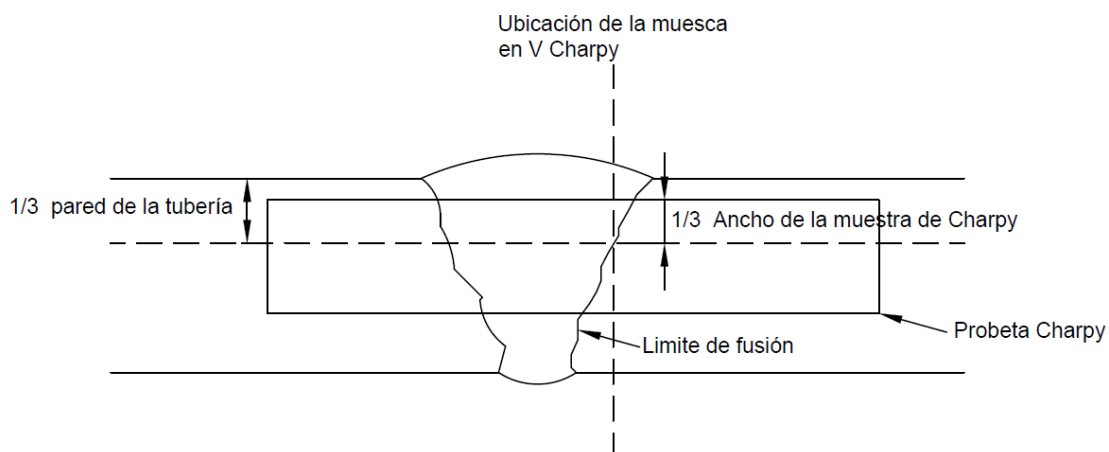
Las probetas de ensayo de impacto con muesca en V Charpy se prepararán con sus longitudes paralelas al eje de la tubería. Se deben usar las muestras de mayor tamaño permitido por el espesor de la pared de la tubería. El espesor de las muestras de tamaño reducido debe tener al menos el 80% del espesor de la pared. Se retirarán seis muestras de cada una de las siguientes posiciones: 12, 6 y 3 o 9

en punto, para un total de 18 muestras. Para cada una de estas posiciones, tres probetas deben tener la muesca en V colocada en la línea central de la soldadura; y los otros tres deberán tener la muesca en V colocada en la ZAT (API STD 1104, 2018, p. 86).

Como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Muestra Charpy y Ubicación de la Muesca en V para la Prueba de Impacto.



Fuente: API STD 1104 (2018)

Para la prueba se deben ensayar al menos nueve muestras válidas para cada ubicación de muesca (metal de soldadura o ZAT) a la temperatura mínima de diseño o por debajo de ella, de acuerdo con los requisitos de ASTM E23.

Los criterios de aceptación para cada ubicación de muesca (metal de soldadura o ZAT) según la norma API STD 1104, (2018) son:

- La energía absorbida promedio para cada conjunto de tres muestras es igual o superior a 30 ft-lb (40 J).
- La energía absorbida individual mínima para cada conjunto de tres muestras es igual o superior a 22 ft-lb (30 J).
- Cuando se utilicen muestras de Charpy submedidas, se aplicarán los requisitos de energía, sin corrección ni conversión, como se indica en los puntos anteriores. (p. 87)

Se permite la repetición de la prueba cuando 1 de 9 muestras (metal de soldadura o ZAT) por grupo, genera una energía absorbida de menos de 22 pies-lb (30 J), pero la energía absorbida de 3 muestras en promedio del grupo, que contiene el valor individual bajo, supere los 30 ft-lb (40 J). Los requisitos para repetir la prueba son los siguientes.

Los criterios de aceptación en la nueva prueba según la norma API STD 1104, (2018) son:

- Las tres muestras repetidas se extraerán de un lugar lo más cercano posible a la ubicación de la muestra que generó el resultado bajo.
- La energía absorbida de las tres muestras repetidas debe alcanzar o exceder 30 pies-lb (40 J). (p. 87)

Si se cumplen los criterios de reevaluación, los resultados de Charpy son aceptables. Si no se cumplen los criterios, no se permiten más pruebas y se rechaza la soldadura.

4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

El código de fabricación ASME B31.8, indica en su apartado 826 el tema del requerimiento de inspección de la soldadura, y lo clasifica según el esfuerzo circunferencial mayor al 20%, como es el caso a desarrollar.

El cordón de soldadura circunferencial deberá ser examinado al 100%, específicamente con ensayos no destructivos, y el número de juntas a inspeccionar se deberá tomar un porcentaje del total, siendo escogidas al azar.

Según la norma ASME B31.8, (2018) los casos son los siguientes:

- 10% de soldaduras en Localidades de Clase 1.
- 15% de soldaduras en Localidades de Clase 2.
- 40% de soldaduras en Localidades de Clase 3.
- 75% de soldaduras en Localidades de Clase 4.
- 100% de soldaduras en estaciones de compresión, y en cruces de ríos principales o navegables, cruces de carreteras principales, y cruces de ferrovías, si resulta práctico, pero en ningún caso menos del 90%. Todas las soldaduras de conexión que no se sometan a pruebas de presión, deberán ser examinadas. (p. 24)

Para el caso del proyecto a desarrollar, se deberá inspeccionar todas las juntas de soldadura al 100%, debido a que las clases 1, 2, 3 y 4 son referentes a las tuberías de distribución a domicilio, los cuales son a baja presión, y considerando que las tuberías se encontrarán a alta presión de 250 bar, se toma el caso de una estación de compresión.

Toda inspección mediante diferentes ensayos no destructivos, deberá pasar todos los criterios de aceptación exclusivamente de la norma API STD 1104.

Para la inspección de la soldadura, se tomará en cuenta los criterios de aceptación de la norma API STD 1104, por lo que toda la información descrita a continuación será de aquella fuente.

Para la inspección de la soldadura, se realizará diferentes ensayos no destructivos, cada uno con su criterio de aceptación como se muestra a continuación.

4.1. RADIOGRAFIA

Podremos ver los distintos casos de discontinuidades, penetración incompletas, inclusiones de escoria y sus tolerancias de aceptación según la norma API STD 1104 en la tabla 47, tabla 48 y tabla 49.

Tabla 47

Ensayos Radiográficos

	Penetración Incompleta sin Desalineación. (IP)	Penetración Incompleta por Desalineación. (IPD)	Penetración Incompleta Transversal (ICP)	Fusión Incompleta (IF)	Fusión Incompleta por Unión Fría (IFD)	Concavidad Interna (IC)
Definición	Cuando el relleno de soldadura de raíz es incompleto.	Cuando un borde o canto de la raíz no está adherida o se encuentra expuesta.	Cuando el primer pase de cordón interior y el primer pase de cordón exterior, presenta una inadecuada penetración entre sus caras verticales.	Una discontinuidad entre el metal de soldadura y el metal base, abierta hacia la superficie.	Una discontinuidad entre dos pasadas de soldadura adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base que no está abierta hacia la superficie..	El cordón raíz está fusionado a ambas superficies, pero el centro de la raíz está ligeramente por debajo de la superficie interior del tubo.
Ilustración						
Longitud individual de una penetración incompleta	excede 1 plg (25 mm)	excede 2 plg (50 mm)	excede 2 plg (50 mm)	excede 1 plg (25 mm)	excede 2 plg (50 mm)	Cualquier longitud es aceptable, siempre que la densidad de la imagen radiográfica no exceda la del material adyacente más delgado. Para las áreas que exceden la densidad del material adyacente más delgado, se aplican los criterios para BT (Burn- Through) (Tabla 48)
Longitud de cordones continuos de 12 plg. (300 mm)	excede 1 plg (25mm) excede el 8% del cordón soldado	excede 3 plg (75 mm)	excede 2 plg (50 mm)	excede 1 plg (25 mm) excede el 8% del cordón soldado	excede 2 plg (50 mm) excede el 8% del cordón soldado	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48

Soldadura Burn-Trough.

Soldadura Quemada (Burn-Through) (BT)	
Definición	Una parte del cordón de raíz donde la penetración excesiva ha provocado que el charco de soldadura se introduzca en la tubería.
Se consideran defectos	<p>La dimensión máxima excede 1/4 plg (6 mm).</p> <p>La densidad de la imagen BT, excede la densidad más delgada del material base adyacente.</p> <p>La dimensión máxima excede el espesor nominal de pared más delgada.</p> <p>La suma de las dimensiones máximas de BTs separadas cuya densidad de imagen para cualquier porción de las BTs excede la del material principal adyacente más delgado y excede 1/2 plg. (13 mm) en cualquier longitud continua de soldadura de 12 plg. (300 mm) o la longitud total de la soldadura, la que sea menor.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49

Inclusión de Escoria.

		Inclusiones Alargadas de Escoria (ESIs)	Inclusiones de Escoria Aisladas (ISIs)
Definición		Líneas de escorias continuas o quebradas generalmente se encuentran en la zona de fusión.	Tienen formas irregulares y pueden ubicarse en cualquier lugar de la soldadura
Es inaceptable cuando	Medida individual	<p>Longitud exceda 2 plg (50 mm).^a</p> <p>Ancho exceda 1/16 plg (1.6 mm).</p>	Ancho excede 1/8 plg (3 mm).
	Longitud de cordones continuos de 12 plg. (300 mm)	Longitud total de indicaciones exceda 2 plg (50 mm)	<p>Longitud total de indicaciones exceda 1/2 plg (13 mm)</p> <p>Más de cuatro indicaciones con el ancho máximo de 1/8 plg (3 mm).</p>
		Longitud total de indicaciones ESI y ISI exceda el 8% del largo de la soldadura.	

^a Cuando están paralelas separadas por el ancho aproximado de la pasada de raíz, deben tomarse como una sola, excepto cuando su ancho exceda 1/32 plg (0.8mm) de una de estas, en este caso se consideran por separado.

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. GRIETAS

Deben de ser inaceptables cuando ocurre alguna de las siguientes condiciones que nos indica la norma API STD 1104, (2018):

- a) No es considera para cualquier ubicación o dimensión en el cordón de soldadura, como tampoco los cráter de poca profundidad o que tengan la forma de estrella.
- b) Al cráter de poca profundidad o que contenga la forma de estrella no deberá exceder una longitud de $5/32$ plg. (4mm).

4.1.2. SOCAVACIÓN INTERNA

La socavación adyacente al paso de cobertura (EU) o la socavación adyacente al paso de raíz (IU), se considera un defecto si existe alguna de las siguientes condiciones según la norma API STD 1104 (2018):

- a) En ambas socavaciones de IU e EU de la longitud del cordón de soldadura de 12 plg. (300 mm.) no deberán de exceder 2 plg (50 mm).
- b) La totalidad de indicaciones de IU e EU a lo largo del cordón de soldadura, no deberá exceder $1/6$ plg.

4.1.3. POROSIDAD

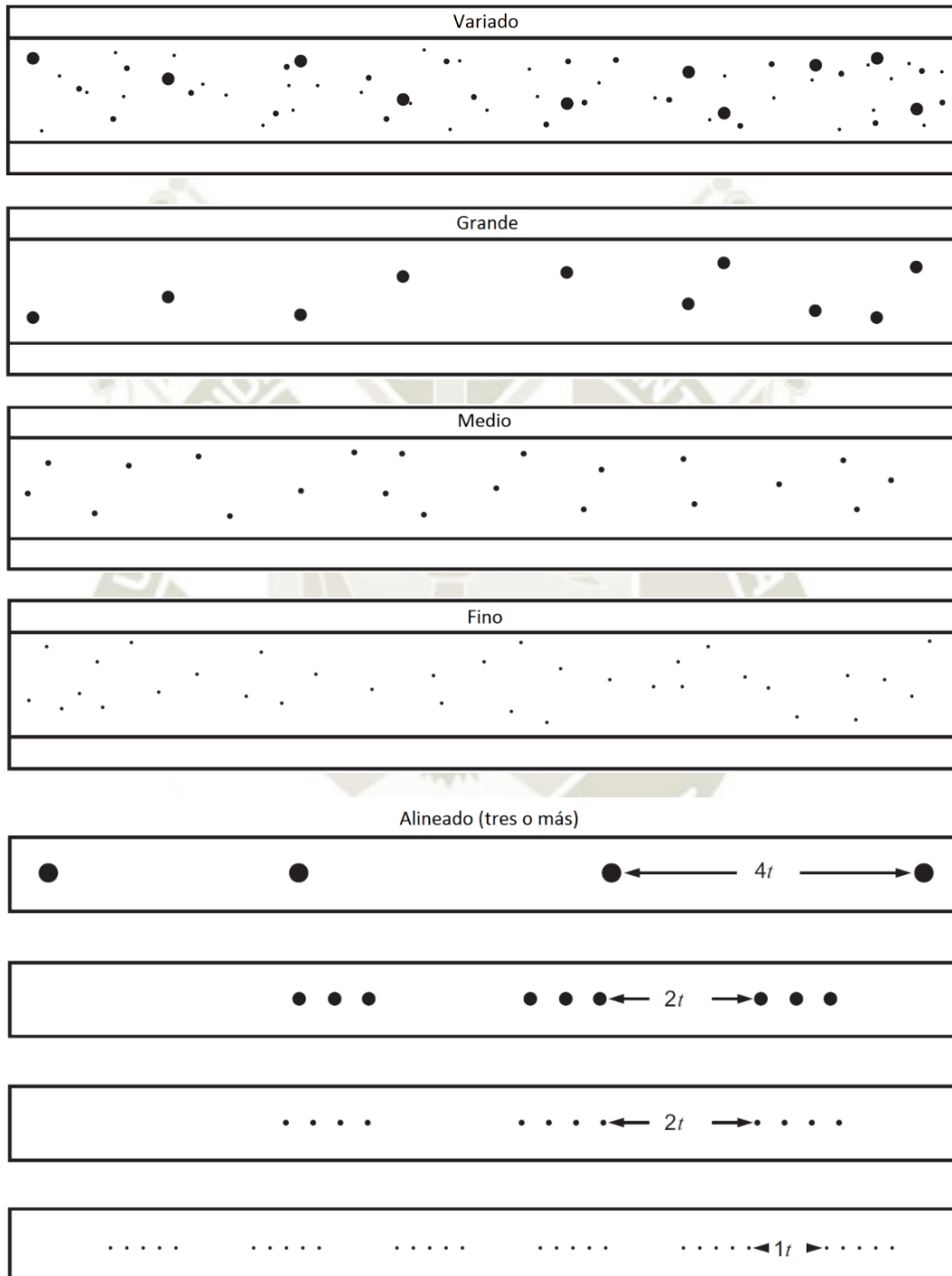
El tamaño del poro se mide en dirección radiográfica, la dimensión máxima debe de darse según los criterios:

Porosidad individual o dispersa. Se considera un defecto cuando que nos indica la norma API STD 1104, (2018):

- a) El tamaño de un poro individual excede $1/8$ plg. (3 mm).
- b) El tamaño de un poro individual excede el 25% de la parte más delgada del espesor de la pared nominal unido.
- c) La distribución de la porosidad dispersa excede de la concentración permitida por la Figura 24 siguiente. (p. 38)

Figura 24

Distribución Máxima de Bolsas de Gas: Espesor de Pared (T) Menor o Igual a 0.5 plg (12.7 Mm).



