

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA DE APLICACIÓN DE SOLDADUR A EN  
SERVICIO POR PROCESOS SEMI-AUTOMATICO (GMAW) EN TUBERÍA API 5L  
X 42 BAJO ESTANDAR API 1104 APEND. B

WILLIAM AUGUSTO QUIMBAYO CONTRERAS

C.C. No 80.034.482

UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA  
BOGOTÁ D.C., MAYO DE 2014

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA DE APLICACIÓN DE SOLDADURA EN  
SERVICIO POR PROCESOS SEMI-AUTOMATICO (GMAW) EN TUBERÍA API 5L  
X 42 BAJO ESTANDAR API 1104 APEND. B

WILLIAM AUGUSTO QUIMBAYO CONTRERAS

Proyecto de grado para optar al título de ESPECIALISTA EN SOLDADURA

ASESOR:

ING. VICTOR ELBERTO RUIZ ROSAS

UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA  
BOGOTÁ D.C., MAYO DE 2014

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C; Mayo 30 de 2014

## DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mi hermana por estar en los buenos y malos momentos de la vida

A mi novia por no dejarme caer en los momentos difíciles, y estar ahí a cada momento.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal operativo de MONTAJES J.M. S.A. que sin su apoyo y experiencia no se habría logrado realizar este trabajo.

Al Ingeniero Richard Boyacá por su apoyo con la realización de los ensayos mecánicos para la calificación del procedimiento de soldadura.

A Omar Paimé, German Ruiz, Yeison Suarez y Camilo Buitrago quienes me apoyaron y colaboraron para la culminación de este proyecto.

## CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN.....	14
1. ANTECEDENTES .....	15
2. PROBLEMA .....	16
3. JUSTIFICACIÓN .....	17
4. OBJETIVOS .....	18
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
5. ALCANCE DEL PROYECTO .....	19
6. METODOLOGÍA UTILIZADA .....	20
6.1. BÚSQUEDA Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN. ....	20
6.2. ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS). ....	20
6.3. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO. ....	20
6.4. REGISTRÓ DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO. ....	20
6.5. ESTUDIO ECONÓMICO.....	20
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. MATERIAL BASE.....	21
7.1.1. Composición Química .....	21
7.1.2. Propiedades Mecánicas .....	21
7.2. PROCESO GMAW – STT .....	21
7.2.1. Generalidades.....	21
7.2.2. Ventajas GMAW – STT .....	22
7.2.3. Diferencia entre Transferencia GMAW Convencional y STT. ....	23
7.3. GASES DE PROTECCIÓN .....	25
7.4. MATERIAL DE APORTE (ER70S-6).....	26
7.4.1. Generalidades.....	26
7.4.2. Propiedades Mecánicas Material Depositado .....	26
7.4.3. Composición Química del Alambre .....	27

7.4.4. Dimensión de Alambre – Amperaje Recomendado .....	27
7.5.  NORMATIVIDAD – API 1104 .....	27
7.5.1. Generalidades.....	27
7.5.2. Información de Procedimiento.....	28
7.5.3. Ensamble para Calificación de Procedimiento .....	28
7.5.4. Probetas Calificación Procedimiento – Ensayos Destructivos .....	29
7.5.4.1 Ensayos De Tensión.....	31
7.5.4.2 Ensayos de Sanidad (Nick-break) .....	32
7.5.4.3 Ensayos de DobleZ Guiado de Raíz y Cara - Ranura.....	33
7.5.5. Ensayo de Juntas Soldadas – Camisa.....	34
7.5.5.1 Ensayos de Sanidad (Nick-Break) .....	34
7.5.5.2 Ensayo de Macro ataque .....	35
7.5.5.3 Ensayo de DobleZ de Cara - Camisa.....	36
7.6.  APTITUD PARA EL SERVICIO DE LÍNEAS DE TRANSPORTE DE GAS Y PETRÓLEO .....	37
8.  ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA .....	39
8.1.  ELABORACIÓN DE WPS .....	39
8.2.  DISEÑO DE CUPÓN DE PRUEBA.....	42
8.3.  FABRICACIÓN DE CUPÓN DE PRUEBA .....	42
8.4.  MONTAJE DE CUPÓN DE PRUEBA.....	47
8.5.  EJECUCIÓN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA .....	49
8.5.1. Juntas Ranura.....	52
8.5.2. Juntas Camisa .....	53
8.5.3. Inspección .....	56
8.6.  REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) .....	62
8.6.1. Calculo Velocidad de Avance.....	62
8.6.1.1. Junta Ranura .....	62
8.6.1.2. Junta Camisa.....	63
8.6.2. Calculo Entrada de Calor .....	63

8.6.3. Aporte de Calor Arrojado por el Equipo.....	64
8.7. ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	64
8.7.1. Ensayos de Tensión.....	65
8.7.2. Ensayos de Doblez .....	66
8.7.3. Ensayo de Sanidad (Nick-Break) .....	68
8.7.4. Ensayo de Macro ataque .....	69
9. ESTIMACIÓN DE COSTOS SOLDADURA.....	71
9.1. COSTOS PROCESO GMAW.....	71
9.1.1. Peso de Metal Depositado (PMD).....	71
9.1.2. Costo Metal de Aporte (CMA) .....	73
9.1.3. Velocidad de Deposición (VD) .....	74
9.1.4. Factor de Operación (FO) .....	74
9.1.5. Costo Gas de Protección (CTGP) .....	75
9.1.6. Costo de la Energía Eléctrica (CTEE).....	76
9.1.7. Costo Mano de Obra (CMO) .....	76
9.2. COSTOS PROCESO SMAW .....	78
9.2.1. Peso Metal Depositado (PMD).....	78
9.2.2. Costo Metal de Aporte (CMA) .....	79
9.2.3. Velocidad de Deposición (VD) .....	79
9.2.4. Factor de Operación (FO) .....	80
9.2.5. Costo Gas de Protección (CTGP) .....	81
9.2.6. Costo de la Energía Eléctrica (CTEE).....	81
9.2.7. Costo Mano de Obra (CMO) .....	81
10. CONCLUSIONES.....	82
BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXOS.....	85

## LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Transferencia STT .....	23
Figura 2. Ciclo de Transferencia Corto Circuito Convencional.....	24
Figura 3. Montaje Para Calificación de Procedimiento .....	28
Figura 4. Tee Split.....	29
Figura 5. Ubicación Probetas Para Ensayo .....	30
Figura 6. Probeta para Ensayo de Tensión .....	31
Figura 7. Probeta Ensayo de Sanidad - Ranura .....	32
Figura 8. Dimensionamiento de discontinuidades ensayo de sanidad.....	33
Figura 9. Probeta Para Ensayos Doblez Guiado de Raíz y Cara - Ranura.....	33
Figura 10. Probeta Ensayo Sanidad - Camisa .....	35
Figura 11. Probeta Ensayo Macro Ataque - Camisa.....	36
Figura 12. Probeta Dobleza de Cara – Camisa .....	37
Figura 13. Cupón de Prueba Modelado .....	42
Figura 14. Fabricación Cascota .....	43
Figura 15. Corte de Cascotas .....	44
Figura 16. Elaboración de Biseles .....	44
Figura 17. Ensamble de Cascota a Tubo Conductor. ....	45
Figura 18. Soldadura de Tapa y Half-Coupling .....	46
Figura 19. Inspección por tintas penetrantes .....	46
Figura 20. Instalación Cupón de Prueba.....	47
Figura 21. Cupón de Prueba a 45° .....	48
Figura 22. Elementos Empleados Para la Prueba. ....	48
Figura 23. Instalación Cupón de Prueba – Árbol de Prueba.....	50
Figura 24. Verificación de Manómetro – Presión de Servicio .....	51
Figura 25. Orden de Soldeo Junta Ranura .....	52
Figura 26. Soldadura en Junta Ranura .....	53
Figura 27. Secuencia de Soldeo Junta Camisa .....	53
Figura 28. Limpieza con Grata Circular .....	54
Figura 29. Inspección Visual Junta Camisa .....	57
Figura 30. Inspección Visual Junta Ranura .....	57
Figura 31. Inspección por Tintas Penetrantes .....	58
Figura 32. Corte de Probetas.....	59
Figura 33. Verificación de dimensiones (Ancho).....	59
Figura 34. Verificación de dimensiones (Largo).....	60
Figura 35. Probetas Macro ataque Junta Camisa.....	61
Figura 36. Probetas para Ensayos Mecánicos.....	62

Figura 37. Máquina de Ensayos .....	65
Figura 38. Ensayo de DobleZ.....	66
Figura 39. DobleZ de Cara.....	67
Figura 40. Ensayos de Sanidad.....	68
Figura 41. Ensayo de Macro Ataque – Medición de Catetos.....	69
Figura 42. Calculo Área Diseño Ranura en V.....	71
Figura 43. Calculo Área Seccional Filete.....	71
Figura 44. Velocidad de Deposición para GMAW.....	74
Figura 45. Velocidad de Deposición para SMAW.....	80

## LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Composición Química API 5L X42.....	21
Tabla 2 . Propiedades Mecánicas API 5L X42.....	21
Tabla 3. Propiedades Mecánicas Metal Depositado ER70S-6.....	26
Tabla 4- Composición Química Metal de Aporte ER70S-6.....	27
Tabla 5. Dimensión de Alambre – Amperaje Recomendado .....	27
Tabla 6. Tipo y Número de Probetas. ....	30
Tabla 7. Diseño de Junta - Ranura .....	40
Tabla 8. Diseño de Junta - Camisa.....	40
Tabla 9. Características Bomba.....	49
Tabla 10. Mediciones Realizadas por Pase – Juntas Ranura.....	52
Tabla 11. Junta Camisa 1 .....	55
Tabla 12. Junta Camisa 2 .....	56
Tabla 13. Identificación Probetas.....	61
Tabla 14. Velocidad de Avance Junta Ranura.....	62
Tabla 15. Velocidad de Avance Junta Camisa .....	63
Tabla 16. Aporte de Calor Junta Ranura .....	63
Tabla 17. Aporte de Calor Junta Camisa .....	64
Tabla 18. Aporte de Calor Junta Ranura .....	64
Tabla 19. Aporte de Calor Junta Camisa .....	64
Tabla 20. Verificación de Dimensiones Probetas Ensayo a Tensión.....	65
Tabla 21. Resultados Ensayos a Tensión.....	66
Tabla 22. Verificación Dimensional Probetas Doblez .....	67
Tabla 23. Resultados Obtenidos Ensayo Guiado de Doblez .....	67
Tabla 24. Verificación Dimensional Probetas Sanidad .....	68
Tabla 25. Resultados Obtenidos Ensayo de Sanidad.....	69
Tabla 26. Verificación Dimensional Probetas Macro Ataque .....	69
Tabla 27. Resultados Tamaño del Filete - Camisa .....	70
Tabla 28. Resultado Defectología Ensayo Macro Ataque.....	70
Tabla 29. Valores para cálculo de área Transversal.....	72
Tabla 30. Salario Mano de Obra .....	77
Tabla 31. Costo Total de la Soldadura GMAW .....	77
Tabla 32. Valores Para Calculo Área Transversal SMAW .....	78
Tabla 33. Costo Total de la Soldadura SMAW.....	81

## LISTA DE ECUACIONES

	pág
Ecuación 1. Ecuación Garganta Efectiva.....	40
Ecuación 2. Formula Carbono Equivalente.....	41
Ecuación 3. Entrada de Calor .....	63
Ecuación 4. Peso Metal Depositado .....	71
Ecuación 5. Sección Transversal Junta Ranura .....	72
Ecuación 6. Sección Transversal Junta Camisa.....	72
Ecuación 7. Peso Metal Depositado Total .....	73
Ecuación 8. Calculo Costo Metal de Aporte.....	73
Ecuación 9. Calculo de Factor de Operación.....	75
Ecuación 10. Costo Gas de Protección .....	75
Ecuación 11. Costo Energía Eléctrica.....	76
Ecuación 12. Costo Mano de Obra .....	77

## LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Planos Cupón de Prueba .....	85
Anexo B. Ficha Técnica Metal de Aporte .....	92
Anexo C. END.....	95
Anexo D. WPS – PQR e Informes .....	100
Anexo E. Certificados de Personal y de Calibración de Equipos.....	111

## INTRODUCCIÓN

MONTAJES J.M. S.A. en busca de mejorar productividad y procesos productivos en el tema de soldadura y establecer la viabilidad de utilizar nuevos procesos para la ejecución de soldaduras en servicio con otros procesos de soldeo

El proceso GMAW es más productivo que el proceso SMAW, donde se pierde productividad cada vez que se produce una parada para reponer el electrodo consumido siendo el proceso GMAW un proceso versátil, logrando depositar el metal a una gran velocidad y en todas las posiciones. El uso de alambres sólidos ha aumentado esta eficiencia hasta un 95% de metal depositado.

El presente documento tiene el fin de determinar la factibilidad de realizar juntas en servicio por medio del proceso semiautomático GMAW en tubería teniendo en cuenta los criterios establecidos en el estándar API 1104.

La característica principal del documento es establecer el procedimiento de soldadura para realizar este tipo de juntas por el proceso mencionado, calificar el procedimiento teniendo en cuenta las condiciones y criterios que se encuentran establecidos en el estándar API 1104 y determinar la viabilidad económica para este proceso comparado con el proceso utilizado actualmente por MONTAJES J.M. S.A.

## 1. ANTECEDENTES

Según el estándar API 1104 Apend. B para aplicación de soldaduras en servicio se deben de tener en cuenta tres factores: hidrogeno en la soldadura, desarrollo de grietas y esfuerzo a la tensión actuando sobre la soldadura. Para esto indica que para realizar estas soldaduras se debe de utilizar electrodos bajo hidrogeno (Tipo EXX18).

El proceso GMAW es un proceso limpio el cual no genera escoria, rápido permitido por el estándar API 1104. Este proceso es poco aplicado para este tipo de procedimientos debido a desconocimiento del estándar de soldadura API 1104 el cual permite el uso del proceso GMAW, respetando los ítems del párrafo anterior.

También se desconocen los diferentes procesos para la aplicación de soldadura y sus ventajas, lo cual hace que solo se use el proceso SMAW no solo en soldaduras en servicio, si no en soldaduras que se realizan en general

El proceso GMAW es bastante resistido por la comunidad de los pueblos que se encuentran cerca de los pozos por la falta de conocimiento acerca de este proceso, la mayor parte de la comunidad trabaja el proceso SMAW.

No se conocen antecedentes de aplicación de soldaduras en servicio por este proceso nacionalmente debido a lo mencionado en los párrafos anteriores.

## 2. PROBLEMA

En la industria colombiana se realizan soldaduras en servicio siguiendo los parámetros establecidos en el estándar API 1104, se utiliza el proceso SMAW ya que es el más usado y conocido. No son muy conocidas las facilidades de otros procesos para la aplicación de soldaduras para estos procedimientos como es el caso del proceso GMAW.

El proceso GMAW con respecto al proceso SMAW que es usado para soldaduras en servicio tiene ventajas como la rapidez en la aplicación de las soldaduras, reducción de tiempos muertos (paradas) ya que es con alambre continuo por lo cual no hay que cambiar de electrodo como sucede en el proceso SMAW.

Para soldaduras en servicio se puede utilizar este tipo de proceso ya que deposita baja cantidad de hidrogeno en la soldadura, cerca al 5 ml/100 g en soldadura depositada, y tiene una baja entrada de calor comparada con el proceso SMAW. Es un proceso que genera bajos humos en contraste con el proceso SMAW.

Actualmente MONTAJES J.M. S.A. tiene para este tipo de soldaduras un procedimiento de soldadura calificado (WPS) por proceso SMAW el cual presenta desventajas con respecto al proceso GMAW como es el aporte de calor, el cual es una variable a tener en cuenta ya que se realiza en una línea viva o línea en servicio, en la que se debe de tener cuidado con el material base que al tener un aporte de calor grande se puede debilitar y ocasionar un accidente en donde se encuentra realizando la soldadura.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La empresa MONTAJES J.M. S.A. piensa siempre en la incorporación de la última tecnología en sus obras para realizarlas rápido y bien construidas, por tal motivo innova en diferentes procesos de soldadura.

Para soldaduras en servicio quiere innovar incorporando el proceso GMAW, ya que tiene ventajas con respecto al proceso SMAW, que lo hacen factibles para la producción de estas uniones soldadas, reduciendo tiempos muertos, aumentando la producción de juntas y cumpliendo con altos estándares de calidad en la producción.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad de realizar juntas en servicio según estándar API 1104 con procesos semiautomáticos (GMAW) cumpliendo los lineamientos que se encuentran establecidos para este tipo de uniones en el Apéndice B del estándar.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar procedimiento de soldadura (WPS) para soldaduras en servicio según estándar API 1104 Apéndice B con proceso semiautomático (GMAW) para tubería 6" API 5L X42 teniendo en cuenta las variables esenciales y no esenciales para el mismo.

Realizar calificación de procedimiento mencionado según ensayos establecidos en API 1104 Apéndice B, dejando como constancia de esta calificación el registro de calificación del mismo (PQR)

Estudio económico comparativo entre el procedimiento realizado con el proceso GMAW y el procedimiento SMAW con el cual cuenta la compañía.

## 5. ALCANCE DEL PROYECTO

Se realizara diseño de WPS (Welding Procedure Specification) según parámetros establecidos en el estándar API 1104 Apend. B en tubería 6" API 5L X42.

Se llevaran a cabo los ensayos destructivos establecidos por el estándar API 1104 para la calificación del procedimiento de soldadura (Ensayos de Sanidad, Doblez (Cara – Raíz), Tensión, macro ataque) teniendo en cuenta la cantidad requerida por el estándar.

Evaluar económicamente el procedimiento calificado en GMAW con respecto al procedimiento calificado en SMAW que tiene la compañía, y determinar si es rentable realizar este tipo de juntas en proceso semiautomático GMAW.

## 6. METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología utilizada para la realización del proyecto se puede dividir en las siguientes etapas:

### 6.1. BÚSQUEDA Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN.

Búsqueda de información acerca del proceso de soldadura (GMAW), material de aporte apropiado que se debe de utilizar para la aplicación el cual depende del proceso utilizado y del material que será soldado, equipo utilizado para realizar el procedimiento, variables esenciales para elaboración de la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS).

### 6.2. ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS).

Con la información obtenida de las variables del proceso, el material base, material de aporte y requerimientos establecidos en el estándar aplicable se elabora la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS), originando el formato para su registro teniendo en cuenta los requisitos de información mínimos que debe de contener según el estándar el API 1104 Apend. B.

### 6.3. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO.

Con el procedimiento de soldadura (WPS) elaborado, el siguiente paso es realizar la calificación del procedimiento de soldadura según lo establecido en el estándar API 1104 y en su Apend. B. Se realiza medición de las diferentes variables en el desarrollo de la calificación del procedimiento.

### 6.4. REGISTRÓ DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO.

Ejecutado el Procedimiento de Soldadura se procede a realizar los Ensayos Destructivos para la calificación del procedimiento teniendo en cuenta los ensayos solicitados en el Estándar API 1104 y sus criterios de aceptación. Realizados los ensayos y obtenidos los resultados se procede a realizar el registro de estos datos en el formato de Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) elaborado para este propósito.

### 6.5. ESTUDIO ECONÓMICO.

Obtenidos los resultados y realizada la calificación del procedimiento por medio de proceso GMAW, se realiza el estudio de rentabilidad de este tipo de procedimiento de soldadura con este proceso comparado con el procedimiento SMAW que es el proceso con el que se realiza este tipo de uniones .

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. MATERIAL BASE

El material base que se utilizara es API 5L X42 que es el material de tubería para línea de flujo más usado en la industria petrolera, y el cual MONTAJES J.M. S.A. utiliza en sus obras. Para este caso se utilizara una tubería de 6" (O.D. 168,3 mm) SCH 40 (7,10 mm).

#### 7.1.1. Composición Química

Tabla 1. Composición Química API 5L X42

Composición Química (%)											
C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Cu	Ni	Cr	Mo
Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	0,50	0,30	0,30	0,15

Fuente: (API 5L SPECIFICATION FOR LINE PIPE, 2013)

Teniendo estos valores obtenemos el % de Carbono Equivalente (CE) el cual es de 0,43% el cual nos sirve para determinar la soldabilidad que tiene el material con otros elementos.

#### 7.1.2. Propiedades Mecánicas

Tabla 2 . Propiedades Mecánicas API 5L X42

Propiedades Mecánicas			
Límite de Fluencia		Resistencia a la Tracción	
42.000 PSI	290 MPa	60.000 PSI	414 MPa

Fuente: (API 5L SPECIFICATION FOR LINE PIPE, 2013)

### 7.2. PROCESO GMAW – STT

#### 7.2.1. Generalidades

Gas Metal Arc Welding (GMAW), por definición, es un proceso de soldadura por arco que produce la coalescencia de metales por calentamiento de los mismos con un arco entre un electrodo metálico continuamente alimentado y la pieza de trabajo. El proceso utiliza protección suministrada externamente por gas para proteger el baño de soldadura fundida. La aplicación de GMAW requiere generalmente DC+

En la terminología no estándar, GMAW es comúnmente conocido como MIG

(Metal Inert Gas) y es menos conocido como MAG (Metal Active Gas). En cualquier caso, el proceso GMAW se presta a soldar una amplia gama de acero al carbono sólido y tubular electrodos con núcleo metálico.

La gama de material de aleación para GMAW incluye: acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, níquel, silicio, bronce.

STT (Surface Tensión Transfer) es proceso patentado desarrollado por la Lincoln Electric Company, que proporciona una forma de entrada de calor baja en la transferencia de metal. El proceso utiliza una fuente de potencia reactiva, que supervisa el arco y es capaz de responder instantáneamente a los requisitos cambiantes de arco. El proceso se basa en la tensión superficial para transferir el metal fundido desde el electrodo a la pieza de trabajo (Nadzam, 2005).

El proceso STT es proceso paralelo al GMAW de modo de transferencia Corto circuito.

#### 7.2.2. Ventajas GMAW – STT

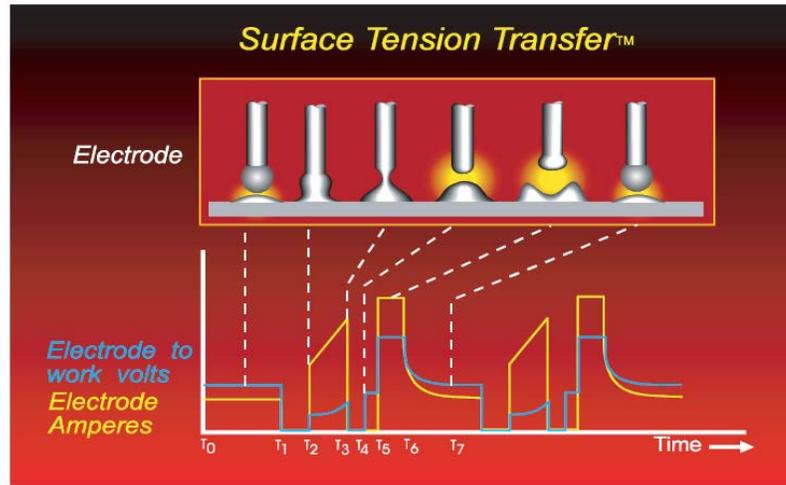
El proceso GMAW goza de uso generalizado debido a su capacidad para proporcionar soldaduras de alta calidad para una amplia gama de aleaciones ferrosas y no ferrosas.

GMAW – STT también tiene las siguientes ventajas (Nadzam, 2005):

- Capacidad para unirse a una amplia gama de tipos de materiales y espesores.
- Componentes de equipos simples los cuales son fácilmente disponibles y asequibles.
- Tiene eficiencias de electrodos superiores, por lo general entre 93 % y 98 % cuando se compara con otros procesos de soldadura.
- Mayor eficiencia de soldador, si se compara a otros procesos de soldadura por arco eléctrico.
- Capacidad de aplicación en todas las posiciones de soldeo.
- Excelente apariencia del cordón de soldadura.
- Depósito de hidrógeno menor al 5 ml/100 g de metal de soldadura. Se puede controlar el calor en el charco de soldadura.
- Menor aporte de calor en comparación con otros procesos de soldadura.
- Mínimo de salpicaduras de soldadura y escoria de soldadura limpieza rápida y fácil.
- Control de la penetración.
- Mayor velocidad de la soldadura al ser comparado con otros procesos.

