

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA GTAW-SMAW, GTAW-GMAW Y GMAW-GMAW APLICADOS EN DOS POSICIONES DE SOLDADURA 6G Y 1GR UTILIZADO EN LA INDUSTRIA PETROLERA EN TUBERÍA DE ACERO ASTM A-106 GRB

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MASTER (MSc)

EN DISEÑO PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

LUIS JILVER JARAMILLO RECALDE
luisj@danielcom.com

GABRIEL EDMUNDO VELASTEGUÍ BALDA
gabriel.velastegui@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. VICTOR MANUEL CÁRDENAS
victor.cardenas@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: MSC. CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE
carlos.diaz@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Luis Jilber Jaramillo Recalde y Gabriel Edmundo Velasteguí Balda declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Luis Jilber Jaramillo Recalde

Gabriel Edmundo Velasteguí Balda

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Jilber Jaramillo Recalde y Gabriel Edmundo Velasteguí Balda, bajo nuestra supervisión.

Dr. Victor Manuel Cárdenas

DIRECTOR DE TESIS

Msc. Carlos Wime Díaz Campoverde

CO-DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Víctor Cárdenas Director y al Ing. Carlos Díaz Co-director por su acertada guía, por su aporte académico a lo largo de toda la realización de la presente tesis, y sobre todo por sus cualidades personales y profesionales.

Al Dr. Alvaro Aguinag, Ing. Mario Granja MSc, Ing. Rodrigo Ruíz e Ing. Fernando Pantoja por su aporte académico, apoyo y por la amistad brindada.

Al Ing. Pablo Reinoso y todo el personal que conforma la empresa Miller por todos los conocimientos adquiridos y por el apoyo incondicional.

Al personal de los Laboratorios de Metalografía Ing. Patricia Proaño, Sr. René Jame y de los Laboratorios de Ensayos No destructivos y Análisis de Esfuerzos por la ayuda y la colaboración prestada.

Gabriel Velasteguí

DEDICATORIA

Dedicado a DIOS, por guiarme y protegerme en todo momento.

A mis Padres Gerardo y Yolanda por su amor, protección y apoyo.

A mis amores Ruby, Katherine y Stephany, por el amor que me entregan día a día, por su comprensión, confianza y sacrificio.

A mis hermanos Mercedes y David y a toda mi Familia por compartir cada momento de mi vida.

Gabriel Velasteguí

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-------------------------------|
| CAPITULO 1..... | 1 |
| 1.1 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO / SMAW | 1 |
| 1.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1.2 Variables principales del proceso SMAW | 3 |
| 1.1.2.1 Corriente de soldadura | 4 |
| 1.1.2.2 Voltaje..... | 4 |
| 1.1.2.3 Velocidad de soldadura (velocidad de recorrido)..... | 5 |
| Fuente: (Folleto de prácticas del laboratorio de soldadura, 2015)..... | 7 |
| 1.1.3 Electroodos..... | 8 |
| 1.1.3.1 Celulósico | 8 |
| 1.1.3.2 Rutílico..... | 8 |
| 1.1.3.3 Básicos | 9 |
| 1.1.4 Clasificación AWS de los electrodos revestidos para soldar aceros de bajo carbono (AWS A5.1)..... | 9 |
| 1.1.5 Funciones de revestimiento | 10 |
| 1.1.6 Ventajas y limitaciones..... | 11 |
| 1.1.6.1 Ventajas..... | 11 |
| 1.1.6.2 Limitaciones..... | 11 |
| 1.1.7 Aplicaciones | 12 |
| 1.2 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO DE TUNGSTRENO Y PROTECCIÓN GASEOSA / GTAW | 12 |
| 1.2.1 INTRODUCCIÓN LA SOLDADURA..... | 12 |
| 1.2.2 Equipo básico para TIG ó GTAW..... | 13 |
| 1.2.3 VENTAJAS DEL PROCESO..... | 14 |
| 1.2.4 LIMITACIONES DEL PROCESO..... | 15 |
| 1.2.5 VARIABLES DEL PROCESO | 16 |
| 1.2.6 EQUIPO..... | 16 |
| 1.2.7 ELECTRODOS..... | 16 |
| 1.2.8 Clasificación de los electrodos | 18 |
| 1.2.9 Polaridad de los electrodos | 19 |
| 1.2.10 Tipos de gases protectores..... | 29 |
| 1.2.11 METALES DE APORTE..... | 33 |
| 1.2.12 CALIDAD DE LA SOLDADURA..... | 35 |
| 1.3 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO CONTINUO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA / GMAW | 38 |
| 1.3.1 INTRODUCCIÓN..... | ¡Error! Marcador no definido. |

| | | |
|--|--|--------------------------------------|
| 1.3.2 | FUNDAMENTOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.3.3 | EQUIPOS | 40 |
| Apriete (pinch) Máximo 47 | | |
| 1.3.4 | GAS DE PROTECCION..... | 47 |
| 1.3.5 | ELECTRODOS..... | 53 |
| 1.3.6 | Tipos de transferencia DE METAL EN EL PROCESO GMAW. | 55 |
| 1.3.7 | Variables de soldadura de GMAW | 69 |
| 1.3.8 | VENTAJAS DEL PROCESO GMAW | 71 |
| CAPITULO 2..... 73 | | |
| CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS, ALEACIONES Y SUS ELEMENTOS..... 73 | | |
| 2.1 | DEFINICIÓN DE ACERO 73 | |
| 2.2 | CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS 73 | |
| 2.2.1 | DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE CARBONO. | 74 |
| 2.2.2 | POR EL CONTENIDO DE CARBONO PRESENTE EN EL ACERO. | 75 |
| 2.2.3 | POR GRADO DE COMPOSICIÓN. | 75 |
| 2.2.4 | POR SU APLICACIÓN..... | 76 |
| 2.2.5 | SEGÚN LA NORMA AISI. | 77 |
| 2.2.6 | SEGÚN LA NORMA ASTM..... | 79 |
| 2.3 | TABLA DE DIMENSIONES DE TUBERÍAS 85 | |
| CAPITULO 3..... 87 | | |
| CALIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA BAJO LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ASME SECCIÓN IX..... 87 | | |
| 3.1 | GENERAL ¡Error! Marcador no definido. | |
| 3.2 | REQUISITOS DE LA SOLDADURA EN LOS CÓDIGOS DE FABRICACIÓN. 87 | |
| 3.2.1 | Preparación de cupones de prueba. | 87 |
| 3.2.2 | PREPARACION DE LOS CUPONES DE ENSAYO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.3 | VARIABLES DE SOLDADURA. 90 | |
| 3.3.1 | Generalidades | 90 |
| 3.3.2 | Variables Esenciales..... | 90 |
| 3.3.3 | variables esenciales suplementarias..... | 90 |
| 3.3.4 | Variables No Esenciales..... | 90 |
| 3.4 | NÚMEROS P. 98 | |
| 3.4.1 | AGRUPACION DE MATERIALES | 98 |
| 3.5 | NÚMEROS F. 99 | |
| 3.5.1 | Números F alternos para la calificación de habilidades del soldador..... | 100 |
| 3.6 | TIPO Y PROPOSITOS DE PRUEBAS Y EXAMENES 103 | |

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
| 3.6.1 | Pruebas Mecánicas | 103 |
| CAPITULO 4..... | | 113 |
| ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LOS PROCESOS DE SOLDADURA | | |
| APLICADOS..... | | |
| 4.1 | PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | 113 |
| 4.1.1 | RESISTENCIA DE LOS METALES | 113 |
| 4.1.2 | ELASTICIDAD | 115 |
| 4.1.3 | DUCTILIDAD | 116 |
| 4.1.4 | FRAGILIDAD | 116 |
| 4.1.5 | TENACIDAD..... | 117 |
| 4.1.6 | DUREZA..... | 117 |
| 4.1.7 | RESISTENCIA A LA FATIGA..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.1.8 | RESISTENCIA AL IMPACTO..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| CAPITULO 5..... | | 119 |
| METALURGIA DE LA SOLDADURA..... | | |
| 5.1 | DEFINICIÓN DE LA METALURGIA | 119 |
| 5.1.1 | Estructura cristalina | 120 |
| 5.1.2 | Mecanismos de aleación | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.2 | ESTRUCTURAS DEL ACERO | 120 |
| 5.2.1 | Estructuras monofásicas | 120 |
| 5.2.2 | Estructuras bifásicas | 121 |
| 5.3 | TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS. | 124 |
| 5.3.1 | INTRODUCCIÓN..... | 124 |
| 5.3.2 | Clasificación de los tratamientos..... | 124 |
| 5.3.2.1 | TRATAMIENTOS TÉRMICOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.3.2.2 | TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS:..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.3.2.3 | TRATAMIENTOS MECÁNICOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.3.2.4 | TRATAMIENTOS SUPERFICIALES..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.4 | SOLUBILIDAD DEL CARBONO EN HIERRO. | 129 |
| 5.5 | SOLDADURAS | 131 |
| 5.6 | SOLDABILIDAD DE LOS METALES | 132 |
| 5.7 | HEAT INPUT | 133 |
| 5.8 | TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO Y ENTRE PASADAS | 134 |
| 5.8.1 | TEMPERATURA ENTRE PASES | 135 |
| 5.8.2 | Medición de la temperatura entre pases..... | 136 |
| 5.9 | TRATAMIENTO POST SOLDADURA PWHT | 137 |

| | |
|---|-------------------------------|
| CAPITULO 6..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS PARA ENSAYOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2 PREPARACIÓN Y SOLDADURA DE LOS CUPONES PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS Y ENSAYOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.1 CORTE Y PREPARACIÓN DE BISELES DE TUBERÍAS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.2 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE ACUERDO A LOS PROCESOS Y POSICIONES DE SOLDADURA..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.2.2 Preparación de juntas en la posición de soldadura 6G..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.3 REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.4 Limpieza de las soldaduras..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3 CUPONES PARA REALIZAR CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.1 ESPECIFICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS CUPONES DE SOLDADURA..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS PARA ANÁLISIS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.4.1 Radiografía industrial..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.4.2 Tintas penetrantes..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3.5 FORMA Y EXTRACCIÓN DE LAS PROBETAS PARA LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4 PROBETAS PARA REALIZAR ENSAYOS DE MACROGRAFIA Y METALOGRAFIA | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1 Operaciones para la preparación de la muestra metalográfica. | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1.1 Extracción de la muestra | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1.2 Desbaste grueso | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1.3 Desbaste Fino | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1.4 Pulido grueso..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1.5 Pulido Fino..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1.6 Ataque Químico..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.2 preparación de la muestra mACROGRÁFICA | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.3 preparación de la muestra METALOGRÁFICA..... | ¡Error! Marcador no definido. |

6.5 PROBETAS PARA REALIZAR ENSAYOS DE DUREZA **¡Error! Marcador no definido.**

6.6 ANÁLISIS DE HEAT INPUT **¡Error! Marcador no definido.**

CAPITULO 7..... **¡Error! Marcador no definido.**

ANÁLISIS DE RESULTADOS..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS **¡Error! Marcador no definido.**

7.1.1 RESULTADOS DE LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RT)..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.1.2 TINTAS PENETRANTES (PT) **¡Error! Marcador no definido.**

7.2 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA **¡Error! Marcador no definido.**

7.2.1 ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA WPS'S..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.2.2 NORMA DE REFERENCIA..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.2.3 RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.2.4 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO DE CARA Y DE RAÍZ **¡Error! Marcador no definido.**

7.2.5 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PQR's **¡Error! Marcador no definido.**

7.3 CORRELACION ENTRE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN REALIZADOS A LAS PROBETAS Y TIPO DE PROCESO DE SOLDADURA, POSICIONES DE SOLDADURA, ESPESORES Y TIPOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL DE APORTE. **¡Error! Marcador no definido.**

7.3.1 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA..... **¡Error! Marcador no definido.**

7.3.2 COMPARACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN VS LAS POSICIONES DE SOLDADURA **¡Error! Marcador no definido.**

7.3.3 COMPARACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN VS TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL DE APORTE **¡Error! Marcador no definido.**

7.3.4 COMPARACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN VS ESPESOR DEL MATERIAL BASE **¡Error! Marcador no definido.**

7.4 ENSAYOS METALOGRÁFICOS **¡Error! Marcador no definido.**

7.4.1 ANÁLISIS MACROGRÁFICO **¡Error! Marcador no definido.**

7.4.2 ANÁLISIS MICROGRÁFICO **¡Error! Marcador no definido.**

7.5 ENSAYOS DE DUREZA **¡Error! Marcador no definido.**

7.5.1 Dureza en el proceso de soldadura SMAW en la posición de soldadura 6G. .. **¡Error! Marcador no definido.**

7.5.2 Dureza en el proceso de soldadura GTAW-GMAW en la posición de soldadura plana rotada (1GR). **¡Error! Marcador no definido.**

7.5.3 Dureza en el proceso de soldadura GTAW-GMAW en la posición de soldadura fija a 45° (6G). **¡Error! Marcador no definido.**

| | | |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 7.5.4 | Dureza en el proceso de soldadura GMAW-(RMD) / GMAW (P) en la posición de soldadura plana rotada (1GR). | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.5.5 | Dureza en el proceso de soldadura GMAW-(RMD) / GMAW (P) en la posición de soldadura fija a 45° (6G). | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.6 | CÁLCULO DEL CALOR ENTREGADO / HEAT INPUT (HI) | ¡Error! Marcador no definido. |
| CAPITULO 8..... | | ¡Error! Marcador no definido. |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.1 | CONCLUSIONES | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.2 | RECOMENDACIONES | ¡Error! Marcador no definido. |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 1. 1 | Elementos de un proceso de soldadura SMAW | 1 |
| Figura 1. 2 | Circuito básico de soldadura. | 3 |
| Figura 1. 3 | <i>Efectos del amperaje, (A) longitud del arco y la velocidad de recorrido al soldar, (A) amperaje, longitud de arco y velocidad de recorrido correctos; (B) amperaje demasiado bajo; (C) amperaje demasiado alto; (D) arco demasiado corto; (E) arco demasiado largo; (F) velocidad de recorrido demasiado lenta; (G) velocidad de recorrido excesiva.....</i> | 7 |
| Figura 1. 4 | Influencia de la polaridad en la penetración para electrodos. | 7 |
| Figura 1. 5 | Denominación de los electrodos según la AWS | 10 |
| Figura 1. 6 | Fundamentos del proceso GTAW (refrigerado por agua). | 14 |
| Figura 1. 7 | Formas de las puntas de los electrodos, hay que tener presente que el diámetro de la bola nunca debe exceder de 1,5 veces el electrodo diámetro. | 17 |
| Figura 1. 8 | Forma del arco y perfil de soldadura como una función del ángulo de la punta del electrodo. | 18 |
| Figura 1. 9 | Características de los tipos de corriente para soldadura por arco de tungsteno y gas. | 21 |
| Figura 1. 10 | Forma de onda de cc a pulsos. | 22 |
| Figura 1. 11 | Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con ca : (A) Rectificación parcial y completa; (B) con estabilización del arco; (C) con balanceo de corriente..... | 26 |
| Figura 1. 12 | Características de la ca de onda cuadrada variable. | 27 |
| Figura 1. 13 | Control del avance de la onda cuadrada en una fuente de energía..... | 28 |
| Figura 1. 14 | Relación voltaje-corriente con escudos de helio y argón. | 32 |

| | | |
|---------------------|---|--------------------------------------|
| Figura 1. 15 | Pistola de soldar GMAW | 40 |
| Figura 1. 16 | Instalación GMAW semiautomática..... | 41 |
| Figura 1. 17 | Instalación GMAW automática. | 42 |
| Figura 1. 18 | Característica estática voltio-amperio..... | 43 |
| Figura 1. 19 | Regulación de la longitud del arco para modos de transferencia GMAW tradicional. | 44 |
| Figura 1. 20 | Cálculo de la pendiente de una fuente de poder. | 45 |
| Figura 1. 21 | Ilustración del efecto de apriete durante la transferencia cortocircuito..... | 45 |
| Figura 1. 22 | Contorno del cordón y modelos de penetración para varios gases de..... | 49 |
| Figura 1. 23 | Efecto relativo de las adiciones del O ₂ y CO ₂ a la protección de argón..... | 49 |
| Figura 1. 24 | Transferencia de metal, GMAW cortocircuito. | 57 |
| Figura 1. 25 | Características de la transferencia globular..... | 59 |
| Figura 1. 26 | Características de la transferencia spray axial. | 60 |
| Figura 1. 27 | Velocidad de alimentación vs. Corriente, electrodos de acero..... | 60 |
| Figura 1. 28 | Variación en volumen y tasa de transferencia de gotas vs. Corriente, electrodos de acero. [1] | 61 |
| Figura 1. 29 | Ilustración del efecto “pinch”..... | 62 |
| Figura 1. 30 | Transferencia arco pulsante..... | 63 |
| Figura 1. 31 | Transferencia por arco pulsante GMAW-P. | 64 |
| Figura 1. 32 | Transferencia por RMD | 66 |
| Figura 1. 33 | Perfil del pace de raíz realizado con transferencia RMD. | 67 |
| Figura 1. 34 | Transferencia STT..... | 69 |
| Figura 1. 35 | Longitud libre del electrodo..... | 71 |
| Figura 2. 1 | Clasificación de los aceros de acuerdo | 74 |
| Figura 4. 1 | Propiedades de los metales | 113 |
| Figura 4. 2 | Probeta a compresión | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 4. 3 | Probeta sometida a torsión..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 4. 4 | Probeta a corte..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 4. 5 | Probeta a flexión | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 4. 6 | Diagrama esfuerzo deformación | 116 |
| Figura 5. 1 | Granos de Ferrita (hierro alfa (α)), con una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo, BCC)..... | 121 |
| Figura 5. 2 | Perlita (estructura laminar de Ferrita y Cementita (Carburo de Hierro, Fe ₃ C)). | 122 |
| Figura 5. 3 | Estructura en un diagrama Hierro carbono..... | 123 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5. 4 Clasificación de los tratamientos térmicos..... | 125 |
| Figura 5. 5 Diagrama simplificado del Hierro – Carbono con esquematización de las estructuras..... | 130 |
| Figura 5. 6 Comparación del Heat input con la velocidad de enfriamiento | 134 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. 1 Código de color y elementos de aleación de diversas aleaciones para electrodo de tungsteno. | 18 |
| Tabla 1. 2 Electrodo de Tungsteno y copas recomendadas para diversos tipos de corriente..... | 19 |
| Tabla 1. 3 Tipos de corriente, electrodo de tungsteno y gases protectores recomendados para soldar diferentes metales..... | 33 |
| Tabla 1. 4 Especificaciones de la AWS de metales de aporte apropiados para soldadura por arco de tungsteno y gas..... | 35 |
| Tabla 1. 5 Guía de localización de problemas para soldadura por arco de tungsteno y gas..... | 38 |
| Tabla 1. 6 Corrientes pico típicas (corto circuito) para transferir metal en el modo corto circuito (fuente de poder-característica estática)..... | 46 |
| Tabla 1. 7 Ajuste del control de Apriete (Pinch) en las fuentes de poder Lincoln Electric...47 | |
| Tabla 1. 8 Gases de protección y mezclas de gas para GMAW. | 50 |
| Tabla 1. 9 Selección de gas para GMAW con transferencia spray. | 50 |
| Tabla 1. 10 Metales de aporte recomendados para GMAW. | 56 |
| Tabla 2. 1 Clasificación de los aceros según la AISI..... | 79 |
| Tabla 2. 2 Clasificación de los aceros según la ASTM. | 81 |
| Tabla 2. 3 Clasificación de los aceros según la ASTM A 106 Gr B..... | 83 |
| Tabla 2. 4 Propiedades mecánicas del acero ASTM A 106. | 83 |
| Tabla 2. 5 ANSI / ASME B 36.10 para los Schedules de 5 a 80 | 86 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3. 1 Límites de espesores y muestras de ensayos para calificación de procedimiento de soldadura..... | 88 |
| Tabla 3. 2 Variables de soldadura para SMAW..... | 91 |
| Tabla 3. 3 Variables de soldadura para GMAW y FCAW..... | 93 |
| Tabla 3. 4 Variables de soldadura para GTAW..... | 96 |
| Tabla 3. 5 Grupos de asignación de los números P, para varios sistemas de aleaciones. . | 99 |
| Tabla 3. 6 Agrupamiento de electrodos y varillas de soldadura. Números F..... | 101 |
| Tabla 3. 7 Números F para la calificación de la habilidad de soldadores..... | 102 |
| Tabla 3. 8 Números F para la calificación de la habilidad de soldadores. “Calificado con” y “Calificado para”..... | 102 |
| Tabla 3. 9 Tabla de valores de resistencia de materiales base ASME IX..... | 104 |

PRESENTACIÓN

Actualmente, en el Ecuador se están realizando una gran cantidad de obras de gran importancia con tubería, y es necesario estudiar y conocer procesos de soldadura que garanticen, productividad y calidad. El proceso SMAW es el más utilizado, pero con grandes limitaciones y poco productividad. El proceso TIG se utiliza muy frecuente para soldadura de “pase de raíz” en tubería, pero no es productivo, como requiere las obras de gran envergadura e importancia que hay actualmente. Debido a esta condiciones y necesidades se utiliza procesos de soldadura semi – automáticos GMAW, GMAW – P, GMAW – RMD, estos procesos garantizan una misma aplicación del proceso TIG (GTAW) con la misma calidad pero con mayor productividad.

Este proyecto describe los conceptos básicos de los procesos de soldadura de arco eléctrico utilizado en la soldadura de tubería, soldadura con electrodo revestido (SMAW), soldadura con electrodo de tungsteno y protección gaseosa (GTAW) y soldadura con electrodo continuo bajo protección gaseosa (GMAW).

Este conocimiento, combinado con la información básica de otros procesos de soldadura, ayudará en la selección del mejor proceso de soldadura para los materiales a ser unidos. Además, el lector encontrará datos técnicos específicos los cuales serán una guía en el establecimiento óptimo de operación de este proceso.

También se suministrará los conceptos necesarios para la determinación y aplicación de los principales requerimientos referidos a la Soldaduras de tuberías de acero al carbono y

baja aleación, usadas en la compresión, bombeo, transmisión y distribución de petróleo, tanto en la Construcción como en el Mantenimiento de líneas, incluyendo materiales utilizados, procesos de soldadura, calificaciones, requisitos de construcción y Ensayos no destructivos.

El objetivo del presente proyecto es determinar el mejor proceso de soldadura o combinación de procesos para la soldadura de tubería de oleoducto, con el que se obtenga las mejores propiedades tanto físicas, como metalúrgicas.

CAPITULO 1

1.1 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO / SMAW

1.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

La soldadura por arco de metal protegido SHIELDED METAL ARC WELDING, (SMAW) es un proceso en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo revestido y la superficie del metal base en la unión que se está soldando. Como las gotitas de metal fundido se transfieren a través del arco desde el electrodo al charco de soldadura fundida, éstas se protegen de la atmósfera por los gases producidos a partir de la descomposición del revestimiento de fundente. Ver Figura 1.1. La escoria fundida flota en la superficie del charco de soldadura donde protege el metal de soldadura de la atmósfera durante la solidificación. La escoria debe ser removida después de cada ejecución de la soldadura.

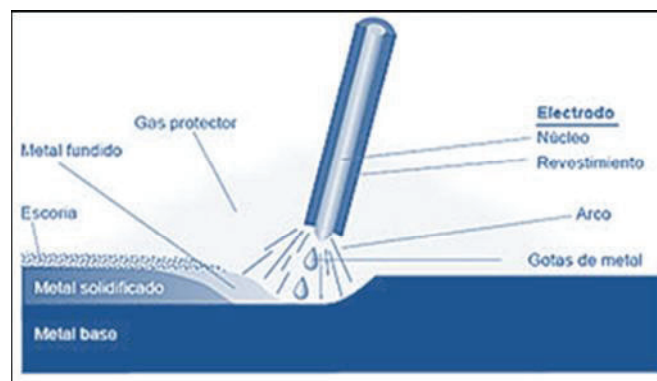


Figura 1. 1 Elementos de un proceso de soldadura SMAW

Fuente: (Indura, 2007)

Cientos de variedades de electrodos son producidos y a menudo contienen aleaciones para añadir durabilidad, resistencia y ductilidad a la soldadura. El

proceso se utiliza principalmente para aleaciones ferrosas en estructuras de acero, la construcción naval, reparaciones, fabricación y mantenimiento en general. A pesar de la relativa lentitud del proceso, debido a los cambios de electrodos y eliminación de la escoria, sigue siendo una de las técnicas más flexibles y ventajosa en áreas de acceso restringido.

El núcleo del electrodo revestido consiste en una varilla de metal sólido de material estirado o colado, o bien de una varilla fabricada encerrando en su interior metal en polvo en una funda metálica.

La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra el metal de aporte a la unión. Las funciones principales del revestimiento del electrodo son: estabilizar el arco y proteger el metal fundido de la atmósfera, por medio de los gases que se crean cuando el revestimiento se descompone por el calor generado por el arco voltaico. La protección empleada, junto con otros ingredientes del revestimiento y del alambre del núcleo, controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características de arco del electrodo. La composición del revestimiento del electrodo varía dependiendo del tipo de electrodo.

El arco se mueve sobre el elemento de trabajo con una longitud y velocidad de desplazamiento apropiadas, derritiendo y fusionando una porción del metal base y añadiendo continuamente metal de aporte. Puesto que el arco es uno de los más calientes que producen las fuentes de calor comerciales se han medido temperaturas por encima de 5000°C (9000°F) en su centro, la fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco.

Si las soldaduras se hacen en posición plana u horizontal, la transferencia del metal es inducida por la fuerza de la gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas y la tensión superficial. Si se suelda en otras posiciones, la gravedad actuara oponiéndose a las demás fuerzas. El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad adecuada del metal base. También requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el metal base o el charco de soldadura. Los tamaños y

tipos de electrodo para la soldadura por arco de metal protegido, definen los requerimientos de voltaje (dentro del intervalo global de 16 a 40 V) y de amperaje (dentro del intervalo global de 20 a 550 A) del arco. La corriente puede ser alterna o continua, dependiendo del electrodo empleado, pero la fuente de potencia debe ser capaz de controlar el nivel de corriente dentro de un intervalo razonable para responder a las complejas variables del proceso de soldadura en sí. En la Figura 1.2. se observa el circuito básico de soldadura SMAW.

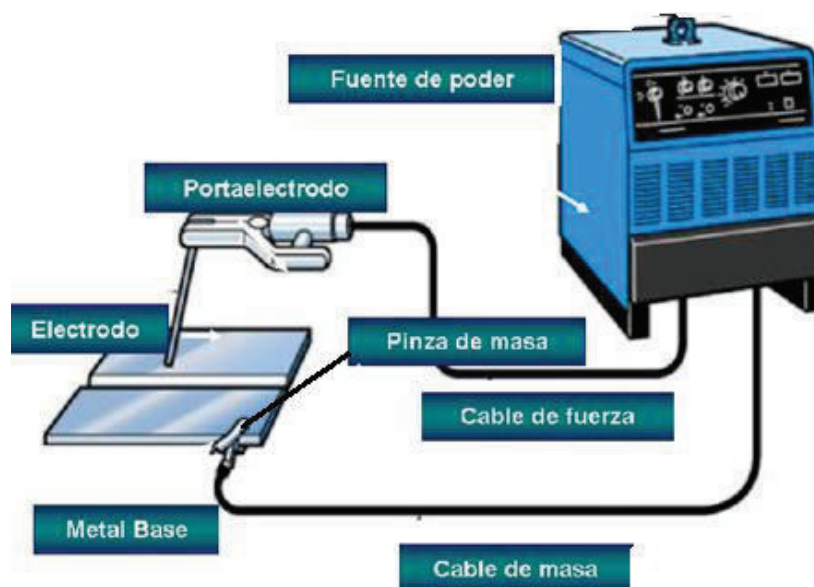


Figura 1. 2 Circuito básico de soldadura.

Fuente: (Indura, 2007)

1.1.2 VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO SMAW

Las variables principales del proceso de soldadura SMAW son:

- Corriente de soldadura (I)
- Voltaje en el arco (V)
- Velocidad de soldadura (S)

Estas variables determinan las características del cordón depositado como son: penetración, forma geométrica y otras de naturaleza metalúrgica.

1.1.2.1 Corriente de soldadura

Según el tamaño y clasificación de los electrodos, estos pueden trabajar satisfactoriamente a diversos amperajes dentro de cierto intervalo. Este intervalo varía un poco dependiendo del espesor y la formulación del revestimiento.

La rapidez de aportación del material aumenta con el amperaje. Para un electrodo de cierto tamaño, los intervalos de amperaje y las tasas de aportación resultantes varían dependiendo de la clasificación del electrodo.

Para un tipo específico de tamaño de electrodo, el amperaje óptimo depende de varios factores como la posición de soldadura y el tipo de unión. El amperaje debe ser suficiente para obtener una buena fusión y penetración, sin perder el control del charco de soldadura. Al soldar en posición vertical o cenital, lo más probable es que los amperajes óptimos estén en la región baja del intervalo permitido.

No conviene utilizar amperajes que rebasen el intervalo recomendado, ya que el electrodo puede sobrecalentarse y causar demasiadas salpicaduras, golpe del arco, socavamiento y agrietamiento del metal de soldadura.

1.1.2.2 Voltaje

El voltaje y la longitud de arco están en relación directa. La longitud del arco es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del charco de soldadura. Es importante utilizar un arco con la longitud apropiada para obtener una soldadura de buena calidad. La transferencia de metal desde la punta del electrodo hasta el charco de soldadura no es una acción suave y uniforme. El voltaje instantáneo del arco varía al transferirse gotitas de metal fundido a través del arco, incluso cuando la longitud de éste se mantiene constante. No obstante, las variaciones en el voltaje serán mínimas si se suelda con el amperaje y la longitud del arco correctos. Para lo segundo se requiere una alimentación del electrodo constante y consistente.

La longitud de arco, la clasificación del electrodo, el diámetro y la composición de su revestimiento varía con el amperaje y la posición de soldadura. La longitud del arco aumenta al incrementarse el diámetro del electrodo y el amperaje, pero por regla general esta longitud no debe exceder el diámetro del núcleo del electrodo, aunque suele ser aún más corta en el caso de electrodos con revestimiento grueso, como los de hierro en polvo o de "arrastre".

Si el arco es demasiado corto, puede ser irregular y entrar en cortocircuito durante la transferencia de metal. Por otro lado, si el arco es demasiado largo, carecerá de dirección e intensidad, y tenderá a dispersar el metal fundido que viaja desde el electrodo hasta la soldadura, las salpicaduras pueden ser considerables, y la eficiencia del depósito se reducirá. Además, el gas y el fundente generados por la cobertura del electrodo no serán tan eficaces para proteger el arco y el metal de soldadura; esto puede causar porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno o hidrógeno, o con ambos.

1.1.2.3 Velocidad de soldadura (velocidad de recorrido)

La velocidad de soldadura o de desplazamiento es la rapidez con que el electrodo se traslada a lo largo de la unión. La velocidad correcta es aquella que produce una franja de soldadura con el perfil y el aspecto correctos. Son varios los factores que determinan cuál debe ser la velocidad correcta:

- Tipo de corriente de soldadura, amperaje y polaridad.
- Posición de soldadura.
- Rapidez de fusión del electrodo
- Espesor del material.
- Condición de la superficie del metal base.
- Tipo de unión
- Manipulación del electrodo.

Al soldar, la velocidad de recorrido debe ajustarse de modo que el arco vaya un poco delante de la soldadura.

Al momento de iniciar el proceso de soldadura, el electrodo interactúa con el material base, punto en el cual, se tiene una velocidad de recorrido alta, misma que reduce el ancho de la franja de soldadura y aumenta la penetración. Más allá de ese punto el electrodo interactúa con el material fundido, produce un incremento en la velocidad de recorrido con una reducción de la penetración, y causa un deterioro de las superficies en la franja de soldadura, produciendo socavamiento en los bordes de la soldadura, dificultando la eliminación de escoria y atrapando gas (porosidad) en el metal de aporte.

Si la velocidad de recorrido es baja, la franja de soldadura será ancha y convexa, con poca penetración. La falta de penetración se debe a que el arco se queda en el charco de soldadura en lugar de adelantarse a él y concentrarse en el metal base.

La velocidad de recorrido también influye en el aporte de calor, y por tanto afecta la estructura metalúrgica del metal de soldadura y de la zona térmicamente afectada. Si la velocidad de recorrido es baja, se incrementa el aporte de calor y en consecuencia el ancho de la zona afectada térmicamente, reduciendo la rapidez de enfriamiento de la soldadura.

La velocidad de recorrido hacia delante necesariamente se reduce cuando se aplica una soldadura ondeante (movimiento zigzagueante del electrodo), en comparación con las velocidades que pueden lograrse aplicando una soldadura tipo cordón. Un aumento en la velocidad de recorrido reduce el tamaño de la zona afectada por el calor y eleva la rapidez de enfriamiento de la soldadura. Ver Fotografía 1.3.

El aumento en la tasa de enfriamiento puede elevar la resistencia mecánica y la dureza de una soldadura en un acero endurecible, a menos que se precaliente hasta un nivel tal que se evite el endurecimiento.

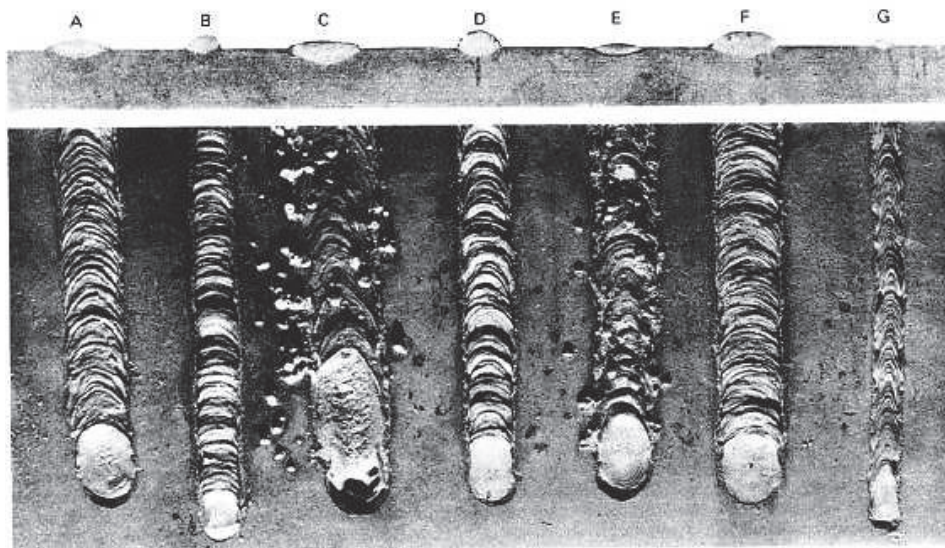


Figura 1. 3 Efectos del amperaje, (A) longitud del arco y la velocidad de recorrido al soldar, (A) amperaje, longitud de arco y velocidad de recorrido correctos; (B) amperaje demasiado bajo; (C) amperaje demasiado alto; (D) arco demasiado corto; (E) arco demasiado largo; (F) velocidad de recorrido demasiado lenta; (G) velocidad de recorrido excesiva.

Fuente: (AWS, 1996)

La influencia de la polaridad en la penetración se muestra en la Figura 1.4, en la que se puede comprobar que la mayor penetración se encuentra en la polaridad Inversa, electrodo conectado al polo positivo.

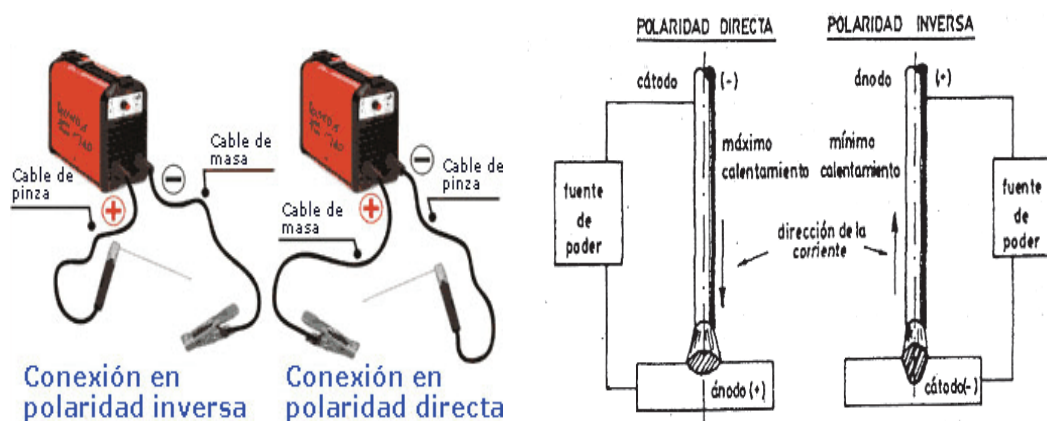


Figura 1. 4 Influencia de la polaridad en la penetración para electrodos.

Fuente: (Folleto de prácticas del laboratorio de soldadura, 2015)

1.1.3 ELECTRODOS

El electrodo revestido es una varilla metálica, (de acero al carbono) rodeada con una capa de material granulado, llamado revestimiento.

Según la naturaleza del material del revestimiento, se conocen industrialmente tres tipos fundamentales de electrodos revestidos:

1.1.3.1 Celulósico

Este tipo de electrodos tiene como recubrimiento material de celulosa, que al descomponerse genera mucho CO_2 (dióxido de carbono) y H_2 (hidrógeno), lo cual da una muy buena protección gaseosa. La característica distintiva de los electrodos celulósicos es su enfriamiento rápido, por tal motivo son utilizables en toda posición, aún en vertical descendente. Posee una buena penetración, la escoria producida es escasa y de fácil remoción.

Aplicaciones: La principal utilización de estos electrodos es en soldaduras de juntas para ductos (gasoductos, oleoductos, acueductos, etc.) en vertical descendente, también son empleados para ejecutar la soldadura de raíz (en juntas de penetración total) en todo tipo de tuberías.

1.1.3.2 Rutilico

El principal componente de los revestimientos es el óxido de titanio (TiO_2), rutilo, pudiendo contener hasta un 50 % (en peso). Es un electrodo de fácil encendido, mantenimiento y manejo del arco, y deja un aspecto muy parejo del cordón depositado. La escoria que produce es bastante densa de color opaco, más bien oscuro, y se desprende fácilmente, a tal punto, que a medida que el metal depositado se va enfriando, la capa de escoria comienza a separarse sola del cordón. La característica de este tipo de revestimiento hace que este electrodo sea de suave fusión y poca penetración. Permite realizar soldaduras en todas posiciones.

Aplicaciones: Estos electrodos son comúnmente empleados en trabajos de herrerías, carpintería metálica y en estructuras no sometidas a grandes esfuerzos y de poca o muy baja responsabilidad.

1.1.3.3 Básicos

En el recubrimiento de estos electrodos predomina la calcita y la fluorita. Contiene a su vez compuestos desoxidantes. Se los denomina también de bajo hidrógeno, dado que estando bien secos, los niveles de H_2 en la atmósfera del arco son sustancialmente bajos. Este es un aspecto de gran importancia, especialmente cuando se deben ejecutar soldaduras de aceros de media y alta aleación, en grandes espesores o juntas con condiciones severas de restricción, donde la presencia de hidrógeno en el metal depositado es sumamente perjudicial en lo que se refiere a posible fisuración por hidrógeno. La escoria es densa de color pardo oscuro y brillante y se adhiere con bastante fuerza al cordón depositado. En estos electrodos la generación de gases no es tan abundante como en el caso de los celulósicos, debiéndose emplear un arco muy corto y casi perpendicular al metal base para asegurar la protección del mismo.

Advertencia: El revestimiento básico absorbe humedad del medio ambiente con mucha facilidad por consiguiente, es muy importante que estos electrodos estén conservados en cajas herméticamente cerradas, depositadas en recintos climatizados, o en su defecto, colocados en hornos o termos porta electrodos con temperatura.

1.1.4 CLASIFICACIÓN AWS DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS DE BAJO CARBONO (AWS A5.1)

La sociedad Americana de soldadura (AMERICAN WELDING SOCIETY - AWS) ha codificado a los electrodos para el proceso SMAW como se indica en la Figura 1.5.

La mayor parte de los electrodos está diseñada para soldar en todas la posiciones. Sin embargo, los que contienen grandes cantidades de hierro en polvo u óxido de hierro en el recubrimiento generalmente están restringidos a soldaduras de ranura en la posición plana y a soldaduras de filete horizontales. El revestimiento de estos electrodos es muy grueso, lo que impide su uso en las posiciones, vertical y sobre cabeza.

1.1.5 FUNCIONES DE REVESTIMIENTO

- Proveer un gas para proteger el arco de los gases atmosféricos y evitar una contaminación excesiva del metal de aporte derretido.
- Suministrar limpiadores, desoxidantes y agentes fundentes para purificar la soldadura y evitar un crecimiento excesivo de los granos en el metal de soldadura.
- Establecer las características eléctricas del electrodo y estabilizar el arco de soldadura.
- Proporcionar un manto de escoria que protege el metal de soldadura caliente del aire y mejora las propiedades mecánicas.
- Constituir un medio para añadir elementos de aleación que modifiquen las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

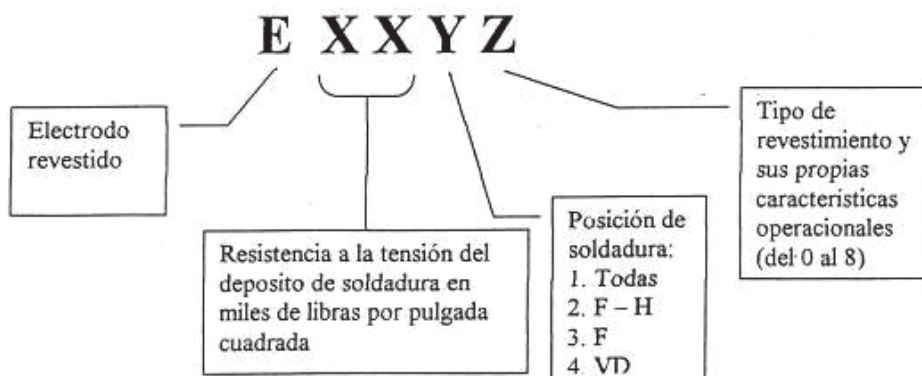


Figura 1. 5 Denominación de los electrodos según la AWS

Fuente: (AWS, 1996)

1.1.6 VENTAJAS Y LIMITACIONES

A continuación se muestran las ventajas y desventajas del proceso de soldadura SMAW.

1.1.6.1 Ventajas

- Se aplica para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- El equipo de soldadura es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio.
- No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Se aplica a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

1.1.6.2 Limitaciones

- Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1,5-2 mm.
- Es un proceso lento, por la baja tasa de aportación y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño, cinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el

titanio, circonio, tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.

- La tasa de aportación es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como GMAW, FCAW y SAW.
- Desperdicio de metal de aporte y tiempo, cuando se llega a la longitud de 50 mm (2 inch) el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.
- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1,5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores a 38 mm, para estos espesores resultan más adecuados los procesos SAW y FCAW.

1.1.7 APLICACIONES

- La soldadura por arco con electrodo revestido es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas, trabajos de mantenimiento y reparación, así como en construcciones en campo.
- El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidable, fundiciones y metales no féreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.
- Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas. estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gasoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar.
- Se puede emplear en combinación con otros procesos de soldadura.

1.2 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y PROTECCIÓN GASEOSA / GTAW

1.2.1 INTRODUCCIÓN LA SOLDADURA

La soldadura por arco de tungsteno y gas (*GAS TUNGSTEN ARC WELDING*, GTAW) es un proceso de soldadura que utiliza un arco que se genera entre un

electrodo de tungsteno (no consumible) y el charco de soldadura. El proceso se emplea con un gas protector y sin aplicación de presión. La adición de metal de aporte es opcional.

El proceso GTAW se ha vuelto una herramienta indispensable en muchas industrias en virtud de la alta calidad de las soldaduras producidas y del bajo costo del equipo.

El proceso ha recibido también los nombres de soldadura con electrodo no consumible y soldadura con tungsteno y gas inerte (TIG), pero la terminología de la AWS para este proceso es soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW) porque en algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectoras que no son inertes. Desde que se inventó el proceso, se han hecho numerosas mejoras a los procedimientos y al equipo. Se han creado fuentes de potencia de soldadura específicamente para el proceso. Algunas suministran potencia de CC a pulsos y CA de polaridad variable. Se inventaron sopletes enfriados por agua y enfriados por gas. El electrodo de tungsteno se ha aleado con cantidades pequeñas de elementos activos para aumentar su emisividad; con esto ha mejorado el encendido y la estabilidad del arco así como la durabilidad de los electrodos. Se han identificado mezclas de gases protectoras que mejoran el rendimiento de la soldadura.

1.2.2 EQUIPO BÁSICO PARA TIG Ó GTAW

El equipamiento básico necesario para ejecutar este tipo de soldadura está conformado por:

- Un equipo para soldadura por arco con sus cables respectivos.
- Provisión de un gas inerte, mediante un sistema de mangueras y reguladores de presión.
- Provisión de agua (solo para algunos tipos de sopletes).

- Soplete para soldadura TIG. Puede poseer un interruptor de control desde el cual se comanda el suministro de gas inerte, el de agua y el de energía eléctrica.

La Figura 1.6 muestra los elementos esenciales del proceso GTAW manual.

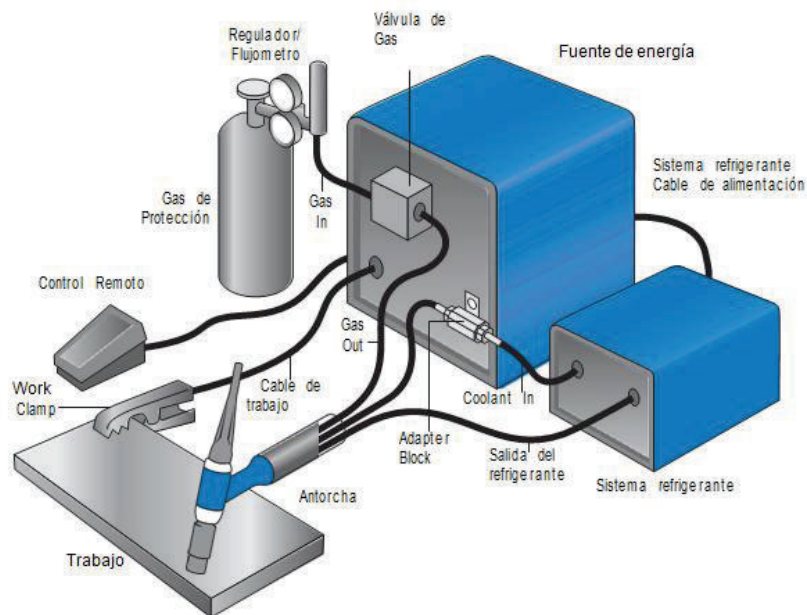


Figura 1.6 Fundamentos del proceso GTAW (refrigerado por agua).

Fuente: (MILLER, 2011)

1.2.3 VENTAJAS DEL PROCESO

Estas son alguna de las ventajas del proceso de arco de tungsteno y gas:

- Generalmente produce soldaduras de muy buena calidad
- Está libre de las salpicaduras que ocurren con otros
- Puede usarse con metal de aporte o sin él
- Ofrece un control excelente de la penetración
- Puede usar fuentes de potencia de costo relativamente bajo.

- Permite controlar de manera precisa las variables.
- Puede servir para soldar casi todos los metales, incluso las uniones de metales disímiles.
- Permite controlar en forma independiente la fuente de calor y las adiciones de metal de aporte.

1.2.4 LIMITACIONES DEL PROCESO

Algunas de las limitaciones del proceso de arco de tungsteno y gas son:

- Las tasas de aportación son más bajas que las que pueden alcanzarse con procesos de soldadura por arco con electrodo consumible.
- El soldador requiere un poco más de destreza y coordinación que con la soldadura por arco de metal y gas o la de arco de metal protegido cuando suelda manualmente.
- Para secciones de más de 10 mm. (3/8") de espesor, resulta menos económica que los procesos de soldadura por arco con electrodo consumible.
- Es difícil proteger debidamente la zona de soldadura en lugares donde hay corrientes de aire.

Entre los problemas potenciales del proceso están:

- Puede haber inclusiones de tungsteno si se permite que el electrodo haga contacto con el charco de soldadura.
- El metal de soldadura puede contaminarse si no se mantiene como es debido el escudo de gas protector alrededor del metal de aporte.
- No se tolera mucha contaminación de los metales base o de aporte.
- Puede haber contaminación o porosidad causadas por fugas del refrigerante en sopletes enfriados por agua.
- Puede haber golpe o desviación del arco, como en otros procesos.

1.2.5 VARIABLES DEL PROCESO

Las principales variables en el proceso GTAW son el voltaje del arco (longitud del arco), la corriente de soldadura, la velocidad de recorrido y el gas protector. La cantidad de energía producida por el arco es proporcional a la corriente y al voltaje.

La cantidad transferida por unidad de longitud de soldadura es inversamente proporcional a la velocidad de recorrido. El arco que forma el gas de helio es más penetrante que el de argón. Sin embargo, como todas estas variables tienen fuertes interacciones, es imposible tratarlas como variables independientes al establecer los procedimientos de soldadura para uniones específicas.

1.2.6 EQUIPO

El equipo para GTAW incluye sopletes, electrodos y fuentes de potencia. Los sistemas de GTAW mecanizada pueden incluir controles de voltaje del arco, osciladores del arco y alimentadores de alambre.

1.2.7 ELECTRODOS

En GTAW la palabra tungsteno se refiere al elemento tungsteno puro y a las diferentes aleaciones de tungsteno empleadas como electrodos. Los electrodos de tungsteno son no consumibles si el proceso se emplea como es debido, ya que no se derriten ni se transfieren a la soldadura. En otros procesos, como SMAW, GMAW y SAW, el electrodo es el metal de aporte. La función del electrodo de tungsteno es servir como una de las terminales eléctricas del arco que proporciona el calor necesario para soldar. El punto de fusión del tungsteno es 3410°C (6170°F), y cuando se acerca a esta temperatura se vuelve termiónico; es decir, es una fuente abundante de electrones. El electrodo alcanza esta temperatura gracias al calentamiento por resistencia y, de no ser por el considerable efecto de enfriamiento de los electrones que se desprenden de su punta, dicho calentamiento haría que se fundiera la punta. De hecho, la punta del

electrodo tiene una temperatura mucho menor que la parte que está entre la punta y el mandril con enfriamiento externo.

Los electrodos originalmente no poseen forma, pero puede obtenerse por mecanizado, desbaste o fundido. Las formas de las puntas de los electrodos pueden ser: en punta, media caña y bola. Tal como se observa en la Figura 1.7.

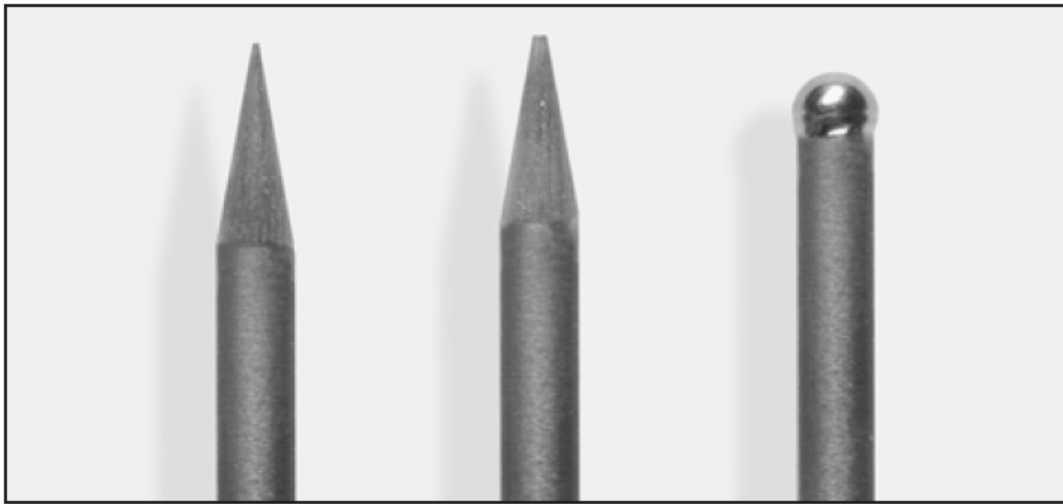


Figura 1. 7 Formas de las puntas de los electrodos, hay que tener presente que el diámetro de la bola nunca debe exceder de 1,5 veces el electrodo diámetro.

Fuente: (MILLER, 2011)

Electrodos con punta tipo aguja son generalmente preferidos para los metales muy delgados en el rango de 0,127 a 1,0 mm. (0,005 "a 0,040"), se los utiliza para aceros al carbono y aceros inoxidable. En otras aplicaciones, se prefiere un extremo tipo bola, este tipo de afilado se emplea en la soldadura metales como el aluminio, esto ayuda a la limpieza iónica. La Figura 1.8 muestra ejemplos de diversos arcos y perfiles de soldadura producidos cambiando el ángulo de la punta del electrodo.

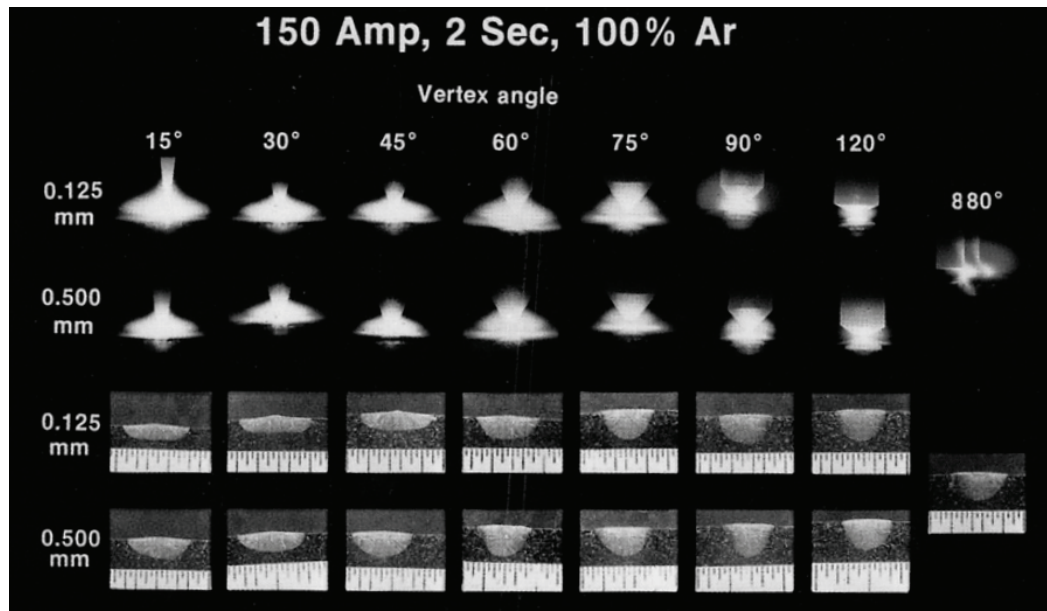


Figura 1. 8 Forma del arco y perfil de soldadura como una función del ángulo de la punta del electrodo.