Fuente: API STD 1104 (2018)

1. Porosidad agrupada (CP).

- Cuando ocurre en cualquier pase de soldadura excepto en el último, deberá de cumplir con los criterios de Porosidad individual o dispersa.
 - Cuando ocurre en el último pase se considera defecto si existe nos indica la norma API STD 1104, (2018):
 - a) El conjunto en diámetro que exceda 1/2 plg (13 mm).
 - b) En cordones de soldadura de 12 plg. (300 mm.) no debe exceder ½ plg. (300 mm).
2. Cordón Huevo (HB). Porosidad lineal alargada que ocurre en el paso de la raíz. Según la norma API STD 1104, (2018) se considera defecto cuando:
- a) La longitud de una inclinación individual exceda 1/2 plg (13 mm).
 - b) La longitud total de indicaciones en cualquier cordón continuo soldado de 12 plg (300 mm) excede 2 plg (50 mm).
 - c) Las indicaciones individuales de cada una que sea más grande que 1/4 plg (6 mm) de largo, estén separadas en menos de 2 plg (50 mm).
 - d) El largo de todo el cordón de soldadura no deberá exceder el 8% en discontinuidades a lo largo.

4.1.4. ACUMULACIÓN DE DISCONTINUIDADES

No teniendo en cuenta la falta de penetración o penetración incompleta por desalineación y la socavación interna, es considera un defecto según la norma API STD 1104, (2018) si existe alguna de las siguientes condiciones:

- a) En un cordón de soldadura continuo de 12 plg. (300 mm.) no debe de exceder la acumulación de discontinuidades de 2 plg. (50mm.).
- b) El largo de todo el cordón de soldadura no deberá exceder el 8% en discontinuidades a lo largo.

4.1.5. IMPERFECCIONES DEL MATERIAL BASE

Son detectadas mediante pruebas radiográficas y se informarán a la empresa de estas imperfecciones.

4.2. ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS

La norma API 1104, indica en su apartado 9.4 describe cuando se debe considerar un defecto a una indicación encontrada mediante partículas magnéticas.

En un primer lugar se define a una indicación lineal, que posee una longitud mayor a 3 veces su ancho, mientras una indicación redondeada será todo lo demás, menor o igual a 3 veces su ancho.

Luego menciona lo primero a identificar son las indicaciones no relevantes, las cuales serán aquellas que en dimensión sean iguales o menores a 1/16" (1,6mm).

Pues ahora solo quedaría por definir cuando una indicación es un defecto, y la norma API STD 1104, (2018), nos da los siguientes criterios de aceptación, por lo cual será inaceptable:

- a) La observación de lineales evaluadas que tengan el aspecto de grietas cráter o grietas estrella que están excediendo el largo de 5/32 de plg. (4 mm).
- b) Las observaciones de lineales se evalúan como grietas distintas a las grietas de cráter o grietas de Estrella.
- c) Observación de lineales evaluadas como IF y que excedan 1 plg. (25 mm.) de largo total en un tramo continuo de 12 pulgadas (300 mm) de soldadura o 8% del largo de la soldadura.

Para las indicaciones relevantes redondeadas se utilizan los mismos criterios de aceptación ya mencionados o utilizados para el ensayo de radiografía, en la sección de porosidad.

4.3. ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES

La norma API 1104, se refiere a las indicaciones encontradas por el ensayo de líquidos penetrantes en su apartado 9.5, donde se define cuando es una indicación relevante y cuando no.

De misma manera que se definió una indicación lineal e indicación redondeada en partículas magnéticas, se definirá así para los líquidos penetrantes.

Será una indicación no relevante cuando la dimensión de la indicación es menor o igual a 1/16" (2mm), para todo lo demás será una indicación relevante.

Para que una indicación relevante sea rechazada, se tendrá los siguientes criterios de aceptación según la norma API STD 1104, (2018):

- a) Las indicaciones lineales, son evaluadas como grietas cráter o grietas estrella y exceden 5/32 de pulgadas (4 mm) de largo.
- b) Las indicaciones lineales son evaluadas como grietas que no sean las de cráter o estrella.
- c) Se considera como fusión incompleta, para cordones de soldadura de 12 plg. (300mm.) de largo que acumulen 1 plg. (25 mm.) de longitud de grietas o que obtenga el 8% del cordón de soldadura.

Para las indicaciones relevantes redondeadas se utilizan los mismos criterios de aceptación ya mencionados o utilizados para el ensayo de radiografía, en la sección de porosidad.

4.4. ENSAYO DE ULTRASONIDO

En el apartado 9.6 de la norma API 1104, hace referencia a las indicaciones encontradas mediante este método, donde si bien se detectaría indicaciones lineales, estas se clasifican según el tipo de imperfección:

- Penetración inadecuada sin desalineación (IP)
- Penetración incompleta debida a desalineación (IPD)
- Penetración incompleta cruzada (ICP)
- Fusión Incompleta (IF)
- Incompleta fusión debido a pasada fría (IFD)
- Inclusión alargada de escoria (ESI)
- Fisura (C),
- Socavado adyacente a la pasada de cobertura (EU) o a la pasada de raíz (IU) y cordón hueco (HB).

La norma hace también referencia a los tipos de indicaciones que pueden ser lineales, transversales, volumétricas.

Las normas de aceptación serán los siguientes:

General

- Se considerará defecto a las indicaciones de fisura determinadas.

Indicaciones de superficie lineal (LS)

- La longitud del cordón de soldadura de 12 plg. (300mm.) excedan 1 plg (25mm.).
- Para cordones de soldadura que excedan el 8% del largo de la soldadura.

Indicaciones de Linear Buried (LB)

- La longitud del cordón de soldadura de 12 plg. (300mm.) excedan 1 plg (25mm.).
- Para cordones de soldadura que excedan el 8% del largo de la soldadura.

Indicaciones Transverse (T)

- Deberá considerarse volumétrica y evaluada usando el criterio para indicaciones volumétricas.

Indicaciones grupo volumétrico (VC)

- Deberá considerarse defectuoso cuando la dimensión máxima del VC, exceda la indicación 1/2 plg. (13 mm).

Indicaciones volumétricas individuales (VI)

- Debe considerarse defectuoso cuando la dimensión máxima del VI, exceda la indicación 1/4 pulgada (6 mm) en su ancho y longitud.

Indicaciones raíz volumétrica (VR)

- La dimensión máxima de indicación que excedan 1/4 plg. (6 mm).
- La longitud total excedan 1/2 plg. (13 mm) en cualquier longitud continua de 12 plg. (300 mm).

Acumulación de indicaciones relevantes (AR)

- La longitud agregada de indicaciones sobre el nivel evaluado exceda 2 plg. (50 mm) y cualquier tramo continuo de 12 plg. (300 mm).
- La longitud agregada de indicaciones sobre el nivel exceda 8% del largo de la soldadura.

4.5. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN VISUAL PARA SOCAVACIÓN INTERNA

Los criterios de aceptación se aprecian en la tabla 4 del API 1104, se observará en la siguiente Tabla 50:

Tabla 50

Criterios de Socavación.

Profundidad	Longitud
> 1/32 plg. (0.8 mm) o > 12.5% del espesor de pared, el que sea más pequeño	No aceptable
> 1/64 plg. (0.4 mm) o > 6% - 12% del espesor de pared, el que sea más pequeño	2 plg. (50 mm) en 12 plg (300 mm) continuos de longitud de soldadura, o uno a seis veces la longitud de soldadura, el que sea más pequeño.
<= 1/64 plg.(0.4mm) o <= 6% del espesor de pared, el que sea más pequeño	Aceptable, independientemente de longitud

Fuente: API STD 1104 (2018)



CAPITULO V
EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DEL CORDON
DE SOLDADURA

1. PROCEDIMIENTO DE SOLDEO DE CUPON

El procedimiento esta realizado con el proceso GTAW o TIG, optando con este ya que va a operar a altas temperaturas y presiones, por lo que brinda mayor calidad en la soldadura.

1.1. CORTE Y BISELADO

La realización del mecanizado para la tubería (figura 25), se genera los cupones y se hace acorde al plano del corte y biselado del Anexo 6, obteniendo cupones como se observa la figura 26.

Figura 25

Tubo ASTM A53 Gr. B / A106 Gr. B / API 5L Gr. B SCH 160.



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Tubo Biselado.



Fuente: Elaboración propia

1.2. PREPARACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

En este proceso se utilizó una máquina Tig 2200i AC/DC – ESAB con las características técnicas en la siguiente tabla 51, en el cual este equipo puede hacer los dos procesos.

Tabla 51

Características Técnicas Tig 2200i AC/DC

Tig 2200i AC/DC	
Tensión de red	230 V, 10%, 1 ~50/60 Hz
Corriente primarias Imáx:	
MMA	25 A
TIG	28 A
Potencia en vacío (estado de inactividad)	41 W
Rango de ajuste	
MMA	4 A / 20 V - 160 A / 26.4 V
TIG CA*/CC	3 A / 10 V - 220 A / 18.8 V
Valores de la carga convencional	
TIG (ciclo de trabajo a 40 °C/104 °F de temperatura ambiente):	
20%	220 A / 18.8 V
60%	150 A / 16.0 V
100%	140 A / 15.6 V
MMA (ciclo de trabajo a 40 °C/104 °F de temperatura ambiente):	
30%	160 A/ 26.4 V
60%	120 A/ 24.8 V
100%	110 A/ 24.4 V
Factor de potencia a la corriente máxima (I ₂)	
MMA	0.99
TIG	0.99
Rendimiento a la corriente máxima (I ₂)	
MMA	73%
TIG	65%
Potencia aparente a la corriente máxima (I ₂)	6.4 KVA
Potencia activa a la corriente máxima (I ₂)	6.3 KW
Tensión en vacío U₀	58 V

Fuente: ESAB (2017)

La máquina de soldar cumplió con los dos tipos de procesos SMAW y TIG, donde observamos la maquina en la figura 27.

Figura 27

Equipo Tig 2200i AC/DC – ESAB



Fuente: Elaboración propia.

El soldador utilizo la antorcha con filtro o cuerpo de difusor de gas como se observa en la Figura 28, para que la salida del gas no sea turbulenta y utilización de una tobera numero 6 como se observa en la figura 29.

Figura 28

Filtro de la Antorcha.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29

Buzer Tobera.



Fuente: Elaboración propia.

Como gas de protección se utilizó Argón 99.9 % y con un caudal de 15 l/min, como podemos ver en la figura 30

Figura 30

Tanque de Argón.



Fuente: Elaboración propia.

Material de aporte para el proceso TIG es ER70S-6, como podemos ver en la figura 31.

Figura 31

Material de Aporte TIG - ER70S-6.

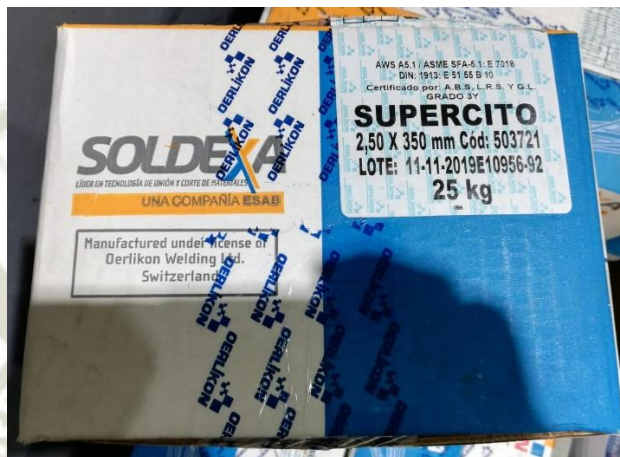


Fuente: Elaboración propia.

Material de aporte para el proceso SMAW es SUPERCITO como podemos ver en la figura 32.

Figura 32

Material de Aporte SMAW – Supercito.



Fuente: Elaboración propia.

1.3. PROCESO DE SOLDADURA

Se realizan dos calificaciones de procedimiento de soldadura donde uno es dual SMAW y TIG como se observa en el Anexo 2 y el otro es solo un proceso de soldadura que es TIG como se observa en el Anexo 3.

En el armado se utilizó electrodo revestido que sea de diámetro de 1.6 mm o 1/16 pulgadas quitándole el revestimiento y colocándole papel a la varilla para facilitar su retiro, como se observa en la figura 33, cuando haya sido colocado los puntos. Esta varilla nos ayudara a dar la distancia entre biseles y poder hacer 3 puntos de soldadura con el mismo material de aporte ya que la separación entre biseles es pequeña.

Figura 33

Armado de Cupón.



Fuente: Elaboración propia.

Después de haber armado el cupón se procede a colocarlo en 45° , como observamos en la figura 34, y hacerle una limpieza al tubo en las áreas del costado del bisel para evitar la contaminación de la soldadura. Cuando se evalúa el procedimiento de soldadura no es necesario hacerlo en posición de 45° , ya que la posición de 45° es solo para la calificación del soldador.

Figura 34

Posición del Cupón en 45° .



Fuente: Elaboración propia.

Una vez colocado el cupón se procede a realizar la soldadura con los parámetros del registro de procedimiento de soldadura WPS (Anexo 2 y 3), para ambos procesos se realiza el pase de raíz se realiza con TIG, mientras se avanza con el soldeo del cordón se va quitando los puntos realizados por el armado, como observamos en la figura 35,

Figura 35

Limpieza del Cordón de Raíz.



Fuente: Elaboración propia.

Entre cada pase se realizar una limpieza al cordón de soldadura.

En el proceso obtenemos distintos pases de soldadura comenzando con el pase de raíz (figura 36), el pase en caliente (figura 37) realizado para evitar que el pase de relleno (figura 38) jale el cordón de raíz y al finalizar los pases de relleno (figura 39, 40).

Figura 36

Pase de Raíz.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

Pase en Caliente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 38

Pase de Relleno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

Pase de Acabado – 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40

Pase de Acabado – 2.



Fuente: Elaboración propia.