### 7.2.3. Diferencia entre Transferencia GMAW Convencional y STT.

Figura 1. Transferencia STT



Fuente: (DeRuntz, 2013)

La transferencia STT tiene los siguientes pasos (Figura 1):

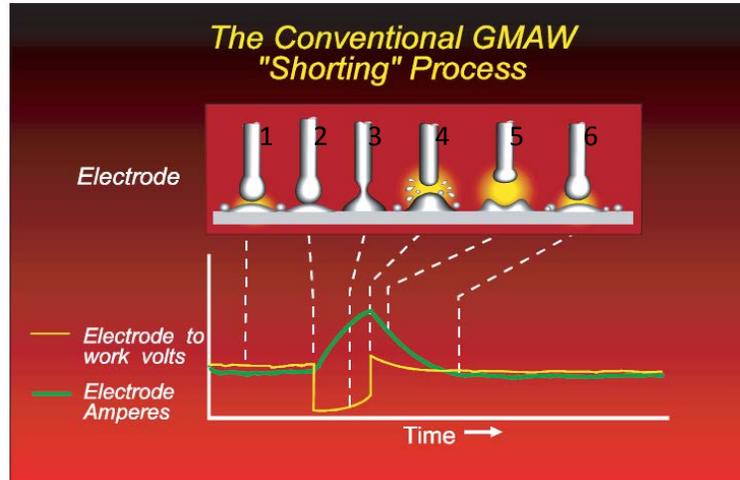
- **Corriente de fondo ( $T_0 - T_1$ ):** Este es el nivel de corriente del arco antes de poner en cortocircuito al charco de soldadura. Es un nivel de corriente de estado estable, entre 50 y 100 amperios. El electrodo se aproxima a la pieza de trabajo.
- **Tiempo bola ( $T_1 - T_2$ ):** Justo antes que el electrodo esté a punto de completar el corto (en la corriente de fondo), el clip de detección de tensión lee una disminución de la tensión y la máquina deja caer el amperaje. (En la soldadura por cortocircuito convencional, el cortocircuito se produciría y el amperaje se incrementaría dramáticamente). La corriente de fondo se reduce a 10 amperios por aproximadamente 0,75 milisegundos. Este intervalo de tiempo se conoce como el tiempo de balón.
- **Pinch Mode ( $T_2 - T_3$ ):** El alambre todavía está siendo alimentado, por lo que la fusión se produce entre el electrodo con la pieza de trabajo. Con el fin de transferir la gota fundida, el amperaje debe ser aumentado. Una corriente alta se aplica al electrodo en cortocircuito de una manera controlada, esto acelera la transferencia de metal fundido desde el electrodo al charco de soldadura mediante la aplicación de fuerzas de arrastre electrónicos.
- **Calculo  $dv/dt$  ( $T_2 - T_3$ ):** Este cálculo indica el momento antes de que el hilo se separa completamente. Es el cálculo de la derivada de la velocidad de la

tensión de electrodo de cortocircuito en función del tiempo. Cuando este cálculo indica que un valor  $dv/dt$  específico se ha alcanzado, indica que la separación de la gota está a punto de producirse, la corriente se reduce de nuevo a 50 amperios en unos pocos microsegundos. Esto es para evitar una separación violenta lo que crearía salpicaduras.  $T_4$  indica que se ha producido la separación, pero a una baja corriente.

- **Impulso de plasma ( $T_5 - T_6$ ):** El amperaje se aumenta de nuevo y una separación uniforme controlada tiene lugar y crea el cordón de soldadura con poca salpicadura.
- **Plasma ( $T_6 - T_7$ ):** Este es el período del ciclo donde la corriente del arco se reduce de impulso plasma a corriente de fondo inicial. En el periodo "tail-out", la corriente va de este nivel superior a su nivel inicial de corriente de fondo.

El ciclo se repite entonces con el tiempo requerido para una toma de forma de onda entre 25-35 milisegundos.

Figura 2. Ciclo de Transferencia Corto Circuito Convencional



Fuente: (DeRuntz, 2013)

- El electrodo se aproxima a la pieza de trabajo con los amperios y voltaje estable.
- Con el electrodo corto, la tensión cae dramáticamente y el amperaje comienza a subir. Los siguientes dos pasos diferencian GMAW

convencional de STT debido a un control preciso por parte de STT de la forma de onda.

- El electrodo ha estado en contacto (en corto) con la pieza de trabajo y se deposita el metal de soldadura. En este punto, el voltaje es aproximadamente cero, y el amperaje ha aumentado enormemente.
- El aumento en amperios hace que el metal de relleno se separe del resto del electrodo de una manera violenta e impredecible, produciendo mayores salpicaduras y humo que la transferencia STT.
- Después de la separación entre el depósito de soldadura y el alambre de soldadura, la tensión y los amperios disminuyen de nuevo a sus niveles preestablecidos.
- Repite el proceso desde el paso 1.

### 7.3. GASES DE PROTECCIÓN

El objetivo fundamental del gas de protección es la de proteger al metal fundido de la contaminación por la atmósfera circundante. Muchos otros factores afectan a la elección del gas de protección. Algunos de estos son:

- Material a soldar
- Modo de transferencia del metal de aportación
- Penetración
- Forma del cordón
- Velocidad de soldeo
- Precio del gas

Los gases más utilizados en el soldeo GMAW son:

- CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)
- Ar (argón), He (helio) o Ar + He
- Ar + CO<sub>2</sub> o He + CO<sub>2</sub>
- Ar + O<sub>2</sub> (1-10% de oxígeno)
- Ar + O<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>
- Ar + He + CO<sub>2</sub>
- Ar + He + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>

En general, se utilizan los gases inertes para el soldeo de los materiales no férricos y aceros inoxidable, utilizándose el CO<sub>2</sub>, puro solamente con los aceros al

carbono; las mezclas de Ar + CO<sub>2</sub> y Ar + O<sub>2</sub> se aplican también al soldeo de aceros y en muchos casos para aceros inoxidables.

Cuando se utiliza CO<sub>2</sub> no se puede obtener una transferencia en spray nítida. Una de las mezclas más utilizadas en el soldeo es Ar + 8-10% de CO<sub>2</sub>, utilizándose generalmente con transferencia en spray. Las mezclas de Ar + CO<sub>2</sub>, con un porcentaje de éste último mayor o igual al 25%, se utilizan para transferencia por cortocircuito en el soldeo de aceros al carbono y de baja aleación. Con arco pulsado se utilizan mezclas de Ar + CO<sub>2</sub> (generalmente con un 5% de CO<sub>2</sub>), o mezclas de Ar + He + CO<sub>2</sub>.

Con un caudal de gas muy bajo la cantidad de gas de protección es insuficiente. Con un caudal de gas muy alto puede haber turbulencias y formación de remolinos en el gas. El caudal de gas dependerá en gran medida del tipo de material base.

Para obtener una buena protección, el ángulo de trabajo de la pistola no debe ser mayor de 10° a 20°. El tubo de contacto debe estar centrado en la boquilla y las proyecciones depositadas en la tobera de gas y en la boquilla de contacto deben retirarse regularmente.

#### 7.4. MATERIAL DE APORTE (ER70S-6)

##### 7.4.1. Generalidades

Es un alambre macizo con niveles altos de Silicio y Manganeso que le brindan excelentes características de desoxidación especialmente cuando se va a soldar en materiales oxidados o en aceros efervescentes y le permite trabajar con elevado amperaje. El silicio produce un charco más fluido y por lo tanto un cordón más plano. Trabaja con CO<sub>2</sub>, mezcla de Ar-CO<sub>2</sub> o mezcla de Ar-O<sub>2</sub>. Opera en todas las posiciones cuando se emplea transferencia por corto circuito.

##### 7.4.2. Propiedades Mecánicas Material Depositado

Tabla 3. Propiedades Mecánicas Metal Depositado ER70S-6

Propiedades Mecánicas Metal Depositado ER70S-6	
Resistencia a la Tracción	50-60 kg/mm <sup>2</sup> (72-86 ksi)
Límite de Fluencia	42-52 kg/mm <sup>2</sup> (60-74 ksi)
Elongación	22-30%

Fuente: Catalogo Soldadura Indura

Los resultados obtenidos son obtenidos y realizados de acuerdo a AWS 5.18.

### 7.4.3. Composición Química del Alambre

Tabla 4- Composición Química Metal de Aporte ER70S-6

Composición Química Metal de Aporte ER70S-6			
Carbono	0,06 – 0,15%	Manganeso	1,40 – 1,85%
Silicio	0,80 – 1,15%	Fosforo	0,025% máx.
Azufre	0,035 máx.	Cobre	0,50% máx.

Fuente: Catalogo Soldadura Indura

### 7.4.4. Dimensión de Alambre – Amperaje Recomendado

Tabla 5. Dimensión de Alambre – Amperaje Recomendado

Dimensión de Alambre – Amperaje Recomendado	
Dimensión	Amperaje
0,76 mm (0,030")	60 – 160 A
0,90 mm (0,035")	80 – 220 A
1,02 mm (0,040")	90 – 280 A
1,14 mm (0,045")	100 – 340 A
1.6 mm (0,62")	250 – 500 A

Fuente: Catalogo Soldadura Indura

## 7.5. NORMATIVIDAD – API 1104

Los datos presentados a continuación se encuentran basados en (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

### 7.5.1. Generalidades

Existen dos preocupaciones fundamentales para la soldadura sobre líneas en servicio. La primera preocupación es evitar un “quemón o perforación“, donde el arco eléctrico de la soldadura hace que se rompa la pared del tubo. La segunda preocupación es el agrietamiento o presencia de fisuras por hidrógeno, ya que las soldaduras hechas en servicio se enfrían a velocidades aceleradas, como resultado de la fluidez del contenido capaz de disipar el calor de la pared del tubo.

Para que se presenten fisuras por hidrógeno, tienen que cumplirse tres condiciones simultáneamente. Estas condiciones son: hidrógeno en la soldadura, el desarrollo de una microestructura de la soldadura susceptible a la grieta y actuación de esfuerzos de tensión en la soldadura.

Para prevenir las fisuras por hidrógeno, se puede eliminar o minimizar, al menos, una de las tres condiciones necesarias para que esto ocurra. El empleo de electrodos de bajo hidrógeno o un proceso de soldadura de bajo hidrógeno ha

tenido éxito para soldaduras realizadas sobre líneas en servicio, siempre que se puedan garantizar niveles bajos de hidrógeno, usando procedimientos que minimicen la formación de microestructuras susceptibles de grietas.

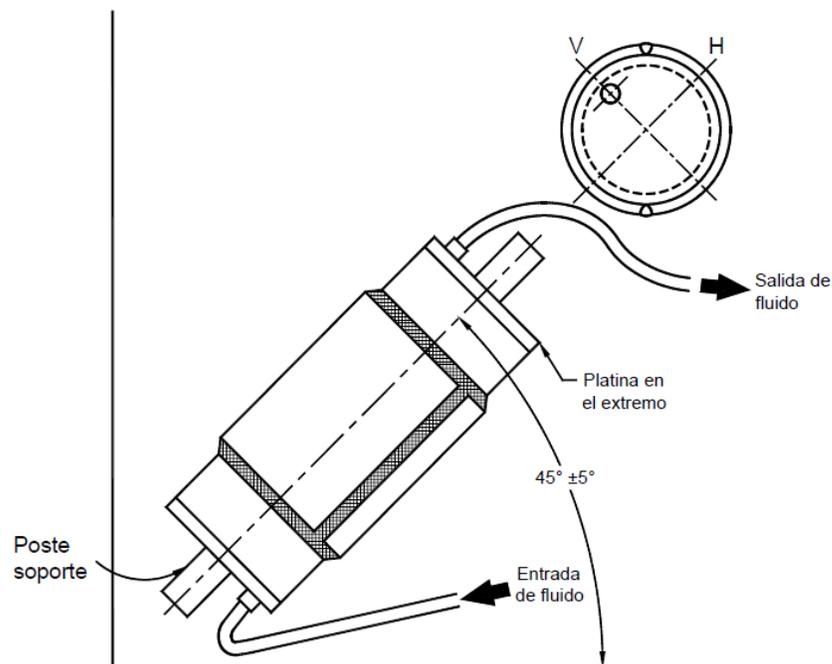
### 7.5.2. Información de Procedimiento

Se deben de especificar los siguientes datos en el procedimiento de soldadura:

- Material del Tubo
- Condiciones de funcionamiento de la línea
- Rango de Entrada de Calor
- Secuencia de depósitos de pases

Los demás datos se deben de especificar según los parámetros establecidos en el API 1104 Cap. 5

Figura 3. Montaje Para Calificación de Procedimiento



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

### 7.5.3. Ensamble para Calificación de Procedimiento

Los requisitos establecidos en el numeral 5.8 del estándar API 1104 son apropiados para la soldadura en servicio, excepto que las probetas de ensayo se deberían cortar de la unión de acuerdo con la ubicación señalada en la Figura 5 y

en la Tabla 6, en donde se establecen el número mínimo de probetas y los ensayos a los cuales éstas estarán sujetas.

#### 7.5.4. Probetas Calificación Procedimiento – Ensayos Destructivos

Los siguientes párrafos son tomados de API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINE AND RELATED FACILITIES

Uno de los usos de los procedimientos de soldadura bajo apéndice B del estándar API 1104 es utilizado para realizar soldaduras de Tee Split, las cuales son utilizadas cuando se realiza un Hot-Tap

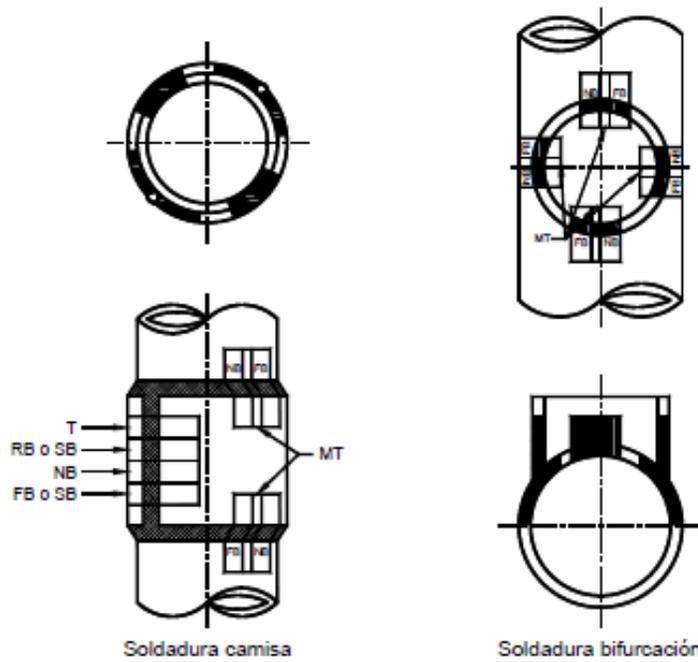
Figura 4. Tee Split



Fuente: TD Williamson

Para calificación de soldaduras en servicio se requiere realizar ensayos de Tensión, sanidad (Nick-Break), doblez guiado (Cara-Raíz), macro-ataque. Estos ensayos son requeridos tanto para calificar el procedimiento de soldadura (WPS) como para calificación de habilidad de Soldador.

Figura 5. Ubicación Probetas Para Ensayo



NOTA

T = Tracción  
NB = Doblez de sanidad

RB = Doblez de raíz  
SB = Doblez de lado

FB = Doblez de cara  
MT = Ensayo de macroataque

Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

Para el procedimiento que se realizara, son necerarias los siguientes tipos y cantidad de probetas de los ensayos mencionados:

Tabla 6. Tipo y Número de Probetas.

ESPESOR DE PARED	TIPO DE SOLDADURA	TENSION	SANIDAD	DOBLEZ RAIZ	DOBLEZ CARA	MACROATAQUE	TOTAL
≤ 12.7 mm	RANURA	2	2	2	2	-	8
	CAMISA	-	4	-	4	4	12
	BIFURCACION	-	4	-	4	4	12

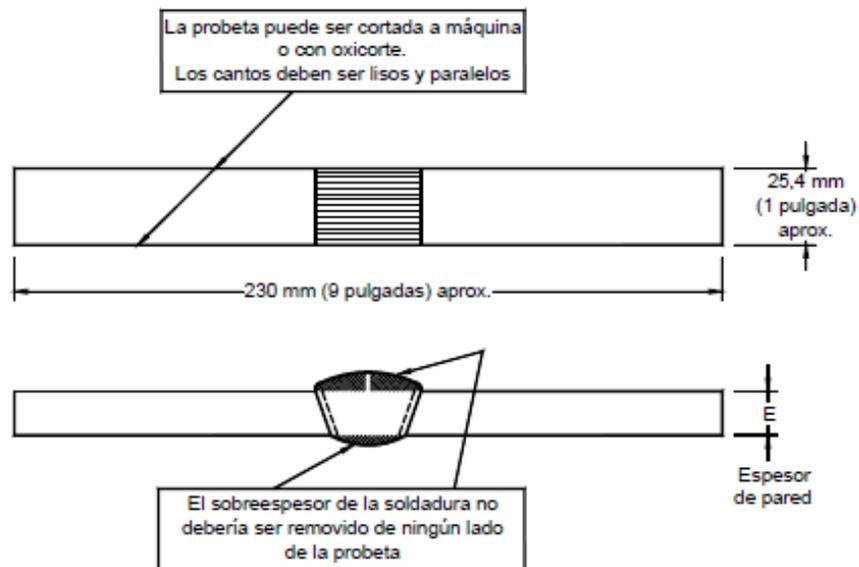
Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

Para la calificación del procedimiento diseñado, se deberá tener en cuenta la cantidad de probetas referenciadas en la fila RANURA y en la fila CAMISA para el espesor en el cual se calificara el procedimiento (7.11 mm).

#### 7.5.4.1. Ensayos De Tensión

Las probetas para el ensayo a la tensión deben ser rotas bajo carga de tensión, usando un equipo capaz de medir la carga a la cual ocurre la falla. La resistencia a la tensión se debe calcular dividiendo la carga máxima de falla por el área transversal mínima de la probeta, tal como fue medida antes de la aplicación de la carga.

Figura 6. Probeta para Ensayo de Tensión



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

La resistencia a la tensión de la soldadura, incluida la zona de fusión de cada probeta, debe ser igual o mayor que la resistencia a la tracción mínima especificada para el material del tubo, pero no necesariamente igual o mayor que la resistencia a la tracción real del material del tubo.

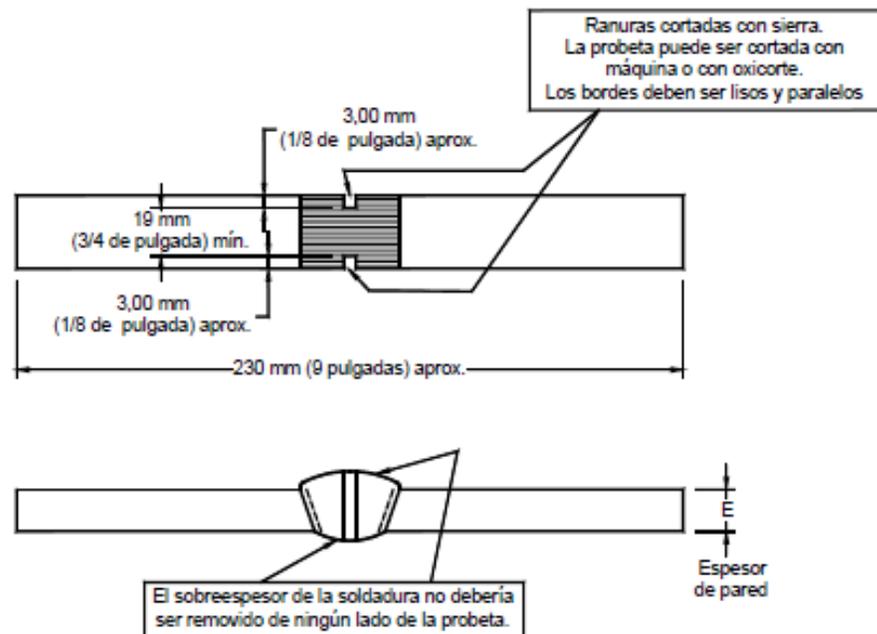
Si la probeta se rompe fuera de la soldadura y de la zona de fusión (es decir, en el material base), y reúne los requisitos de resistencia a la tensión mínimos especificados, entonces la soldadura debe ser aceptada por cumplir los requisitos. Si la probeta se rompe en la soldadura o en la zona de fusión y la resistencia a la tensión es igual o mayor a la resistencia mínima a la tensión especificada del material base, y cumple los requisitos de sanidad, entonces la soldadura debe ser aceptada por cumplimiento de los requisitos.

Si la probeta se rompe con un valor de resistencia a la tensión por debajo del mínimo especificado para el material base, la soldadura debe ser descartada y se debe hacer una nueva soldadura de ensayo.

#### 7.5.4.2. Ensayos de Sanidad (Nick-break)

Las probetas para ensayo de sanidad (Figura 7) deben ser de 230 mm (9") de largo, aproximadamente, y 25 mm (1") de ancho, aproximadamente, y pueden ser cortadas a máquina o con oxicorte. Se les debe hacer una ranura a cada lado y al centro de la soldadura; cada ranura debe ser de 3 mm (1/8") de profundidad, aproximadamente.

Figura 7. Probeta Ensayo de Sanidad - Ranura



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

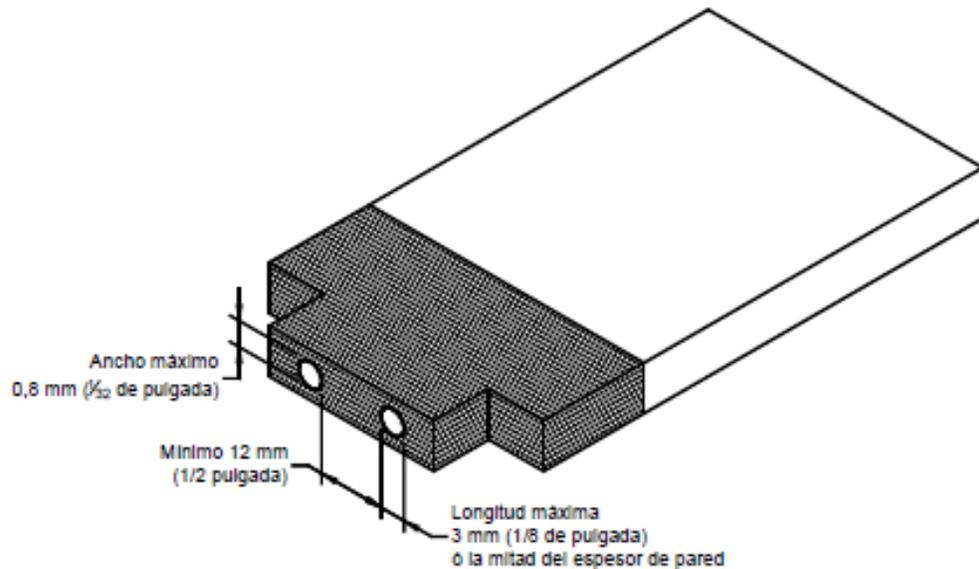
Las probetas de sanidad de soldadura preparadas de esta manera, realizadas con ciertos procesos automáticos y semi-automáticos, pueden fallar a través del material base en lugar de la soldadura. Cuando la experiencia en ensayos previos indique que puede esperarse fallas a través del tubo, el sobre-espesor externo puede ranurarse hasta una profundidad que no exceda 1.6 mm (1/16"), medidos desde la superficie original de la soldadura.

Las probetas de sanidad se deben romper estirándolas en una máquina de tensión, o soportando los extremos y golpeando el centro, o soportando un extremo y golpeando el otro extremo con un martillo. El área expuesta de la fractura debe ser, al menos, de 19 mm (3/4") de ancho.

Las superficies expuestas de cada probeta de sanidad deben mostrar penetración y fusión completas. La dimensión más grande de cualquier porosidad no debe

exceder de 1.6 mm (1/16”), y el área combinada de todas las porosidades no debe exceder el 2% del total del área de la superficie expuesta. El ancho de las inclusiones de escoria no debe exceder de 0,8 mm (1/32”), y su longitud no debe exceder de 3 mm (1/8”) o la mitad del espesor nominal de la pared, cualquiera que sea menor. Debe haber por lo menos 13 mm (1/2”) de metal de soldadura sano entre inclusiones de escoria adyacentes.

Figura 8. Dimensionamiento de discontinuidades ensayo de sanidad

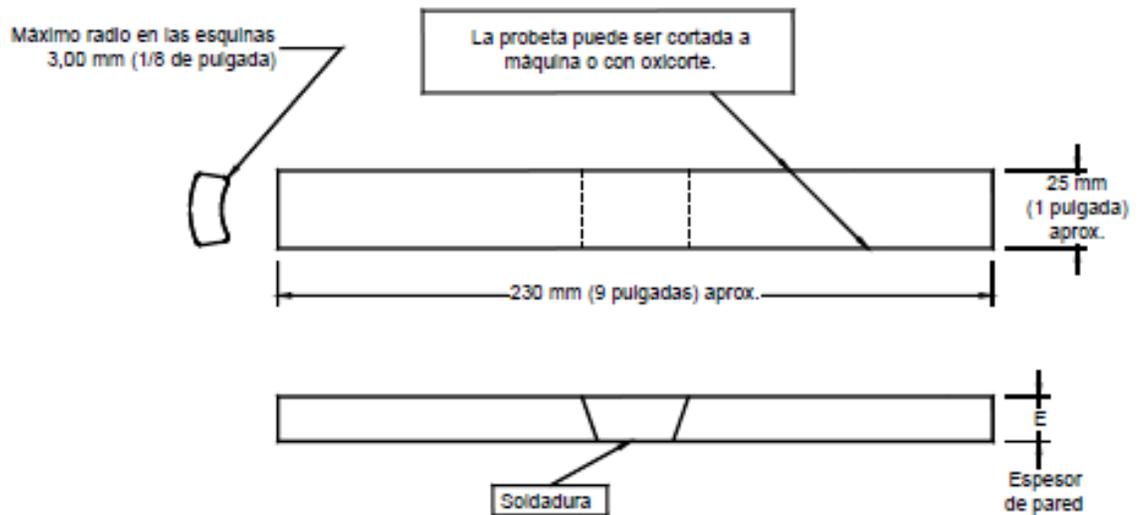


Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

#### 7.5.4.3. Ensayos de Doblez Guiado de Raíz y Cara - Ranura

Las probetas para doblado de raíz y cara deben ser de 230 mm (9”) de largo, aproximadamente, por 25 mm (1”) de ancho, aproximadamente, y sus bordes largos deben ser redondeados. Los bordes se pueden hacer con una máquina de corte o con oxicorte. El sobre-espesor de cara y de raíz deben ser removidos y nivelado con la superficie de la probeta. Estas superficies deben ser lisas y cualquier raya que exista debe ser ligera y transversal a la soldadura.

Figura 9. Probeta Para Ensayos Doblez Guiado de Raíz y Cara - Ranura



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

Las probetas de raíz y cara deben ser dobladas en una matriz para ensayo de doblado guiado. Cada probeta debe ser colocada sobre la matriz con la soldadura en la parte media de la garganta. Las probetas para doblado de cara deben ser colocadas con la cara de la soldadura hacia la garganta de la matriz; las probetas para doblado de raíz deben ser colocadas con la raíz de la soldadura hacia la garganta de la matriz.