Fuente: Imagen cortesía de la American Welding Society (AWS) Welding Handbook, 8th ed, Volumen 2, "Procesos de soldadura." Miami: American Welding Society.

1.2.8 CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Los electrodos de tungsteno se clasifican con base en su composición química, como se especifica en la Tabla 1.1. Los requisitos para los electrodos de tungsteno se dan en la edición más reciente de ANSY AWS A5.12. Especificación para electrodos de tungsteno y de aleación de tungsteno para soldadura y corte por arco. El sistema de identificación por código de color de las diversas clases de electrodos de tungsteno se muestra en la Tabla 1.1. y los valores de las copas para diferentes diámetros de electrodos y valores de amperaje se encuentra en la Tabla 1.2.

Tabla 1. 1 Código de color y elementos de aleación de diversas aleaciones para electrodo de tungsteno.

| Clasificación AWS | Color ^a | Elemento aleación | Óxido de aleación | Porcentaje en peso nominal del óxido de aleación |
|-------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|
| EWP | Verde | — | — | — |
| EWCe-2 | Anaranjado | Cerio | CeO ₂ | 2 |
| EWLa-1 | Negro | Lantano | La ₂ O ₃ | 1 |
| EWTh-1 | Amarillo | Torio | ThO ₂ | 1 |
| EWTh-2 | Rojo | Torio | ThO ₂ | 2 |
| EWZr-1 | Marrón | Zirconio | ZrO ₂ | .25 |
| EWG | Gris | No se especifica ^b | — | — |

a. El color puede aplicarse en forma de bandas, puntos, etc. en cualquier punto de la superficie del electrodo.

b. El fabricante debe identificar el tipo y el contenido nominal de la adición de óxido de tierra rara.

Fuente: (AWS, 1996)

Tabla 1.2 Electrodo de Tungsteno y copas recomendadas para diversos tipos de corriente.

| Electrodos de tungsteno y copas de gas recomendados ^a para diversas corrientes de soldadura | | | | | | |
|--|------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Diámetro del electrodo | | Diám. int. copa de gas | Corriente continua, A | | Corriente alterna, A | |
| | | | Polaridad directa ^b | Polaridad inversa ^b | Onda no balanceada ^c | Onda balanceada ^c |
| pulg | mm | pulg | CCEN | CCEP | | |
| 0.010 | 0.25 | 1/4 | hasta 15 | | hasta 15 | hasta 15 |
| 0.020 | 0.50 | 1/4 | 5-20 | | 5-15 | 10-20 |
| 0.040 | 1.00 | 3/8 | 15-80 | | 10-60 | 20-30 |
| 1/16 | 1.6 | 3/8 | 70-150 | 10-20 | 50-100 | 30-80 |
| 3/32 | 2.4 | 1/2 | 150-250 | 15-30 | 100-160 | 60-130 |
| 1/8 | 3.2 | 1/2 | 250-400 | 25-40 | 150-210 | 100-180 |
| 5/32 | 4.0 | 1/2 | 400-500 | 40-55 | 200-275 | 160-240 |
| 3/16 | 4.8 | 5/8 | 500-750 | 55-80 | 250-350 | 190-300 |
| 1/4 | 6.4 | 3/4 | 750-1100 | 80-125 | 325-450 | 325-450 |

a. Todos los valores se basan en el empleo de argón como gas protector.

b. Usar electrodos EWTh-2.

c. Usar electrodos EWP.

Fuente: (AWS, 1996)

1.2.9 POLARIDAD DE LOS ELECTRODOS

La selección del tipo de corriente y polaridad para soldar depende del material base, del espesor del material a soldar y la velocidad de depósito, como se verá más adelante.

1.2.9.1 Corriente directa (DC)

Si se usa corriente directa, el electrodo de tungsteno puede conectarse ya sea a la terminal negativa o a la positiva de la fuente de potencia. En casi todos los casos, se escoge que el electrodo sea negativo (cátodo). Con esta polaridad, los electrones fluyen del electrodo a la pieza de trabajo y los iones positivos se transfieren del material base (trabajo) al electrodo, como se muestra para CCEN (polaridad directa) en la Figura 1.9. Cuando el electrodo es positivo (ánodo), las direcciones de flujo de los electrones y los iones positivos se invierten, como se muestra para CCEP (Polaridad inversa) en la Figura 1.9.

Con CCEN y un electrodo termoiónico como el de tungsteno, aproximadamente el 70% del calor se genera en el ánodo y el 30% en el cátodo. Puesto que CCEN produce la mayor parte del calor en la pieza de trabajo para una corriente de soldadura dada, esta polaridad produce mayor penetración de la soldadura que CCEP. CCEN es la configuración más común empleada en GTAW, y se usa con argón, helio o una mezcla de los dos para soldar la mayor parte de los metales.

Cuando el electrodo de tungsteno se conecta a la terminal positiva (CCEP), se crea una acción de limpieza catódica en la superficie de la pieza de trabajo. Esta acción ocurre con todos los metales, pero es más importante cuando se suelda aluminio o magnesio porque elimina la película de óxido refractario que inhibe la humectación del elemento de soldado por parte del metal de soldadura.

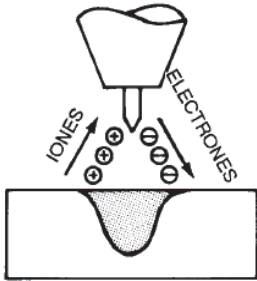
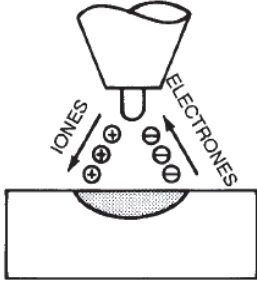
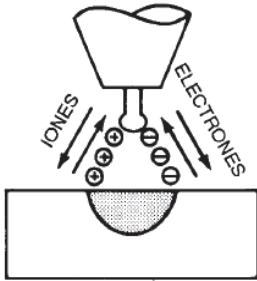
| POLARIDAD DEL ELECTRODO | NEGATIVA | POSITIVA | |
|--|---|--|---|
| FLUJO DE ELECTRONES E IONES |  |  |  |
| CARACTERÍSTICAS DE PENETRACIÓN | | | |
| ACCIÓN LIMPIADORA DE ÓXIDOS | NO | SI | SÍ, UNA VEZ CADA MEDIO CICLO |
| BALANCE CALORÍFICO EN EL ARCO (APROX.) | 70% EN EL EXTREMO DEL TRABAJO 30% EN EL EXTREMO DEL ELECTRODO | 30% EN EL EXTREMO DEL TRABAJO 70% EN EL EXTREMO DEL ELECTRODO | 50% EN EL EXTREMO DEL TRABAJO 50% EN EL EXTREMO DEL ELECTRODO |
| PENETRACIÓN | PROFUNDA; ANGOSTA | SOMERA; ANCHA | MEDIANA |
| CAPACIDAD DEL ELECTRODO | EXCELENTE p. ej. 3.2 mm (1/8 pulg) 400 A | DEFICIENTE p. ej. 6.4 mm (1/4 pulg) 120 A | BUENA p. ej. 3.2 mm (1/8 pulg) 225 A |

Figura 1.9 Características de los tipos de corriente para soldadura por arco de tungsteno y gas.

Fuente: (AWS, 1996)

A diferencia de CCEN, donde la punta del electrodo se enfría por la evaporación de los electrones, cuando el electrodo se usa como polo positivo su punta se calienta por el bombardeo de electrones además por la resistencia que opone a su paso por el electrodo. Por tanto, cuando se usa polaridad inversa se requiere un electrodo de diámetro más grande para una corriente de soldadura dada, a fin de reducir el calentamiento por resistencia e incrementar la conducción térmica hacia el mandril del electrodo. La capacidad de transporte de corriente de un electrodo conectado a la terminal positiva es aproximadamente la décima parte de la de un electrodo conectado a la terminal negativa. En general, el uso de CCEP está limitado a la soldadura de piezas de lámina.

1.2.9.2 Soldadura con corriente continua (CC) a pulsos

En la CC a pulsos la corriente del arco varía en forma repetitiva desde un valor de fondo (bajo) hasta un valor pico (alto). Las fuentes de potencia de cc a pulsos por lo regular permiten ajustar la duración del pulso de corriente, el tiempo de la corriente de fondo, el nivel de la corriente pico y el nivel de la corriente de fondo, a fin de producir una salida con forma de onda adaptada a una aplicación en particular. En la Figura 1.10 se muestra una forma de onda de corriente a pulsos típica. En general, los tiempos de duración del pulso y del fondo se ajustan de modo que la corriente cambie de nivel a intervalos que van desde una vez cada dos segundos hasta 20 pulsos por segundo. La corriente a pulsos por lo regular se aplica con el electrodo negativo (CCEN).

En la soldadura con CC a pulsos, el nivel de corriente del pulso suele ajustarse entre 2 y 20 veces el nivel de corriente fondo. Esto combina las características de arco vigoroso de la corriente elevada con el aporte de calor bajo de la corriente reducida. La corriente de pulsos logra buena fusión y penetración, en tanto que la corriente de fondo mantiene el arco y permite que se enfríe el área de soldadura.

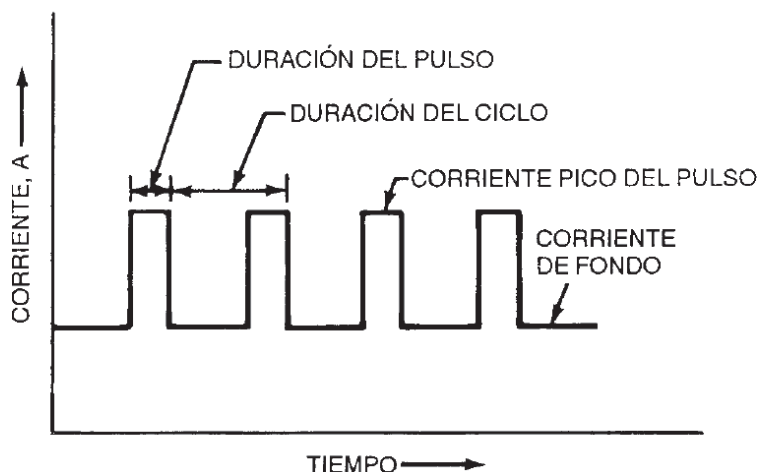


Figura 1. 10 Forma de onda de cc a pulsos.

Fuente: (AWS, 1996)

La corriente a pulsos tiene varias ventajas. Para un nivel de corriente medio, es posible obtener mayor penetración que con una corriente estable, cosa que resulta útil con metales sensibles al aporte de calor, además de que minimiza la distorsión. Como no hay suficiente tiempo para que fluya una cantidad significativa de calor durante el tiempo de pulso tan corto, los metales con espesores disímiles por lo regular tienen la misma respuesta y es posible lograr una penetración uniforme. Por lo mismo, es posible soldar metales muy delgados con CC a pulsos.

Además, es posible usar el mismo conjunto de variables de soldadura para uniones en todas las posiciones, como en la soldadura circunferencial de tubos horizontales. La CC a pulsos también resulta útil para salvar brechas en uniones de raíz abierta.

Aunque se usa principalmente para GTAW mecanizada y automática, el pulsado ofrece ventajas para la soldadura manual. Los soldadores con poca experiencia pronto se dan cuenta de que pueden mejorar su habilidad si cuentan los pulsos (de 1/2 a 2 pulsos por segundo) y los usan para regular el movimiento del soplete y del alambre frío. Los soldadores experimentados pueden soldar materiales más delgados, aleaciones disímiles y espesores disímiles con menos dificultad.

1.2.9.3 Soldadura a pulsos de alta frecuencia

La CC conmutada de alta frecuencia implica la aplicación de corriente continua que se conmuta desde un nivel bajo hasta otro alto con una frecuencia fija rápida de aproximadamente 20 kHz.

El tiempo de “encendido” de la corriente pico se varía a fin de cambiar el nivel de corriente medio. El efecto de la conmutación de alta frecuencia es producir un arco “rígido”. La presión del arco es una medida de su rigidez. Conforme la frecuencia de conmutación se acerca a 10 KHz, la presión del arco se incrementa hasta casi cuatro veces la presión de un arco de cc estable. Al aumentar la presión del arco, se reduce su desplazamiento lateral, como el producido por

campos magnéticos (golpe del arco) o por movimiento del gas protector (viento del arco).

La cc conmutada de alta frecuencia es útil en aplicaciones de precisión mecanizadas y automáticas en las que se requiere un arco con propiedades direccionales y estabilidad excepcionales. También se emplea cuando se necesita un arco estable con niveles de corriente media muy bajos. La desventaja de la cc conmutada de alta frecuencia es que las fuentes de potencia para soldadura son costosas. Además, si la frecuencia de conmutación está en el intervalo audible, el sonido del arco puede ser muy molesto.

1.2.9.4 Corriente alterna

La corriente alterna experimenta una inversión periódica de su polaridad, de electrodo positivo a electrodo negativo. Por tanto, la corriente alterna puede combinar la acción limpiadora del trabajo de la polaridad inversa (electrodo positivo) con la penetración profunda característica de la polaridad directa (electrodo negativo).

Las fuentes de potencia de **ca** para soldaduras convencionales producen una salida de voltaje de circuito abierto senoidal que está desfasada cerca de 90° con la corriente. La frecuencia de inversión del voltaje suele estar fijo a la frecuencia estándar de 60 Hz de la potencia primaria. El voltaje de arco real está en fase con la corriente de soldadura. El voltaje que se mide es la suma de las caídas de voltaje en el electrodo y el plasma y entre ánodo y cátodo; todas éstas son resultado del flujo de la corriente.

Cuando la corriente cae a cero, se presentan diferentes efectos, dependiendo de la polaridad. Si el electrodo de tungsteno termoiónico se vuelve negativo, proporciona de inmediato electrones para volver a encender el arco. En cambio, cuando el charco de soldadura se vuelve negativo, no podrá suministrar electrones a menos que el voltaje se eleve lo suficiente para iniciar una emisión de cátodo frío. Sin este voltaje, el arco se vuelve inestable, como se muestra en la Figura 1.11 (A).

Si se usan fuentes de potencia sinusoidal convencionales, se requiere algún mecanismo para estabilizar el arco durante la inversión del voltaje. Esto se ha hecho empleando fuentes con voltaje de circuito abierto elevado, descargando condensadores en el momento apropiado durante el ciclo, empleando chispas de alto voltaje y alta frecuencia en paralelo con el arco y utilizando fuentes de potencia con salida de onda cuadrada. Los resultados de semejante estabilización se muestran en la Figura 1.11 (B).

El voltaje de circuito abierto del transformador puede incrementarse a fin de mejorar la estabilidad del arco. Si se usa helio como gas protector, se requiere un voltaje de circuito abierto de cerca de 100 V. También puede obtenerse el voltaje necesario añadiendo una fuente de voltaje de alta frecuencia en serie con el transformador. El voltaje de alta frecuencia suele ser del orden de varios miles de voltios, y su frecuencia puede ascender a varios mega Hertz. El voltaje de alta frecuencia puede aplicarse continuamente o en forma periódica durante la soldadura. En el segundo caso, se hace que cuando la corriente pasa por cero se produce una ráfaga de alto voltaje.

Las fuentes de potencia para soldadura de onda cuadrada pueden cambiar la dirección de la corriente en un lapso muy corto. La presencia de alto voltaje, aunada a una temperatura elevada del electrodo y del metal base en el momento de invertirse la corriente, permite que el arco se vuelva a encender sin necesidad de un estabilizador de corriente.

Puesto que es más fácil proporcionar los electrones necesarios para sostener un arco cuando el electrodo es negativo, el voltaje requerido también es menor. El resultado es una corriente de soldadura más alta durante el intervalo de CCEN que durante CCEP.

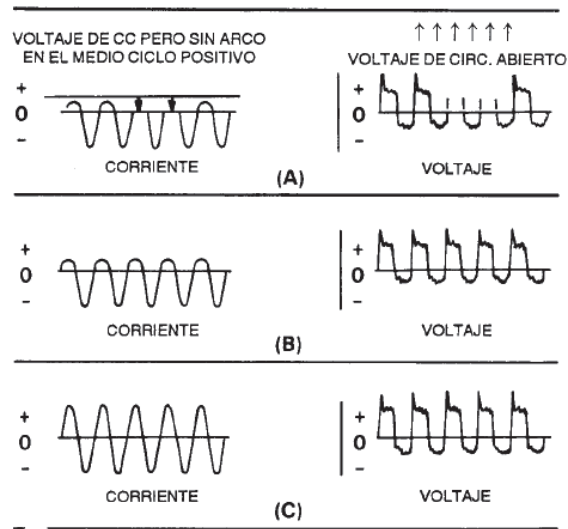


Figura 1. 11 Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con **ca**: (A) Rectificación parcial y completa; (B) con estabilización del arco; (C) con balanceo de corriente.

Fuente: (AWS, 1996)

Las primeras fuentes de potencia de corriente balanceada empleaban condensadores conectados en serie o bien una fuente de voltaje de cc (como una batería) en el circuito de soldadura. Los circuitos de fuente de potencia modernos utilizan balanceo electrónico de la onda. El flujo de corriente balanceado no es indispensable para la mayor parte de las operaciones de soldadura manual, pero sí es deseable para la soldadura mecanizada o automática a alta velocidad. Las ventajas del flujo de corriente balanceado son las siguientes:

- Completa eliminación de óxidos.
- Soldadura más uniforme y de mayor calidad.
- No se requiere reducir la especificación de salida de un tamaño dado de transformador para soldadura convencional (se minimiza la magnetización de núcleo no balanceada producida por el componente de cc de un flujo de corriente no balanceado).

Las que siguen son desventajas del flujo de corriente balanceado:

- Se requieren electrodos de tungsteno más grandes.

- Los voltajes de circuito abierto más elevados que generalmente se asocian a los mecanismos de balanceo de la onda pueden representar un problema de seguridad.
- Las fuentes de potencia para soldadura de onda balanceada son más costosas.
- Algunas fuentes de potencia de ca de onda cuadrada ajustan el nivel de la corriente durante los ciclos de electrodo positivo y electrodo negativo a la frecuencia estándar de 60 Hz. Las fuentes de mayor costo ajustan el tiempo de cada medio ciclo de polaridad además del nivel de la corriente durante ese medio ciclo.

Estas formas de onda variables ajustan la corriente de soldadura adaptándola a una aplicación en particular. Las características de la corriente alterna de onda cuadrada variable se muestran en la Figura 1.12. y los controles de avance de la onda cuadrada se indican en la Figura 1.13.

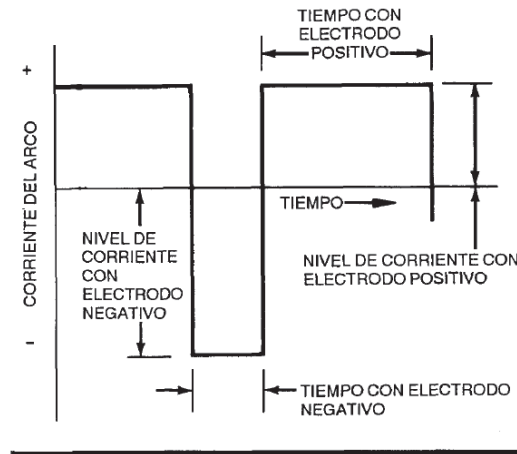


Figura 1. 12 Características de la ca de onda cuadrada variable.

Fuente: (AWS, 1996)

Control del avance de la onda cuadrada en una Fuente de Energía

| Características | Forma de la Onda | Efecto en el cordón | Efecto Presentación |
|---|----------------------------|--|--|
| Control del Balance AC Limpieza iónica controlada por el arco. El ajuste del % EN de la onda AC, controla el ancho de la zona atacada químicamente que rodea a la soldadura | 51 – 99% EN | Reducción del redondeado de la punta del electrodo ayuda a mantener el punto de arco Penetración profunda, angosta | Cordón angosto, limpieza no visible Limpieza no visible |
| | 30 – 50% EN | El incremento del redondeado de la punta del electrodo ayuda a la limpieza iónica Penetración menos profunda | Cordón ancho y acción de limpieza Limpieza |
| Control de Frecuencia AC Controla el ancho del cono de arco. El aumento de la frecuencia de AC proporciona un arco más enfocado con un mayor control de la dirección. | 60 Ciclos por Segundo | Cordón ancho, buena penetración - ideal para el trabajo de construcción Penetración profunda | Cordón ancho y acción de limpieza Limpieza |
| | 120 Ciclos por Segundo | Cordón angosto para soldaduras de filete y aplicaciones automatizadas Penetración profunda | Cordón angosto, limpieza no visible Limpieza |
| Control de de Amperaje AC Independiente Permite a los valores de amperaje EN y EP que se establezcan de forma independiente. Ajusta la relación de la EN a EP para controlar con precisión la entrada de calor al trabajo y el electrodo. | | Más corriente en EN que en EP: Penetración más profunda y velocidades de desplazamiento más rápidas Penetración más profunda | Cordón angosto, limpieza no visible Limpieza no visible |
| | | Mas corriente en EP que en EN: Penetración menos profunda Penetración menos profunda | Cordón ancho y acción de limpieza Limpieza |

Figura 1. 13 Control del avance de la onda cuadrada en una fuente de energía.

Fuente: (MILLER, 2011)

1.2.10 TIPOS DE GASES PROTECTORES

El argón y el helio, o las mezclas de estos dos, son los tipos más comunes de gases inertes empleados como escudo. En aplicaciones especiales se usan mezclas de argón e hidrógeno.

Dependiendo del volumen utilizado, estos gases pueden suministrarse en cilindros o como líquidos en tanques aislados. El líquido se vaporiza y envía mediante tuberías a distintos puntos de la planta, con lo que se elimina el manejo de cilindros.

El argón (Ar) es un gas monoatómico inerte con peso molecular de 40 gr/mol. Se obtiene de la atmósfera por separación del aire licuado.

1.2.10.1 Características del Argón

El argón de grado soldadura se refina hasta una pureza mínima del 99.95%. Esto es aceptable para soldar con GTAW la mayor parte de los metales excepto los reactivos y refractarios, para los cuales se requiere una pureza mínima del 99.997%. En muchos casos, estos metales se procesan en cámaras de las que se ha purgado todo el aire antes de iniciarse la operación de soldadura.

El argón se utiliza más ampliamente que el helio porque tiene las siguientes ventajas:

- Acción de arco más uniforme y silencioso.
- Menor penetración.
- Acción de limpieza al soldar materiales como el aluminio
- Menor costo y mayor disponibilidad.
- Buena protección con tasas de flujo más bajas.
- Mayor resistencia a ráfagas transversales.
- Más fácil iniciación del arco.

La menor penetración de un arco escudado con argón resulta especialmente útil al soldar a mano materiales delgados, ya que se reduce la tendencia a una perforación excesiva. Esta misma característica representa una ventaja en la soldadura vertical o cenital porque se reduce la tendencia del metal base a pandearse o escurrir

1.2.10.2 Características del Helio

El helio (He) es un gas monoatómico inerte muy ligero, con peso atómico de 4 gr/mol Se obtiene por separación a partir del gas natural. El helio de grado soldadura se refina hasta una pureza de por lo menos el 99.99%.

Con valores fijos de corriente de soldadura y longitud del arco, el helio transfiere más calor al trabajo que el argón. El mayor poder de calefacción del arco de helio puede ser ventajoso al soldar metales con elevada conductividad térmica y en aplicaciones mecanizadas de alta velocidad. Además, el helio se usa con mayor frecuencia que el argón para soldar placas gruesas.

Las mezclas de helio y argón son útiles cuando se desea un término medio entre las características de ambos gases.

1.2.10.3 Características del argón y el helio

El factor principal que influye en la efectividad de la protección es la densidad del gas. El argón es aproximadamente una y un tercio de veces más denso que el aire y diez veces más denso que el helio. El argón, después de salir por la boquilla del soplete, forma un manto sobre el área de soldadura. El helio, como es más ligero, tiende a elevarse alrededor de la boquilla. Trabajos experimentales han demostrado consistentemente que, para lograr una efectividad de protección equivalente, el flujo de helio debe ser de dos a tres veces el flujo del argón. La misma relación general se cumple para las mezclas de argón y helio, sobre todo las de alto contenido de helio.

Las características importantes de estos gases son las relaciones voltaje-corriente del arco de tungsteno en argón y en helio que se ilustran en la Figura 1.14. En todos los niveles de corriente, cuyos arcos eléctricos poseen una longitud equivalente, el voltaje de arco que se obtiene con helio es bastante mayor que con argón. Puesto que el calor del arco se mide aproximadamente según el producto de la corriente y el voltaje (potencia de arco), el helio ofrece más calor disponible que el argón. Esto hace que se le prefiera para soldar materiales gruesos y metales con elevada conductividad térmica o punto de fusión relativamente alto.

Puesto que el socavamiento con cualquiera de estos gases ocurre más o menos con la misma corriente, el helio producirá soldaduras satisfactorias a velocidades mucho más altas. La otra característica influyente es la de estabilidad del arco.

Ambos gases ofrecen una estabilidad excelente con potencia de corriente continua. Con potencia de corriente alterna, que se usa mucho para soldar aluminio y magnesio, el argón produce un arco mucho más estable y la acción de limpieza que tanto se desea, lo que lo hace muy superior al helio en este aspecto.

Mezclas de argón e hidrógeno. Las mezclas argón-hidrógeno se emplean en casos especiales, como la soldadura mecanizada de tubos de acero inoxidable de calibre delgado, en los que el hidrógeno no tiene efectos metalúrgicos adversos como la porosidad y el agrietamiento inducido por hidrógeno. Es posible aumentar la velocidad de soldadura máxima en proporción casi directa a la cantidad de hidrógeno añadida al argón, en virtud del aumento en el voltaje del arco. Sin embargo, la cantidad de hidrógeno que puede agregarse varía con el espesor del metal y el tipo de unión para cada aplicación específica. Un exceso de hidrógeno causará porosidad. Se han usado concentraciones de hidrógeno de hasta 35% con acero inoxidable de todos los espesores cuando se usa una abertura de raíz de aproximadamente 0.25 a 0.5 mm (0.010 a 0.020 pulg). Las mezclas de argón-hidrógeno sólo pueden usarse con acero inoxidable, níquel-cobre y aleaciones con base de níquel.

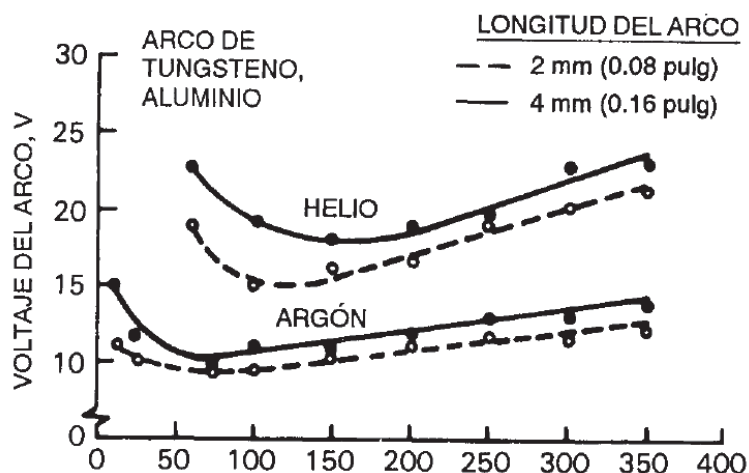


Figura 1. 14 Relación voltaje-corriente con escudos de helio y argón.

Fuente: (MILLER, 2011)

La mezcla de argón-hidrógeno de uso más común contiene 15 % de hidrógeno y se usa para soldar mecánicamente uniones a tope estrechas en acero inoxidable de hasta 1.6 mm (0.062 pulg) de espesor a velocidades comparables con las que son posibles con helio (50% más rápido que con argón). También se usa para soldar barriles de cerveza de acero inoxidable, y uniones entre tubos y láminas de tubos en diversos aceros inoxidables y aleaciones de níquel. Para la soldadura manual en ocasiones se prefiere un contenido de hidrógeno del 5% para obtener soldaduras más limpias.

No hay una regla fija para escoger el gas protector para una aplicación en particular. En la mayor parte de las aplicaciones puede usarse con éxito argón, helio o una mezcla de argón y helio, con la posible excepción de la soldadura manual de materiales muy delgados, donde el argón es indispensable. En general, el argón produce un arco que opera de manera más uniforme y silenciosa, se maneja con mayor facilidad y es menos penetrante que un arco escudado con helio.

Por añadidura, el menor costo unitario y los requisitos de tasa de flujo más bajos del argón hacen a este gas preferible desde el punto de vista económico. El argón

se prefiere en casi todas las aplicaciones, excepto aquellas en las que se requiere la mayor penetración calorífica del helio para soldar secciones gruesas de metales con elevada conductividad térmica, como el aluminio y el cobre. En la Tabla 1.3 se da una guía para seleccionar los gases.

Tabla 1. 3 Tipos de corriente, electrodos de tungsteno y gases protectores recomendados para soldar diferentes metales.

| Tipo de metal | Espesor | Tipo de corriente | Electrodo* | Gas protector |
|--|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|
| Aluminio | Todos | Corriente alterna | Puro o con zirconio | Argón o argón-helio |
| | Más de 1/8 pulg | CCEN | Toriado | Argón-helio o argón |
| | Menos de 1/8 pulg | CCEP | Toriado o con zirconio | Argón |
| Cobre, aleaciones de cobre | Todos | CCEN | Toriado | Helio |
| | Menos de 1/8 pulg | Corriente alterna | Puro o con zirconio | Argón |
| Aleaciones de magnesio | Todos | Corriente alterna | Puro o con zirconio | Argón |
| | Menos de 1/8 pulg | CCEP | Con zirconio o con torio | Argón |
| Níquel, aleaciones de níquel | Todos | CCEN | Con torio | Argón |
| Aceros al carbono ordinarios, de baja aleación | Todos | CCEN | Con torio | Argón o argón-helio |
| | Menos de 1/8 pulg | Corriente alterna | Puro o con zirconio | Argón |
| Acero inoxidable | Todos | CCEN | Con torio | Argón o argón-helio |
| | Menos de 1/8 pulg | Corriente alterna | Puro o zirconiado | Argón |
| Titanio | Todos | CCEN | Toriado | Argón |

* En los casos en que se recomiendan electrodos con torio también pueden usarse electrodos con cerio o con lantano.

Fuente: (AWS, 1996)

1.2.11 METALES DE APORTE

Se dispone de metales de aporte para unir una amplia variedad de metales y aleaciones mediante soldadura por arco de tungsteno y gas. Si se usa metal de aporte, debe ser similar, aunque no necesariamente idéntico, al metal que se va a unir. Al unir metales disímiles, el metal de aporte será diferente de uno de los metales base, o de ambos.

En general, la composición de metal de aporte se ajusta tratando de igualar las propiedades del metal base en su condición soldada (colada). Estos metales de aporte se producen con un mayor control sobre su química, pureza y calidad que los metales base. Es frecuente que se les añadan desoxidantes para garantizar la

integridad de la soldadura. Algunas composiciones de metales de aporte se ajustan para mejorar la respuesta al tratamiento térmico posterior.

La elección del metal de aporte para cualquier aplicación es un término medio en cuanto a los aspectos de compatibilidad metalúrgica, idoneidad para el servicio propuesto y costo. También es preciso considerar las propiedades de resistencia a la tensión, el impacto, la corrosión, y de conductividad térmica o eléctrica que se requieren en un ensamble soldado en particular.

El metal de aporte debe adecuarse tanto a la aleación que se va a soldar como al servicio al que se le piensa destinar. En la Tabla 1.4 se dan las especificaciones de la AWS para metales de aporte aplicables a la soldadura por arco de tungsteno y gas. Las especificaciones establecen clasificaciones de los metales de aporte con base en las propiedades mecánicas o en las composiciones químicas, o en ambas cosas, de cada metal de aporte. También indican las condiciones en las que deben probarse los metales de aporte.

Los apéndices de las especificaciones ofrecen antecedentes útiles sobre las propiedades y usos de los metales de aporte dentro de las diferentes clasificaciones. Los catálogos de los fabricantes proporcionan información práctica sobre el uso de sus productos. En la última edición de Filler Metal Comparison Charts de la AWS se presentan listas de marcas y direcciones de proveedores de metales de aporte.

Los metales de aporte para GTAW están disponibles, para la mayor parte de las aleaciones, en forma de tramos rectos (varillas), por lo regular de 1 m (36 pulg) de largo, para soldadura manual, y en forma de alambre continuo en carretes o rollos para soldadura mecanizada o automática. Los diámetros van desde 0.5 mm (0.020 pulg) para trabajo fino y delicado hasta unos 5 mm (3/16 pulg) para soldadura o recubrimiento manual con corriente elevada.

Tabla 1. 4 Especificaciones de la AWS de metales de aporte apropiados para soldadura por arco de tungsteno y gas

| Número de especificación | Título |
|--------------------------|---|
| A 5.2 | Varillas de hierro y acero para soldadura con gas |
| A 5.7 | Varillas y electrodos para soldadura desnudos de cobre y aleaciones de cobre |
| A 5.9 | Varillas y electrodos para soldadura por arco de acero al cromo y al cromo níquel, resistentes a la corrosión, desnudos y compuestos con núcleo de metal, y trenzados |
| A 5.10 | Varillas y electrodos desnudos para soldadura de aluminio y aleaciones de aluminio |
| A 5.13 | Varillas y electrodos de soldadura para recubrimiento |
| A 5.14 | Varillas y electrodos para soldadura desnudos de níquel y aleaciones de níquel |
| A 5.16 | Varillas y electrodos para soldadura desnudos de titanio y aleaciones de titanio |
| A 5.18 | Electrodos de acero dulce para soldadura por arco de metal y gas |
| A 5.19 | Varillas y electrodos desnudos para soldadura de aleaciones de magnesio |
| A 5.24 | Varillas y electrodos para soldadura desnudos de zirconio y aleaciones de zirconio |

Fuente: (AWS, 1996)

Se debe tener cuidado especial para mantener los metales de aporte limpios y libres de toda contaminación mientras están almacenados, y también al usarlos. El extremo caliente del alambre o varilla no debe salir del área protegida por el escudo de gas inerte durante la operación de soldadura.

El metal de aporte puede añadirse en forma de inserciones consumibles para las soldaduras de pasada de raíz en ciertas aplicaciones de tubería y placas. Entre las ventajas de este procedimiento están las tolerancias de embonamiento más amplias, menores niveles de habilidad y experiencia de los operadores, fusión de la franja de soldadura más consistente y franjas inferiores más lisas y uniformes.

1.2.12 CALIDAD DE LA SOLDADURA

Se entiende por control de calidad de la soldadura a las diferentes acciones llevadas a cabo tanto por el soldador como por el fabricante para garantizar la calidad en una junta soldada. La calidad va relacionada con la disminución o eliminación de discontinuidades.

Existen varios procesos para inspeccionar las uniones y piezas soldadas, muchos de ellos hacen parte del grupo conocido como “ensayos no destructivos”, métodos que, sin dañar la pieza evaluada, posibilitan la detección de discontinuidades y

aportan información precisa sobre el estado y la calidad de los cordones de soldadura.

1.2.12.1 Discontinuidades y defectos

Las discontinuidades son interrupciones en la estructura típica de un ensamble soldado, y pueden ocurrir en el metal base, en el metal de soldadura o en las zonas térmicamente afectadas.

Las discontinuidades que no satisfacen los requisitos del código o especificación de fabricación de una aplicación se clasifican como defectos, y su eliminación es necesaria porque podrían perjudicar el rendimiento del ensamble soldado en servicio.

1.2.12.2 Problemas y correcciones de discontinuidades

Una discontinuidad que se presenta sólo en las soldaduras hechas con arco de tungsteno y gas son las inclusiones de tungsteno. Es posible que se incrusten en una soldadura partículas de tungsteno del electrodo cuando se emplean procedimientos incorrectos con el proceso GTAW. Las causas más comunes son las siguientes:

- Contacto de la punta del electrodo con el charco de soldadura.
- Contacto del metal de aporte con la punta caliente del electrodo.
- Contaminación de la punta del electrodo por salpicaduras del charco de soldadura.
- Empleo de corriente por encima del límite para un tamaño o tipo de electrodo dado.
- Extensión del electrodo del mandril más allá de su distancia normal (como cuando se usan boquillas largas), lo que causa sobrecalentamiento del electrodo.
- Apretado incorrecto del mandril portaelectrodo.

- Tasa de flujo de gas protector insuficiente o corrientes de aire excesivas, con la consiguiente oxidación de la punta del electrodo.
- Defectos como hendiduras o grietas en el electrodo.
- Empleo de gases protectores indebidos, como mezclas argón-oxígeno o argón CO, que se usan para soldadura por arco de metal y gas.
- Los pasos para corregir este problema son obvios una vez que se reconoce la causa y se capacita debidamente al soldador.

Falta de protección

Las discontinuidades relacionadas con la pérdida del escudo de gas inerte son las inclusiones de tungsteno previamente descritas, porosidad, películas e inclusiones de óxido, fusión incompleta y agrietamiento. El grado en que éstas ocurren está muy relacionado con las características del metal que se suelda.

Además, las propiedades mecánicas del titanio, aluminio, níquel y aleaciones de acero de alta resistencia pueden sufrir un menoscabo importante si se pierde la protección por gas inerte. En muchos casos, la efectividad de la protección por gas puede evaluarse antes de la soldadura de producción realizando una soldadura de punto y continuando el flujo de gas hasta que la soldadura se haya enfriado. Si el escudo fue efectivo, el punto tendrá aspecto plateado brillante.

Problemas de soldadura y sus remedios

Son muchos los problemas que pueden surgir durante la preparación o realización de una operación de GTAW. Su solución requerirá una cuidadosa evaluación del material, la fijación, el equipo de soldadura y los procedimientos. En la Tabla 1.5 se presentan algunos problemas que pueden presentarse y sus posibles remedios.

Tabla 1. 5 Guía de localización de problemas para soldadura por arco de tungsteno y gas.

| Problema | Causa | Remedio |
|--|--|---|
| Consumo excesivo del electrodo | <ol style="list-style-type: none"> 1. Flujo de gas insuficiente. 2. Operación con polaridad inversa. 3. Electrodo del tamaño incorrecto para la corriente requerida. 4. Calentamiento excesivo del portaelectrodos. 5. Electrodo contaminado. 6. Oxidación del electrodo durante el enfriamiento. 7. Empleo de gas que contiene oxígeno o CO₂. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el flujo de gas. 2. Usar electrodo más grande o cambiar a polaridad directa. 3. Usar electrodo más grande. 4. Verificar que el mandril haga buen contacto. 5. Eliminar la porción contaminada. Los resultados seguirán siendo irregulares mientras haya contaminación. 6. Mantener el flujo de gas durante por lo menos 10 o 15 segundos después de apagar el arco. 7. Cambiar al gas correcto. |
| Arco irregular | <ol style="list-style-type: none"> 1. El metal base está sucio o grasoso. 2. La unión es demasiado angosta. 3. El electrodo está contaminado. 4. El arco es demasiado largo. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar limpiadores químicos apropiados, cepillo de alambre o abrasivos. 2. Abrir el surco de la unión; acercar más el electrodo al trabajo; reducir el voltaje. 3. Eliminar la porción contaminada del electrodo. 4. Acercar más el electrodo al trabajo para acortar el arco. |
| Porosidad | <ol style="list-style-type: none"> 1. Impurezas gaseosas atrapadas (hidrógeno, nitrógeno, aire, vapor de agua). 2. Manguera de gas defectuosa o conexiones flojas. 3. Película de aceite en el metal base. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Purgar el aire de todas las líneas antes de encender el arco; eliminar la humedad condensada en las líneas; usar gas inerte de grado para soldadura (99.99%). 2. Verificar que las mangueras y conexiones no tengan fugas. 3. Limpiar con agente químico sin propensión a descomponerse en el arco; NO SOLDAR SI EL METAL BASE ESTÁ HÚMEDO. |
| Contaminación de lámina de trabajo con tungsteno | <ol style="list-style-type: none"> 1. Contacto al encender con el electrodo. 2. Fusión del electrodo y aleación con el metal base. 3. Contacto entre el tungsteno y el charco fundido. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar iniciador de alta frecuencia; usar placa de encendido de cobre. 2. Usar corriente más baja o electrodo más grande; usar electrodo de tungsteno con torio o con zirconio. 3. Mantener el tungsteno fuera del charco fundido. |

Fuente: (AWS, 1996)

1.3 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO CONTINUO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA / GMAW

1.3.1 INTRODUCCIÓN

El proceso GMAW fue desarrollado y fabricado comercialmente en 1.948, aunque el concepto básico fue realmente introducido en el año 1.920. En sus primeras aplicaciones comerciales, el proceso fue usado para soldar aluminio con un gas de protección inerte, dando lugar al término "MIG" (Metal Inert Gas) el cual es todavía comúnmente usado cuando se refiere a este proceso.

Algunas variaciones han sido añadidas al proceso, entre las cuales fue el uso de gases de protección activos, particularmente CO₂, para soldar ciertos materiales ferrosos.

Esto eventualmente conduce al término AWS aceptado formalmente de soldadura por arco con alambre bajo protección gaseosa (GMAW) para el proceso. Además este término incluye a desarrollos como el modo de transferencia de metal por corto circuito (GMAW-S), una variación del proceso de baja energía calorífica que permite soldar fuera de posición y también materiales de lámina metálicas delgadas; y un método de corriente pulsante (GMAW-P) para proveer una transferencia uniforme de metal de las gotas por rocío desde el electrodo con niveles de corriente en promedio más bajas.

El proceso GMAW usa ya sea equipos automáticos o semiautomáticos y es aplicado principalmente en soldaduras de alta producción. La mayoría de metales pueden ser soldados con estos procesos en todas las posiciones con las variaciones de energía más baja de los procesos. El GMAW es un proceso económico que requiere de una pequeña o ninguna limpieza del depósito de soldadura.

Desarrollos posteriores incluyen al modo de transferencia de metal cortocircuito (GMAW-S), una variación de baja energía de calor que permite soldar fuera de posición y también en materiales de lámina metálicas delgadas; y un método de corriente pulsante controlada (GMAW-P) para proveer una transferencia de metal en forma de spray uniforme desde el electrodo con niveles de corriente en promedio más bajo.

GMAW es un proceso de soldadura de arco el cual incorpora la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que está protegido por un gas suministrado externamente. Puesto que el equipo se provee para autoregulación automática de las características eléctricas del arco y tasa de aportación, los únicos controles manuales requeridos por el soldador para la operación semiautomática son posicionamiento de la pistola, guía, y velocidad de avance.

La longitud del arco y el nivel de la corriente se mantienen automáticamente. El proceso de control y la función se logran a través de estos tres elementos básicos del equipo ver Figura 1.15.

- Pistola y cable de ensamblado.
- Unidad de alimentación del alambre.
- Fuente de poder.

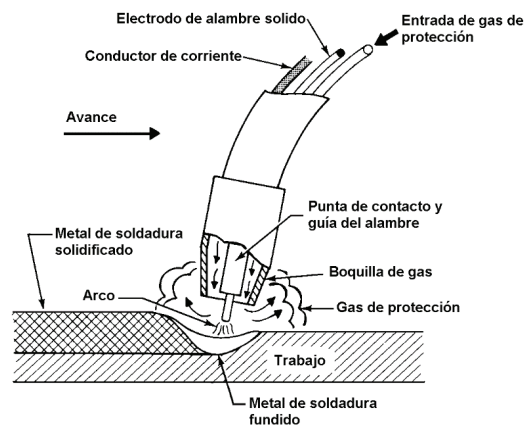


Figura 1. 15 Pistola de soldar GMAW

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.1.1 Características

Las características de GMAW se describen mejor por los cuatro modos básicos de transferencia del metal que pueden ocurrir en el proceso:

- Transferencias cortocircuito
- Transferencia globular,
- Transferencia spray axial, y
- Transferencia spray pulsante

1.3.2 EQUIPOS

El proceso GMAW puede ser utilizado ya sea automáticamente o semiautomáticamente. El equipo básico para cualquier instalación GMAW consiste de lo siguiente:

- Una pistola de soldar

- Un motor de alimentación de alambre y engranajes asociados o rodillos de tracción
- Un control de soldadura
- Una fuente de poder de soldadura
- Una fuente reguladora de gas de protección
- Una fuente de electrodo
- Cables de interconexión y mangueras

Los componentes automáticos y semiautomáticos típicos son ilustrados en las Figuras 1.16 y 1.17.

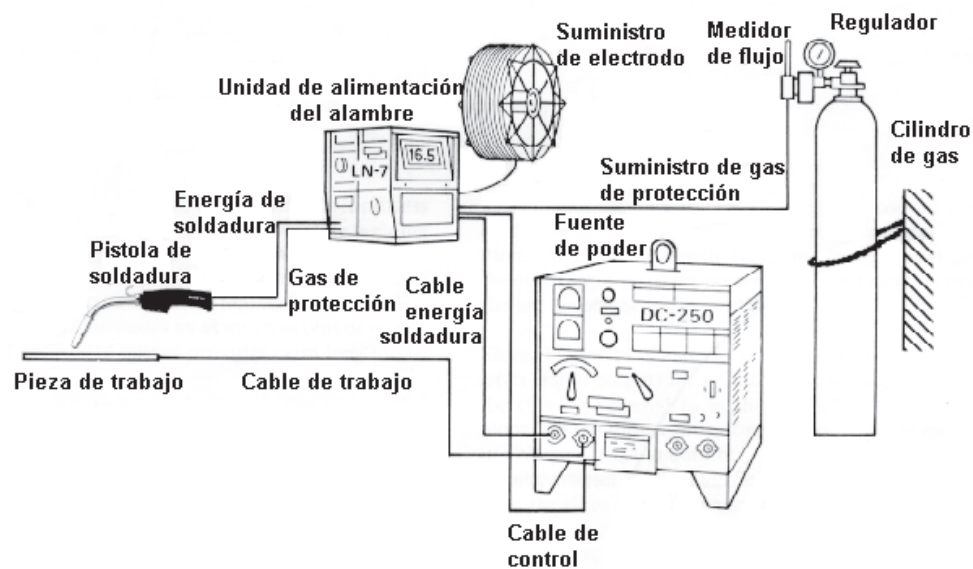


Figura 1. 16 Instalación GMAW semiautomática.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

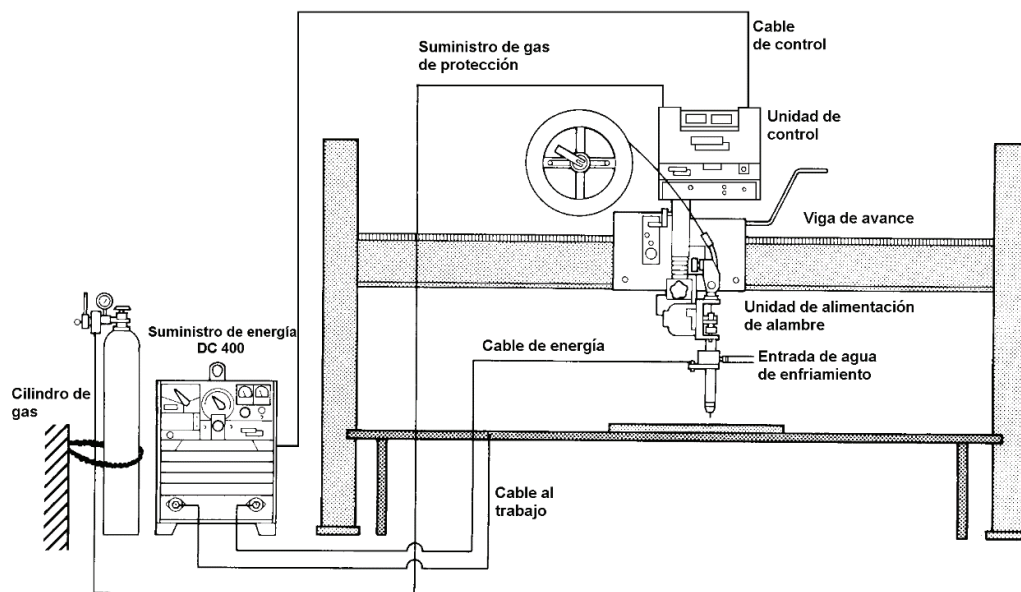


Figura 1.17 Instalación GMAW automática.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.2.1 Fuente de Poder

La fuente de poder de soldadura entrega energía eléctrica al electrodo y pieza de trabajo para producir el arco. Para la mayoría de aplicaciones GMAW, la corriente directa con polaridad positiva es usada; por consiguiente el conductor positivo debe ir a la pistola y el negativo a la pieza de trabajo. Los principales tipos de fuentes de poder de corriente directa son el motor-generador (rotatorio) y el transformador-rectificador (estático). El tipo transformador rectificador es usualmente preferido para fabricación dentro del taller donde se disponga de una fuente de energía eléctrica. El motor generador es usado cuando no hay otra fuente disponible de energía eléctrica, tal como en el campo.

La Figura 1.18 muestra la típica salida estática, las características voltio-amperio de ambas fuentes de poder de corriente constante (CC) y voltaje constante (VC). La fuente (VC) tiene una curva relativamente plana. Con cualquiera de las dos fuentes, un pequeño cambio en la distancia punta de contacto-pieza de trabajo

causará un cambio en el voltaje de la soldadura (ΔV) y un cambio resultante en la corriente de la soldadura (ΔA). Para el Δ dado que se muestra, una fuente de poder CV producirá un gran ΔA . Este mismo ΔV causa un más pequeño ΔA en las fuentes de poder de corriente constante. La magnitud ΔA es muy importante porque ésta determina el cambio en el quemado del electrodo y es el mecanismo responsable para la auto corrección del arco.

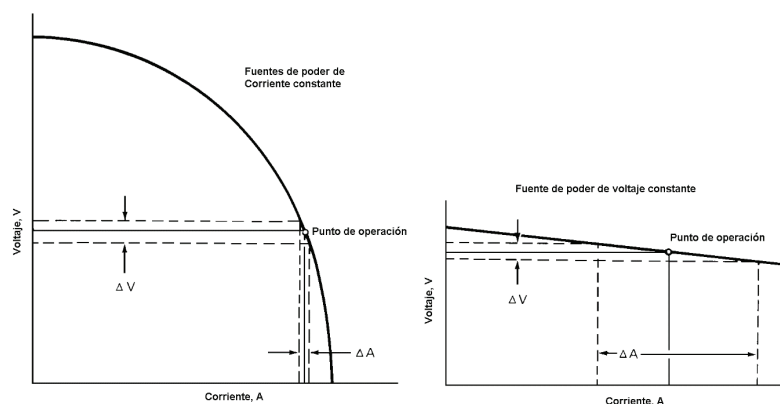


Figura 1. 18 Característica estática voltio-amperio.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

La figura 1.19 ilustra esquemáticamente el mecanismo de autocorrección. Cuando la distancia punta de contacto-pieza de trabajo aumenta, el voltaje de la soldadura y la longitud del arco aumentan y la corriente de la soldadura disminuye, como lo predice la característica voltio-amperio. Esto también disminuye la tasa de quemado (función) del electrodo. Como ahora la alimentación del electrodo es más rápida de lo que se empezó a quemar, el arco retornará a la longitud más corta preestablecida. Lo contrario puede ocurrir por una disminución en la distancia punta de contacto-pieza de trabajo.

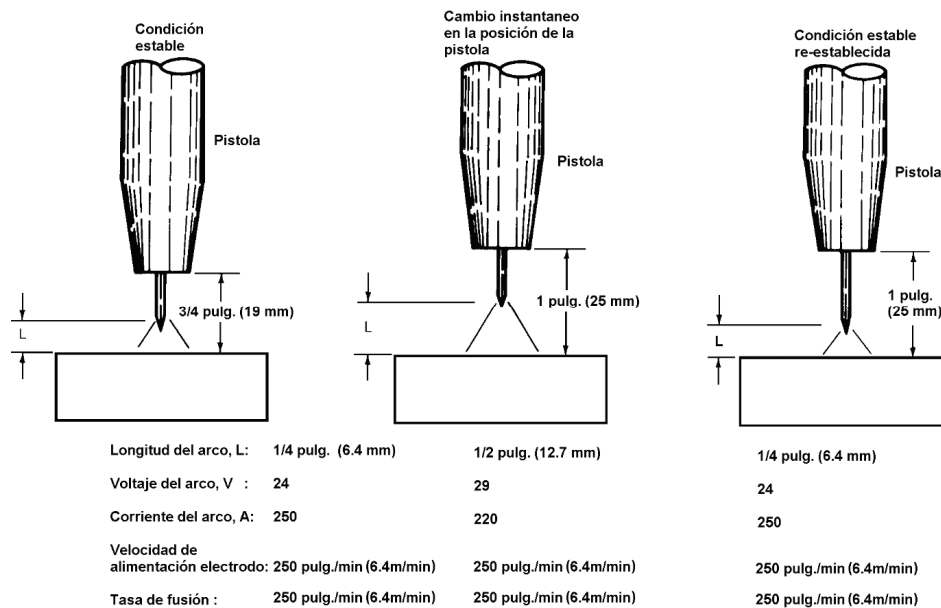


Figura 1. 19 Regulación de la longitud del arco para modos de transferencia GMAW tradicional.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Voltaje. El voltaje del arco es el potencial eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo. Este voltaje no puede ser leído directamente en la fuente de poder, porque otra caída de voltaje existe a través del sistema de soldadura. El voltaje del arco varía en la misma dirección como la longitud del arco; por consiguiente, aumentando o disminuyendo el voltaje de salida de la fuente de poder aumentará o disminuirá la longitud del arco (Ver Figura 1.18).

Pendiente. La Figura 1.18 ilustra la característica estática voltio-amperio (salida estática) para una fuente de poder GMAW. La inclinación de la curva está referida como la “pendiente” de la fuente de poder. La pendiente tiene las dimensiones de resistencia dado que:

Pendiente = cambio en voltaje / cambio en corriente = (Voltios / amperios) = ohmios.

Esta ecuación muestra que la pendiente es equivalente a la resistencia. Sin embargo, la pendiente de la fuente de poder es generalmente definida como la caída de voltaje por cada 100 amperios de elevación, en lugar de ohmios. Por ejemplo, una pendiente de 0,03 puede ser expresado como una pendiente de 3 voltios por cada 100 amperios.