2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

2.1. ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

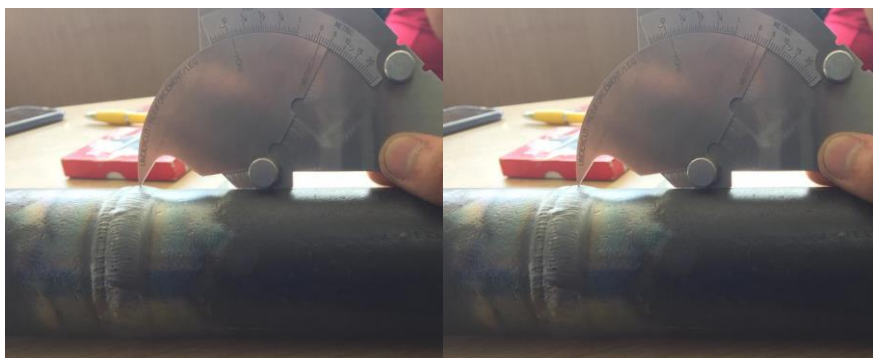
Resultado: Aceptable con solo TIG

Realizado con una galga procedemos a medir la sobremonta, como observamos en la figura 41, para los distintos procesos. Con el proceso de SMAW podemos visualizar los cordones de acabado en la figura 42, como las medidas de la sobremonta en la tabla 52, de igual manera el proceso TIG lo visualizamos en la figura 43 y las medidas de la sobremonta en la tabla 53. El pase se raíz en ambos procesos se realiza con TIG como se ve en la figura 44.

Registro Fotográfico:

Figura 41

Lectura de la Sobremonta del Cordón.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42

Revisión de los Cordones de Cara SMAW.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

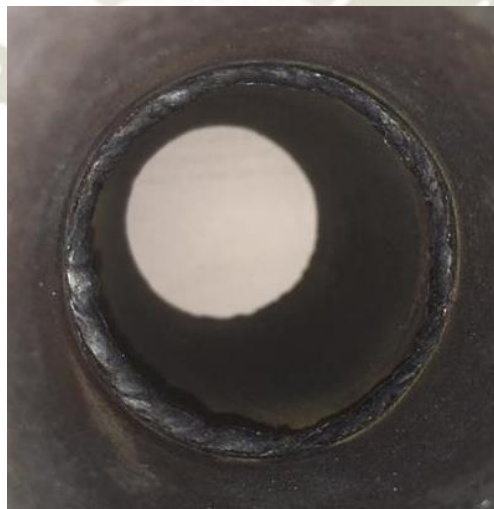
Revisión de los Cordones de Cara - TIG.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

Revisión de los Cordones de Raíz.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52

Sobremonta de los Cordones de Cara SMAW.

N° Espécimen	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Cupón 1	1.2	2.2
Cupón 2	0.9	1.9
Cupón 3	1.5	2.3
Cupón 4	1.3	2.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53

Sobremonta de los Cordones de Cara TIG.

N° Espécimen	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Cupón 1	0.9	1.8
Cupón 2	1	1.5
Cupón 3	0.8	1.7
Cupón 4	1.2	1.3

Fuente: Elaboración propia.

Comentarios:

Con el proceso dual TIG-SMAW presenta poros el cual podría generar una discontinuidad en el cordón, salpicadura y no presenta buenas formas y dimensiones. En el cordón de raíz de soldadura no presenta discontinuidades

Con el proceso TIG no presentan ningún defecto en los cordones, en el cordón de cara y en el cordón de raíz no contienen discontinuidades o faltas de conformidad en función como fisuras, porosidades, formas y dimensiones.

2.2. ENSAYO DE RADIOGRAFIA

Para la realización de la radiografía necesitamos obtener datos adicionales en el cual lo obtenemos de la norma ASME BPVC.V-2019 y de los del fabricante de Balteau NDT en este caso usamos un equipo BALTOSPOT CERAM35.

Este ensayo no realizamos el procedimiento dual (TIG – SMAW) debido a que presentaba varios defectos.

Comenzamos a seleccionar el indicador de calidad con el espesor del material base de la tabla 54.

Espesor:

$$e = \text{espesor de las paredes} + \text{sobremontas cara y raiz}$$

$$e = 8.74 + 8.74 + 2 + 2$$

$$e = 21.48 \text{ mm}$$

Tabla 54

Selección de Indicador de Calidad de Imagen.

Selección IQI Image Quality Indicator (Indicador de Calidad de Imagen)						
Rango Nominal de Espesores de Material de Pared Simple. pulg. (mm)	Lado Fuente			Lado Película		
	Designación del Tipo de Agujero	Agujero Esencial	Alambre Esencial Tipo Alambre	Designación del Tipo de Agujero	Agujero Esencial	Alambre Esencial Tipo Alambre
	Hasta 0.25 incluido (6.4)	12	2T	5	10	2T
Más de 0.25 hasta 0.375 (6.4 hasta 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Más de 0.375 hasta 0.50 (9.5 hasta 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Más de 0.50 hasta 0.75 (12.7 hasta 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Más de 0.75 hasta 1.00 (19.0 hasta 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Más de 1.00 hasta 1.50 (25.4 hasta 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Más de 1.50 hasta 2.00 (38.1 hasta 50.8)	35	2T	11	30	2T	10

Fuente: ASME BPVC.V (2019)

Obteniendo la identidad del alambre siendo 9 y seleccionando el lado de la película, procedemos a seleccionar al tipo de serie que pertenece de la Tabla 55. Obteniendo la Serie B y un alambre con diámetro de 0.02 pulgadas o 0.51 milímetros.

Tabla 55

Designación IQI del Cable, Diámetro del Cable y Identidad del Cable.

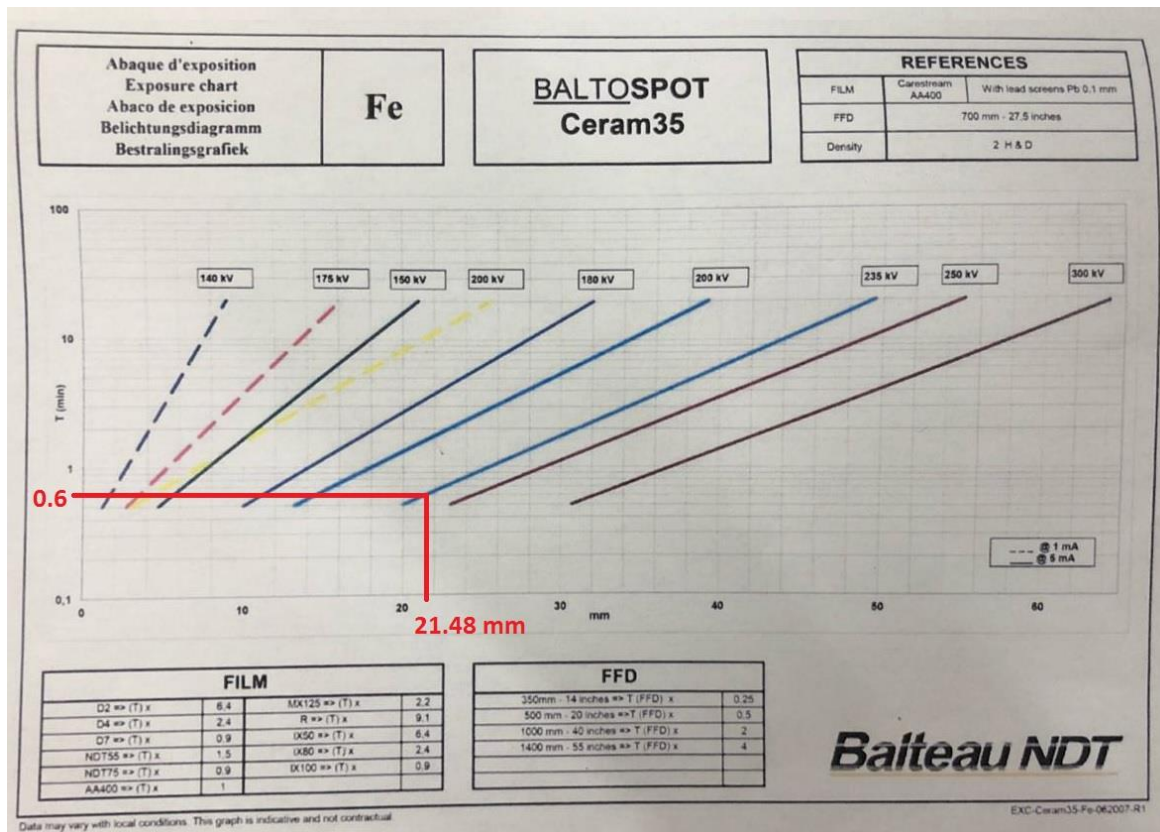
Serie A		Serie B	
Diámetro Alambre plg. (mm)	Identidad Alambre	Diámetro Alambre plg. (mm)	Identidad Alambre
0.0032 (0.08)	1	0.010 (0.25)	6
0.004 (0.10)	2	0.013 (0.33)	7
0.005 (0.13)	3	0.016 (0.41)	8
0.0063 (0.16)	4	0.020 (0.51)	9
0.008 (0.20)	5	0.025 (0.64)	10
0.010 (0.25)	6	0.032 (0.81)	11
Serie C		Serie D	
Diámetro Alambre plg. (mm)	Identidad Alambre	Diámetro Alambre plg. (mm)	Identidad Alambre
0.032 (0.81)	11	0.100	16
0.040 (1.02)	12	0.126	17
0.050 (1.27)	13	0.160	18
0.063 (1.60)	14	0.200	19
0.080 (2.03)	15	0.250	20
0.100 (2.54)	16	0.320	21

Fuente: ASME BPVC.V (2019)

La obtención de la radiación y el tiempo que deberá ser sometida, la obtenemos de la Figura 45, entrando con el espesor (e).

Figura 45

Cálculo de Exposición de Rayos X.



Fuente: Elaboración propia

$$e = 21.48 \text{ mm}$$

$$d_1 = 60.3 \text{ mm}$$

$$d_2 = 42.82$$

$$kv = 235 \text{ kv}$$

$$t = 36 \text{ seg}$$

$$k1 = 1.8 \quad (\text{equipo})$$

$$k2 = 1.4 \quad (\text{material de cobre}) \text{ en este caso no se aplica}$$

$$k3 = 1.6 \quad (\text{densidad de 2 a 2.5})$$

Relación entre distancia y tiempo de exposición.

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$t_2 = t_1 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$t_2 = 36 \times \left(\frac{42.82}{60.3}\right)^2$$

$$t_2 = 18.15 \text{ seg}$$

Factores de corrección. El factor de corrección k2 es solo aplicado para materiales de cobre

$$t_f = k1 \times k2 \times k3$$

$$t_f = 1.8 \times 1.6$$

$$t_f = 52.272 \approx 50 \text{ seg}$$

El tiempo que será expuesto a la radiación la probeta será de 50 segundos.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Ya obteniendo el tipo de indicador de calidad y el tiempo que va a estar sometido a los rayos X, se procede a ubicar el cupón, como se observa en la figura 46, para este proceso se realiza dos veces, para el lado A y para el lado B. ya radiografiado se revelan las placas y se realiza una comprobación de la densidad de la placa o película, como se puede observar en la figura 47. Al realizar el proceso de revelación procedemos a evaluar las placas o películas, vistos en la figura 48 y figura 49.

Registro Fotográfico:

Figura 46

Ubicación de la Probeta en el Rayos X.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Comprobación de la Densidad de la Película.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Radiografía de la Probeta Lado A.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49

Radiografía de la Probeta Lado B.



Fuente: Elaboración propia.

Segun Codigo: ASME BPVC.V-2019

Indicador de Calidad de Imagen – IQI

- Lado Fuente: 9 – Set. B, diámetro del alambre 0.51 mm.
- Lado Película: 8 – Set. B, diámetro del alambre 0.41 mm.

Densidades de la Película

- Lado A: 2.78 y 2.41
- Lado B: 2.43 y 2.67

Comentarios:

Los indicadores se colocaron en el lado de la fuente. Presentando buena densidad las películas. En la observación de las radiografías se encontró libre de discontinuidades en todo el cordón.

2.3. ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS

Para el ensayo de partículas magnéticas aplicamos la norma API 1104 visto en el capítulo XV punto 3.

Este ensayo no realizamos el procedimiento dual debido a que presentaba varios defectos.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

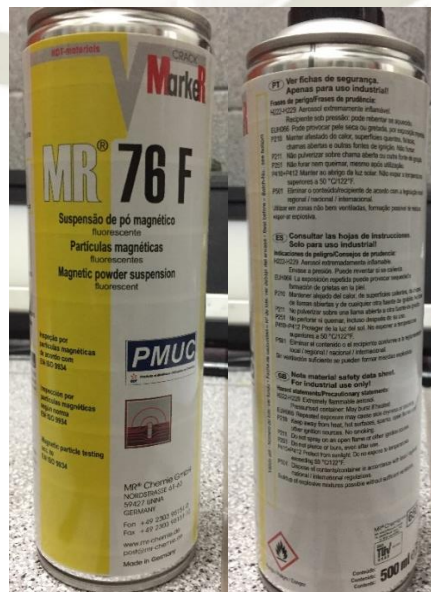
Resultado: Aceptable

Para este caso usamos partículas fluorescentes Marker – MR 76F, como observamos en la figura 50 y magnetización con yugo visto en la figura 51, para revisar si la probeta presenta agrietamientos, como se observa en la figura 52.

Registro Fotográfico:

Figura 50

Líquido Fluorescente – Marker – MR 76F.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51

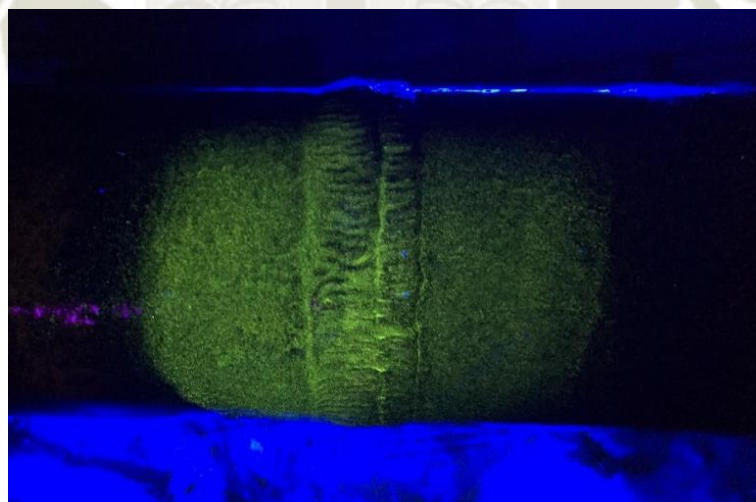
Realización de la Prueba de Partículas Magnéticas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52

Realización de la Prueba de Partículas Magnéticas.



Fuente: Elaboración propia.

Comentarios:

En la observación no presenta discontinuidades en todo el cordón.