El ensayo de doblado debe ser considerado como aceptable si no hay grietas presentes u otros defectos que excedan 3 mm (1/8") o la mitad del espesor nominal de la pared, cualquiera que sea menor, en cualquier dirección dentro de la soldadura o entre la soldadura y la zona de fusión, después del doblado. Las grietas que se originen a lo largo de los bordes de la probeta, durante el ensayo, y las cuales sean menores a 6 mm (1/4"), medidas en cualquier dirección, no deben ser consideradas, a menos que se observen defectos evidentes. Cada probeta sujeta al ensayo de doblado debe cumplir con estos requisitos.

#### 7.5.5. Ensayo de Juntas Soldadas – Camisa

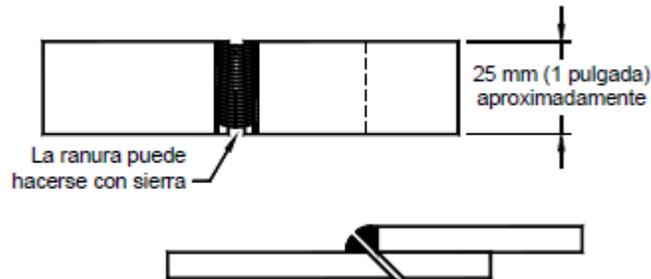
##### 7.5.5.1. Ensayos de Sanidad (Nick-Break)

Las probetas pueden ser cortadas con máquina o con oxicorte. Deberán ser de por lo menos 25 mm (1") de ancho, y con longitud suficiente como para que se puedan romper dentro de la soldadura.

Las superficies expuestas de cada probeta con soldadura de filete deben mostrar penetración y fusión completa.

La dimensión máxima de cualquier porosidad no debe exceder 1.6 mm (1/16”), las áreas combinadas de todas las porosidades no deben exceder el 2% del área de la superficie expuesta, las inclusiones de escoria no deben ser superiores a 0,8 mm (1/32”) de ancho, y su longitud no debe ser mayor a 3 mm (1/8”) o la mitad del espesor nominal de pared, el que sea menor. Debe haber por lo menos 13 mm (1/2”) de metal de soldadura sano entre inclusiones de escoria adyacentes. Las dimensiones de las discontinuidades deberían ser medidas como se indica en la Figura 8.

Figura 10. Probeta Ensayo Sanidad - Camisa



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

#### 7.5.5.2. Ensayo de Macro ataque

Las probetas para el ensayo de macro ataque de la sección transversal (Figura 11) deberán tener al menos 13 mm (1/2”) de ancho. Se pueden cortar por máquina u oxicorte; sobre-dimensionadas y maquinadas por procesos no térmicos para remover hasta 6 mm (1/4 de pulgada) desde el lado o lados que se prepararán.

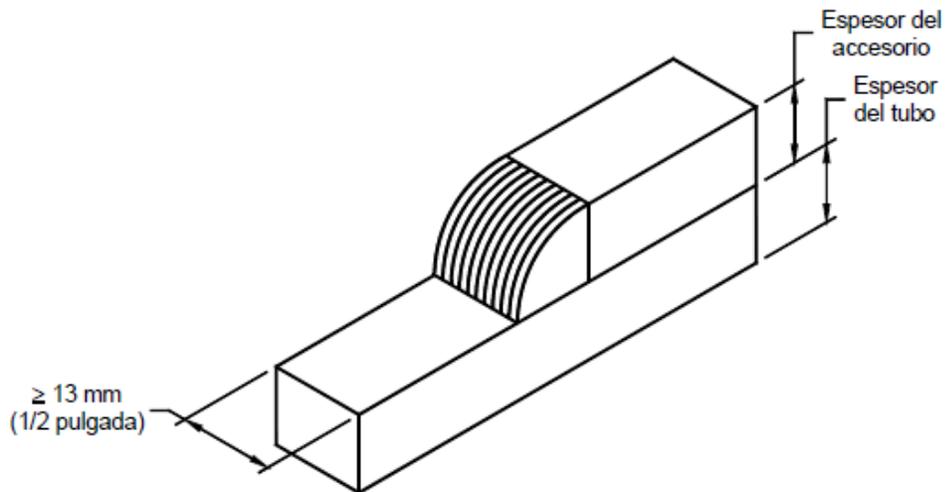
Para cada probeta de ensayo de macro ataque de la sección transversal, se deberá rectificar al menos una cara con un abrasivo de grano fino No. 600 y se atacará con una sustancia apropiada, tal como persulfato de amonio o ácido clorhídrico diluido, para dar una definición clara de la estructura de la soldadura.

La sección transversal de la soldadura será inspeccionada visualmente con suficiente luz para que revele claramente la sanidad de la soldadura. No es necesario el empleo de aparatos ópticos o de tintas penetrantes.

Una inspección visual de la sección transversal de la soldadura debería mostrar que está fundida completamente hasta la raíz y libre de grietas. La soldadura de filete debería tener al menos las longitudes o brazos iguales a lo especificado en la calificación de procedimiento, y no debe desviarse en más de 1.6 mm (1/16 de pulgada) en concavidad o convexidad. La profundidad de socavado no debería

exceder de 0,8 mm (1/32 de pulgada) o del 12,5 % del espesor de la pared del tubo, la que sea más pequeña.

Figura 11. Probeta Ensayo Macro Ataque - Camisa



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

#### 7.5.5.3. Ensayo de Dobleza de Cara - Camisa

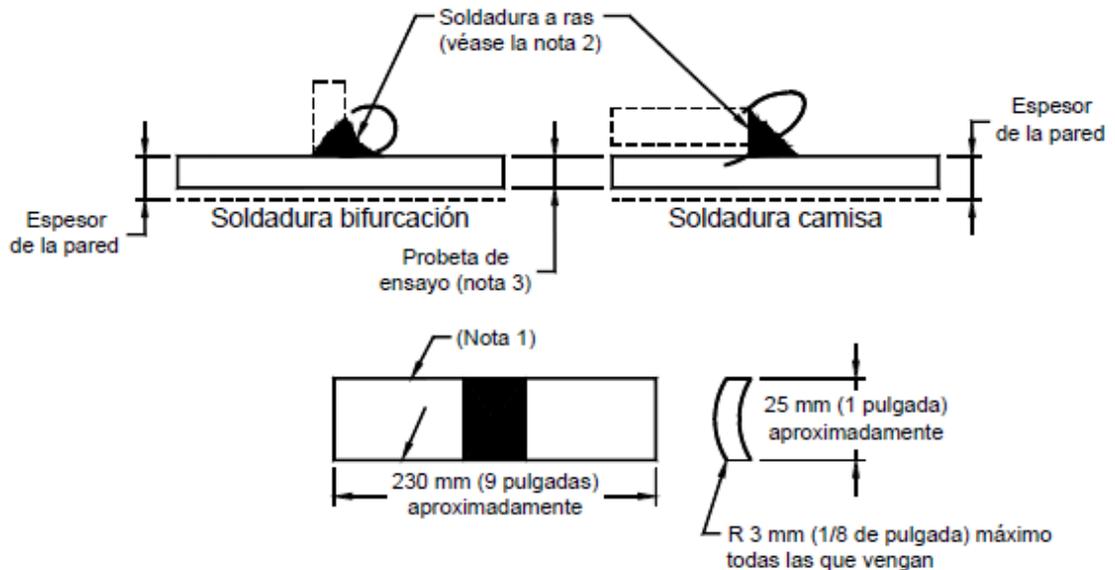
Las probetas para el doblado de cara (Figura 12) deberán ser aproximadamente de 230 mm (9") de longitud y 25 mm (1") de ancho, aproximadamente. Se pueden cortar a máquina o por oxiacorte; sobre-dimensionadas, y maquinadas por procesos no térmicos para remover al menos 3 mm (1/8") de cada lado. Los lados deberían ser planos y paralelos, y los bordes a lo largo serán redondeados. Se deberá remover la bifurcación o camisa y el sobre-espesor dejándolos al mismo nivel con la superficie, pero no por debajo de la superficie de la probeta de ensayo. Cualquier socavado no deberá ser removido.

Las probetas de doblado de cara no deberían ser ensayadas antes de 24 h después de la soldadura. Las probetas de doblado de cara se deberían doblar en una matriz para el ensayo de doblado guiado. Cada probeta se debería colocar sobre la matriz con la soldadura en la mitad. La cara de la soldadura se debería ubicar hacia la separación.

El ensayo de doblado de cara se considerará aceptable si, después del doblado, no se presentan grietas u otras imperfecciones que excedan 3.2 mm (1/8 de pulgada) o la mitad del espesor nominal de la pared, cualquiera que sea el menor, en cualquier dirección en el metal de soldadura o en la zona afectada por el calor (ZAC). No se deberían considerar las grietas que se originen durante el ensayo en

la parte exterior del doblé, en los bordes de la probeta y que sean inferiores a 6 mm (1/4"), medidos en cualquier dirección, a menos que se observen las imperfecciones obvias.

Figura 12. Probeta Doble de Cara – Camisa



Fuente: (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013)

## 7.6. APTITUD PARA EL SERVICIO DE LÍNEAS DE TRANSPORTE DE GAS Y PETRÓLEO

En servicio estos componentes son inspeccionados periódicamente, en acuerdo a prácticas técnicas utilizadas para tal fin, como son las normas American Petroleum Institute (API), en conjunto con especificaciones, criterios y experiencias propias desarrollados por cada planta. En este caso, es imprescindible contar con una correcta planificación de la inspección ante la posibilidad de encontrar zonas debilitadas por efecto de la corrosión u otros defectos y dependiendo del grado de riesgo de la línea, de su contenido y considerando las variables operativas presentes.

Ante la presencia de esta anomalía estructural, se debe planificar la reparación adecuada que consiste en el cambio del tramo defectuoso por uno nuevo o eventualmente colocar un refuerzo provisorio, es decir la colocación de una camisa alrededor de la sección dañada, "Encamisado", con un material de características similares y permitiendo de esta manera recuperar estructuralmente la pérdida de espesor o recubrir el sector dañado.

Este tipo de reparación se denomina "Soldadura en Servicio" y se utiliza tanto en reparación como en extensión de líneas, con el objeto de mantener el margen de seguridad correcto que requieren estos sistemas.

El procedimiento constructivo, en total acuerdo con el Apéndice B de la Norma (API 1104), facilita la calificación del procedimiento necesario para asegurar una ejecución adecuada.

Dicho proceso de calificación, consiste en hacer circular agua sobre una tubería, mientras se realiza la reparación o encamisado, midiendo con termocuplas la distribución de temperaturas que se desarrollan durante el proceso, permitiendo de esta manera seleccionar el más adecuado y calificar a los soldadores.

## 8. ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

### 8.1. ELABORACIÓN DE WPS

Se realiza el diseño del formato para procedimiento de soldadura (WPS) teniendo en cuenta las variables establecidos para procedimiento de soldadura las cuales son (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013):

- Proceso de Soldeo y Método
- Material Base
- Diseño de Junta
- Posición
- Diámetro de Tubería exterior
- Espesor de Pared
- Metal de Aporte
- Características Eléctricas
- Tiempo entre pases
- Dirección de soldeo
- Gas de Protección y Rata de flujo
- Velocidad de Avance

Por ser una soldadura en servicio de deben de tener adicional los siguientes variables (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013):

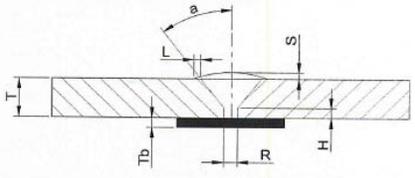
- Condiciones de operación de la Línea
- Secuencia de soldeo de soldadura.

Las variables mencionadas son esenciales, si se realiza cambio en alguna de ellas es necesario recalificar la WPS. Estas variables deben de estar plasmadas tanto en la WPS como en el Registro de Calificación de Procedimiento (PQR).

Se tiene los siguientes datos para la elaboración de la WPS:

- Proceso de Soldeo: Gas Metal Arc Welding (GMAW)
- Método: Semiautomático
- Diseño de Junta:
  - Ranura: Ranura en V
  - Camisa: Traslape

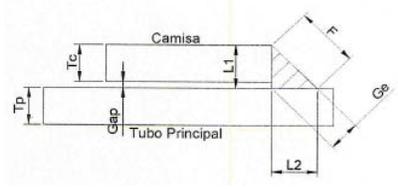
Tabla 7. Diseño de Junta - Ranura

ANGULO BISEL (a)	30° +/- 2°	<b>GEOMETRIA JUNTA RANURA</b> 
TALON (H)	0	
ABERTURA RAIZ (R)	1.2 mm +/- 0,1 mm	
ALTURA DE REFUERZO (S)	0.05 mm	
EXT. DE LA CARA (L)	0.05 mm	
PLATINA DE RESPALDO	1/16" (Tb) x 1" x LONGITUD DE SPLIT TEE	

Fuente: El Autor

En el diseño de la junta - ranura se especifican el Angulo de bisel óptimo, el talón o cara de bisel que para este procedimiento es 0°, Los datos adicionales están de acuerdo al Capítulo 7. Design and Preparation of a Joint for Production Welding del Estándar API 1104. Se coloca platina de respaldo, ya que se debe de evitar todo lo posible el contacto de metal de soldadura con el tubo conductor, ya que se puede originar un quemón por esta causa y afectar el tubo.

Tabla 8. Diseño de Junta - Camisa

ESPEJOR CAMISA (Tc)	7.11 mm (0.280")	<b>GEOMETRIA JUNTA CAMISA</b> 
ESPEJOR PRINCIPAL (Tp)	7.11 mm (0.280")	
GAP	1/16" máx.	
PIERNA (L1)	9 mm	
PIERNA (L2)	9 mm	
GARGANTA EFEC. (Ge)	6.3 mm	
CARA DEL CORDON	14 mm	

Fuente: El Autor

Se especifica también las dimensiones de la junta - camisa teniendo un GAP máximo de 1/16" máximo. Debe de haber algo de espaciamento entre la camisa y el tubo conductor mínimo para que haya fusión en la raíz (Catalogo Soldadura Indura).

La garganta efectiva ( $G_e$ ) se calcula multiplicando de la siguiente manera:

$$G_e = 0,707 \times L_1$$

Ecuación 1. Ecuación Garganta Efectiva

- Diámetro de tubería exterior: 6.625" (168.28 mm)
- Espesor de Pared: SCH 40 (7.11 mm – 0.280")
- Metal de Aporte : ER70S-6 3/32" – Clasificación AWS 5.18
- Características Eléctricas: Estos datos se toman según las fichas técnicas del metal de aporte (Anexo 1), los cuales son:

- Amperaje: 120 – 180 A
- Voltaje: 20 – 23 V

Los datos especificados anteriormente son recomendados por el fabricante de la soldadura, pero al momento de realizar la calificación se toman los datos reales de la probeta y se ajusta el WPS a lo que se ve realmente (Catalogo Soldadura Indura).

- Tiempo entre pases: 3 minutos, tiempo para realizar limpieza por medio de grata mecánica.
- Dirección de soldeo: descendente todos los pases. Este proceso tiene una mejor manipulación y aplicabilidad en esta dirección.
- Gas de Protección y rata de flujo: 100 CO<sub>2</sub> – 11-16 l/min, recomendado por el fabricante.
- Velocidad de Avance: 100 mm/min – 150 mm/min, dependiendo del pase que se esté realizando.
- Condiciones de Operación de la línea: 30 PSI
- Secuencia de soldeo de soldadura: se ilustra en el WPS la secuencia de soldeo y la geometría de la junta.

Se incluye adicionalmente valores que se deben de tener en cuenta al momento de realizar la junta soldada como es el carbono equivalente del material para conocer si es necesario realizar pre-calentamiento antes de aplicar soldadura. El cálculo de carbón equivalente se realiza con la siguiente ecuación del Instituto Internacional de la Soldadura (IIW):

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cu + \%Ni)}{15} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5}$$

Ecuación 2. Formula Carbono Equivalente

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 1. Composición Química API5L X42 y la tabla 5 — Chemical composition for PSL 2 pipe with  $t \leq 25,0$  mm (0.984 in) de la especificación API 5L, el valor de CE es de 0,43%, lo cual indica que no hay que realizar precalentamiento al material, ya que se realiza precalentamiento cuando el CE es mayor a 0.43%, y por el espesor del material no es necesario realizar el procedimiento mencionado

Todos estos datos se registran en el formato ESPECIFICACION PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – WPS – PARA HOT TAP (FAG-1000) el cual se puede verificar en los Anexo 2. FORMATO ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – HOT-TAP

## 8.2. DISEÑO DE CUPÓN DE PRUEBA.

Se realiza el modelamiento del cupón de prueba con los elementos que se utilizaran en ella, teniendo en cuenta que se debe de realizar una probeta para realizar una calificación de soldadura en servicio en una junta de OD 6" (168.28 mm – 6.625") en SCH 40 (7.11 mm – 0.280").

Para el ensamble de las piezas se diseñan los siguientes elementos:

- TAPA (2 Unidades)
- COUPLING (2 Unidades)
- CUERPO (1 Unidad)
- CASCOTA (2 Unidades)
- RESPALDO (2 Unidades)

Teniendo los planos (Ver anexo B) de las diferentes piezas con sus respectivas medidas se procede a fabricar el cupón de prueba.

Figura 13. Cupón de Prueba Modelado



Fuente: El Autor

## 8.3. FABRICACIÓN DE CUPÓN DE PRUEBA.

Se procede a fabricar el cupón de prueba con los siguientes materiales:

- Tubería 6" SCH 40 (1 m)
- Platina 1/16" \* 1" (60 cm)
- Lamina 1/8" x 10" x 10" (2 unidades)
- Half Coupling 1" x 3000 (2 Unidad)

Teniendo los materiales se procede a cortar la tubería 6" SCH 40 en dos segmentos de 11" (280 mm) las cuales conformaran la camisa y el resto del tubo será el tubo conductor teniendo en cuenta las dimensiones planteadas en los planos (Anexo B).

Con los segmentos escogidos para la camisa, se realiza un corte más debajo de su centro, ya que al ensamblarlo sobre otro tubo del mismo diámetro es necesario para realizar el ajuste y lograr la abertura de raíz deseada y especificada en el WPS.

Figura 14. Fabricación Cascota



Fuente: El Autor.

Se elabora el bisel para la Junta Ranura y quede ajustada a los requerimiento de la WPS ( $30^{\circ}\pm 2$ ) y sin talón, o como se conoce en el gremio de la soldadura Bisel "Cuchilla" para que haya una fusión completa de los biseles.

Teniendo fabricadas las cascotas, se procede a ensamblar estas en el tubo conductor, con ayuda de herramientas mecánicas teniendo en cuenta las ranuras fabricadas para el respaldo.

Figura 15. Corte de Cascotas



Fuente: El Autor

Figura 16. Elaboración de Biseles



Fuente: El Autor

Figura 17. Ensamble de Cascota a Tubo Conductor.



Fuente: El Autor

Con las cascotas ensambladas y soldadas por puntos de soldadura en la junta - camisa según lo establecido en la WPS, se procede a cortar y soldar las platina de 1/8" en los extremos de los tubos, realizando una perforación de 1" para el half coupling que va soldado en ese sitio y realizando la instalación de ellos según lo indica el estándar API 1104 en su apéndice B.

Realiza la unión por soldadura de la tapa con el tubo conductor se procede a realizar inspección visual y por tintas penetrantes para verificar el estado en que se encuentran las juntas y evitar inconvenientes al momento de realizar la prueba (Ver Anexo D).

Figura 18. Soldadura de Tapa y Half-Coupling



Fuente: El Autor

Figura 19. Inspección por tintas penetrantes



Fuente: El Autor

#### 8.4. MONTAJE DE CUPÓN DE PRUEBA

Realizadas las inspecciones, se procede a realizar el montaje del cupón de prueba. El montaje se realiza siguiendo las indicaciones del estándar API 1104 Apéndice B que se deben de realizar según lo indica la figura B.2 Suggested Procedure and Welder Qualification Test Assembly, el cupón de prueba debe de ser instalado a un Angulo de 45° aproximadamente.

Figura 20. Instalación Cupón de Prueba.



Fuente: El Autor

Realizada la instalación del cupón de prueba, se procede a armar el árbol de prueba el cual ayudara a regular la presión durante la prueba, para la instalación del manómetro y para la despresurización del cupón de prueba luego de realizada.

Para eso se utilizan elementos como:

- Niples ½" SCH 40
- Válvula de Aguja
- Válvula de bola
- Bushing 1" x ½"
- Codos x 3000

Figura 21. Cupón de Prueba a 45°



Fuente: El Autor

Figura 22. Elementos Empleados Para la Prueba.



Fuente: El Autor

Se dejara un recipiente al que llegara el agua que sale del cupón de prueba y que ingresara nuevamente por la succión de la bomba.

La válvula de bola cumplirá la función de regular y alcanzar la presión especificada para la prueba (30 PSI) mientras que la válvula de aguja se utilizara en el árbol de prueba para despresurizar el cupón de prueba cuando se haya finalizado la misma.

Para lograr circular agua durante el fluido (Agua) se utilizara una bomba eléctrica con las siguientes características:

Tabla 9. Características Bomba

H máx.	40 m
Q máx.	40 l/min
Voltaje	110 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	0.37 kW / 0.5 HP
Corriente	5.5 A

Fuente: El Autor

Se procede a cebar la bomba para sacar el aire que se encuentra en ella, así evitar que se genere cavitación en la bomba y no se logre la presión requerida para la prueba.

## 8.5. EJECUCIÓN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Se revisa la instalación de todos los componentes antes de poner a funcionar la bomba. Ya en funcionamiento la bomba y verificando que haya recirculación de agua se verifica que no haya ninguna fuga que pueda ocasionar pérdidas de presión durante la prueba.

Ya con la bomba puesta en servicio y verificadas las conexiones, se procede a regular la presión de servicio por medio de la válvula de bola instalada hasta lograr la presión especificada en el WPS de 30 PSI y verificada en el manómetro colocado en el árbol.

Realizado lo anterior, se realiza una limpieza previa a las juntas con grata circular para retirar oxido o contaminantes que no permitan una buena soldabilidad de las piezas. Se realiza una calibración del equipo teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el fabricante (Anexo C) y la experiencia del soldador. Se realiza parametrización de variables (Velocidad de Alimentación) en el módulo STT del equipo POWER WAVE 455, que es el proceso recomendado por Lincoln Electric para realizar pases de raíz.

Figura 23. Instalación Cupón de Prueba – Árbol de Prueba



Fuente: El Autor

Del resultado de la parametrización se deja la velocidad de alimentación es de 150 mm/min (6 in/min) el cual es el adecuado para realizar la junta.

Para pase de relleno y presentación, el equipo se coloca en proceso GMAW-S, se realiza parametrización del equipo y se deja con una velocidad de alimentación de 140 mm/min (5 in/min).

El gas es CO<sub>2</sub> a una rata de flujo entre 11-16 L/min para la aplicación de soldadura, tanto para realizar los pases de raíz, relleno y presentación para cada uno de los tipos de junta.

Figura 24. Verificación de Manómetro – Presión de Servicio



Fuente: El Autor

Se empieza por realizar las juntas ranura, luego se realizan las juntas camisa, según lo que se encuentra establecido en la WPS.

Realizado cada pase se realiza limpieza con grata circular para retirar la escoria generada en el proceso.

El calor aportado por el proceso que se está registrando en la tabla 10 lo va arrojando el equipo al momento en que se realiza la soldadura y se toma el valor que arroja al finalizar el proceso de soldeo.

### 8.5.1. Juntas Ranura

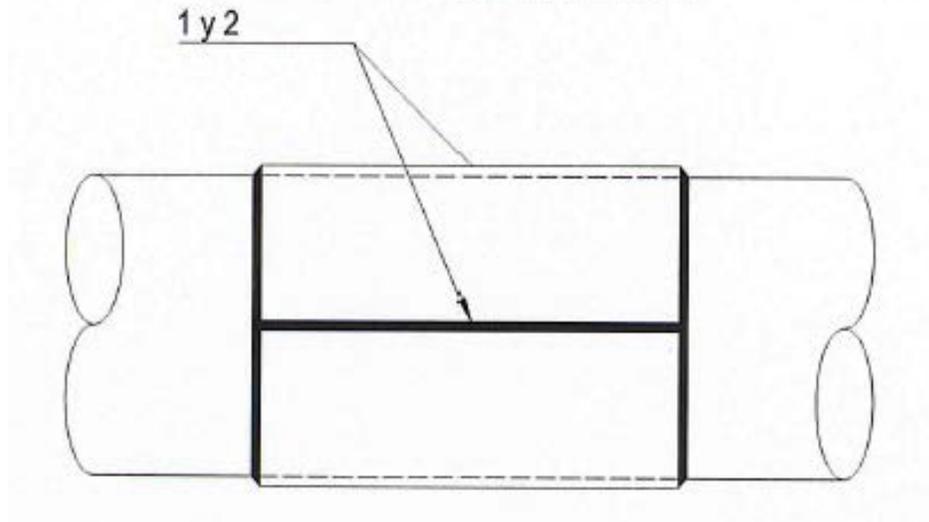
Se obtienen los siguientes datos en cada uno de los cordones aplicados:

Tabla 10. Mediciones Realizadas por Pase – Juntas Ranura

Junta Ranura 1		Pase n°	Junta Ranura 2	
Tiempo (s)	60	1	Tiempo (s)	67
Longitud (mm)	279.4		Longitud (mm)	279.4
Corriente (A)	157		Corriente (A)	162
Voltaje (V)	22		Voltaje (V)	23
Energía (kJ)	150		Energía (kJ)	165
Tiempo (s)	85	2	Tiempo (s)	79
Longitud (mm)	279.4		Longitud (mm)	279.4
Corriente (A)	147		Corriente (A)	143
Voltaje (V)	24		Voltaje (V)	21
Energía (kJ)	211.5		Energía (kJ)	198.2
Tiempo (s)	91	3	Tiempo (s)	83
Longitud (mm)	279.4		Longitud (mm)	279.4
Corriente (A)	158		Corriente (A)	157
Voltaje (V)	24		Voltaje (V)	23
Energía (kJ)	217.2		Energía (kJ)	203.2

Fuente: El Autor

Figura 25. Orden de Soldeo Junta Ranura



Fuente: MONTAJES J.M. S.A.