La pendiente puede ser calculada determinando ΔV y ΔA , como se ilustra en la Figura 1.20. Por ejemplo: si el voltaje de circuito abierto es 48 V y la condición de la soldadura es 28 voltios y 200 amperios, entonces, ΔV es 10 voltios y ΔA es 100 amperios; la pendiente es 10 voltios por cada 100 amperios.

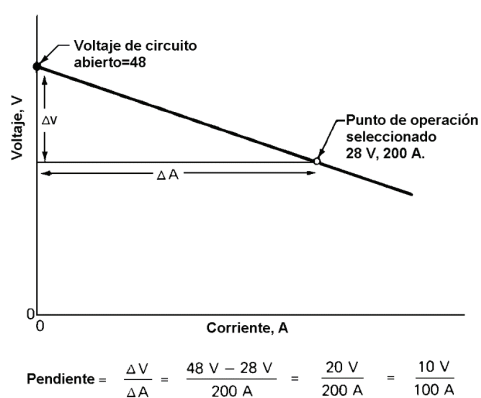


Figura 1. 20 Cálculo de la pendiente de una fuente de poder.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

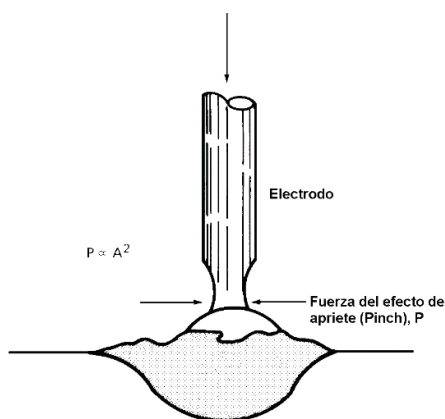


Figura 1. 21 Ilustración del efecto de apriete durante la transferencia cortocircuito.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Tabla 1. 6 Corrientes pico típicas (corto circuito) para transferir metal en el modo corto circuito (fuente de poder-característica estática).

| Material del electrodo | Diámetro del electrodo | | Corriente cortocircuito Amperios (DCEP) |
|------------------------|------------------------|-----|--|
| | Pulg. | mm | |
| Acero al carbón | 0.03 | 0.8 | 300 |
| Acero al carbón | 0.035 | 0.9 | 320 |
| Aluminio | 0.03 | 0.8 | 175 |
| Aluminio | 0.035 | 0.9 | 195 |

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Inductancia. Cuando la carga cambia en la fuente de poder, la corriente toma un tiempo finito para llegar a este nuevo nivel. La responsable principal de la característica del circuito para este retardo de tiempo es la inductancia. Esta variable de la fuente de poder es usualmente medida en henrios.

En GMAW, la separación de las gotas fundidas de metal desde el electrodo es controlada por un fenómeno eléctrico llamado efecto “pinch efect” (efecto de apretar), es la fuerza de apretamiento o estrangulamiento en un conductor que transporta corriente debido al flujo de la misma a través de este. La Figura 1.21, ilustra como el efecto de apretar o efecto “pinch” actúa sobre el electrodo durante la soldadura por corto circuito.

La máxima cantidad del efecto de apretar es determinada por el nivel de corriente cortocircuito. Como se vio anteriormente, este nivel de corriente es determinado por el diseño de la fuente de poder. La tasa del incremento del efecto de apretar es controlada por la tasa de elevación de corriente. Esta tasa de elevación de corriente es determinada por la inductancia de la fuente de poder. Si el efecto de apretar es aplicado rápidamente, la gota fundida será apretada violentamente fuera del electrodo y causando salpicadura. Una más grande inductancia disminuirá el número de transferencias del metal por corto circuito por segundo e incrementará el tiempo del arco prendido. Este tiempo del arco prendido incrementado hace al charco más fluido y resulta un cordón de soldadura más plano y más liso. Lo contrario sucede cuando la inductancia decrece.

En la soldadura de transferencia spray, la adición de alguna inductancia a la fuente de poder producirá una soldadura de fácil arranque y más suave sin reducir la cantidad final de corriente disponible.

Tabla 1. 7 Ajuste del control de Apriete (Pinch) en las fuentes de poder Lincoln Electric.

| Apriete (pinch) Mínimo | Apriete (pinch) Máximo |
|--|---|
| <p>Máxima Inductancia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mayor penetración 2. Mayor fluidez de charco 3. Soldadura más plana 4. Superficie más lisa | <p>Mínima Inductancia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Use solamente para estabilidad del arco cuando suelde separaciones de raíz abiertas. 2. Cordones más convexos 3. Aumenta salpicaduras 4. Arco más frío. |

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

La salpicadura es mantenida a un mínimo cuando existen corrientes adecuadas y tasas correctas de elevación de corriente. Los ajustes requeridos en la fuente de poder para condiciones de salpicadura mínima varían con el material y tamaño del electrodo.

1.3.3 GAS DE PROTECCION

La mayoría de metales exhibe una fuerte tendencia para combinarse con el oxígeno (para formar óxidos) y en menor extensión con nitrógeno (para formar nitruros metálicos). El oxígeno también reaccionará con el carbón para formar el gas monóxido de carbono. Esos productos de la reacción son todas unas fuentes de deficiencias para la soldadura en la forma de: defectos de fusión debido a los óxidos; pérdidas de resistencia debido a la porosidad, óxidos, y nitruros; y

fragilidad del metal de soldadura debido a los óxidos y nitruros disueltos. Estos productos de la reacción son fácilmente formados dado que la atmósfera está más o menos compuesto de 80% de nitrógeno y 20% de oxígeno. La función principal del gas de protección es a excluir la atmósfera circundante del contacto con el metal de soldadura fundido.

El gas de protección también tendrá un efecto pronunciado sobre la soldadura resultante y los siguientes aspectos de operación de la soldadura.

- Características del arco
- Modo de transferencia del metal
- Penetración y perfil del cordón de soldadura
- Velocidad de soldadura
- Tendencia al socavamiento
- Acción limpieza.

1.3.3.1 Gases de protección inerte (Argón y Helio)

Aunque ya se realizó un estudio de los gases de protección inertes como el Argón y Helio en el proceso anterior, solamente se realizará una comparación con el perfil que se obtiene con la utilización del CO₂ como gas de protección.

La densidad de argón es aproximadamente 1.4 veces que el aire (más pesado) mientras la densidad del helio es aproximadamente 0.14 veces del aire (más liviano). El gas más efectivo es el más pesado esto es para cualquier tasa de flujo dado para la protección del arco y cubrimiento del área de suelda en posición de soldadura plana (hacia la mano). Por lo tanto, la protección de helio requiere aproximadamente 2 o 3 veces tasas de flujo más alta que con protección de argón en orden a proveer la misma protección efectiva.

El helio posee una conductividad térmica más alta que el argón y también produce un arco de plasma en el cual la energía del arco es dispersada más uniformemente.

El arco de plasma de argón es caracterizado por un núcleo interno de muy alta energía y afuera una capa de menor energía de calor. Esta diferencia afecta fuertemente al perfil del cordón de soldadura. El arco de helio produce un cordón de soldadura parabólico ancho y profundo. El arco de argón produce un perfil de cordón más frecuentemente caracterizado por un modelo de penetración tipo papilar (ver la figura 1.22).

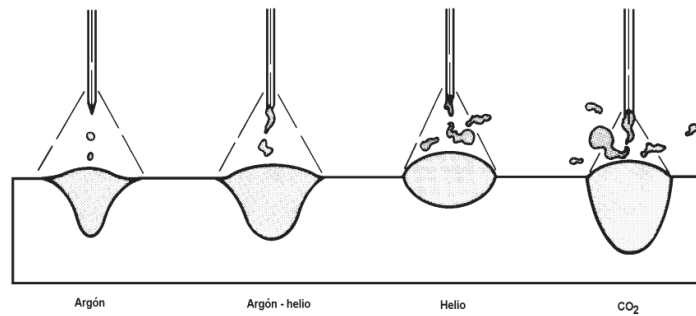


Figura 1. 22 Contorno del cordón y modelos de penetración para varios gases de protección.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

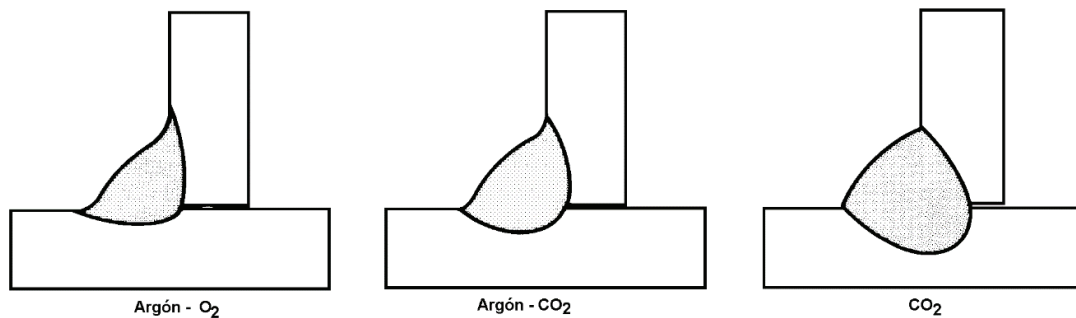


Figura 1. 23 Efecto relativo de las adiciones del O₂ y CO₂ a la protección de argón.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Tabla 1. 8 Gases de protección y mezclas de gas para GMAW.

| Gas de Protección | Comportamiento Químico | Aplicación Típica |
|---|------------------------|--|
| Argón | Inerte | Virtualmente todos los metales excepto acero. |
| Helio | Inerte | Aleaciones de Aluminio, Magnesio y Cobre para entrada de calor más grande y para minimizar porosidades. |
| Ar + 20-80% He | Inerte | Aleaciones de Aluminio, Magnesio y Cobre para entrada de calor más grande y para minimizar porosidades.(mejor acción del arco) |
| Nitrógeno | | Entrada de calor más grande en cobre (Europa) |
| Ar + 25-30% N ₂ | | Entrada de calor más grande en cobre (Europa);acción del arco mejor que 100% nitrógeno |
| Ar + 1-2% O ₂ | Ligeramente oxidante | Aceros aleados e inoxidables; algunas aleaciones de cobre desoxidados. |
| Ar + 3-5% O ₂ | Oxidante | Aceros al carbón y algunos de baja aleación. |
| CO ₂ | oxidante | Aceros al carbón y algunos de baja aleación. |
| Ar + 20-50% CO ₂ | oxidante | Varios aceros, principalmente en el modo corto circuito. |
| Ar + 10 % CO ₂ +5% O ₂ | Oxidante | Varios aceros (Europa) |
| CO ₂ + 20% O ₂ | Oxidante | Varios aceros (Japón) |
| 90% He + 7.5% Ar + 2.5% CO ₂ | Ligeramente oxidante | Aceros inoxidables para buena resistencia a la corrosión, modo corto circuito. |
| 60 a 70% He + 25 a 35% Ar + 4 a 5% CO ₂ | Oxidante | Acero de baja aleación para tenacidad, modo corto circuito. |

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

A cualquier velocidad de alimentación del alambre, el voltaje del arco de argón será notablemente menor que el arco de helio. Como resultado, aquí el cambio en el voltaje será menor con respecto al cambio en la longitud del arco del argón y tenderá a ser más estable que el arco de helio. El arco de argón (incluyendo mezclas tan baja como 80 por ciento de argón) producirá una transferencia por spray axial con niveles de corrientes sobre la corriente de transición. El arco protegido de helio produce una transferencia de metal de gotas grandes en el rango de operación normal. Por consiguiente, el arco de helio producirá un nivel de salpicadura más alto y una apariencia del cordón pobre comparada con el arco de argón.

La más pronta ionización del gas argón también facilita el inicio del arco y proveerá de una superior acción de limpieza superficial cuando use polaridad inversa (electrodo positivo).

Tabla 1. 9 Selección de gas para GMAW con transferencia spray.

| Metal | Gas de Protección | Ventajas |
|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Aluminio | Argón | Espesor 0 a 1 pulg. (0 a 25 mm); mejor transferencia del metal y estabilidad del arco; mínima salpicadura. |
| | 35% argón + 65% helio | Espesor 1-3 pulg. (25 a 76 mm); entrada de calor más alta que solamente argón; mejorando características de fusión con aleaciones Al-Mg series 5XXX. |
| | 25% argón + 75% helio | Espesor sobre 3 pulg. (76 mm); alta entrada de calor; mínimas porosidades |
| Magnesio | Argón | excelente acción de limpieza |
| Acero al carbón | Argón + 1-5% oxígeno | Mejora la estabilidad del arco; produce una mayor fluidez y controla el charco de la soldadura; buena coalescencia y contorno del cordón; mínimo socavamiento; permite más altas |
| | Argón + 3-10% CO ₂ | Buena forma del cordón; minimiza salpicadura; reduce la oportunidad del traslapamiento en frío; puede no soldar fuera de posición. |
| Acero de baja aleación | Argón + 2% oxígeno | Mínimo socavamiento; provee buena tenacidad. |
| Acero Inoxidable | Argón + 1% oxígeno | Mejora la estabilidad del arco; produce un más fluido y controlable charco, buena coalescencia y contorno del cordón; minimiza el socavamiento en aceros inoxidable gruesos. |
| | Argón + 2% oxígeno | Provee mejor estabilidad del arco; coalescencia, y velocidad de soldadura que la mezcla de 1 por ciento de oxígeno para materiales de acero inoxidable delgados. |
| cobre, níquel y sus aleaciones | Argón | Proveen buen mojado; disminución de fluidez del metal de soldadura para espesor hasta 1/8 pulg. (3,2 mm). |
| | Argón + helio | Entrada de calor más alta con mezclas de helio de 50 & 75 por ciento compensa la alta disipación de calor de calibres gruesos. |
| Titanio | Argón | Buena estabilidad del arco, mínima contaminación de soldadura; gas inerte de respaldo es requerido para prevenir la contaminación del aire en la espalda del área de soldadura. |

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

En la transferencia corto circuito, la mezcla argón-helio desde 60 a 90 por ciento de helio son usadas con el fin de obtener la entrada de calor más alta en el metal base para mejorar las características de fusión. Para algunos metales, tales como los aceros inoxidables y de baja aleación, adiciones de helio en vez de adiciones de CO₂ son escogidos para obtener una entrada de calor más alta, porque el helio no produce reacciones con el metal de soldadura que pueden afectar adversamente a las propiedades mecánicas del depósito.

1.3.3.2 Adiciones de Oxígeno y CO₂ al Argón y Helio.

El argón puro, y el Helio producen excelentes resultados en soldadura de metales no ferrosos. Sin embargo, estos gases de protección en la forma pura no producen las más satisfactorias características de operación en la soldadura de materiales ferrosos. El arco con protección de helio tiende a ser errático, acompañado por salpicadura, y con protección de argón muestra una tendencia marcada a producir socavamiento. Adicionando al argón desde 1 a 5 por ciento de oxígeno o de 3 a 10 por ciento CO₂ (y hasta 25 % de CO₂) produce una mejora muy notable.

La cantidad optima de oxígeno o CO₂ a ser añadido al gas inerte es una función de la condición superficial (cascarilla de óxido) del metal base, la geometría de la junta, posición de la soldadura o técnica, y la composición de metal base. Generalmente, 3 por ciento de oxígeno o 9 por ciento de CO₂ es considerado un buen compromiso para cubrir un rango amplio de estas variables.

Adiciones de dióxido de carbón al argón también tiende a mejorar el cordón de soldadura produciendo con más facilidad un definido perfil en forma de pera.

Dióxido Carbón. EL Dióxido de Carbón (CO₂) es un gas reactivo ampliamente usado en forma pura para la soldadura por arco con electrodo continuo bajo protección gaseosa de aceros al carbón y de baja aleación. Este gas reactivo es adecuado usar como una protección solamente en el proceso GMAW. En general las características que alientan el uso extensivo del gas de protección CO₂ son velocidades de soldadura altas, penetración en juntas más grandes, y costo más bajo.

Con la protección del CO₂ la transferencia de metal es ya sea del modo corto circuito o globular. La transferencia spray axial es una característica de la protección de argón y no puede ser lograda con una protección de CO₂. En la transferencia tipo globular el arco es bastante áspero y produce un nivel alto de salpicadura. Esto requiere que las condiciones de soldadura sean establecidas con voltajes relativamente bajos para proveer un muy corto "arco enterrado" (la

punta del electrodo está realmente bajo la superficie de trabajo), en orden a minimizar la salpicadura.

En comparación al arco de protección rico en argón, el arco protegido con CO_2 produce un cordón de soldadura de excelente penetración con un perfil de superficie rugosa y mucho menos acción de "mojado" en la extremidad del cordón de soldadura debido al arco enterrado. Muchos depósitos de soldadura sana son logrados pero las propiedades mecánicas pueden ser afectadas adversamente debido a la oxidación natural del arco. [Lincoln Electric]. En las tablas 1.8 y 1.9 y Figura 1.23, se puede observar la influencia de la adición de gases de protección como el O_2 y CO_2 , además de sus aplicaciones.

1.3.4 ELECTRODOS PARA GMAW

En la Ingeniería de obras soldadas, los metales de aporte son seleccionados para producir un depósito de soldadura con estos objetivos básicos:

1. Un depósito bastante semejante a las propiedades mecánicas y características físicas del metal base.
2. Un depósito de soldadura sana, libre de discontinuidades.

El primer objetivo del diseño de obras soldadas es producir un depósito de suelda con una composición que tenga propiedades deseadas igual o mejor que aquellas del metal base.

El segundo objetivo es alcanzado, generalmente, a través del uso de un electrodo de metal de aporte que fue formulado para producir un depósito relativamente libre de defectos.

Composición. La composición del metal del aporte básico es diseñada para ser compatible con una o más de las siguientes características del metal base:

- Química

- Resistencia
- Ductilidad
- Tenacidad

Una consideración adicional o alternativa puede ser dada a otras propiedades tales como corrosión, respuesta al tratamiento térmico, resistencia al desgaste, semejanza de color, etc. Todas estas consideraciones, sin embargo, son secundarias a la compatibilidad metalúrgica del metal de aporte a la del metal base.

La (AWS) ha establecido el siguiente sistema de identificación de los alambres electrodos según norma AWS A5.18:

ER XX Y-Z

E: Prefijo que indica electrodo.

R: Rod que significa varilla

XX: Números que indican la resistencia mínima a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada (Psi)

Y: Indica la forma o configuración del electrodo

S: Indica electrodo o alambre electrodo sólido.

C: Indica alambre torcido, compuesto de varios alambres.

Z: Un sufijo que indica un análisis particular o un factor de uso. Composición química.

Las especificaciones de la Sociedad Americana de Soldadura han sido establecidas para los metales de aporte de uso común. La Tabla 1.10, provee una guía básica para las más comunes combinaciones metales base a metal aporte acordes con las especificaciones aplicables de metal de aporte de la AWS.

Formulación. El electrodo debe cumplir también ciertas demandas del proceso con respecto a la estabilidad del arco, comportamiento en la transferencia del metal, y características de solidificación. Los desoxidantes y otros agentes de afinamiento son siempre añadidos para compensar las reacciones del metal base

con el oxígeno, nitrógeno e hidrogeno desde la atmósfera circundante o el metal base. Los desoxidantes más frecuentemente usados en aceros son el silicio y manganeso.

1.3.5 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL EN EL PROCESO GMAW

Toda la transferencia de metal ocurre cuando el electrodo está en contacto con el charco fundido en la pieza-trabajo. El alambre electrodo se funde y las gotas de metal se transfieren directamente a través del arco a la pileta.

La física de la transferencia de metal fundido no es muy comprendida; sin embargo, se han sugerido una serie de fuerzas responsables para regular las transferencias. Con mayor probabilidad, una combinación de fuerzas es responsable para el desprendimiento del metal fundido desde el electrodo y la impulsión a través del arco hacia el metal base. Dos de aquellas fuerzas, gravedad y “**efecto pinch**”, pueden ser considerados en una simple descripción del mecanismo de transferencia y sus seis modos básicos.

Los tipos de transferencias de metal desarrollados y usados actualmente son:

- 1) Por cortocircuito
- 2) Globular
- 3) Por rocío (spray)
- 4) Pulsos
- 5) STT
- 6) RMD

Tabla 1. 10 Metales de aporte recomendados para GMAW.

| Tipo metal base | Electrodo recomendado | | Especificación metal de aporte | Diámetro de electrodo | | Rango de corriente |
|-----------------------------------|---|---|--------------------------------|-----------------------|---------|--------------------|
| | Tipo de material | Clasificación Electrodo | | Pulgada | mm | |
| Aluminio y aleaciones de Aluminio | 1100 | ER1100 o ER4043 | A5.10 | 0.03 | 0.8 | 50-175 |
| | 3003, 3004 | ER1100 o ER5356 | | 3/64 | 1.2 | 90-250 |
| | 5052, 5454 | ER5554, ER5356 o ER5183 | | 1/16 | 1.6 | 160-350 |
| | 5083, 5086, 5456 | ER5556 o ER5356 | | 3/32 | 2.4 | 225-400 |
| | 6061, 6063 | ER4043 o ER5356 | | 1/8 | 3.2 | 350-475 |
| Aleaciones de Magnesio | AZ10A | ERAZ61A, ERAZ92A | A5.19 | 0.04 | 1 | 150-300 |
| | AZ31B, AZ61A, AZ80A | ERAZ61A, ERAZ92A | | | | |
| | ZE10A | ERAZ61A, ERAZ92A | | | | |
| | ZK21A | ERAZ61A, ERAZ92A | | | | |
| | AZ63A, AZ81A, AZ91C | ERAZ92A | | | | |
| | AZ92A, AM100A | ERAZ92A | | | | |
| | HK31A, HM21A | ERAZ92A | | | | |
| | HM31A | ERAZ33A | | | | |
| | LA141A | ERAZ33A | | | | |
| | Cobre y aleaciones de cobre | Bronce silicio | | | | |
| Cobre desoxidado | | ERCu | 0.045 | 1.2 | 200-400 | |
| Aleaciones Cu-Si | | ERCuNi | 1/16 | 1.6 | 250-450 | |
| Bronce aluminio | | ERCuAl-A1, A2 o A3 | 3/32 | 2.4 | 350-550 | |
| Bronce fósforo | | ERCuSn-A | | | | |
| Níquel y aleaciones de Níquel | Monel aleación 400 | ERNiCu-7 | A5.14 | 0.02 | 0.5 | - |
| | Iconel aleación 600 | ERNiCrFe-5 | | 0.03 | 0.8 | - |
| | | | | 0.035 | 0.9 | 100-160 |
| | | | | 0.045 | 1.2 | 150-260 |
| | | | | 1/16 | 1.6 | 100-400 |
| Titanio y aleaciones de titanio | Comercialmente puro | Use un metal de aporte | A5.16 | 0.03 | 0.8 | - |
| | Ti-0.15 Pd | ERTi-0.2 Pd | | 0.035 | 0.9 | - |
| | Ti-5A1-2.5Sn | ERTi-5A1-2.5Sn o comercialmente puro | | 0.045 | 1.2 | - |
| Aceros inoxidables austeníticos | Tipo 201 | ER308 | A5.9 | 0.02 | 0.5 | - |
| | Tipo 301, 302, 304 & 308 | ER308 | | 0.025 | 0.6 | - |
| | Tipo 304L | ER308L | | 0.03 | 0.8 | 75-150 |
| | Tipo 310 | ER310 | | 0.035 | 0.9 | 100-160 |
| | Tipo 316 | ER316 | | 0.045 | 1.2 | 140-310 |
| | Tipo 321 | ER321 | | 1/16 | 1.6 | 280-450 |
| | Tipo347 | ER347 | | 5/64 | 2 | - |
| | | | | 3/32 | 2.4 | - |
| | | | | 7/64 | 2.8 | - |
| Acero | Acero al carbón ordinarios estirados en frío o laminados en caliente. | ER 70S-3 o ER 70S-1 ER 70S-2, ER 70S-4 ER 70S-5, ER 70S-6 | A5.18 | 0.02 | 0.5 | - |
| | | | | 0.025 | 0.6 | - |
| | | | | 0.03 | 0.8 | 40-220 |
| | | | | 0.035 | 0.9 | 60-280 |
| | | | | 0.045 | 1.2 | 125-380 |
| | | | | 1/16 | 1.6 | 260-460 |
| | | | | 5/64 | 2 | 275-450 |
| | | | | 3/32 | 2.4 | - |
| | | | | 7/64 | 2.8 | - |
| 1/8 | 3.2 | - | | | | |
| Acero | Aceros al carbón de alta resistencia y algunos aceros de baja aleación. | ER80-D2 ER80S-Ni1 ER100S-G | A5.28 | 0.035 | 0.9 | 60-280 |
| | | | | 0.045 | 1.2 | 125-380 |
| | | | | 5/64 | 1.6 | 275-450 |
| | | | | 3/32 | 2 | - |
| | | | | 7/64 | 2.4 | - |
| | | | | 1/8 | 3.2 | - |
| 5/32 | 4 | - | | | | |

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.5.1 Transferencia corto circuito

En el modo de transferencia tipo corto circuito, que es considerado de baja energía, el calor entregado es bajo, la penetración del cordón de soldadura es muy superficial y debe ser ejercitado en la técnica para asegurar una buena fusión en secciones gruesas. Sin embargo, estas características de transferencia permiten soldar en toda posición. La transferencia corto circuito es particularmente adaptable para soldar secciones de calibre delgado.

El electrodo avanza hasta tocar el metal produciéndose un cortocircuito, fundiéndose la punta, siendo la velocidad de fusión mayor que la de alimentación del alambre, se produce un corte en el mismo. Al continuar siendo alimentado el alambre se produce otro cortocircuito repitiéndose sucesivamente el proceso a alta velocidad. El proceso se recomienda para soldaduras de espesores delgados, menores de 1/4" y corrientes menores de 250 amperios. Tal como se observa en la Figura 1.24.

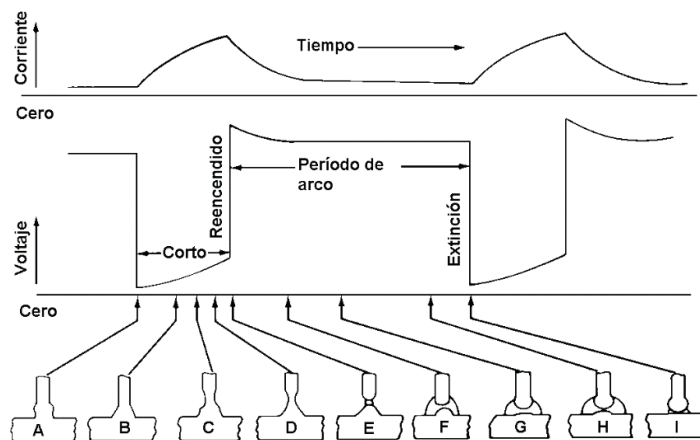


Figura 1. 24 Transferencia de metal, GMAW cortocircuito.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Las unidades fuente de poder con controles de voltaje e inductancia (pinch) son recomendadas para la soldadura de acero inoxidable con transferencia corto circuito. La inductancia, en particular, juega un papel importante en la obtención de la fluidez del charco adecuada.

El gas de protección de este tipo de transferencia es el CO_2 , afecta la resistencia a la corrosión de soldaduras múltiples hechas con la transferencia corto circuito.

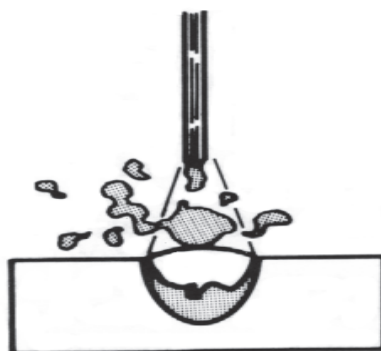
1.3.5.2 Transferencia globular

El metal fundido pasa en forma de gotas gruesas de diámetro mayor que el del electrodo. Esto ocurre cuando las densidades de corriente son medianas. El CO_2 se utiliza primordialmente como gas de protección.

En este modo, la transferencia del metal a través del arco es en forma de glóbulos irregulares aleatoriamente dirigidos a través del arco (ver Figura 1.25), resultando en una cantidad considerable de salpicaduras. La salpicadura es minimizada cuando se usa una protección de CO_2 . El arco de CO_2 es generalmente inestable por naturaleza y caracterizado por un sonido "crepitante".

La transferencia globular están normalmente limitadas a posiciones de soldadura plana y horizontal con materiales de espesor no menor de 1/8 de pulgadas (3,2 milímetros).

Este presenta una superficie del cordón de soldadura rugoso en apariencia (efecto rizado) en comparación con el cordón obtenido en la transferencia por spray axial. Dado que la mayoría de la energía del arco es dirigida hacia adelante y bajo la superficie del metal de soldadura fundido, el perfil del cordón de soldadura exhibe una penetración extremadamente profunda con una acción de "mojado" en las extremidades del cordón de soldadura, es menor que el obtenido en el modo de transferencia por spray axial. La relativa estabilidad del arco de CO_2 puede ser establecida con niveles de corriente más altas usando un arco enterrado.



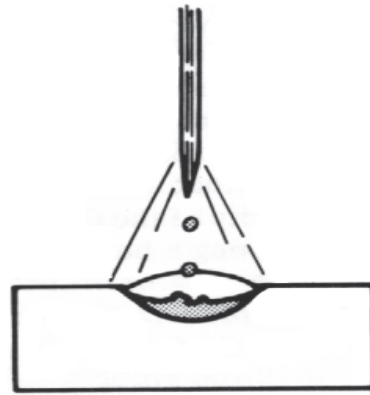
Transferencia globular

Figura 1. 25 Características de la transferencia globular.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.5.3 Transferencia spray Axial.

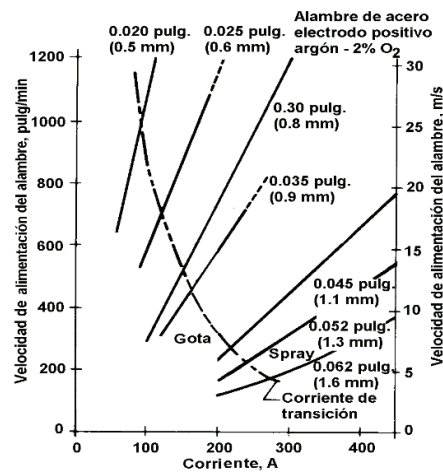
En este modo, la transferencia de metal se realiza a través del arco en forma de gotas de un tamaño igual o menor que el diámetro del electrodo. Las gotas son dirigidas axialmente en línea recta desde el electrodo al charco de soldadura. El arco es muy uniforme y estable. El resultado es pequeña salpicadura y un cordón de soldadura de superficie relativamente lisa. La energía del arco (plasma) es extendida afuera en un modelo de forma cónica. Esto resulta en una buena característica de mojado en los extremos del cordón de soldadura pero esta fluidez relativa origina una penetración superficial (fusión de penetración superficial). La penetración es más profunda que la obtenida con soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW). Ver Figura 1.26. Este modo de transferencia se da con gas de protección con un mínimo de 80 por ciento de argón, en especial se utiliza Ar al 100%.



Transferencia spray axial

Figura 1. 26 Características de la transferencia spray axial.**Fuente:** (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

El modo de transferencia spray axial es establecido con un nivel mínimo de corriente para cualquier diámetro de electrodo dado (densidad de corriente). Este nivel de corriente es llamado generalmente “la corriente de transición” (ver Figura 1.27).

**Figura 1. 27** Velocidad de alimentación vs. Corriente, electrodos de acero.**Fuente:** (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Una corriente de transición bien definida existe solamente con un gas de protección que contiene un mínimo de 80% de argón. Con niveles de corriente que se encuentran debajo la corriente de transición se incrementan el tamaño de

la gota [más grande que el diámetro del electrodo (ver Figura 1.28.)]. En este rango de operación las características del arco son completamente inestables.

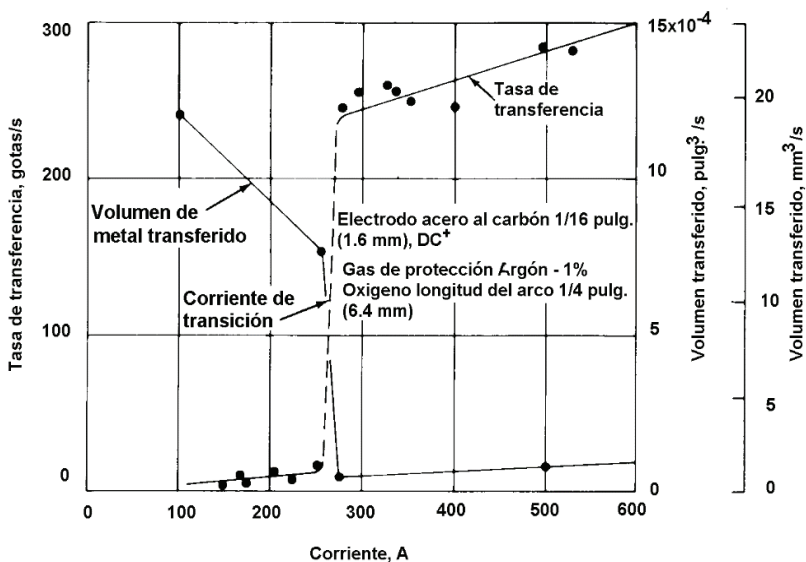


Figura 1. 28 Variación en volumen y tasa de transferencia de gotas vs. Corriente, electrodos de acero. [1]

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

El "efecto pinch" es un cuello momentáneo de la gota líquida desde el electrodo que transporta la corriente que ocurre como resultado del efecto electromagnético de la corriente (ver Figura 1.29). Esta es la clave para la transferencia spray axial.

En cualquier conductor, el efecto de la fuerza de apriete es proporcional al cuadrado de la corriente que fluye por este; por ejemplo, si la corriente se duplica, la fuerza de apretar se cuadruplica. Este efecto de apretar puede ser tan grande que en ocasiones el electrodo se rompe y finalmente se separa. La gota fundida en el extremo de un electrodo es fácilmente apretada con valores normales de corriente de soldadura. La transferencia globular se caracteriza por el efecto predominante de la fuerza de gravedad.

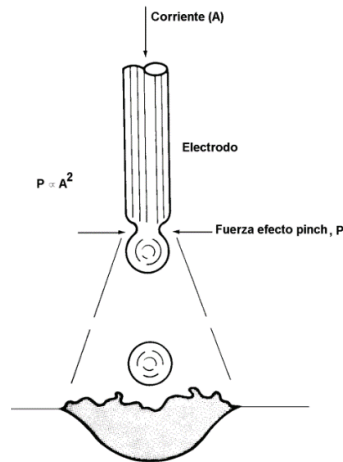


Figura 1. 29 Ilustración del efecto “pinch”.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.5.4 Transferencia por arco pulsante

El proceso por arco - pulsante es, por definición, un proceso de transferencia spray donde la transferencia spray ocurre en pulsos a intervalos espaciados y regulares más que a intervalos al azar. En el tiempo entre pulsos, la corriente es reducida y no ocurre transferencia de metal.

La transferencia por arco - pulsante es obtenida operando una fuente de poder entre niveles de corriente alta y baja. El nivel de corriente alto o "pulso" fuerza una gota del electrodo a la pieza de trabajo. El nivel de corriente bajo o "base" mantiene el arco entre pulsos. La combinación de las dos corrientes produce un arco estable (corriente de fondo) con una transferencia controlada del metal de soldar en el modo spray (corriente de pico pulsante). Tal como se observa en la Figura 1.30.

La operación pulsante es obtenida combinando la salida de dos fuentes de poder trabajando con dos niveles de corriente. Una actúa como corriente de "base" para precalentar y precondicionar continuamente el avance del electrodo de

alimentación; la otra fuente de poder suministra una corriente "pico" para forzar la gota desde el electrodo a la pieza de trabajo. La corriente pico es usualmente media onda DC. Si esta es ajustada a la frecuencia de la línea, las gotas serán transferidas 60 a 120 veces / segundo (Figura 1.31).

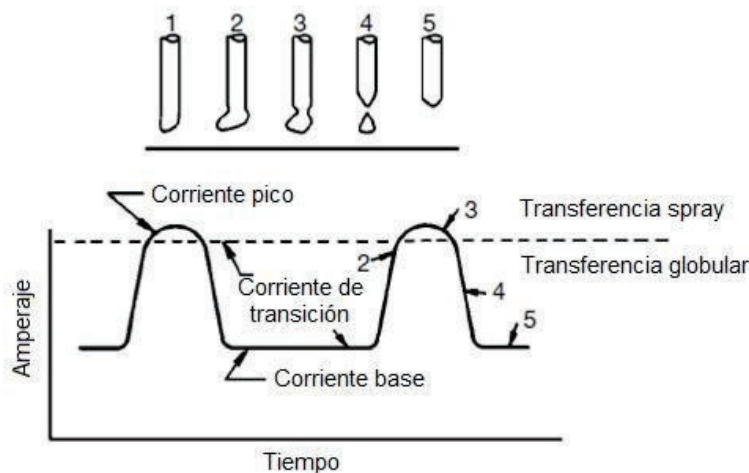
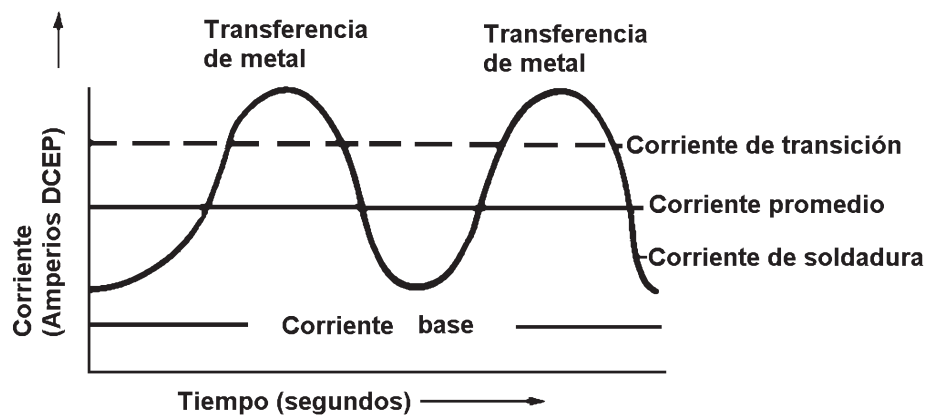


Figura 1. 30 Transferencia arco pulsante.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Los diámetros de alambre de 0,9 mm. (0.35 pulg.) y 1,1 mm. (0.45 pulg.) son los más comunes con este proceso para electrodos inoxidables. Los gases para transferencia por arco pulsante son similares a la soldadura por arco spray, es decir argón con más 2% de oxígeno. Se recomienda para soldadura de alta velocidad y calidad, en secciones gruesas.

Se debe definir una buena técnica de operación esto es muy importante para prevenir los defectos de fusión incompleta en espesores más gruesos, pero esto no es crítico con el modo corto circuito.



NOTA : DCEP Direct Current Electrodo Positivo

Figura 1. 31 Transferencia por arco pulsante GMAW-P.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

Beneficios de Pro-Pulse

- Mejor control de Charco de soldadura.
- Más tolerancia de la punta contacto al trabajar a distintas variaciones de longitud.
- Menos ruido.
- No hay vacilación del arco en los biseles de la junta de soldadura
- Columna de plasma de arco estrecho
- Permite rellenar soldaduras, aumentar la tasa de velocidad y la velocidad de aportación.
- Más tolerante de pobre ajuste-up y lagunas
- Excelente control del charco, fuera de posición.

1.3.5.5 Transferencia RMD depósito de metal regulado (Regulated Metal Deposition)

El Proceso de soldadura GMAW posee nuevos modos de transferencia con aplicaciones más productivas en soldadura de “pase de raíz” en tubería. RMD es un proceso MIG de transferencia (GMAW) de cortocircuito modificado que

precisamente controla la intensidad del electrodo durante las fases de transferencia manual.

RMD dispone de un charco más estable que produce la fusión del lado de la pared, facilita al soldador hacer pases de raíz de alta calidad sobre la tubería. Miller ha diseñado los programas RMD pipe, específicamente para las soldaduras de tubería con raíz abierta en aceros al carbono, acero al Cr-Mo y acero inoxidable utilizando alambres sólidos, nucleados, y compuestos (metalcored).

La tecnología RMD (Aportación Regulada de Metal - soldaduras MILLER) tiene por objeto regular el material de aportación transferido en el proceso de soldadura y controlar el índice de penetración y salpicadura con precisión y objetividad. Esta tecnología fue creada para aplicaciones semi - automáticas, cuando la velocidad de soldadura y la extensión del electrodo longitud es una variación considerable.

La transferencia de RMD fue precisamente diseñada para monitorear y controlar la corriente de soldadura durante todas las etapas del "Traslado corto - circuito." Así, la tecnología RMD puede disminuir el "Input Heat" del 5 al 20% con respecto a la transferencia de corto circuito estándar, mantiene automáticamente las mejoras características de arco, y reduce al mínimo la incidencia de derrames. Tal como se observa en la Figura 1.32.

El proceso RMD funciona con gas de protección CO₂ y con mezcla gaseosa de 75% de argón y 25% de CO₂ incluso en aplicaciones de acero inoxidable.

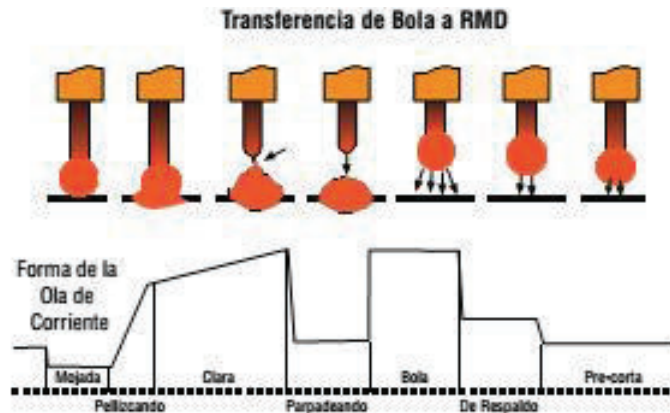


Figura 1. 32 Transferencia por RMD

Fuente: (MILLER, 2011)

RMD está basado en un software de Miller con características que convierte la PDA (personal digital assistant, asistente digital personal) en un dispositivo de almacenamiento y control remoto periférico para todos los sistemas. Los Programas y archivos de configuración se pueden transferir fácilmente de máquina a máquina o máquina al equipo. La interfaz potente e intuitiva incluye una característica de bloqueo de protección de contraseña para proteger los programas de cambios por personal no autorizado.

El sistema de soldadura de Miller presenta el proceso patentado de soldaduras avanzadas de RMD (depósito regulado de metal, un proceso modificado del cortocircuito) diseñados para soldaduras de pase de raíz. Ver Figura 1.33. (que es más fácil de usar que el pulso convencional en aplicaciones de tubería fuera de posición). Proporciona versatilidad inigualable, ya que el sistema de soldadura PipePro ofrece rendimiento de arco superior en todos los procesos: Stick, TIG, MIG, FCAW, Arc-Air: Cutting y Gouging.



Figura 1. 33 Perfil del pace de raíz realizado con transferencia RMD.

Fuente: (MILLER, 2011)

La tecnología RMD tiene muchas aplicaciones y es especialmente adecuado cuando el control de penetración, la eliminación de derrames y la regulación metal depositado son esenciales para asegurar la calidad del producto final.

Ventajas

- El RMD ofrece rendimiento de arco superior en estos procesos que se hagan con arco eléctrico.
- Más fácil de usar que los sistemas competitivos, los operadores pueden ganar habilidad con el proceso RMD Pro, mucho más rápido que con los procesos TIG o Stick.
- Sustituyendo RMD en lugar de TIG y Stick en los pases críticos o de raíz, puede mejorar la productividad en un 25 por ciento o más.
- Mejores tasas de aportación,
- Menos detenciones en paradas y arranques y,
- Significativamente menor tiempo de limpieza comparada con el caso de soldadura revestida.
- Es un proceso de soldadura en que los fabricantes de tubos no pueden permitirse pasar por alto el valor a largo plazo frente a los plazos ajustados o recortes en los costos de operación de otros procesos o equipos,

- Puede reemplazar TIG en algunas aplicaciones.
- Facilita a los operadores menos calificados producir soldaduras que cumplen con API, AWS, ASME y otros requisitos de código
- Puede ayudar a aliviar la escasez crónica de operadores de soldadura calificados.
- Permite formar personas en menos tiempo.
- Buen llenado de junta; tolerante con las articulaciones y con relieves a los lados
- Reduce el spatter (salpicaduras)
- Reduce la entrada de calor
- Excelente rendimiento en acero inoxidable
- Muy tolerante a los cambios de stick-out (longitud libre del electrodo).
- Fusión excelente y reducida en ángulos (transición suave)

1.3.5.6 STT (Surface Tension Transfer) Transferencia por Tensión Superficial

STT es un tipo de transferencia controlada de GMAW por cortocircuito este se controla por medio de un hardware para ajustar el calor independiente de la velocidad de alimentación de alambre, lo que resulta en un mayor rendimiento del arco, buena penetración, baja entrada de calor, el control y la reducción de las salpicaduras y humos. Tal como se observa en la Figura 1.34.

Ventajas de STT

- Control de penetración ya que proporciona una pasada de raíz fiable
- Garantiza una excelente fusión de pared lateral.
- Reducción de costos, usa CO₂ al 100% para soldar acero al carbono, este es un gas de menor costo.
- Posee gran flexibilidad, proporciona la capacidad de soldadura de acero inoxidable, aleaciones de níquel, o aceros de alta resistencia y aceros templados sin comprometer la calidad de la soldadura.
- Capacidad de realizar soldaduras fuera de posición.

- Entradas de calor bajas, reduce los quemones y las distorsiones.
- Las soldaduras de raíz abierta son de alta calidad y se realizan a velocidades de desplazamiento más rápido que GTAW.

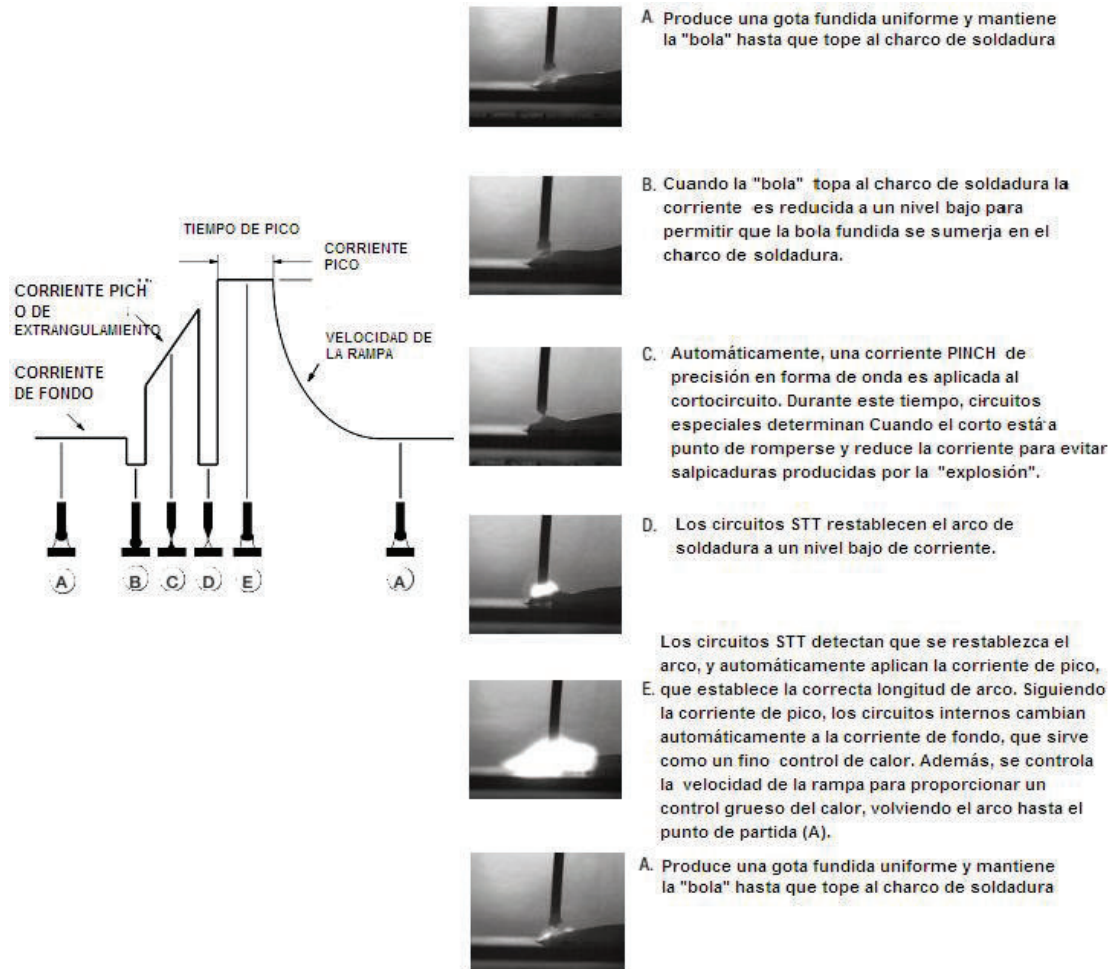


Figura 1. 34 Transferencia STT

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.6 VARIABLES DE SOLDADURA DE GMAW

El proceso de soldadura posee variables principales que son las que afectan directamente al cordón de soldadura como son el voltaje, la velocidad de alimentación, la velocidad de avance y la longitud libre del electrodo.

1.3.6.1 Corriente de Soldadura - Velocidad de Alimentación del Alambre

Después de determinar la tasa de aportación óptima para la aplicación, el próximo paso es determinar la velocidad de alimentación del alambre a una requerida longitud libre de electrodo, y la corriente de soldadura relativa para alcanzar la tasa de aportación. En una aplicación práctica, la tasa de aportación es más exactamente establecida, mantenida, y reproducida por la medida de la velocidad de alimentación del alambre más que por el valor de la corriente de soldadura.

1.3.6.2 Voltaje de Soldadura

El voltaje de soldadura (relativa a la longitud del arco) es establecido para mantener estable el arco a la velocidad de alimentación del electrodo seleccionada o nivel de la corriente de soldadura para minimizar la salpicadura.

1.3.6.3 Extensión del electrodo (Longitud libre del electrodo)

La instalación del control básico para electrodos metálicos de conductividad baja depende mucho de la longitud libre del electrodo. La variación en la longitud libre del electrodo resulta en un cambio de las características eléctricas del sistema balanceado, tal como determina la resistividad de la longitud del electrodo entre la punta de contacto y el arco (ver Figura 1.35).

En esencia, conforme la distancia entre la punta de contacto y de trabajo es incrementada el efecto de calentamiento I^2R aumenta, así disminuye la corriente de soldadura (I) requerida para fundir el electrodo. Inversamente, si la distancia entre la punta de contacto y el trabajo disminuye, el efecto del I^2R disminuye, así incrementa los requerimientos de la corriente de soldadura para una velocidad de alimentación del alambre dado.

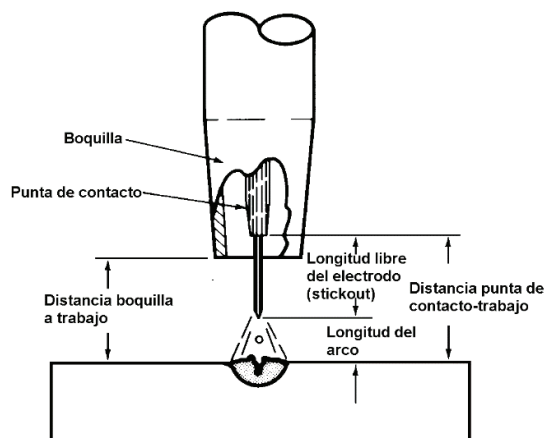


Figura 1. 35 Longitud libre del electrodo.

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

1.3.7 VENTAJAS DEL PROCESO GMAW

La gran rapidez del depósito permite alcanzar velocidades excepcionales en el trabajo, ya sea por las velocidades de avance que se obtienen o por reducción en el número de pases que se necesitan.

Como el electrodo continuo es alimentado automáticamente y no hay interrupciones para colocar el electrodo o remover la escoria, se puede mantener un factor de prácticamente 100% en el arco, obteniéndose eficiencia máxima al usar las altas velocidades del proceso, lo que se traduce en importantes economías de tiempo de soldadura.

Como el electrodo continuo se funde automáticamente a la misma velocidad con que es alimentado, el arco no requiere mayor atención de soldador, el que entonces puede dedicarlo constantemente al metal que está depositando, lo que significa un trabajo de mayor calidad con un operador menos especializado.

Al utilizar electrodos continuos sin fundentes, no se producen escorias, lo que permite efectuar soldaduras de pases múltiples sin interrupciones para limpiar; si

se trata de soldaduras de un pase, éstos quedan inmediatamente terminados y limpios, todo lo cual significa importantes economías de tiempo.

Por las altas velocidades de avance que se pueden obtener, si bien las densidades de corriente son altas, la zona que afecta es reducida y no se producen concentraciones de calor en el trabajo, por lo que los efectos desagradables del calor, tales como distorsiones o deformaciones, pueden reducirse al mínimo. Lo anterior es especialmente válido al soldar láminas delgadas.

CAPITULO 2

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS, ALEACIONES Y SUS ELEMENTOS

2.1 DEFINICIÓN DE ACERO

Los aceros son aleaciones de hierro carbono, aptas para ser deformadas en frío y en caliente. Generalmente el porcentaje de carbono no excede el 2,2 %. El acero se obtiene sometiendo el arrabio a un proceso de descarburación y eliminación de impurezas llamado afinado (oxidación del elemento carbono).

El acero es normalmente una aleación de un metal (el hierro) y un metaloide (el carbono) que puede aparecer en diferentes proporciones pero nunca superior al 2,2 % en peso de carbono. El acero debido a sus propiedades mecánicas, es una de las aleaciones más utilizadas por el hombre en diferentes circunstancias, tanto en la construcción como en la industria automotriz, petrolera, metalmeccánica, etc. Por lo tanto, la generación de acero es mucho más accesible en términos de costos que otros metales o aleaciones.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Existe una gran variedad en la forma de identificar y clasificar a los aceros. Sin embargo, la mayoría de los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos. Hay dos tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra numérica. La designación simbólica expresa normalmente las características físicas, químicas o tecnológicas del material y, en muchos casos, otras características suplementarias que permiten su identificación de una forma más precisa.

Por otro lado, la designación numérica expresa una codificación alfanumérica que tiene un sentido de orden o de clasificación de elementos en grupos para facilitar su identificación. En este caso, la designación no tiene un sentido descriptivo de características del material.