3. EXTRACCIÓN DE PROBETAS

La extracción de probetas se realiza según la norma API 1104. Se procede con el marcado de los cupones para la extracción de las probetas ya sea para el doblado de cara (figura 53), doblado de raíz (figura 54), ensayo de tracción (figura 55), ensayo Nick Break (figura 56) y ensayo Charpy (figura 57).

Figura 53

Marcado de Probeta para Doblado de Cara.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54

Marcado de Probeta para Doblado Raíz.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

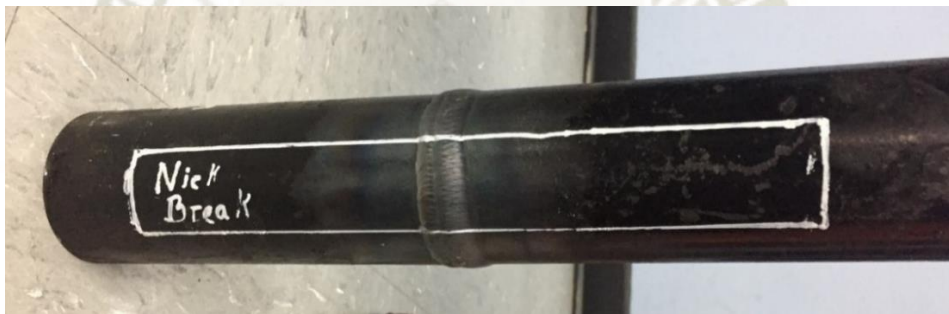
Marcado de Probeta para Ensayo de Resistencia a la Tracción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56

Marcado de Probeta para Ensayo Nick Break.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57

Marcado de Probeta para Prueba de Impacto o Charpy.



Fuente: Elaboración propia.

4. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

4.1. ENSAYO NICK BREAK

Se realiza según la norma API 1104. Se procede con entallar los laterales de la probeta en el cordón de soldadura con una profundidad de 1.6 mm como se muestra en la figura 21.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Se realiza el preparamiento de la probeta realizando el entalle con una hoja de sierra sin pasar las dimensiones y ubicación de ella en la máquina, como se observa en la figura 58. La ruptura de la probeta tiene que ser en los laterales de la probeta y en ambos sentidos como se muestra en la Figura 59, no tiene un diámetro específico del diámetro del embolo. Donde podremos realizar la revisión del cordón de soldadura ya sea para el caso del proceso dual (TIG-SMAW), como se muestra la figura 60 y el proceso de solo TIG, como se muestra en la figura 61.

Registro Fotográfico:

Figura 58

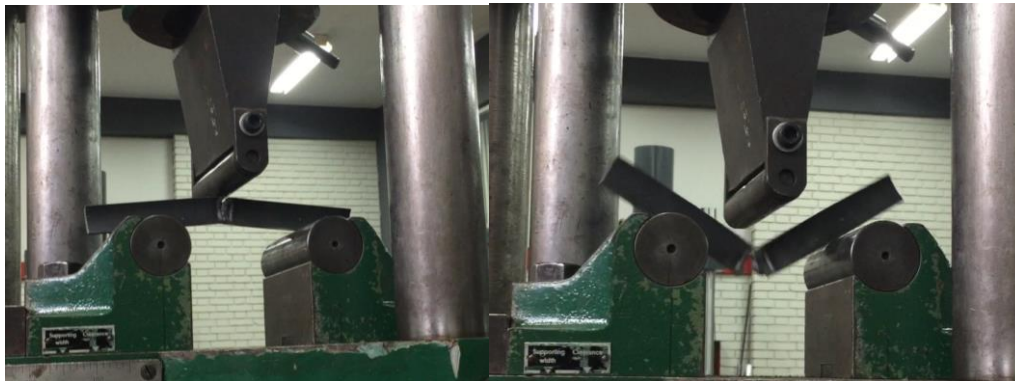
Preparación de la Probeta para el Ensayo Nick Break.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59

Ruptura de la Probeta para el Ensayo Nick Break.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60

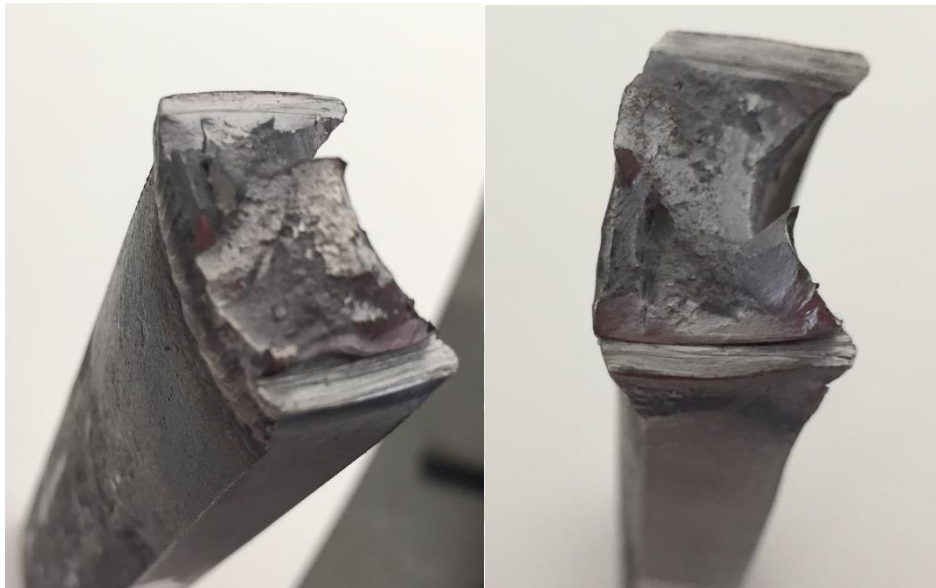
Metal Soldado de la Probeta Nick Break de TIG-SMAW.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 61

Metal Soldado de la Probeta de Nick Break de TIG.



Fuente: Elaboración propia.

Comentarios:

En el proceso dual TIG-SMAW presenta porosidad pero es aceptable con los parámetros de la norma API 1104, se observa buena penetración. No se aprecia escoria.

En el proceso TIG no presentan porosidad, se observa una buena penetración y fusión completa. No se aprecia escoria debido al proceso empleado en la soldadura.

4.2. ENSAYO DE DOBLADO DE RAÍZ Y DE CARA

Se realiza según la norma API 1104. El doblado se realiza con un embolo de 90 mm según la norma API 1104. Una vez producido el doblado se realiza un cepillado de la probeta en el metal de soldadura.

En este ensayo el proceso dual (TIG-SMAW) solo es sometido al doblado de raíz, mientras que el proceso TIG se le realizó los dos tipos de ensayo de doblado de raíz y de cara.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Se procede con la ubicación de la probeta, ubicando el lado de la cara de la probeta hacia abajo según lo que se requiere evaluar, en la figura 62 vemos la preparación para el ensayo de doblado de raíz, Una vez ubicado procedemos el doblado con el embolo indicado según la norma en nuestro caso viene a ser un embolo de 90 mm, como observamos la figura 63. Obteniendo los resultados de las probetas para el doblado de cara, como se observa en la figura 64 y para los doblados de raíz, como se observa en la figura 65 y figura 66.

Registro Fotográfico:

Figura 62

Preparación de la Probeta para el Ensayo de Doblado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 63

Embolo de 90 mm para Ensayo de Doblado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64

Probeta del Ensayo de Doblado de Cara.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65

Probeta del Ensayo de Doblado de Raíz de TIG-SMAW.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66

Probeta del Ensayo de Doblado de Raíz de TIG.



Fuente: Elaboración propia.

Comentarios:

En el ensayo de cara está libre de defectos en el cordón de soldadura.

En el ensayo de raíz del proceso dual TIG-SMAW presenta grietas en el cordón pero son aceptables según la norma API 1104 debido a que no son mayores de 3 mm.

En el ensayo de raíz del proceso TIG presentan una mordedura solo en el extremo esto es debido a que no se realizó el mecanizado de los bordes quitándole los contornos filosos.

4.3. ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Se realiza según la norma API 1104, no se realiza la medida de la probeta después de a verse realizado el ensayo, debido a que solo estamos tomando en cuenta el cordón de soldadura.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Procedemos tomando las medidas de la probeta y colocando esas medidas al sistema de la máquina, una vez colocada las medidas se procede a ubicar la probeta para el ensayo, en la figura 67 podemos ver el comienzo de la deformación elástica del acero, como también nos muestra la figura 68 la probeta una vez ya realizado la ruptura de ella. Como también obtenemos el diagrama de alargamiento que nos genera el sistema de la maquina en la figura 69.

Registro Fotográfico:

Figura 67

Deformación Localizada en la Probeta del Ensayo de Tracción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68

Después del Ensayo de Tracción.

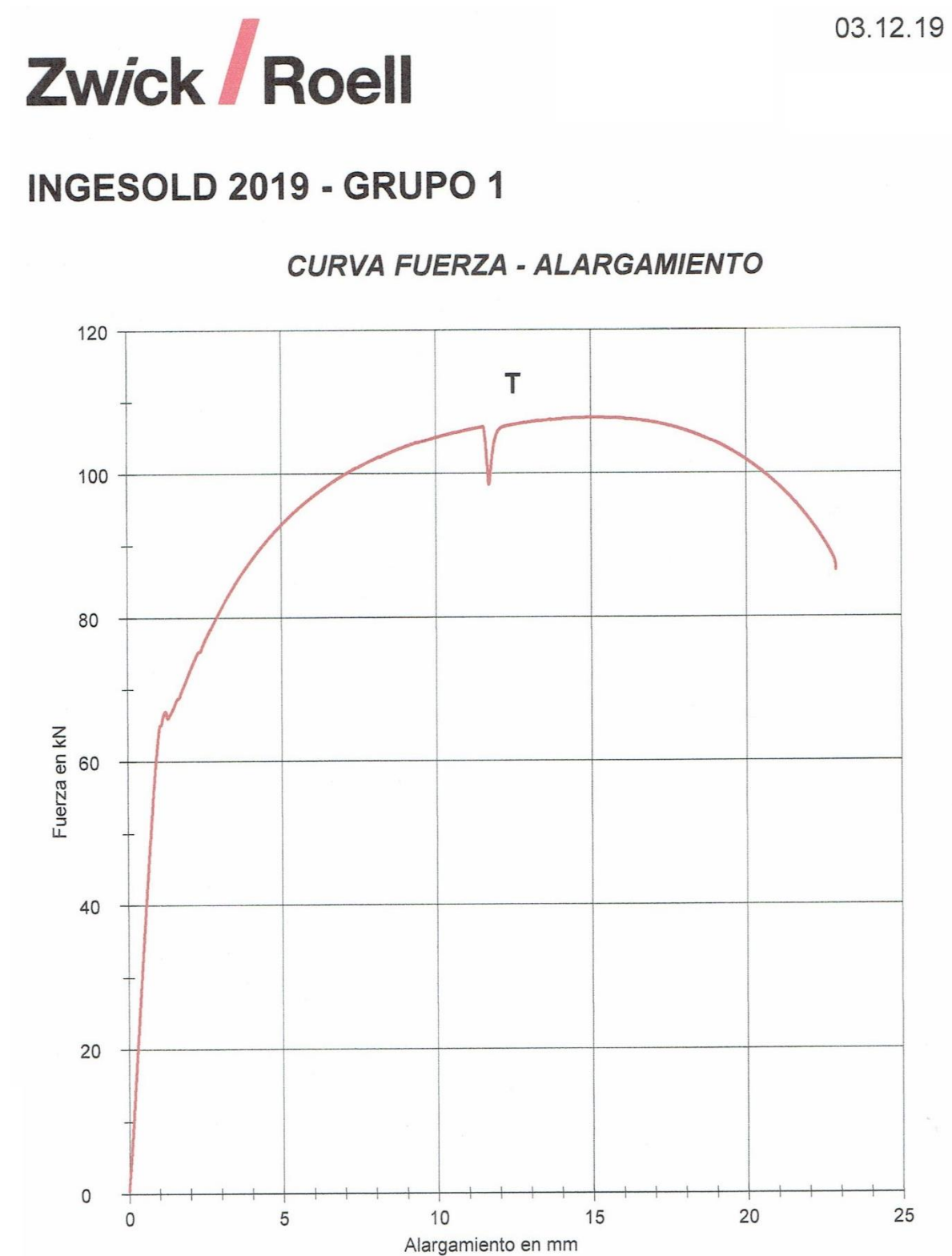


Fuente: Elaboración propia.



Figura 69

Análisis de la Curva de Fuerza y Alargamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Área:

$$A = 25 \times 8.74$$

$$A = 218.5 \text{ mm}^2$$

Resistencia a la Tracción:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{108000 \text{ N}}{218.5 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 494.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{494.28 \text{ MPa}}{9.81}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 50.39 \frac{\text{kg} - \text{f}}{\text{mm}^2}$$

Comentarios:

La rotura es dúctil que comienza bajo la intensidad de deformación plástica en el Material Base, el cual está conforme con la norma API 1104.

La resistencia a la tracción es de 494.28 MPa lo cual es superior al del Material Base lo cual es de 415 MPa visto en la Tabla 13, lo cual es aceptable.

4.4. ENSAYO DE IMPACTO O CHARPY

El ensayo de impacto fue sometido a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ y el entalle o muesca se realizó según la norma API 1104 visto en el punto 10.4.3 Ensayo de Impacto o Charpy.

Para realizar la muesca a la probeta se le tiene que someter al proceso de metalografía, donde la metalografía prepara una superficie de un metal para análisis mediante desbaste, pulido y ataque metalográfico para mostrar su composición microestructural, como podemos ver en la figura 70. Con la probeta metalografiada podemos hallar la zona de ZAC y el metal fundido y proceder el marcado, como se observa la figura 71, para realizar el entalle, ya realizado el entalle se toma las medidas de las probetas, como se observa la figura 72, para ingresar al sistema de la máquina que va a realizar el ensayo.

Este ensayo no realizamos el procedimiento dual debido a que presentaba varios defectos.