Los datos obtenidos de Voltaje (V) y Corriente (A) son obtenidos por medio de una pinza voltio-amperimetrica que se conecta en la funda de la pistola.

Con los valores evidenciados en la Tabla 10, estos se registran en el formato establecido para PQR y los valores que faltan por registrar en el WPS.

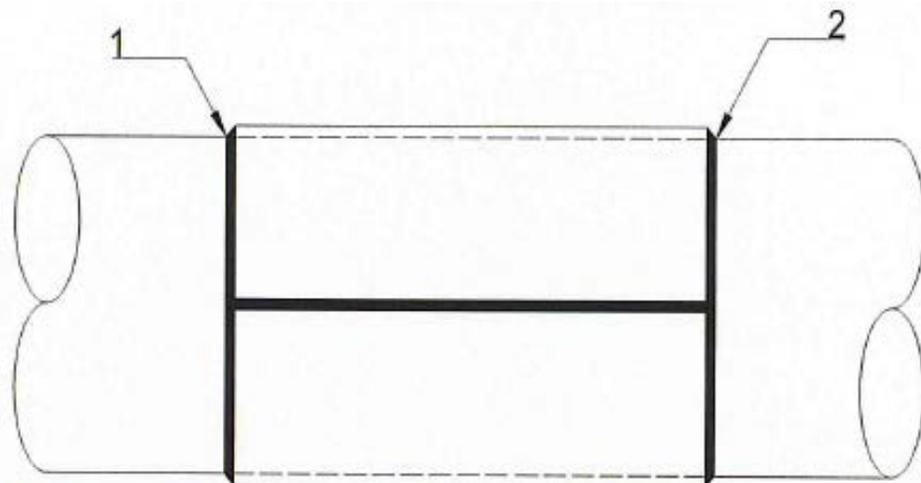
Figura 26. Soldadura en Junta Ranura



Fuente: El Autor

### 8.5.2. Juntas Camisa

Figura 27. Secuencia de Soldeo Junta Camisa



Fuente: MONTAJES J.M. S.A.

Figura 28. Limpieza con Grata Circular



Fuente: El Autor

Las juntas se realizaron con gas de protección  $\text{CO}_2$  con una rata de flujo de 16 L/min para todos los pases realizados.

Las medidas eléctricas fueron tomadas por medio de una pinza voltio-amperimetrica certificada (Ver Anexo F).

La energía (kJ) registrada en las tablas anteriores es suministrada por el equipo Lincoln PowerWave 455M/STT

Entre cada pase realizado se realiza limpieza por medio de grata circular para eliminar la película de protección que se genera al realizar la soldadura.

Al realizar las juntas a traslape, según la secuencia especificada en el WPS se obtienen los siguientes datos

Tabla 11. Junta Camisa 1

Camisa A		Camisa B		
1er PASE				
Tiempo (s)	48	1	Tiempo (s)	50
Longitud (mm)	265		Longitud (mm)	265
Corriente (A)	154		Corriente (A)	153
Voltaje (V)	22		Voltaje (V)	22,5
Energía (kJ)	114.8		Energía (kJ)	119.9
2do PASE				
Tiempo (s)	79	2	Tiempo (s)	72
Longitud (mm)	265		Longitud (mm)	265
Corriente (A)	160		Corriente (A)	158
Voltaje (V)	23,6		Voltaje (V)	24
Energía (kJ)	197.1		Energía (kJ)	177.7
3er PASE				
Tiempo (s)	96	3	Tiempo (s)	94
Longitud (mm)	265		Longitud (mm)	265
Corriente (A)	159		Corriente (A)	160
Voltaje (V)	23.2		Voltaje (V)	23.4
Energía (kJ)	192.8		Energía (kJ)	242

Fuente: El Autor

Tabla 12. Junta Camisa 2

Camisa C		Camisa D		
1er PASE				
Tiempo (s)	55	1	Tiempo (s)	50
Longitud (mm)	265		Longitud (mm)	265
Corriente (A)	155		Corriente (A)	153
Voltaje (V)	23,3		Voltaje (V)	22.4
Energía (kJ)	131.6		Energía (kJ)	116.6
2do PASE				
Tiempo (s)	80	2	Tiempo (s)	83
Longitud (mm)	265		Longitud (mm)	265
Corriente (A)	158		Corriente (A)	153
Voltaje (V)	23.1		Voltaje (V)	24
Energía (kJ)	135		Energía (kJ)	127
3er PASE				
Tiempo (s)	92	3	Tiempo (s)	90
Longitud (mm)	265		Longitud (mm)	265
Corriente (A)	160		Corriente (A)	153
Voltaje (V)	23.2		Voltaje (V)	23.5
Energía (kJ)	210.9		Energía (kJ)	224.6

Fuente: El Autor

Terminada la Junta Ranura y Camisa se procede a apagar la bomba y despresurizar la probeta para luego realizar la inspección visual de las juntas.

### 8.5.3. Inspección

Realizada la soldadura a tope y a traslape se realiza una inspección visual (Ver Anexo D) de las juntas mencionadas, las cuales deben de cumplir con los siguientes criterios (API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES, 2013):

- Libre de Grietas
- Penetración Completa
- Sin Quemones
- Socavados adyacentes al cordón final en el exterior del tubo no debe de exceder 0,8 mm (1/32") de profundidad o el 12,5% del espesor de pared del tubo, la que sea menor.
- No debe de haber más de 50 mm (2") de longitud de socavado en cualquier soldadura continua de 30 mm (12") de espesor.
- Cuando se use soldadura semiautomática o mecanizada, la proyección del alambre de aporte en el interior del tubo debe de ser mantenida al mínimo.

Cumplidos estos requerimientos, se procede a realizar el corte de las probetas para ensayos mecánicos. En caso contrario, el cupón queda rechazado y sería necesario ejecutarlo nuevamente.

Figura 29. Inspección Visual Junta Camisa



Fuente: El Autor

Figura 30. Inspección Visual Junta Ranura



Fuente: El Autor

Realizada la inspección visual, es realizada una inspección por tintas penetrantes para encontrar grietas o discontinuidades que se encuentren en la superficie y que puedan descalificar las juntas, teniendo en cuenta los requerimientos mencionados anteriormente (Anexo D).

Figura 31. Inspección por Tintas Penetrantes



Fuente: El Autor

#### 8.5.4. Corte de Probetas

Realizada la inspección visual y ensayos adicionales se procede a realizar el corte del cupón teniendo en cuenta la ubicación y las dimensiones especificadas.

Las probetas son cortadas con un equipo de oxicorte (Oxígeno – Acetileno) con una tamaño mayor al requerido, ya que al realizar el corte con este equipo, la llama consume un espesor, que si se realiza con las medidas solicitadas por el estándar las probetas quedarían más cortas y no cumplirían con las dimensiones solicitadas.

Luego de cortadas, se procede a pulir las probetas en las zonas de corte para retirar la escoria generada, esta actividad se realiza con disco abrasivo.

Figura 32. Corte de Probetas



Fuente: El Autor

Figura 33. Verificación de dimensiones (Ancho)



Fuente: El Autor

Figura 34. Verificación de dimensiones (Largo)



Fuente: El Autor

Las probetas de la junta camisa que son utilizadas para doblez de raíz y macro ataque, después de cortadas y pulidas, se cortan de las dimensiones solicitadas con disco de 1/16". Con este disco también se realizan las entallas para las probetas que serán utilizadas para ensayo de macro-ataque.

El espesor de las probetas es el mismo del material base (7.11 mm).

Las probetas con indicador 1, 2 para el caso de probetas de tracción, doblez de cara, doblez de raíz, sanidad identifican las probetas de Junta Ranura.

Las probetas de junta camisa se encuentran identificadas con los indicadores 3, 4, 5 y 6.

Para macro Ataque no aplica lo mencionado anteriormente, ya que este ensayo solo se realiza a juntas camisa.

Tabla 13. Identificación Probetas

Ensayo	Designación
Tracción	T1
	T2
Dobleza de Cara	DC1
	DC2
	DC3
	DC4
Dobleza de Raíz	DR1
	DR2
Sanidad – Nick Break	NB1
	NB2
	NB3
	NB4
	NB5
	NB6
Macro Ataque	MA1
	MA2
	MA3
	MA4

Fuente: El Autor

Figura 35. Probetas Macro ataque Junta Camisa



Fuente: El Autor

Figura 36. Probetas para Ensayos Mecánicos



Fuente: El Autor

## 8.6. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)

### 8.6.1. Calculo Velocidad de Avance

#### 8.6.1.1. Junta Ranura

Para el cálculo de velocidad de avance se toman los datos obtenidos en la medición realizada mientras se ejecutaba el cupón de prueba los cuales son para la Junta Ranura que se encuentran registrados en la tabla 10 de este documento.

Se realiza el cálculo de la velocidad de avance dividiendo la longitud realizada entre el tiempo utilizado para realizar esa soldadura, de lo cual se obtiene:

Tabla 14. Velocidad de Avance Junta Ranura

	Pase nº	Ranura 1	Ranura 2	Promedio
Velocidad Avance (mm/min)	1	279.4	251.71	265.55
	2	198.15	213.28	205.72
	3	185.03	202.46	193.75

Fuente: El Autor

### 8.6.1.2. Junta Camisa

Para realizar el cálculo de las velocidades de avance en cada pase de junta camisa se toman los datos de las tablas 11 y 12 de este documento.

Tabla 15. Velocidad de Avance Junta Camisa

	Pase nº	Camisa A	Camisa B	Camisa C	Camisa D	Promedio
Velocidad de Avance (mm/min)	1	331.25	318.00	289.09	318.00	314.09
	2	201.27	220.83	198.75	191.57	203.10
	3	165.63	169.15	172.83	176.67	171.07

Fuente: El Autor

Las velocidades de avance promedio se registran en el PQR (Ver Anexo E).

### 8.6.2. Calculo Entrada de Calor

Para el cálculo de entrada de calor, el cual se debe de suministrar en el WPS como en el PQR se calculó de la siguiente manera:

$$E.C = \frac{V \times A \times 60}{V.A. \times 1000}$$

Ecuación 3. Entrada de Calor

Dónde:

E.C = Entrada de Calor (kJ/mm)

V = Voltaje (V)

A = Corriente (A)

V.A = Velocidad de Avance (mm/min) - Promedio

Para realizar los cálculos de entrada de calor, se toman los valores promedio de velocidad de avance hallados en 8.6.1. y los valores de corriente y voltaje registrados en las tablas 10, 11, 12, 14 y 15 de este documento.

Tabla 16. Aporte de Calor Junta Ranura

	Voltaje (V)			Corriente (A)			Vel. Avance Promedio (mm/min)	Calor Aportado (kJ/mm)
	V1	V2	Promedio	C1	C2	Promedio		
Pase nº 1	22	23	22.5	157	162	159.5	265.55	0.811
Pase nº 2	24	21	22.5	147	143	145	205.72	0.952
Pase nº 3	24	23	23.5	158	157	157.5	193.75	1.146

Fuente: El Autor

Tabla 17. Aporte de Calor Junta Camisa

	Voltaje (V)					Corriente (A)					Vel. Avance Promedio (mm/min)	Calor Aportado (kJ/mm)
	VA	VB	VC	VD	Promedio	CA	CB	CC	CD	Promedio		
Pase nº 1	22	22.5	23.3	22.4	22.25	154	153	155	153	153.5	265.55	0.772
Pase nº 2	23.6	24	23.1	24	23.8	160	158	158	153	159	205.72	1.104
Pase nº 3	23.2	23.4	23.2	23.5	23.3	159	160	160	153	159.5	193.75	1.151

Fuente: El Autor

Los valores promedio registrados son registrados en el PQR del procedimiento.

### 8.6.3. Aporte de Calor Arrojado por el Equipo

Este cálculo se realiza teniendo en cuenta los valores dados por la máquina de soldar Lincoln PowerWave 455M/STT los cuales se encuentran registrados en las tablas 10,11 y 12 de este documento con el título Energía (kJ).

Conocido este valor se divide entre la longitud del cordón con la que se generó esa energía y se obtiene para la junta longitudinal y circunferencial en cada uno de los pases:

Tabla 18. Aporte de Calor Junta Ranura

	E1	E2	Promedio (kJ)	Longitud (mm)	Calor Aportado (kJ/mm)
Pase nº 1	114,8	119.9	117.35	279.4	0.420
Pase nº 2	160	158	159	279.4	0.569
Pase nº 3	159	160	159.5	279.4	0.571

Fuente: El Autor

Tabla 19. Aporte de Calor Junta Camisa

	EA	EB	EC	ED	Promedio (kJ)	Longitud (mm)	Calor Aportado (kJ/mm)
Pase nº1	114	119	131	116	120	265	0.453
Pase nº2	197	177	135	127	159	265	0.600
Pase nº3	192	242	210	224	217	265	0.819

Fuente: El Autor

## 8.7. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos destructivos se encuentran reportados en los informes RP-001 para los ensayos de Tensión, Sanidad, y Doblez guiado de cara y raíz. Los ensayos de macro ataque se encuentran reportados en el informe RP-002

### 8.7.1. Ensayos de Tensión

Figura 37. Máquina de Ensayos



Fuente: El Autor

Los ensayos de tensión se realizan teniendo en cuenta las dimensiones mencionadas anteriormente en el párrafo 7.6.5. Realizando control dimensional, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 20. Verificación de Dimensiones Probetas Ensayo a Tensión

Verificación de Dimensiones Probetas Ensayo a Tensión			
Designación	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área Transversal (mm <sup>2</sup> )
T1	6.95	25.97	180.49
T2	6.77	27.28	184.68

Fuente: El Autor

Realizada la verificación dimensional se procede a realizar el ensayo, en el cual se obtienen los siguientes valores:

Tabla 21. Resultados Ensayos a Tensión

Resultados Ensayos a Tensión			
Designación	Carga Máxima (N)	Resistencia Máxima a la Tensión (MPa)	Ubicación Rotura
T1	81785	453.1	RMS
T2	86410.6	467.9	RFS

Fuente: Laboratorio Soldaduras Lincoln

RMS: Rompe en Metal de Soldadura

RFS: Rompe Fuera de Metal de Soldadura

Figura 38. Ensayo de DobleZ



Fuente: El Autor

### 8.7.2. Ensayos de DobleZ

Los ensayos de doblez se realizan teniendo en cuenta las dimensiones presentadas en el párrafo 7.6.7. establecidos en este documento y sus criterios de aceptación.

Tabla 22. Verificación Dimensional Probetas Doblez

Dimensiones Iniciales Probetas (mm)	Identificación					
	D. Raíz (R)		D. Cara (R)		D. Cara (C)	
	DR1	DR2	DC1	DC2	DC3	DC4
Espesor	6.98	6.90	6.95	6.96	6.95	6.91
Ancho	25.73	25.41	24.56	27.21	26.33	25.43

Fuente: El Autor

Realizada la verificación dimensional, se procede a realizar el ensayo, el cual se obtienen los siguientes resultados de las probetas ensayadas de ranura (R) como de camisa (C).

Figura 39. Dobleza de Cara



Fuente: El Autor

Realizados los ensayos de doblez se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 23. Resultados Obtenidos Ensayo Guiado de Doblez

Resultados Obtenidos Ensayo Guiado de Doblez	
Identificación	Descripción Discontinuidad/Defecto
DR1	Ninguna
DR2	Ninguna
DC1	Ninguna
DC2	Ninguna
DC3	Ninguna
DC4	Ninguna

Fuente: Laboratorio Soldaduras Lincoln

### 8.7.3. Ensayo de Sanidad (Nick-Break)

Se realiza el ensayo de las probetas, teniendo en cuenta el parágrafo 7.6.6 Y 7.6.8.1 de este documento que está basado en el API 1104.

Figura 40. Ensayos de Sanidad



Fuente: El Autor

Tabla 24. Verificación Dimensional Probetas Sanidad

Verificación Dimensional Probetas Sanidad						
Dimensiones Iniciales Probetas (mm)	Identificación					
	Sanidad (R)		Sanidad (C)			
	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6
Espesor	6.87	6.98	6.99	6.87	6.97	6.93
Ancho	25.78	26.91	26.89	26.90	25.89	26.11

Fuente: El Autor

Tabla 25. Resultados Obtenidos Ensayo de Sanidad

Resultados Obtenidos Ensayo de Sanidad	
Identificación	Descripción discontinuidad/defecto
NB1	Discontinuidad Menor a 3 mm
NB2	Ninguna
NB3	Ninguna
NB4	Ninguna

Fuente: Laboratorio Soldaduras Lincoln

#### 8.7.4. Ensayo de Macro ataque

Figura 41. Ensayo de Macro Ataque – Medición de Catetos



Fuente: El Autor

Se realiza una verificación dimensional de las probetas en las que se realizara el ensayo de macro ataque.

Tabla 26. Verificación Dimensional Probetas Macro Ataque

Verificación Dimensional Probetas Macro Ataque				
Dimensiones Iniciales Probetas (mm)	Identificación			
	Macro Ataque (C)			
	MA1	MA2	MA3	MA4
Longitud	100	101	102	103
Ancho	12	11.9	12.3	12

Fuente: El Autor

El Macro Ataque es realizado con ácido clorhídrico (HCl) caliente diluido a una temperatura alrededor de los 60°C. Se introducen las probetas en ácido caliente y se dejan por un par de minutos, hasta que las probetas se vean atacadas. Se cortan las probetas y se lija con una lija 200 hasta una 600.

En el ensayo se busca básicamente verificar la fusión de la raíz y la convexidad o concavidad del filete.

Tabla 27. Resultados Tamaño del Filete - Camisa

Resultados Tamaño del Filete - Camisa				
Identificación de la Probeta	Cateto 1 (mm)	Cateto 2 (mm)	Diferencia (mm)	Convexidad (mm)
MA1	9.1	8.5	0.6	1.2
MA2	9.5	8.7	0.8	1
MA3	9.5	8.9	0.6	1.1
MA4	9.3	8.8	0.5	1.1

Fuente: El Autor

Tabla 28. Resultado Defectología Ensayo Macro Ataque

Resultado Defectología Ensayo Macro Ataque	
Identificación	Descripción Discontinuidad/Defecto
MA1	Sin Discontinuidades
MA2	Sin Discontinuidades
MA3	Sin Discontinuidades
MA4	Sin Discontinuidades

Fuente: El Autor

Los resultados de los ensayos destructivos se encuentran descritos en los informes RP-001 y RP-002 (Ver Anexo E)

## 9. ESTIMACIÓN DE COSTOS SOLDADURA

Los métodos de definición de soldadura mencionados a continuación están basados en (West-Arco, 2012)

### 9.1. COSTOS PROCESO GMAW

#### 9.1.1. Peso de Metal Depositado (PMD)

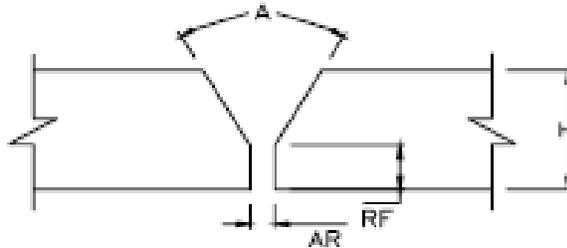
Es la cantidad de aporte necesaria para completar una unión soldada. Esta cantidad se determina de la siguiente manera:

$$PMD = AREA SECCIONAL \times LONGITUD \times DENSIDAD APORTE$$

Ecuación 4. Peso Metal Depositado

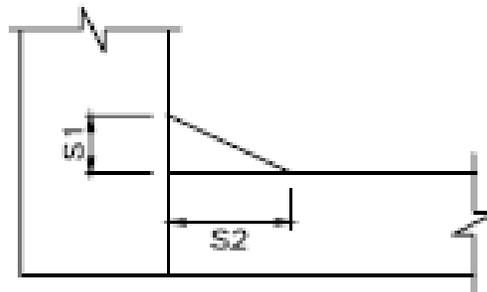
Se realiza para las juntas ranura y camisa, para lo cual se deben de tener en cuenta lo siguiente:

Figura 42. Calculo Área Diseño Ranura en V



Fuente: Determinación de Electrodo y Calculo de Costos de Soldadura al Arco Asistido por Computadora, 2002

Figura 43. Calculo Área Seccional Filete



Fuente: Determinación de Electrodo y Calculo de Costos de Soldadura al Arco Asistido por Computadora, 2002

Revisando la WPS se obtiene los valores necesarios para realizar el cálculo del área seccional:

Tabla 29. Valores para cálculo de área Transversal

DATO	VALOR
A (Angulo de Ranura)	60°
AR (Abertura de Raíz)	0.0512" (1,3 mm)
RF (Talón)	0
T (Espesor)	0.280" (7.11 mm)
S <sub>1</sub> = S <sub>2</sub> (Lados filete)	9 mm
L1 (Longitud Cordón Junta Ranura)	22" (558,8 mm)
L2 (Longitud Cordón Junta Camisa)	42" (1067 mm)
Densidad Metal de Aporte	7917 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: El Autor

Para realizar el cálculo de la sección transversal se realiza de la siguiente manera:

Para la Junta Ranura:

$$Seccion\ transversal\ A_1 = \left[ (T - RF)^2 \times \tan\left(\frac{A}{2}\right) \right] + [AR \times T]$$

Ecuación 5. Sección Transversal Junta Ranura

Realizando el cálculo respectivo con todas las medidas en mm, se obtiene:

$$A_1 = 38.42 \text{ mm}^2 = 38,42 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Para la Junta Camisa:

$$Seccion\ transversal\ A_2 = \frac{1}{2} S_1 \times S_2$$

Ecuación 6. Sección Transversal Junta Camisa

Realizando el cálculo respectivo con todas las medidas en mm, se obtiene:

$$A_2 = 40.5 \text{ mm}^2 = 40.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Calculadas las áreas se determina el peso del metal depositado, teniendo en cuenta los la ecuación 4 y los datos registrados en la tabla 29.

$$PMD_{RANURA} = 0.17 \text{ kg}$$

$$PMD_{CAMISA} = 0.34 \text{ kg}$$

PMD = 0,51 kg

A este valor se le aumenta el 10% por concepto de refuerzos que da como resultado:

PMD<sub>TOTAL</sub> = 0.56 kg

Para determinar el peso de metal depositado verdadero, se debe de tener en cuenta la eficiencia de deposición (ED) del proceso. Para el proceso GMAW para alambre solido la eficiencia de deposición esta entre 90%.

$$PMD_{TOTAL} = \frac{PMD}{ED}$$

Ecuación 7. Peso Metal Depositado Total

Efectuando la ecuación, se obtiene un PMD<sub>TOTAL</sub> = 0.62 Kg

#### 9.1.2. Costo Metal de Aporte (CMA)

Para obtener el costo del metal de aporte se debe de conocer el precio del metal de aporte (PMA). Se investiga el PMA de la especificación ER70S-6 el cual tiene un valor de \$115,000 x 15 kg o \$7,666/kg.

Para conocer el costo del metal de aporte (CMA) se utiliza la siguiente ecuación:

PMA= \$7,666/kg

PMD<sub>TOTAL</sub> = 0.56 kg

$$CMA(\$) = PMD_{TOTAL}(kg) \times PMA\left(\frac{\$}{kg}\right)$$

Ecuación 8. Calculo Costo Metal de Aporte

Reemplazando los valores en la ecuación:

CMA (\$) = \$ 4,752

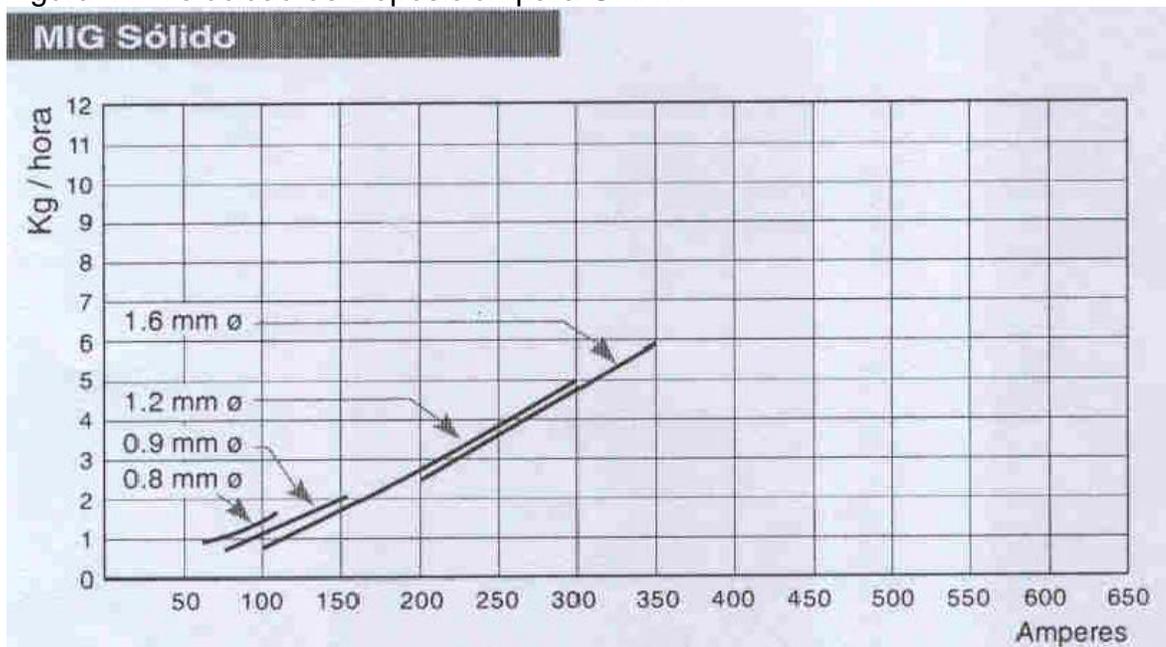
### 9.1.3. Velocidad de Deposición (VD)

Es la cantidad de material de aporte depositado por unidad de tiempo, este depende de:

- Velocidad de Avance de Electrodo
- Corriente
- Diámetro del Alambre
- Tipo de Gas Protector

Para determinar la velocidad de deposición se utilizan graficas las cuales fueron generadas experimentalmente.