2.2.1 DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE CARBONO

Una de las clasificaciones del acero de acuerdo al porcentaje de carbono y de acuerdo al diagrama hierro carbono se lo clasifican en:

- **Aceros hipoeutectoides:** Cuando el porcentaje de carbono es inferior al 0,88% de carbono en peso.
- **Aceros eutectoides:** Son aceros cuyo porcentaje de carbono es igual al 0,88% en peso de carbono.
- **Aceros hipereutectoides:** Se caracterizan porque su contenido de carbono es superior al 0,88% hasta un valor máximo de 2,2 % en peso de carbono. Tal como se observa en la Figura 2.1.

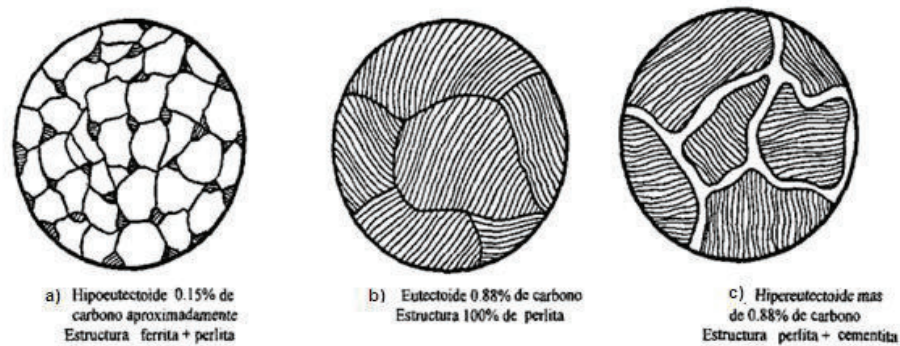


Figura 2. 1 Clasificación de los aceros de acuerdo

Fuente: Avner, Sydney

2.2.2 POR EL CONTENIDO DE CARBONO PRESENTE EN EL ACERO

Son denominados simplemente aceros al carbono, cuando no se especifican ni se certifican otros elementos aleantes. Estos aceros obtienen sus propiedades específicamente de su contenido de carbono.

Se clasifican, según el porcentaje de carbono, en:

- **Aceros de bajo carbono:** Son todos los tipos de acero que contienen entre 0,05 y 0,25% de carbono. En nuestro medio son conocidos como aceros dulces o simplemente como hierro dulce o hierro.
- **Aceros de mediano carbono:** Son todos los tipos de acero que contienen entre el 0,25 - 0,45% de carbono.
- **Aceros de alto carbono:** Son todos los tipos de acero que poseen entre 0,45 y 0,90% de carbono.
- **Aceros para herramientas:** Son los aceros que poseen entre el 0,90 y el 1,50% de carbono; generalmente ya contienen otros elementos de aleación, que les proporcionan o mejoran sus propiedades mecánicas.

2.2.3 POR GRADO DE COMPOSICIÓN

Aceros aleados: Contienen, además del carbono otros elementos en cantidades suficientes como para alterar sus propiedades (dureza, puntos críticos, tamaño del grano, templabilidad, resistencia a la corrosión). Al menos uno de sus otros elementos presentes en la aleación es igual o superior al presentado en el grupo siguiente:

- Aceros de baja aleación (elementos aleantes < 10%)
- Aceros de alta aleación (elementos aleantes > 10%)

Aceros de baja aleación: Son todos los aceros, cuya suma total de elementos de aleación no sobre-pasan el 10%, siendo hierro el restante. Algunos de estos aceros son: acero naval, Cor-Ten, T-1, C1320, 3120, E2517, etc.

Aceros de alta aleación: Son todos los aceros, cuya suma total de elementos de aleación sobrepasa el 10%, llegando en algunos casos hasta porcentajes superiores al 40%; tal es el caso de los aceros inoxidables.

Con respecto a su composición, puede ser de baja o alta aleación y los elementos que puede contener el acero pueden ser tanto deseables como indeseables, en forma de impurezas por ejemplo.

El cromo es el elemento aleado que más influye en la resistencia a la oxidación y a la corrosión de los aceros. Un 12% de cromo añadido al acero impide la corrosión del material en un medio ambiente húmedo. Para evitar la oxidación a altas temperaturas se puede necesitar hasta un 30 % de adición de cromo. El molibdeno y el wolframio también favorecen la resistencia a la oxidación.

El Níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al cromo y el Molibdeno mejora la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

2.2.4 POR SU APLICACIÓN

Existe una gran variedad de aceros para diferentes aplicaciones que van desde lo estructural hasta lo aeroespacial, sin embargo en esta sección se tratará aquellos aceros que son de uso común en aplicaciones para soldadura y en especial el acero de tubería empleado en este proyecto.

Los aceros se pueden clasificar según el uso al que se lo quiera destinar, siendo la clasificación la siguiente:

- Aceros rápidos
- Aceros pulvimetalúrgicos
- Aceros de trabajo en frío

- Aceros de trabajo en caliente
- Aceros para la transformación de materias plásticas
- Aceros al carbono
- Aceros de bonificación
- Aceros para rodamientos
- Aceros para muelles
- Aceros de cementación
- Aceros de nitruración
- Aceros de fácil mecanización
- Aceros microaleados
- Aceros al boro

2.2.5 SEGÚN LA NORMA AISI

La norma AISI (American Iron and Steel Institute) utiliza un esquema general para realizar la especificación de los aceros mediante la utilización de cuatro números, tal como se muestra en el ejemplo.

AISI ZYXX

Además de los números anteriores, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo en letras para indicar el proceso de manufactura. Decir que las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

El significado de los anteriores campos de numeración es la siguiente:

XX: indica el tanto por ciento (%) en contenido de carbono (C) multiplicado por 100;

Y: indica, para el caso de aceros de aleación simple, el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación;

Z: indica el tipo de acero (o aleación). Los valores que puede adoptar Z son los siguientes:

- **Z = 1:** si se trata de aceros al Carbono (corriente u ordinario);
- **Z = 2:** si se trata de aceros al Níquel;
- **Z = 3:** para aceros al Níquel-Cromo;
- **Z = 4:** para aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo;
- **Z = 5:** para aceros al Cromo;
- **Z = 6:** si se trata de aceros al Cromo-Vanadio;
- **Z = 7:** si se trata de aceros Al Tungsteno-Cromo;
- **Z = 8:** para aceros al Ni-Cr-Mo

Como ya se indicó, la anterior designación puede incorporar también letras adicionales para indicar lo siguiente:

- **E:** para indicar fusión en horno eléctrico básico.
- **H:** para indicar grados de acero con templeabilidad garantizada.
- **C:** para indicar fusión en horno por arco eléctrico básico.
- **X:** para indicar alguna desviación del análisis de norma.
- **TS:** para indicar que se trata de una Norma tentativa.
- **B:** para indicar que se trata de Grados de acero con un probable contenido mayor de 0.0005% en boro.
- **LC:** para indicar grados de acero con extra-bajo contenido en carbono (0.03% máx.).
- **F:** Grados de acero automático.

A continuación se adjunta la Tabla 2.1 en la que se resumen de los distintos tipos de aceros y su contenido aproximado de elementos principales de aleación, según AISI:

Tabla 2. 1 Clasificación de los aceros según la AISI-SAE.

| |
|--|
| 10XX – Aceros al carbono |
| 11XX – Aceros al carbono - resulfurizados |
| 12XX – Aceros al carbono - resulfurizados y refosforados |
| 13XX – Manganeso 1.75 |
| 23XX – Níquel 3.5 |
| 25XX – Níquel 5.0 |
| 31XX – Níquel 1.25 y cromo 0.6 |
| 33XX – Níquel 3.5 y cromo 1.5 |
| 40XX – Molibdeno 0.2 eo 0.25 |
| 41XX – Cromo 0.5, 0.8, 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, 0.30 |
| 43XX – Níquel 1.83, cromo 0.50, 0.80 y molibdeno 0.25 |
| 44XX – Molibdeno 0.53 |
| 46XX – Níquel 0.85, 1.83 y molibdeno 0.20, 0.25 |
| 47XX – Níquel 1.05, cromo 0.45, molibdeno 0.20, 0.35 |
| 48XX – Níquel 3.5 y molibdeno 0.25 |
| 50XX – Cromo 0.4 |
| 51XX – Cromo 0.8, 0.88, 0.93, 0.95, 1.0 |
| 61XX – Cromo 0.6, 0.95 y vanadio 0.13, 0.15 |
| 86XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.20 |
| 87XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.25 |
| 88XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.35 |
| 92XX – Silicio 2.0 |
| 93XX – Níquel 3.25, cromo 1.2, molibdeno 0.12 |
| 98XX – Níquel 1.0, cromo 0.8, molibdeno 0.25 |

Fuente: (SAE , 2014)

2.2.6 SEGÚN LA NORMA ASTM

La norma ASTM (American Society for Testing and Materials) no especifica la composición directamente, sino que más bien determina la aplicación o su ámbito de empleo. Por tanto, no existe una relación directa y biunívoca con las normas de composición.

El esquema general que esta norma emplea para la numeración de los aceros es:

ASTM YXX

donde,

Y es la primera letra de la norma que indica el grupo de aplicación según la siguiente lista:

- **A:** si se trata de especificaciones para aceros;
- **B:** especificaciones para no ferrosos;
- **C:** especificaciones para hormigón, estructuras civiles;
- **D:** especificaciones para químicos, así como para aceites, pinturas, etc.
- **E:** si se trata de métodos de ensayos;
- Otros...

Ejemplos:

A36: especificación para aceros estructurales al carbono (**SPECIFICATION FOR CARBON STRUCTURAL STEEL**).

A106 : especificación para tubería de aceros al carbono sin costura para servicio de alta temperatura; (**SPECIFICATION FOR SEAMLESS CARBON STEEL PIPE FOR HIGH-TEMPERATURE SERVICE**).

A continuación en la Tabla 2.2, se presenta las características de los aceros que son más comunes, según esta norma:

2.2.6.1 Especificación para tubería de aceros al carbono sin costura para servicio de alta temperatura

La especificación ASTM A106. "Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service", se utiliza para fabricación de tubería de acero para conducción de gas, petróleo, derivados del petróleo, CO₂, etc.

Luego de analizar algunas de las clasificaciones de los aceros se va a puntualizar el estudio de la tubería de acero ASTM A 106 Gr B. que es la especificación del material base que se utiliza para el presente estudio.

Tabla 2. 2 Clasificación de los aceros según la Norma ASTM

| Clasificación de los aceros, según ASTM | Límite elástico | | Tensión de rotura | |
|---|-----------------|-----|-------------------|---------|
| | Ksi | MPa | Ksi | Mpa |
| ASTM A36 | 36 | 250 | 58-80 | 400-550 |
| ASTM A53 Grado B | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A106 Grado B | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E | 34 | 235 | 58-71 | 400-490 |
| ASTM A139 Grado B | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A381 Grado Y35 | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A500 Grado A | 33 | 228 | >45 | >310 |
| Grado B | 42 | 290 | >58 | >400 |
| ASTM A501 | 36 | 250 | >58 | >400 |
| ASTM A516 Grado 55 | 30 | 205 | 55-75 | 380-515 |
| Grado 60 | 32 | 220 | 60-80 | 415-550 |
| ASTM A524 Grado I | 35 | 240 | 60-85 | 415-586 |
| Grado II | 30 | 205 | 55-80 | 380-550 |
| ASTM A529 | 42 | 290 | 60-85 | 415-550 |
| ASTM A570 Grado 30 | 30 | 205 | >49 | >340 |
| Grado 33 | 33 | 230 | >52 | >360 |
| Grado 36 | 36 | 250 | >53 | >365 |
| Grado 40 | 40 | 275 | >55 | >380 |
| Grado 45 | 45 | 310 | >60 | >415 |
| Grado 50 | 50 | 345 | >65 | >450 |
| ASTM A709 Grado 36 | 36 | 250 | 58-80 | 400-550 |
| API 5L Grado B | 35 | 240 | 60 | 415 |
| Grado X42 | 42 | 290 | 60 | 415 |

Fuente: (ASTM, 2014)

2.2.6.1.1 Alcance de la norma

Esta especificación cubre las tuberías de acero al carbono sin costura para servicio de alta temperatura. En NPS 1/8 a NPS 48 [DN 6 DN 1200] inclusive, con nominal (promedio) de la pared espesor como se da en ASME B 36. Estos tubos son adecuados para soldadura, doblado, bridado, y las operaciones de formación similar. Cuando este acero se va a soldar, se debe utilizar un procedimiento

soldadura adecuado para el grado del acero y el uso previsto o servicio. Las pruebas mecánicas de las muestras deberá incluir la tracción, flexión, pruebas hidrostáticas y ensayos no destructivos.

2.2.6.1.2 Proceso de Fabricación

El acero se fabrica de hierro, Iniciando con la fusión primaria en un horno de hogar abierto, oxígeno básico, o horno eléctrico, posiblemente en combinación con desgasificación separada o refinación. La fusión secundaria, utiliza la re fusión por electroescoria o refundición de arco al vacío.

Los Acero fundidos en lingotes o colada de fundición son permitidos.

2.2.6.1.3 Tratamiento Térmico

La tubería laminada en caliente no tiene por qué ser tratada térmicamente, cuando la temperatura de la tubería terminada “hot-finished”, haya sido de 650 ° C [1200 ° F] o superior.

Un tubo laminado en frío será tratado térmicamente después del laminado final en frío a una temperatura de 650° C [1200 ° F] o superior.

2.2.6.1.4 Requisitos generales

El material relacionado a esta especificación deberá ser conforme a los requisitos aplicables de la presente edición de la Especificación A530 / A530M a menos que se disponga otra cosa.

2.2.6.1.5 Composición Química

El acero debe cumplir con los requisitos en cuanto a composición química prescrito en la Tabla 2.3.

2.2.6.1.6 Requisitos de Tracción

El material debe cumplir con los requisitos en cuanto a propiedades de tracción suministradas en la Tabla 2.4.

Tabla 2.3 Composición química del acero ASTM A 106 Gr B.

| | Grado A | Grado B | Grado C |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Carbono, max | 0.25 | 0.30 | 0.35 |
| Manganeso | 0.27-0.93 | 0.29-1.06 | 0.29-1.06 |
| Fósforo, max | 0.035 | 0.035 | 0.035 |
| Azufre, max | 0.035 | 0.035 | 0.035 |
| Silicio, min | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Cromo, max | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Cobre, max | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Molibdeno, max | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Níquel, max | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Vanadio, max | 0.08 | 0.08 | 0.08 |

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2.4 Propiedades mecánicas del acero ASTM A 106.

| Propiedad mecánica | Grado A | Grado B | Grado C |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| Resistencia a la tracción, min: | 48,000 psi [330 MPa] | 60,000 psi [415 MPa] | 70,000 psi [485 MPa] |
| Límite de fluencia, min: | 30,000psi [205 MPa] | 35,000psi [240 MPa] | 40,000psi [275 MPa] |

Fuente: (ASTM, 2014)

2.2.6.1.7 *Requisitos Doblado*

Para tubería DN 50 [NPS 2] y menores, una longitud suficiente de la tubería deberá soportar un doblado en frío a través de 90 ° alrededor de un mandril cilíndrico, cuyo diámetro es doce veces el diámetro exterior (como se muestra en ASME B 36.10M) de la tubería, sin desarrollar grietas. Cuando se pide una tubería bobinada, la tubería debe soportar el doblado en frío 180 ° alrededor de un mandril cilíndrico, cuyo diámetro es ocho veces el diámetro exterior (como se muestra en ASME B 36.10M) de la tubería, sin fallar.

Para tubos cuyo diámetro supera 635 mm [25 in.] y cuando el diámetro exterior especificado dividido para el espesor nominal de la pared, es de 7,0 ó menos, la prueba de doblado debe ser llevado a cabo.

Las probetas de ensayo de doblado se debe realizar a temperatura ambiente con un ángulo de giro de 180 ° con el diámetro interior de la curva de 25 mm [1 in.] sin formación de grietas en la parte exterior de la parte doblada.

2.2.6.1.8 *Presión Hidrostática*

Con excepción de lo permitido por la norma, cada longitud de la tubería deberá ser sometida a la prueba hidrostática sin fuga a través de la pared del tubo.

2.2.6.1.9 *Pruebas eléctricas No Destructivas*

Como una alternativa a la prueba hidrostática el cuerpo completo de cada tubo debe ser probado con una prueba no destructiva eléctrica de acuerdo con la norma E213, E309, E570. En tales casos, el marcado de cada tramo de tubería de manera proporcionada incluirá las letras "ECM".

El método debe ser capaz de detectar la presencia y ubicación de imperfecciones significativas, de orientación longitudinal y circunferencial; sin embargo, diferentes

técnicas necesitan ser empleadas para la detección de tales imperfecciones con diferentes orientaciones:

- Ultrasonido
- El examen de corrientes parásitas
- El examen de pérdida de flujo
- La prueba hidrostática

2.2.6.1.10 Aplicaciones

Las tuberías son utilizadas especialmente para la conducción de fluidos como agua y gas, sin embargo también se usan con fines estructurales.

2.3 TABLA DE DIMENSIONES DE TUBERÍAS

Hay dos principales normas que se aplican a las dimensiones de la tubería la Norma API 5L y la ASME B36.10, en la que nos entrega las dimensiones de los espesores de acuerdo al diámetro de la tubería y de la cédula (Schedule).

2.3.1 ANSI / ASME B36.10

Esta norma se aplica a tubos con costura y sin costura de acero forjado. Para una interpretación sencilla hemos dividido nuestra tabla de dimensiones en dos:

- ANSI / ASME B36.10 para los Schedules de 5 a 80
- ANSI / ASME B36.10 para los Schedules de entre 100 y XXS (doble extra-fuerte).

Las dimensiones y espesores de las tuberías, de acuerdo a su diámetro y espesores (schedules) se indican en la Tabla 2.5.

Tabla 2. 5 ANSI / ASME B 36.10 para los Schedules de 5 a 80

| Pipe size | | ANSI B36.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------|---------------------------------|----|------|------|--------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|--|--|
| Outside Diameter | | 5 | | | | 10 | | | | 20 | | | | 30 | | | | 40 | | | | 60 | | | | 80 | | | | |
| DN | O.D. | NPS | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | mm | ko/m | | |
| | | Wall thickness and weight kg/mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 10.3 | 1/8 | | | 1.24 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 13.7 | 1/4 | | | 1.65 | 0.49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 17.1 | 3/8 | | | 1.65 | 0.63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 21.3 | 1/2 | | | 1.65 | 0.80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 26.7 | 3/4 | | | 1.65 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 33.4 | 1 | | | 1.65 | 1.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 42.2 | 1 1/4 | | | 1.65 | 1.65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 48.3 | 1 1/2 | | | 1.65 | 1.91 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 60.3 | 2 | | | 1.65 | 2.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 73.0 | 2 1/2 | | | 2.11 | 3.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 88.9 | 3 | | | 2.11 | 4.51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 101.6 | 3 1/2 | | | 2.11 | 5.18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 114.3 | 4 | | | 2.11 | 5.84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 141.3 | 5 | | | 2.77 | 9.47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 168.3 | 6 | | | 2.77 | 11.32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 219.1 | 8 | | | 2.77 | 14.79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | 273.1 | 10 | | | 3.40 | 22.63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300 | 323.9 | 12 | | | 3.96 | 31.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 350 | 355.6 | 14 | | | 3.96 | 34.36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 400 | 406.4 | 16 | | | 4.19 | 41.58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 450 | 457.0 | 18 | | | 4.19 | 46.81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500 | 508.0 | 20 | | | 4.78 | 59.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500 | 559.0 | 22 | | | 4.78 | 65.24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 600 | 610.0 | 24 | | | 5.54 | 82.47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 600 | 660.0 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 700 | 711.0 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 700 | 762.0 | 30 | | | 6.35 | 118.31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 800 | 813.0 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 800 | 864.0 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 900 | 914.0 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 900 | 965.0 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1016.0 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1067.0 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1118.0 | 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1168.0 | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1219.0 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1321.0 | 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1422.0 | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1524.0 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 | 1626.0 | 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Some of these dimensions are outside PHKONE's production programme.

Fuente: (B36.10, 2010)

CAPITULO 3

CALIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

BAJO LOS REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO ASME

SECCIÓN IX

La Sección IX del Código de Calderas y Recipientes Sometidos a Presión de la ASME se relaciona con la calificación de soldadores, operarios de soldadura, soldadores y operarios para uniones fuerte, y los procedimientos que ellos emplean al soldar o al hacer uniones fuertes de acuerdo con el código mencionado y con el Código ASME B31 para Tubería Presión. Este código se encuentra dividido en dos partes: la Parte QW que corresponde a los requerimientos para soldadura y la Parte QB contiene requerimientos para uniones fuertes.

3.1 REQUISITOS DE LA SOLDADURA EN LOS CÓDIGOS DE FABRICACIÓN

3.1.1 PREPARACIÓN DE CUPONES DE PRUEBA

En este capítulo se hace referencia al Código ASME sección IX, por lo que se mantiene la misma codificación de los artículos de este código.

La preparación se refiere a la preparación de la junta a ser soldada, como dimensiones de la tubería, diámetros, espesores, diseño del bisel.

3.1.1.1 Metal Base

Los metales base pueden estar formados ya sea de plancha, tubo u otras formas de metal. La calificación en plancha también califica para soldadura de tubo y viceversa. Las dimensiones del cupón de ensayo deben ser suficientes para proveer las muestras de ensayos requeridos.

3.1.1.2 Tipo y Dimensiones de Soldaduras de Ranura. (QW-212)

Excepto como sea provisto de otro modo en QW-250, el tipo y las dimensiones de la ranura de soldadura es de 230 mm (9") de longitud o de acuerdo a los requerimientos de la máquina para realizar los ensayos, el tipo y dimensiones no son variables esenciales.

3.1.1.3 El tamaño de los cupones de ensayos

El tamaño de los cupones de ensayo, los límites de calificación, los ensayos y exámenes requeridos, y las muestras de ensayos serán como se especifica en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Límites de espesores y muestras de ensayos para calificación de procedimiento de soldadura.

| Espesor del Cupon de Ensayo (T) | Capa Superpuesta Resistente a la Corrosión Nota (1) | | Capa Superpuesta de Recubrimiento Duro (Resistente al Desgaste) Nota (1) | |
|---|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| | Espesor Nominal del Metal Base Calificado (T) | Numero y Tipos de Ensayos Requeridos | Espesor Nominal del Metal Base Calificado (T) | Numero y Tipos de Ensayos Requeridos |
| Ensayo de Calificacion de Procedimiento T Menor de 1" (25.4) T igual a 1" (25.4) y mayores | T Calificado a Ilimitado 1" (25.4) a Ilimitado | } Notas: (4), (5) y (9) | T Calificado hasta 1" (25.4) 1" (25.4) a Ilimitado | } Notas: (3), (7), (8) y (9) |
| Ensayo de Calificacion de Habilidades T Menor de 1" (25.4) T igual a 1" (25.4) y mayores | T Calificado a Ilimitado 1" (25.4) a Ilimitado | } Nota: (6) | T Calificado a Ilimitado 1" (25.4) a Ilimitado | } Notas: (8) y (10) |

Fuente: (ASME, 2010)

Notas:

(1) La calificación del cupón de ensayo debe consistir del metal base no menor de 6" (150 mm) X 6" (150 mm). El recubrimiento de la capa superpuesta de soldadura debe ser como mínimo de 1-1/2" (38 mm) de ancho por 6" (150 mm) de largo aproximadamente. Para la calificación en tubos, la longitud del tubo debe ser de 6" (150 mm) mínimo, y un diámetro mínimo para permitir el número requerido de muestras de ensayos. La capa superpuesta de soldadura debe ser continua alrededor de la circunferencia del cupón de ensayo. Para los procesos (solamente calificación de habilidades) depositar un cordón de soldadura de ancho mayor de 1/2" (13 mm), la capa superpuesta de soldadura debe consistir de un mínimo de tres cordones de soldadura en la primera capa.

(2) El cupón de ensayo del metal base debe tener dimensiones mínimas de 6" (150 mm) de ancho X 6" (150 mm) de largo aproximadamente con una capa de superficie dura de un mínimo de 1-1/2" (38 mm) de ancho X 6" (150 mm) de largo. El mínimo espesor de la superficie dura debe ser como el especificado en la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS). Por otra parte, la calificación puede ser desarrollada sobre un cupón de ensayo del metal base que representa el tamaño de la parte de producción. Para la calificación en un tubo, la longitud del tubo debe ser de 6" (150 mm) mínima, y de un diámetro mínimo para permitir el número de muestras de ensayos requeridos. La capa superpuesta de soldadura debe ser continua alrededor de la circunferencia del cupón de ensayo.

(3) La superficie del recubrimiento duro debe ser examinada por el método de líquidos penetrantes (PT) y debe presentar las normas de aceptación según QW-195.2 o como se especifique en la WPS. Las condiciones superficiales antes de la examinación por líquidos penetrante está permitida.

(4) La superficie resistente a la corrosión debe ser examinada por el método de líquidos penetrantes (PT) y debe presentar las normas de aceptación como se especifica en QW-195.

(5) Después de la examinación por líquidos penetrante, se deben hacer cuatro ensayos de doblez de lado del cupón de ensayo de acuerdo con QW-161. Las muestras de ensayos deben ser cortadas a fin de que existan cualquiera de dos muestras paralelas y dos muestras perpendiculares a la dirección de la soldadura, o cuatro muestras perpendiculares a la dirección de la soldadura. Para los cupones que son menores de 3/8" (10 mm) de espesor, en ancho de la muestra de doblez de lado deben ser reducidos al espesor del cupón de ensayo. Las muestras de doblez de lado deben ser removidas de las ubicaciones especificadas en QW-462.5 (c) o QW-462.5 (d).

(6) El cupón de ensayo debe ser seccionado para hacer las muestras de doblez de lado perpendiculares a la dirección de la soldadura en concordancia con QW-161. Las muestras de ensayo deben ser removidas en las ubicaciones especificadas en QW-462.5 (c) o QW-462.5 (d).

(7) Después de condicionar la superficie al espesor mínimo especificado en la WPS, un mínimo de tres ensayos de dureza debe hacerse sobre cada una de las muestras de la ubicación mostrada en QW-462.5 (b) o QW-462.5 (e), todas las lecturas del ensayo deben presentar los requerimientos de la WPS.

(8) El metal base debe ser seccionado transversalmente a la dirección de la capa superpuesta de superficie dura. Las dos caras de la superficie dura expuestas por el seccionamiento deben ser pulidas y atacadas con ácido con una solución apropiada y deben ser examinadas visualmente con magnificación X5 para grietas en el metal base o la zona afectada por el calor (HAZ), falta de fusión, u otros defectos lineales. La capa superpuesta y el metal base deben presentar los requerimientos especificados en la WPS.

Todas las caras expuestas deben ser examinadas. Ver QW-462.5 (b) para tubos y QW-462.5 (e) para planchas.

(9) Cuando se especifica una composición química en la WPS, las muestras de análisis químico deben ser removidas según las ubicaciones especificadas en QW-462.5 (b) o

QW-462.5(a) y deben estar dentro del rango especificado en la WPS. Este análisis químico no es requerido cuando una composición química no es especificada en la WPS.

(10) A un espesor mayor o igual al mínimo espesor especificado en la WPS, la superficie de la soldadura debe ser examinada por el método de líquidos penetrantes (PT) y debe presentar las normas de aceptación según QW-195.2 o como se especifica en la WPS. Se permite el condicionamiento de la superficie antes de la examinación por líquidos penetrantes.

3.2 VARIABLES DE SOLDADURA

3.2.1 GENERALIDADES

Tipos de Variables para Especificaciones de Procedimientos de Soldadura (WPS). Estas variables (listadas para cada proceso de soldadura en QW-252 hasta incluso QW-265) se subdividen en variables esenciales, variables esenciales suplementarias, y variables no esenciales (QW-401). El “Resumen de Variables” listado en las Tablas es sólo para referencia. Vea la variable completa en Datos de Soldadura del Artículo IV.

3.2.2 VARIABLES ESENCIALES

Las variables esenciales son aquellas en las cuales un cambio, como se describe en las variables específicas, es considerado que afecta las propiedades mecánicas del conjunto soldado, y requerirá recalificación de la WPS.

3.2.3 VARIABLES ESENCIALES SUPLEMENTARIAS

Se requieren para metales para los cuales otras secciones especifican ensayos de resistencia al impacto y son además las variables esenciales para cada proceso de soldadura.

3.2.4 VARIABLES NO ESENCIALES

Las variables no esenciales son aquellas en las cuales un cambio, como se describe en las variables específicas, puede ser hecho en la WPS sin recalificación.

Las variables de los procesos de soldadura que se utilizan en este proyecto se enuncian en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Tabla 3.2 Variables de soldadura para SMAW

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE VARIABLES DE SOLDADURA
SOLDADURA POR CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW)

| PARAGRAFOS | RESUMEN DE VARIABLES | ESENCIALES | ESENCIALES SUPLEMENTARIAS | NO ESENCIALES |
|---|----------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------|
| QW-402 JUNTAS | .1 | φ Diseño de ranura | | X |
| | .4 | - Respaldo | | X |
| | .10 | φ Separacion de raiz | | X |
| | .11 | +/- Retenedores | | X |
| QW-403 METAL BASE | .5 | φ Numero de grupo | | X |
| | .6 | Impactos limites | | X |
| | .8 | φ T calificado | X | |
| | .9 | t pase > ½" (13mm) | X | |
| | .11 | φ No- P Calificado | X | |
| | .13 | φ No- P 5/9/10 | X | |
| QW-404 Metal de Relleno | .4 | φ Numero - F | X | |
| | .5 | φ Numero - A | X | |
| | .6 | φ Diametro | | X |
| | .7 | φ Diametro > de ¼" | | X |
| | .12 | φ Clasificacion | | X |
| | .30 | φ t | X | |
| | .33 | φ Clasificacion | | X |
| QW-405 POSICION | .1 | + Posicion | | X |
| | .2 | φ Posicion | | X |
| | .3 | φ ↑ ↓ Soldadura vertical | | X |
| QW-406 PRECALENTAMI- ENTO | .1 | Disminuci. >100°F | X | |
| | .2 | φ Mantener precal. | | X |
| | .3 | Aumento > 100°F (IP) | | X |
| QW-407 PWHT | .1 | φ PWHT | X | |
| | .2 | φ PWHT (T y rango de T) | | X |
| | .4 | T Limite | X | |
| QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS | .1 | > Entrada de calor | | X |
| | .4 | φ Corriente o polaridad | | X |
| | .8 | φ Rango de intensidad y voltaje | | X |
| QW-410 TECNICA | .1 | φ Recto/ ondulado | | X |
| | .5 | φ Metodo de limpieza | | X |
| | .6 | φ Metodo de ranurar atras | | X |
| | .9 | φ Pase/lado simple Multiple | | X |
| | .25 | φ Manual o automatico | | X |
| | .26 | +/- Martillado | | |
| | .64 | Uso de proceso termico | X | |

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3. 2 Variables de soldadura para SMAW. (Continuación)

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE VARIABLES DE SOLDADURAS
SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODOS REVISTIDOS (SMAW)

| VARIABLES PARA PROCESOS ESPECIALES | | | | |
|------------------------------------|-----|---|---|--|
| PARAGRAFO | | VARIABLES ESENCIALES | | VARIABLES NO ESENCIALES PARA HFO y CRO |
| | | CAPA SUPER PUESTA DE SUPERFICIE DURA (HFO) QW-216 | CAPA SUPER PUESTA RESISTENTE A LA CORROSION (CRO) QW-214 | |
| QW-402 Juntas | .16 | < t terminado | < t terminado | |
| QW-403 Metales base | .20 | φ Numero - P | φ Numero - P | |
| | .23 | φT Calificado | φ T Calificado | |
| QW-404 Metales de Relleno | .12 | φ Clasificacion | | |
| | .37 | | φ Numero - A | |
| | .38 | | | φ Diametro(1era capa) |
| QW-405 Posiciones | .4 | + Posiciones | + Posiciones | |
| QW-406 Pre calentamiento | .4 | Disminución > 100 °F (55° C) precalent. > Temp. Entre pases | Disminución > 100 °F (55° C) precalent. > Temp. Entre pases | |
| QW-407 PWHT | .6 | φ PWHT | | |
| | .9 | | φ PWHT φ | |
| QW-409 Características Electricas | .4 | φ Corriente o Polaridad | φ Corriente o Polaridad | |
| | .22 | Incremento > 10% 1era capa | Incremento > 10% 1era capa | |
| QW-410 Tecnica | .1 | | | φ Recto/ondulado |
| | .5 | | | φ Metodo de limpieza |
| | .26 | | | +/- Martillado |
| | .38 | φ Capa simple a Multiple | φ Capa simple a Multiple | |

LEYENDA: + Adición > Aumentar/mayor que ↑ Ascendente ← A izquierdas
 - Eliminación < Disminuir/menor que ↓ Descendente → A derechas φ Cambio

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3.3 Variables de soldadura para GMAW y FCAW

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE VARIABLES DE SOLDADURAS (WPS)
 PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO (GMAW) Y (FCAW)

| PARAGRAFO | RESUMEN DE VARIABLES | ESENCIALES | ESENCIALES SUPLEMENTARIAS | NO ESENCIALES |
|------------------------------|--|------------|---------------------------|---------------|
| QW-402 Juntas | .1 ϕ Diseño de ranura | | | X |
| | .4 - Respaldo | | | X |
| | .10 ϕ Abertura de raíz | | | X |
| | .11 \pm Retenedores | | | X |
| QW-403 Metales base | .5 ϕ Numero de grupo | | X | |
| | .6 Limites de T | | X | |
| | .8 ϕ T Calificado | X | | |
| | .9 t Pase 1/2" (13mm) | X | | |
| | .10 Limites de T (Arco Corto Circuito) | X | | |
| | .11 ϕ No- P Calificado | X | | |
| | .13 ϕ No. P 5/9/10 | X | | |
| QW-404 Metales de relleno | .4 ϕ Numero - F | X | | |
| | .5 ϕ Numero- A | X | | |
| | .6 ϕ Diámetro | | | |
| | .12 ϕ Clasificación | | X | |
| | .23 ϕ Forma del producto del metal de relleno | X | | |
| | .24 $\pm \phi$ Suplementario | X | | |
| | .27 ϕ Elementos aleantes | X | | |
| | .30 ϕ t | X | | |
| | .32 Limites de t | X | | |
| | .33 ϕ Clasificación | | | |
| QW-405 Posiciones | .1 + Posicion | | | |
| | .2 ϕ Posicion | | X | |
| | .3 ϕ \updownarrow Progresión vertical | | | |
| QW-406 Precaalentamiento | .1 Disminuir >100°F (55°C) | X | | |
| | .2 ϕ Mant. Prealentam. | | | |
| | .3 Aumentar >100°F (55°C) (IP) | | X | |
| QW-407 PWHT | .1 ϕ PQHT | X | | |
| | .2 ϕ PWHT (Rango de T y T) | | X | |
| | .4 Limites de T | X | | |

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3. 3 Variables de soldadura para GMAW y FCAW. (Continuación)

**ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE VARIABLES DE SOLDADURAS (WPS)
PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO (GMAW) Y (FCAW) (CONT.)**

| PARAGRAFO | RESUMEN DE VARIABLES | ESENCIALES | ESENCIALES COMPLEMENTARIAS | NO ESENCIALES |
|--|--------------------------|--|-------------------------------|------------------|
| QW-408 Gas | .1 | ± Trail o ϕ composicion | | X |
| | .2 | ϕ Simple, mezcla o % | X | |
| | .3 | ϕ Velocidad de flujo | | X |
| | .5 | ± o ϕ Flujo de respaldo | | X |
| | .9 | - o ϕ Composicion | X | |
| | .10 | ϕ Proteccion o trailing | X | |
| QW-409 Caracte- ristica Eléctrica | .1 | > Entrada de calor | | X |
| | .2 | ϕ Modo de transferencia | X | |
| | .4 | ϕ Corriente y polaridad | | X |
| | .8 | ϕ Rango de intensidad y voltaje | | X |
| QW-410 Tecnicas | .1 | ϕ Recto/ ondulado | | X |
| | .3 | ϕ Orificio, copa o tamaño de la boquilla | | X |
| | .5 | ϕ Metodo de limpieza | | X |
| | .6 | ϕ Metodo de ranurado atras | | X |
| | .7 | ϕ Oscilación | | X |
| | .8 | ϕ Distancia tubo-pieza | | X |
| | .9 | ϕ Pase/lado simple a múltiple | | X |
| | .10 | ϕ Electrodo simple a múltiple | | X |
| | .15 | ϕ Separación del electrodo | | X |
| | .25 | ϕ Manual o automático | | X |
| | .26 | ± Martillado | | X |
| .64 | Uso de procesos térmicos | X | | |

LEYENDA: + Adición > Aumentar/mayor que ↑ Ascendente ← A izquierdas
 - Eliminación < Disminuir/menor que ↓ Descendente → A derechas
 ϕ Cambio

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3. 3 Variables de soldadura para GMAW y FCAW. (Continuación)

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE VARIABLES DE SOLDADURAS (WPS)
 PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO (GMAW) Y (FCAW) (CONT.)

| VARIABLES DE PROCESOS ESPECIALES | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|---|---|--|
| PARAGRAFO | VARIABLES ESENCIALES | | | VARIABLES NO ESENCIALES PARA HFO Y CRO |
| | | CAPA SUPERPUESTA DE METAL DE SOLDADURADE SUPERFICIE DURA (HFO) (QW-216) | CAPA SUPERPUESTA DE METAL DE SOLDADURA RESISTENTE A LA CORROSION (CRO) (QW-214) | |
| QW-402 Juntas | .16 | < t Acabado | < t Acabado | |
| QW-403 Metales base | .20 | φ Numero - P | φ Numero - P | |
| | .25 | φ T Calificado | φ T Calificado | |
| QW-404 Metales de relleno | .6 | | | φ Tamaño de elec. nominal |
| | .12 | φ Clasificación | | |
| | .23 | φ Forma del producto del metal de relleno | φ Forma del producto del metal de relleno | |
| | .24 | ± o φ > 10% en metal de relleno suplementario | | |
| | .27 | φ Elementos aleantes | | |
| | .37 | | φ Numero - A | |
| QW-405 Posiciones | .4 | + Posicion | + Posicion | |
| QW-406 Pre calentamiento | .4 | Disminución > 100 °F (55° C) precalent. > Temp. Entre pases | | |
| QW.407 PWHT | .6 | φ PWHT | | |
| | .9 | | φ PWHT | |
| QW408 Gas | .2 | φ Simple, mezcla o % | φ Simple, mezcla o % | |
| | .3 | | | φ Velocidad de flujo |
| QW-409 Características eléctricas | .4 | φ Corriente y polaridad | φ Corriente y polaridad | |
| | .26 | 1era. Capa – entrada de calor > 10% | 1era. Capa – entrada de calor > 10% | |
| QW-410 Tecnicas | .1 | | | φ Recto/ondulado |
| | .3 | | | φ Orificio/copa, tamaño de boquilla |
| | .5 | | | φ Metodo de limpieza |
| | .7 | | | φ Oscilación |
| | .8 | | | φ Distancia tubo-pieza |
| | .25 | | | φ manual o automatic. |
| | .26 | | | + Martillado |
| | .38 | φ Capa simple a múltiple | φ Capa simple a múltiple | |
| .50 | φ Numero de electrodos | φ Numero de electrodos | | |

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3.4 Variables de soldadura para GTAW

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE VARIABLES DE SOLDADURAS (WPS)
 PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO (GTAW).

| PARAGRAFO | RESUMEN DE VARIABLES | ESENCIALES | ESENCIALES SUPLEMENTARIAS | NO ESENCIALES |
|------------------------------|--|------------|---------------------------|---------------|
| QW-402 Juntas | .1 ϕ Diseño de ranura | | | X |
| | .5 + Respaldo | | | X |
| | .10 ϕ Separación de raíz | | | X |
| | .11 \pm Retenedores | | | X |
| QW-403 Metales base | .5 ϕ Numero de grupo | | X | |
| | .6 Limites de T | | X | |
| | .8 T Calificado | X | | |
| | .11 ϕ No. P Calificado | X | | |
| | .13 ϕ No. P 5/9/10 | X | | |
| QW-404 Metales de relleno | .3 ϕ Tamaño | | | X |
| | .4 ϕ Numero F | X | | |
| | .5 ϕ Numero A | X | | |
| | .12 ϕ Clasificación | | X | |
| | .14 \pm Relleno | X | | |
| | .22 \pm Inserto consumible | | | X |
| | .23 ϕ Forma de producto de metal de relleno | X | | |
| | .30 ϕ t | X | | |
| | .33 ϕ Clasificación | | | |
| .50 \pm Fundente | | | | |
| QW-405 Posicion | .1 + Posicion | | | X |
| | .2 ϕ Posicion | | X | |
| | .3 ϕ \uparrow \downarrow Progresión | | | X |
| QW-406 Precalentamiento | .1 Disminuir > 100°F (55°C) | X | | |
| | .3 Aumentar > 100°F (55°C) (IP) | | X | |
| QW-407 PQHT | .1 ϕ PWHT | X | | |
| | .2 ϕ PWHT | | X | |
| | .4 Limites de T | X | | |
| QW-408 Gas | .1 \pm Trail o ϕ Composicion | | | X |
| | .2 ϕ Simple, mezcla o % | X | | |
| | .3 ϕ Velocidad de flujo | | | X |
| | .5 \pm o ϕ flujo de respaldo | | | X |
| | .9 - Respaldo o ϕ de composicion | X | | |
| | .10 ϕ Proteccion o trailing | X | | |

LEYENDA: + Adición > Aumentar/mayor que \uparrow Ascendente \leftarrow A izquierdas ϕ Cambio
 - Eliminación < Disminuir/menor que \downarrow Descendente \rightarrow A derechas

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3. 4 Variables de soldadura para GTAW (Continuación)

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE VARIABLES DE SOLDADURAS (WPS)
PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO (GTAW) (CONT.)

| PARAGRAFO | RESUMEN DE VARIABLES | ESENCIAL | ESENCIAL SUPLEMENTARIA | NO ESENCIAL |
|--------------------------------------|---|----------|------------------------|-------------|
| QW-409 Características eléctricas | .1 > Entrada de calor | | X | |
| | .3 ± Intensidad de corriente pulsante, I | | | X |
| | .4 φ Corriente o polaridad | | X | X |
| | .8 φ Rango de intensidad y voltaje | | | X |
| | .12 φ Electrodo de tungsteno | | | X |
| QW-410 Técnicas | .1 φ Recto/ondulado | | | X |
| | .3 φ Orificio, copa, o tamaño de boquilla | | | X |
| | .5 φ Metodo de limpieza | | | X |
| | .6 φ Metodo de ranurado atras | | | X |
| | .7 φ Oscilacion | | | X |
| | .9 φ Pase/lado simple a multiple | | X | X |
| | .10 φ Electrodo simple a multiple | | X | X |
| | .11 φ De camara cerrada a abierta | X | | |
| | .15 φ Separacion del electrodo | | | X |
| | .25 φ Manual o automatico | | | X |
| | .26 ± Martillado | | | X |
| | .64 Uso de procesos termicos | X | | |

LEYENDA: + Adición > Aumentar/mayor que ↑ Ascendente ← A izquierdas φ Cambio
 - Eliminación < Disminuir/ menor que ↓ Descendente → A derechas

Fuente: (ASME, 2010)

3.3 NÚMEROS P

3.3.1 AGRUPACION DE MATERIALES

Los Números P son asignados a los metales base con el propósito de reducir el número de calificaciones de procedimientos de soldadura y soldaduras fuertes (Brazing) requeridos.

Los números P son designaciones alfanuméricas, y son únicas, por ejemplo, si un mismo número P está acompañado de un código alfanumérico diferente se considera materiales distintos así tengan el mismo valor de P (por ejemplo un material con un P-Nº. 5A es diferente a un P- Nº. 5B o P- Nº. 5C).

En adición, a los metales base ferrosos les han sido asignados números de grupos, creando subconjuntos de números P que son usados cuando las WPS's son requeridas para ser calificadas por ensayos de impacto por otras secciones o códigos. Estas asignaciones se basan esencialmente en características comparables de metal base, tales como composición, soldabilidad, facilidad de uniones fuertes, y propiedades mecánicas, en donde esto se puede hacer lógicamente. Estas asignaciones no implican que los metales base pueden ser sustituidos en forma indiscriminada en lugar de un metal base que se usó en el ensayo de calificación sin consideración de la compatibilidad desde el punto de vista de propiedades metalúrgicas, tratamiento térmico post soldadura, diseño, propiedades mecánicas, y requerimientos de servicio. La tabla 3.5; muestra los grupos de asignación para varios sistemas de aleaciones:

Si un metal base no listado tiene la misma designación de número UNS como un metal base listado en la tabla 3.5 se le debe considerar como asignado a aquel Numero P.

Existen instancias donde los materiales asignados a un Numero P o S o Grupo han sido reasignados para un Numero P, S o Grupo diferente en ediciones pasadas.

Tabla 3. 5 Grupos de asignación de los números P, para varios sistemas de aleaciones.

| METALES BASE | SOLDADURAS | UNIONES FUERTES |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ACERO Y SUS ALEACIONES | P - No. 1 hasta P - No. 15F | P No. 101 hasta P No. 103 |
| ALUMINIO Y SUS ALEACIONES | P - No. 21 hasta P - No. 26 | P- No. 104 Y P - No. 105 |
| COBRE Y SUS ALEACIONES | P- No. 31 hasta P- No. 35 | P - No. 107 Y P - No. 108 |
| NIQUEL Y SUS ALEACIONES | P - No. 41 hasta P - S No. 49 | P - No. 110 hasta P - No. 112 |
| TITANIO Y SUS ALEACIONES | P - No. 51 hasta P - No. 53 | P - No. 115 |
| ZIRCONIO Y SUS ALEACIONES | P - No. 61 hasta P - No. 62 | P o S No. 117 |

Fuente: (ASME, 2010)

Las calificaciones de procedimientos y habilidades que fueron calificadas bajo la asignación previa de un Numero P, S o Grupo pueden continuar siendo usadas bajo la nueva asignación de Numero P o Grupo, el WPS suministrado es revisado para limitar los materiales calificados para soldar a aquellos asignados a los nuevos Números P, S o Grupos para el material específico originalmente usados para el cupón de ensayo de calificación de procedimiento.

Otros materiales de Numero P, S o Grupo originales pueden ser reasignados para el mismo Número P, S o Grupo para ser considerado calificado para soldar bajo la WPS revisada.

3.4 NÚMEROS F

Los siguientes números F dados en la Tabla 3.6, se agrupan las varillas de soldadura y electrodos. Está basada esencialmente en su característica de utilización, la cual fundamentalmente determina la habilidad de los soldadores a realizar soldaduras satisfactorias con un metal de aporte dado. Esta agrupación

es hecha para reducir el número de calificaciones de procedimientos y habilidades de soldadura, donde esto puede ser lógicamente hecho.

La agrupación no implica que el metal base o metales de aporte dentro de un grupo puede ser indiscriminadamente sustituido por un metal que fue usado en el ensayo de calificación sin considerar la compatibilidad del metal base y el metal de aporte desde el punto de vista de las propiedades metalúrgicas, tratamiento térmico post soldadura, diseño, requerimientos de servicio, y propiedades mecánicas.

- Acero y Aleaciones de Acero
- Aluminio y Aleaciones a Base de Aluminio
- Cobre y Aleaciones a Base de Cobre
- Níquel y Aleaciones a Base de Níquel
- Titanio y Aleaciones de Titanio
- Zirconio y Aleaciones de Zirconio
- Capa Superpuesta de Metal de Soldadura de recubrimiento duro.

3.4.1 NÚMEROS F ALTERNOS PARA LA CALIFICACIÓN DE HABILIDADES DEL SOLDADOR

Las Tablas 3.7 y 3.8 identifican el metal de aporte o electrodo usado por el soldador durante el ensayo de calificación como “Calificado con” y metales de aporte o electrodos que el soldador está calificado para usar en soldadura de producción como “Calificado para”. Ver tabla para las asignaciones de Números F.

Tabla 3. 6 Agrupamiento de electrodos y varillas de soldadura según Números F.

| F-No. | ESPECIFICACION ASME | CLASIFICACIÓN AWS | No. UNS |
|------------------------------------|--|-------------------|---------|
| ACERO Y ALEACIONES DE ACERO | | | |
| 1 | SFA-5.1 | EXX20 | ... |
| 1 | SFA-5.1 | EXX22 | ... |
| 1 | SFA-5.1 | EXX24 | ... |
| 1 | SFA-5.1 | EXX27 | ... |
| 1 | SFA-5.1 | EXX28 | ... |
| 1 | SFA-5.4 | EXXX(X)26 | ... |
| 1 | SFA-5.5 | EXX20-X | ... |
| 1 | SFA-5.5 | EXX27-X | ... |
| 2 | SFA-5.1 | EXX12 | ... |
| 2 | SFA-5.1 | EXX13 | ... |
| 2 | SFA-5.1 | EXX14 | ... |
| 2 | SFA-4.1 | EXX19 | ... |
| 2 | SFA-5.5 | E(X)XX15-X | ... |
| 3 | SFA-5.1 | EXX10 | ... |
| 3 | SFA-5.1 | EXX11 | ... |
| 3 | SFA-5.5 | E(X)XX10-X | ... |
| 3 | SFA-5.5 | E(X)XX11-X | ... |
| 4 | SFA-5.1 | EXX15 | ... |
| 4 | SFA-5.1 | EXX16 | ... |
| 4 | SFA-5.1 | EXX18 | ... |
| 4 | SFA-5.1 | EXX18M | ... |
| 4 | SFA-5.1 | EXX48 | ... |
| 4 | SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex | EXXX(X)-15 | ... |
| 4 | SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex | EXXX(X)-16 | ... |
| 4 | SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex | EXXX(X)-17 | ... |
| 4 | SFA-5.5 | E(X)XX15-X | ... |
| 4 | SFA-5.5 | E(X)XX16-X | ... |
| 4 | SFA-5.5 | E(X)XX18-X | ... |
| 4 | SFA-5.5 | E(X)XX18M | ... |
| 4 | SFA-5.5 | E(X)XX18M1 | ... |
| 4 | SFA-5.5 | E(X)XX45 | ... |
| 5 | SFA-5.4 austenítico y dúplex | EXX(X)15 | ... |
| 5 | SFA-5.4 austenítico y dúplex | EXX(X)16 | ... |
| 5 | SFA-5.4 austenítico y dúplex | EXX(X)17 | ... |
| 6 | SFA-5.2 | Todas las | ... |
| 6 | SFA-5.9 | clasificaciones | ... |
| 6 | SFA-5.17 | | ... |
| 6 | SFA-5.18 | | ... |
| 6 | SFA-5.20 | | ... |
| 6 | SFA-5.22 | | ... |
| 6 | SFA-5.23 | | ... |
| 6 | SFA-5.25 | | ... |
| 6 | SFA-5.26 | | ... |
| 6 | SFA-5.28 | | ... |
| 6 | SFA-5.29 | | ... |
| 6 | SFA-5.30 | | ... |
| 6 | SFA-5.30 | INMs-X | ... |
| 6 | SFA-5.30 | IN5XX | ... |
| 6 | SFA-5.30 | IN3XX(X) | ... |

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3. 7 Números F para la calificación de la habilidad de soldadores.

| Calificado con → | F-No.1 con Respaldo | F-No.1 sin Respaldo | F-No.2 con Respaldo | F-No.2 sin Respaldo | F-No.3 con Respaldo | F-No.3 sin Respaldo | F-No.4 con Respaldo | F-No.4 sin Respaldo | F-No.5 con Respaldo | F-No.5 sin Respaldo |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ↓ Calificado para | | | | | | | | | | |
| F-No.1 con Respaldo | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| F-No.1 sin Respaldo | | X | | | | | | | | |
| F-No.2 con Respaldo | | | X | X | X | X | X | X | | |
| F-No.2 sin Respaldo | | | | X | | | | | | |
| F-No.3 con Respaldo | | | | | X | X | X | X | | |
| F-No.3 sin Respaldo | | | | | | X | | | | |
| F-No.4 con Respaldo | | | | | | | X | X | | |
| F-No.4 sin Respaldo | | | | | | | | X | | |
| F-No.5 con Respaldo | | | | | | | | | X | X |
| F-No.5 sin Respaldo | | | | | | | | | | X |

Fuente: (ASME, 2010)

Tabla 3. 8 Números F para la calificación de la habilidad de soldadores.
“Calificado con” y “Calificado para”

| CALIFICADO CON | CALIFICADO PARA |
|--|--|
| Cualquier F-No. 6 | Todos los F-No. 6 [Note (1)] |
| Cualquier F-No. 21 hasta F-No. 25 | Todos los F-No. 21 hasta F-No. 25 |
| Cualquier F-No. 31, F-No. 32, F-No. 33, F-No. 35, F-No. 36, o F-No. 37 | Solamente el mismo Numero F como fue usado durante el ensayo de calificación |
| F-No. 34 o cualquier F-No. 41 hasta F-No. 46 | F-No. 34 y todos los F-No. 41 hasta F-No. 46 |
| Cualquier F-No. 51 hasta F-No. 55 | Todos los F-No. 51 hasta F-No. 55 |
| Cualquier F-No. 61 | Cualquier F-No. 61 |
| Cualquier F-No. 71 hasta F-No. 72 | Solamente el mismo Numero F como fue usado durante el ensayo de calificación |

Fuente: (ASME, 2010)

3.5 TIPO Y PROPOSITOS DE PRUEBAS Y EXAMENES

El propósito de este tipo de pruebas es de garantizar la calidad de una junta soldada y el cumplimiento con los parámetros establecidos en la norma.

3.5.1 PRUEBAS MECÁNICAS

Las pruebas mecánicas usadas en calificación de procedimiento de habilidad por parte del soldador se detallan a continuación:

3.5.1.1 Pruebas de tensión

Son ensayos mecánicos realizados a probetas previamente extraídas de una zona específica a estudiar y tiene como fin el determinar la resistencia última o de rotura de las juntas de soldadura en ranura. Un ensayo de tensión realizado a una junta soldada requiere de criterios de aceptación los cuales servirán como parámetros de juzgamiento, varios criterios se detallan a continuación:

Criterios de aceptación

Excepto para los materiales de No. P-2X y No. P-35, los valores mínimos se proporcionan debajo del encabezado de columna "Tensión Mínima Especificada, klb/pulg² de la Tabla 3.9, la resistencia de tensión no debe ser menor que:

- a) La mínima resistencia de tensión especificada del metal base; o
- b) La mínima resistencia de tensión especificada del más débil de los dos, si se usan metales base de resistencias de tensión mínima diferentes; o
- c) La mínima resistencia de tensión especificada del metal de soldadura cuando la sección aplicable da disposiciones para el uso de metal de soldadura que tiene resistencia a temperatura ambiente inferior que el metal base;
- d) Si el espécimen se rompe en el metal base afuera de la soldadura o de la línea de fusión la prueba será aceptada como que satisface los requerimientos, siempre y cuando la resistencia no esté más del 5% abajo de la mínima resistencia de tensión especificada del metal base.