Figura 70

Probetas de Impacto Metalografiadas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 71

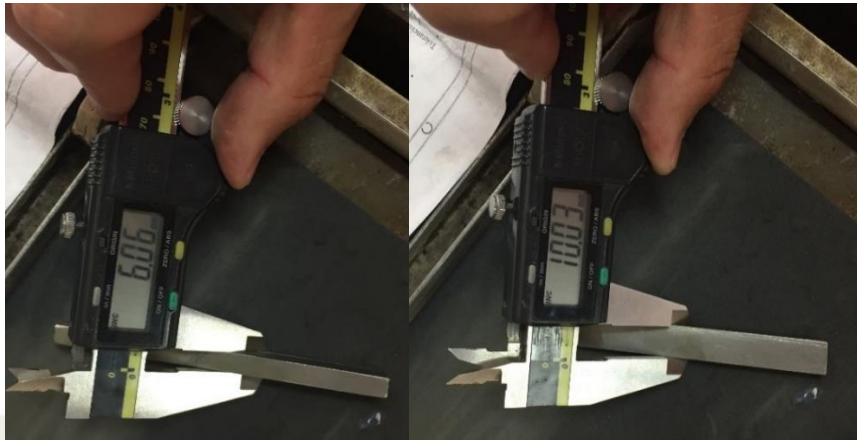
Selección de Zonas en las Probetas de Charpy.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 72

Medición de las Probetas de Charpy.



Fuente: Elaboración propia.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

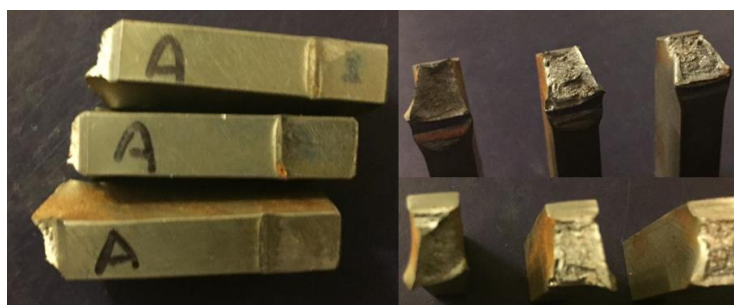
Resultado: Aceptable

Registro en el material de aporte:

Realizado el ensayo Charpy procedemos a realizar la revisión de las probetas donde se generó la muesca en el material de aporte, como se observa la figura 73, y la realización de una tabla donde nos da los valores de energía de impacto que es la tabla 56, como también la realización del su diagrama, visto en la figura 74.

Figura 73

Probeta de Impacto en el Material de Aporte.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56

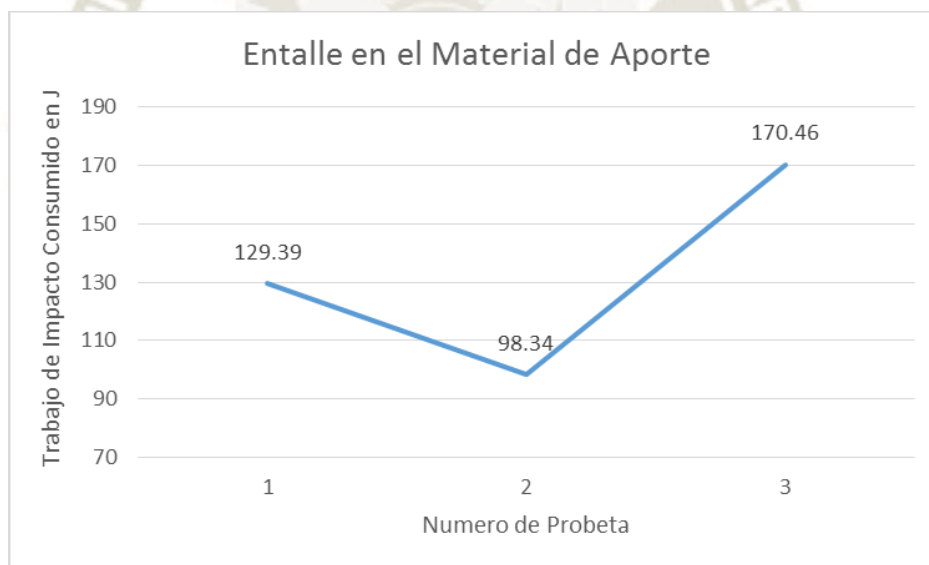
Entalle en V en la Zona del Material de Aporte.

N	Energía Potencial	W	W (Fricc)	NISTcorr
	J	J	J	J
1	449.95	130.69	0.99	129.39
2	449.95	99.64	1.02	98.34
3	449.95	171.76	0.95	170.46

Fuente: Elaboración propia.

Figura 74

Diagrama de Energía de Impacto en el Material de Aporte.



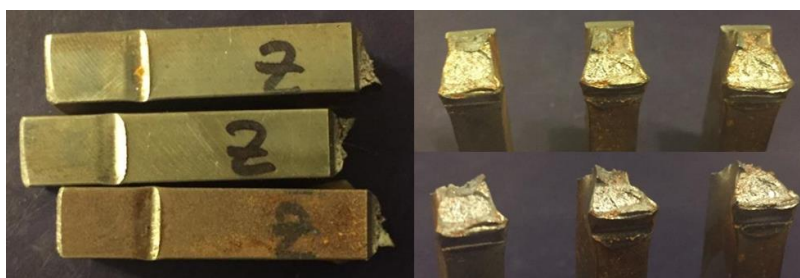
Fuente: Elaboración propia.

Registro en la línea de fusión:

Realizado el ensayo Charpy procedemos a realizar la revisión de las probetas donde se generó la muesca en la línea de fusión, como se observa la figura 75, y la realización de una tabla donde nos da los valores de energía de impacto que es la tabla 57, como también la realización del su diagrama, visto en la figura 76.

Figura 75

Probetas de Impacto en la Línea de Fusión.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57

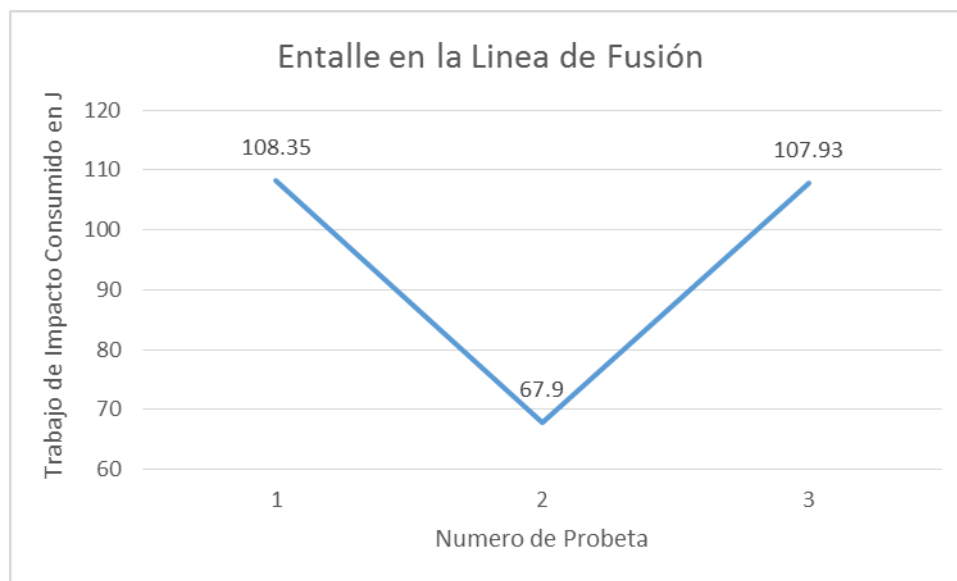
Entalle en V en la Línea de Fusión.

N	Energía Potencial	W	W (Fricc)	NISTcorr
	J	J	J	J
1	449.95	109.65	1.01	108.35
2	449.95	69.2	1.06	67.9
3	449.95	109.23	1.01	107.93

Fuente: Elaboración propia.

Figura 76

Diagrama de Energía de Impacto en la Línea de Fusión.



Fuente: Elaboración propia.

Comentarios:

Las pruebas de en el material de aporte y en la línea de fusión, presentaron un comportamiento tenaz ocasionando roturas dúctil en las probetas.

5. PROGRAMA DE INSPECCIÓN

Con la información sustentada a lo largo del proyecto, se realizará un plan de inspección que abarcará desde el inicio del proyecto, es decir desde la recepción del material, hasta la puesta en marcha del equipo. Esto se mostrará en el ANEXO 1

6. ANALISIS DE COSTOS

Para llegar a un análisis de costos debemos de tener en cuenta varios puntos.

- Proveer información necesaria para cotizar un trabajo.
- Comparar la economía de la soldadura con respecto a otros procesos de fabricación.
- Comparar las ventajas competitivas entre uno u otro proceso de soldadura.
- Establecer información para decidir entre alternativas de diseño.
- Evaluar propuestas de cambio en los procedimientos.

Los costos de soldadura esta en:

- Costos de mano de obra
 - Mano de obra del soldador
 - Mano de obra adicional
- Costos materiales.
 - Costo de consumibles.
 - Costo de energía motriz.
- Costos indirectos.
 - Costos administrativos.
 - Costo de equipos adicionales.
 - Depreciación de maquinarias.
 - Lucro cesante.
 - Costo de preparación de bordes.
 - Costo de inspección.

Para la estimación de material depositado se necesita conocer el concepto de los parámetros de operación, seleccionar y definir los mismos y saber cómo influyen y se relacionan entre sí.

En los parámetros de operación están:

- Factor de operación (%).
- Velocidad de soldeo (kg/hr).
- Eficiencia de soldeo (%).
- Tasa de deposición.

El factor de operación está estimado en un 30% a 50% debido a que el método de soldeo es manual, obteniéndolo de la tabla 58, va a depender de la cantidad de tiempo muertos en el proceso como cambio de las colillas por nuevos electrodos, descanso del soldador entre cordón y cordón, limpieza de cordón, posición de soldeo, herramientas u accesorios y varios factores más que se pueden presentar. Un soldador con eficiencia, conocimiento y habilidad puede aumentar este factor, sobre todo de la supervisión. Cada proceso también tiene su factor en nuestro caso que es TIG va entre 5% a 20%, si el proceso se hubiera realizado en SMAW vendría a ser entre 5% a 30%, así como los diferentes procesos tienen su eficiencia vistos en la tabla 59.

Tabla 58

Factor de Operación Según el Procesos de Soldadura.

Métodos de Soldeo	Límites de Factor de Operación (%)
Manual	30 a 50
Semiautomático	40 a 80
Mecanizado	60 a 90
Automático	60 a100

Fuente: López & Rosell (2013)

Tabla 59

Eficiencia de los Procesos de Soldadura.

Procesos de Soldadura	Eficiencia %
SMAW	60 - 70
GMAW	90 - 98
FCAW	75 - 85
SAW	90 - 100
GTAW	95 - 100

Fuente: López & Rosell (2013)

La velocidad de soldeo es la cantidad de material (kilos) que se está aportando al conjunto soldado, en un tiempo determinado (horas). Depende del tipo de consumible, diámetro del consumible, posición de soldeo, donde mayor mente depende de los valores eléctricos (Amperaje) y proceso de soldadura usado.

La densidad de metal de aporte es la misma que el material base que viene a hacer acero al carbono que es 7800 kg/m^3

7. COSTO DE METAL DE APORTE

Cantidad de Metal

Obtenemos las dimensiones del bisel en la figura 77 para poder obtener la cantidad de metal que vamos a utilizar.

$$MD = A \times D$$

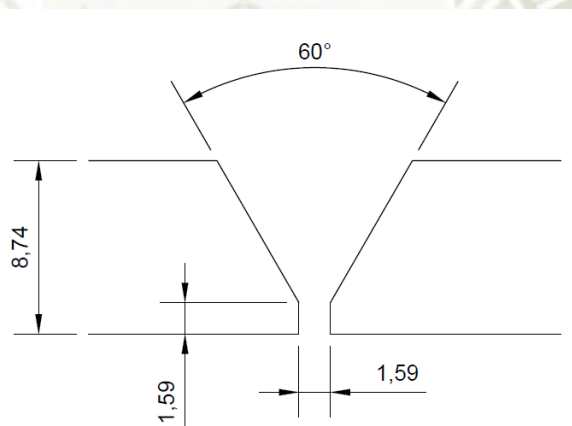
MD: Cantidad de Metal Depositado (kg/cm)

A: Área de sección de unión (cm^2)

D: Densidad del Metal de Aporte (kg/cm^3)

Figura 77

Unión de los Tubos (Bisel)

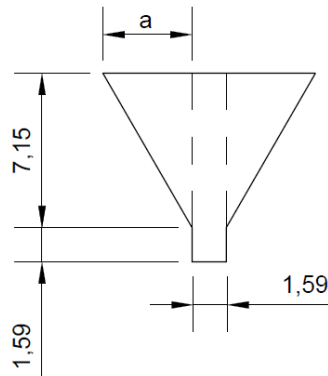


Fuente: Elaboración propia

Para determinar el área descomponemos la unión como se observa en la figura 78.

Figura 78

Descomposición de la Unión de Tubos.



Fuente: Elaboración propia

$$\operatorname{tg} 30^{\circ} = \frac{a}{7.15} \quad a = 7.15 \times 0.57 \quad a = 4.0755 \text{ mm}$$

$$\text{Area triángulos} = 4.0755 \text{ mm} \times 7.15 \text{ mm} \quad \text{Area triángulos} = 29.1398 \text{ mm}^2$$

$$\text{Area rectangulo} = 1.59 \text{ mm} \times 8.74 \text{ mm} \quad \text{Area rectangulo} = 13.8966 \text{ mm}^2$$

$$\text{Area Total} = 29.1398 \text{ mm}^2 + 13.8966 \text{ mm}^2 \quad \text{Area Total} = 43.0365 \text{ mm}^2$$

$$MD = A \times D$$

$$MD = 4.30364 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad MD = 3.3568 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Metal de Aporte Requerido:

$$CA = \frac{MD}{RD}$$

CA: Consumo de material de aportación (kg/m)

RD: Rendimiento de deposición – Ver Tabla 54

$$CA = \frac{3.3568 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{0.95}$$

$$CA = 3.5335 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Estimación del coste de material de aporte:

$$MA = PA \times CA$$

MA: Coste del material de aportación (\$/kg)

PA: Precio del material de aportación (\$/kg)

CA: Consumo de material de aportación (kg/m)

$$MA = 6 \text{ \$/kg} \times 3.5335 \text{ kg/m}$$

$$MA = 21.201 \text{ \$/m}$$

8. COSTO DE GAS DE PROTECCIÓN

Está relacionado con la velocidad de soldeo o el tiempo de arco necesario para efectuar una unión. El gas es utilizado con un determinado caudal, que viene medido por los caudalímetros (López & Rosell, 2013)os. El coste de gas por unidad de longitud de soldadura.

$$CG = \frac{PG \times CP \times TA}{60}$$

CG: Coste del gas (\$/m)

PG: Precio del gas (\$/m³) – 6 \$/m³

CP: Caudal del gas de protección (m³/hora) – Se obtiene del propio procedimiento

$$15 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

TA: Tiempo de arco (min) – Se obtiene de propio procedimiento (9.783 min)

$$CG = \frac{5 \text{ \$/m}^3 \times 0.9 \text{ m}^3/\text{hora} \times 9.783 \text{ min}}{60}$$

$$CG = 0.8805 \text{ \$}$$

9. COSTO DE MANO DE OBRA

El coste de la mano de obra se basa normalmente, en el precio hora que se paga al trabajador. Como también se les paga por el número de piezas producidas por hora.