Figura 44. Velocidad de Deposición para GMAW



Fuente: Soldaduras West-Arco

El diámetro de alambre usado es de 1.2 mm y la corriente máxima registrada en el proceso fue de 162 A.

Teniendo estos dos valores se calcula en la Figura 44, y el valor obtenido de este cruce es de 2 kg/h

### 9.1.4. Factor de Operación (FO)

Es el porcentaje de tiempo en horas, que esta encendido el arco por cada hora de trabajo.

El resto de tiempo es utilizado en tareas secundarias como:

- Preparación de la Junta
- Limpieza de Cordones depositados
- Pulido
- Cambio de electrodo

Para el cálculo, se utiliza el tiempo  $t_a$  y el tiempo que se usó para realizar la unión soldada de uno de los cordones longitudinales.

Tiempo de arco ( $t_a$ ) = 229 s = 3,82 min

Tiempo entre pases ( $t_p$ ) = 3 min x 3 cordones = 9 min

$$FO = \frac{t_a}{t_a + t_p} \times 100$$

Ecuación 9. Cálculo de Factor de Operación

Reemplazando los valores en la ecuación 9 se obtiene que:

FO = 29,79%

#### 9.1.5. Costo Gas de Protección (CTGP)

Para calcular el Costo de Gas de Protección (CTGP) se necesita el Precio de Gas de Protección (PGP). Realizando la consulta con el área de compras se obtiene que el gas de protección CO<sub>2</sub> tiene un valor de \$3,480/kg.

Otros datos necesarios para calcular el gas de protección son los calculados anteriormente, los cuales son:

- Peso Total Metal de Aporte ( $PMD_{TOTAL}$ ) = 0,62 kg
- Velocidad de Deposición (VD) = 2 kg/h
- Eficiencia de Deposición (ED) = 90%
- Flujo Gas de Protección (FG) = 16 L/min = 0,96 m<sup>3</sup>/h
- Factor de Operación (FO) = 29,79%

Teniendo estos valores se usa la siguiente fórmula:

$$CTGP = \frac{PGP \times PMD_{TOTAL} \times FG \times ED}{VD \times FO}$$

Ecuación 10. Costo Gas de Protección

Reemplazando los valores:

$$CTGP = \$3,128$$

#### 9.1.6. Costo de la Energía Eléctrica (CTEE)

Para determinar el costo de la energía eléctrica (CTEE) se necesitan los siguientes valores:

- Precio de Energía Eléctrica (PEE): Este valor es obtenido del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMEC) el cual es de \$466.93/kWh.
- Voltaje Utilizado Durante el Soldeo (V): el valor promedio del voltaje es de 23 V.
- Amperaje Utilizado Durante el Soldeo (A): El valor promedio del amperaje es de 155 A.
- $PMD_{TOTAL} = 0.62$  kg
- ED = 90%
- VD = 2 kg/hora

Teniendo los valores, se utiliza la siguiente ecuación para determinar el Costo de la Energía Eléctrica

$$CTEE = \frac{PEE \times V \times A \times PMD_{TOTAL} \times ED}{1000 \times VD}$$

Ecuación 11. Costo Energía Eléctrica

Reemplazando valores se obtiene:

$$CTEE = \$464.42$$

#### 9.1.7. Costo Mano de Obra (CMO)

Para determinar el Costo de la mano de obra, debemos conocer el costo de la mano de obra por hora del personal necesario para realizar una junta en servicio.

Para esto es necesario el siguiente personal, el cual tiene el siguiente sueldo:

Tabla 30. Salario Mano de Obra

Cargo	Salario Mensual	Salario Diario	Salario x Hora
soldador 1A	\$8'500,000	\$283,333	\$35,416
Tubero 1A	\$4'500,000	\$150,000	\$18,750
Ayudante Técnico	\$2'100,000	\$70,000	\$8,750
inspector QA/QC	\$3'000.000	\$100,000	\$12,500
TOTAL			\$75,416

Fuente: Recursos Humanos MONTAJES J.M. S.A.

El salario diario se obtiene teniendo en cuenta 8 horas laborales diarias, 30 días laborales. Los salarios mensuales del personal se obtienen del área de personal de la compañía.

Teniendo los valores de Mano de Obra por Hora (PMO), calculamos CMO de la siguiente manera:

$$CMO = PMO \times \frac{PMD_{TOTAL}}{VD} \times \frac{ED}{FO}$$

Ecuación 12. Costo Mano de Obra

Reemplazando los valores:

$$CMO = \frac{\$75,416}{Hora} \times \frac{0.62 Kg}{2 \frac{Kg}{hora}} \times \frac{0.9}{0.2979}$$

$$CMO = \$70,631$$

#### 9.1.8. Costo Total de la Soldadura (CTFS)

Para obtener el costo total de la soldadura (CTFS), se suman todos los valores obtenidos anteriormente, los cuales se referencian en la siguiente tabla:

Tabla 31. Costo Total de la Soldadura GMAW

Ítem	Valor
Costo Metal de Aporte (CMA)	\$4,752
Costo Total Gas de Protección (CTGP)	\$3,128
Costo Energía Eléctrica (CTEE)	\$464.42
Costo Mano de Obra (CMO)	\$70,631
TOTAL (CTFS)	\$78,975.42

Fuente: El Autor

## 9.2. COSTOS PROCESO SMAW

Para calcular los costos para el proceso SMAW, se realizan las mismas operaciones realizadas anteriormente

### 9.2.1. Peso Metal Depositado (PMD)

Se tienen los siguientes datos obtenidos del WPS JM015 utilizado por MONTAJES J.M. S.A. para soldaduras en servicio en proceso SMAW:

Tabla 32. Valores Para Calculo Área Transversal SMAW

Dato	Valor
A (Angulo de Ranura)	74°
AR (Abertura de Raíz)	0.125" (3.175 mm)
RF (Talón)	0
T (Espesor)	0.280" (7.11 mm)
S <sub>1</sub> (Altura filete)	9 mm
S <sub>2</sub> (Altura Filete)	11 mm
L1 (Longitud Cordón Junta Ranura)	22" (558.8 mm)
L2 (Longitud Cordón Junta Camisa)	42" (1067 mm)
Densidad Metal de Aporte	7917 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: El Autor

Se toma la misma longitud de cordón longitudinal y del cordón circunferencial para determinar el consumo.

Utilizando las ecuaciones 3 y 4, reemplazando los valores se obtiene:

$$A_1 = 60.67 \text{ mm}^2 = 60.67 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 49.5 \text{ mm}^2 = 49.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Teniendo las áreas las sumamos y multiplicamos por la densidad del metal de aporte, la cual obtenemos:

$$\text{PMD} = (A_1 + A_2) \times \text{Densidad metal aporte} = 0.87 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta la Tabla 32, se utiliza la ecuación 4, lo cual se obtiene:

$$\text{PMD}_{\text{TOTAL}} = 0,87 \text{ Kg} + 10\% \text{ Refuerzo} = 0.96 \text{ kg}$$

La eficiencia de deposición para el proceso SMAW (ED) es alrededor del 60%.

Utilizando la Ecuación 7, el peso total de metal depositado es:

$$\text{PMD}_{\text{TOTAL}} = 1.6 \text{ kg}$$

### 9.2.2. Costo Metal de Aporte (CMA)

El cálculo se realiza teniendo en cuenta la ecuación 8. La soldadura usada en proceso SMAW es bajo hidrogeno E7018, el cual tiene un valor en el comercio de \$38.900 x 5 Kg o un PMA = \$7,780/Kg

Realizando el reemplazo de valores en la ecuación 8, se obtiene:

$$\text{CMA} (\$) = \$ 12,448$$

Para obtener el costo del metal de aporte se debe de conocer el precio del metal de aporte (PMA). Se investiga el PMA de la especificación ER70S-6 el cual tiene un valor de \$115,000 x 15 kg o \$7,666/kg.

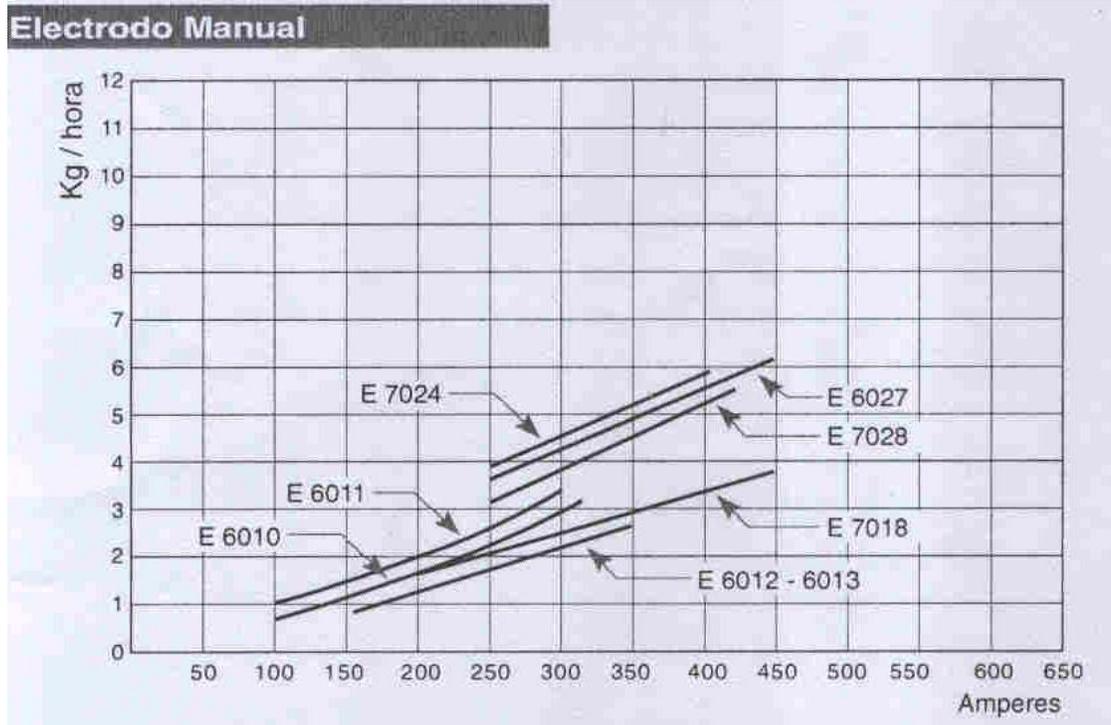
### 9.2.3. Velocidad de Deposición (VD)

Para determinar la velocidad de deposición, se utiliza la figura 45:

El diámetro de electrodo utilizado para este para este procedimiento es de 1/8" y una corriente máxima registrada en el PQR es de 130 A.

Teniendo estos dos valores se calcula, y el valor obtenido de este cruce es de 1 kg/h

Figura 45. Velocidad de Deposición para SMAW



Fuente: Soldaduras West-Arco

#### 9.2.4. Factor de Operación (FO)

Para el cálculo, se utiliza el tiempo que se usó para realizar la unión soldada de uno de los cordones longitudinales. La velocidad máxima es de 140 mm/min, según lo establecido en el PQR del procedimiento JM015.

La distancia recorrida es la misma (11 in = 279,4) para la junta longitudinal. Teniendo la velocidad y la operación, se puede obtener el tiempo de arco ( $t_a$ ).

Tiempo de arco ( $t_a$ ) = 1,99 min

El tiempo entre pases ( $t_p$ ) establecido en el WPS JM015 es de 20 min

Tiempo de arco ( $t_a$ ) = 1,99 min x 5 cordones = 9,95 min

Tiempo entre pases ( $t_p$ ) = 20 min x 5 cordones = 100 min

Utilizando la ecuación 9, se obtiene:

FO = 9,05%

#### 9.2.5. Costo Gas de Protección (CTGP)

El proceso SMAW no utiliza gas de protección.

#### 9.2.6. Costo de la Energía Eléctrica (CTEE)

Para determinar el costo de la energía eléctrica (CTEE) se necesitan los siguientes valores:

- Precio de Energía Eléctrica (PEE): Este valor es obtenido del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMEC) el cual es de \$466.93/kWh.
- Voltaje Utilizado Durante el Soldeo (V): el valor promedio del voltaje es de 25 V.
- Amperaje Utilizado Durante el Soldeo (A): El valor promedio del amperaje es de 130 A.
- $PMD_{TOTAL} = 1.6 \text{ kg}$
- ED = 60%
- VD = 1 kg/h

Teniendo los valores, se utiliza la siguiente ecuación para determinar el Costo de la Energía Eléctrica, utilizando la ecuación 10.

$$CTEE = \$455.25$$

#### 9.2.7. Costo Mano de Obra (CMO)

El costo de la mano de obra (CMO) es el mismo para el proceso GMAW, el cual es de:

$$CMO = \$70,631$$

#### 9.2.8. Costo Total de la Soldadura (CTFS)

Para obtener el costo total de la soldadura (CTFS), se suman todos los valores obtenidos anteriormente, los cuales se referencian en la siguiente tabla:

Tabla 33. Costo Total de la Soldadura SMAW

Ítem	Valor
Costo Metal de Aporte (CMA)	\$12,448
Costo Total Gas de Protección (CTGP)	\$0
Costo Energía Eléctrica (CTEE)	\$455.25
Costo Mano de Obra (CMO)	\$70,631
TOTAL (CTFS)	\$83,534.25

Fuente: El Autor

## 10. CONCLUSIONES

Los formatos diseñados para el WPS (FAG-1000 ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS - PARA HOT TAP) y para PQR (FAG-1001 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - PQR - PARA HOT TAP API 1104) cumple con los variables que deben de estar registradas según el estándar API 1104.

La probeta de tensión identificada como T1 rompe por el metal de soldadura. Esta probeta cumplió con el mínimo de esfuerzo a la tracción del material, y se evalúa como una sanidad. No se encuentran ninguna indicación que de por rechazada la probeta y el procedimiento.

Las probetas de dobléz no presentan ninguna indicación significativa, lo que indica que hubo una buena fusión entre el metal de soldadura y el metal base con las características descritas en la WPS diseñada.

En las probetas de macro ataque se evidencia que la soldadura presenta una buena fusión en la raíz entre el metal de soldadura y el metal base. Las dimensiones del filete se encuentran dentro de los criterios de aceptación del estándar API 1104.

La probeta de Sanidad NB1 presenta una indicación que se encuentra dentro de los criterios de aceptación del estándar API 1104.

El procedimiento de soldadura queda calificado para las variables y proceso especificado en este documento y registrado en el PQR.

La entrada de calor por medio del proceso GMAW-STT es menor que en el proceso que está usando actualmente MONTAJES J.M. S.A. Al tener menos aporte de calor se puede disminuir la ZAC, y la microestructura de esta zona cambia menos con relación al material base utilizado.

La velocidad de avance es mayor que en el proceso SMAW, alrededor del doble. Al tener una mayor velocidad de avance, el calor aportado a la junta es menor y se afecta menos la ZAC.

El tiempo en que se ejecuta el arco en el proceso GMAW es mayor que el proceso SMAW ya que se tiene un aporte continuo de material. El tiempo de limpieza entre pases es menor que con proceso SMAW ya que el alambre no cuenta con un recubrimiento ya que la protección se realiza por medio de un gas, lo cual tiene la ventaja de no generar inclusiones de escoria y que no se pierde tiempo retirando escoria del cordón durante el proceso.

El proceso GMAW-STT genera menos salpicadura que un GMAW-S por lo que la caída de la gota al metal base es más controlada, y se genera reducción de tiempo por limpieza aumentando productividad, ya que también aumenta la velocidad de avance.

Por medio del proceso GMAW-STT se tiene una mayor rata de deposición, ya que para las juntas longitudinales y circunferenciales se realizan 3 pases mientras que en el proceso SMAW para el mismo espesor de material es necesario realizar 5 cordones para las juntas longitudinales y para las juntas circunferenciales 8 cordones, lo cual genera un mayor aporte de calor hacia la pieza.

Es más económico realizar una junta por medio de GMAW-STT que por SMAW según los cálculos operacionales realizados. Este documento solo realiza viabilidad de estos costos ya que se debe de tener gastos indirectos como accesorios y transporte de equipos.

Muchos de los parámetros establecidos por el fabricante de la soldadura no se cumplieron, ya que depende de la experticia y habilidad del soldador para realizar la junta y de su conocimiento de la máquina y de lo que puede ofrecer.

## BIBLIOGRAFIA

*API 5L SPECIFICATION FOR LINE PIPE.* (2013).

*API STANDARD 1104 WELDING OF PIPELINES AND RELATED FACILITIES.*  
(2013).

Bazan Navarro, C. E. (2002). *DETERMINACIÓN DE ELECTRODOS Y CÁLCULO DE COSTOS DE SOLDADURA AL ARCO ASISTIDOS POR COMPUTADORA.* Piura: Universidad de Piura.

DeRuntz, B. D. (2013). Assessing the Benefits of Surface Tension Transfer Welding to Industry. *Journal of Industrial Technology*, 1-8.

Nadzam, J. (2005). *GMAW Welding Guide.* Lincoln Electric.

Rivadeneira Camino, A., & Serrano, O. (s.f.). *Estudio comparativo de los procesos de soldadura SMAW y GMAW en las uniones de tuberías de transporte de combustible.*

Salazar, M. (2007). Análisis de soldaduras en servicio para cañerías aplicando diferentes procesos por arco. *SOLDAR CONARCO*, 14-19.

Sanzi, H. C. (2012). Simulación Computacional del Procedimiento de Soldadura en Servicio empleado en la Reparación Estructural de un Gasoducto. *Información Tecnológica*, 97-104.

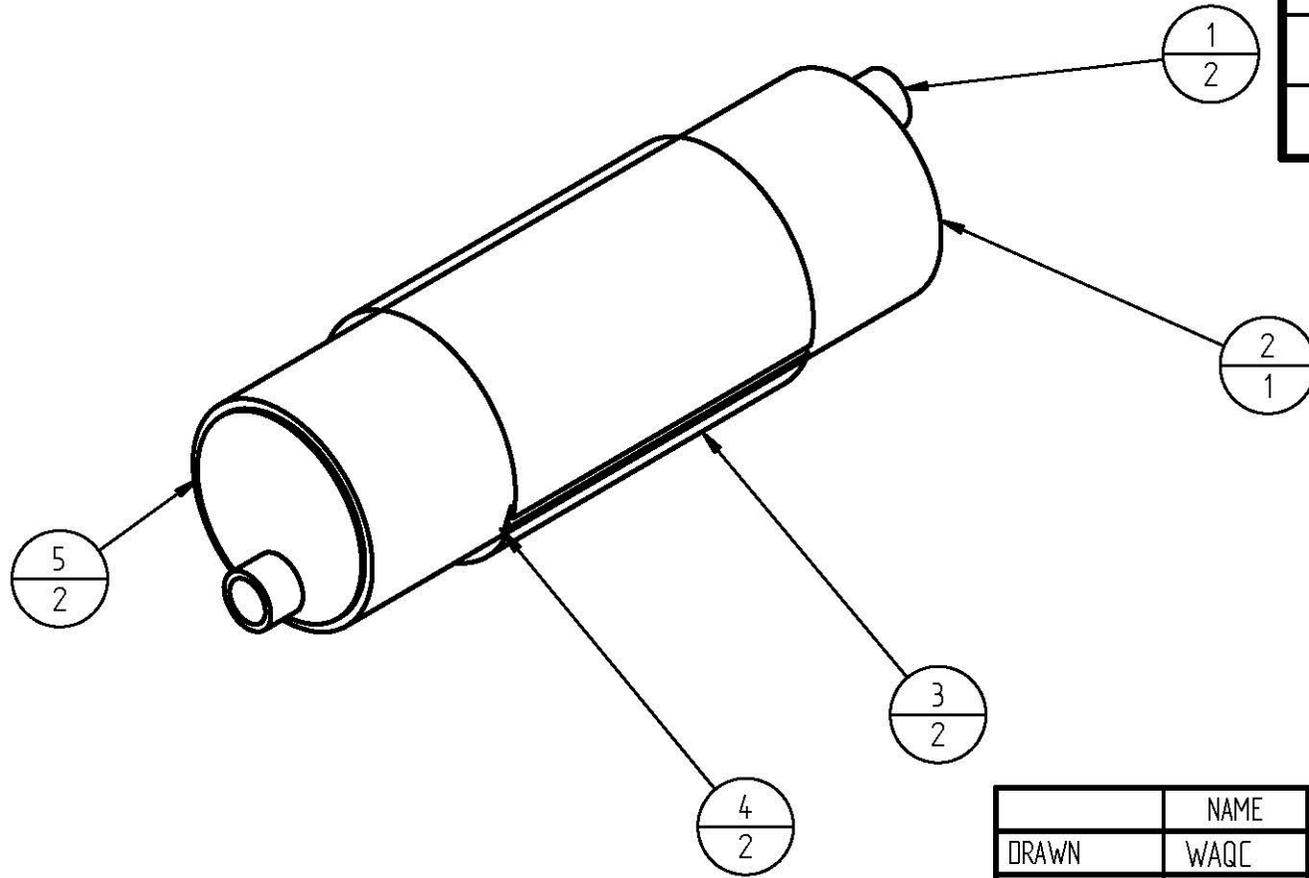
Velasco, J. (2010). Conozcamos el PowerWave STT Module. *Lincoln Soldando*, 1-13.

West-Arco, I. d. (AGOSTO de 2012). CONCEPTO PARA LA ESTIMACION DE COSTOS EN LA FABRICACION DE UNIONES SOLDADAS presentacion diapositivas. BOGOTÁ.