Tabla 3. 9 Tabla de valores de resistencia de materiales base ASME IX.

| No. Espec. | Tipo ó Grado | No. UNS | Tensión Mínima Especificada, klb/pulg^2 | Soldadura | | | | Soldadura Fuerte | | Composición Nominal | Forma de Producto |
|------------|---------------|---------|--|-----------|--------------|--------|--------------|------------------|--------|---------------------|---------------------------------|
| | | | | No. P. | No. de Grupo | No. S. | No. de Grupo | No. P. | No. S. | | |
| | | | | | | | | | | | |
| SA-36 | ... | K02600 | 58 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C-Mn-Si | Placa, barra y perfiles |
| SA-53 | Tipo F | ... | 48 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldadura en horno |
| SA-53 | Tipo S, Gr. A | K02504 | 48 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C | Tubo C s/c |
| SA-53 | Tipo E, Gr. A | K02504 | 48 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldadura de resistencia |
| SA-53 | Tipo E, Gr. B | K03005 | 60 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C-Mn | Tubo C soldadura de resistencia |
| SA-53 | Tipo S, Gr. B | K03005 | 60 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C-Mn | Tubo C s/c |
| SA-105 | ... | K03504 | 70 | 1 | 2 | ... | ... | 101 | ... | C-Si | Bridas y accesorios |
| SA-106 | A | K02501 | 48 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C-Si | Tubo C s/c |
| SA-106 | B | K03006 | 60 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C-Si | Tubo C s/c |
| SA-106 | C | K03501 | 70 | 1 | 2 | ... | ... | 101 | ... | C-Si | Tubo C s/c |
| A 108 | 1015 CW | G10150 | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Barra |
| A 108 | 1018 CW | G10180 | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Barra |
| A 108 | 1020 CW | G10200 | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Barra |
| SA-134 | ... | ... | - | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A283A | ... | 45 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A285A | K01700 | 45 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A283B | ... | 50 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A285B | K02200 | 50 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A283C | ... | 55 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A285C | K02801 | 55 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 134 | A283D | ... | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| SA-135 | A | ... | 48 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C | Tubo C E.R.W. |
| SA-135 | B | ... | 60 | 1 | 1 | ... | ... | 101 | ... | C | Tubo C E.R.W. |
| A 139 | A | ... | 48 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 139 | B | K03003 | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 139 | C | K03004 | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 139 | D | K03010 | 60 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 139 | E | K03012 | 66 | ... | ... | 1 | ... | 101 | ... | C | Tubo C soldado |
| A 148 | 90-60 | ... | 90 | ... | ... | 4 | ... | 103 | ... | ... | Fundiciones |
| A 167 | Tipo 302 | S30200 | 75 | ... | ... | 8 | ... | 102 | ... | 18Cr-8Ni | Placa, lamina y tira |

Fuente: (ASME, 2010)

3.5.1.2 Pruebas de doblez guiado

Las pruebas de doblez guiado se usan para determinar el grado de solidez y ductilidad de juntas de soldadura en ranura.

Criterios de aceptación

La soldadura y la zona afectada por el calor de un espécimen de doblez transversal de soldadura, estará completamente dentro de la porción doblada del espécimen después de la prueba.

Los especímenes de doblez guiado no deben tener defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de 3,0 mm (1/8 pulg), medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas del espécimen durante la prueba no se tomarán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos se producen por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

3.5.1.3 Ensayo macrográfico

Los ensayos macrográficos sirven para determinar, las zonas afectadas por el calor, pases de soldadura, evaluar discontinuidades y defectos como mordeduras, faltas de fusión, faltas de penetración, fisuras, porosidades. Generalmente una macrografía se realiza transversalmente al cordón de soldadura.

3.5.1.3.1 Macro examen realizado a especímenes para calificar Procedimiento de soldadura

El procedimiento seguido para la calificación de procedimiento de soldadura se detalla a continuación:

Una cara de cada sección recta de los especímenes de prueba se corta, se pule y luego se ataca con un químico conveniente para dar una definición clara del metal de soldadura y zona afectada por el calor.

El examen visual de las secciones rectas del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor mostrará fusión completa y libre de grietas; y habrá no más de 3,0 mm (1/8 pulg), de diferencia en la longitud de las piernas del filete.

3.5.1.3.2 Macro examen para Especímenes para calificar la Habilidad del soldador

Los especímenes de prueba se cortan, se pulen y luego se atacan con un químico conveniente para dar una definición clara del metal de soldadura y zona afectada por el calor.

Para la aprobación, el examen visual de la sección recta del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor mostrará fusión completa y libre de grietas. La soldadura no tendrá una concavidad o convexidad mayor que 1,6 mm (1/16 pulg). La diferencia en las longitudes de las piernas del filete no debe ser mayor de 3,0 mm (1/8 pulg).

3.5.1.4 Exámenes Especiales para Soldadores

El examen radiográfico puede servir en lugar de pruebas mecánicas, para calificación de habilidad para soldadura en ranura, ayuda a demostrar la capacidad de soldadores para hacer soldaduras sanas.

3.5.1.5 Examen Visual

El examen visual que se describe, se usa para determinar que las superficies de soldadura finales reúnen las condiciones de calidad especificadas. Las probetas deben mostrar penetración completa de junta con fusión completa de metal de soldadura y de metal base.

3.5.1.6 Ensayo de tintas penetrantes

3.5.1.6.1 Fundamentos del método

El fundamento científico del método reside en la capacidad que poseen ciertos líquidos para penetrar y ser retenidos en las fisuras, grietas, poros o aberturas abiertas a la superficie, cuando son aplicadas sobre las mismas.

Esta capacidad depende principalmente de 3 propiedades:

- Mojabilidad o ángulo de contacto líquido y sólido (θ)
- Tensión superficial (σ)
- Viscosidad (μ)

Mojabilidad

Al depositar una gota de líquido sobre una superficie, tendremos un punto en el cual se pueden considerar aplicadas 3 fuerzas a las tensión superficial.

Si la gota no se extiende, se producirá la siguiente ecuación:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \theta$$

Si el líquido moja la superficie: $\sigma_s > \sigma_{sl}$. Tal como se observa en la Figura 3.1.

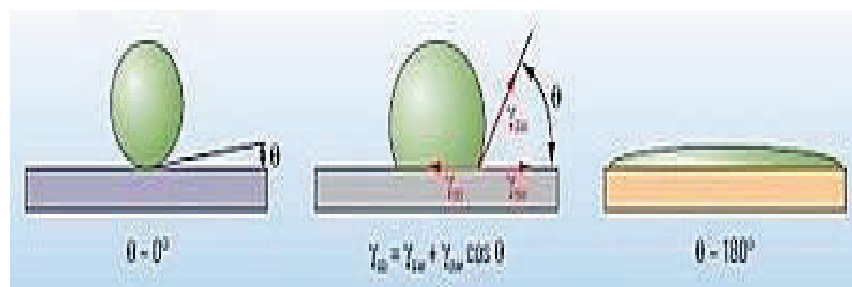


Figura 3. 1 Clasificación de los aceros de acuerdo

Fuente: www.ticsperu.wikispaces.com

Esto se logra manteniendo el ángulo $\theta < 90^\circ$. Caso contrario; si el líquido no moja la superficie, ello se producirá con $\theta > 90^\circ$

La mojabilidad será, pues una de las propiedades fundamentales en el comportamiento de los líquidos penetrantes. La relación entre el ángulo de contacto θ , la tensión superficial (σ) y la viscosidad (μ), puede ser establecida mediante la observación del fenómeno de capilaridad.

El mismo está basado en el hecho que si en un líquido introducido en un tubo capilar, se podrá observar que si el mismo moja las paredes, ascenderá dentro del tubo hasta cierto nivel, en el cual se establece un equilibrio entre la resultante de fuerza gravitatoria y de viscosidad, obteniéndose la siguiente relación:

$$h^2 = \frac{r t \sigma (\cos\theta)}{2\mu}$$

h = altura alcanzada por el líquido dentro del capilar al cabo de t segundos.

t = tiempo.

r = radio del capilar.

θ = ángulo de contacto entre líquido y sólido.

μ = viscosidad.

Esta ecuación indicaría: que para que un líquido tenga un buen poder de penetración, debe poseer elevada tensión superficial, bajo ángulo de contacto y baja viscosidad. De esta forma es posible evaluar la penetrabilidad de un líquido mediante el siguiente coeficiente:

$$C = \sqrt{\frac{\sigma}{2\mu}}$$

Debe tenerse en cuenta que el cumplimiento de las condiciones anteriores, por si solas, no definen una buena Tinta Penetrante.

La evaluación final de un líquido penetrante está obtenida, por supuesto, mediante mediciones físicas de su sensibilidad de detección, utilizando piezas de ensayo normalizadas con fallas calibradas.

3.5.1.6.2 *Clasificación de los líquidos penetrantes*

En los E.E.U.U. de Norte América son utilizadas las normas ASME SE-165 y MIL-1-6866, las cuales coinciden en las definiciones de los distintos tipos de tintas penetrantes y en su clasificación, difiriendo solamente en la simbología utilizada.

TIPO A (Tintas Fluorescentes).

Técnica:

1. Lavable con H₂O
2. Post-emulsificables
3. Removible con solvente

TIPO B (Tintas Coloreadas)

Técnica:

1. Lavable con H₂O
2. Postemulsificables
3. Removible con solvente

3.5.1.6.3 *Principios básicos*

Los principios básicos para el ensayo son:

- El líquido penetrante debe entrar en el defecto. Es por ello que el mismo debe estar limpio, libre de materias contaminantes y obstruyentes, como asimismo libre de agua u otros solventes.
- Cuanto menor sea la abertura del defecto, mayor será el tiempo necesario para la penetración. Fisuras muy finas requerirán mucho más tiempo para la penetración que poros u huecos abiertos a la superficie.
- En todo proceso de examen con líquidos penetrantes debe existir una perfecta compatibilidad entre el líquido removedor, el líquido penetrante, y el medio revelador.
- No deben mezclarse productos que correspondan a distintos procesos o diferentes fabricantes, salvo que se pueda demostrar sus perfectas compatibilidades.

3.5.1.6.4 Procedimiento del método

Limpieza

El éxito de cualquier ensayo con líquidos penetrantes es, en gran parte, dependiente de que la superficie se encuentre libre de cualquier contaminante que interfiriera en el proceso. Todas las partes deben estar limpias y secas antes de aplicar el penetrante y, por lo tanto, deben recibir una preparación previa adecuada.

Esta preparación incluye la remoción de óxidos, capas de pintura, escoria u otras cubiertas, y la realización de una limpieza profunda, que deje la superficie sin ningún tipo de contaminantes que pueda interferir al penetrante.

La norma A.S.T.M. E 165 menciona distintos métodos de limpieza:

- Limpieza con detergentes
- Solvente removedor.
- Vapor desengrasante.
- Limpieza ultrasónica.
- Soplado abrasivo

Respecto a este último, se permite su uso cuando se comprueba que no aplasta los bordes de los defectos, cerrándolos, o no llena los huecos de los mismos.

Secado posterior a la limpieza

Es esencial que las partes sean enérgicamente secadas, con el fin de que no quede agua ni solvente retenido en los defectos, ya que aquellos impedirían la entrada del penetrante.

El secado se realiza calentando con lámparas infrarrojas, estufas o, simplemente, con aire caliente.

Aplicación del penetrante

La aplicación del penetrante se efectúa una vez que la pieza está perfectamente limpia y seca. La forma de aplicación del penetrante no depende del tipo de

proceso utilizado sino, fundamentalmente, de las condiciones en que se debe operar, y el tipo, tamaño y cantidad de piezas a examinar.

- Inmersión
- Los modos de aplicación son Pulverización
- Pintado

Remoción del penetrante

Esta etapa del proceso también es fundamental para asegurar la mejor sensibilidad del método.

Una vez que se ha conseguido que el líquido penetrante entre en el defecto, es imperativo que la mayor parte posible quede retenido en él, hasta la etapa de revelado.

La remoción del exceso de penetrante debe realizarse con la mínima extracción del líquido retenido en los defectos. La forma de efectuar esta operación depende del tipo de penetrante. En el caso penetración removibles con solvente, ya sean coloreados o fluorescentes, la remoción se hace utilizando un trapo limpio, ligeramente embebido en el solvente removedor.

Cuando se presentas superficies muy pulidas, es aconsejable utilizar solamente trapos limpios para retirar el excedente de la superficie.

Revelado

La etapa de revelado consiste en la aplicación de una capa delgada de polvo muy fino (sólido finamente pulverizado) sobre la superficie bajo examen.

El polvo absorbe el líquido penetrante retenido en las fallas, funcionando como tubo capilar, y lo concentra en la superficie, permitiendo su visualización. En el caso de los líquidos coloreados, el revelador permite aumentar el contraste.

El revelador puede ser polvo en suspensión acuosa, o polvo en suspensión no acuosa.

Respecto a este último, diremos que consiste en un sólido suspendido en un líquido volátil, y puede ser usado con todos los tipos de penetrantes y procesos.

Este revelador es el que da la más alta sensibilidad. Antes de su aplicación el revelador debe ser agitado y pulverizado sobre la superficie.

Observación y evaluación de las indicaciones

La observación de las indicaciones debe iniciarse inmediatamente después del secado del revelador, y debe repetirse, por lo menos una vez, después de transcurridos 10 minutos, aproximadamente.

Para el caso del líquido penetrante coloreados, la observación debe hacerse con luz natural o luz artificial, asegurándose en ambos casos que la iluminación este entre 300 a 500 luz, sobre la superficie de la muestra.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LOS PROCESOS DE SOLDADURA APLICADOS

4.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades mecánicas de los metales son aquellas que revelan el comportamiento elástico y no elástico cuando se aplica una fuerza. Estas son: resistencia mecánica, elasticidad, ductilidad, fragilidad, tenacidad y dureza. Ver Figura 4.1.

El conjunto de características hacen que el material se comporte de una manera determinada ante estímulos externos como la luz, el calor, las fuerzas, etc.

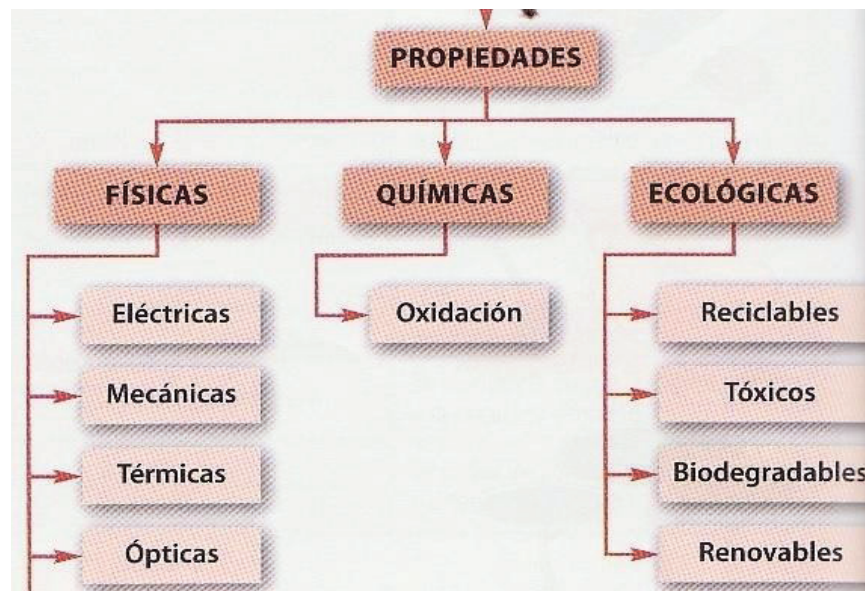


Figura 4. 1 Propiedades de los metales

Fuente: www.areatecnología.com

4.1.1 RESISTENCIA DE LOS METALES

Resistencia mecánica es la capacidad de un metal para oponerse a la rotura bajo la acción de cargas externas. El valor de la resistencia indica la fuerza que se

requiere para vencer los ligamentos que mantienen unidas los átomos que forman las estructuras de los cristales. (H, 1976)

4.1.1.1 Resistencia a la tracción

El esfuerzo a la tracción se presenta, cuando sobre un elemento actúan dos fuerzas iguales pero en sentido contrario y tienden a alargar el material. Al referirse a tracción el esfuerzo debe situarse en el centro de gravedad de la sección.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

La tracción, por convenio, es positiva.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Donde :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

$$\delta = \frac{P \cdot L_0}{E \cdot A}$$

El esfuerzo (σ) se expresa en *lb* por *pulg²*, *PSI*. La elongación de la probeta representa la deformación (ε) del material y se expresa en pulgadas por pulgadas de longitud, pulg/pulg.

4.1.1.2 Resistencia a la compresión

La compresión de un elemento, se presenta cuando sobre este actúan dos fuerzas iguales pero en sentido contrario, estas fuerzas tienden a acortar el material. La resistencia a la compresión final del acero es mayor a la resistencia a la tracción.

4.1.1.3 Resistencia al corte

Los esfuerzos de corte provocan la aparición de tensiones de corte dentro de la sección en la que actúan. Las tensiones de corte no provocan cambio de volumen, sólo producen deformación angular. El ángulo deformado y la tensión son proporcionales, y está relación viene dada por el módulo de elasticidad en corte G .

4.1.1.4 Resistencia a la flexión

La flexión pura es el resultado de esfuerzos o momentos exteriores que producen en la sección cortada un momento de flexión.

4.1.1.5 Elasticidad

Si se considera un pedazo de caucho que se estira, tuerza o aplaste, regresara a su tamaño original una vez que se suprima la fuerza. La mayoría de los metales se comportan de esta manera hasta cierto punto. Se estiran, se doblan o se tuercen bajo la aplicación de una fuerza y regresan a su tamaño original cuando se suprime la misma.

Los metales al llegar al límite elástico siguen estirándose algún tiempo antes de romperse; cabe mencionar que una vez que pasen el límite elástico no regresan a su forma original, es decir, quedan deformados permanentemente. Por lo tanto el límite elástico es el punto en el que comienza la deformación permanente.

Bajo los mismos esfuerzos, los materiales se estiran diferentes cantidades. El módulo de elasticidad (E) de un material simplifica la comparación de su rigidez con la de otro material. Esta propiedad es la relación del esfuerzo (σ) respecto a la deformación dentro del límite elástico.

$$E(\text{Módulo de elasticidad}) = \frac{\sigma, \text{esfuerzo}}{\epsilon, \text{deformación}}$$

En un diagrama Esfuerzo – Deformación, el módulo de elasticidad se representa gráficamente por la parte recta de la curva donde el esfuerzo es directamente

proporcional a la deformación. Cuanto más pronunciada es la curva, mayor es el módulo de elasticidad y el material es más rígido. Tal como se observa en la Figura 4.2.

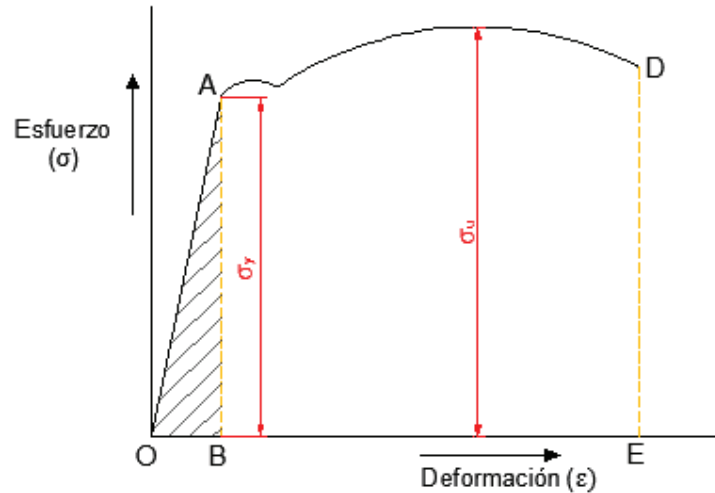


Figura 4. 2 Diagrama esfuerzo deformación

El módulo de elasticidad puede variar para otros metales. El acero, sin embargo, tiene el valor más alto de cualquier metal disponible comercialmente utilizado en el campo estructural.

4.1.1.6 Ductilidad

La ductilidad es la propiedad de un material que sometido a cargas externas, pueden deformarse sin llegar a la fractura.

4.1.1.7 Fragilidad

Propiedad contraria a la ductilidad, los materiales frágiles fallan sin deformación permanente apreciable. Estos materiales tienen baja resistencia al choque o al impacto.

4.1.1.8 Tenacidad

Es la propiedad de un metal que le permite soportar esfuerzo considerable, aplicado lenta o súbitamente, en forma continua o intermitente, y deformarse antes de fallar.

4.1.1.9 Dureza

La dureza es la capacidad que tiene un metal para resistir la indentación o la penetración.

4.1.1.9.1 Dureza Rockwell

Se utiliza un instrumento de lectura directo basado en el principio de medición de profundidad diferencial. Se eleva la probeta mediante un tornillo contra un penetrador un número de vueltas determinado de tal manera de alcanzar un valor de carga aplicada P_0 , luego se aplica una carga adicional P_1 mayor, mediante un sistema de pesas a con accionamiento a palanca hasta que la aguja indicadora alcanza el reposos.

Existen tres tipos de medición Rocwell A, B y C.

Se utilizan dependiendo del caso, distintos penetradores y cargas, resultando para cada combinación una escala diferente de Rockwell. Existe penetradores de acero y de diamante.

Se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales.

Existen otras escalas de uso industrial actuales y son las siguientes:

4.1.1.9.2 Dureza Brinell

Emplea como punta una bola de acero templado o carburo de wolframio. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6 mm de espesor. Estima resistencia a tracción.

4.1.1.9.3 Dureza Knoop

Mide la dureza en valores de escala absolutas, y se valoran con la profundidad de señales grabadas sobre un mineral mediante un utensilio con una punta de diamante al que se le ejerce una fuerza estándar.

4.1.1.9.4 Dureza Rosiwal

Mide en escalas absoluta de durezas, se expresa como la resistencia a la abrasión medias en pruebas de laboratorio y tomando como base el corindón con un valor de 1000.

4.1.1.9.5 Dureza Shore

Emplea un escleroscopio. Se deja caer un indentador en la superficie del material y se ve el rebote. Es adimensional, pero consta de varias escalas. A mayor rebote mayor dureza. Aplicable para control de calidad superficial. Es un método elástico, no de penetración como los otros.

4.1.1.9.6 Dureza Vickers

Emplea como penetrador un diamante con forma de pirámide cuadrangular. Para materiales blandos, los valores Vickers coinciden con los de la escala Brinell. Mejora del ensayo Brinell para efectuar ensayos de dureza con chapas de hasta 2 mm de espesor.

4.1.1.9.7 Dureza Webster

Emplea máquinas manuales en la medición, siendo apto para piezas de difícil manejo como perfiles largos extruidos. El valor obtenido se suele convertir a valores Rockwell.

CAPITULO 5

METALURGIA DE LA SOLDADURA

5.1 DEFINICIÓN DE LA METALURGIA

Las operaciones de la soldadura involucran muchos fenómenos metalúrgicos, tales como fusión, solidificación, difusión y transformaciones de fases en el estado sólido, entre otros.

Estos fenómenos influyen en las propiedades de las uniones soldadas, y si no son controlados, causan una serie de problemas –grietas, resistencia a la tensión o al impacto menores a las especificadas, resistencia a la corrosión inferior, etc, que pueden ser evitados o resueltos si se comprenden o aplican correctamente los principios metalúrgicos asociados con las prácticas y operaciones de soldadura, principios que el inspector necesita conocer para realizar su trabajo de manera efectiva.

La metalúrgica puede ser definida como la ciencia, tecnología y arte de trabajar los metales, desde su obtención a partir de los minerales hasta la fabricación de los productos finales.

El campo de estudio de la metalúrgica es muy amplio y tiene deferentes áreas de especialización, tales como la metalurgia física, la química, y la mecánica, o metalurgia extractiva y adaptativa, según clasificaciones anteriores.

Por su parte, la metalurgia de la soldadura no se puede considerar como una parte de la metalurgia general, ni de la metalurgia física, sino como el área completa de estudio de la metalurgia, pero desde el punto de vista especializado de los fenómenos asociados específicamente con las operaciones, procesos y prácticas de la soldadura.

Como puede apreciarse después de leer los párrafos anteriores, el campo de la

metalurgia de la soldadura es muy amplio, pero existen algunos principios que resultan claves para comprender los fenómenos que ocurren durante las operaciones de soldadura, principios que son útiles para controlar los cambios asociados con tales fenómenos y obtener uniones soldadas con las propiedades y calidad especificadas. **Fuente:** Curso de Inspector de Soldadura AWS QC1-2007.

5.1.1 ESTRUCTURA CRISTALINA

Cada metal tiene una estructura cristalina bien definida y sus propiedades dependen de la forma de los cristales, del número de átomos que comprende cada estructura espacial de cristales, de la distancia de los átomos de la estructura espacial de cristales y de la interrelación de estas estructuras.

Las más comunes son:

(BCC) cubico de cuerpo centrado

(FCC) cubico de caras centradas

(HCP) hexagonal compactado

Los metales con BCC son el hierro a temperatura ambiente, cromo, aceros al carbono, molibdeno y tungsteno.

Los metales con FCC son el cobre, aluminio, aceros inoxidables austeníticos y níquel.

Los metales con HCP son el zinc, cadmio y magnesio.

5.2 ESTRUCTURAS DEL ACERO

5.2.1 ESTRUCTURAS MONOFÁSICAS

- **Ferrita:** Es una solución sólida intersticial de carbono en el hierro alfa $Fe_{\alpha}(C)$, en una estructura BCC. La solubilidad máxima de carbono en la ferrita es aproximadamente de 0,008 % de C a 20 °C y de 0,03% de C a 723°C. En la Figura 5.1 se puede observar la microestructura de los granos de ferrita.

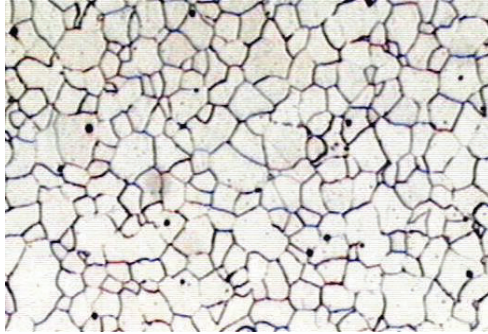


Figura 5. 1 Granos de Ferrita (hierro alfa (α)), con una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo, BCC).

Fuente: (Avner, 1996)

- **Austenita:** Solución sólida de hierro gamma partir a de los 900°C. Se cristaliza en forma cúbica y carece de propiedades magnéticas. Es una solución intersticial de carbono en hierro gamma $Fe_\gamma(C)$, en una estructura cristalina FCC. La solubilidad máxima de carbono en la austenita es 2,14 % de C a 1147 °C y de 0,8% de C a 723°C. esta fase se encuentra sólo a temperaturas altas y a 723°C es el límite de la existencia estable de la austenita en las aleaciones de hierro – carbono.
- **Cementita:** El Fe_3C contiene 6.67% C, siendo extremadamente duro y frágil, y está en todos los aceros comerciales. Controlando adecuadamente cantidad, tamaño y forma del Fe_3C , se podrá controlar el grado de endurecimiento por dispersión y las propiedades del acero. El compuesto químico de hierro en carbono (Fe_3C), tiene una red cristalina rómbica.

5.2.2 ESTRUCTURAS BIFÁSICAS

Perlita: Es una estructura laminar de α y de Fe_3C , que se desarrolla en el sistema hierro-carbono, esta estructura es un microconstituyente en el acero es una mezcla mecánica de ferrita y cementita, que contiene el 0,8 % de C. la perlita puede ser laminar o globular, que depende de la forma de la cementita. Ver Fotografía 5.2.

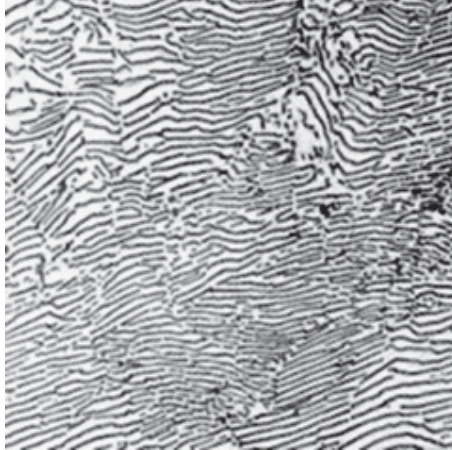


Figura 5. 2 Perlita, estructura laminar de Ferrita y Cementita (Carburo de Hierro, Fe_3C).

Fuente: (Avner, 1996)

Ledeburita: Mezcla mecánica de austenita y cementita, a temperatura superior a 723°C , que contiene un 4,3 % de C. Se forma durante la solidificación de la mezcla hierro – carbono, bajo los 723°C la austenita se transforma en perlita y entonces, la estructura de la ledeburita será: perlita más cementita.

Estructura Widmanstatten: La segunda fase puede crecer de modo que ciertos planos y direcciones sean paralelos a los planos y direcciones preferenciales en la matriz, creando una **estructura Widmanstatten**. Este mecanismo de crecimiento minimiza las energías de deformación y superficiales permitiendo mayores velocidades de crecimiento. El crecimiento Widmanstatten produce una apariencia característica del precipitado. Cuando se produce en forma de aguja [figura 11-6(a)], el precipitado Widmanstatten puede promover la nucleación de grietas, reduciendo así la ductilidad del material. Sin embargo, algunas de estas estructuras hacen más difícil que las grietas, una vez formadas, se propaguen, consiguiéndose así buena tenacidad a la fractura. Algunas aleaciones de titanio y algunos materiales cerámicos obtienen su tenacidad de esta manera. Ver Figura 5.3.

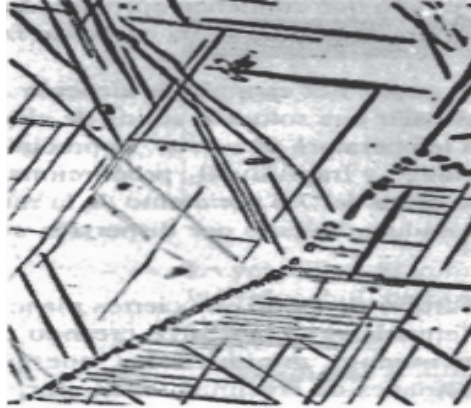


Figura 5.3 Estructura Widmanstatten

Fuente: (ASKELAND, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 1998)

Las estructuras presentes en el acero se puede observar en la Figura 5.4.

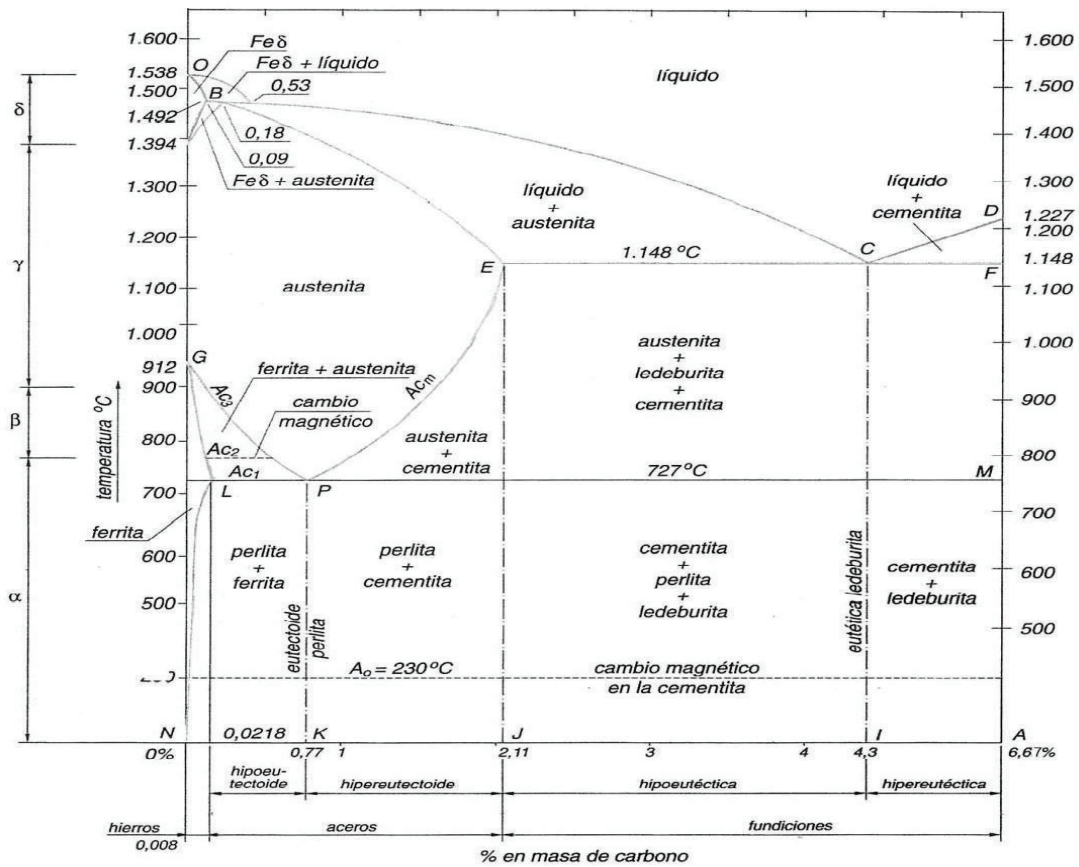


Figura 5.4 Estructura en un diagrama Hierro carbono

Fuente : (Avner, 1996)

5.3 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS.

5.3.1 INTRODUCCIÓN

Los tratamientos térmicos son operaciones de calentamiento y enfriamiento a temperaturas y condiciones determinadas, a que se someten los aceros y otros metales y aleaciones para darles características más adecuadas para su empleo.

Los tratamientos térmicos tienen por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, para ello se debe calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas durante un cierto tiempo y enfriarlas luego en condiciones más convenientes. De esta manera se modifica la estructura microscópica de los aceros, transformaciones físicas es decir cambios de estructuras como por ejemplo de estructura perlítica se pueden transformar a una martensítica.

5.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Con este tipo de tratamiento, los metales son sometidos a procesos térmicos en los que no se varía su composición química aunque sí su estructura interna y, por tanto, sus propiedades.

Todos los tratamientos térmicos tienen una ruta obligatoria:

- Calentamiento del acero hasta una temperatura determinada.
- Permanencia a esa temperatura cierto tiempo.
- Enfriamiento más o menos rápido.

En general hay cuatro tipos básicos de tratamiento térmico. Ver Figura 5.5.

1. Temple.
2. Revenido.
3. Recocido.
4. Normalización.

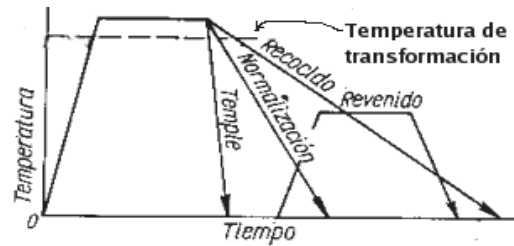


Figura 5.5 Clasificación de los tratamientos térmicos.

Fuente: (Avner, 1996)

5.3.2.1 Temple

Por temple se comprende la fijación de las estructuras, a temperatura normal, que son propias de temperaturas altas. Por eso las estructuras templadas son inestables o, como dicen los físicos metaestables.

Tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros, para ello se calienta en general al acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y luego se enfría más o menos rápidamente en un medio conveniente (agua, aceite, etc.).

Si el acero se enfría rápidamente desde la zona de austenita, el carbono no puede desprenderse, y como es imposible detener la transformación de hierro gamma a hierro alfa por las diferentes capacidades de disolución de carbono, se produce una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa que se conoce como martensita. La estructura de la martensita es inestable, con una gran dureza y fragilidad considerable.

La dureza de la martensita es tanto mayor, cuanto más cantidad de carbono esté disuelto en esta, y se explica por el fenómeno de que su red cristalina está muy deformada por los átomos de carbono. Esto hace que el cristal elemental de la red cristalina de la martensita nos sea cúbico sino tetragonal. Lo que a su vez dificulta su deformación plástica.

El acero tiene la capacidad de ser templado si contiene más del 0.3% de carbono. El enfriamiento para el proceso de templado puede efectuarse a diferentes

velocidades de acuerdo a los fines perseguidos y del tipo de acero (cantidad de carbono y otros elementos aleantes) los más usados son:

- Agua
- Aceite
- Sales fundidas
- Soluciones salinas
- Y hasta el aire para ciertos aceros aleados

Si tomamos la capacidad refrigerante del agua a temperatura de 20 °C como la unidad, entonces, la capacidad refrigerante relativa de la solución acuosa de cloruro de sodio al 10% será de 1.23; del aceite mineral 0.20 y del aire ambiente 0,03.

Después del temple se efectúa el revenido, cuyo fin es el aumento de la plasticidad (disminución de la fragilidad) del acero con una disminución mínima de la resistencia o la dureza adquiridas durante el temple.

5.3.2.2 Revenido.

Es un tratamiento que se da a las piezas de acero que previamente han sido templadas, consiste en calentar la pieza hasta una temperatura inferior a la crítica Ac1. Con ello se logra disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, eliminando las tensiones creadas en el temple y mejorando la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.

La temperatura del revenido se escoge de acuerdo a la posterior utilización de la pieza, pero nunca llegará a la temperatura de transformación.

Se distinguen tres tipos de revenido:

- a) Revenido de bajas temperaturas (entre 180 y 220 °C); Con él se reducen las tensiones internas pero se conserva la estructura martésítica. Se usa

en el revenido de herramientas de corte, en las que debe mantenerse la dureza y resistencia al desgaste.

- b) Revenido a medias temperaturas (entre 300-400 °C); A estas temperaturas la martensita se modifica y se transforma en lo que se conoce como troostita y se aplica en los muelles o matrices.
- c) Revenido de altas temperaturas (500-550 °C); A estas temperaturas la troostita se convierte en otra forma llamada sorbita, se aplica fundamentalmente para el acero de construcción.

El temple y el revenido se utilizan ampliamente para mejorar las propiedades de resistencia de los aceros de construcción e impartirles dureza y altas propiedades cortantes a los aceros de herramientas.

La troostita y la sorbita obtenidas durante el revenido de la martensita, sobrepasan por su tenacidad, las estructuras análogas que se obtienen durante el enfriamiento directamente a partir de la austenita.

5.3.2.3 Recocido.

El recocido tiene diferentes objetivos en el tratamiento térmico del acero y generalmente suele ser de dos clases:

- a) **Recocido de primera clase o subcrítico:** Se aplica para eliminar tensiones residuales, acritud, y cambiar forma de la cementita a cementita esferoidal en los aceros de alto carbono para poder trabajarlos mejor. Por lo común mientras más alta es la temperatura, tanto más corto puede ser el tiempo de permanencia, pero, de todos modos, para la esferoidización se requiere un permanencia larga. El recocido para eliminar la acritud se efectúa después de la deformación plástica en frío; con ello no solo se reducen las tensiones, sino también la recristalización de la estructura, por eso se le denomina recocido de recristalización.

b) **Recocido de segunda clase o supercrítico:** Tiene como objeto diferentes finalidades, y exactamente son las que se listan a continuación:

- Disminución del grano: El recocido de los aceros de bajo y medio carbono se efectúa por calentamiento a unos 20-50 °C por encima de la temperatura de transformación. Bajo estas temperaturas se verifica la transformación del hierro alfa a hierro gamma y la formación de una gran cantidad de granos pequeños de austenita, independientemente del tamaño original de los granos de ferrita o perlita. El enfriamiento ulterior de piezas con grano pequeño de austenita conduce a la formación de granos pequeños de ferrita y perlita. Un calentamiento considerable por encima de la temperatura de transformación, produce una disminución, sin aumento del tamaño del grano.
- Obtención de una estructura equilibrada y más blanda.
- Modificación de la estructura en piezas fundidas: Las estructuras fundidas, muy a menudo suelen ser de grano grueso y la fase sobrante, por ejemplo, la ferrita en el acero de bajo carbono y la cementita secundaria en los de alto carbono, se distribuyen en granos, formando la armazón alrededor de la cual se solidifica la masa restante. Tal estructura se denomina de Widmastatten y tiene una tenacidad menor en comparación con la estructura normal. Durante el recocido no solo se efectúa la disminución del grano, sino también la liquidación de la estructura de Widmastatten.
- Eliminación de las segregaciones dendríticas: El recocido para eliminar la segregación dendrítica que surge durante la solidificación de los lingotes, se denomina recocido de homogenización. Generalmente este recocido se logra durante el calentamiento de los lingotes para su tratamiento por presión en la fabricación de piezas en caliente. La homogenización exige una temperatura muy alta (unos 1000-1100 °C) y una permanencia larga (15 o más horas). Durante este recocido es inevitable el crecimiento del grano, la disminución de este se realiza después por medio de un recocido de recristalización.

5.3.2.4 Normalización.

Consiste en un calentamiento a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior, seguido de un enfriamiento en aire tranquilo. Con esto se eliminan tensiones internas y se normaliza el tamaño del grano, dejando al acero con una estructura y propiedades que arbitrariamente se consideran como normales y características de su composición. Se emplean casi exclusivamente para aceros de construcción o de baja aleación, además se utiliza para piezas que han sufrido trabajos en caliente, trabajos en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos y para destruir los efectos de un tratamiento anterior defectuoso.

La cantidad de ferrita o cementita sobrante, después del normalizado, es menor que después del recocido y la perlita está más dispersa. Por eso el acero normalizado tiene resistencia y tenacidad un poco más alta y una maquinabilidad más baja que el acero recocido.

5.4 SOLUBILIDAD DEL CARBONO EN HIERRO.

Los hierros alfa y gamma disuelven muy poco carbono (entre 0,025 y 0.1%), y a esas soluciones se les denomina **ferrita**. La ferrita es muy blanda y plástica según el tamaño de sus granos; por debajo de 768 °C tiene propiedades ferromagnéticas muy acentuadas.

La solubilidad del carbono en el hierro gamma es mucho mayor, y puede alcanzar el 2% en peso a 1130 °C. Esta solución se llama **austenita** y existe comúnmente por encima de 723 °C (por métodos especiales puede obtenerse austenita a temperaturas menores).

La austenita es blanda y plástica, no es magnética y es mal conductor del calor que la ferrita.

Para comprender mejor la influencia del tratamiento térmico en el acero, primero hay que conocer los cambios estructurales de este a diferentes temperaturas. Estos cambios tienen bastante complejidad y dependen de la cantidad de carbono presente y otros factores, que en la metalurgia se establecen con precisión en el llamado diagrama de equilibrio hierro-carbono. Ver Figura 5.6.

A temperaturas menores de 910 °C y por encima de 1400 °C el hierro tiene una red espacial cubica centrada. En el primer caso se le llama hierro alfa y en el segundo hierro gamma, entre las temperaturas de 910-1400 °C el hierro tiene la red cúbica centrada en las caras y se le llama hierro delta.

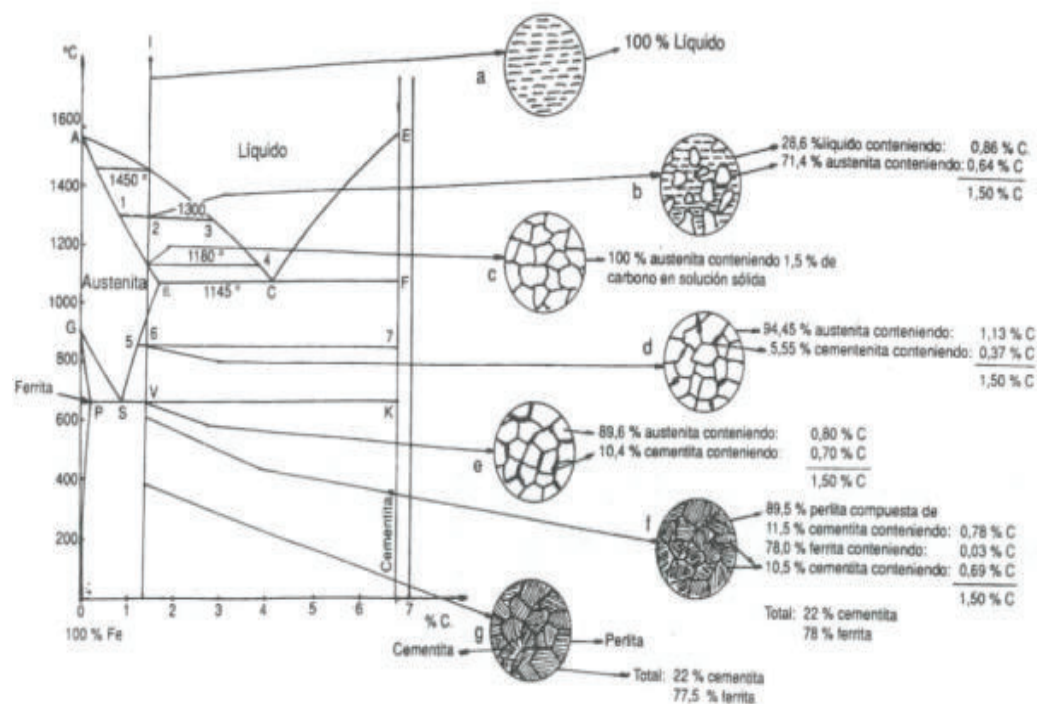


Figura 5. 6 Diagrama simplificado del Hierro – Carbono con esquematización de las estructuras.

Fuente: (ASM, 1998)

5.5 CICLO TÉRMICO DE LAS JUNTAS SOLDADURAS

Al efectuarse las operaciones de soldadura, las juntas experimentan un ciclo de calentamiento y enfriamiento en el que sus diferentes partes se ven sometidas a un amplio intervalo de temperatura, que oscila desde temperaturas superiores a la fusión, en el metal de soldadura, hasta prácticamente la ambiente, en el metal base pasando por el intervalo de transformación.

La soldadura es uno de los métodos más usados actualmente para la unión de materiales metálicos, a la vez es el más complejo desde el punto de vista metalúrgico.

Prácticamente todos los tipos de fenómenos metalúrgicos ocurren durante la realización de una soldadura:

- Fusión
- Solidificación
- Reacciones gas-metal
- Reacciones metal-escoria
- Fenómenos de superficie
- Reacciones en estado sólido

Cuando se hace una soldadura ocurren cambios de temperatura, dimensiones, crecimiento de cristales y granos, transformación de fases y otras. El tipo de proceso de soldadura determina, la forma en que sucederán.

La velocidad de enfriamiento o templado es de importancia fundamental y está controlada por el proceso, procedimiento, metal y masa.

A medida que el metal de la soldadura se deposita sobre el metal base parte de este se funde y se mezcla con el metal de la soldadura, produciendo la dilución de este último.

Los metales más puro tiene el punto de fusión más bajo y por consiguiente se solicitan primero. Los metales o elementos con puntos de fusión más alto se solidifican al último.

5.6 SOLDABILIDAD DE LOS METALES

La American Welding Society define a la soldabilidad como “La capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas dentro de una estructura específica y convenientemente diseñada para tener un rendimiento satisfactorio en el servicio que se pretende.

La soldabilidad es la aptitud que tiene un metal o aleación para formar uniones soldadas. No obstante, este término denota un grupo extremadamente complejo de propiedades tecnológicas y es también función del proceso.

Se ha afirmado que todos los metales se pueden soldar, pero algunos son mucho más difíciles de soldar que otros. La unión de la soldadura que se requiere tiene que tener fuerza uniforme, ductilidad, resistencia a los esfuerzos continuos, resistencia a la corrosión en la soldadura y la zona afectada por el calor y del material adyacente.

Veamos algunos requerimientos para producir una buena unión y los problemas que pueden aparecer, referidos a soldaduras de cualquier geometría y origen:

- a) En el caso de la soldadura por fusión, la temperatura de fusión, el calor específico y el calor latente de fusión determinan la cantidad de calor que es necesario añadir. Una alta conductividad térmica permitirá una mayor rapidez de entrada de calor y un enfriamiento más rápido. La adición insuficiente de calor causa falta de fusión y, en secciones gruesas, penetración incompleta. La entrada de calor excesiva puede originar quemado (agujereado del material).
- b) Los contaminantes superficiales, incluyendo óxidos, aceites, suciedad, pintura, provocan falta de enlace o conducen a porosidad por gas.

- c) Las reacciones indeseables con contaminantes superficiales o con la atmósfera se evitan sellando la zona de fusión con vacío, atmósfera inerte o escoria.
- d) Los gases liberados durante la soldadura pueden producir porosidad, que debilita la unión. Particularmente peligroso es el hidrógeno que se origina de la humedad atmosférica o de un fundente húmedo. Cuando se combina en forma molecular, causa porosidad en las aleaciones de aluminio. En la forma atómica se difunde en las puntas de las grietas y provoca fragilidad por hidrógeno del metal. Las grietas de solidificación aparecen bajo la influencia de esfuerzos en la soldadura cuando un líquido de bajo punto de fusión es expulsado durante la solidificación dendrítica. Las grietas de licuación a lo largo de las fronteras de grano se deben a la segregación de estado sólido de elementos de bajo punto de fusión.
- e) La contracción por solidificación junto con la concentración sólida impone esfuerzos internos de tensión en la estructura y pueden originar distorsión y agrietamiento. El problema se puede aliviar con un material de aporte menos aleado y más dúctil que reduzca la fragilidad térmica.
- f) Las transformaciones metalúrgicas son de gran importancia, especialmente cuando provocan la formación de fases frágiles como la martensita. Entonces, es esencial precalentar el metal base.
- g) El espesor de las partes que se van a unir y el diseño de la unión tienen una gran influencia sobre el calentamiento y enfriamiento, y por tanto sobre la soldabilidad.

5.7 ENTRADA DE CALOR (HEAT INPUT)

En la soldadura por arco eléctrico, la energía es transferida desde el electrodo de soldadura hacia el metal base por medio de un arco eléctrico. Cuando el soldador inicia el arco, tanto el metal base como el material de aporte son fundidos para formar la soldadura. Esta fusión es posible a causa de suficiente cantidad de poder (Energía transferida por unidad de tiempo) y la densidad de la energía es suministrada por el electrodo.

El Heat Input es una medida relativa de la energía transferida por unidad de longitud de soldadura. Esta es una característica importante tanto para el precalentamiento y temperatura entre pases, están influenciadas de la velocidad de enfriamiento, quienes pueden afectar las propiedades mecánicas y estructuras metalúrgicas de la soldadura y la zona afectada por el calor (ZAC). Tal como se observa en la Figura 5.7.

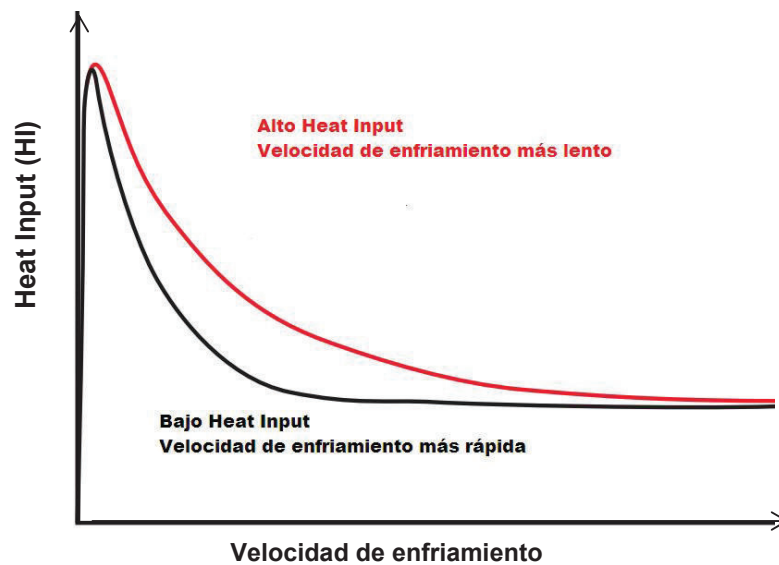


Figura 5.7 Comparación del Heat input con la velocidad de enfriamiento

Fuente: (LINCOLN ELECTRIC, 1997)

5.8 TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO Y ENTRE PASADAS

El control de la temperatura de precalentamiento y entre pasadas se recomienda para obtener propiedades mecánicas óptimas, resistencia al agrietamiento y control de dureza. Esto es particularmente importante en soldaduras de múltiples pases y placas más gruesas. Las condiciones de trabajo, los códigos existentes,

la alta restricción, el nivel de aleación y otras consideraciones pueden también requerir el control de la temperatura de precalentamiento y entre pasadas.

Las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas son recomendadas como puntos de partida. Se pueden utilizar temperaturas más altas o más bajas según como sea requerido por las condiciones de trabajo y/o códigos existentes. Si el agrietamiento ocurre, puede ser requerido temperaturas de precalentamiento y entre pasadas más altas.

5.8.1 TEMPERATURA ENTRE PASES

La Temperatura entre pases se refiere a la temperatura del material en el área de la soldadura inmediatamente antes de la segunda y cada pase subsiguiente de múltiples pases de soldadura. En la práctica, la mínima temperatura entre pases es a menudo igual a la mínima temperatura especificada de precalentamiento, pero esto no es necesario según la definición

La Temperatura entre pases es tan importante, si no la más importante, que la temperatura de precalentamiento, con respecto a las propiedades mecánicas y micro estructurales de las soldaduras. Por ejemplo, la resistencia a la cedencia σ_y y la resistencia última a la tracción σ_{ut} del metal de soldadura son ambas una función de la temperatura entre pases. Los valores altos de temperatura entre pases tienden a reducir la resistencia del metal de soldadura.

Además, el aumento de las temperaturas entre pases generalmente proporciona una estructura de grano más fino y mejora las temperaturas de transición para el ensayo de Charpy. Sin embargo, cuando las temperaturas entre pases excede aproximadamente 260° C (500° F), esta tendencia se invierte. Por ejemplo, la American Welding Society (AWS) recomienda que la temperatura entre pasada no debe superar 290 ° C (550° F) cuando el ensayo de tenacidad es requerido.

Se debe tener un delicado balance particularmente en los metales base con baja soldabilidad, la temperatura mínima entre pases debe ser suficiente para evitar el

agrietamiento, mientras que la temperatura máxima entre pasadas debe ser controlada para proporcionar propiedades mecánicas adecuadas.

Para mantener este equilibrio, deben ser consideradas las siguientes variables:

- Tiempo entre pases,
- Espesor metal base,
- Temperatura de precalentamiento,
- Condiciones ambientales,
- Las características de transferencia de calor, y
- La entrada de calor de soldadura.