Los costos de la mano de obra, puede expresarse como coste por unidad de longitud de soldadura.

$$MO = \frac{CS \times MD}{VD \times FO}$$

MO: Costo mano de obra (\$/m)

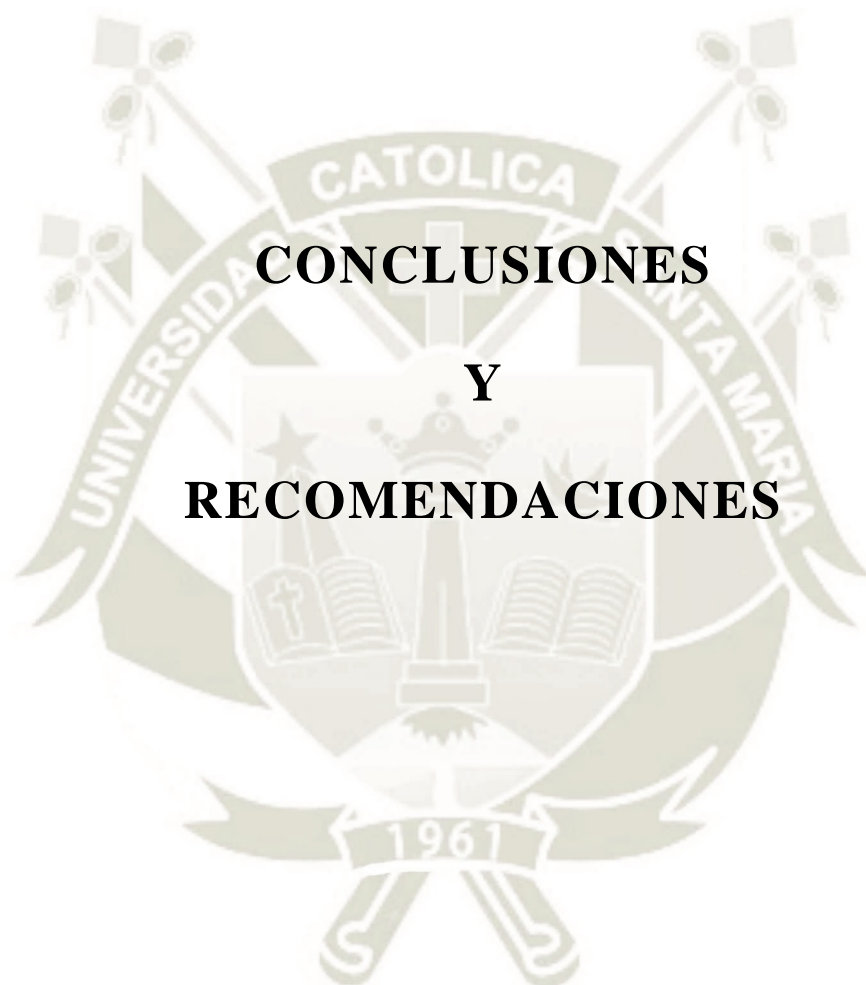
VD: Velocidad de deposición (kg/hora) – 20 kg/hora resultado mediante ensayos

FO: Factor de operación – Tabla 55

CS: Coste de soldador (\$/hora) – 12 \$/hora

$$MO = \frac{12 \$/hora \times 3.3568 kg/m}{20 kg/hora \times 0.3}$$

$$MO = 6.7136 \$/m$$



**CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES

- En la norma API 1104 solo nos pide pasar dos ensayos destructivos, en el cual también es válido realizar más ensayos para obtener más resultados y así poder asegurar que el registro de calificación de procedimiento de soldadura WPS es el más adecuado.
- Al realizar solo el ensayo de doblado de raíz como nos pide en nuestro caso, cuando el proceso es dual (se usa dos procesos de soldadura TIG y SMAW), solo mostraría el cordón de raíz que fue soldado por TIG, tapando así los demás cordones que fueron hechos por SMAW y no pudiendo observar los defectos que llegaría a traer estos cordones.
- El procedimiento de soldadura que solo incluye TIG nos brindó un mejor resultado libre de discontinuidades y defectos.
- La soldadura con TIG es un proceso más costoso ya sea en instrumentos u equipos y el soldador mismo que con la soldadura SMAW, pero nos brinda una mayor seguridad y eficiencia en la soldadura debido a que la tubería será sometida a altas presiones y temperaturas altas, e influye también los cordones de acabado que si presentan porosidad podría generar acumulación de hidrogeno y generar la oxidación del metal.
- En la calificación del proceso de soldadura no es necesario la posición en la que va a hacer soldado y si es que el soldador cuenta con homologación, ya que solo va a hacer calificado el cordón de soldadura.

RECOMENDACIONES

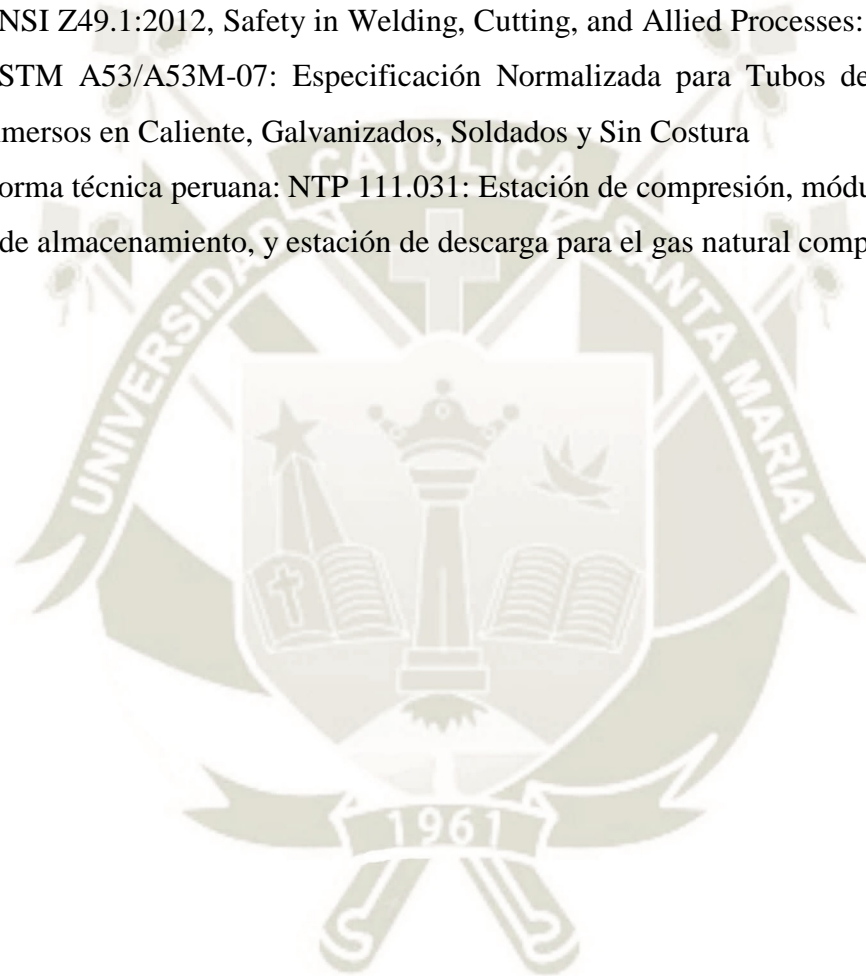
- La utilización de instrumentos u equipos y consumibles adecuados para cada tipo de trabajo y de alta calidad nos ayuda a realizar un trabajo rápido y eficiente. Como la utilización del filtro en la antorcha para el proceso TIG, hace que la salida del gas no sea turbulento y ayuda la obtención de un arco estable en lo que podemos obtener mayor control al soldar.
- La mala preparación de las probetas de ensayo podría generar falsos resultados como en el caso del ensayo de doblado de raíz que genere mordedura y en el caso de charpy si es que no se identifica las zonas de soldadura o la ZAC para la generación de la muesca nos podría dar falsos resultados.
- Tener soldadores capacitados y homologados nos asegura el cumplimiento del WPS (registro de calificación de procedimiento de soldadura) y poder pasar las pruebas de ensayo.
- Antes de ejecutar la soldadura en las zonas de trabajo los soldadores deben de pasar la calificación correspondiente.
- El proceso de TIG debe ser soldador en zonas cerradas o libres de corriente de viento debido a que pueden interrumpir la campana de protección que es generada con el gas de protección, en caso de no poder ser la zona de trabajo se tendrá que soldar con procesos que no tengan gas de protección, en este caso se recomienda soldar con SMAW.
- Los instrumentos u equipos y consumibles debemos de cumplir con las recomendaciones del fabricante, ya sea en el caso de los electrodos revestidos donde algunos necesitan un almacenamiento adecuado y estar en un horno debido a que son de bajo contenido de hidrogeno. Si es usado el electrodo revestido de bajo hidrogeno sin someterse al tratamiento adecuado, se dificultaría la soldadura y se incrustaría hidrogeno en el cordón de soldadura.

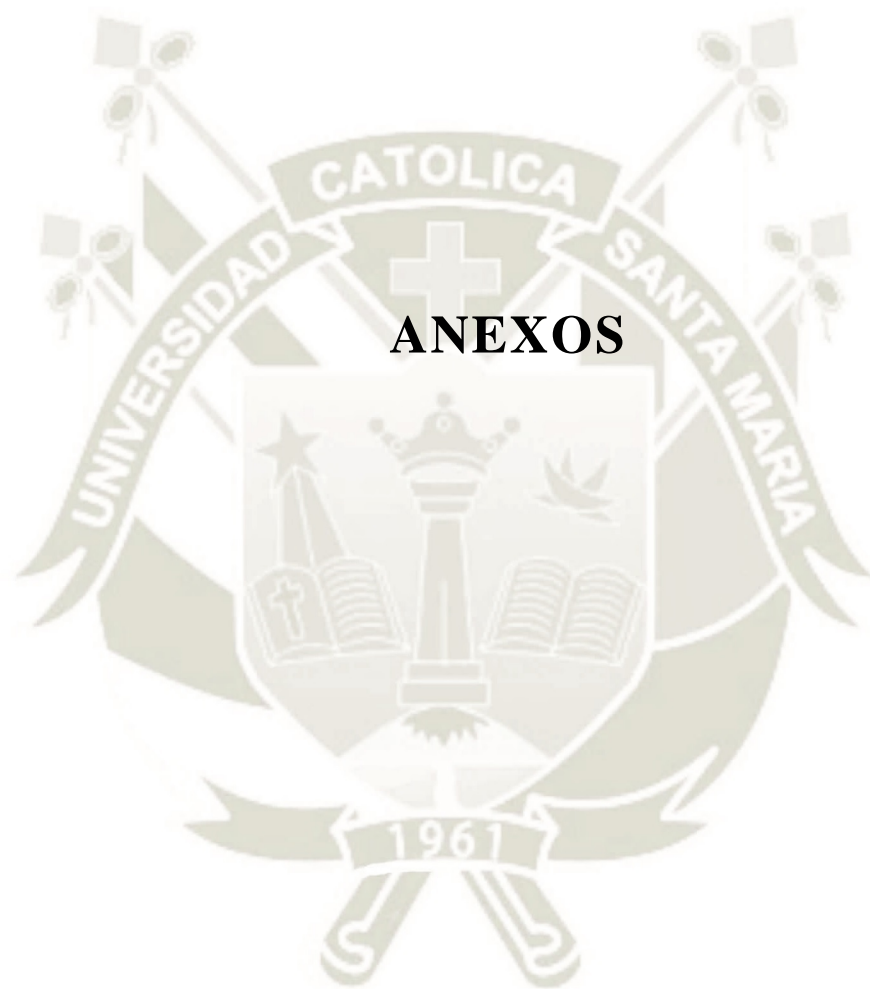



REFERENCIA

- API STD 1104. (2018). Welding of Pipelines and Related Facilities. Washington D.C.: American Petroleum Institute.
- Aracil Cadenas, M., & Romero Camacho, R. (2012). Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido. Madrid: Asociación Española de Soldadura y Tecnologías - CESOL.
- Aracil Cadenas, M., & Romero Camacho, R. (2012). Soldeo TIG. Madrid: Asociación de Soldadura y Tecnologías - CESOL.
- ASME B31.8. (2018). Gas Transmission and Distribution Piping Systems. Nueva York: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASME BPVC.IX. (2015). ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code. Nueva York: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASTM A106. (2019). Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service. Pensilvania: The American Society for Testing and Materials.
- ASTM A53. (2007). Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless. Pensilvania: The American Society for Testing and Materials.
- Hernández Riesco, G., Rosell González, J. V., & Isidro, T. S. (2012). Introducción General a la Tecnología del Soldeo. Aspectos Generales. Madrid: Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión - CESOL.
- López, I., & Rosell, J. (2013). Factores Económicos y Productividad. Madrid: Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión - CESOL.
- Koellhoffer, L. (2007). Manual de Soldadura. México: Limusa S.A.
- Chiara (2018). Proceso de Soldadura GTAW. Lima: Diplomatura de Especialización en Ingeniería de Soldadura.
- Soldexa. (2019). Manual de Soldadura e Catálogo de Productos. Lima: OERLIKON.
- INDURA, Manual de sistemas y materiales de soldadura.
- Lincoln Electric (2019), Accesorios de soldadura.

- AWS A3.0M/A3.0:2010: Standard welding terms and definitions: Definiciones y términos estándar de las soldaduras
- AWS A2.4:2012, Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination : Símbolos estándar para soldadura, soldadura fuerte y ensayos no destructivos
- AWS A5.1 Specification for mild steel covered arc welding electrodes: Electrodo para soldadura de aceros al carbono.
- ANSI Z49.1:2012, Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes: Seguridad de los
- ASTM A53/A53M-07: Especificación Normalizada para Tubos de Acero Negro e Inmersos en Caliente, Galvanizados, Soldados y Sin Costura
- Norma técnica peruana: NTP 111.031: Estación de compresión, módulos contenedores o de almacenamiento, y estación de descarga para el gas natural comprimido.





SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD		001-2020-GD/CC/PL-01		
PLAN DE PUNTOS DE INSPECCIÓN - PPI		Fecha	08-AGO-20	
SOLDADURA DE TUBERIAS EN ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL		Rev.	1	
		Pag.: 1/5		

A. ALCANCE


EMISOR: (CONTRATISTA)	
PROYECTO:	"SOLDADURA DE TUBERIAS EN ESTACION DE DESCOMPRESION DE GAS NATURAL"
SERVICIO:	SUMINISTRO, FABRICACION Y MONTAJE DEL SISTEMA DE TUBERIAS PARA LA ESTACION DE DESCOMPRESION DE GAS NATURAL
Disciplina Concerniente:	MECANICA

B. VALIDACIÓN

08/08/2020	A	Emitido para revisión	FC/WA	JD/DR	
Fecha	Rev.	Revisión	CONTRATISTA	QC-CONTRATISTA	CLIENTE

C. CODIGOS APLICABLES, ESTANDARES Y ESPECIFICACIONES

- Leyes y Regulaciones Peruanas.
- Especificaciones del Cliente y Procedimientos.
- Estándares.
 - NTP Norma Técnica Peruana
 - ASTM American Society for Testing and Materials
 - ASME American Society of Mechanical Engineers
 - AWS American Welding Society
 - API American Petroleum Institute
 - NACE National Association of Corrosion Engineers
 - SSPC Steel Structures Painting Council

SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD		001-2020-GD/CC/PL-01		
PLAN DE PUNTOS DE INSPECCIÓN – PPI		Fecha	08-AGO-20	
SOLDADURA DE TUBERÍAS EN ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL		Rev.	1	
		Pag: 2/5		

➤ Especificaciones Técnicas

Especificaciones referenciales a Tuberías:

- ASTM A106 Specification for Structural Steel.
- ASTM A53 Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low- and Intermediate-Tensile Strength.
- API STD 1104–2013 Welding of Pipelines and Related Facilities, 21st Edition.
- ASME B31.8–2018 Gas Transmission and Distribution Piping Systems “Sistemas de Tuberías de Distribución y Transporte de Gas”
- ASME SECCION IX Boiler and Pressure Vessel Code Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders Brazers, and Welding and Brazing Operators.

Especificación referente a Tratamiento superficial y pintura de tuberías:

- ASTM D3359 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- ASTM D4285 Standard Test Methods for Indicating Oil or Water in Compressed Air.
- ASTM D4541 Standard Test Methods for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.
- ASTM E337 Standard Test Methods for Measuring Humidity with a Psychrometer.
- ASTM D4417 Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel.
- SSPC-SP1 Solvent Cleaning.
- SSPC-SP2 Hand Tool Cleaning.
- SSPC-SP10 Near White Blast Cleaning.
- ASTM D3276 Standard Guide for Painting Inspectors (Metal Substrate).
- ISO 8502-3 Test for the assessment of Surface Cleanliness.
- ASTM E337 Standard Test Method for Measuring Humidity with Psychrometer (the Measurement of Wet and Dry Bulb Temperatures).
- ASTM D1186 Standard Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied Ferrous Base.
- ASTM D4414 Standard Practice for Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages.

ITEN	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
PLAN DE FABRICACIÓN										
1.0 Recepción de materiales y equipos										
1.1	Recepción de materiales	<ul style="list-style-type: none"> Listado de materiales. Órdenes de compra. Certificados de Calidad. Procedimiento de recepción de material. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de especificaciones técnicas. Estado físico del suministro. Dimensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Medición directa con flexómetro, pie de rey. 	<ul style="list-style-type: none"> Cada vez que ingresa material del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Según normas ASTM (A53) (A106). 	V, I, R	P	INGESOLD-QA/QC-001
1.2	Recepción de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Listado de materiales. Órdenes de compra y/o servicio. Certificados de Calidad. Procedimiento de recepción de material. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de especificaciones técnicas. Estado físico del suministro. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Cada vez que ingresa al proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Según normas AWS (A5.1 / A5.18). Según hoja técnica de fabricante. 	V, I, R	P	INGESOLD-QA/QC-001
2.0 Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores										
2.1	Selección/ Emisión de procedimientos de soldadura (WPS)	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones de Cliente. 	Responsable QC	<ul style="list-style-type: none"> Procesos de soldadura aplicables. Detalles de juntas. Variables esenciales. Cumplimiento de especificaciones técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Antes de iniciar los trabajos de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo a ASME B31.8. De acuerdo a API 1104. 	V, I, R, P	R, PE	INGESOLD/WPS
2.2	Calificación de procedimientos de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones del Cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Probeta(s): tipo y dimensiones. Geometría de la junta. Verificación de parámetros de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Si un WPS no cubre las variables esenciales de API 1104. 	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo a API 1104. 	V, I, R, P	R, PE	INGESOLD/PQR
			Laboratorio CITE MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la tracción. Resistencia al doblado de raíz. Nick Break. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. 	<ul style="list-style-type: none"> Por cada probeta. 	<ul style="list-style-type: none"> Según API 1104. 	V, I, R, P	R, PE	
2.3	Calificación de soldadores	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones del Cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones de las probetas. Material base. Posición de soldadura. Parámetros de soldadura. Ejecución de soldadura. Pruebas de tracción, doblado de raíz y Nick Break. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Por cada soldador. 	<ul style="list-style-type: none"> Según API 1104. 	V, I, R, P	R, PE	INGESOLD/WPQR

Tipo de Control: V= Verificar, I = Inspeccionar, R = Revisar, PE = Punto de espera, P = Presenciar.

ITEN	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
PLAN DE FABRICACIÓN										
3.0 Fabricación en taller										
3.1	Marcado y codificación de partes	<ul style="list-style-type: none"> • Planos aprobados para fabricación. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> • Método de marcado. • Identificación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por cada elemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Marcado de acuerdo a marca de plano. • Cada parte es vinculada a su correspondiente certificado de calidad de material. 	V, I, R	R	INGESOLD-QA/QC-002
3.2	Trazo y corte	<ul style="list-style-type: none"> • Planos aprobados para fabricación. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones. • Ángulos de bisel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visual. • Medición directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por cada elemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Según planos de detalle aprobados para fabricación. 	V, I, R	R	INGESOLD-QA/QC-003
3.3	Habilitado y armado	<ul style="list-style-type: none"> • Planos aprobados para fabricación. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones. • Apuntalado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visual. • Medición directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por cada elemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo a planos aprobados para construcción. 	V, I, R	R	INGESOLD-QA/QC-003
3.4	Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Planos aprobados para fabricación. • Especificaciones del cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de procedimiento de soldadura aprobado (WPS). • Calificación de soldadores. • Metal base y de aporte. • Parámetros de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visual. • Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Al iniciar un nuevo elemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Según API 1104. 	V, I, R	R, PE	INGESOLD-QA/QC-004
		<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de inspección visual de soldadura. • Especificaciones del cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> • Acabados. • Discontinuidades. • Cumplimiento de procedimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visual. • Medición directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • 100%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Según API 1104. 	V, I, R	R, PE	
		<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de líquidos penetrantes. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> • Discontinuidades. • Defectos en soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visual. • Medición directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • PT 30% en los elementos estructurales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Según API 1104. 	V, I, R	R, PE	

Tipo de Control: V= Verificar, I = Inspeccionar, R = Revisar, PE = Punto de espera, P = Presenciar.


ITEN	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
PLAN DE FABRICACIÓN										
4.0 Tratamiento Superficial y Pintura										
4.1	Preparación superficial	<ul style="list-style-type: none"> Especificación técnicas Hojas técnicas de pintura Estándares SSPC. ASTM D4417 - Medición del perfil de anclaje. SSPC SP10: Limpieza con chorro al metal casi blanco SSPC SP6: Limpieza con chorro comercial Plan de Calidad del Proyecto 	Inspector QC	Antes del granallado: <ul style="list-style-type: none"> Condiciones ambientales Condiciones de cabina de granallado. Después del granallado: <ul style="list-style-type: none"> Limpieza superficial. Perfil de anclaje. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual Medición indirecta: cinta réplica 	<ul style="list-style-type: none"> Por cada lote de elementos granallados. 	<ul style="list-style-type: none"> Según especificación técnica. Según estándar SSPC y cartilla VIS-1. Según perfil requerido en hoja técnica de pintura. 	V, I, R	R, PE	
4.2	Pintado	Procedimiento de pintado. <ul style="list-style-type: none"> Especificación técnica ASTM E337 - Medición de condición ambiental con psicrómetro. SSPC PA2 - Medición de espesor de película seca. Plan de Calidad del Proyecto 	Inspector QC	Antes del pintado: <ul style="list-style-type: none"> Condiciones ambientales. Condiciones de cabina de pintura. 	Medición indirecta: Termómetro analógico de contacto, Psicrómetro de voleo.	En cada lote de elementos granallados.	<ul style="list-style-type: none"> Humedad Relativa (%HR): 40 - 85%. Tº superficie - Tº rocío ≥ 3ºC. Temperatura Superficial: 4 - 49ºC. De acuerdo con hoja técnica de pintura. 	V, I, R	R, PE	
				Durante el pintado: <ul style="list-style-type: none"> Condiciones ambientales. Espesor de película húmeda. 	<ul style="list-style-type: none"> Medición indirecta: Termómetro analógico de contacto, Psicrómetro de voleo. Medición directa: Medidor de película húmeda 	Por muestreo de cada lote de elementos granallados.	<ul style="list-style-type: none"> Humedad Relativa (%HR): 40 - 85%. Tº superficie - Tº rocío ≥ 3ºC. Temperatura Superficial: 4 - 49ºC. De acuerdo con hoja técnica de pintura. Según procedimiento de pintado. 	V, I, R	R, PE	
				Procedimiento de pintado. <ul style="list-style-type: none"> Especificación técnica ASTM E337 - Medición de condición ambiental con psicrómetro. SSPC PA2 - Medición de espesor de película seca. Plan de Calidad del Proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> Medición directa: Medidor de película seca 	<ul style="list-style-type: none"> Por cada elemento 	Espesor de Película Seca será: <ol style="list-style-type: none"> Sistema de revestimiento Categoría A Sistema de revestimiento Categoría C. <ul style="list-style-type: none"> Según estándar SSPC-PA2 	V, I, R	R, PE	

Tipo de Control: V= Verificar, I = Inspeccionar, R = Revisar, PE = Punto de espera, P = Presenciar.

REGISTRO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)											
De acuerdo a API 1104 - Edición 2018											
Código:		Fecha de Elaboración		7/08/2020		Revisión:		0		Página 1 de 1	
Nombre de la Compañía:		GASODUCTOS S.A.				Identificación:					
Proceso(s) de soldadura:		API 1104				Tipo:		Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/>		Mecanizado <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>	
PQR de soporte N° (s):		GTAW - SMAW									
DISEÑO DE LA JUNTA USADA											
Tipo:		A Tope				POSICIÓN					
Ranura:		Simple <input checked="" type="checkbox"/>		Doble <input type="checkbox"/>		Posición a Tope:		Todas <input type="checkbox"/> Filete: <input type="checkbox"/>		Todas <input type="checkbox"/>	
Respaldo:		SI <input type="checkbox"/>		NO <input checked="" type="checkbox"/>		Progresión Vertical:		Ascendente: <input checked="" type="checkbox"/>		Descendente: <input type="checkbox"/>	
Material de Respaldo:		NO									
Abertura de raíz:		1.59 mm		Cara de raíz:		0 - 0.5 mm					
Ángulo de ranura:		60° +/- 5°		Radios (J - U):		-					
Resanado Posterior:		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		Método:		-			
METAL BASE											
Especificación del Material:		ASTM A53 S Gr B, A106 Gr B				Tipo de Corriente:				CC/DC	
Esfuerzo de Fluencia mínimo es:		240 MPa				Electrodo Tungsteno (GTAW):		E(-)			
Grupo (API):		Grupo A (Hasta esfuerzo de fluencia de 290 Mpa)				Tamaño de Electrodo:		2.5 mm			
Rango de espesores:		Desde 4.8 mm hasta 19.1 mm				Tipo de Electrodo:		EWT-2 Diametro 2.5			
A tope:		SI <input type="checkbox"/>		Filete: <input type="checkbox"/>		Rango de Amperaje:		(Ver Tabla)			
Diametro (Tubería):		2 "				Rango de Voltajes:		(Ver Tabla)			
METAL DE APORTE											
Especificación AWS:		A 5.18		A 5.1		Técnica					
Clasificación AWS:		ER70S/6		E7018		Cordón recto u oscilante:		Oscilante			
Grupo (API):		5		3		Pase Simple o pase Múltiples (por lado):		Múltiple			
Espesor de Metal de Soldadura:		(Ver Tabla)				Número de Electrodo:		-			
PROTECCIÓN											
Fundente:		No aplica		Gas:		Argón		Espaciado de Electrodo:		NO Longitudinal: <input type="checkbox"/>	
				Composición:		99.9 % Argón		Lateral: <input type="checkbox"/>			
Fundente - electrodo:		No aplica		Caudal:		10 - 15 L/min		Método de Enfriamiento:		-	
				Tamaño de boquilla:		6 - 9 mm		Limpieza entre Pases:		Escobilla circular y disco abrasivo	
								Tiempo entre pases máximo:		10 minutos	
								Alineación:		SI	
PRECALENTAMIENTO											
Temperatura de precalentamiento:		mín: 10 °C		máx: -		Rango de Temperatura:		No Aplica			
Temperatura entre pases:		mín: 100 °C		máx: 200 °C		Tiempo de mantenimiento:		No Aplica			
PROCEDIMIENTO DE SOLDEO											
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (plg/min)	Progresión			
		Clase (AWS)	Díámetro (plg)	Tipo y Polaridad	Amperaje			Raíz, Caliente, Relleno, Acabado			
Raíz	GTAW	ER70S/6	3/32"	DCEN	20 - 150	10 - 13 V	150 - 200				
Relleno	SMAW	E7018	5/32"	DCEP	120 - 190	22 - 25 V	200 - 250				
Acabado - n	SMAW	E7018	3/16"	DCEP	170 - 240	22 - 25 V	150 - 200				
DISEÑO DE LA JUNTA EMPLEADA											
				<p>R: 1.59 ± 0.79 mm. t: 0 - 0.5 mm. α: 60° ± 5</p>							
Inspector de Soldadura		Coordinador QA/QC			Supervisión						
NOMBRE											
FIRMA											
FECHA											