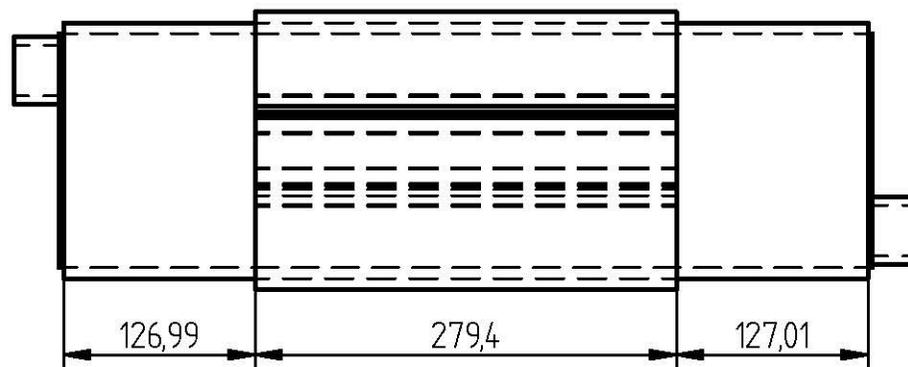
## ANEXOS

### Anexo A. Planos Cupón de Prueba

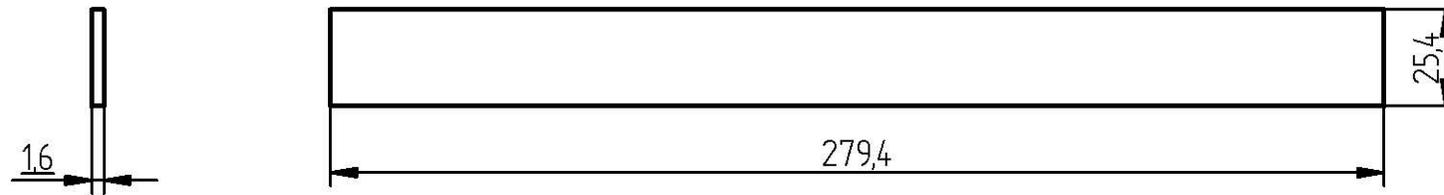
ITEM	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	HALF COUPLING	Steel A105	2
2	CUERPO	Steel API 5LX42	1
3	CASCOTA	Steel API 5LX42	2
4	RESPALDO	Steel A36	2
5	TAPA	Steel A36	2



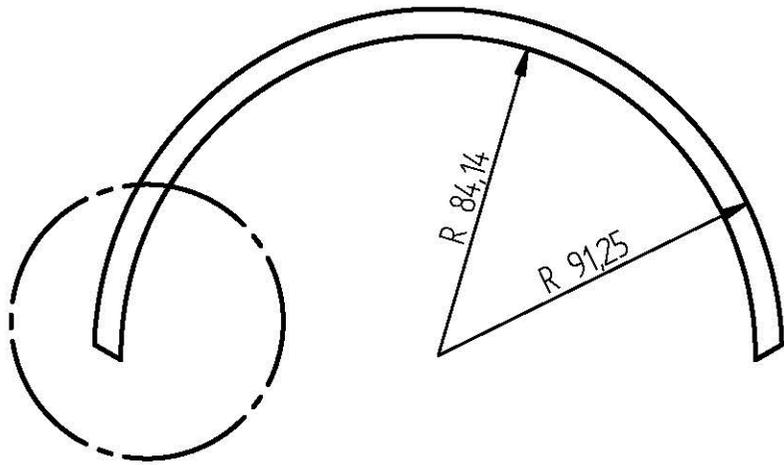
	NAME	DATE	MONTAJES J.M. S.A.		
DRAWN	WAQC	04/18/14			
CHECKED			TITLE SPLIT TEE 6" SCH 40		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4	DWG NO	REV 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			SCALE: 1:5		
			WEIGHT: NA		DIBUJO 1 OF 6



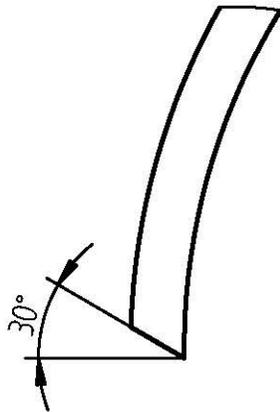
	NAME	DATE	MONTAJES J.M. S.A.		
DRAWN	WAQC	04/18/14			
CHECKED			TITLE ENSAMBLE		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4	DWG NO	REV 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm XX^\circ$ 2 PL $\pm XXX$ 3 PL $\pm XXXX$					
			SCALE: 15	WEIGHT: NA	DIBUJO 2 OF 6



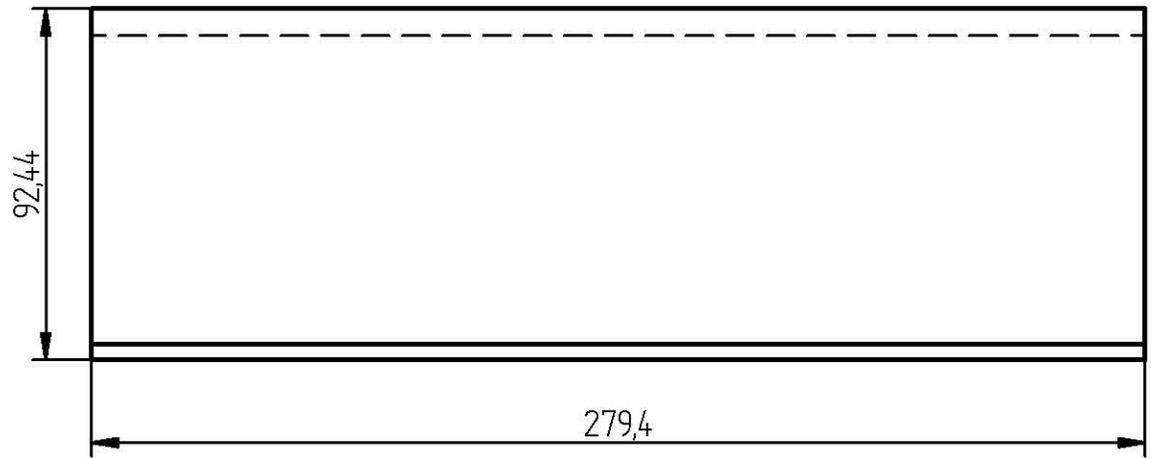
	NAME	DATE	MONTAJES J.M. S.A.		
DRAWN	WAQC	04/18/14			
CHECKED			TITLE RESPALDO		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4    DWG NO    REV 1 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX		
SCALE: 1:2    WEIGHT: NA    DIBUJO 3 OF 6					



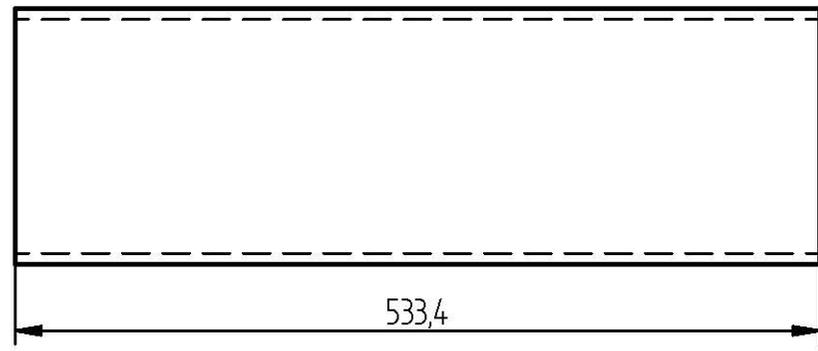
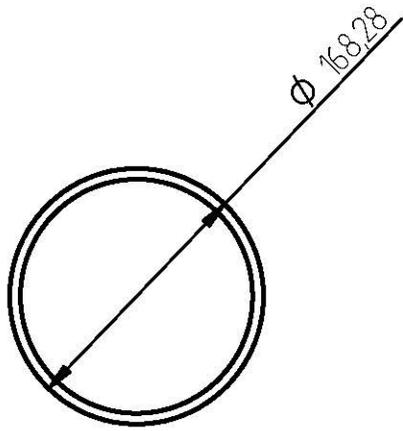
A



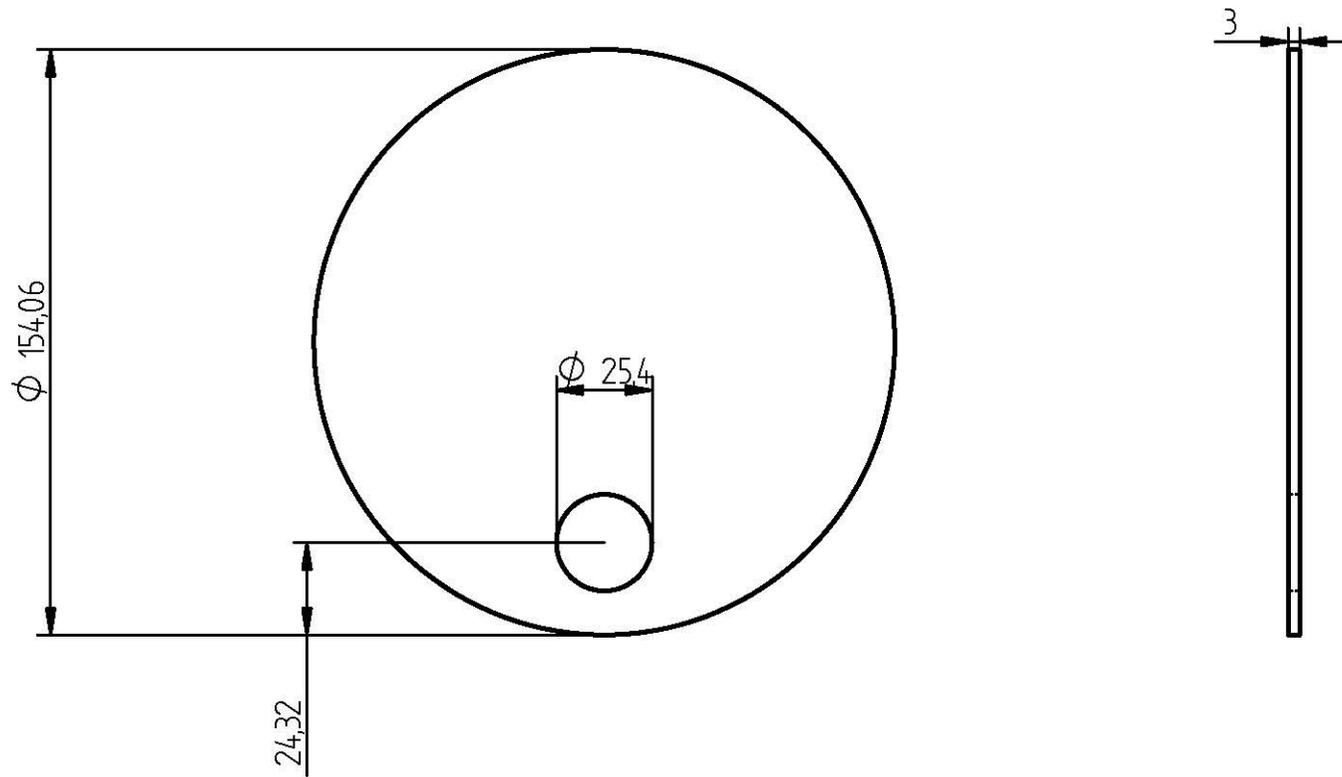
DETALLE A



	NAME	DATE	MONTAJES J.M. S.A.		
DRAWN	WAQC	04/18/14	TITLE		
CHECKED			CASCOTA		
ENG APPR			SIZE	DWG NO	REV
MGR APPR			A4		1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX					
			SCALE: 1:2	WEIGHT: NA	DIBUJO 4 OF 6



	NAME	DATE	MONTAJES J.M. S.A.		
DRAWN	WAQC	04/18/14			
CHECKED			TITLE CUERPO		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4	DWG NO	REV 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm XX^\circ$ 2 PL $\pm XXX$ 3 PL $\pm XXXX$					
			SCALE: 15	WEIGHT: NA	DIBUJO 5 OF 6



	NAME	DATE	MONTAJES J.M. S.A.		
DRAWN	WAQC	04/18/14			
CHECKED			TITLE TAPA		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4	DWG NO	REV 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES $\pm XX^\circ$ 2 PL $\pm XXX$ 3 PL $\pm XXXX$					
			SCALE: 1:2	WEIGHT: NA	DIBUJO 6 OF 6

## Anexo B. Ficha Técnica Metal de Aporte

# Alambre MIG/MAG de INDURA

## Envase del Alambre Sólido de Soldadura INDURA

El alambre INDURA fabricado dentro del Proceso Solcon ISO 14001, viene en tres formatos:

Envase	Envasado	Dimensiones (mm)	Pallet
<b>5 kg (11 lb)</b>			
Enrollado de precisión carrete de plástico	Bolsa plástica	Diámetro : 200	Unids. : 1 Master/4 Carretes
	Caja Verde	Ancho : 56	48 Master/Pallet
		Eje : 50	Peso : 960 kg netos
			Largo : 970 mm
			Ancho : 2700 mm
		Alto : 920 mm	
<b>15 kg (33 lb)</b>			
Enrollado de precisión carrete de plástico	Bolsa plástica	Diámetro : 305	Unids. : 63 cajas
	Caja Verde	Ancho : 103	Peso : 945 kg netos
		Eje : 50	Largo : 970 mm
			Ancho : 970 mm
			Alto : 970 mm
<b>272 kg (600 lb)</b>			
Mig Matic Tambor	Tambores Verdes	Diámetro : 500	Unids. : 4 tambores por pallet
		Altura : 780	Peso : 1080 kg app
			Largo : 1100 mm
			Ancho : 1100 mm
			Alto : 940 mm

## Despachos

Los almacenes de INDURA están ubicados estratégicamente para ofrecer los tiempos óptimos de entrega y el costo mínimo en transporte. Con la preocupación de INDURA por dar una distribución oportuna y de bajo costo, nuestros clientes tienen la opción de enfocar su tiempo, capital y recursos humanos hacia sus negocios centrales y a lograr lo mejor en sus productos.

## Casa Matriz:

Camino a Melipilla 7060, Cerrillos  
Santiago - Chile.  
Fonos : (562) 530 3440 - 530 3441 - 530 3428  
Fax : (562) 530 3444

## Centro de Servicio al Cliente:

Chile : 600 600 30 30      Perú : (511) 5223627  
USA : 866-3283171      Ecuador : (5934) 2893750  
México : 01-8001234767      Venezuela : 08002624273  
Argentina : (54) (011) 51295100      Colombia : 08002624273

www.indura.net

**INDURA**  
Tecnología a su Servicio

# Alambre MIG/MAG de INDURA

AWS ER 70S-6 / ER 48S-6



Miembro de la American Welding Society

Carrete plástico de 5 kg

Carrete plástico de 15 kg, enrollado de precisión (espira a espira)

Tambor Mig Matic de 272 kg

Mayor productividad  
Arco estable  
Hélice y curvatura balanceada  
Mayor contenido de Manganeso y Silicio  
Norma ISO 14001



**INDURA**  
Tecnología a su Servicio

# Alambre MIG/MAG de INDURA

## AWS ER 70S-6 / ER 48S-6

El alambre ER 70S-6 / ER 48S-6 de INDURA, elaborado bajo el proceso ISO 14001, es un electrodo continuo de acero revestido con una delgada capa de cobre, que ofrece una excelente soldabilidad cuando se lo usa con mezclas de CO<sub>2</sub> o Ar/CO<sub>2</sub>.

El alambre INDURA contiene niveles más altos de manganeso y de silicio, que proporcionan un depósito de resistencia más fuerte y mejores características de desoxidación, especialmente cuando se suelda sobre superficies oxidadas, sucias, o aceitosas.

Su silicio adicional produce un baño más fluido y, por lo tanto, un cordón más plano. Esta característica es útil en la soldadura de chapa metálica con transferencia por cortocircuito, donde se requiere una cantidad mínima de sobremonta y de amolado post-soldadura.

Otra característica del alambre INDURA es su arco excepcionalmente estable y el bajo nivel de salpicadura, especialmente en el modo de transferencia por corto circuito.

El alambre INDURA ha sido desarrollado de tal forma que garantice soldaduras sanas, libres de porosidades y de defectos, lo que contribuye a reducir la operación de limpieza.

La hélice y curvatura, cuidadosamente balanceadas, permiten un avance perfecto y sin interrupciones del arco.

La alta adherencia de la cubierta de cobre permite una mayor productividad y menor fricción en los tubos guía y conductos, lo cual minimiza los problemas de desprendimiento del cobrizado.

### Aplicaciones típicas:

- Ideal para aplicaciones robóticas
- Soldadura estructural y en acero dulce
- Construcción de equipo pesado
- Relleno y reparación de ejes
- Estanques de presión
- Chasis de camión
- Fabricación de equipos agrícolas
- Aplicaciones en la industria automotriz
- Fabricación de muebles
- Trabajos de taller en general.

### Certificación:

- AWS A5.18, class ER 70S-6 / ER 48S-6
- ASME IIC SFA 5.18, F-6, A-1

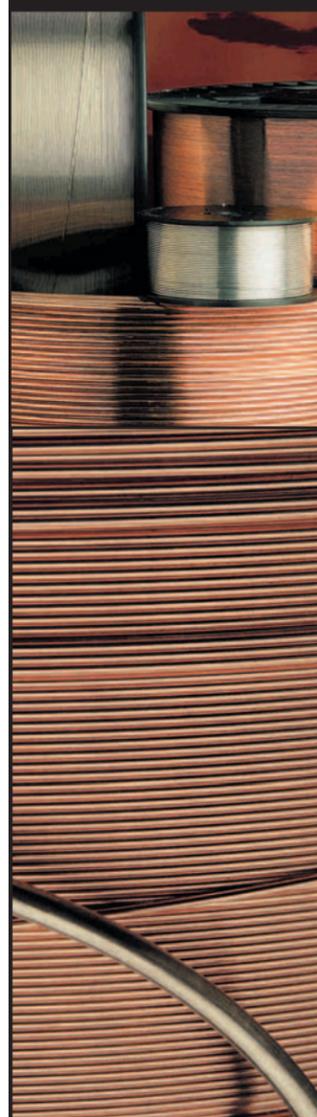
### Aprobado anualmente por:

- American Bureau of Shipping
- Lloyd's Register of Shipping
- Bureau Veritas
- Germanischer Lloyd
- Det Norske Veritas
- Canadian Welding Bureau

solicite  
**LA CAJA VERDE**



No acepte imitaciones. La soldadura INDURA está fabricada bajo el proceso Solcon ISO 14001 y viene en su caja verde.



# Alambre MIG/MAG de INDURA

## AWS ER 70S-6 / ER 48S-6

### Composición química típica del alambre

	INDURA	Especif. AWS
Carbón	0,09%	0,06/0,15
Manganeso	1,45%	1,40/1,85
Silicio	0,95%	0,80/1,15
Fósforo	< 0,02%	0,025 máx.
Azufre	< 0,02%	0,035 máx.

### Propiedades mecánicas típicas (AWS: A5, 18-01)

	Medida	Alambre INDURA gas aplicado 100% CO <sub>2</sub>	Alambre INDURA gas aplicado 75% Ar - 25% CO <sub>2</sub>	Alambre INDURA gas aplicado 80% Ar - 20%CO <sub>2</sub>	Especif. AWS gas aplicado 100% CO <sub>2</sub>
Resist.tracción	MPa	520	535	530	480
Resist. fluencia	MPa	440	450	450	400
Alargamiento	% en 50 mm	28%	31%	32,8%	22% min.
Charpy-V -20°C	Joules	50,2	54,0	56,4	27 min.

### Tabla de regulación Sistema MIG

Diámetro (mm)	Entrega de material (mm)	Corriente (Amps)	Voltaje (Volts)	Velocidad alambre (m/min)	Flujo gas (l/min)
0,8	0,6	30 - 50	16 - 17	1,3 - 1,8	8 - 10
	0,8	35 - 60	16 - 17,5	1,3 - 2,0	8 - 11
	0,9	40 - 70	17 - 18	1,5 - 3,0	9 - 11
0,9	1,3	70 - 90	18 - 19	3,0 - 3,6	10 - 12
	1,6	80 - 110	19 - 20	3,3 - 3,8	11 - 13
	2,0	120 - 130	20 - 21	3,6 - 4,1	11 - 14
	3,2	120 - 180	20 - 22	4,6 - 6,1	11 - 16
1,2	4,7	160 - 180	21 - 22	5,1 - 6,1	14 - 17
	6,4	190 - 200	22 - 23	6,4 - 7,1	14 - 17
	7,9	200 - 210	23 - 24	7,0 - 7,4	14 - 17
	9,4	220 - 250	24 - 25	7,5 - 8,9	14 - 17
	12,7	240 - 260	28 - 29	8,4 - 9,5	14 - 17
	19,0	280 - 300	30 - 32	4,6 - 5,1	17 - 19



Miembro de la American Welding Society

Anexo C. END









## Anexo D. WPS – PQR e Informes



# ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS - PARA HOT TAP

**FAG-1000**

**Versión 1**

WPS	JM100G	REVISION	1	FECHA	25/02/2014	ELABORADO POR
PQR	PJM100	REVISION	1	FECHA	15/05/2014	WILLIAM AUGUSTO QUIMBAYO CONTRERAS
PROCESO DE SOLDADURA		GMAW		TIPO DE PROCESO		SEMI-AUTOMATICO

JUNTA						
TIPO DE JUNTA	TOPE CON BISEL EN "V" SENCILLO CON PLATINA DE RESPALDO	ANGULO BISEL (a)	30° +/- 2°			
		TALON (H)	0			
TIPO DE SOLDADURA	RANURA	ABERTURA RAIZ (R)	0,0512"			
		ALTURA DE REFUERZO (S)	1/16"			
POSICION SOLDADURA	45° FIJA CON LA HORIZONTAL	EXT. DE LA CARA (L)	1/16"			
PROGRESION	DESCENDENTE	PLATINA DE RESPALDO	1/8" x 1" x LONGITUD DE SPLIT TEE			

TUBERIA				ACCESORIO				PLATINA DE RESPALDO	
TIPO	API5L	GRADO	X42	TIPO	API5L	GRADO	X42	MATERIAL	ASTM A-36
(OD)	6.625" (168.28 mm)			(OD)	6.625" (168.28 mm)			ESPESOR (Tb)	1/16"
ESPESOR	0,280" (7,11 mm)			ESPESOR	0,280" (7,11 mm)			ANCHO	1"
RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			LONGITUD	IGUAL A LA LONGITUD DE LA SPLIT TEE
CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5			CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5				

CONDICIONES DE TRABAJO EN LA LINEA							
PRESION DE TRABAJO (PSI)	30	TEMP. DE TRABAJO (°C)	50	CAUDAL PROMEDIO (m3/min)	0,04	CONTENIDO	AGUA

METAL DE APORTE Y CARACTERISTICAS					
	PASE Nº 1	PASE Nº 2	PASE Nº 3		
ESPECIFICACION	5.18	5.18	5.18		
CLASIFICACION AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6		
GRUPO METAL DE RELLENO	GRUPO 5	GRUPO 5	GRUPO 5		
DIAMETRO DEL CONSUMIBLE	1.2 mm (0,045")	1.2 mm (0,045")	1.2 mm (0,045")		
CORRIENTE/POLARIDAD	DC	DC	DC		
VOLTAJE	20-23	20-23	20-23		
AMPERIOS	120-180	120-180	120-180		
GAS DE PROTECCION	100% CO2	100% CO2	100% CO2		
VELOCIDAD DE FLUJO	35-45 CFM	35-45 CFM	35-45 CFM		
TAMAÑO DE BOQUILLA	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm		

SECUENCIA SOLDADURA CUPON DE PRUEBA	SECUENCIA DE SOLDADURAS LONGITUDINALES					
	Nº DE PASE	Ø ELECTRODO	PASE	VELOCIDAD AVANCE (mm/min)	CALOR APORTADO (KJ/min)	TIEMPO ENTRE PASES
	1	ER70S-6	RAIZ	250 - 280	0,8 - 1,1	3 min
	2	ER70S-6	RELLENO	200 - 220	0,8 - 1,1	3 min
	3	ER70S-6	PRESENTACION	190 - 210	0,9 - 1,2	3 min
	-----	-----	-----	-----	-----	-----

POSICION Y PROGRESION		TECNICA DE SOLDADURA		PRECALENTAMIENTO	
POSICION JUNTA A TOPE	45° FIJA CON LA HORIZONTAL	CORDON RECTO U ONDULADO	AMBOS	TEMP. DE PRECALENTAMIENTO	NA
PROGRESION SOLDADURA	DESCENDENTE			TEMP. ENTRE PASES	PROCESO
METODO DE ALINEACION	PUNTEADO JUNTAS LONGITUDINALES	OSCILACION	MAXIMO 3 VECES EL DIAMETRO	AREA PRECALENTAMIENTO	NA
		LIMPIEZA ENTRE PASES	GRATA CIRCULAR	EQUIPO PRECALENTAMIENTO	NA

REPRESENTANTES CONSTRUCCION			REPRESENTANTE CLIENTE
REALIZADO POR		REVISADO POR	
EMPRESA	MONTAJES J.M. S.A.		
FIRMA			
NOMBRE	William Augusto Quimbayo		
FECHA	16/05/2014		



**REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE  
SOLDADURA - PQR - PARA HOT TAP API 1104**

**FAG-1001**  
**Versión 1**  
**Página 1 de 2**

PQR	PJM100G	REVISION	1	FECHA	15/05/2014	ELABORADO POR
WPS	JM100G	REVISION	1	FECHA	25/02/2014	WILLIAM AUGUSTO QUIMBAYO CONTRERAS
PROCESO DE SOLDADURA		GMAW		TIPO DE PROCESO		SEMI-AUTOMATICO

JUNTA						
TIPO DE JUNTA	TOPE CON BISEL EN "V" SENCILLO CON PLATINA DE RESPALDO	ANGULO BISEL (a)	30°			
		TALON (H)	0			
TIPO DE SOLDADURA	RANURA	ABERTURA RAIZ (R)	0,0512"			
		ALTURA DE REFUERZO (S)	1/16"			
POSICION SOLDADURA	45° FIJA CON LA HORIZONTAL	EXT. DE LA CARA (L)	1/16"			
PROGRESION	DESCENDENTE	PLATINA DE RESPALDO	1/8" x 1" x LONGITUD DE SPLIT TEE			

TUBERIA				ACCESORIO				PLATINA DE RESPALDO	
TIPO	API5L	GRADO	X42	TIPO	API5L	GRADO	X42	MATERIAL	ASTM A-36
DIAMETRO (OD)	6.625" (168.28 mm)			DIAMETRO (OD)	6.625" (168.28 mm)			ESPESOR (Tb)	1/16"
ESPESOR	0,280" (7,11 mm)			ESPESOR	0,280" (7,11 mm)				
RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			ANCHO	1"
CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5			CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5			LONGITUD	IGUAL A LA LONGITUD DE LA SPLIT TEE

CONDICIONES DE TRABAJO EN LA LINEA							
PRESION DE TRABAJO (PSI)	30	TEMP. DE TRABAJO (°C)	50	CAUDAL PROMEDIO (m3/min)	0,04	CONTENIDO	AGUA

METAL DE APORTE Y CARACTERISTICAS					
	PASE Nº 1	PASE Nº 2	PASE Nº 3		
ESPECIFICACION	5.18	5.18	5.18		
CLASIFICACION AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6		
GRUPO METAL DE RELLENO	GRUPO 5	GRUPO 5	GRUPO 5		
DIAMETRO DEL CONSUMIBLE	1.2 mm (0,045")	1.2 mm (0,045")	1.2 mm (0,045")		
CORRIENTE/POLARIDAD	+DC	+DC	+DC		
VOLTAJE	22,5	22,5	23,5		
AMPERIOS	159,5	145	157,5		
GAS DE PROTECCION	100% CO2	100% CO2	100% CO2		
VELOCIDAD DE FLUJO	40 CFM	40 CFM	40 CFM		
TAMAÑO DE BOQUILLA	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm		

SECUENCIA SOLDADURA CUPON DE PRUEBA	SECUENCIA DE SOLDADURAS LONGITUDINALES					
	Nº DE PASE	Ø ELECTRODO	PASE	VELOCIDAD AVANCE (mm/min)	CALOR APORTADO (KJ/mm)	TIEMPO ENTRE PASES
	1	ER70S-6	RAIZ	265,55	0,811	3 min
	2	ER70S-6	RELLENO	205,72	0,952	3 min
3	ER70S-6	PRESENTACION	193,75	1,146	3 min	

POSICION Y PROGRESION		TECNICA DE SOLDADURA		PRECALENTAMIENTO	
POSICION JUNTA A TOPE	45° FIJA CON LA HORIZONTAL	CORDON RECTO U ONDULADO	AMBOS	TEMP. DE PRECALENTAMIENTO	NA
PROGRESION SOLDADURA	DESCENDENTE			TEMP. ENTRE PASES	PROCESO
METODO DE ALINEACION	PUNTEADO JUNTAS LONGITUDINALES	OSCILACION	MAXIMO 3 VECES EL DIAMETRO	AREA PRECALENTAMIENTO	NA
		LIMPIEZA ENTRE PASES	GRATA CIRCULAR	EQUIPO PRECALENTAMIENTO	NA

	REPRESENTANTES CONSTRUCCION		REPRESENTANTE CLIENTE
	REALIZADO POR	REVISADO POR	
EMPRESA	MONTAJES J.M. S.A.		
FIRMA			
NOMBRE	William Augusto Quimbayo		
FECHA	16/05/2014		



**REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE  
SOLDADURA - PQR - PARA HOT TAP API 1104**

**FAG-1001**  
**Versión 1**  
**Página 2 de 2**

**INSPECCION VISUAL**

IDENTIFICACION DE LA PROBETA	DESCRIPCION DE LA CONDICION EVIDENCIADA	CONDICION FINAL
YSO-GMAW-API	NO SE PRESENTAN INDICACIONES RELEVANTES	ACEPTABLE

**ENSAYO DE ROTURA NICK**

LABORATORIO		SOLDADURAS LINCOLN COLOMBIA		INFORME		RP-001	
IDENTIFICACION PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	DESCRIPCION DISCONTINUIDAD / DEFECTO			CONDICION FINAL	
YSO-NB1	25,78	6,87	INCLUSION DE ESCORIA MENOR A 3 mm			CONFORME	
YSO-NB2	26,91	6,98	NINGUNA			CONFORME	

**DOBLEZ GUIADO**

LABORATORIO		SOLDADURAS LINCOLN COLOMBIA		INFORME		RP-001	
IDENTIFICACION PROBETA	TIPO DE DOBLEZ	DESCRIPCION DISCONTINUIDAD / DEFECTO			CONDICION FINAL		
YSO-DR1	DOBLEZ GUIADO DE RAIZ	NINGUNA			CONFORME		
YSO-DR2	DOBLEZ GUIADO DE RAIZ	NINGUNA			CONFORME		
YSO-DC1	DOBLEZ GUIADO DE CARA	NINGUNA			CONFORME		
YSO-DC2	DOBLEZ GUIADO DE CARA	NINGUNA			CONFORME		

**ENSAYO DE TENSION**

LABORATORIO		SOLDADURAS LINCOLN COLOMBIA			INFORME		RP-001	
IDENTIFICACION PROBETA	ANCHO (mm)	ESPESOR MATERIAL BASE (mm)	AREA SECCION TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (N)	RESISTENCIA TRACCION (Mpa)	DESCRIPCION DISCONTINUIDAD / DEFECTO	CONDICION FINAL	
YSO-T1	6,95	25,97	180,49	81785	453,1	ROMPE POR MATERIAL DE SOLDADURA	CONFORME	
YSO-T1	6,77	27,28	184,68	86410,6	467,9	ROMPE POR METAL BASE	CONFORME	

**INFORMACION GENERAL PROCESO DE CALIFICACION**

NOMBRE DE SOLDADOR	YEISON SUAREZ OBANDO
DOCUMENTO DE IDENTIFICACION	1.072.746.950
ESTAMPE SOLDADOR	YSO
RESULTADO FINAL	CONFORME

**OBSERVACIONES**

-----

CERTIFICAMOS QUE LO ESTABLECIDO EN ESTE REGISTRO ES CORRECTO Y QUE LAS SOLDADURAS PARA LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y ENSAYADAS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS EN EL ESTANDAR API 1104 ULTIMA EDICION

	REPRESENTANTES CONSTRUCCION		REPRESENTANTE CLIENTE
	REALIZADO POR	REVISADO POR	
EMPRESA	MONTAJES J.M. S.A.		
FIRMA			
NOMBRE	William Augusto Quimbayo		
FECHA	16/05/2014		



# ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS - PARA HOT TAP

**FAG-1000**

**Versión 1**

WPS	JM100F	REVISION	1	FECHA	25/02/2014	ELABORADO POR
PQR	PJM100F	REVISION	1	FECHA	15/05/2014	WILLIAM AUGUSTO QUIMBAYO CONTRERAS
PROCESO DE SOLDADURA		GMAW		TIPO DE PROCESO		SEMI-AUTOMATICO

JUNTA					
TIPO DE JUNTA	FILETE	ESPESOR CAMISA (Tc)	7,11 mm (0,280")		
		ESPESOR PRINCIPAL (Tp)	7,11 mm (0,280")		
TIPO DE SOLDADURA	TRASLAPE	GAP	1/8" max		
		PIERNA (L1)	9 mm		
		PIERNA (L2)	9 mm		
POSICION SOLDADURA	45° FIJA CON LA HORIZONTAL		GARGANTA EFEC. (Ge)	5 mm	
PROGRESION	DESCENDENTE		CARA DEL CORDON (F)	13 mm	

TUBERIA				ACCESORIO				PLATINA DE RESPALDO	
TIPO	API5L	GRADO	X42	TIPO	API5L	GRADO	X42	MATERIAL	NA
(OD)	6.625" (168.28 mm)			(OD)	6.625" (168.28 mm)			ESPESOR	NA
ESPESOR	0,280" (7,11 mm)			ESPESOR	0,280" (7,11 mm)				
RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			ANCHO	NA
CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5			CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5			LONGITUD	NA

CONDICIONES DE TRABAJO EN LA LINEA							
PRESION DE TRABAJO (PSI)	30	TEMP. DE TRABAJO (°C)	50	CAUDAL PROMEDIO (m3/min)	0,04	CONTENIDO	AGUA

METAL DE APORTE Y CARACTERISTICAS					
	PASE Nº 1	PASE Nº 2	PASE Nº 3		
ESPECIFICACION	5.18	5.18	5.18	-----	-----
CLASIFICACION AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6	-----	-----
GRUPO METAL DE RELLENO	GRUPO 5	GRUPO 5	GRUPO 5	-----	-----
DIAMETRO DEL CONSUMIBLE	1.2 mm (0,045")	1.2 mm (0,045")	1.2 mm (0,045")	-----	-----
CORRIENTE/POLARIDAD	+DC	+DC	+DC	-----	-----
VOLTAJE	20-23	20-23	20-23	-----	-----
AMPERIOS	120-180	120-180	120-180	-----	-----
GAS DE PROTECCION	100% CO2	100% CO2	100% CO2	-----	-----
VELOCIDAD DE FLUJO	35-45 CFM	35-45 CFM	35-45 CFM	-----	-----
TAMAÑO DE BOQUILLA	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	-----	-----

SECUENCIA SOLDADURA CUPON DE PRUEBA	SECUENCIA DE SOLDADURAS LONGITUDINALES					
	Nº DE PASE	Ø ELECTRODO	PASE	VELOCIDAD AVANCE (mm/min)	CALOR APORTADO (KJ/min)	TIEMPO ENTRE PASES
	1	ER70S-6	RAIZ	305 - 325	0,6 - 0,9	3 min
	2	ER70S-6	PRESENTACION	195 - 215	1,0 - 1,3	3 min
	3	ER70S-6	PRESENTACION	160 - 180	1,0 - 1,3	3 min

POSICION Y PROGRESION		TECNICA DE SOLDADURA		PRECALENTAMIENTO	
POSICION JUNTA A TOPE	45° FIJA CON LA HORIZONTAL	CORDON RECTO U ONDULADO	AMBOS	TEMP. DE PRECALENTAMIENTO	NA
PROGRESION SOLDADURA	DESCENDENTE	OSCILACION	MAXIMO 3 VECES EL DIAMETRO	TEMP. ENTRE PASES	PROCESO
METODO DE ALINEACION	PUNTEADO JUNTAS CIRCUNFERENCIALES			AREA PRECALENTAMIENTO	NA
		LIMPIEZA ENTRE PASES	GRATA CIRCULAR	EQUIPO PRECALENTAMIENTO	NA

REPRESENTANTES CONSTRUCCION			REPRESENTANTE CLIENTE
	REALIZADO POR	REVISADO POR	
EMPRESA	MONTAJES J.M. S.A.		
FIRMA			
NOMBRE	William Augusto Quimbayo		
FECHA	16/05/2014		

MONTAJES J.M. S.A.				REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - PQR - PARA HOT TAP API 1104				FAG-1001	
								Versión 1	
								Pagina 1 de 2	
PQR	PJM100B	REVISION	1	FECHA	15/05/2014	ELABORADO POR			
WPS	JM100B	REVISION	1	FECHA	25/02/2014	WILLIAM AUGUSTO QUIMBAYO CONTRERAS			
PROCESO DE SOLDADURA		GMAW		TIPO DE PROCESO		SEMI-AUTOMATICO			
<b>JUNTA</b>									
TIPO DE JUNTA	FILETE		ESPESOR CAMISA (Tc)	7,11 mm (0,280")					
			ESPESOR PRINCIPAL (Tp)	7,11 mm (0,280")					
TIPO DE SOLDADURA	TRASLAPE		GAP	1/16" max					
			PIERNA (L1)	8 mm					
POSICION SOLDADURA	45° FIJA CON LA HORIZONTAL		PIERNA (L2)	9 mm					
			GARGANTA EFEC. (Ge)	5,6 mm					
PROGRESION	DESCENDENTE		CARA DEL CORDON (F)	12 mm					
<b>TUBERIA</b>			<b>ACCESORIO</b>				<b>PLATINA DE RESPALDO</b>		
TIPO	API5L	GRADO	X42	TIPO	API5L	GRADO	X42	MATERIAL	NA
DIAMETRO (OD)	6.625" (168.28 mm)			DIAMETRO (OD)	6.625" (168.28 mm)			ESPESOR	NA
ESPESOR	0,280" (7,11 mm)			ESPESOR	0,280" (7,11 mm)			ANCHO	NA
RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			RESISTENCIA A LA FLUENCIA	42.100 PSI			LONGITUD	NA
CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5			CE=0,43%	CE=%C+%Mn/6+(%Cu+%Ni)/15+(%Cr+%Mo+%V)/5				
<b>CONDICIONES DE TRABAJO EN LA LINEA</b>									
PRESION DE TRABAJO (PSI)	30	TEMP. DE TRABAJO (°C)	50	CAUDAL PROMEDIO (m3/min)	0,04	CONTENIDO	AGUA		
<b>METAL DE APORTE Y CARACTERISTICAS</b>									
	PASE Nº 1		PASE Nº 2		PASE Nº 3				
ESPECIFICACION	5.18		5.18		5.18				
CLASIFICACION AWS	ER70S-6		ER70S-6		ER70S-6				
GRUPO METAL DE RELLENO	GRUPO 5		GRUPO 5		GRUPO 5				
DIAMETRO DEL CONSUMIBLE	1.2 mm (0,045")		1.2 mm (0,045")		1.2 mm (0,045")				
CORRIENTE/POLARIDAD	+DC		+DC		+DC				
VOLTAJE	22,25		23,8		23,3				
AMPERIOS	153,5		159		159,5				
GAS DE PROTECCION	100% CO2		100% CO2		100% CO2				
VELOCIDAD DE FLUJO	40 CFM		40 CFM		40 CFM				
TAMAÑO DE BOQUILLA	1,2 mm		1,2 mm		1,2 mm				
<b>SECUENCIA SOLDADURA CUPON DE PRUEBA</b>				<b>SECUENCIA DE SOLDADURAS LONGITUDINALES</b>					
				1	ER70S-6	RAIZ	265,55	0,772	3 min
				2	ER70S-6	PRESENTACION	205,72	1,104	3 min
				3	ER70S-6	PRESENTACION	193,72	1,151	3 min
<b>POSICION Y PROGRESION</b>				<b>TECNICA DE SOLDADURA</b>			<b>PRECALENTAMIENTO</b>		
POSICION JUNTA A TOPE	45° FIJA CON LA HORIZONTAL			CORDON RECTO U ONDULADO	AMBOS		TEMP. DE PRECALENTAMIENTO	NA	
PROGRESION SOLDADURA	DESCENDENTE			OSCILACION	MAXIMO 3 VECES EL DIAMETRO		TEMP. ENTRE PASES	PROCESO	
METODO DE ALINEACION	PUNTEADO JUNTAS CIRCUNFERENCIALES			LIMPIEZA ENTRE PASES	GRATA CIRCULAR		AREA PRECALENTAMIENTO	NA	
							EQUIPO PRECALENTAMIENTO	NA	
<b>REPRESENTANTES CONSTRUCCION</b>							<b>REPRESENTANTE CLIENTE</b>		
REALIZADO POR			REVISADO POR						
EMPRESA	MONTAJES J.M. S.A.								
FIRMA									
NOMBRE	William Augusto Quimbayo								
FECHA	16/05/2014								



**REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE  
SOLDADURA - PQR - PARA HOT TAP API 1104**

**FAG-1001**  
**Versión 1**  
**Página 2 de 2**

**INSPECCION VISUAL**

IDENTIFICACION DE LA PROBETA	DESCRIPCION DE LA CONDICION EVIDENCIADA	CONDICION FINAL
YSO-GMAW-API	NO SE PRESENTAN INDICACIONES RELEVANTES	CONFORME

**ENSAYO DE ROTURA NICK**

LABORATORIO	SOLDADURAS LINCOLN COLOMBIA	INFORME	RP-001	
IDENTIFICACION PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	DESCRIPCION DISCONTINUIDAD / DEFECTO	CONDICION FINAL
YSO-NB3	6,99	26,89	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME
YSO-NB4	6,87	26,9	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME
YSO-NB5	6,97	25,89	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME
YSO-NB6	6,93	26,11	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME

**DOBLEZ GUIADO**

LABORATORIO	SOLDADURAS LINCOLN COLOMBIA	INFORME	RP-001
IDENTIFICACION PROBETA	TIPO DE DOBLEZ	DESCRIPCION DISCONTINUIDAD / DEFECTO	CONDICION FINAL
YSO-DC3	DOBLEZ GUIADO DE CARA	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME
YSO-DC4	DOBLEZ GUIADO DE CARA	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME
YSO-DC5	DOBLEZ GUIADO DE CARA	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME
YSO-DC6	DOBLEZ GUIADO DE CARA	NORMAL Y SIN DEFECTOS	CONFORME

**ENSAYO DE MACROATAQUE**

LABORATORIO	MONTAJES J.M. S.A. - SIBERIA	INFORME	RP-002
IDENTIFICACION PROBETA	DESCRIPCION DE LA CONDICION EVIDENCIADA		CONDICION FINAL
YSO-MA1	CUMPLE CRITERIOS ESTABLECIDOS EN API 1104		CONFORME
YSO-MA2	CUMPLE CRITERIOS ESTABLECIDOS EN API 1104		CONFORME
YSO-MA3	CUMPLE CRITERIOS ESTABLECIDOS EN API 1104		CONFORME
YSO-MA4	CUMPLE CRITERIOS ESTABLECIDOS EN API 1104		CONFORME

**INFORMACION GENERAL PROCESO DE CALIFICACION**

NOMBRE DE SOLDADOR	YEISON SUAREZ OBANDO
DOCUMENTO DE IDENTIFICACION	1.072.746.950
ESTAMPE SOLDADOR	YSO
RESULTADO FINAL	CONFORME

**OBSERVACIONES**

-----  
CERTIFICAMOS QUE LO ESTABLECIDO EN ESTE REGISTRO ES CORRECTO Y QUE LAS SOLDADURAS PARA LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y ENSAYADAS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS EN EL ESTANDAR API 1104 ULTIMA EDICION

	REPRESENTANTES CONSTRUCCION		REPRESENTANTE CLIENTE
	REALIZADO POR	REVISADO POR	
EMPRESA	MONTAJES J.M. S.A.		
FIRMA			
NOMBRE	William Augusto Quimbayo		
FECHA	16/05/2014		

Bogotá D.C., 15 de Mayo de 2014

Señores  
Atn. William Augusto Quimbayo Contreras  
Ciudad

**ASUNTO: REPORTE RP 001 - ENSAYOS MECANICOS WPS JM100 API 1104 AP. B**

Anexo resultados de laboratorio según requerimientos del código API 1104.

ENSAYO DE TENSION						
Nº MUESTRA	IDENTIFICACION	DIMENSIONES PROBETA (mm)	CARGA MAXIMA (N)	ESFUERZO MAXIMO (MPa)	CARGA DE FLUENCIA (N)	OBSERVACIONES
1	YSO-T1	6,95*25,97	81785	453,1	NA	ROMPE POR MATERIAL DE SOLDADURA
2	YSO-T2	6,77*27,28	86410,6	467,9	NA	ROMPE POR METAL BASE

ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE CARA Y RAIZ					
Nº MUESTRA	IDENTIFICACION	DEFECTOS			OBSERVACIONES
		SI	NO	LONGITUD	
3	YSO-DR1		X		NINGUNA
4	YSO-DR2		X		NINGUNA
5	YSO-DC1		X		NINGUNA
6	YSO-DC2		X		NINGUNA
7	YSO-DC3		X		NINGUNA
8	YSO-DC4		X		NINGUNA
9	YSO-DC5		X		NINGUNA
10	YSO-DC6		X		NINGUNA

ENSAYO DE SANIDAD NICK					
Nº MUESTRA	IDENTIFICACION	DEFECTOS			OBSERVACIONES
		SI	NO	LONGITUD	
11	YSO-NB1	X		1,25*1,07	INCLUSION DE ESCORIA
12	YSO-NB2		X		NORMAL Y SIN DEFECTOS
13	YSO-NB3		X		NORMAL Y SIN DEFECTOS
14	YSO-NB4		X		NORMAL Y SIN DEFECTOS
15	YSO-NB5		X		NORMAL Y SIN DEFECTOS
16	YSO-NB6		X		NORMAL Y SIN DEFECTOS

Cordialmente,

JULIAN MARTÍNEZ  
Supervisor de laboratorios  
Lincoln Soldaduras de Colombia

	<b>INFORME SEGUIMIENTO A LA GESTIÓN EN HSEQ</b>	<b>FAG-140</b>
		Versión 2
		Página: 1 de 3

Bogotá D.C. Abril 19/2014

Asunto: Informe de Inspeccion Macroataque RP-002

## 1. DATOS GENERALES

PROYECTO	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA DE APLICACIÓN DE SOLDADURA EN SERVICIO POR PROCESOS SEMI-AUTOMATICO (GMAW) EN TUBERIA API 5L X 42 BAJO ESTANDAR API 1104 APEND. B
ELEMENTO A INSPECCIONAR	SPLIT TEE 6" SCH 40
SUPERFICIE DE INSPECCION	EXTERNA
CODIGO O NORMA DE REFERENCIA	API 1104 – 2013
LUGAR DE INSPECCION	MONTAJES J.M. S.A.
PROCESO DE SOLDADURA USADO	GMAW
METAL DE APORTE	ER70S-6
WPS	JM100
POSICION	45° FIJA CON LA HORIZONTAL
NOMBRE SOLDADOR	YEISON SUAREZ OBANDO

## 2. DIMENSIONES INICIALES

DIMENSIONES INICIALES PROBETAS (mm)	IDENTIFICACION			
	MACROATAQUE (F)			
	MA1	MA2	MA3	MA4
LONGITUD	100	101	102	103
ANCHO	12	11,9	12,3	12

	<b>INFORME SEGUIMIENTO A LA GESTIÓN EN HSEQ</b>	FAG-140
		Versión 2
		Página: 2 de 3

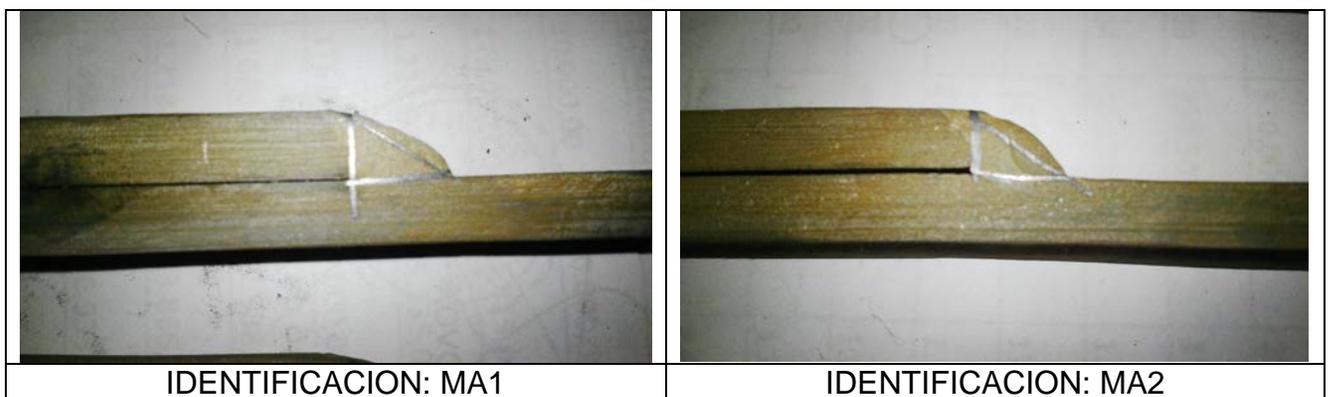
### 3. RESULTADOS TAMAÑO DE FILETE

RESULTADO TAMAÑO DEL FILETE				
IDENTIFICACION DE LA PROBETA	CATETO 1 (mm)	CATETO 2 (mm)	DIFERENCIA (mm)	CONVEXIDAD (mm)
MA1	9,1	8,5	0,6	1,2
MA2	9,5	8,7	0,8	1
MA3	9,5	8,9	0,6	1,1
MA4	9,3	8,8	0,5	1,1

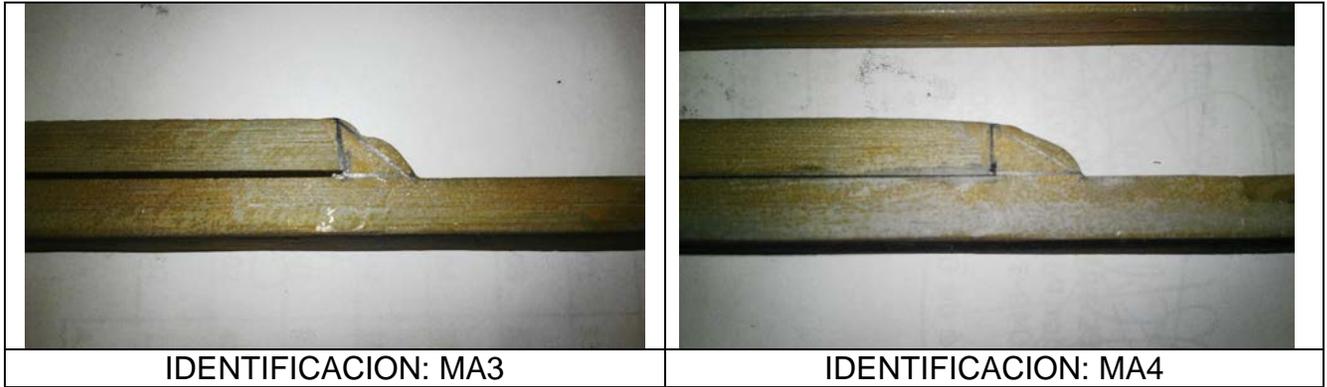
### 4. RESULTADOS DEFECTOLOGIA

RESULTADO DEFECTOLOGIA ENSAYO MACROATAQUE	
IDENTIFICACION	DESCRIPCION DISCONTINUIDAD/DEFECTO
MA1	SIN DISCONTINUIDADES
MA2	SIN DISCONTINUIDADES
MA3	SIN DISCONTINUIDADES
MA4	SIN DISCONTINUIDADES

### 5. REGISTRO FOTOGRAFICO



	<b>INFORME SEGUIMIENTO A LA GESTIÓN EN HSEQ</b>	FAG-140
		Versión 2
		Página: 3 de 3



Cordialmente

William Augusto Quimbayo Contreras  
Inspector QA/QC  
MONTAJES J.M. S.A.

Anexo E. Certificados de Personal y de Calibración de Equipos

# Certificado de Calibración

## CERTIFICATE OF CALIBRATION

**Certificado No.:** LX-Q438746-9303  
*Certificate number*

**Cliente:** PRINFER LTDA  
*Customer*

**Dirección:** Cra. 22 No. 12B-09, Bogotá D.C  
*Address*

**Instrumento:** LUXOMETRO  
*Instrument*

**Fabricante:** LUTRON  
*Manufacturer*

**Modelo:** LX-1108  
*Model*

**Número de serie:** Q438746  
*Serial number*

**Identificación:** 4705  
*Identification*

**Fecha de recepción:** 2014/04/07  
*Date of receipt*

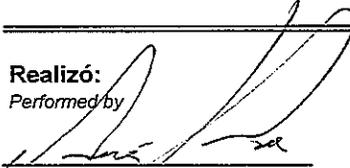
**Fecha de calibración:** 2014/04/08  
*Calibration date*

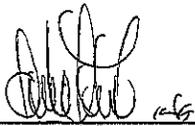
**Número de páginas del certificado incluyendo anexos:** 3  
*Number of pages of this certificate and documents attached*

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

*This certificate is an accurate record of the performed measurements results. This certificate must not be reproduced, except with prior written permission of the issuing laboratory.*

El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.  
*The user is responsible for having his instruments calibrated at appropriated intervals.*

**Realizó:**  
*Performed by*  
  
ÁLVARO ANDRÉS HERNÁNDEZ  
Jefe Laboratorio de Calibración  
CA-FT-019 V1

**Aprobó:**  
*Approved by*  
  
EDGAR ANDRÉS MARTÍNEZ ARIAS  
Director Técnico Laboratorio de calibración

**Fecha de emisión:**  
*Issue Date*  
2014-04-08

**Sello**  
*Seal*  
  
ELECTRONICA ESPECIALIZADA LTDA  
NIT: 830.192.733-2  
Página 1 de 3

5314

Certificado No. LX-Q438746-9303

**Características del instrumento:**

Rango del equipo: 0 lx a 400000 lx

**Método utilizado:**

El instrumento descrito anteriormente fue calibrado por el método de sustitución, donde se evaluó la linealidad del equipo. Los valores promedios del patrón y del instrumento se obtuvieron a través de 5 mediciones realizadas en cada punto medido, este proceso se encuentra descrito en el procedimiento interno CA-PR-004.