Por ejemplo, las piezas soldadas con menor área de la sección transversal de forma natural tienden a "Acumular" la temperatura entre pases. Como regla general, si el área de la sección transversal es menor que 130 cm² (20 in²), entonces la temperatura entre pases tiende a aumentar con cada pase secuencial de soldadura. Sin embargo, si el área de la sección transversal es mayor que 260 cm² (40 in²), la temperatura entre pases generalmente disminuye a lo largo de la secuencia de soldadura a menos que exista una fuente externa de calor.

5.8.2 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE PASES

Existen dos códigos y estándares de la industria que especifican dónde debe ser comprobada o medida la temperatura entre pases.

La AWS D1.1. Código de Soldadura Estructural – acero y la AWS D1.5 Código de soldadura para puentes requiere que la temperatura entre pases se mantenga a una distancia menor o igual al espesor de la parte más gruesa soldada, pero no menos de 75 mm (3 in) en todas las direcciones desde el punto de soldadura.

La otra situación, es medir la temperatura entre pases a 25 mm (1) de distancia del borde de la soldadura.

En otros casos, las industrias específicas tienen regulaciones adoptadas auto impuestas, por ejemplo, en un astillero de la temperatura entre pases se debe mantenerse a 25 mm (1 inch) de distancia del borde de la soldadura y dentro de los primeros 300 mm (1 pie) de su inicio.

5.9 TRATAMIENTO POST SOLDADURA (PWHT)

Tratamiento térmico posterior de la soldadura (PWHT), se define como cualquier tratamiento térmico realizado después soldadura, se utiliza a menudo para mejorar las propiedades de una junta soldada. En concepto, PWHT puede abarcar muchos diferentes tratamientos posibles; sin embargo, en la industria del acero, los dos procedimientos más comunes que se utilizan son: post calentamiento y alivio de esfuerzos o tensiones.

La necesidad de un PWHT es impulsado por un código o estándar y así también como el entorno de servicio. En general, cuando se requiere PWHT, el objetivo es para aumentar la resistencia a la fractura frágil y aliviar las tensiones residuales. Otros resultados deseados de PWHT pueden incluir la reducción de la dureza, y mejorar la resistencia del material.

El Post calentamiento se utiliza para minimizar potencialmente el fisuramiento inducido por el hidrógeno Hydrogen Induced Cracking (HIC). Para que se produzca la HIC, las siguientes variables deben estar presentes.

- Una microestructura sensible,
- Un nivel suficiente de hidrógeno,
- Un alto nivel de estrés (por ejemplo, como resultado de conexiones altamente restringidas).

CAPITULO 6

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS PARA ENSAYOS

El objetivo de este análisis es realizar la comparación de los efectos en las propiedades mecánicas y metalúrgicas de una junta soldada cuando se combina procesos de soldadura y la forma de aplicación de la misma (posiciones de soldadura). Además, se desea determinar las ventajas y desventajas de los procesos de soldadura y sus variaciones.

Otro de los objetivos es la realización de los ensayos no destructivos (Radiografía Industrial y Tintas penetrantes) y ensayos destructivos (tracción, doblado de cara y de raíz), que permita verificar la calidad, sanidad y resistencia de las juntas soldadas. Estos ensayos ayudan a elaborar la documentación de soldadura Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS Welding Procedure Specification) y los Registros de Calificación del Procedimiento (PQR Procedure Qualification Record).

Realizar la documentación de soldadura tanto el WPS como el PQR, los cuales certifican la calidad de la junta soldadas, avalan la comparación de los procedimientos, y permiten la seguridad de realizar soldadura libre de defectos, es decir que las juntas soldada se encuentren dentro de los parámetros establecidos en el código ASME sección IX.

Para este proyecto se realiza la soldadura de cupones de tubería de acero ASTM A 106 Gr B, de diámetro 203,2 mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm) y SCH 80 (12,70 mm).

6.2 PREPARACIÓN Y SOLDADURA DE LOS CUPONES PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS Y ENSAYOS.

En el Ecuador existen muchos proyectos importantes en los cuales involucra la soldadura de tubería de acero al carbono, como por ejemplo en la fabricación de oleoductos, acueductos, transporte de gas, de derivados del petróleo, soldaduras de sistemas de distribución etc., y generalmente se utiliza procesos de soldadura manual (SMAW). Lo que se desea en este proyecto es dar a conocer y aplicar procesos de soldadura semi automáticos, que pueden llegar a ser mecanizados, o automatizados para lograr una mayor productividad.

Se realiza la soldadura de los cupones de tubería tanto para el análisis y la realización de los ensayos utilizando primeramente los procesos de soldadura manuales, más comunes que se emplean en la soldadura de tubería, y luego se emplea procesos semiautomáticos y se compara.

Los procesos de soldadura son:

- A. SMAW
- B. GTAW – GMAW
- C. GMAW – S (transferencia cortocircuito)
- D. GMAW (RMD) – GMAW (P) (transferencia RMD y pulsada respectivamente).

Y las posiciones de soldadura utilizadas son:

- I. 1GR (plana rotada) y
- II. 6G tubería fija a 45°

En la tabla 6.1 se observa las respectivas combinaciones, tanto de proceso de soldadura como de las posiciones, además de sus codificaciones para la realización de pruebas y análisis posteriores.

Tabla 6. 1 Combinaciones de procesos de soldadura y de posiciones.

| Proceso de soldadura \ Posición de soldadura | | I | II |
|--|--|--------------------------|-----------------------------|
| | | 1GR (plana rotada) | 6G tubería fija a 45° |
| A | SMAW | A. I | A. II |
| B | GTAW – GMAW (P) | B. I | B. II |
| C | GMAW – S (transferencia cortocircuito) | C. I | C. II |
| D | GMAW (RMD) – GMAW (P) (transferencia RMD y pulsada respectivamente). | D. I | D. II |

Fuente: Propia.

Los cupones de tubería soldados de acuerdo a los procesos y posiciones de soldadura dados en la Tabla 6.1 son sometidos a los siguientes ensayos:

- 1) Ensayos No Destructivos
 - a. Radiografía Industrial (RT)
 - b. Tintas penetrantes (PT)

- 2) Ensayos de tracción, doblados de cara y raíz para la calificación de los procedimientos de soldadura de acuerdo los requerimientos del código ASME IX – 2013 “BOILER & PRESSURE VESSEL CODE” PARTE “WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS”; por medio de la realización de ensayos destructivos.

- 3) Ensayos Metalográficos
 - a. Macrografía
 - Zona Afectada por el calor

b. Micrografía.

 Metalografía de las diferentes zonas de la junta soldada.

- 4) Ensayos de dureza.
- 5) Cálculo del Heat Input

Los ensayos de dureza, el cálculo del Heat Input y estudio metalográfico de las zonas de cada una de las juntas soldadas se realizan por cada pase de soldadura (raíz, caliente, relleno y presentación) hasta completar totalmente la soldadura.

Para la preparación y soldadura, de los cupones de tubería se realizan los siguientes pasos:

- a) Corte y preparación de biseles de la tubería, el ángulo de bisel en todas las probetas es de 30°.
- b) Preparación de las juntas, el diseño de las juntas (separación de raíz, talón y ángulos de ranura) se indica en las respectivas especificaciones de procedimiento de soldadura WPS's. de acuerdo a los procesos y posiciones de soldadura utilizados.
- c) Realización de la soldadura.
- d) Limpieza.

6.2.1 CORTE Y PREPARACIÓN DE BISELES DE TUBERÍAS.

Dentro de la construcción y/o reparación de tuberías, el corte y posterior preparación de los biseles para su soldeo, supone unas cargas económicas muy importantes dentro del sistema productivo.

Aunque parece ser un proceso sencillo es de gran importancia debido a tiempos, control y costes que representa. La experiencia adquirida permite diseñar varios procedimientos de corte en función de material y diámetros de la tubería.

Se puede realizar el corte de tubería utilizando amoladora, proceso de corte oxiacetilénico (OAC) y corte utilizando plasma, en nuestro caso se utiliza corte oxiacetilénico debido a la disponibilidad del equipo en el laboratorio de soldadura de la EPN.

Con respecto al biselado de la tubería en este proyecto se realiza mediante la utilización de dos equipos, biseladora y torno, aquí se preparan la cara del bisel, la profundidad del bisel y el ángulo de ranura.

6.2.2 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE ACUERDO A LOS PROCESOS Y POSICIONES DE SOLDADURA UTILIZADOS.

Una vez establecido los procesos de soldadura a emplearse SMAW, GTAW y GMAW (con los diferentes tipos de transferencia de cortocircuito GMAW-S, con depósito de metal regulado GMAW-RMD y transferencia de arco pulsado GMAW-P) y definida las posiciones de soldadura 1GR (plana rotada) y 6G tubería fija a 45°, se procede a preparar las juntas de acuerdo a los procedimientos de soldadura WPS No.:

- a) EPN-GVLJ-01 (SMAW / SMAW 6G), código de referencia **A. II.**
- b) EPN- GVLJ-02 (GTAW / GMAW-P 1GR), código de referencia **B. I.**
- c) EPN- GVLJ-03 (GTAW / GMAW-P 6G), código de referencia **B. II.**
- d) EPN-GVLJ-04 (GMAW-S / GMAW-S 6G), código de referencia **C. II.**
- e) EPN-GVLJ-05 (GMAW-RMD / GMAW-P 1GR), código de referencia **D. I.**
- f) EPN-GVLJ-06 (GMAW-RMD / GMAW-P 6G), código de referencia **D. II.**
- g) EPN-GVLJ-07 (GTAW/SMAW 6G), código de referencia **E. II.**

6.2.2.1 Preparación de juntas en la posición de soldadura 1GR.

Para la preparación de las juntas en la posición 1GR (plana rotada) se utiliza un dispositivo compuesto por cuatro rodillos de acero, soldados a unos rieles en forma paralela, que ayudan a rotar manualmente la tubería, tal como se observa en la Fotografía 6.1.

Los rieles y por consiguiente los rodillos deben estar paralelos y alineados correctamente para eliminar atascamientos o defectos al momento de realizar las soldaduras.



Fotografía 6. 1 Dispositivo compuesto por cuatro rodillos de acero, soldados a unos rieles en forma paralela, que ayudan a rotar manualmente la tubería y poder realizar la soldadura en la posición 1GR.

Fuente: Propia.

6.2.2.2 Preparación de juntas en la posición de soldadura 6G

Para la elaboración de los cupones en la posición 6G (fija a 45° de la horizontal) se coloca la tubería como se muestra en la Fotografía 6.2.



Fotografía 6. 2 Probeta fija colocada a 45° de la horizontal, para la soldadura en la posición 6G.

Fuente: Propia.

6.2.3 REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA.

Ubicada correctamente las probetas, de acuerdo a los procedimientos de soldadura indicados anteriormente, seleccionando la posición y proceso de soldadura, se procede a realizar los diferentes pases de soldadura, iniciando con el pase de raíz, que es el de mayor importancia y es donde se concentra la mayor parte de defectos, seguido del pase en caliente que se da a continuación del pase de raíz, se denomina en caliente ya que se da enseguida del primer pase, sin dejar pasar mucho tiempo. Luego se rellena la junta y a este pase o pases se denomina pases de relleno y por último los pases de presentación que representa los pases realizados en la última capa de soldadura, también son importantes en la inspección visual de toda unión soldada, Ver Figura 6.1.



Figura 6. 1 Pases o capas de soldadura

Fuente: www.Slideshare.net

Para explicar de mejor manera el proceso de soldadura, se va a tomar como ejemplo la soldadura de la tubería realizada con proceso GTAW / GMAW-P en la posición 6G (Fija a 45°), de acuerdo al procedimiento de soldadura EPN-GVLJ-03 (GTAW / GMAW-P 6G), código de referencia B. II.

Para la soldadura de la tubería se utiliza la máquina multiproceso Pipe Worx, marca Miller, la cual pertenece a la empresa COLIMPO (Ver Fotografía 6.3). Como se explicó anteriormente esta máquina posee los procesos de soldadura que se van a estudiar en este proyecto SMAW, GTAW, GMAW-RMD y GMAW-P.



Fotografía 6.3 Preparación del equipo para proceso GMAW-P.

Fuente: Propia.

En la Fotografía 6.4 se puede observar la realización de la soldadura del pase de raíz y caliente con proceso GTAW (TIG), este debe seguir los pasos y las variables esenciales tales como amperajes, voltaje etc, de acuerdo a los procedimientos de soldadura, que corresponda a cada uno de los casos.



Fotografía 6.4 Soldadura de a) pase de raíz y b) pase en caliente bajo proceso GTAW en posición 6G.

Fuente: Propia.

Luego de terminado tanto el pase de raíz como el de caliente se debe realizar una inspección visual de la soldadura, para verificar que no exista algún defecto como falta de penetración, falta de fusión, fisuras, porosidades o cualquier otro defecto que se encuentre fuera de los parámetros establecidos en las normas, códigos, especificaciones o estándares. Tal como se observa en las Fotografías 6.5 y 6.6.

La inspección visual de soldadura, es un método de ensayos no destructivos mediante el cual una soldadura se debe inspeccionar antes, durante y después del proceso.

La inspección visual es uno de los ensayos más importantes dentro del control de calidad, se puede definir como un conjunto de actividades encaminadas a asegurar un determinado grado de fiabilidad de una junta soldada o un elemento soldado, mediante la verificación o detección de imperfecciones, discontinuidades o defectos. Estos requisitos son dispuestos en códigos o normas que establecen las bases de fabricación e inspección. Como ayuda o herramientas de la Inspección visual se puede utilizar espejos, amplificadores, magnificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.



Fotografía 6. 5 Muestra de soldadura de pase de raíz bajo proceso GTAW en posición 6G. Presenta buena penetración y uniformidad.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 6 Se observa el pase en caliente con proceso GTAW en posición 6G. Presenta una buena uniformidad del cordón de soldadura y libre de defectos.

Fuente: Propia.

A continuación se prepara el equipo PIPE WORX, para realizar la soldadura bajo proceso GMAW-P. Con la correcta calibración del equipo, en este caso de acuerdo al WPS No. EPN-GVLJ-03, tanto en los valores de velocidad de alimentación (IPM), gases de protección (inertes o activos) y tipo de transferencia. Se procede a completar la soldadura de los cupones. Ver Fotografías 6.7 y 6.8. Para este caso en el selector de procesos se escoge la opción GMAW-P, en tipo de gas MIX 10-15, en el tipo de material acero al carbono, diámetro del electrodo 1,2 mm (0,045") y por último la velocidad de alimentación en IPM.

El uso de mezclas de gases específicas, para la protección de la soldadura, permite optimizar los resultados, y que se ajustan a los requisitos concretos de cada aplicación. De esta forma y con objeto de obtener los resultados deseados, es preciso seleccionar el gas o mezcla de gases (MIX), en función de sus propiedades.

La denominación que se utiliza en los gases es la siguiente:

MIX YY

Donde:

MIX= Mezcla de gases (generalmente en soldadura con proceso GMAW se refiere a la combinación de gases Argón y CO₂)

YY= Es un código numérico que indica el porcentaje de CO₂.

Por ejemplo: MIX 20, significa una mezcla de gases Argón y CO₂, en donde el 20% corresponde al CO₂ y el 80% restante corresponde al Argón.

Con respecto al selector de la máquina que indica **MIX 10-15**, se refiere a que debe utilizarse una mezcla de Argón y CO₂, en donde el porcentaje de CO₂, varía de 10 a 15%.

Esta máquina soldadora multiproceso PIPE WORX, permite un cambio de procesos de soldadura de GTAW a GMAW, de manera más ágil, esta operación se realiza con tan solo pulsar un botón o pulsar un programa previamente grabado y debido a que posee dos pistolas una para TIG y otra para GMAW por separado, el tiempo en el cambio de proceso soldadura se vuelve muy rápido.



Fotografía 6. 7 Soldadura y limpieza proceso GMAW con Pulse
Fuente: Propia.



Fotografía 6. 8 Probetas realizadas el pase de relleno y presentación con proceso de GMAW.

Fuente: Propia.

6.2.4 LIMPIEZA DE LAS SOLDADURAS

Después de cada pasada, el soldador debe eliminar las escorias e incrustaciones, así como el exceso de material, cráteres, etc. En el último pase de soldadura (pase de presentación) la limpieza es muy importante, debe estar libre de proyecciones, salpicaduras de metal de aporte, libre de pinchazos, sobre espesores, mordeduras, etc.

Además antes de realizar la inspección visual y los ensayos no destructivos el soldador debe limpiar mecánicamente (utilizando amoladora y/o grata) la zona de soldadura en aproximadamente 100 mm a ambos lados tal como se observa en la Fotografía 6.9.



Fotografía 6. 9 Proceso de limpieza de la soldadura utilizando amoladora, la limpieza se realiza después de realizar cada pase de soldadura.

Fuente: Propia.

6.3 CUPONES PARA REALIZAR CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Para elaborar la documentación necesaria de soldadura tanto la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS Welding Procedure Specification) y los Registros de Calificación del Procedimiento (PQR Procedure Qualification Record), se necesita soldar cupones de tubería de acero ASTM A 106 Gr B , de diámetro 203,2 mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) y SCH 80. (12,70 mm.).

Una especificación del procedimiento de soldadura, conocida como WPS constituye “un documento que proporciona un detalle de las variables esenciales y no esenciales requeridas para una aplicación con objeto de garantizar que otros soldadores y operarios adecuadamente adiestrados pueden repetir el proceso”.

Todos los procedimientos de soldadura deben ser probados, calificados y deben cumplir las exigencias de los estándares internacionales AWS, ASME y API. Al calificar el procedimiento se garantiza la compatibilidad del metal de soldadura depositado con el metal base utilizado.

Para completar con esta documentación se debe primero elaborar las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura, WPS's; tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, el diseño de la junta, el metal base, el metal de aporte, la protección contra la acción atmosférica, la posición de la soldadura, las características eléctricas con las cuales se realice la soldadura y la técnicas para realizar el cordón.

Luego de realizado los ensayos no destructivos y destructivos que especifica el código ASME sección IX, se realiza el registro de calificación de procedimiento de soldadura PQR (Procedure Qualification Record) que es un formato en el cual se detallan con claridad los datos reales utilizado obtenidos de las pruebas realizadas en la misma probeta. Un PQR verifica las propiedades mecánicas y de soldabilidad mediante los resultados obtenidos en los ensayos.

En este registro se deben anotar todas las variables esenciales, suplementarias y cualquier otra información que se a necesaria para elaborar la soldadura, solamente debe anotarse la información real de las variables.

Al enmarcar un determinado proyecto de soldadura dentro de una norma o código, este especifica cuáles y cuantas son las pruebas que se deben realizar, así como los criterios de aceptación y rechazo que se deben aplicar a estas pruebas.

Algunas de las pruebas más comunes que se solicitan para calificar un procedimiento de soldadura son las que se indican en la Tabla 6.2.

Estos procedimientos después de ser aplicados se deben comunicar a todo el personal que se relaciones con el área de soldadura, esto incluye al diseñador, inspector de soldadura, supervisor de soldadura y en última instancia, pero no en menor importancia al soldador.

Tabla 6. 2 Ensayos para calificar procedimientos de soldadura.

| Ensayos no destructivos | Ensayos destructivos |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Inspección visual | Tensión |
| Rayos X | Doblado guiado (raíz, cara o lateral) |
| Rayos gama | Sanidad (Nick Break) |
| Ultrasonido | Macrografía |
| Tintas penetrantes | |

Fuente: (ASME.IX, 2010)

6.3.1 ESPECIFICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Los procedimientos de soldadura (WPS's) que se van a calificar, mediante la realización de todos los ensayos que establece la norma ASME IX, se indican a continuación.

| | | |
|---|-------------------------------------|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL |  |
| ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | | |
| WPS No. EPN-GVLJ-001 | | |

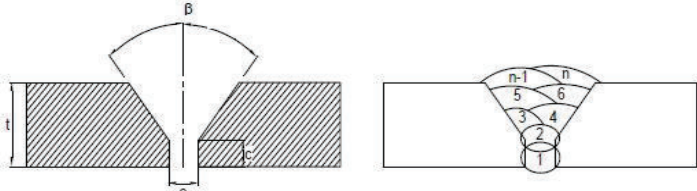
| | |
|--|---|
| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-001 Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional |
|--|---|

| | | | |
|--|--|---|---|
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA | | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA | |
| Tipo de junta: Abertura raíz (e): Talón (c): Angulo de ranura (β): Placa de respaldo: Preparar bisel: | A TOPE 2,0 +/- 0,5 mm 1,5 +/- 0,5 mm 60° +/- 10° Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | Proceso de soldadura: Soldadura de: Posición de Soldadura: Progresión: Técnica: | SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING) RANURA 6G (Fija a 45°) Descendente / Ascendente Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> |

| | | | |
|--|--|--|-------------------|
| ARTÍCULO II. METAL BASE | | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO | |
| Especificación: Espesor (t): Diámetro nominal: P No. Grupo No. | ASTM A 106 Gr B 8,0 mm. (SCH40) 203,27 mm. (8") 1 1 | Temperatura: Temperatura entre pases máx: | N/A N/A N/A |

| | | | |
|---|---|--|---|
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE | | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA | |
| Proceso: Especificación (SFA) No. Diámetro : Denominación AWS: F-No. A-No. | 5.1 E 6010 3,2 (1/8") WEST ARCO ZIP 10T 3 1 | 5.1 E7018 2,4 (3/32") WEST ARCO WIZ 18 4 1 | Soldadura de : Proceso de soldadura: Tipo de Soldadura: Tipo de transferencia: Soldadura a: Cordón de respaldo: Pase multiples o simples (por lado) Electrodos Múltiples o únicos Cordón Recto u Oscilante Limpieza: Primer pase Pases siguientes : |

| | | | |
|---------------------------------------|------------|---|--|
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN | | ARTÍCULO IX. NOTAS | |
| Tipo: Caudal: | N/A N/A | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Enfriar lentamente la soldadura. | |

| | | | |
|---|-------------------|--|--|
| ARTÍCULO V. ELECTRODO | | ARTÍCULO X. DETALLE DE LA JUNTA | |
| Especificación (SFA) No. Denominación: Diámetro : | N/A N/A N/A |  | |

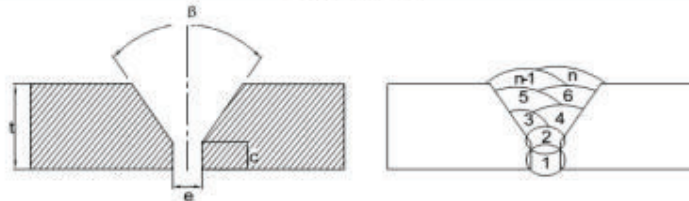
| ARTÍCULO XI. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | |
|--|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------|----------------------|-------|
| No. de pase | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. De avance (mm/min) | Progresión | Técnica de soldadura | |
| | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | | | | Oscilad o | Recto |
| 1 | E6010 | 3,2 (1/8") | DC + | 90 - 120 | 25-30 | 90 - 110 | Descendente | | X |
| 2 | E6010 | 3,2 (1/8") | DC + | 90 - 120 | 25-30 | 180 - 200 | Descendente | X | |
| 3 | E7018 | 3,2 (1/8") | DC + | 100 - 140 | 20-25 | 80 - 100 | Ascendente | X | |
| 4-n | E7018 | 3,2 (1/8") | DC + | 100 - 140 | 20-25 | 80 - 100 | Ascendente | X | |

| | | | | | | | |
|-------------------------|--|---------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|
| REALIZADO POR: | | | | REVISADO POR: | | | |
| Ing. Gabriel Velastegui | | Ing. Luis Jaramillo | | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | | Dr. Víctor Cárdenas DIRECTOR | |
| Firma: | | Firma: | | Firma: | | Firma: | |
| Fecha: | | Fecha: | | Fecha: | | Fecha: | |

| | | |
|---|--|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS No. EPN-GVLJ-002 |  |
|---|--|---|

| | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|
| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-002 Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional | | | |
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA | | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA | | | |
| Tipo de junta: Abertura raíz (e): Talón (c): Angulo de ranura (β): Placa de respaldo: Preparar bisel: | A TOPE 3,5 +/- 0.5 mm 1,0 +/- 0.5 mm 60° +/- 10° Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | Soldadura Posición de Soldadura: Progresión: Técnica: | RANURA 1GR (plana rotada) GTAW / GMAW ↓ Ascendente / ↑ Ascendente Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| ARTÍCULO II. METAL BASE | | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO | | | |
| Especificación: Espesor (t): Diámetro nominal: P No. Grupo No. | ASTM A 106 Gr B 8,0 mm. (SCH40) 203,27 mm. (8") 1 2 | Temperatura: Temperatura entre pases máx: Tiempo entre pases : | N/A N/A N/A | | |
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE | | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA | | | |
| Proceso: Especificación (SFA) No. Diámetro : Denominación AWS: F-No. A-No. | GTAW 5.18 2,4 mm. (3/32") E R70S-6 6 1 | GMAW 5.18 1,2 mm. (0,045") E R70S-6 6 1 | Soldadura de : Proceso de soldadura: Tipo de Soldadura: Tipo de transferencia: Soldadura a: Cordón de respaldo: Pase múltiples o simples (por lado) Electrodos Múltiples o únicos Cordón Recto u Oscilante Limpieza: Primer pase Pases siguientes : | | |
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN | | <table border="1"> <tr> <td>RANURA GTAW Manual <input checked="" type="checkbox"/> N/A Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Oscilante <input type="checkbox"/> Grata Grata</td> <td>RANURA GMAW Semiautomática ca PULSADA Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Oscilante <input type="checkbox"/> Grata Grata</td> </tr> </table> | | RANURA GTAW Manual <input checked="" type="checkbox"/> N/A Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Oscilante <input type="checkbox"/> Grata Grata | RANURA GMAW Semiautomática ca PULSADA Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Oscilante <input type="checkbox"/> Grata Grata |
| RANURA GTAW Manual <input checked="" type="checkbox"/> N/A Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Oscilante <input type="checkbox"/> Grata Grata | RANURA GMAW Semiautomática ca PULSADA Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Oscilante <input type="checkbox"/> Grata Grata | | | | |
| ARTÍCULO V. ELECTRODO | | ARTÍCULO IX. NOTAS | | | |
| Especificación (SFA) No. Denominación: Diámetro : | AWS A 5.12 EWTh2 2,4 mm. (3/32") | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Calentar las tuberías antes de soldar para retirar la humedad ambiental. Enfriar lentamente la soldadura. (Utilizar mantas térmicas). | | | |

Detalle de la Junta



| ARTÍCULO X. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|----------------------|-------|
| No de pase | Proceso | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. de avance (mm/min) | Vel. de alimentación (IPM) | Progresión | Técnica de soldadura | |
| | | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | | | | | oscilado | Recto |
| 1 | GTAW | ER70S-6 | 2,4 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 15 | 120-150 | N/A | Ascendente | X | |
| 2 | GTAW | ER70S-6 | 2,4 | DC ⁺ | 190 - 220 | 10 - 15 | 140-150 | N/A | Ascendente | X | |
| 3 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | |
| 4 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | |

| | | | |
|-------------------------|---------------------|--|--|
| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | |
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Diaz CO-DIRECTOR | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR |
| Firma: | | Firma: | Firma: |
| Fecha: | | Fecha: | Fecha: |

| | | |
|---|-------------------------------------|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL |  |
| ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | | |
| WPS No. EPN-GVLJ-003 | | |

| | |
|--|---|
| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-003 Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional |
|--|---|

| | |
|--|--|
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA |
| Tipo de junta: Abertura raíz (e): Talón (c): Angulo de ranura (β): Placa de respaldo: Preparar bisel: | Soldadura: Posición de Soldadura: Progresión: Técnica: |
| A TOPE 3,5 +/- 0.5 mm 1,0 +/- 0.5 mm 60° +/- 10° Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | RANURA 6G GTAW / GMAW ↓ Ascendente / ↑ Ascendente Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> |

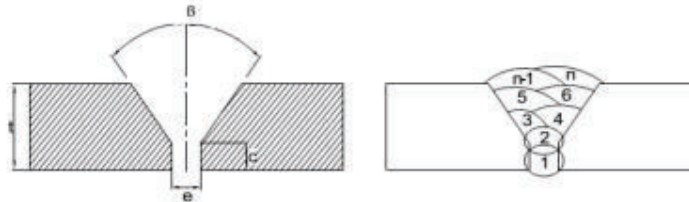
| | |
|--|--|
| ARTÍCULO II. METAL BASE | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO |
| Especificación: Espesor (t): Diámetro nominal: P No. Grupo No. | Temperatura: Temperatura entre pases máx: Tiempo entre pases : |
| ASTM A 106 Gr B 8,0 mm. (SCH40) 203,27 mm. (8") 1 2 | N/A N/A N/A |

| | | |
|---|---|---|
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA | |
| Proceso: Especificación (SFA) No. Diámetro : Denominación AWS: F-No. A-No. | Proceso de soldadura: Tipo de Soldadura: Tipo de transferencia: Soldadura a: Cordón de respaldo: Pase multiples o simples (por lado) Electrodos Múltiples o únicos Cordón Recto u Oscilante Limpieza: Primer pase Pases siguientes : | RANURA GTAW Manual <input checked="" type="checkbox"/> Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Único Oscilante Grata Grata RANURA GMAW Semiautomática PULSADA Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Único Oscilante Grata Grata |
| GTAW 5.18 2,4 mm. (3/32") ER70S-6 6 1 | GMAW 5.18 1,2 mm. (0,045") E R70S-6 6 1 | |

| | |
|---------------------------------------|---|
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN | ARTÍCULO IX. NOTAS |
| Tipo: Caudal: | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Calentar las tuberías antes de soldar para retirar la humedad ambiental. Enfriar lentamente la soldadura. (Utilizar mantas térmicas). |
| Argón (100%) 30 lt/min | MIX 20 Argón (80%) y CO ₂ (20%) 50 lt/min |

| | |
|---|---|
| ARTÍCULO V. ELECTRODO | ARTÍCULO IX. NOTAS |
| Especificación (SFA) No. Denominación: Diámetro : | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Calentar las tuberías antes de soldar para retirar la humedad ambiental. Enfriar lentamente la soldadura. (Utilizar mantas térmicas). |
| AWS A 5.12 EWh2 2,4 mm. (3/32") | |

Detalle de la Junta



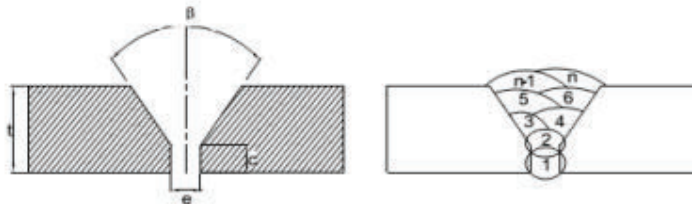
| ARTÍCULO X. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|----------------------|-------|
| No de pase | Proceso | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. de avance (mm/min) | Vel. de alimentación (IPM) | Progresión | Técnica de soldadura | |
| | | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | | | | | oscilado | Recto |
| 1 | GTAW | ER70S-6 | 2,4 | DC ⁻ | 140 - 160 | 10 - 15 | 100-140 | N/A | Ascendente | X | |
| 2 | GTAW | ER70S-6 | 2,4 | DC ⁻ | 190 - 220 | 10 - 15 | 120-150 | N/A | Ascendente | X | |
| 3 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 140-160 | 175-180 | Ascendente | X | |
| 4 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 140-160 | 175-180 | Ascendente | X | |

| | | | |
|-------------------------|---------------------|--|--|
| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | |
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Diaz CO-DIRECTOR | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR |
| Firma: | | Firma: | Firma: |
| Fecha: | | Fecha: | Fecha: |

| | | |
|---|-------------------------------------|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL |  |
| ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | | |
| WPS No. EPN-GVLJ-004 | | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-004 Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional | |
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA Tipo de junta: Abertura raíz (e): Talón (c): Angulo de ranura (β): Placa de respaldo: Preparar bisel: | | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA Soldadura: Posición de Soldadura: Progresión: Técnica: | |
| ARTÍCULO II. METAL BASE Especificación: Espesor (t): Diámetro nominal: P No. Grupo No. | | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO Temperatura: Temperatura entre pases máx: Tiempo entre pases : | |
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE Proceso: Especificación (SFA) No. Diámetro : Denominación AWS: F-No. A-No. Tipo de transferencia: | | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA Soldadura de : Proceso de soldadura: Tipo de Soldadura: Tipo de transferencia: Soldadura a: Cordón de respaldo: Pase múltiples o simples (por lado) Electrodo Múltiples o únicos Cordón Recto u Oscilante Limpieza: Primer pase Pases siguientes : | |
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN Tipo: Caudal: | | ARTÍCULO IX. NOTAS <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Calentar las tuberías antes de soldar para retirar la humedad ambiental. | |
| ARTÍCULO V. ELECTRODO Especificación (SFA) No. Denominación: Diámetro : | | N/A N/A N/A | |

Detalle de la Junta



ARTÍCULO X. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN

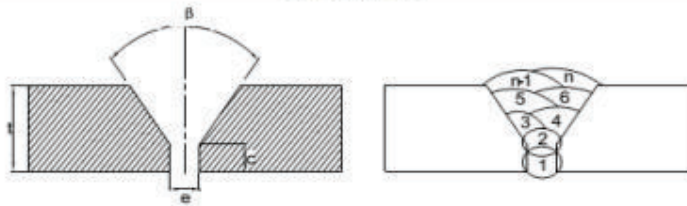
| No de pase | Proceso | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. de avance (mm/min) | Vel. de alimentación (IPM) | Progresión | Técnica de soldadura | |
|------------|---------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|----------------------|-------|
| | | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | | | | | oscilado | Recto |
| 1 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 100-120 | 20-25 | 100-120 | 120-130 | Ascendente | | X |
| 2 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 100-120 | 20-25 | 100-120 | 120-130 | Ascendente | X | |
| 3 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140-160 | 20-25 | 160-170 | 150-160 | Ascendente | X | |
| 4 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140-160 | 20-25 | 160-170 | 150-160 | Ascendente | X | |

| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | |
|-------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Diaz CO-DIRECTOR | Dr. Víctor Cárdenas DIRECTOR |
| Firma: | | Firma: | Firma: |
| Fecha: | | Fecha: | Fecha: |



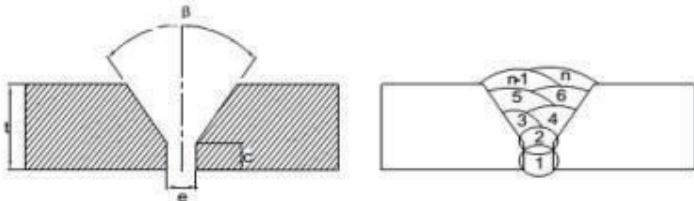
| | | |
|---|--|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS No. EPN-GVLJ-005 |  |
|---|--|---|

| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-005 Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|------------------|-----------------------|-----------------|---------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------|----------------|------------------|-----------------------|----------|-------|---|------|---------|-----|-----------------|-----------|---------|---------|---------|------------|--|---|---|------|---------|-----|-----------------|-----------|---------|---------|---------|------------|---|--|---|------|---------|-----|-----------------|-----------|---------|---------|---------|------------|---|--|---|------|---------|-----|-----------------|-----------|---------|---------|---------|------------|---|--|
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA | | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de junta: Abertura raíz (e): Talón (c): Angulo de ranura (β): Placa de respaldo: Preparar bisel: | A TOPE 2,5 +/- 0.5 mm 1,0 +/- 0.5 mm 60° +/- 10° Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | Soldadura: Posición de Soldadura: Progresión: Técnica: | RANURA 1GR (plana rotada) GMAW-RMD / GMAW-P ↓ Ascendente / ↑ Ascendente Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARTÍCULO II. METAL BASE | | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Especificación: Espesor (t): Diámetro nominal: P No. Grupo No. | ASTM A 106 Gr B 8,0 mm. (SCH40) 203,27 mm. (8") 1 2 | Temperatura: Temperatura entre pases máx: Tiempo entre pases : | N/A N/A N/A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE | | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proceso: Especificación (SFA) No. Diámetro : Denominación AWS: F-No. A-No. Tipo de transferencia: | GMAW 5.18 1,2 mm. (0,045") E R70S-6 6 1 RMD | GMAW 5.18 1,2 mm. (0,045") E R70S-6 6 1 PULSADA | RANURA GMAW Semiautomática RMD Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Único Recto Grata Grata RANURA GMAW Semiautomática PULSADA Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Único Oscilante Grata Grata | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN | | ARTÍCULO IX. NOTAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo: Caudal: | MIX 20 Argón (80%) y CO ₂ (20%) 50 lt/min | MIX 20 Argón (80%) y CO ₂ (20%) 50 lt/min | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Calentar las tuberías antes de soldar para retirar la humedad ambiental. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ARTÍCULO V. ELECTRODO | | ARTÍCULO X. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Especificación (SFA) No. Denominación: Diámetro : | N/A N/A N/A | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No de pase</th> <th rowspan="2">Proceso</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Tensión de trabajo (Voltios)</th> <th rowspan="2">Vel. de avance (mm/min)</th> <th rowspan="2">Vel. de alimentación (IPM)</th> <th rowspan="2">Progresión</th> <th colspan="2">Técnica de soldadura</th> </tr> <tr> <th>Clase</th> <th>Diámetro (mm.)</th> <th>Tipo y polaridad</th> <th>Intensidad (Amperios)</th> <th>oscilado</th> <th>Recto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GMAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>1,2</td> <td>DC⁺</td> <td>140 - 160</td> <td>10 - 18</td> <td>160-170</td> <td>150-160</td> <td>Ascendente</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>GMAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>1,2</td> <td>DC⁺</td> <td>140 - 160</td> <td>10 - 18</td> <td>160-170</td> <td>175-180</td> <td>Ascendente</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>GMAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>1,2</td> <td>DC⁺</td> <td>140 - 160</td> <td>10 - 18</td> <td>160-170</td> <td>175-180</td> <td>Ascendente</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>GMAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>1,2</td> <td>DC⁺</td> <td>140 - 160</td> <td>10 - 18</td> <td>160-170</td> <td>175-180</td> <td>Ascendente</td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | No de pase | Proceso | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. de avance (mm/min) | Vel. de alimentación (IPM) | Progresión | Técnica de soldadura | | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | oscilado | Recto | 1 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 150-160 | Ascendente | | X | 2 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | | 3 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | | 4 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | |
| No de pase | Proceso | Metal de aporte | | | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. de avance (mm/min) | | | | | Vel. de alimentación (IPM) | Progresión | Técnica de soldadura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | oscilado | Recto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 150-160 | Ascendente | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Detalle de la Junta

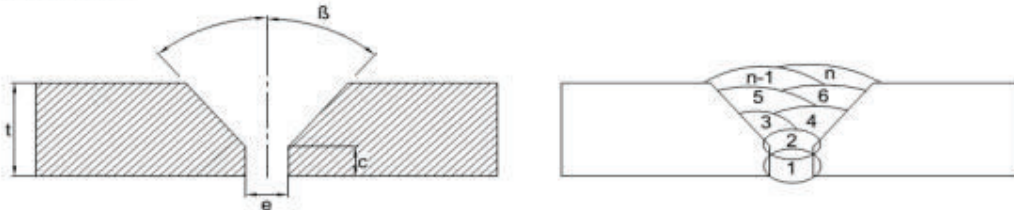


| | | | | | | | |
|-------------------------|--|---------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|
| REALIZADO POR: | | | | REVISADO POR: | | | |
| Ing. Gabriel Velastegui | | Ing. Luis Jaramillo | | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR | |
| Firma: | | | | Firma: | | Firma: | |
| Fecha: | | | | Fecha: | | Fecha: | |

|  | | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL | | | |  | | | | | |
|--|---------|--|----------------|---|-----------------------|---|-------------------------|----------------------------|------------|----------------------|-------|
| ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | | | | | | | | | | | |
| WPS No. EPN-GVLJ-006 | | | | | | | | | | | |
| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-006 Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | | | | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional | | | | | | | |
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA | | | | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA | | | | | | | |
| Tipo de junta: Abertura raíz (e): Talón (c): Angulo de ranura (β): Placa de respaldo: Preparar bisel: | | A TOPE 2,5 +/- 0.5 mm 1,0 +/- 0.5 mm 60 ° +/- 10 ° Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | Soldadura Posición de Soldadura: Progresión: Técnica: | | RANURA 6G GMAW-RMD / GMAW-P ↓ Ascendente / ↑ Ascendente Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| ARTÍCULO II. METAL BASE | | | | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO | | | | | | | |
| Especificación: Espesor (t): Diámetro nominal: P No. Grupo No. | | ASTM A 106 Gr B 8,0 mm. (SCH40) 203,27 mm. (8") 1 2 | | Temperatura: Temperatura entre pases máx: Tiempo entre pases : | | N/A 200 °C N/A | | | | | |
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE | | | | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA | | | | | | | |
| Proceso: Especificación (SFA) No. Diámetro : Denominación AWS: F-No. A-No. Tipo de transferencia: | | GMAW 5.18 1,2 mm. (0,045") E R70S-6 6 1 RMD | | GMAW 5.18 1,2 mm. (0,045") E R70S-6 6 1 PULSADA | | Soldadura de : Proceso de soldadura: Tipo de Soldadura: Tipo de transferencia: Soldadura a: Cordón de respaldo: Pase multiples o simples (por lado) Electrodos Multiples o únicos Cordón Recto u Oscilante Limpieza: Primer pase Pases siguientes : | | | | | |
| | | | | | | RANURA GMAW Semiautomática RMD Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Único Recto Grata Grata | | | | | |
| | | | | | | RANURA GMAW Semiautomática PULSADA Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Único Oscilante Grata Grata | | | | | |
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN | | | | ARTÍCULO IX. NOTAS | | | | | | | |
| Tipo: Caudal: | | Argón (100%) 30 lt/min | | MIX 20 Argón (80%) y CO ₂ (20%) 50 lt/min | | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. Calentar las tuberías antes de soldar para retirar la humedad ambiental. | | | | | |
| ARTÍCULO V. ELECTRODO | | | | | | | | | | | |
| Especificación (SFA) No. Denominación: Diámetro : | | N/A N/A N/A | | | | | | | | | |
| Detalle de la Junta | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| ARTÍCULO X. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | |
| No de pase | Proceso | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. de avance (mm/min) | Vel. de alimentación (IPM) | Progresión | Técnica de soldadura | |
| | | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | | | | | oscilado | Recto |
| 1 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 150-160 | Ascendente | | X |
| 2 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | |
| 3 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | |
| 4 | GMAW | ER70S-6 | 1,2 | DC ⁺ | 140 - 160 | 10 - 18 | 160-170 | 175-180 | Ascendente | X | |
| REALIZADO POR: | | | | REVISADO POR: | | | | | | | |
| Ing. Gabriel Velastegui | | Ing. Luis Jaramillo | | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR | | | | | |
| Firma: Fecha: | | | | Firma: Fecha: | | Firma: Fecha: | | | | | |

| | | |
|---|--|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS No. EPN-GVLJ-007 |  |
|---|--|---|

| | | | |
|--|--|---|--|
| Nombre Compañía: EPN PQR de Soporte No.: EPN-GVLJ-007 | | Revisión : 0.1 Fecha Revisión: 10/03/2015 Realizado por: Ing. Gabriel E. Velastegui Escuela Politécnica Nacional | |
| Según norma : ASME IX-2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS". | | | |
| ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA | | ARTÍCULO VI. POSICIÓN DE SOLDADURA | |
| Tipo de junta: | A TOPE | Posición de Soldadura: | 6G |
| Abertura raíz (e): | 3,0 +/- 0.5 mm | Progresión: | ↑ Ascendente |
| Talón (c): | 3,0 +/- 0.5 mm | Técnica: | Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> |
| Angulo de ranura (β): | 60° +/- 10° | ARTÍCULO VII. PRECALENTAMIENTO | |
| Placa de respaldo: | Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> | Temperatura: | N/A |
| Preparar bisel: | Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | Temperatura entre pases máx: | 200 °C |
| ARTÍCULO II. METAL BASE | | Tiempo entre pases : | N/A |
| Especificación: | ASTM A 106 Gr B | | |
| Espesor (t): | 8,0 mm. (SCH40) | | |
| Diámetro nominal: | 203,27 mm. (8") | | |
| P No. | 1 | | |
| Grupo No. | 2 | | |
| ARTÍCULO III. METAL DE APORTE | | ARTÍCULO VIII. TÉCNICA DE SOLDADURA | |
| Proceso: | GTAW | SMAW | RANURA |
| Especificación (SFA) No.: | 5.18 | 5.1 | GTAW/SMAW |
| Diámetro : | 2,4 mm. | 3,2 mm. | Manual <input checked="" type="checkbox"/> |
| Denominación AWS: | E R70S-6 | E 7018 | Semiautomática <input type="checkbox"/> |
| F-No. | 6 | 4 | Automática <input type="checkbox"/> |
| A-No. | 1 | 1 | Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados Si <input type="checkbox"/> No |
| ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN | | Soldadura a: | |
| Tipo: | Argón (Ar) 100% | Cordón de respaldo: | |
| Caudal: | 20 lt/min. | Pase múltiples o simples (por lado) | |
| ARTÍCULO V. ELECTRODO | | Electrodos Múltiples o únicos | |
| Especificación (SFA) No.: | 5.12 | Cordón Recto u Oscilante | |
| Denominación: | EWTh2 | Limpieza: | |
| Diámetro : | 2.4 mm. | Primer pase | |
| | | Pases siguientes : | |
| | | ARTÍCULO IX. NOTAS | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> Asegurar limpieza de las partes. Verificar alineación de la junta. | |

Detalle de la Junta

| ARTÍCULO X. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | |
|---|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|------------|----------------------|-------|
| No de pase | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo (Voltios) | Vel. De avance (mm/min) | Progresión | Técnica de soldadura | |
| | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | | | | oscilado | Recto |
| 1 | ER70S-6 | 2,4 | DC ⁻ | 90-100 | 18-20 | 60-110 | Ascendente | | X |
| 2 | ER70S-6 | 2,4 | DC ⁻ | 90-100 | 18-20 | 60-110 | Ascendente | X | |
| 3 | E7018 | 3,2 | DC ⁺ | 100-140 | 20-25 | 120-140 | Ascendente | X | |
| 4-n | E7018 | 3,2 | DC ⁺ | 100-140 | 20-25 | 120-140 | Ascendente | X | |

| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | |
|-------------------------|---------------------|--|--|
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR |
| Firma: | | Firma: | Firma: |
| Fecha: | | Fecha: | Fecha: |

6.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS CUPONES DE SOLDADURA

Debido a que son varios los procedimientos y procesos de soldadura con los que se van a trabajar, es necesario identificar los cupones para calificación de los procedimientos de soldadura (WPS's) y los procesos de soldadura a utilizar, se los identifican como indican en la Tabla 6.3.

Tabla 6. 3 Identificación de los cupones de soldadura

| MUESTRA No. | Código de referencia | WPS No. | ESPECIFICACIONES | PROCESO DE SOLDADURA | POSICIÓN DE SOLDADURA |
|-------------|----------------------|-------------|--|----------------------|-------------------------|
| 1 | A. II. | EPN-GVLJ-01 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | SMAW / SMAW 6G | 6G (tubería fija a 45°) |
| 2 | B. I. | EPN-GVLJ-02 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | GTAW / GMAW-P 1GR | 1GR (plana rotada) |
| 3 | B. II. | EPN-GVLJ-03 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | GTAW / GMAW-P 6G | 6G (tubería fija a 45°) |
| 4 | C. II. | EPN-GVLJ-04 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | GMAW-S / GMAW-S 6G | 6G (tubería fija a 45°) |
| 5 | D. I. | EPN-GVLJ-05 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | GMAW-RMD / GMAW-P | 1GR (plana rotada) |
| 6 | D. II. | EPN-GVLJ-06 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | GMAW-RMD / GMAW-P 6G | 6G (tubería fija a 45°) |

| | | | | | |
|---|--------|-------------|--|--------------|-------------------------|
| 7 | E. II. | EPN-GVLJ-07 | Soldadura de ranura en tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) | GTAW-SMAW 6G | 6G (tubería fija a 45°) |
|---|--------|-------------|--|--------------|-------------------------|

Fuente: Propia.

6.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS PARA ANÁLISIS

Después de realizar la soldadura de la tubería de acuerdo a cada uno de los procedimientos anteriormente señalados y luego de efectuar los END (radiografía industrial, tintas penetrantes), se genera una identificación de las probetas, (ver Tabla 6.4), para la realización de ensayos destructivos (tracciones, doblados de cara y de raíz), para luego realizar el corte y preparación.

Tabla 6. 4 Identificación de los cupones de soldadura

| Código de referencia | IDENTIFICACIÓN LABORATORIO | DESCRIPCIÓN |
|----------------------|----------------------------|--|
| A. II. | 1T-GVLJ-A | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-A | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-A | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DC-GVLJ-A | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DR-GVLJ-A | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-A | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| B. I. | 1T-GVLJ-B | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-B | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-B | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |

| | | |
|---------------|------------|--|
| | 2DC-GVLJ-B | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DR-GVLJ-B | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-B | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| B. II. | 1T-GVLJ-C | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-C | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-C | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DC-GVLJ-C | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DR-GVLJ-C | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-C | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| C. II. | 1T-GVLJ-D | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-D | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-D | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DC-GVLJ-D | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DR-GVLJ-D | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-D | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| D. I. | 1T-GVLJ-E | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-E | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-E | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DC-GVLJ-E | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |

| | | |
|---------------|------------|--|
| | 1DR-GVLJ-E | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-E | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| D. II. | 1T-GVLJ-F | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-F | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-F | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DC-GVLJ-F | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DR-GVLJ-F | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-F | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| E. II. | 1T-GVLJ-G | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2T-GVLJ-G | Probeta para ensayo de tracción perteneciente a la tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DC-GVLJ-G | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DC-GVLJ-G | Probeta para ensayo de doblado de cara perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 1DR-GVLJ-G | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |
| | 2DR-GVLJ-G | Probeta para ensayo de doblado de raíz perteneciente a tubería de $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm.) |

Fuente: Propia.

6.3.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Según los requerimientos del código ASME sección IX, Código de tanques y recipientes a presión no se necesita realizar END, como Radiografía industrial (RT), ni de tintas penetrantes (PT) para la calificación de los procedimientos de soldadura, sin embargo, para garantizar y verificar la calidad de la soldadura se va a utilizar el método de inspección volumétrica (radiografía industrial) y el método de inspección superficial (tintas penetrantes).

La radiografía industrial se realiza en todos de los cupones de tubería soldados, pero para la explicación de los pasos y los cálculos de exposición se va a realizar en cuatro cupones.

Estos cupones de tubería corresponden a los procedimientos de soldadura EPN-TESIS-GVLJ-02 (GTAW / GMAW-P 1GR), código de referencia **B. I.** y EPN-TESIS-GVLJ-03 (GTAW / GMAW-P 6G), código de referencia **B. II.** Al igual que EPN-TESIS-GVLJ-05 (GMAW-RMD / GMAW-P 1GR), código de referencia **D. I.** y EPN-TESIS-GVLJ-06 (GMAW-RMD / GMAW-P 6G), código de referencia **D. II.**



Fotografía 6. 10 Tubería soldada con proceso GTAW / GMAW-P en la posición fija a 45° (6G) PULSADA

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 11 Tubería soldada con proceso GMAW - RMD / GMAW - P en la posición fija a 45° (6G) PULSADA

Fuente: Propia.

6.3.4.1 Radiografía industrial

La radiografía industrial es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades tanto superficiales como internas en piezas de prácticamente todos los materiales empleados en la industria. Es una técnica versátil, permite radiografiar objetos de todos los tamaños (desde los componentes electrónicos microscópicos hasta componentes de la industria pesada) y de prácticamente todos los materiales conocidos; ya sean fabricados por forjado, fundición, mecanizados, laminados, compuestos, etc.

La radiografía proporciona un registro visual y permanente sobre una película sensible (debidamente procesada luego de la exposición). En muchos casos resulta de suma utilidad para observar lo que ocurre en el interior de un elemento sin necesidad de desarmarlo o destruirlo.

6.3.4.1.1 Cálculos a realizarse

Para realizar los cálculos de tiempo de exposición de la tubería de acero ASTM A 106 Gr. B, con la película se utiliza principalmente la siguiente ecuación:

$$t_{exp} = t_c \cdot f_n \cdot f_p \cdot f_D \cdot f_v \quad (1)$$

Donde:

t_c = tiempo obtenido del diagrama

f_n = factor de corrección por densidad

f_p = factor de corrección por película

f_D = factor de corrección por distancia

f_v = factor de corrección por varios

Fuente: Dato de placa del equipo de Rayos X, Laboratorio de END, de la FIM, EPN.

En caso de aplicar la ecuación (1) y obtener tiempos de exposición muy grandes se recurre a la ecuación del inverso de la distancia:

$$\frac{t_{exp1}}{t_{exp2}} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

Donde

t_{exp} = tiempo de exposición

d = distancia foco - objeto

I = intensidad

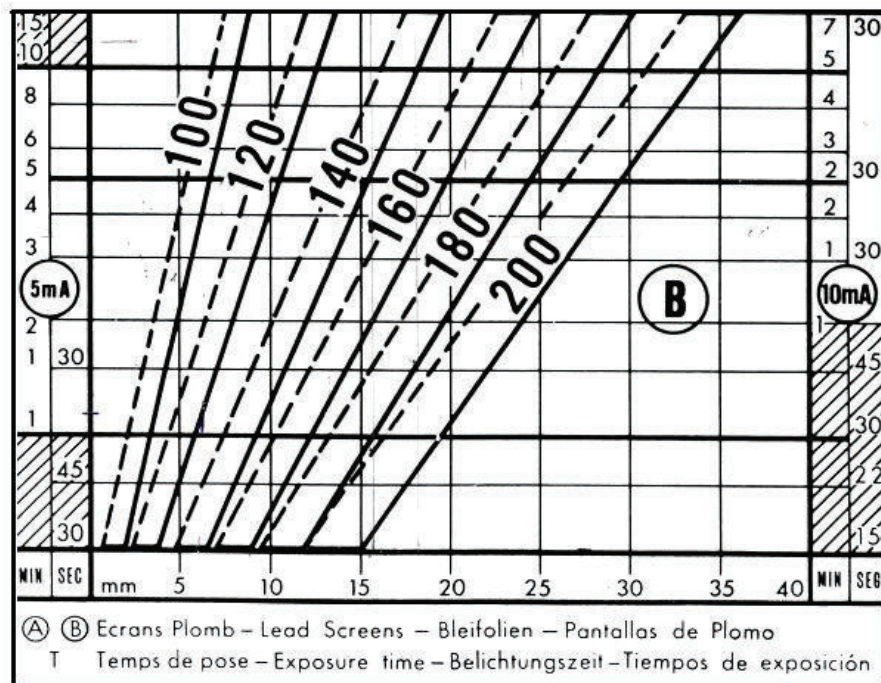


Figura 6. 2 Diagramas de para cálculo del tiempo de exposición, perteneciente al equipo de Rx del Laboratorio de END de la FIM.