REGISTRO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)										
De acuerdo a API 1104 - Edición 2018										
Código:		Fecha de Elaboración		7/08/2020		Revisión:		0		Página 1 de 1
Nombre de la Compañía				GASODUCTOS S.A.			Identificación:			
Proceso(s) de soldadura				API 1104			Tipo:		Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/>	
PQR de soporte N° (s):				GTAW					Mecanizado <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>	
DISEÑO DE LA JUNTA USADA										
Tipo:				A Tope			POSICIÓN			
Ranura:		Simple <input checked="" type="checkbox"/>		Doble <input type="checkbox"/>		Posición a Tope:		Todas <input type="checkbox"/> Filete: <input type="checkbox"/> Todas <input type="checkbox"/>		
Respaldo:		SI <input type="checkbox"/>		NO <input checked="" type="checkbox"/>		Progresión Vertical:		Ascendente: <input checked="" type="checkbox"/> Descendente: <input type="checkbox"/>		
Material de Respaldo:				NO						
Abertura de raíz:		1.59 mm		Cara de raíz:		0 - 0.5 mm				
Ángulo de ranura:		60° +/- 5°		Radios (J - U):		-				
Resanado Posterior:		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		Método:		-		
METAL BASE										
Especificación del Material:				ASTM A53 S Gr B, A106 Gr B			Tipo de Corriente:		CC/DC	
Esfuerzo de Fluencia mínimo es:				240 MPa			Electrodo Tungsteno (GTAW):		E(-)	
Grupo (API):		Grupo A (Hasta esfuerzo de fluencia de 290 Mpa)			Tipo de Electrodo:		EWT-2 Diámetro 2.5			
Rango de espesores:		Desde 4.8 mm hasta 19.1 mm			Rango de Amperaje:		(Ver Tabla)			
A tope:		SI <input type="checkbox"/> Filete: <input type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>		Rango de Voltajes:		(Ver Tabla)		
Diámetro (Tubería):		2 "			TÉCNICA					
METAL DE APORTE										
Especificación AWS:				A 5.18			Cordón recto u oscilante:		Oscilante	
Clasificación AWS:				ER70S/6			Pase Simple o pase Múltiples (por lado):		Múltiple	
Grupo (API):				5			Número de Electrodo:		-	
Espesor de Metal de Soldadura:				2.5 mm			Espaciado de Electrodo:		NO Longitudinal: <input type="checkbox"/> Lateral: <input type="checkbox"/>	
PROTECCIÓN										
Fundente:		No aplica		Gas:		Argón		Método de Enfriamiento:		-
				Composición:		99.9 % Argón		Limpieza entre Pases:		Escobilla circular y disco abrasivo
Fundente - electrodo:		No aplica		Caudal:		10 - 15 L/min		Tiempo entre pases máximo:		10 minutos
				Tamaño de boquilla:		6 - 9 mm		Alineación:		SI
PRECALENTAMIENTO										
Temperatura de precalentamiento mín:		10 °C		máx:		-		Rango de Temperatura:		No Aplica
Temperatura entre pases. mín:		100 °C		máx:		200 °C		Tiempo de mantenimiento:		No Aplica
PROCEDIMIENTO DE SOLDEO										
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (plg/min)	Progresión		
		Clase (AWS)	Diámetro (plg)	Tipo y Polaridad	Amperaje			Raíz, Caliente, Relleno, Acabado		
Raíz	GTAW	ER70S/6	2.5	DCEN	70 - 115	10 - 13 V	150 - 200			
Caliente	GTAW	ER70S/6	2.5	DCEN	90 - 150	10 - 13 V	200 - 250			
Relleno	GTAW	ER70S/6	2.5	DCEN	90 - 165	10 - 13 V	150 - 200			
Acabado - n	GTAW	ER70S/6	2.5	DCEN	90 - 145	10 - 13 V	75 - 125			
DISEÑO DE LA JUNTA EMPLEADA										
				R: 1.59 ± 0.79 mm. t: 0 - 0.5 mm. α: 60° ± 5						
Inspector de Soldadura			Coordinador QA/QC			Supervisión				
NOMBRE										
FIRMA										
FECHA										

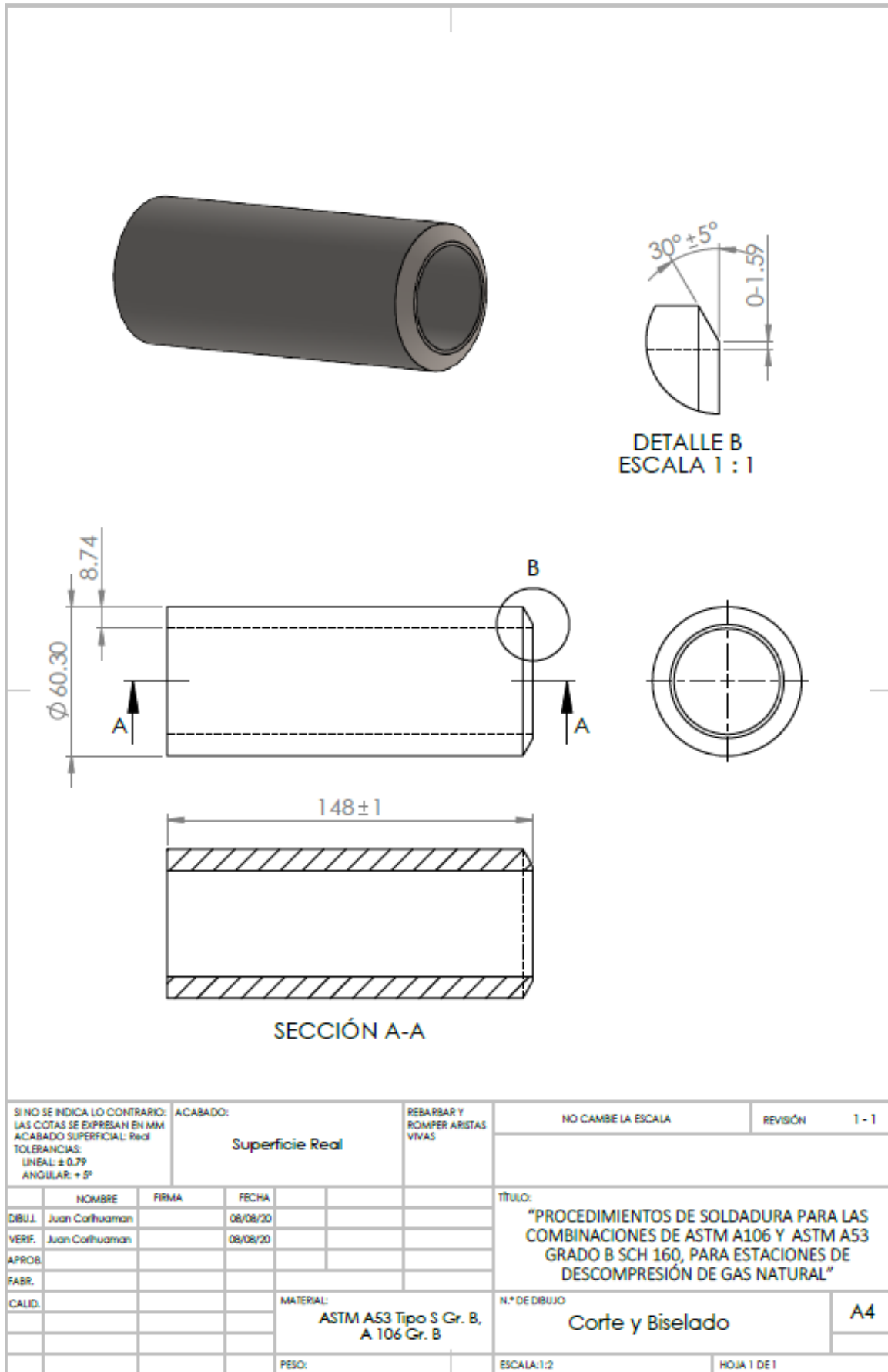
		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)					
		De acuerdo a API 1104 - Edición 2018					
Código:		Fecha de Elaboración		Revisión:	2	Página 1 de 2	
7/08/2020							
Nombre de la Compañía		GASODUCTOS S.A.		POSICIÓN			
Norma Aplicable:		API 1104		Posición a tope:		6 G	
Proceso de Soldadura:		GTAW		Filete:		No aplica	
Tipo:		Manual		Progresión:		Vertical Ascendente	
Identificación Nro.		CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS					
METAL BASE		Especificación del Material:		ASTM A53 S Gr B, A106 Gr B		Corriente:	
		Esfuerzo de fluencia mínimo esp		240 Mpa		DC	
		Grupo (API):		Grupo A		Polaridad:	
		Diámetro de la Probeta:		2 plg. - 2.375 plg. (60.32 mm)		EN (-)	
		Espesor de la Probeta:		0.344 plg Sch 160 (8.73 mm)		Amperaje	
						(Ver Tabla)	
						Electrodo de W (GTAW)	
						EWTh-2- diametro 2.5 mm	
		TÉCNICA					
						Arrastre u Oscilación:	
						Con Oscilación	
						Método de enfriamiento:	
						-	
						Velocidad de avance:	
						(Ver Tabla)	
						Limpieza entre pases:	
						Escobilla circular y Disco abrasivo	
		PRECALENTAMIENTO					
						Temperatura de Precalentamiento	
						No aplica	
						Temperatura entre Pases:	
						100°C a 180 °C	
		TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA					
						Temperatura:	
						No aplica	
						Tiempo:	
						No aplica	
		DISEÑO DE LA JUNTA EMPLEADA					
Tipo:		A tope - V		Abertura de raíz:		3 - 4 mm	
Angulo de ranura:		60° +/- 5°		Cara de raíz:		0 - 1 mm	
Respaldo:		-		Soldadura de respald:		No	
SOLDADOR:		Izquierda		Marca:			
		Derecha		Marca:			
						Fundente:	
						No aplica	
						Gas de Protección:	
						Argón 99.9%	
						Fundente electrod	
						No aplica	
						Caudal:	
						10 -15 l/min	
						N° Boquilla:	
						6	
DISEÑO DE LA JUNTA EMPLEADA							
PASE		METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)
		Clasificación		Tipo y Polaridad		(V)	
		Diámetro (mm)		Amperaje (A)			
1		ER70S-6		DC (-)		70 - 115	10 - 13
2		ER70S-6		DC (-)		90 - 150	10 - 13
3		ER70S-6		DC (-)		90 - 165	10 - 13
4-2		ER70S-6		DC (-)		90-145	75 - 125
PERSONAL							
Prueba conducida por				Informe de Laboratorio			
Certificamos que la información contenida en este registro es correcto y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del API Standard 1104-Edition 2018							
NOMBRE		Inspector de Soldadura		Coordinador QA/QC		Supervisión	
FIRMA							
FECHA							

 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) De acuerdo a API 1104 - Edición 2018							
Código:							
Fecha de Elaboración		7/08/2020		Revisión:		2	
Página 2 de 2							
ENSAYOS DESTRUCTIVOS							
ENSAYOS DE TRACCIÓN							
N° Espécimen	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo máx. (Mpa)	Tipo de Rotura y Ubicación	Resultado
1	25	8.74	218.5	108	494.25	Rotura dúctil que comienza bajo la intensidad de deformación plástica en el Material Base	Aceptable - Esta por encima de los 415 Mpa del Material Base
ENSAYO DE DOBLADO GUIADO							
N° Espécimen	Tipo de Doblado	Observaciones				Resultado	
1	Doblado de Cara	Presenta libre de defectos en el cordón de soldadura				Aceptable	
2	Doblado de Raíz	Presenta pequeñas mordeduras en los extremos de la probeta				Aceptable - las mordeduras en lo mínimo profundas	
ENSAYO DE IMPACTO							
N° Espécimen/ Distribución	Ubicación de la Muesca	Tamaño del Espécimen (mm)	Energía Abs. (J)	Temperatura de ensayo (°C)	% de Corte	Mils	Resultado
1	Material de Aporte	6 x 10 x 55	129.39	-20	100		Comportamiento tenaz ocasionando roturas dúctil
2	Material de Aporte	6 x 10 x 55	98.34	-20	100		
3	Material de Aporte	6 x 10 x 55	170.46	-20	100		
4	Línea de Fusión	6 x 10 x 55	108.35	-20	100		Comportamiento tenaz ocasionando roturas dúctil
5	Línea de Fusión	6 x 10 x 55	67.9	-20	100		
6	Línea de Fusión	6 x 10 x 55	107.93	-20	100		
ENSAYO DE ROTURA POR ENTALLA							
N° Espécimen	Observaciones					Resultados	
1	No se presentaron porosidades, se observa una buena penetración y fusión completa					Aceptables	
PERSONAL							
Prueba conducida por				Informe de Laboratorio			
Certificamos que la información contenida en este registro es correcto y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del API Standard 1104-Edition 2018							
	Inspector de Soldadura		Coordinador QA/QC		Supervisión		
NOMBRE							
FIRMA							
FECHA							

ANEXO 4

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (RCS) De acuerdo a API ESTÁNDAR			
Nro. Registro:	0001	Fecha:	7/08/2020
Página:	1/1		
CLIENTE:			
PROYECTO:			
Nombre del Soldador:			ID:
N° Procedimiento:	Cupón:	Marca/Estampa	
VALORES EMPLEADOS EN LA PRUEBA Y RANGOS CALIFICADOS			
VARIABLES DE SOLDADURA		VALORES EMPLEADOS	RANGO CALIFICADO
Proceso de soldadura	Raíz	GTAW	GTAW
	Caliente	GTAW	GTAW
	Relleno y Presentación	GTAW	GTAW
Tipo de proceso	Raíz	Manual	Manual
	Caliente	Manual	Manual
	Relleno y Presentación	Manual	Manual
Tipo de junta			
A tope V	Raíz	4 mm	3 - 4 mm
	Caliente	-	-
	Relleno y Presentación	-	-
Material Base			
Progresión Ascender	Raíz		
	Caliente		
	Relleno y Presentación		
Especificación del metal de aporte		ASTM A5.18	ASTM A106
Clasificación del metal de aporte		ER70S-6	ER70S-6
Metal de Aporte - Número de Grupo		Grupo 5	Grupo 5
Tipo de aporte		ER70S-6	ER70S-6
Diámetro exterior de la probeta		2 plg	2 plg
Espesor de la probeta		8.73 mm	8.73 mm
Posicion		6 G	6 G
Composición del gas		99.9 % Argon	99.9 % Argon
Tipo de corriente y polaridad	Raíz	95 Amp - DCEN	70 - 115 Amp - DCEN
	Caliente	150 Amp - DCEN	90 - 150 Amp - DCEN
	Relleno y Presentación	160 Amp - DCEN	90 - 165 Amp - DCEN
ENSAYOS			
Tipo de Ensayo	Informe	Resultado	Observaciones
VISUAL	Anexo 8	Aceptables	Buen aspecto del cordón y simétrico libre de defectos
RADIOGRAFÍA	Anexo 8	Aceptables	No se presentaron discontinuidades
ENSAYOS MECÁNICOS	Anexo 8	Aceptables	Pasaron las pruebas de dobles y NB
ENSAYOS ULTRASONIDO	-	-	-
Observaciones:			
	Inspector de Soldadura	Coordinador QA/QC	Supervisión
Nombre:			
Firma:			
Fecha:			

ANEXO 5



ANEXO 6