**Condiciones Ambientales:**

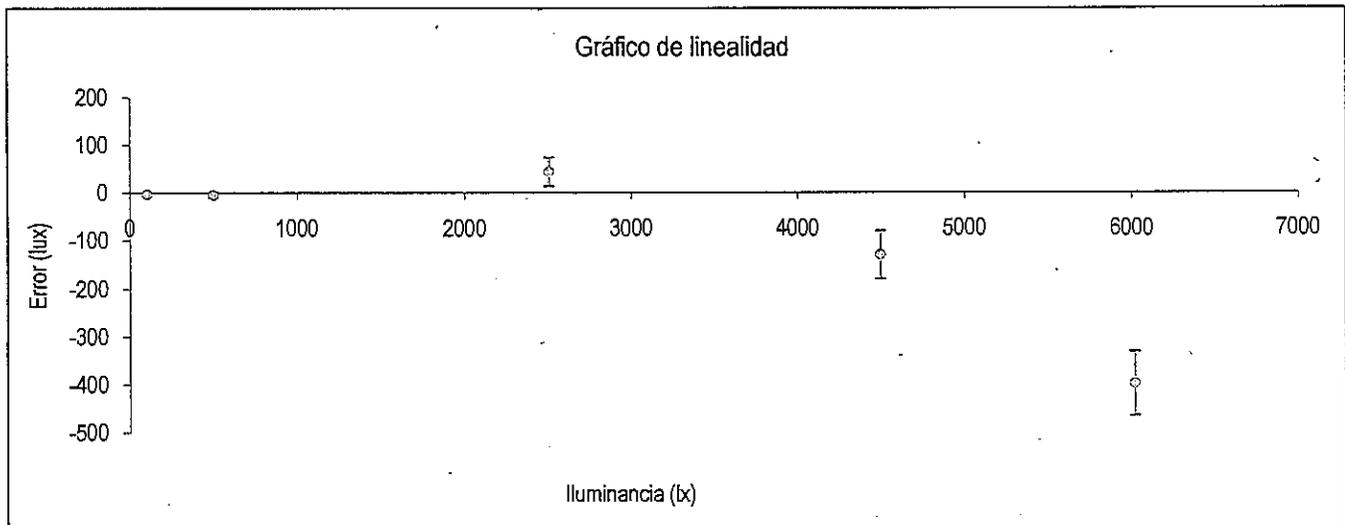
Temperatura: 21,2 °C  
Δ Temperatura: 0,1 °C

Humedad Relativa: 46,9 % HR  
Δ Humedad Relativa: 0 % HR

Presión atmosférica: 750,0 hPa  
Δ Presión atmosférica: 0 hPa

**Resultados de la calibración:**

Valor promedio patrón (lx)	Valor promedio IBC (lx)	Error (lx)	Incertidumbre (± lx)
103,0	99	-3,6	1,4
500,0	495	-4,6	5,5
2504,0	2548	44,0	30,3
4494,0	4364	-130,0	49,8
6016,0	5616	-400,0	66,5





Certificado No. LX-Q438746-9303

**Incertidumbre:**

Los valores de incertidumbre expandida reportados se estimaron con un nivel de confianza de 95,45% con un factor de cobertura igual a 2 siguiendo las recomendaciones de la guía técnica Colombiana GTC 51.

**Trazabilidad:**

Patrón utilizado	Identificación	Certificado No.	Calibrado por:	Trazabilidad
LUXOMETRO DIGITAL	LX-003-IL	CC140304-26254	ELGIS DE COLOMBIA	CENAM

El Laboratorio LAB&SERVICE ELECTRÓNICA ESPECIALIZADA Ltda., asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones utilizados en estas mediciones a través de patrones nacionales e internacionales.

**Observaciones:**

Los valores e incertidumbres asignadas corresponden al momento de la calibración, no considerándose la estabilidad a largo plazo del instrumento, y únicamente son válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en la primera página. El Laboratorio LAB&SERVICE Electrónica Especializada Ltda., no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Las líneas verticales en los puntos de las gráficas, representan el valor de la incertidumbre expandida estimada.

FIN DEL CERTIFICADO

## Certificado de Mantenimiento

MAINTENANCE CERTIFICATE

### No.5006

**Certificado No.:** LX-Q438746-9258  
*Certificate number*

**Cliente:** PRINIFER LTDA  
*Customer*

**Dirección:** Cra. 22 No. 12B-09, Bogotá D.C, Distrito Capital  
*Address*

**Instrumento:** LUXOMETRO  
*Instrument*

**Fabricante:** LUTRON  
*Manufacturer*

**Modelo:** LX-1108  
*Model*

**Número de serie:** Q438746  
*Serial number*

**Identificación:** 4661  
*Identification*

**Fecha de recepción:** 2014/04/01  
*Date of receipt*

**Fecha de mantenimiento:** 2014/04/07  
*Maintenance date*

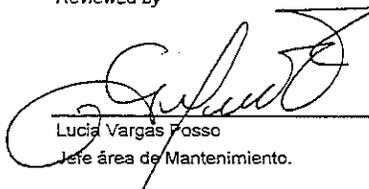
**Número de páginas del certificado incluyendo anexos:** 3  
*Number of pages of this certificate and documents attached*

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

*This certificate is an accurate record of the performed measurements results. This certificate must not be partially reproduced, except with prior written permission of the issuing laboratory.*

El usuario es responsable del mantenimiento de sus instrumentos a intervalos apropiados.  
*The user is responsible for the maintenance of his instruments appropriated intervals.*

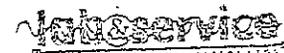
**Revisó**  
*Reviewed by*

  
Lucía Vargas Fosso  
Jefe área de Mantenimiento.

**Fecha de emisión:**  
*Issue Date*

7 Abril 2014

**Sello**  
*Seal*

  
ELECTRONICA ESPECIALIZADA LTDA  
NIT: 630.102.795-2

Certificado de Mantenimiento No. LX-Q436746-9258

**Características del equipo:**

**No.5003**

Rango del equipo: 0 lux a 400,000 lux  
 Resolución: 1.0 lux  
 Exactitud: 3 % de lectura + 0.5% de escala

**Estado Inicial**

El equipo se recibe sin batería, es necesario instalarla. Al realizar verificación interna del equipo no se encontraron daños o anomalías en componentes electrónicos que afecten la adquisición y procesamiento de la señal de la foto celda, a su vez, no se evidencia daño en los componentes ópticos de la foto celda, sin embargo se evidencia exceso de polvo en el interior tanto del equipo como del sensor, y residuos de pomada en el punto de conexión de la batería. Se verifican lecturas en 5790 lux obteniendo respuesta de 4760 (error de 103 lux). Luego de realizar los ajustes necesarios del equipo, las lecturas obtenidas en los límites de la escala de 4000 lux se encuentra fuera de los errores máximos permitidos por el fabricante equivalentes a 3% de lectura más 0.5% de escala. Adicional a esto, al realizar ajuste en escalas superiores, el equipo no mantiene valores estables para datos inferiores a dicho ajuste. No se asegura una confiabilidad en las lecturas obtenidas para valores superiores a 3000 lux. Es decisión del cliente realizar mantenimiento bajo las condiciones descritas.

**Mantenimiento**

Se realiza mantenimiento según aprobación del cliente, teniendo en cuenta que las desviaciones que superan los errores máximos por fabrica. Se realiza limpieza de tarjetas y de componentes electrónicos y ópticos removiendo residuos de polvo, sulfataciones leves y materiales indeseados presentes en estos. Se realiza ajuste de lecturas según especificaciones de fábrica y se verifica estabilidad en las lecturas dentro de las tolerancias permitidas en 100, 500, 1000, 4000 y 6000 lux. Se instala batería 9 voltios.

**Elementos instalados**

Numero de Parte	Descripción	Cantidad	Serie/Lote
1604AL-BULK	Baterías alcalinas cuadrada de 9Voltios.	1	No Aplica

**Resultados de la Verificación**

Valor promedio patrón (lux)	Valor promedio prueba (lux)	Error (lux)	Tolerancia (lux)
0.00	0.00	0.0	0.0
101.0	101.8	0.9	5.0
497.2	497.6	0.4	34.9
1000.1	1033.4	33.3	50.0
3977.2	3826.0	-151.2	139.3
5984.3	5714.0	-270.3	379.5

Certificado de Mantenimiento No. LX-Q438746-9258

**Observaciones:**

**No.5004**

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El Laboratorio Lab&Service Electronica Especializada Ltda., no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los equipos.

No se asegura la confiabilidad para lecturas superiores a 3000 lux.  
Ninguna observación adicional.

FIN DEL CERTIFICADO

# INFORME DE CALIBRACIÓN

Número de Informe: 795-8546



**CLIENTE:** MONTAJES JM S.A.  
**DIRECCIÓN:** KM 1.5 VIA SIBERIA COTA  
COTA, CUNDINAMARCA

**FECHA DE CALIBRACIÓN:** 01 Abril 2014

**FECHA DE EXPEDICIÓN:** 01 Abril 2014

**UNIDAD EN PRUEBA:** PINZA VOLTIAMPERIMETRICA

**NOMBRE PROCEDIMIENTO:**

PINZA FLUKE-381/5520Ac-i-1año

**FABRICANTE:** FLUKE

**REV. PROCEDIMIENTO:** U 12.07

**MODELO:** FLUKE-381

**TIPO DE DATO:** FOUND-LEFT

**NÚMERO SERIE:** 24470100

**TOTAL PÁGINAS:** 5

**RESULTADO :** PASA

**TEMPERATURA:** 23.20 °C

**HUMEDAD RELATIVA:** 35 %

Los resultados contenidos en el presente Informe solo aplican al instrumento bajo prueba y se refieren al momento y condiciones en que se realizan las mediciones, el laboratorio de calibración de SISTEMAS E INSTRUMENTACION S.A. no se responsabiliza de los perjuicios que pueden derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados. Es responsabilidad del usuario establecer la fecha de una nueva calibración del instrumento.

Este Informe consta de 5 hojas que incluyen la carátula. No podrá ser reproducido total o parcialmente excepto cuando se haya obtenido previamente aprobación escrita por parte de SISTEMAS E INSTRUMENTACION S.A. .

El tipo de dato que puede contener este informe debe ser interpretado así:

- AS-FOUND = Los datos de la calibración corresponden a la unidad en prueba antes de reparación y/o ajuste.
- AS-LEFT = Los datos de calibración corresponden a la unidad en prueba después de reparación y/o ajuste.
- FOUND-LEFT = Los datos de calibración corresponden a la unidad en prueba sin ningún tipo de reparación y/o ajuste.

La revisión de los resultados podrá ser:

- PASA = Cuando las desviaciones están dentro de los límites especificados en los resultados de la calibración
- NO PASA = Cuando las desviaciones no están dentro de los límites especificados en los resultados de la calibración

Los resultados de medición que excedan las especificaciones del fabricante, se indicarán con el símbolo "!"

## FIRMAS AUTORIZADAS:

**Aprobó:**

CARLOS HERRERA SANTANA.  
Director Técnico Laboratorio

**Calibró:**

RICHARD GARZÓN VASQUEZ  
Metrólogo

# INFORME DE CALIBRACIÓN

Número de Informe: 795-8546



## TRAZABILIDAD

Los patrones utilizados en estas mediciones, son calibrados periódicamente a través de los laboratorios de Fluke Corporation con trazabilidad al National Institute of Standards and Technology (NIST) u otros entes acreditados, en unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

## INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La medición reportada, esta determinada por la incertidumbre estandar, multiplicada por un factor de cubrimiento  $K=2$  proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente el 95,45%.

## MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa de los valores indicados por el instrumento bajo calibración contra los proporcionados por el (los) patrón(es) midiendo en forma real (físicamente) la magnitud bajo prueba.

## CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Ambiente  $23 \pm 5$  °C  
Humedad relativa  $45 \pm 20$  %

Comentarios, Opiniones e Interpretaciones:

## PATRONES USADOS EN LA CALIBRACIÓN

<u>Número Serie</u>	<u>Descripción</u>	<u>Fecha Calibración</u>	<u>Proxima Calibración</u>
9720013	FLUKE 5520A CALIBRADOR MULTIFUNCIÓN	19/11/2013	19/11/2015

# INFORME DE CALIBRACIÓN

Número de Informe: 795-8546



## RESULTADOS DE LA CALIBRACION

<u>Función/Rango</u>	<u>Estímulo Aplicado</u>	<u>Respuesta</u>	<u>Límite Bajo</u>	<u>Límite Alto</u>	<u>Incertidumbre</u>
<b>PRUEBAS EN VOLTAGE ALTERNO 1000V</b>					
	1.0 V @ 60 Hz	1.0 V	0.5	1.5	5.8e-002 v
	10.0 V @ 50 Hz	10.0 V	9.3	10.7	5.8e-002 v
	50.0 V @ 100 Hz	50.0 V	48.8	51.3	5.8e-002 v
	100.0 V @ 60 Hz	99.9 V	98.0	102.0	6.0e-002 v
	100.0 V @ 400 Hz	99.9 V	98.0	102.0	6.0e-002 v
	150.0 V @ 50 Hz	149.9 V	147.3	152.8	6.2e-002 v
	240.0 V @ 400 Hz	239.8 V	235.9	244.1	6.9e-002 v
	300.0 V @ 60 Hz	299.9 V	295.0	305.0	3.1e-001 v
	500.0 V @ 60 Hz	499.9 V	492.0	508.0	3.0e-001 v
	700 V @ 100 Hz	700 V	685	716	6.0e-001 v
	900 V @ 60 Hz	900 V	882	919	6.2e-001 v
<b>PRUEBAS EN VOLTAGE DIRECTO 1000V</b>					
	1.0 V	0.9 V	0.5	1.5	5.8e-002 v
	10.0 V	10.0 V	9.4	10.6	5.8e-002 v
	-10.0 V	-10.0 V	-10.6	-9.4	5.8e-002 v
	100.0 V	99.9 V	98.5	101.5	5.8e-002 v
	150.0 V	149.9 V	148.0	152.0	5.8e-002 v
	200.0 V	199.8 V	197.5	202.5	5.8e-002 v
	300.0 V	299.8 V	296.5	303.5	5.8e-002 v
	500.0 V	499.8 V	494.5	505.5	5.8e-002 v
	700 V	700 V	688	712	5.8e-001 v
	900 V	900 V	886	914	5.8e-001 v
<b>PRUEBAS EN RESISTENCIA 60 KOHMS</b>					
	10.0 Ohm	10.0 Ohm	9.4	10.6	1.6e-001 Ω
	50.0 Ohm	50.0 Ohm	49.0	51.0	5.8e-002 Ω
	100.0 Ohm	100.0 Ohm	98.5	101.5	5.8e-002 Ω
	320.0 Ohm	320.0 Ohm	316.3	323.7	5.8e-002 Ω
	500.0 Ohm	499.8 Ohm	494.5	505.5	5.9e-002 Ω
	1000 Ohm	1001 Ohm	985	1015	3.1e+000 Ω
	3200 Ohm	3200 Ohm	3163	3237	5.8e-001 Ω
	5000 Ohm	5001 Ohm	4945	5055	5.9e-001 Ω
	10.00 kOhm	10.00 kOhm	9.85	10.15	5.8e+000 Ω
	32.00 kOhm	32.02 kOhm	31.63	32.37	5.8e+000 Ω
	50.00 kOhm	50.01 kOhm	49.45	50.55	2.7e+001 Ω
<b>PRUEBAS EN CORRIENTE ALTERNA(JAW) 1000A</b>					
	1.0 A	1.00 A	0.48	1.52	5.8e-002 A
	5.0 A	4.90 A	4.40	5.60	5.8e-002 A
	10.0 A	9.90 A	9.30	10.70	5.8e-002 A
	50.0 A	49.97 A	48.50	51.50	1.6e-001 A
	100.0 A	100.10 A	97.50	102.50	1.6e-001 A



# INFORME DE CALIBRACIÓN

Número de Informe: 795-8546



## RESULTADOS DE LA CALIBRACION

<u>Función/Rango</u>	<u>Estímulo Aplicado</u>	<u>Respuesta</u>	<u>Límite Bajo</u>	<u>Límite Alto</u>	<u>Incertidumbre</u>
	150.0 A	150.23 A	146.50	153.50	1.6e-001 A
	190.0 A	190.40 A	185.70	194.30	5.8e-002 A
	300.0 A	300.90 A	293.50	306.50	4.6e-001 A
	400.0 A	401.20 A	391.50	408.50	4.6e-001 A
	500.0 A	501.50 A	489.50	510.50	5.9e-002 A
	700.0 A	701.90 A	685.50	714.50	4.6e-001 A
	900.0 A	901.30 A	881.50	918.50	6.1e-002 A
<b>PRUEBAS EN FRECUENCIA(JAW)500Hz</b>					
	30.0 Hz @ 250 mA	30.0 Hz	29.4	30.6	5.8e-002 Hz
	60.0 Hz @ 250 mA	60.0 Hz	59.2	60.8	5.8e-002 Hz
	100.0 Hz @ 250 mA	100.0 Hz	99.0	101.0	5.8e-002 Hz
	400.0 Hz @ 250 mA	400.0 Hz	397.5	402.5	5.8e-002 Hz
<b>PRUEBAS EN CORRIENTE DIRECTA 1000A</b>					
	1.0 A	1.00 A	0.48	1.52	5.8e-002 A
	5.0 A	5.00 A	4.40	5.60	5.8e-002 A
	10.0 A	9.97 A	9.30	10.70	1.6e-001 A
	50.0 A	50.00 A	48.50	51.50	5.8e-002 A
	100.0 A	100.10 A	97.50	102.50	5.8e-002 A
	150.0 A	150.27 A	146.50	153.50	1.6e-001 A
	190.0 A	190.43 A	185.70	194.30	1.6e-001 A
	300.0 A	300.80 A	293.50	306.50	4.6e-001 A
	400.0 A	401.23 A	391.50	408.50	1.6e-001 A
	500.0 A	501.40 A	489.50	510.50	1.4e+000 A
	700.0 A	702.00 A	685.50	714.50	5.9e-002 A
	900.0 A	901.93 A	881.50	918.50	3.1e-001 A
<b>PRUEBAS CORRIENTE ALTERNA SONDA FLEXIBLE(iFLEX) 2500A</b>					
	1.0 A	1.00 A	0.47	1.53	5.8e-002 A
	5.0 A	5.00 A	4.35	5.65	5.8e-002 A
	10.0 A	10.00 A	9.20	10.80	5.8e-002 A
	50.0 A	50.20 A	48.00	52.00	5.8e-002 A
	100.0 A	100.30 A	96.50	103.50	5.8e-002 A
	150.0 A	150.50 A	145.00	155.00	5.8e-002 A
	190.0 A	190.60 A	183.80	196.20	5.8e-002 A
	300.0 A	301.00 A	290.50	309.50	5.8e-002 A
	400.0 A	401.40 A	387.50	412.50	5.8e-002 A
	500.0 A	501.60 A	484.50	515.50	5.9e-002 A
	700.0 A	702.30 A	678.50	721.50	6.0e-002 A
	900.0 A	902.90 A	872.50	927.50	4.6e-001 A
<b>PRUEBAS EN FRECUENCIA(JAW)500Hz</b>					
	30.0 Hz @ 250 mA	30.0 Hz	29.4	30.6	5.8e-002 Hz
	60.0 Hz @ 250 mA	60.0 Hz	59.2	60.8	5.8e-002 Hz



# INFORME DE CALIBRACIÓN

Número de Informe: 795-8546



## RESULTADOS DE LA CALIBRACION

<u>Función/Rango</u>	<u>Estímulo Aplicado</u>	<u>Respuesta</u>	<u>Límite Bajo</u>	<u>Límite Alto</u>	<u>Incertidumbre</u>
	100.0 Hz @ 250 mA	100.0 Hz	99.0	101.0	5.8e-002 Hz
	400.0 Hz @ 250 mA	400.0 Hz	397.5	402.5	5.8e-002 Hz

\*\*\*\*\* FIN DEL INFORME \*\*\*\*\*



CERTIFICA QUE:

**JOHN EHIDERT BUITRAGO AMARILLO**

CON DOCUMENTO DE IDENTIDAD **79.952.931** QUIEN ASISTIO Y APROBO LAS 16 HORAS DE ENTRENAMIENTO REQUERIDAS EN CUMPLIMIENTO CON LOS LINEAMIENTOS DE LA PRACTICA RECOMENDADA SNT—TC—1A, EN EL METODO DE:

**LIQUIDOS PENETRANTES NIVEL II**

FECHA DE ENTRENAMIENTO: JULIO 28—29 DE 2012

INTENSIDAD HORARIA: 16 HORAS

*Nidia Jirado Taján*  
NIDIA MARIA JIRADO TAJAN *Eng. Nidia Jirado Taján*  
*Level III ASNT 117961*

INSTRUCTOR



CERTIFICA QUE:

**JOHN EHIDERT BUITRAGO AMARILLO**

CON DOCUMENTO DE IDENTIDAD **79.952.931** HA CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS DESCRITOS EN LA PRACTICA ESCRITA PAG-067 DE MONTAJES J.M. S.A. Y CON LOS LINEAMIENTOS DE LA PRACTICA RECOMENDADA SNT—TC —1A, EN EL METODO DE:

**LIQUIDOS PENETRANTES NIVEL II**

FECHA DE CERTIFICACION: SEPTIEMBRE 03 DE 2012

FECHA DE VENCIMIENTO DE LA CERTIFICACION: SEPTIEMBRE 03 DE 2015

  
LEONARDO CORTES



LIDER DE ASEGURAMIENTO QA/QC

## QUALIFICATION CERTIFICATE

QUALIFICATION CERTIFICATE	No. JBPT-01
NAME: JOHN BUITRAGO	I.D. #: 79.952.931
EDUCATION: INDUSTRIAL ENGINEER	EXPERIENCE: 2700 HOURS
NDT METHOD: <b>LIQUID PENETRANT TESTING</b>	LEVEL: <b>II</b>
VISUAL EXAMINATION: JULY 21 / 2012	DATE OF EXPIRY: JULY 31/ 2013
CERTIFICATION DATE: SEPTEMBER 03 / 2012	RECERTIFICATION DATE: SEPTEMBER 03 / 2015

### JOHN BUITRAGO

THE ABOVE NAMED PERSONE WAS TESTED IN ACCORDANCE WITH MONTAJES J.M. WRITTEN PRACTICE PAG-067 AND RECOMMENDED PRACTICE SNT-TC-1A AS STANDARD REFERENCE MATERIAL, THE EXAMINATION RESULTS ARE:

1. GENERAL	82.5 %
2. SPECIFIC	82.5 %
3. PRACTICAL	85.0 %
FINAL GRADE:	83.0 %

CERTIFIED BY

NAME: NIDIA MARIA JIRADO TAJAN	ASNT No.: 117961
METHOD: MT / PT / VT / UT	EXPIRATION DATE: MT: 3/16; PT: 3/13; VT: 6/14; UT: 05/15
SIGNATURE: <i>Nidia Jirado Tajan</i>	<i>Eng. Nidia Jirado Tajan</i> Level III ASNT 117961

MONTAJES J.M. S.A.

CERTIFICA QUE:

JOHN BUITRAGO

CON DOCUMENTO DE IDENTIDAD 79.952.931 QUIEN ASISTIO Y APROBO LAS 16 HORAS DE ENTRENAMIENTO REQUERIDAS EN CUMPLIMIENTO CON LOS LINEAMIENTOS DE LA PRACTICA RECOMENDADA SNT—TC -1A, EN EL METODO DE:

INSPECCION VISUAL NIVEL II

FECHA DE ENTRENAMIENTO: MARZO 9—10 de 2013  
INTENSIDAD HORARIA: 16 HORAS

*Nidia Jirado Taján*

NIDIA MARIA JIRADO TAJAN

INSTRUCTOR

*Eng. Nidia Jirado Taján  
Level III ASNT 117961*



CERTIFICA QUE:

**JOHN BUITRAGO**

CON DOCUMENTO DE IDENTIDAD **79.952.931** HA CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS DESCRITOS EN LA PRACTICA ESCRITA PAG-067 DE MONTAJES J.M. S.A. Y CON LOS LINEAMIENTOS DE LA PRACTICA RECOMENDADA SNT—TC -1A, EN EL METODO DE:

## **INSPECCION VISUAL NIVEL II**

FECHA DE CERTIFICACION: MARZO 18 DE 2013

FECHA DE VENCIMIENTO DE LA CERTIFICACION: MARZO 18 DE 2016

LEONARDO CORTES

LIDER DE ASEGURAMIENTO QA/QC

## QUALIFICATION CERTIFICATE

QUALIFICATION CERTIFICATE	No. JBVT-01
NAME: JOHN BUITRAGO	I.D. #: 79.952.931
EDUCATION: INDUSTRIAL ENGINEERING	EXPERIENCE: 2700 HOURS
NDT METHOD: <b>VISUAL TESTING</b>	LEVEL: <b>II</b>
VISUAL EXAMINATION: MARCH 01 / 2013	DATE OF EXPIRY: MARCH 01 / 2014
CERTIFICATION DATE: MARCH 18 / 2013	RECERTIFICATION DATE: MARCH 18 / 2016

### JOHN BUITRAGO

THE ABOVE NAMED PERSONE WAS TESTED IN ACCORDANCE WITH MONTAJES J.M. WRITTEN PRACTICE PAG-067 AND SNT-TC-1A AS STANDARD REFERENCE MATERIAL, THE EXAMINATION RESULTS ARE:

1. GENERAL	75.0 %
2. SPECIFIC	85.0 %
3. PRACTICAL	100.0 %
FINAL GRADE:	86.7 %

CERTIFIED BY

NAME: NIDIA MARIA JIRADO TAJAN	ASNT No.: 117961
METHOD: MT / PT / VT / UT	EXPIRATION DATE: MT: 3/16; PT: 3/13; VT: 6/14; UT: 05/15
SIGNATURE: <i>Nidia Jirado Tajan</i>	<i>Eng. Nidia Jirado Tajan</i> Level III ASNT 117961