Fuente: Dato de placa del equipo de Rayos X, Laboratorio de END, de la FIM, EPN.

Para poder identificar a las probetas de mejor manera se las ha numerado como se indica en la Tabla 6.5.

En los cupones de tubería se realiza la medición del espesor total de la tubería para el cálculo de tiempo de exposición esto es: la sumatoria de los espesores del metal base MB, la sobremona SB y el exceso de penetración en la raíz R, obteniendo los datos que se muestra en la Tabla 6.6.

Tabla 6. 5 Combinaciones de procesos de soldadura y de posiciones.

| No Probeta | PROCESO DE SOLDADURA | POSICIÓN DE SOLDADURA | CÓDIGO DE REFERENCIA |
|---------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | GTAW-GMAW (P) | Fija a 45° (6G) | B. II |
| 2 | GMAW- S | Fija a 45° (6G) | C. II |
| 3 | GMAW (RMD) – GMAW (P) | Fija a 45° (6G) | D. II |

Fuente: Propia.

Tabla 6. 6 Combinaciones de procesos de soldadura y de posiciones.

| CÓDIGO DE REFERENCIA | PROCESO DE SOLDADURA | MB (mm.) | SB (mm.) | R (mm.) | ESPEJOR TOTAL (mm.) |
|-------------------------|--------------------------|-------------|-------------|------------|---------------------------|
| B. II | GTAW-GMAW (P) | 8,0 | 3,0 | 0,0 | 11,0 |
| C. II | GMAW- S | 8,0 | 3,2 | 2,0 | 13,2 |
| D. II | GMAW (RMD) – GMAW (P) | 8,0 | 3,6 | 0,5 | 12,1 |

Fuente: Propia.

Con los espesores totales obtenidos de las tablas antes indicadas se determina el primer parámetro para calcular el tiempo de exposición.

La Tabla 6.7 indica los tiempos de exposición que se obtienen del gráfico del equipo de rayos X, de acuerdo a los espesores de los cupones soldados.

Tabla 6. 7 Tiempos de exposición que son extraídos del diagrama.

| CÓDIGO DE REFERENCIA | PROCESO DE SOLDADURA | Tiempos (seg.) |
|----------------------|-----------------------|----------------|
| B. II | GTAW-GMAW (P) | 50 |
| C. II | GMAW- S | 75 |
| D. II | GMAW (RMD) – GMAW (P) | 60 |

Fuente: Propia

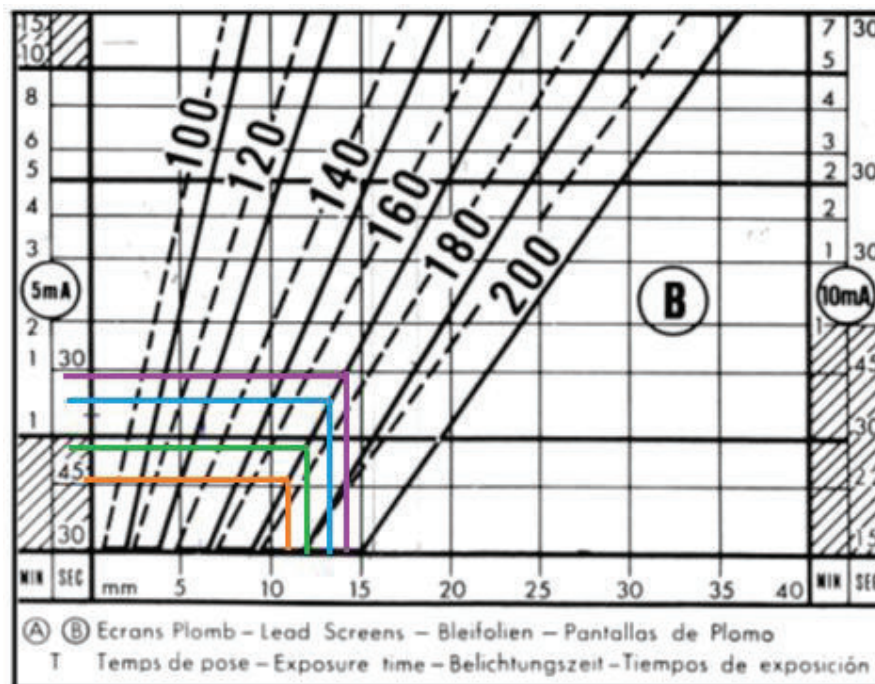


Figura 6. 3 Diagramas de para cálculo del tiempo de exposición, de acuerdo a las probetas en análisis.

Fuente: Propia

El siguiente paso es definir algunas de las variables necesarias para aplicar la ecuación del tiempo de exposición, encontrar los diferentes factores como el de película, densidad etc.

$$f_n = 1,$$

$$f_p = 2.2,$$

$$f_D = 0.5,$$

$$f_v = 1$$

$$t_{exp} = t_c \times 1 \times 2.2 \times 0.5 \times 1$$

Fuente: Folleto de prácticas del Laboratorio END, EPN.

La Tabla 6.8 indica los tiempos de exposición total luego de la aplicación de la ecuación anterior de acuerdo a los espesores de los cupones soldados.

Tabla 6.8 Tiempos de exposición

| CÓDIGO DE REFERENCIA | t_c , (seg) | T_{exp} , (seg) |
|----------------------|---------------|-------------------|
| B. II | 50 | 55 |
| C. II | 75 | 82.5 |
| D. II | 60 | 66 |

Fuente: Propia

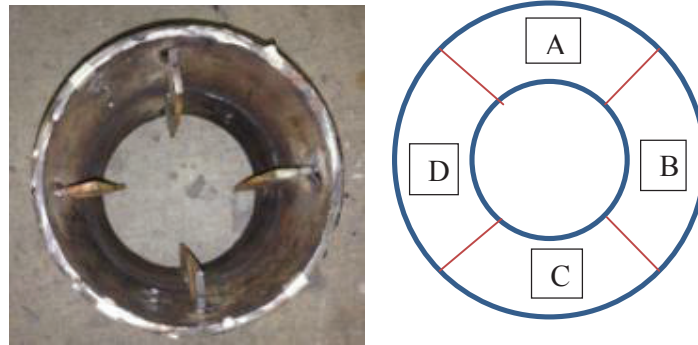
Se observa que los tiempos no son superiores a 120 segundos por lo tanto no es necesario realizar más correcciones. Ni tampoco aplicar la ecuación (2).

6.3.4.1.2 Procedimiento

Lo primero que se realiza es cortar la película, en el cuarto oscuro con las luces completamente apagadas y tan solo con la ayuda de la luz roja, previamente, se deben cortar partes de la cubierta de película denominados capuchones, los que ayudan a cubrir los extremos de la película y evitar que ingrese luz en la película.

La tubería soldada se va a dividir en cuatro partes imaginarias, para realizar la exposición radiográfica, se recorta la película, se identifica la sección que va a ser radiografiada, tal como se observa en la Fotografía 6.12.

Entonces las películas se denominarán 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, etc. Esta es la denominación simplificada que el laboratorio de Ensayos No Destructivos utiliza para la ubicación de las placas y para la utilización de las letras de plomo.



Fotografía 6. 12 Forma de identificación de la tubería soldada, para la realización de la radiografía.

Fuente: Propia.

Después se coloca las letras de plomo, con la denominación establecidas en la película radiografiada, en este caso se ha colocado la sigla de procesos y el número de la probeta junto con la sección, por ejemplo: GT GM 6G 1A. Estas letras se adhieren a la película con cinta masking.

GT GM 6G 1A

Dónde:

- **GT:** GTAW
- **GM:** GMAW
- **6G:** Posición de soldadura fija a 45°.
- **1A:** Ubicación de la película

Antes de colocar en el bunker el cupón de tubería, para proceder a radiografiar se realiza el recaldeo del equipo, el cual se lleva a cabo de acuerdo al tiempo de no actividad de la máquina.

Se coloca la película en la parte interna de la tubería fijada a esta con cinta masking, la película debe quedar lo más junta posible a la tubería. Se colocan los indicadores sobre la tubería en la posición contraria a las letras de plomo colocadas en la película.

Se enciende la bomba de enfriamiento, y luego se radia la pieza el tiempo que se ha calculado anteriormente. Una vez que se realiza la toma de todas las placas, se procede a revelar las películas.

6.3.4.1.3 Revelado

El revelador y fijador deben ser preparados con anterioridad según las indicaciones del fabricante y colocados en unas tinas por separado. Como se explicó anteriormente los pasos para el revelado son:

- Revelado, (5 minutos)
- Lavado inicial (5 minutos)
- Fijador (10 minutos) y
- Lavado final (5 o 10 minutos.)

Por último se colocan las películas en una secadora o en una superficie donde la película pueda secarse sin dejar ninguna mancha.

6.3.4.1.4 Resultados

El personal que realiza y evalúa los ensayos debe tener una adecuada formación y calificación profesional, debiendo estar validadas mediante la correspondiente certificación emitida por un ente de solvencia reconocida que esté acreditado por el organismo nacional correspondiente.

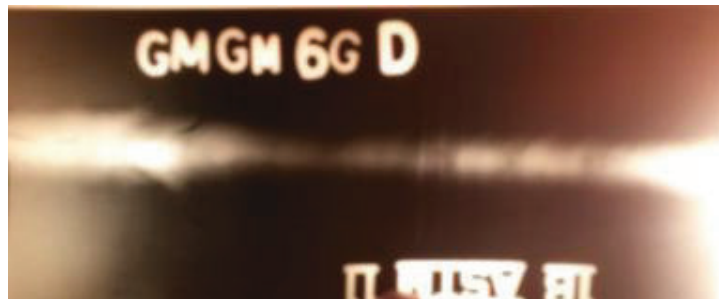
El personal debe interpretar y distinguir adecuadamente entre indicaciones relevantes, no relevantes y falsas, como también discernir entre la tipología de discontinuidades de soldadura y fundición. Además de poseer pautas para su evaluación con respecto a los criterios de aceptación en base a códigos y normas internacionales de aplicación.

Luego de concluido todo el proceso de revelado, se realiza la inspección de las placas radiográficas, pertenecientes a las tuberías en análisis y utilizando el estetoscopio como ayuda para observar las mismas, se puede interpretar y evaluar en caso de existir alguna imperfección relevante, tal como se observa en las Fotografías 6.13, 6.14 y 6.15.



Fotografía 6. 13 Placa radiográfica perteneciente al proceso GTAW-GMAW (P).

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 14 Placa radiográfica perteneciente al proceso GMAW-GMAW (S).

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 15 Placa radiográfica perteneciente al proceso GMAW (RMD) - GMAW (P).

Fuente: Propia.

6.3.4.2 Tintas penetrantes

El método de ensayo no destructivo por tintas penetrantes basado en el principio de capilaridad de los líquidos, y que permite su penetración y retención en las aberturas estrechas, tiene una amplia aplicación en la detección de defectos abiertos a la superficie.

El método se distingue de otros métodos de inspección convencionales, porque es prácticamente independiente de la forma, geometría y ubicación de la pieza a examinar, requiere de un equipamiento mínimo (no depende de fuentes de energía) y posee una gran sensibilidad en la detección de fallas.

Para la inspección por tintas penetrantes se utiliza los mismos cupones de tubería analizados por radiografía industrial.

Tabla 6. 9 Combinaciones de procesos de soldadura y de posiciones para realización de tintas penetrantes.

| No Probeta | PROCESO DE SOLDADURA | POSICIÓN DE SOLDADURA | CÓDIGO DE REFERENCIA |
|---------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | GTAW-GMAW (P) | Fija a 45° (6G) | B. II |
| 2 | GMAW- S | Fija a 45° (6G) | C. II |
| 3 | GMAW (RMD) – GMAW (P) | Fija a 45° (6G) | D. II |

Fuente: Propia.

6.3.4.2.1 Procedimiento

Este método de END de líquidos penetrantes (**PT**), es de simple aplicación y los resultados se evidencian en pocos minutos, los pasos se pueden resumir en la Figura 6.4.

En las fotografías 6,16; 6.17; 6.18; 6.19 y 6.20, se observa el procedimiento de tintas penetrantes, aplicados a los cupones de tubería de este proyecto de titulación.

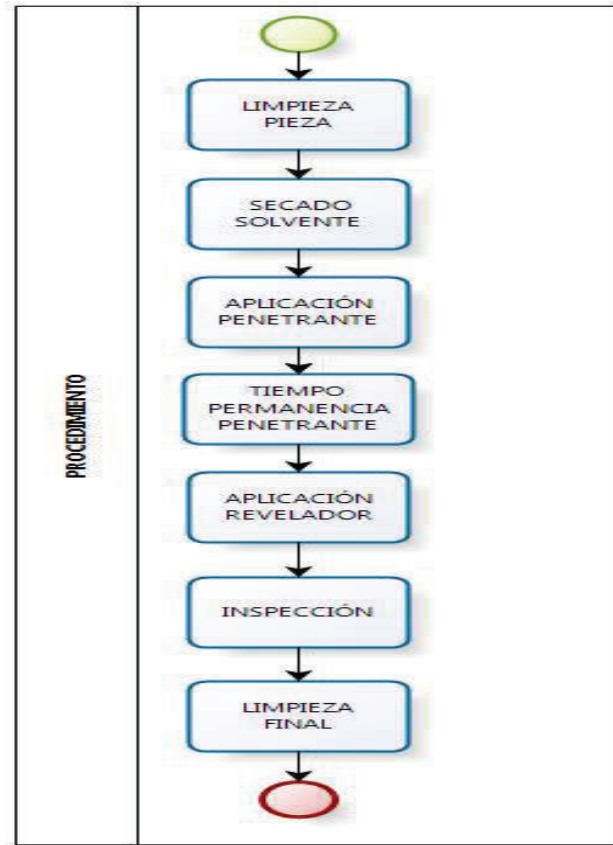


Figura 6. 4 Procedimiento básico para la realización del ensayo de tintas penetrantes.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 16 Identificación de la sección de cada tubería que se va realizar el ensayo.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 17 Limpieza de la soldadura de la tubería a analizar, esto se puede realizar con un solvente (thinner), con la ayuda de un paño seco.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 18 Aplicación del líquido penetrante marca: Spotcheck SKL-SP2 en spray, en toda la longitud de la soldadura, tiempo de permanencia de 10 minutos.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 19 Eliminación del exceso de penetrante.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 20 Aplicación del revelador, El revelador marca: Spotcheck SKD-S2. El revelador tipo húmedo no acuoso en spray.

Fuente: Propia.

6.3.4.2.2 Resultados

Una vez terminado el proceso de aplicación de tintas penetrantes y luego de un tiempo prudente de haber sido aplicado el revelador. Esta capa de revelador absorbe el líquido penetrante retenido en las discontinuidades, llevándolo a la

superficie para hacerlo visible, ya sea por contraste o por fluorescencia (según la técnica empleada) las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.

6.3.5 FORMA Y EXTRACCIÓN DE LAS PROBETAS PARA LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La calificación de los procedimientos de soldadura se va a realizar de acuerdo a los requerimientos del código ASME sección IX, Código de tanques y recipientes a presión en la cual establece la ubicación, la forma, el tipo y número de probetas que son necesarias para la calificación del procedimiento de soldadura, tal como se observa en las Figuras 6.5; 6.6 y 6.7.

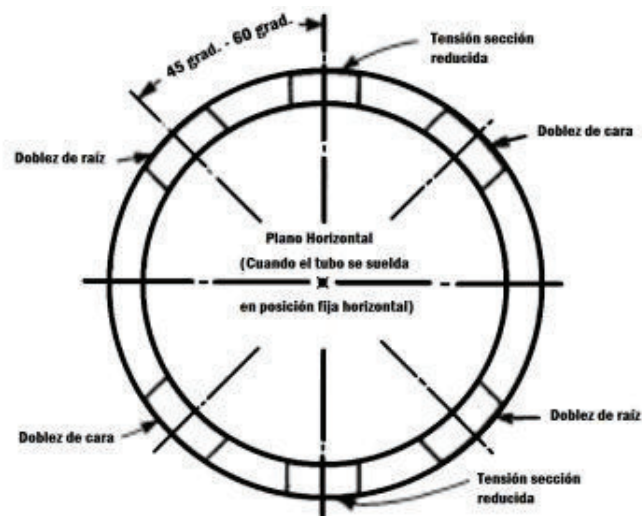


Figura 6. 5 Ubicación y tipo de probetas para calificación de procedimientos de soldadura.

Fuente: (ASME IX, 2013).

Para una mejor explicación de la preparación y extracción de las probetas para la calificación se tomará como referencia al cupón de tubería soldada con proceso GTAW / GMAW, y estos pasos se deben repetir para la extracción y preparación

de las probetas en todos los cupones que se requieren para la calificación de los procedimientos de soldadura antes indicados.

En la Fotografía 6.21, se presenta los cupones de tubería, realizados con proceso GTAW / GMAW, tanto en la posición plana rotada (1GR) y la posición Fija a 45° (6G). Estos cupones se utilizan para calificar los procedimientos de soldadura EPN-TESIS-GVLJ-02 (GTAW / GMAW-P 1GR), código de referencia **B. I.** y EPN-TESIS-GVLJ-03 (GTAW / GMAW-P 6G), código de referencia **B. II** respectivamente.

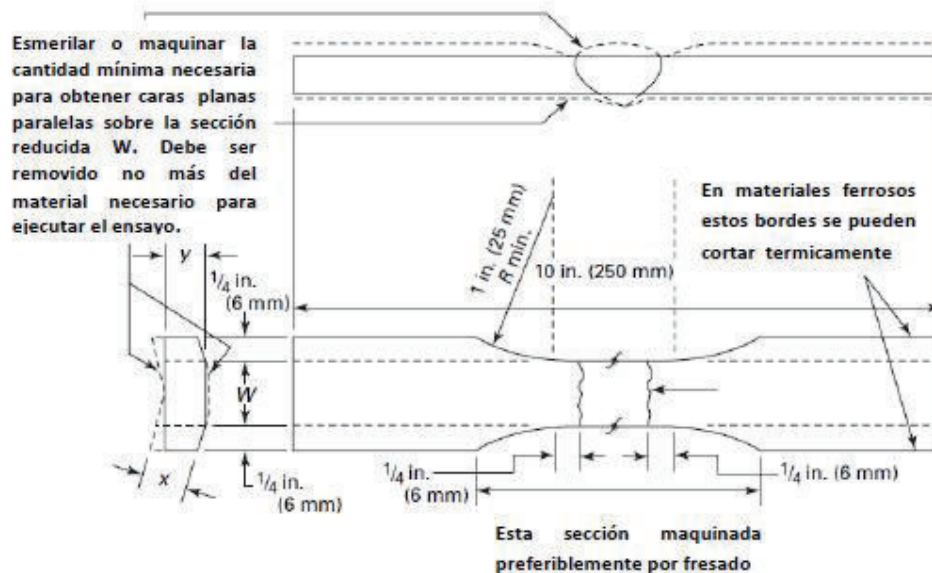


Fotografía 6. 21 Cupones de tubería soldados con proceso GTAW / GMAW, tanto en la posición plana rotada (1GR) y la posición Fija a 45° (6G)

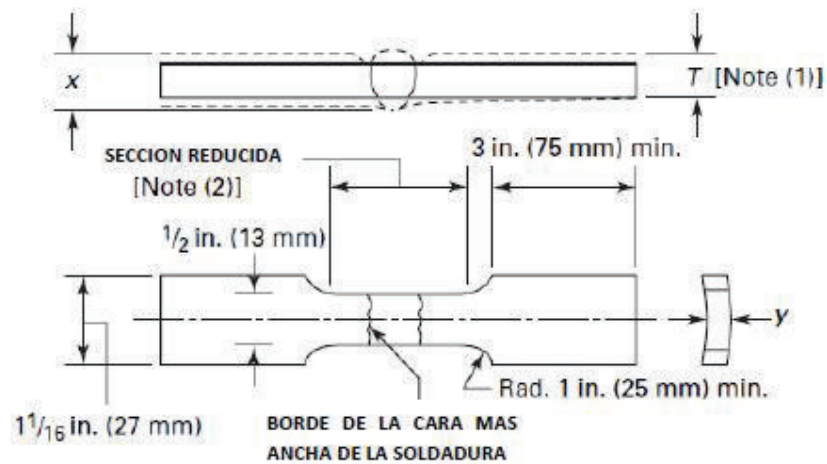
Fuente: Propia.

De la misma manera que en el caso anterior se realiza, la ubicación, la identificación, señalización y la preparación de las probetas de tracción y doblados de cara y raíz, en todos los cupones de soldadura que se utilizan para la calificación de los procedimientos respectivos.

QW-462.1 (b) TRACCION – SECCION REDUCIDA – TUBO



QW-462.1 (c) TRACCION - SECCION REDUCIDA ALTERNA PARA TUBO

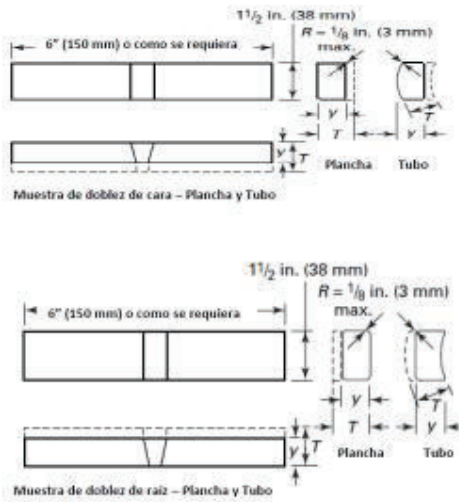


Notas:

- (1) El refuerzo de la soldadura debe ser esmerilado o maquinado a fin de que el espesor de la soldadura no exceda el espesor del metal base T. La cantidad mínima maquinada para obtener superficies aproximadamente paralelas.
- (2) La sección reducida no debe ser menor del ancho de la soldadura más 2y.

Figura 6. 6 Forma de preparación del espécimen de sección reducida para ensayo de tracción.

Fuente: (ASME IX, 2013).



| T, pulg. (mm) | Y, pulg. (mm) | |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | P-No. 23, F-No. 23, or P-No. 35 | Todos los otros metales |
| 1/16" < 1/8" (1.5 < 3) | T | T |
| 1/8" < 3/8" (3 < 10) | 1/8" (3) | T |
| > 3/8" (> 10) | 1/8" (3) | 3/8" (10) |

NOTAS GENERALES:

(a) Si cualquier refuerzo de soldadura, pletina o anillo de respaldo, debe ser removido al ras de la superficie de la muestra. Si se usa un anillo de retención, la superficie de la muestra puede ser maquinada a una profundidad que no exceda la profundidad de retención para remover el anillo, a excepción que en tales casos el espesor de la muestra terminada será la que aparece especificada anteriormente. No cortar con llama materiales no ferrosos.

(b) Si el tubo que está siendo ensayado es de un diámetro de NPS 4 (DN 100) o menor, el ancho de la muestra de doblado puede ser de 3/4" (19 mm) para diámetros de tubos NPS 2 (DN 50) e incluyendo NPS 4 (DN 100). El ancho de la muestra de doblado puede ser de 3/8" (10 mm) para diámetros de tubos menores que NPS 2 (DN 50) e incluyendo NPS 3/8" (DN 10) y como una alternativa, si el tubo que está siendo ensayado es igual o menor que el tamaño del tubo NPS 1 (DN 25), el ancho de las muestras de doblado pueden ser aquel obtenido por el corte del tubo en cuatro secciones, menos una tolerancia para los cortes con sierra o con máquina. Estos cortes de muestras en cuatro secciones no requieren que tengan una superficie maquinada plana como se muestra en QW-462.3(a). Las muestras de doblado tomadas de un tubo de tamaño comparable pueden ser manipuladas en una manera similar.

Figura 6. 7 Formas de preparación de las probetas, para el ensayo de doblados de cara y de raíz.

Fuente: (ASME IX, 2013).

En la Fotografía 6.22, se muestra la identificación de las probetas pertenecientes a la tubería soldada (GTAW / GMAW-P 6G), para proceder con el corte oxiacetilénico (OAC) y la preparación de las mismas siguiendo lo establecido en el código de referencia.



Fotografía 6. 22 Identificación de las probetas del cupón de tubería soldado con proceso GTAW / GMAW, en la posición fija a 45° (6G).

Fuente: Propia.

Se procede al corte de las probetas del cupón de tubería, con proceso oxiacetilénico (OAC), luego de la extracción se procede a la limpieza de los residuos provenientes del proceso de corte y se preparan de acuerdo a los requerimientos establecidos en el código ASME sección IX, o como se puede observar en la figura 6.5, 6.6 y 6.7.

Luego de preparadas las probetas se proceden a realizar los ensayos de acuerdo a la normativa correspondientes y por último se realiza el análisis de cada una y verificar el cumplimiento o no de los requerimientos del código.

En la Fotografía 6.23, se observa las probetas para el ensayo de tracción reducida, preparadas mediante maquinado, siguiendo las dimensiones que establece el código ASME sección IX.



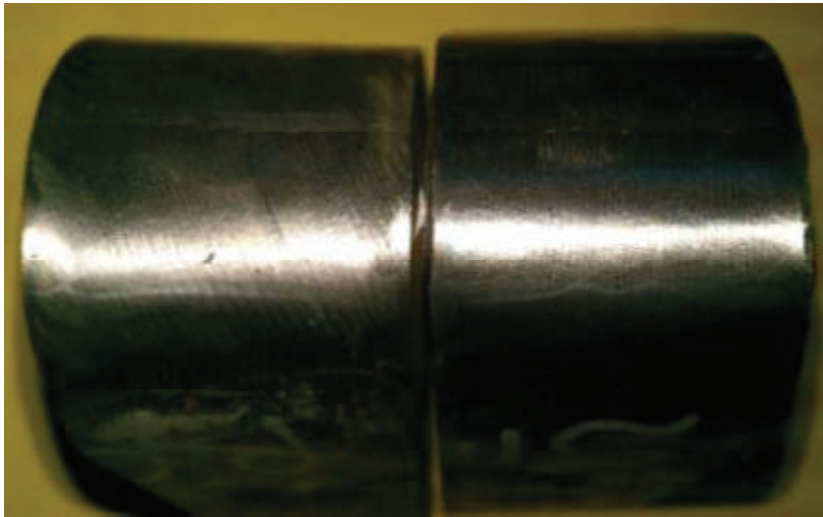
Fotografía 6. 23 Probeta para ensayo de tracción, con proceso GMAW (RMD) / GMAW (P), en la posición plana rotado (1GR).

Fuente: Propia.

Para las probetas de doblado se procede al desbaste o el retiro del exceso de sobre monta y el exceso en la raíz, seguido por el pulido de la superficie que va a ser examinada, la cara y la raíz. Por último se realiza el ensayo de doblado de acuerdo a lo que especifica el código, con el tamaño de JIG de doblado establecido.

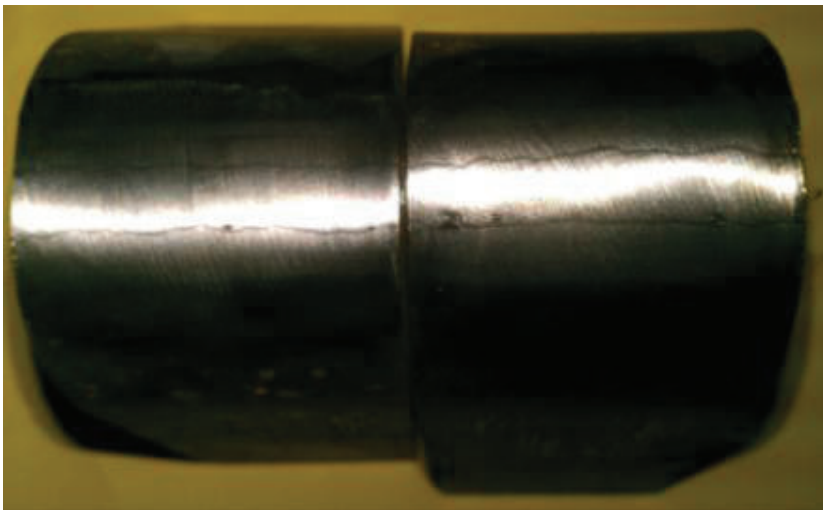
En las fotografías 6.24 y 6.25 se observa las probetas ensayadas en doblado de cara y de raíz respectivamente, en las cuales ya se puede realizar la inspección

de la superficie de análisis, la medición de las discontinuidades y su posterior evaluación.



Fotografía 6. 24 Probeta realizado el ensayo de doblado de cara, con proceso GMAW (RMD) / GMAW (P), en la posición plana rotado (1GR).

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 25 Probeta realizado el ensayo de doblado de raíz, con proceso GMAW (RMD) / GMAW (P), en la posición plana rotado (1GR).

Fuente: Propia.

6.4 PROBETAS PARA REALIZAR ENSAYOS DE MACROGRAFIA Y METALOGRAFIA

Para realizar estos ensayos se utiliza varias probetas preparadas en procesos SMAW-SMAW en la posición 6G (Fija a 45°) y GTAW-GMAW, GMAW-GMAW en dos posiciones, 1GR (plana rotada) y 6G (Fija a 45°), tal como se puede observar en la Tabla 6.9.

Tabla 6. 10 Combinaciones de procesos de soldadura y de posiciones para la realización de análisis metalográfico.

| Posición de soldadura | | I | II |
|-----------------------|---|-----------------------|--------------------------|
| | | 1GR (plana rotada) | 6G tubería fija a 45° |
| Proceso de soldadura | | | |
| A | SMAW | | A. II |
| B | GTAW – GMAW (P) | B. I | B. II |
| D | GMAW (RMD) – GMAW (P) (transferencia RMD y pulsada respectivamente). | D. I | D. II |

Fuente: Propia.

Para el análisis metalográfico se requiere que las probetas sean soldadas parcialmente de cada pase en pase de soldadura, es decir se va a seguir va a seguir una secuencia de soldadura tipo cascada. Ver Figura 6.8.

La tubería en la que se va a realizar los ensayos metalográficos son los cupones de acero ASTM A 106 Gr B, de diámetro 203,2 mm (8 pulgadas) SCH 80. (12,70 mm). soldadas con secuencia tipo cascada.

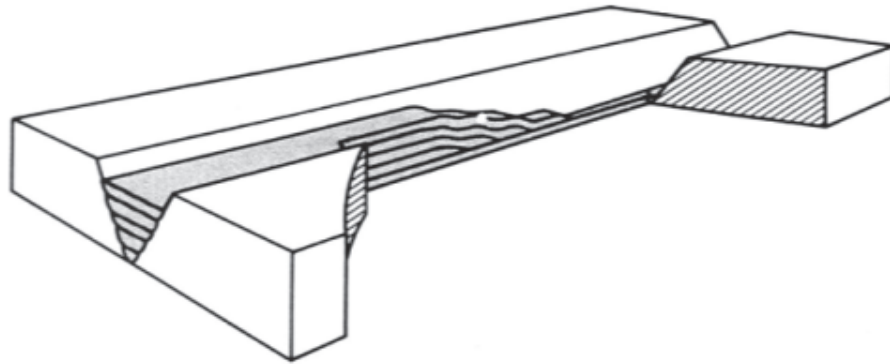


Figura 6. 8 Secuencia de soldadura tipo cascada.

Fuente: Propia.

Esta soldadura secuencial tipo cascada o por partes que se va a emplear en las tuberías, consiste en realizar el pase de raíz completamente, es decir soldar en todo el perímetro de la tubería, el segundo pase ó pase en caliente se va completar los tres cuartos del perímetro de la soldadura de la tubería, el pase de relleno se va a realizar en la mitad de la tubería y por último el pase de presentación o el último pase se va a realizar en la cuarta parte del perímetro de la tubería.

En las Fotografías 6.26; 6.27; 6.28 y 6.29 se observa un ejemplo de los cupones de tubería que se utilizan para el análisis metalográfico, de acuerdo a los procesos de soldadura GTAW-GMAW en posición 1GR (B. I), GTAW-GMAW en posición 6G. (B. II), GMAW-GMAW en posición 1G rotado (D. I) y GMAW-GMAW en posición 6G (D. II).



Fotografía 6. 26 Probeta soldada con proceso GTAW-GMAW en posición 1GR
(B. I)

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 27 Probetas soldadas bajo proceso GTAW-GMAW en posición 6G.
(B. II)

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 28 Probeta soldada bajo proceso GMAW-GMAW en posición 1G rotado (D. I)

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 29 Probetas soldadas bajo proceso GMAW-GMAW en posición 6G

(D. II)

Fuente: Propia.

6.4.1 OPERACIONES PARA LA PREPARACIÓN DE LA MUESTRA METALGRÁFICA

La extracción de las probetas para análisis metalográfico, se realiza por cada una de las capas o pases de soldadura. Posterior a la extracción de las probetas con un método de corte en frío (cortadora de metal en frío manual), para no afectar la microestructura de la junta soldada, tal como se observa en la Fotografía 6.30, luego se realiza el proceso de desbaste grueso, desbaste fino, pulido grueso, pulido fino y por último ataque químico.



Fotografía 6. 30 Extracción de las probetas para análisis metalográfico, se observa como el corte se realiza en cada una de las capas o pases de soldadura.

Fuente: Propia.

6.4.1.1 Extracción de la muestra

La muestra a ser preparada debe tener un tamaño conveniente. La muestra debe mantenerse fría durante la operación de cortado, para evitar transformaciones microestructurales.

6.4.1.2 Desbaste grueso

Es una operación para remover las rebabas y todas las rayaduras debidas al corte. Esto se logra presionando uniformemente la probeta sobre una desbastadora de disco provista de lija número 60, 80, 100 y 120 (granos por pulgada lineal) dependiendo de la necesidad. Durante esta operación se mantiene la probeta fría mediante el flujo de agua. Ver Fotografía 6.31.



Fotografía 6. 31 Desbastadora, marca Bhueler.

Fuente: Propia.

6.4.1.3 Desbaste Fino

Remueve la zona deformada causada por los dos procesos anteriores. Esto se logra bajo una selección adecuada y secuencial de abrasivos (lijas números: 240-320-400-600 granos/pulg). Sin embargo, cuando una zona de deformación está siendo removida, se formará una nueva zona de menor deformación, no tan severa ni profunda como la inicial, ocasionada por la acción de los granos abrasivos utilizados en esta etapa. La muestra se desliza sobre las lijas en dirección opuesta al operador de manera que se formen rayas en una sola dirección, para eliminar éstas girar la probeta 90° y realizar la misma operación.

6.4.1.4 Pulido grueso

Es una operación de desbaste leve, además es la etapa más importante y crítica de toda la operación de pulido. Se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 1 micrón en suspensión en agua. Ver Fotografía 6.32.



Fotografía 6.32 Pulidora de paño, marca Bhueler.

Fuente: Propia.

6.4.1.5 Pulido Fino

Las deformaciones del proceso anterior serán eliminadas luego de este proceso para posteriormente relevar la microestructura real que tiene la probeta, esta operación se ejecuta utilizando un abrasivo (alúmina de 0.3 micrón de tamaño promedio en suspensión en agua).

6.4.1.6 Ataque Químico

El propósito del ataque químico es hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales del metal o aleación, mediante la aplicación de un reactivo que somete a ésta a una acción química selectiva reaccionando exclusivamente con uno de los elementos químicos presentes en el material en nuestro caso es el Nital al 10% para las macrografía, y el 2% para las micrografías.

Las operaciones de ataque más comunes son:

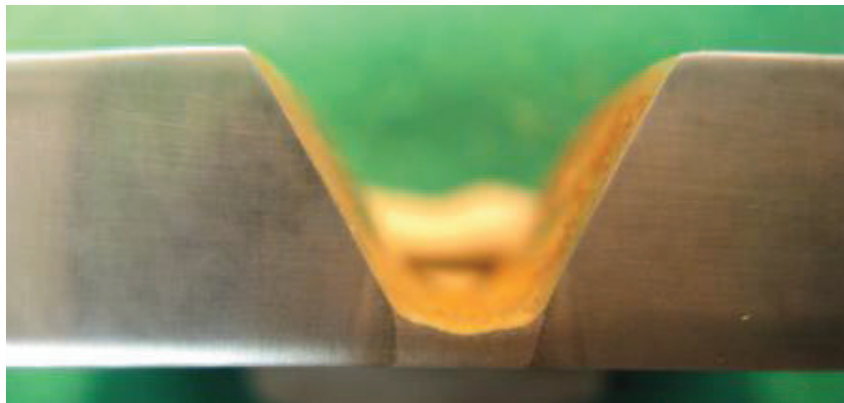
- Por inmersión de la probeta en el reactivo.

- Mediante algodón empapado con reactivo, el cual se frota sobre la superficie pulida con la ayuda de una pinza.

6.4.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA MACROGRÁFICA

En el análisis metalográfico se va analizar, la zona afectada por el calor, las distancias de la zona afectada por el calor analizado de pase en pase, desde el pase de raíz (ver fotografía 6.33) hasta el pase de presentación o última capa de soldadura (ver fotografía 6.34). Las probetas luego del pulido fino son atacadas químicamente utilizando Nital al 10% (el nital es una solución de alcohol y ácido nítrico).

Estas superficies son inspeccionadas y son visualizadas con la ayuda un microscopio estéreo zoom del laboratorio de Metalografía de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN. Tal como se observa en la Fotografía 6.35.



Fotografía 6. 33 Probeta realizada el ensayo macrográfico en el primer pase ó pase de raíz realizada con proceso GTAW- GMAW (P). en la posición plana rotada (1GR).

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 34 Probeta realizada el ensayo macrográfico en el último pase ó pase de presentación realizada con proceso GTAW- GMAW (P), en la posición plana rotada (1GR).

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 35 Microscopio Estereoscópico, marca MEJI, aumentos de 10X a 70X.

Fuente: Propia.

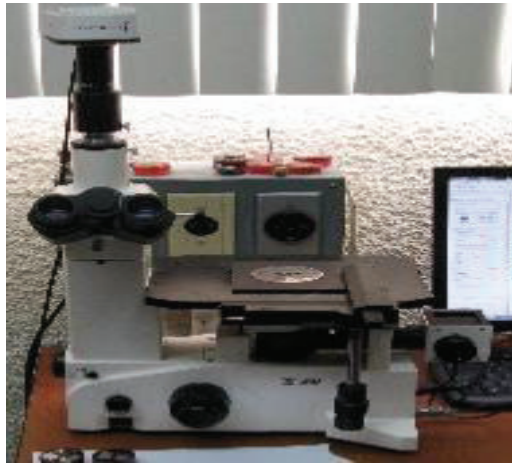
6.4.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA MICROGRÁFICA

Para el análisis micrográfico se utiliza las mismas probetas que el análisis macrográfico. Se realiza nuevamente el pulido grueso y fino, se procede con el ataque químico con reactivo Nital al 2 % y se procede a la inspección micrográfico

por medio de la utilización de un microscopio metalográfico del Laboratorio de Metalografía de la EPN, tal como se observa en la Fotografía 6.36.

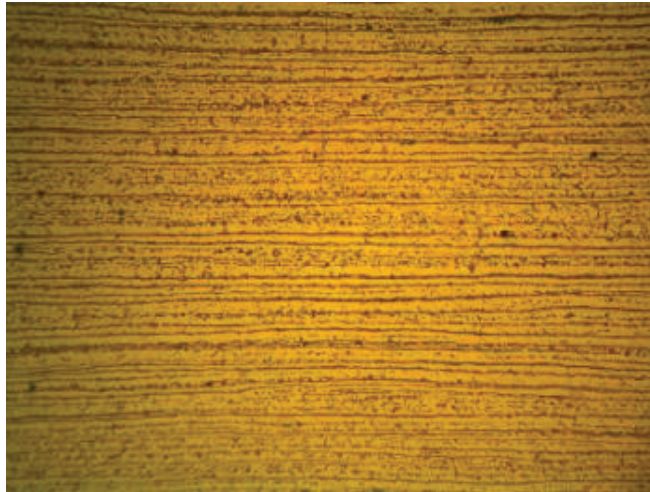
Las microestructuras que se obtienen de la inspección metalográficos son como la que se observa en la Fotografía 6.37, en la que se aprecia la microestructura del material base del acero de la tubería ASTM A 106 Gr. B, que se utiliza para este proyecto inspeccionado a 100X.

En esta tesis se realiza la inspección micrográfica de todas las partes y zonas de la soldadura, como son: material base, zona afectada por el calor, material de aporte o metal de soldadura, también se va a analizar las zonas de precipitación y las zonas de disolución. Ver Figura 6.9. La inspección metalográfica se realiza a 100X y 200X aumentos.



Fotografía 6. 36 Microscopio metalográfico, marca MEJI, aumentos de 50X, 100X, 200X, 500X y 1000X.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 37 Metalografía del material base del acero de la tubería ASTM A 106 Gr B. (100X). En la que se observa un acero ferrítico perlítico.

Fuente: Propia.

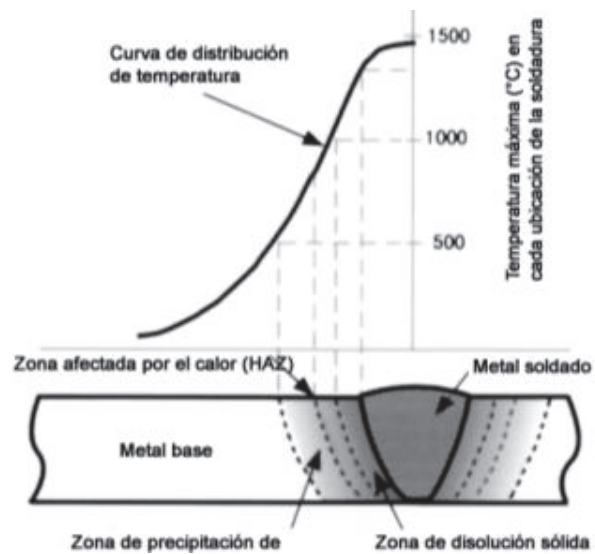


Figura 6. 9 Distribución de temperatura y la zona afectada por el calor en una soldadura de acero.

Fuente: www.kobelco-welding

6.5 PROBETAS PARA REALIZAR ENSAYOS DE DUREZA

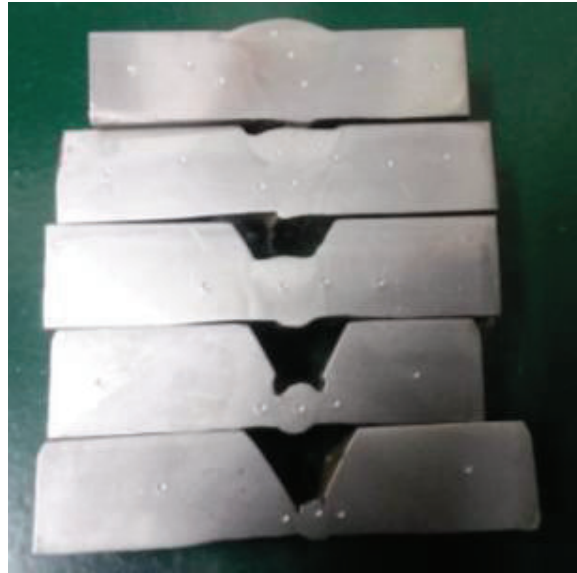
El ensayo de dureza se realiza utilizando el durómetro de marca HARDROCKER, del laboratorio de Metalografía de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN, la escala de medición a utilizar es la Rockwell B, en todas las medidas ya que los valores no sobrepasan de 100 HRb y no es necesario emplear la escala HRc. El equipo se aprecia en la Fotografía 6.38.

Se realiza un barrido de dureza desde el material base, zona afectada por el calor, material de aporte o metal de soldadura, zona afectada y por último material base. Se utiliza las mismas probetas usadas en el análisis metalográfico. La dureza se mide de capa en capa, es decir desde el pase de raíz (ver fotografía 6.39) hasta el pase de presentación o última capa de soldadura.



Fotografía 6. 38 Durómetro marca HARDROCKER, medición de dureza escala Rockwell B y C.

Fuente: Propia.



Fotografía 6. 39 Barrido de dureza por cada una de las capas desde el pase de raíz hasta el de presentación de los cupones realizados con el proceso de soldadura SMAW, tubería fija a 45° (6G) cuya codificación es A. II.

Fuente: Propia.

6.6 ANÁLISIS DE HEAT INPUT

La entrada de calor de soldadura tiene una gran influencia sobre las propiedades de las piezas soldadas tanto en sus propiedades mecánicas como son tracción, dureza etc y también en tenacidad de los metales ya que dependen de la microestructura del metal de soldadura.

El área de la sección transversal de la soldadura generalmente es proporcional a la cantidad de calor de entrada (Heat Input). Cuanta más energía se suministra al arco, más es la cantidad de relleno y por ende mayor la cantidad de metal base y mateles de aporte que se funden por unidad de longitud.

Por lo tanto, el control de la entrada de calor es muy importante en la soldadura por arco en términos de calidad y control.

Con los valores de Voltaje (V), amperaje (A) y velocidad de avance (S), que se tiene de cada uno de los pases de soldadura y de cada uno de los procesos de soldadura de este proyecto, se procede a realizar un análisis y una comparación del calor que ingresa o el Heat Input en cada una de las probetas y cupones de

soldadura. También se va a analizar el efecto del heat Input en las propiedades de la junta soldada.

La entrada de calor se calcula típicamente con la relación de la potencia (es decir, voltaje x amperaje) entre la velocidad de la fuente de calor (es decir, el arco) como se muestra a continuación:

$$H = \frac{60 EI}{1000 S}$$

Dónde:

H = entrada de calor (kJ / o en kJ / mm)

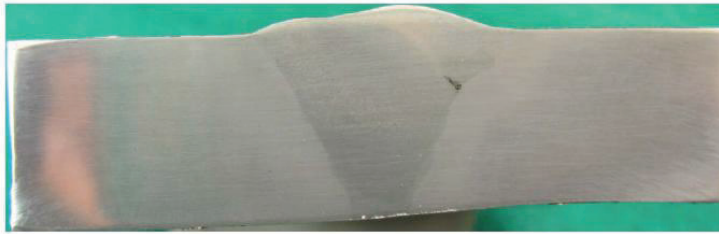
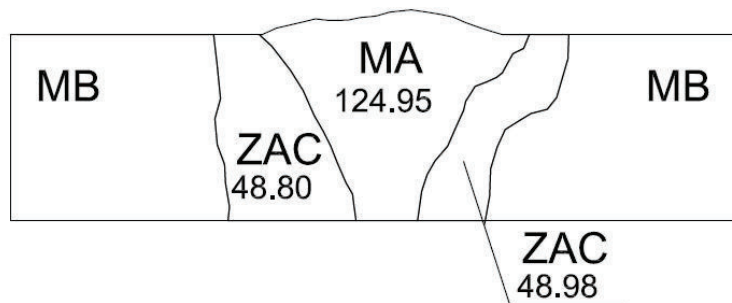
E = tensión de arco (voltios)

I = corriente (amperios)

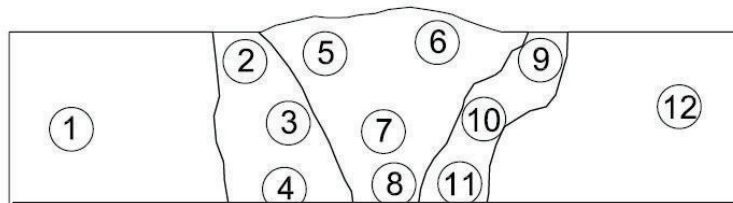
S = carrera de velocidad (en / min o mm / min)

La forma y ubicación del barrido de dureza y el cálculo de las áreas de afectadas por el calor se muestran en la Fotografía 6.40. La probeta corresponde al proceso GTAW/GMAW-P en la posición de soldadura Fija a 45° (6G).

GTAW-GMAW 6G

AREAS AFECTADAS POR EL CALOR (mm²)

UBICACION DE TOMA DE DUREZAS



Fotografía 6. 40 La forma y ubicación del barrido de dureza y el cálculo de las áreas de afectadas por el calor.

Fuente: Propia.

CAPITULO 7

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizados los ensayos se registra los datos obtenidos en cada uno de los cupones soldados y en cada una de las probetas, estos valores se grafican y se comparan de acuerdo a los procesos de soldadura empleados.

El procedimiento a seguir para este análisis está basado en el ítem 6.2, en el que se da la secuencia de realización de cada ensayo y análisis. Se compara los datos y resultados obtenidos en las diferentes probetas en función a los diferentes procesos de soldadura y espesores. Para esto se requerirá en algunos casos de tablas que nos permitan elaborar esta comparación, de igual manera se recurrirá al uso de gráficos con la finalidad de que el lector puede entender de mejor manera las opiniones vertidas en este proyecto.

Para comparar y verificar los resultados de los cupones en análisis es necesario recordar variables de cada cupón de soldadura como son procesos y posiciones de soldadura. En el presente estudio se emplean procesos como: SMAW, GTAW – GMAW, GMAW – S (transferencia cortocircuito), GMAW (RMD) – GMAW (P) (transferencia RMD y pulsada respectivamente), y en las posiciones de soldadura 1GR (plana rotada) y 6G tubería fija a 45°.

7.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Aunque según los requerimientos del código ASME sección IX, no se requiere la realización de los ensayos no destructivos para la calificación de procedimientos de soldadura, se va a realizar la inspección radiográfica y de tintas penetrantes para verificar la calidad de la soldadura, identificar las discontinuidades y defectos generados en las probetas de análisis.

7.1.1 RESULTADOS DE LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RT)

En la Tabla 7.1, se muestra la identificación de los cupones de tubería en los cuales se llevará a cabo el ensayo de radiografía industrial. El Laboratorio de Ensayos No Destructivos utiliza una identificación simplificada para colocar las letras de plomo y de esta manera ayudar en el análisis de las placas o películas radiográficas.

Tabla 7. 1 Identificación general de los cupones de prueba del Laboratorio de END.

| Probeta No. | Codificación | Procesos de soldadura | Identificación END |
|-------------|--------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | A.II | SMAW 6G | SM-SM-6G |
| 2 | B.I | GTAW-GMAW-ROT | GT-GM-R |
| 3 | B.II | GTAW-GMAW-6G | GT-GM-6G |
| 4 | C.I | GMAW-S | GM-SM |
| 5 | C.II | GTAW-S-6G | GT-SM-6G |
| 6 | D.I | GMAW-GMAW-ROT | GM-GM-R |
| 7 | D.II | GMAW-GMAW-6G | GM-GM-6G |
| 8 | B.I | GTAW-GMAW-ROTM | GT-GM-RM |
| 9 | E.II | GTAW-GMAW-6G | GT-GM-6G |
| 10 | D.II | GMAW-GMAW-ROTM | GM-GM-RM |

Fuente: Propia.

En la Tabla 7.2, se muestra los resultados de la inspección de las películas radiográficas, realizada por el personal del Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la EPN. Como se conoce los defectos que se determina por este método de inspección son: porosidades, inclusiones metálicas y no metálicas, faltas de fusión y de penetración.

Tabla 7. 2 Resultados de inspección por radiografía industrial

| Codificación | Identificación de la pieza | Toma | Indicaciones (mm) |
|--------------|----------------------------|------|---|
| A.II | SM-SM-6G | A | Escoria aislada 6 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |
| | | B | Escoria aislada |
| | | C | 5 Poro aislado ($\varnothing = 2$) |
| | | D | 5 Poros aislados ($\varnothing = 1$) 6 Poros aislados ($\varnothing = 4$) Escoria aislada |
| B.I | GT-GM-R | A | No presenta discontinuidades |
| | | B | Escoria aislada |
| | | C | 1 Poro aislado ($\varnothing = 1$) |
| | | D | No presenta discontinuidades |
| B.II | GT-GM-6G | A | Escoria aislada |
| | | B | Escoria aislada 2 Poros agrupados ($(\varnothing = 5$ y $3)$) 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | C | Escoria aislada 1 Poro aislado ($\varnothing = 3$) 2 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | D | 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) Escoria aislada |
| C.II | GM-SM | A | 7 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |
| | | B | 2 Quemones (L=5 y 10) 5 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |
| | | C | Escoria aislada 4 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | D | 1 Poros agrupado ($\varnothing = 10$) 5 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| D.I | GM-GM-R | A | Escoria alargada (L=110) 3 Poros aislados ($\varnothing = 1,5$) |
| | | B | 2 Poros aislados ($\varnothing = 2$) 3 Poros aislados ($\varnothing = 1,5$) 4 Poro aislado ($\varnothing = 1$) Escoria alargada (L=60) |
| | | C | 7 Poros aislados ($\varnothing = 2,5$) Escoria alargada (L=60) |
| | | D | 3 Poros aislados ($\varnothing = 2$) Escoria aislada |
| D.II | GM-GM-6G | A | 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) Escoria aislada |
| | | B | 1 Poro agrupado ($\varnothing = 30$) Falta de fusión (L=80) |
| | | C | 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | D | 3 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |
| B.I | GT-GM-RM | A | Escorial alargada (L=40) 4 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | B | 18 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |

| | | | |
|------|----------|---|---|
| | | C | Quemón (L=2,5) 10 Poros aislados ($\varnothing = 2$) Escoria aislada |
| | | D | 14 Poros aislados ($\varnothing = 1,5$) 2 Poros aislados ($\varnothing = 2$) 2 Poros aislados ($\varnothing = 2,5$) |
| D.II | GM-GM-R | A | 4 Poros aislados ($\varnothing = 4$) 10 Poros aislados ($\varnothing = 2$) 5 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | B | 10 Poros aislados ($\varnothing = 1$) 4 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |
| | | C | 8 Poros aislados ($\varnothing = 1,5$) 1 Poro aislado ($\varnothing = 1$) |
| | | D | Escoria alargada (L=30) 1 Poro aislado ($\varnothing = 4$) 4 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| E.II | GT-SM-6G | A | 2 Poros aislados ($\varnothing = 1$) 1 Poro aislado ($\varnothing = 1,5$) |
| | | B | Escoria alargada (L=5) 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | C | 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) 1 Poro aislado ($\varnothing = 2$) |
| | | D | 2 Poros aislados ($\varnothing = 2$) |
| E.II | GT-SM-6G | A | 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) 2 Poros aislados ($\varnothing = 1,5$) |
| | | B | 6 Poros aislados ($\varnothing = 2$) 2 Poros aislados ($\varnothing = 4$) Escoria aislada |
| | | C | 3 Poros aislados ($\varnothing = 1$) |
| | | D | 1 Poro aislado ($\varnothing = 2,5$) |

Fuente: Laboratorio de ensayos no destructivos de la EPN.

En los procesos de soldadura como SMAW, se producen defectos como falta de penetración, falta de fusión, porosidades, quemones, escoria, mordeduras etc. En la probeta con codificación A.II, se observa porosidades y escoria atrapada, en especial en el pase de raíz, la causa es la falta de limpieza, la velocidad de avance del soldador demasiado lenta y la porosidad se debe a que el electrodo E7018 es higroscópico y muy sensible a la humedad del ambiente.

En las películas radiográficas de GTAW/GMAW-P, en la posición de soldadura 1GR y 6G cuya codificación es B.I y B.II, presenta discontinuidades como porosidades que puede deberse a la humedad del gas y la influencia del viento, la escoria no debe presentarse en este proceso, pero si falta de fusión debido a bajos amperajes, velocidades de avance altos, y para corregir este defecto se

debe aumentar la velocidad de alimentación e indirectamente el amperaje, oscilar de mejor manera la torcha de soldadura y reducir la velocidad de avance.

En el proceso GMAW/GMAW-S, en la posición de soldadura 6G cuya codificación es C.II, presenta defectos como quemones que se debe a la falta estabilidad en el arco de soldadura, falta de control del amperaje y las porosidades se debe a la humedad del gas y la influencia del viento.

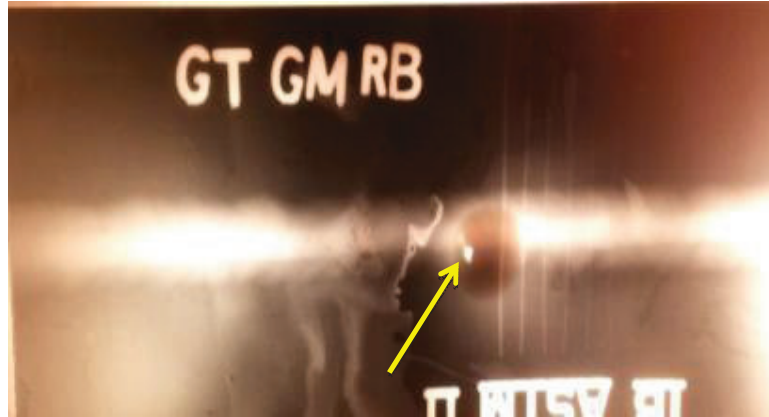
Los procesos de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno, GTAW y por arco eléctrico con electrodo sólido continuo GMAW, no generan escoria, por lo tanto no debe estar presente en la radiografía. En estos procesos si pueden existir defectos como la falta de penetración, falta de fusión, porosidades, quemones y mordeduras.

Las placas radiográficas pertenecientes GMAW (RMD) – GMAW (P), en la posición de soldadura 1GR y 6G cuya codificación es D.I y D.II presentan porosidades debidas a que el cilindro de gas de protección MIX 10, se encontraba con humedad además de la influencia del viento. Se observa una falta de fusión debido a bajos amperajes, velocidades de avance altos, y mal manejo de la torcha de soldadura por parte del soldador, para corregir este defecto se debe aumentar la velocidad de alimentación e indirectamente el amperaje, oscilar de mejor manera la torcha de soldadura y reducir la velocidad de avance.

En el anexo C se muestran las fotografías de las placas o películas radiográficas, a las cuales se realizó la inspección radiográfica, con la ayuda del negatoscopio que es un dispositivo que permite ver las radiografías a través de un sistema de iluminación por transparencia del negativo colocado ante ella. Algunos ejemplos de la inspección radiográfica se muestran en las Fotografías 7.1; 7.2 y 7.3.

En las películas radiográficas de GTAW/SMAW, en la posición de soldadura 6G cuya codificación es E.II, se aprecian porosidades debidas al gas de protección, esto se corrige utilizando un gas con mejor control de calidad, y la escoria observada es generada al momento de utilizar el proceso de soldadura SMAW,

en los pases de relleno y presentación, se corrige al realizar una mejor limpieza y mejor manejo del electrodo con una correcta velocidad de avance.



Fotografía 7. 1 Placa radiográfica perteneciente al proceso GTAW-GMAW (P), cuya codificación del procedimiento es B.II, en la que se observa una inclusión de tungsteno.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 2 Placa radiográfica perteneciente al proceso GMAW-GMAW (S), cuya codificación del procedimiento es D.II, en la que no se observa defectos.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 3 Placa radiográfica perteneciente al proceso GTAW-SMAW, cuya codificación del procedimiento es E.II, no presenta defectos.

Fuente: Propia.

7.1.2 TINTAS PENETRANTES (PT)

La inspección de las soldaduras por tintas penetrantes **PT**, se lo realiza en adición o como complemento de la inspección visual, y son evaluados bajo los requerimientos establecidos para inspección por tintas penetrantes del Código ASME sección IX.

Los resultados de la inspección por tintas penetrantes se muestran en la Tabla 7.3.

Tabla 7. 3 Resultados de inspección por radiografía industrial

| MUESTRA No. | IDENTIFICACIÓN LABORATORIO | OBSERVACIONES | APROBACIÓN TOTAL |
|---------------|----------------------------|---|------------------|
| A. II. | 1TP-GVLJ-A | Se observa pequeñas mordeduras $\leq 1,0$ mm y mediana uniformidad del cordón de soldadura. Exceso de sobremonta $\leq 3,0$ mm. | SI |
| B. I. | 2TP-GVLJ-B | El cordón de soldadura presenta buena uniformidad, libre de mordeduras. La sobremonta $\leq 2,0$ mm. | SI |
| B. II. | 3TP-GVLJ-C | El cordón de soldadura presenta buena uniformidad, libre de | SI |

| | | | |
|---------------|------------|---|-----------|
| | | mordeduras. La sobremonta $\leq 2,0$ mm. | |
| C. II. | 4TP-GVLJ-D | El cordón de soldadura presenta buena mediana uniformidad, pequeñas mordeduras $\leq 1,0$ mm. La sobremonta $\leq 2,0$ mm. | SI |
| D. I. | 5TP-GVLJ-E | El cordón de soldadura presenta buena uniformidad, libre de mordeduras. La sobremonta $\leq 2,0$ mm. | SI |
| D. II. | 6TP-GVLJ-F | El cordón de soldadura presenta buena uniformidad, libre de mordeduras. La sobremonta $\leq 2,0$ mm. | SI |
| E. II. | 7TP-GVLJ-G | Se observa pequeñas mordeduras $\leq 1,0$ mm y mediana uniformidad del cordón de soldadura. Exceso de sobremonta $\leq 3,0$ mm. | SI |

Fuente: Propia.

En las Fotografías 7.4; 7.5 y 7.6, se observa los cupones de tubería soldados con los procesos y combinaciones de procesos indicados en la tabla 6.6.



Fotografía 7. 4 Tubería soldado con proceso GTAW-GMAW (P), en la cual no presentas defectos de soldadura.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 5 Tubería soldado con proceso GMAW-GMAW (S), en la cual se observa pequeñas indicaciones no relevantes.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 6 Tubería soldado con proceso GMAW (RMD) / GMAW (P), en la cual no presentas defectos de soldadura.

Fuente: Propia.

Luego de analizar los resultados de los ensayos no destructivos de tintas penetrantes, se determina que todos los cupones de tubería cumplen con los requerimientos del código ASME IX.

Este código establece que las indicaciones relevantes se las considera a las discontinuidades cuya dimensión es mayor a 1,6 mm. y se pueden definir como **indicaciones lineales** cuando la indicación posee una longitud mayor a tres veces su ancho e **indicaciones redondeadas** cuando la relación entre la longitud de la indicación y el ancho es menor o igual a 3. El criterio de la código establece que la examinación por tintas penetrantes es inaceptable cuando presenta:

- a) Indicaciones lineales relevantes,
- b) Indicaciones redondeadas mayores de 4,8 mm.
- c) Cuatro o más indicaciones relevantes redondeadas separadas por 1,6 mm o menores (dimensión de eje a eje).

Bajo estos criterios se concluye que todos los cupones de tubería se encuentran dentro de estos parámetros dados por el Código ASME IX, pero los procesos de soldadura que más propensos a defectos superficiales o defectos en el pase de presentación o última capa de soldadura son los procesos por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW. y el proceso con menor posibilidad de generar defectos superficiales es GMAW-P, ya que con la elección correcta del programa de soldadura, con la regulación de la máquina, con transferencia del tipo pulsada, con la correcta selección del gas de protección MIX 10 (Argón 90% y CO₂ 10%), y la alta tasa de aportación y el mejor control del arco permite obtener cordones de soldadura de mejor calidad .

En el caso de los cupones SMAW / SMAW (E6010 / E7018) y GTAW / SMAW (ER70S-6 / E7018), en la posición de soldadura 6G, cuya codificación de análisis es A.II y E.II respectivamente, se encuentra mordeduras, faltas de uniformidad del cordón de soldadura, exceso de sobre monta y porosidades. Esto se debe a que para la capa de presentación se llega a completar con tres cordones de soldadura, y sumado a esto la habilidad del soldador, aumenta la posibilidad de tener defectos en la capa de presentación como mordeduras, porosidades y sobre montas en cada inicio y finalización del electrodo. Esto se corrige con un mejor control del material de aporte, el electrodo E7018 debe estar en termo para evitar la humedad del ambiente, en el caso de mordeduras bajar el amperaje y el

manejo correcto de porta electrodo es decir se necesita mayor habilidad del soldador.

En el proceso GMAW/GMAW-S, en la posición de soldadura 6G cuya codificación es C.II, presenta defectos como exceso de sobre monta y mordeduras, la capa de presentación se llega a completar con tres cordones de soldadura.

Las causas de estos defectos se deben a un arco de soldadura inestable, velocidad de alimentación alta y la poca habilidad del soldador.

Sus correcciones son disminuir la velocidad de alimentación, con esto disminuye el amperaje, disminuir la velocidad de avance, con esto se corrige o disminuye la posibilidad de tener mordeduras en el pase de presentación. Con respecto a las porosidades, se debe cambiar el gas de protección y regular de mejor manera el flujo.

El proceso GMAW-S, con transferencias de cortocircuito, presenta muchas salpicaduras debido a las pequeñas explosiones al desprenderse el material de aporte, esta característica es propia del proceso, se recomienda para la soldadura de tubería utilizar un proceso con un mejor control del arco de soldadura y de sus variables principales.

La inspección realizada a los cupones en los que se utilizó procesos de soldadura GTAW– GMAW (P) y GMAW (RMD) – GMAW (P), en la posiciones de soldadura 1GR y 6G cuyas codificaciones son B.I y B.II y D.I y D.II respectivamente, presentan una buena presentación del cordón de soldadura debido a que en la capa de presentación la soldadura se completa con un solo cordón en el caso de las soldadura realizadas en la posición 1GR (B.I y D.I). y dos cordones en el caso de las soldadura realizadas en la posición 6R (B.II y D.II), disminuyendo la posibilidad de defectos en la capa de presentación.

El proceso GMAW (P) con transferencia pulsada presenta un mejor control del arco de soldadura, mayor estabilidad, fácil manejo, mejor control de las variables de soldadura, influye en menor porcentaje la habilidad del soldador.

El proceso GTAW en la presentación también posee una buena calidad, pero depende mucho de la habilidad del soldador, de la velocidad de avance y del amperaje con el que se encuentre soldando. Para el manejo de este proceso el soldador debe tener mucha más habilidad que en los procesos anteriores.

7.2 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Los ensayos destructivos utilizados para la calificación de los procedimientos de soldadura son: tracción, doblados de cara y de raíz tal como establece el código ASME sección IX.

Las probetas para la realización de los ensayos destructivos previamente preparadas como se indica en el ítem 6.3, se las compara cuantitativa y cualitativamente.

7.2.1 ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA WPS'S

El procedimiento de soldadura SMAW / SMAW en la posición de soldadura fija a 45° (6G), con electrodos E6010 (pases de raíz y caliente) y E7018 (pases de relleno y presentación) es con el cual se trabaja normalmente en la mayor parte de las empresas que prestan servicios petroleros, también es el procedimiento de soldadura más empleado en trabajos de responsabilidad. Se toma como referencia los procedimientos calificados por Petroamazonas PA- PA-ECU-WPS-002 y ECU-WPS-003 y la empresa de Danielcom y los valores de resistencia a la tracción se promedian y se utilizan para la comparación.

Los procesos de soldadura a calificar son los que se indican en la Tabla 7.4.

Tabla 7. 4 Procedimientos de soldadura y materiales de aporte a ser calificados

| Código de referencia | WPS No. | Proceso de soldadura | Material de Aporte |
|-----------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|
| A. II. | EPN-GVLJ-01 | SMAW / SMAW 6G, | E 6010 / E7018 |
| B. I. | EPN-GVLJ-02 | GTAW / GMAW-P 1GR | ER70S-6 / ER70S-6 |
| B. II. | EPN-GVLJ-03 | GTAW / GMAW-P 6G | ER70S-6 / ER70S-6 |
| C. II. | EPN-GVLJ-04 | GMAW-S / GMAW-S 6G | ER70S-6 / ER70S-6 |
| D. I. | EPN-GVLJ-05 | GMAW-RMD / GMAW-P | ER70S-6 / ER70S-6 |
| D. II. | EPN-GVLJ-06 | GMAW-RMD / GMAW-P 6G | ER70S-6 / ER70S-6 |
| E. II. | EPN-GVLJ-07 | GTAW-SMAW 6G | ER70S-6 / E7018 |

Fuente: Propia.

7.2.2 CÓDIGO DE REFERENCIA

Los ensayos se realizaron utilizando los criterios del código:

ASME IX – 2013 “BOILER & PRESSURE VESSEL CODE” PARTE “WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS”.

7.2.3 RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Los ensayos de tracción se realizan en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional y un resumen de los resultados de la resistencia a la tracción y los valores de carga máxima, se presenta en la Tabla 7.5.

Como se puede observar en las Tablas 7.5 y 7.6, se determina que todos los ensayos de tracción sobrepasan el valor establecido por la Norma ASTM A106 Gr para el material base de la tubería de acero. El valor de resistencia última a la

tracción de este acero es de 60.000 PSI, el código ASME sección IX, establece que la resistencia de las probetas para calificación de procedimientos de soldadura deben sobrepasar la resistencia del material base, sea que la fractura se produzca en el material base o fuera de ella, en la soldadura o en la interface de la soldadura o en la zona afectada por el calor.

Tabla 7. 5 Resistencia a la tracción medida en las muestras.

| Id. | Ancho promedio | Espesor promedio | Carga máxima registrada | | Resistencia a la tracción | | Obs. |
|------------------------|----------------|------------------|-------------------------|---------|---------------------------|-------|------|
| | mm | mm | lbf | N | ksi | MPa | |
| GMAW-RMD-PULSED-1GR-T1 | 18,87 | 7,76 | 16.650 | 74.063 | 73,4 | 505,8 | FMB |
| GMAW-RMD-PULSED-1GR-T2 | 18,93 | 7,74 | 16.490 | 73.351 | 72,6 | 500,6 | FMB |
| GMAW-RMD-PULSED-T1 | 18,59 | 7,61 | 15.920 | 70.816 | 72,6 | 500,6 | FMB |
| GMAW-RMD-PULSED-T2 | 18,94 | 7,95 | 16.800 | 74.730 | 72,0 | 496,3 | FMB |
| GMAW-S-6G-T1 | 18,71 | 13,40 | 26.800 | 119.212 | 69,0 | 475,5 | FJS |
| GMAW-S-6G-T2 | 18,98 | 12,19 | 28.100 | 124.995 | 78,4 | 540,2 | FJS |
| GTAW-GMAW-1GR-T1 | 18,98 | 7,69 | 16.350 | 72.728 | 72,3 | 498,3 | FMB |
| GTAW-GMAW-1GR-T2 | 18,46 | 7,50 | 15.820 | 70.371 | 73,7 | 508,3 | FMB |
| GTAW-GMAW-1GR-T3 | 19,02 | 12,24 | 28.600 | 127.219 | 79,3 | 546,5 | FMB |
| GTAW-GMAW-1GR-T4 | 18,65 | 12,53 | 27.300 | 121.436 | 75,4 | 519,7 | FMB |
| GTAW-GMAW-6G-T1 | 19,05 | 7,45 | 16.620 | 73.929 | 75,6 | 520,9 | FMB |
| GTAW-GMAW-6G-T2 | 18,75 | 7,92 | 15.200 | 67.613 | 66,0 | 455,3 | FJS |
| GTAW-GMAW-P-6G-T1 | 19,05 | 7,60 | 16.600 | 73.840 | 74,0 | 510,0 | FMB |
| GTAW-GMAW-P-6G-T2 | 17,57 | 7,56 | 15.800 | 70.282 | 76,7 | 529,1 | FMB |
| GTAW-SMAW-66-T1 | 18,93 | 7,95 | 16.830 | 74.864 | 72,1 | 497,5 | FMB |
| GTAW-SMAW-66-T2 | 19,04 | 7,75 | 16.920 | 75.264 | 74,0 | 510,1 | FMB |

Fuente: Laboratorio de Análisis de esfuerzos y vibraciones

Tabla 7. 6 Criterios de aprobación basados en los resultados del ensayo de tracción

| MUESTRA No. | IDENTIFICACIÓN LABORATORIO | OBSERVACIONES | APROBACIÓN PARCIAL | APROBACIÓN TOTAL |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|
| A. II. | 1T-GVLJ-A | Rotura en el material base. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-A | Rotura en el material base. | SI | |
| B. I. | 1T-GVLJ-B | Rotura en el material base. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-B | Rotura en el material base. | SI | |
| B. II. | 1T-GVLJ-C | Rotura en el material base. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-C | Rotura en el material base. | SI | |
| C. II. | 1T-GVLJ-D | Rotura en el cordón de soldadura. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-D | Rotura en el cordón de soldadura. | SI | |
| D. I. | 1T-GVLJ-E | Rotura en el material base. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-E | Rotura en el material base. | SI | |
| D. II. | 1T-GVLJ-F | Rotura en el material base. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-F | Rotura en el cordón de soldadura. | SI | |
| E. II. | 1T-GVLJ-G | Rotura en el material base. | SI | SI |
| | 2T-GVLJ-G | Rotura en el material base. | SI | |

Fuente: Propia.

En el Anexo B, se encuentra el informe técnico del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones, y en la Tabla 7.6 se observa un resumen de los ensayos de tracción, la zona de la fractura del ensayo y la aprobación total de las probetas.

7.2.4 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO DE CARA Y DE RAÍZ

Este ensayo de doblado proporciona un control de calidad que ayuda a determinar la ductilidad de la soldadura y la eficacia del proceso de soldadura.

Se realiza los ensayos de doblado transversal, que es cuando la soldadura se encuentra transversal a las probetas, se utiliza el JIG con las dimensiones que establece el código ASME IX como se observa en la Fotografía 7.7. El doblado consiste en la aplicación de una carga en el punto central del material que contiene la soldadura, mientras que el resto de la muestra se apoya en los extremos de la fijación, debe ser doblada las probetas a 180°, puede ser de cara o de raíz.

La parte inferior de la muestra se inspecciona visualmente en busca de grietas o defectos. Las normas de ensayo especifican las muestras requeridas para el ensayo de flexión, así como el equipo y los procedimientos necesarios para realizar el ensayo, sea este de doblado de cara o doblado de raíz según donde se encuentra la superficie de inspección.

Los resultados de los ensayo de doblado de cara realizado a las diferentes probetas, pertenecientes a los diferentes procesos y procedimientos de soldadura a calificar se muestran en la Tabla 7.7 y en la Tabla 7.8 se presentan los resultados del doblado de raíz.



Fotografía 7.7 a) JIG para ensayo de doblado y b) Realización del ensayo de doblado.

Fuente: Propia.

Tabla 7.7 Resultados del ensayo de doblado de cara

| MUESTRA NO. | IDENTIFICACIÓN LABORATORIO | OBSERVACIONES | APROBACIÓN PARCIAL | APROBACIÓN TOTAL |
|---------------|----------------------------|--|--------------------|------------------|
| A. II. | 1DC-GVLJ-A | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-A | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| B. I. | 1DC-GVLJ-B | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-B | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| B. II. | 1DC-GVLJ-C | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-C | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| C. II. | 1DC-GVLJ-D | Se observa una indicación abierta de 3,0 mm. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-D | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |

| | | | | |
|---------------|------------|---|----|-----------|
| D. I. | 1DC-GVLJ-E | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-E | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| D. II. | 1DC-GVLJ-F | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-F | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| E. II. | 1DC-GVLJ-G | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DC-GVLJ-G | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |

Fuente: Propia.

Tabla 7. 8 Resultados del ensayo de doblado de raíz

| MUESTRA NO. | IDENTIFICACIÓN LABORATORIO | OBSERVACIONES | APROBACIÓN PARCIAL | APROBACIÓN TOTAL |
|---------------|----------------------------|--|--------------------|------------------|
| A. II. | 1DR-GVLJ-A | Se observa indicaciones abiertas de 1,5 y 3,0 mm. | SI | SI |
| | 2DR-GVLJ-A | Se observa una indicación abierta de 1,0; mm. | SI | |
| B. I. | 1DR-GVLJ-B | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DR-GVLJ-B | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| B. II. | 1DR-GVLJ-C | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DR-GVLJ-C | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| C. II. | 1DR-GVLJ-D | Se observa indicaciones abiertas de 0,8; 1,4;2,5 mm. | SI | SI |

| | | | | |
|---------------|------------|--|----|-----------|
| | 2DR-GVLJ-D | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |
| D. I. | 1DR-GVLJ-E | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DR-GVLJ-E | Se observa una indicación abierta de 2,0 mm. | SI | |
| D. II. | 1DR-GVLJ-F | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DR-GVLJ-F | Se observa una indicación abierta de 1,7 mm. | SI | |
| E. II. | 1DR-GVLJ-G | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | SI |
| | 2DR-GVLJ-G | No se observa ninguna indicación abierta. | SI | |

Fuente: Propia.

De los resultados de los ensayos de doblado transversal tanto de cara como de raíz se establece que todas las probetas que pertenecen a los cupones de tubería a calificar, cumplen con los requerimientos establecidos por el código ASME sección IX, la cual establece que la soldadura y la zona afectada por el calor (zonas de inspección) no deben presentar discontinuidades abiertas mayores de 3,0 mm, medidas en cualquier dirección de la superficie convexa del espécimen luego del doblado.

También se comprueba que las probetas que presentan mayores discontinuidades en la superficie de inspección, son las que se realizan con proceso de soldadura manual por arco eléctrico y electrodo revestido (SMAW), esto es porque se necesita mayor habilidad de los soldadores en el manejo de este proceso, y deben controlar todas las variables de soldadura, el voltaje, el amperaje y la velocidad de la soldadura. Cuando fallan en el manejo de alguna de éstas variables principales, son más propensos a producir defectos en el cordón

de soldadura y estos defectos se hacen visibles al momento de la realización de ensayos destructivos como el ensayo de doblado.

El proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa GTAW, es de mejor calidad, buena uniformidad, el cordón de soldadura no presenta defectos en los ensayos de doblado, debido a que posee una buena fusión y penetración, no presenta problemas de inclusiones de escoria atrapada, pero si puede presentar defectos de inclusiones metálicas como la tungsteno y si las condiciones del gas de protección son las correctas tanto en el flujo como en la calidad, no presenta porosidades. La única dificultad es que necesita mayor habilidad del soldador.

Con respecto al proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo continuo y protección gaseosa GMAW, se puede concluir que este proceso a pesar de ser semiautomático y no todas las variables son controladas por el soldador, depende mucho del tipo de transferencia en que se deposita el material de aporte hacia el material base, ya que el tipo de transferencia ayuda o dificulta en la realización del pase de raíz, caliente, relleno y presentación. El pase de raíz es la zona que presenta mayor dificultad en la realización y donde existe mayor probabilidad de presentar defectos.

El proceso GMAW-S, con tipo de transferencia cortocircuito, presenta mayor dificultad en la realización del pase de raíz, muchas salpicaduras, poco control del arco eléctrico y de las variables principales por lo que presenta discontinuidades en el cordón de soldadura pero que se encuentran dentro de los rangos establecidos en el código.

El proceso de soldadura GMAW-RMD con tipo de transferencia de depósito de metal controlado, es especial para el pase de raíz, pero se debe conocer y establecer de mejor manera los controles, los parámetros y las variables principales, para no introducir defectos como faltas de fusión, faltas de penetración y porosidades que pueden ser producidas por el mal manejo de estos parámetros de soldadura.

El proceso de soldadura GMAW-RMD posee una buena presentación del cordón de soldadura, mayor rapidez en la realización del pase de raíz que el efectuado con el proceso de GTAW.

El proceso de soldadura GMAW-P con tipo de transferencia pulsado es ideal para pases de presentación y relleno, es por esto que en los ensayos de doblado de cara no presentan ninguna discontinuidad, la presentación es muy buena en especial cuando la tubería rota, es decir, se realiza en la posición de soldadura 1GR.

De los resultados obtenidos en los ensayos destructivos (tracción, doblados de cara y de raíz) se concluye que los cupones de tubería con soldadura de ranura $\varnothing \approx 203,2$ mm (8 pulgadas) de SCH 40 (8,18 mm), las cuales se soldaron de acuerdo a los procedimientos de soldadura que se indican en la Tabla 7.5 **SI CUMPLEN** con los requerimientos establecidos por el código ASME **IX – 2013 “BOILER & PRESSURE VESSEL CODE” PARTE “WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS”** Para calificación de Procedimientos de Soldadura.

Una vez comprobado que las probetas cumplen con todos los requisitos que establece la código para calificación de los procedimientos de soldadura se procede a la realización de los PQR, que son los registros de calificación.

7.2.5 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PQR'S

Luego de los resultados que se obtienen de las probetas pertenecientes a las tuberías de acero al carbono (ASTM A 106 Gr. B), de acuerdo a los parámetros y procesos establecidos en cada uno de los WPS's , se procede a la realización de los respectivos registros de calificación de procedimientos de soldadura PQR's.

Los registros de calificación PQR's, demuestran la compatibilidad que existe entre el material base, el material de aporte, los procesos de soldadura y la técnica de



aplicación de la soldadura a través de los ensayos destructivos (tracciones, doblados de cara y de raíz). En nuestro caso todas las probetas cumplen con los requerimientos del código ASME IX.

Como se indicó en el capítulo anterior el ítem 6.3, el PQR contiene todos los ensayos que se realizaron al cordón de soldadura, las variables esenciales, suplementarias y no suplementarias reales que se toman al momento de realizar la soldadura.

La Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR, Procedure Qualification Record) se realiza con base en cada especificación de procedimiento de soldadura WPS que se presentan en la Tabla 6.3 y se detallan los rangos de calificación. Lo más importantes del registro de calificación de los procedimientos, son los límites de calificación, tanto en material base, material de aporte, procesos de soldadura, rango de espesores calificados, rango de posiciones que abarca esta calificación etc.

A continuación se muestra los registros de calificación de los procedimientos de soldadura PQR's.

- a) EPN-GVLJ-01 (SMAW / SMAW 6G), código de referencia **A. II.**
- b) EPN-GVLJ-02 (GTAW / GMAW-P 1GR), código de referencia **B. I.**
- c) EPN-GVLJ-03 (GTAW / GMAW-P 6G), código de referencia **B. II.**
- d) EPN-GVLJ-04 (GMAW-S / GMAW-S 6G), código de referencia **C. II.**
- e) EPN-GVLJ-05 (GMAW-RMD / GMAW-P 1GR), código de referencia **D. I.**
- f) EPN-GVLJ-06 (GMAW-RMD / GMAW-P 6G), código de referencia **D. II.**
- g) EPN-GVLJ-07 (GTAW / SMAW 6G), código de referencia **E. II.**

|  ESCUELA POLITECNICA NACIONAL REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR No. EPN-GVLJ-002 | |  | | | |
|--|--|--|---|--|--------------|
| Nombre Compañía: EPN WPS SOPORTE No. EPN - GVLJ - 003 Según norma: ASME IX - 2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" | | Fecha de realización: 10/03/2015 Inspector: Gabriel Velastegui | | | |
| Proceso de soldadura: | MANUAL GTAW X | SEMIAUTOMATICO FCAW X GMAW X | AUTOMÁTICO SAW | | |
| Tipo y grado del metal base: | ASTM A 106 Gr B P No. 1 Gr No. 1 | Espesor: 8,0 mm. Abertura de raíz: 3,5 +/- 0,5 mm. | Taldn: 1,0 +/- 0,5 mm. Tipo de soldadura: RANURA Angulo de ranura: 60 +/- 10° | | |
| Posición de soldadura: 1GR (PLANA ROTADA) | Dirección de Soldadura: N/A | Tiempo de soldadura: 60 min. | | | |
| GTAW | Denominación AWS: E 705-6 Electrodo: Denominación AWS: E WTi2 Gas de Protección: Tipo: Argón (Ar) 100% | Diámetro: 2,4 mm. Especificación SFA: 5.18 | F-No. 6 A-No. 1 Especificación SFA: 5.12 Caudal: 25 - 30 l/min. | | |
| GMAW | Denominación AWS: E 705-6 Gas de Protección: Tipo: MIX20 [Argón (Ar) 80% y Dióxido de Carbono (CO2) 20%] Tipo de transferencia: PULSADA | Diámetro: 1,2 mm. Especificación SFA: 5.18 | F-No. 6 A-No. 1 Caudal: 40-50 l/min. | | |
| Pre calentamiento: 300 ° C | Velocidad de alimentación (IPM): 160 -180 | Temperatura entre pases: 300 ° C | Potencia de la máquina de soldar: 18 KVA | | |
| Tipo de máquina de soldar: MILLER PIPE WDPX | | | | | |
| PARÁMETRO DE SOLDADURA | | | | | |
| Pase No. Proceso: Tipo de electrodo (AWS): Especificación (SFA) No. Diámetro (mm): Material de Aporte (AWS) Especificación (SFA) No. Diámetro (mm): Velocidad de soldadura (mm /min): Voltaje: Amperaje: Dirección: D A ? Tipo de corriente y polaridad: Código del soldador: | RAÍZ GTAW E WTi2 5,12 2,4 ER70S-6 5,18 2,4 100-120 10-15 140-160 N/A DC + WPG-EPN-01 | CALIENTE GTAW E WTi2 5,12 2,4 ER70S-6 5,18 2,4 120-130 10-15 190-220 N/A DC + WPG-EPN-01 | RELLENO GMAW N/A N/A N/A ER70S-6 5,18 1,2 150-160 10-18 140-160 N/A DC + WPG-EPN-01 | PRESENTACIÓN GMAW N/A N/A N/A ER70S-6 5,18 1,2 150-160 10-18 140-160 N/A DC + WPG-EPN-01 | |
| EXÁMENES | | | | | |
| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | | | | |
| INSPECCIÓN VISUAL | Calificado SI | Descalificado | | | |
| CALIFICADO SI | DESCALIFICADO | | | | |
| ENSAYOS DESTRUCTIVOS | | | | | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | | | |
| Muestra No. Ident. de Laboratorio Aprobado | TRACCIONES | | | | |
| 2 1T-GVLJ-B 2T-GVLJ-B | SI SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | | | |
| ENSAYOS DE TRACCIÓN | Calificado SI | Descalificado | | | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO | | | | | |
| Muestra No. Ident. de Laboratorio Aprobado | DOBLADOS DE CARA | | | | |
| 2 1DC-GVLJ-B 2DC-GVLJ-B | SI SI | | | | |
| Muestra No. Ident. de Laboratorio Aprobado | DOBLADOS DE RAÍZ | | | | |
| 2 1DR-GVLJ-B 2DR-GVLJ-B | SI SI | | | | |
| ENSAYOS DE DOBLADO. | Calificado SI | Descalificado | | | |
| Límites de calificación: | El Procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de RANURA para todas las posiciones Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con : P No. 1 y Grupo No. 1 El rango de calificación en diámetros es de : 73 mm (2 7/8") ≤ Ø ≤ ilimitado El rango de espesor de Material base calificado es de : 4,8 mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. El proceso de soldadura utilizado es GTAW / GMAW Los rangos de calificación en espesor de materiales de aporte son: | | | | |
| Proceso | Especificación AWS | Denominación AWS | Rango de espesor | F No. | A No. |
| GTAW | AWS A 5,18 | ER70S-6 | 1,6 mm. ≤ t ≤ 8,0 mm. | F No. 6 | A No. 1 |
| GMAW | AWS A 5,18 | ER70S-6 | 1,6mm. ≤ t ≤ 8,0 mm. | F No. 6 | A No. 1 |
| CERTIFICACIÓN | | | | | |
| Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas, y que además los cupones fueron soldados y ensayados de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME IX - 2010 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION". | | | | | |
| REALIZADO POR: | | | REVISADO POR: | | |
| Ing. Gabriel Velastegui Firma: Fecha: | Ing. Luis Jaramillo Firma: Fecha: | Ing. Carlos Diaz CO-DIRECTOR Firma: Fecha: | Dr. Victor Cardenas DIRECTOR Firma: Fecha: | | |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR No. EPN-GVLJ-003 |  |
|---|---|---|

| | |
|--|--|
| Nombre Compañía: EPN WPS SOPORTE No. EPN - GVLJ - 003 Según norma : ASME IX - 2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" | Fecha de realización : 10/03/2015 Inspector: Gabriel Velastegui |
|--|--|

| | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|--|
| Proceso de soldadura : | MANUAL | SEMIAUTOMATICO | | AUTOMATICO |
| | GTAW X | FCAW | GMAW X | SAW |
| Tipo y grado del metal base : | ASTM A 106 Gr B | Espesor: 8,0 mm. Abertura de raíz: 3,5 +/- 0,5 mm. | Talón: 1,0 +/- 0,5 mm. | Tipo de soldadura : RANURA Angulo de ranura: 60 +/- 10° |
| Posición de soldadura : 6G | P No. 1 | Gr No. 1 | Dirección de Soldadura : ↑ Ascendente / ↓ Ascendente Tiempo de soldadura : 60 min. | |
| GTAW | | | | |
| Metal de aporte : | Denominación AWS: E 70S-6 | Diámetro : 2,4 mm. | Especificación SFA : 5.18 | F-No. 6 A-No. 1 |
| Electrodo : | Denominación AWS: E WThJ | Diámetro : 2,4 mm. | Especificación SFA : 5.12 | |
| Gas de Protección : | Tipo: Argón (Ar) 100% | | Caudal: 25 - 30 l/min. | |
| GMAW | | | | |
| Metal de aporte : | Denominación AWS: E 70S-6 | Diámetro : 1,2 mm. | Especificación SFA : 5.18 | F-No. 6 A-No. 1 |
| Gas de Protección : | Tipo: MIX28 [Argón (Ar) 80% y Dioxido de Carbono (CO2) 20%] | | Caudal: 40-50 l/min. | |
| Tipo de transferencia : PULSADA | Velocidad de alimentación (IPM) 160-180 | | | |
| Pre calentamiento : | 300 ° C | | Temperatura entre peses : | 300 ° C |
| Tipo de máquina de soldar : | MILLER PIPE WORK | | Potencia de la máquina de soldar: | 10 KVA |

| PARAMETRO DE SOLDADURA | | | | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|
| Pase No. | RAIZ | CALIENTE | RELLENO | PRESENTACION |
| Proceso : | GTAW | GTAW | GMAW | GMAW |
| Tipo de electrodo (AWS) : | E WTh2 | E WTh2 | N/A | N/A |
| Especificación (SFA) No. : | 5.12 | 5.12 | N/A | N/A |
| Diámetro (mm) : | 2,4 | 2,4 | N/A | N/A |
| Material de Aporte (AWS) : | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 |
| Especificación (SFA) No. : | 5.18 | 5.18 | 5.18 | 5.18 |
| Diámetro (mm) : | 2,4 | 2,4 | 1,2 | 1,2 |
| Velocidad de soldadura (mm /min) : | 100-120 | 120-150 | 140-160 | 12-140 |
| Voltaje : | 10-15 | 10-15 | 10-18 | 10-18 |
| Amperaje : | 140-160 | 190-220 | 140-160 | 140-160 |
| Dirección : D A ↑ | ASCENDENTE | ASCENDENTE | ASCENDENTE | ASCENDENTE |
| Tipo de corriente y polaridad : | DC - | DC - | DC + | DC + |
| Código del soldador : | WPG-EPN-01 | WPG-EPN-01 | WPG-EPN-01 | WPG-EPN-01 |

EXAMENES

| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | |
|-------------------------|---------------|---------------|
| INSPECCIÓN VISUAL | Calificado | SI |
| | CALIFICADO | SI |
| | DESCALIFICADO | DESCALIFICADO |

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|---|
| TRACCIONES | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | |
| 3 | 1T-GVLJ-C | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. |
| | 2T-GVLJ-C | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. |
| ENSAYOS DE TRACCIÓN | Calificado | SI | Descalificado |

| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|----------|---------------|
| DOBLADOS DE CARA | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | |
| 3 | 1DC-GVLJ-C | SI | |
| | 2DC-GVLJ-C | SI | |
| DOBLADOS DE RAIZ | | | |
| 3 | 1DR-GVLJ-C | SI | |
| | 2DR-GVLJ-C | SI | |
| ENSAYOS DE DOBLADO. | Calificado | SI | Descalificado |

| | | | | | |
|--------------------------|---|------------------|---------------------|---------|---------|
| Limites de calificación: | El Procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de RANURA para todas las posiciones Limite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con : P No. 1 y Grupo No. 1 El rango de calificación en diámetros es de : 7,3 mm (2 7/8") ≤ Ø ≤ ilimitado El rango de espesor de Material base calificado es de : 4,8 mm. ≤ ≤ 16,0 mm. El proceso de soldadura utilizado es GTAW / GMAW Los rangos de calificación en espesor de materiales de aporte son: | | | | |
| Proceso | Especificación AWS | Denominación AWS | Rango de espesor | F No. | A No. |
| GTAW | AWS A 5.18 | ER70S-6 | 1,6 mm. ≤ ≤ 8,0 mm. | F No. 6 | A No. 1 |
| GMAW | AWS A 5.18 | ER70S-6 | 1,6mm. ≤ ≤ 8,0 mm. | F No. 6 | A No. 1 |

CERTIFICACION

Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas, y que además los cupones fueron soldados y ensayados de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME IX - 2010 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION".

| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | |
|-------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Diaz CO-DIRECTOR | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR |
| Firma: | Firma: | Firma: | Firma: |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: | Fecha: |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESCUELA POLITECNICA NACIONAL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR No. EPN-GVLJ-004 |  |
|---|---|---|

| | |
|---|----------------------------------|
| Nombre Compañía: EPN | Fecha de realización: 10/03/2015 |
| WPS SOPORTE No. EPN - GVLJ - 004 | |
| Según norma: ASME IX - 2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" | Inspector: Gabriel Velastegui |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proceso de soldadura: | MANUAL | SEMIAUTOMATICO | AUTOMÁTICO |
| | GTAW | FCAW | GMAW X SAW |
| Tipo y grado del metal base: | ASTM A 106-Gr B | Espesor: 8.0 mm. Aberfura de raíz: 3.5 +/- 0.5 mm. | Talón: 1.0 +/- 0.5 mm. Tipo de soldadura: RANURA Angulo de ranura: 60 +/- 10° |
| | P No. 1 | Gr No. 1 | |
| Posición de soldadura: 6G (PLJA A 45°) | Dirección de Soldadura: N/A | | Tempo de soldadura: 90 min. |
| GMAW | | | |
| Metal de aporte: | Denominación AWS: ER70S-6 | Diámetro: 1,2 mm. | Especificación SFA: 5.18 F-No. 6 A-No. 1 |
| Gas de Protección: | Tipo: MIX20 [Argón (Ar) 80% y Dioxido de Carbono (CO2) 20%] | Caudal: 40-50 l/min. | |
| Tipo de transferencia: CORTOCIRCUITO | Velocidad de alimentación (IPM) 120 - 160 | | |
| Pre calentamiento: 300 ° C | Temperatura entre pases: 300 ° C | | |
| Tipo de máquina de soldar: MILLER PIPE WORX | Potencia de la máquina de soldar: 10 KVA | | |

| PARAMETRO DE SOLDADURA | | | | |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|--------------|
| Pase No. | RAIZ | CALENTE | RELLENO | PRESENTACIÓN |
| Proceso: | GTAW | GTAW | GMAW | GMAW |
| Material de Aporte (AWS) | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 |
| Especificación (SFA) No. | 5,18 | 5,18 | 5,18 | 5,18 |
| Diámetro (mm): | 2,4 | 2,4 | 1,2 | 1,2 |
| Velocidad de soldadura (mm /min): | 100-120 | 120-130 | 150-160 | 150-160 |
| Voltaje: | 20-25 | 20-25 | 20-25 | 20-25 |
| Amperaje: | 100-120 | 100-120 | 140-160 | 140-160 |
| Dirección: D A † | NA | NA | NA | NA |
| Tipo de corriente y polaridad: | DC + | DC + | DC + | DC + |
| Código del soldador: | WPO-EPN-01 | WPO-EPN-01 | WPO-EPN-01 | WPO-EPN-01 |

EXÁMENES

| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | |
|-------------------------|------------|------------------|
| INSPECCIÓN VISUAL | Calificado | SI Descalificado |

| | | |
|------------|----|---------------|
| CALIFICADO | SI | DESCALIFICADO |
|------------|----|---------------|

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN

| TRACCIONES | | | |
|---------------------|-----------------------|------------|---|
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | |
| 4 | 1T-GVLJ-D | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. |
| | 2T-GVLJ-D | SI | |
| ENSAYOS DE TRACCIÓN | | Calificado | SI Descalificado |

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO



| DOBLADOS DE CARA | | | |
|---------------------|-----------------------|------------|------------------|
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | |
| 4 | 1DC-GVLJ-D | SI | |
| | 2DC-GVLJ-D | SI | |
| DOBLADOS DE RAIZ | | | |
| 4 | 1DR-GVLJ-D | SI | |
| | 2DR-GVLJ-D | SI | |
| ENSAYOS DE DOBLADO. | | Calificado | SI Descalificado |



| | | | | | |
|--------------------------|---|------------------|-----------------------|---------|---------|
| Limites de calificación: | El Procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de RANURA para todas las posiciones | | | | |
| | Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con : P No. 1 y Grupo No. 1 | | | | |
| | El rango de calificación en diámetros es de : 73 mm (2 7/8") ≤ Ø ≤ ilimitado | | | | |
| | El rango de espesor de Material base calificado es de : 1,6 mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. | | | | |
| | El proceso de soldadura utilizado es GTAW / GMAW | | | | |
| | Los rangos de calificación en espesor de materiales de aporte son: | | | | |
| Proceso | Especificación AWS | Denominación AWS | Rango de espesor | F No. | A No. |
| GMAW | AWS A 5,18 | ER70S-6 | 1,6mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. | F No. 6 | A No. 1 |



CERTIFICACIÓN

Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas, y que además los cupones fueron soldados y ensayados de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME IX - 2010 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION".

| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | |
|-------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR |
| Firma: | Firma: | Firma: | Firma: |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: | Fecha: |

|  ESCUELA POLITECNICA NACIONAL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR No. EPN-GVLJ-005 | |  | | |
|--|--|---|---|---------------|
| Nombre Compañía: EPN WPS SOPORTE No.: EPN - GVLJ - 005 Según norma: ASME IX - 2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" | | Fecha de realización: 10/03/2015 Inspector: Gabriel Velastegui | | |
| Proceso de soldadura: | MANUAL GTAW | SEMIAUTOMÁTICO FCAW GMAW X | AUTOMÁTICO SAW | |
| Tipo y grado del metal base: | ASTM A 106 Gr B | Espesor: 8,0 mm. Abertura de raíz: 2,5 +/- 0,5 mm. Talón: 1,0 +/- 0,5 mm. | Tipo de soldadura: RANURA Angulo de ranura: 60 +/- 10° | |
| Posición de soldadura: 1GR (PLANA ROTADA) Dirección de Soldadura: N/A | P No. 1 Gr No. 1 | Tiempo de soldadura: 60 min. | | |
| GMAW | | | | |
| Metal de aporte: | Denominación AWS: E R705-6 Diámetro: 1,2 mm. Especificación SFA: 5.18 F-No. 6 A-No. 1 | Gas de Protección: Tipo: MIX20 [Argón (Ar) 80% y Dióxido de Carbono (CO2) 20%] Caudal: 40-50 l/min. | | |
| Tipo de transferencia: RMD (Depósito de metal regulado) / P (Pulsado) | Velocidad de alimentación (IPM): 150 - 180 | Precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: 200 ° C | | |
| Tipo de máquina de soldar: MILLER PIPE WORX | Potencia de la máquina de soldar: 10 KVA | | | |
| PARAMETRO DE SOLDADURA | | | | |
| Pase No. | RAÍZ | CALIENTE | RELLENO | PRESENTACIÓN |
| Proceso: | GMAW | GMAW | GMAW | GMAW |
| Material de Aporte (AWS) | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 |
| Especificación (SFA) No. | 5,18 | 5,18 | 5,18 | 5,18 |
| Diámetro (mm): | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Velocidad de soldadura (mm /min): | 150-160 | 175-180 | 175-180 | 175-180 |
| Voltaje: | 20-25 | 20-25 | 20-25 | 20-25 |
| Amperaje: | 100-110 | 110-120 | 110-120 | 100-110 |
| Dirección: D ↓ A ↑ | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Tipo de corriente y polaridad: | DC + | DC + | DC + | DC + |
| Código del soldador: | WPO-EPN-01 | WPO-EPN-01 | WPO-EPN-01 | WPO-EPN-01 |
| EXÁMENES | | | | |
| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | | | |
| INSPECCIÓN VISUAL | Calificado | | SI Descalificado | |
| CALIFICADO | SI | | DESCALIFICADO | |
| ENSAYOS DESTRUCTIVOS | | | | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | | |
| TRACCIONES | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 5 | 1T-GVLJ-E | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | |
| | 2T-GVLJ-E | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | |
| ENSAYOS DE TRACCIÓN | | Calificado | SI | Descalificado |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO | | | | |
| DOBLADOS DE CARA | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 5 | 1DC-GVLJ-E | SI | | |
| | 2DC-GVLJ-E | SI | | |
| DOBLADOS DE RAÍZ | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 5 | 1DR-GVLJ-E | SI | | |
| | 2DR-GVLJ-E | SI | | |
| ENSAYOS DE DOBLADO | | Calificado | SI | Descalificado |
| Límites de calificación: El Procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de RANURA en la posición de soldadura 1GR (Plana rotada) Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con : P No. 1 y Grupo No. 1 El rango de calificación en diámetros es de : 73 mm (2 7/8") ≤ Ø ≤ ilimitado El rango de espesor de Material base calificado es de : 1,6 mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. El proceso de soldadura utilizado es GTAW / GMAW Los rangos de calificación en espesor de materiales de aporte son: Proceso Especificación AWS Denominación AWS Rango de espesor F No. A No. GMAW AWS A 5,18 ER70S-6 1,6mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. F No. 6 A No. 1 | | | | |
| CERTIFICACIÓN | | | | |
| Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas, y que además los cupones fueron soldados, y ensayados de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME IX - 2010 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION". | | | | |
| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | | |
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | Dr. Victor Cárdenas DIRECTOR | |
| Firma: | Firma: | Firma: | Firma: | |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: | Fecha: | |

|  ESCUELA POLITECNICA NACIONAL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR No. EPN-GVLJ-006 | |  | | |
|---|---|---|--|--------------|
| Nombre Compañía: EPN WPS SOPORTE No. EPN - GVLJ - 006 | | Fecha de realización : 10/03/2015 | | |
| Según norma : ASME IX – 2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" | | Inspector: Gabriel Velastegui | | |
| Proceso de soldadura : | MANUAL GTAW | SEMIAUTOMATICO FCAW | AUTOMÁTICO GMAW X SAW | |
| Tipo y grado del metal base : | ASTM A 106 Gr B | Esesor: 8,0 mm. Abertura de raíz: 2,5 +/- 0,5 mm. | Tipo de soldadura : RANURA Angulo de ranura: 60 +/- 10° | |
| | P No. 1 Gr No. 1 | Talón: 1,0 +/- 0,5 mm. | | |
| Posición de soldadura : BG (FUA A 45°) | Dirección de Soldadura : Ascendente | | Tiempo de soldadura : 90 min. | |
| GMAW | | | | |
| Metal de aporte : | Denominación AWS: E R70S-6 | Diámetro : 1,2 mm. | Especificación SFA : 5.18 F-No. 6 A-No. 1 | |
| Gas de Protección : | Tipo: MIX20 [Argón (Ar) 80% y Dióxido de Carbono (CO2) 20%] | Caudal: 40-50 lit/min. | | |
| Tipo de transferencia : | RMD (Depósito de metal regulado) / P (Pulsado) | Velocidad de alimentación (IPM) | 150 - 180 | |
| Pre calentamiento : | N/A | Temperatura entre poses : | 200 ° C | |
| Tipo de máquina de soldar : | MILLER PIPE WORX | Potencia de la máquina de soldar: | 10 KVA | |
| PARAMETRO DE SOLDADURA | | | | |
| Pase No. | RAÍZ | CALIENTE | RELLENO | PRESENTACIÓN |
| Proceso : | GMAW | GMAW | GMAW | GMAW |
| Material de Aporte (AWS) | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 | ER70S-6 |
| Especificación (SFA) No. | 5,18 | 5,18 | 5,18 | 5,18 |
| Diámetro (mm) : | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Velocidad de soldadura (mm /min) : | 150-160 | 175-180 | 175-180 | 175-180 |
| Voltaje : | 20-25 | 20-25 | 20-25 | 20-25 |
| Amperaje : | 100-110 | 110-120 | 110-120 | 100-110 |
| Dirección : D ↓ A ↑ | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Tipo de corriente y polaridad : | DC + | DC + | DC + | DC + |
| Código del soldador : | WPQ-EPN-01 | WPQ-EPN-01 | WPQ-EPN-01 | WPQ-EPN-01 |
| EXAMENES | | | | |
| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | | | |
| INSPECCIÓN VISUAL | Calificado | SI | Descalificado | |
| CALIFICADO | SI | DESCALIFICADO | | |
| ENSAYOS DESTRUCTIVOS | | | | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | | |
| TRACCIONES | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 6 | 1T-GVLJ-F | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | |
| | 2T-GVLJ-F | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | |
| ENSAYOS DE TRACCIÓN | Calificado | SI | Descalificado | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO | | | | |
| DOBLADOS DE CARA | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 6 | 1DC-GVLJ-F | SI | | |
| | 2DC-GVLJ-F | SI | | |
| DOBLADOS DE RAÍZ | | | | |
| 6 | 1DR-GVLJ-F | SI | | |
| | 2DR-GVLJ-F | SI | | |
| ENSAYOS DE DOBLADO. | Calificado | SI | Descalificado | |
| Límites de calificación: | El Procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de RANURA para todas las posiciones Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con : P No. 1 y Grupo No. 1 El rango de calificación en diámetros es de : 73 mm (2 7/8") ≤ Ø ≤ ilimitado El rango de espesor de Material base calificado es de : 1,6 mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. El proceso de soldadura utilizado es GTAW / GMAW Los rangos de calificación en espesor de materiales de aporte son: Proceso Especificación AWS Denominación AWS Rango de espesor F No. A No. GMAW AWS A 5.18 ER70S-6 1,6mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. F No. 6 A No. 1 | | | |
| CERTIFICACIÓN | | | | |
| Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas, y que además los cupones fueron soldados y ensayados de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME IX – 2010 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" . | | | | |
| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | | |
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Díaz CO-DIRECTOR | Dr. Víctor Cárdenas DIRECTOR | |
| Firma: | Firma: | Firma: | Firma: | |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: | Fecha: | |

|  ESCUELA POLITECNICA NACIONAL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR No. EPN-GVLJ-007 | |  | | |
|--|--|---|---|-----------------------|
| Nombre Compañía: EPN | | Fecha de realización: 10/03/2015 | | |
| WPS SOPORTE No. EPN - GVLJ - 007 | | | | |
| Según norma: ASME IX - 2013 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION" | | Inspector: Gabriel Velastegui | | |
| Proceso de soldadura: | MANUAL | SEMIAUTOMÁTICO | | |
| | GTAW / SMAW X | FCAW GMAW | | |
| Tipo y grado del metal base: | ASTM A 105 Gr B | Especesor: 8,0 mm. Abertura de raíz: 3,5 +/- 0,5 mm. | | |
| | F No. 1 | Gr No. 1 | | |
| Posición de soldadura: | 1GR (PLANA ROTADA) | Dirección de Soldadura: N/A | | |
| | | Tiempo de soldadura: 60 min. | | |
| GTAW | | | | |
| Metal de aporte: | Denominación AWS: E R705-6 | Diámetro: 2,4 mm. | | |
| Electrodo: | Denominación AWS: E WTh2 | Diámetro: 2,4 mm. | | |
| Gas de Protección: | Tipo: Argón (Ar) 100% | Caudal: 25 - 30 l/min. | | |
| SMAW | | | | |
| Metal de aporte: | Denominación AWS: E 7018 | Diámetro: 3,2 mm. | | |
| Gas de Protección: | N/A | Caudal: N/A | | |
| Pre calentamiento: | N/A | Temperatura entre pases: 300 ° C | | |
| Tipo de máquina de soldar: | MILLER PIPE WORX | Potencia de la máquina de soldar: 10 KVA | | |
| PARAMETRO DE SOLDADURA | | | | |
| Pase No. | RAIZ | CALIENTE | RELLENO | PRESENTACIÓN |
| Proceso: | GTAW | GTAW | SMAW | SMAW |
| Tipo de electrodo (AWS): | E WTh2 | E WTh2 | N/A | N/A |
| Especificación (SFA) No. | 5,12 | 5,12 | N/A | N/A |
| Diámetro (mm): | 2,4 | 2,4 | N/A | N/A |
| Material de Aporte (AWS) | ER70S-6 | ER70S-6 | E7018 | ER70S-6 |
| Especificación (SFA) No. | 5,18 | 5,18 | 5,1 | 5,18 |
| Diámetro (mm): | 2,4 | 2,4 | 3,2 | 1,2 |
| Velocidad de soldadura (mm /min): | 100-120 | 120-130 | 60-100 | 120-140 |
| Voltaje: | 10-15 | 10-15 | 20-25 | 20-25 |
| Amperaje: | 140-160 | 190-220 | 90-100 | 100-140 |
| Dirección: D ↓ A ↑ | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Tipo de corriente y polaridad: | DC - | DC - | DC + | DC + |
| Código del soldador: | WPG-EPN-01 | WPG-EPN-01 | WPG-EPN-01 | WPG-EPN-01 |
| EXÁMENES | | | | |
| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | | | |
| INSPECCIÓN VISUAL | Calificado | SI | Descalificado | |
| CALIFICADO | SI | DESCALIFICADO | | |
| ENSAYOS DESTRUCTIVOS | | | | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | | |
| TRACCIONES | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 7 | 1T-GVLJ-G | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | |
| | 2T-GVLJ-G | SI | Ver anexo del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos EPN. | |
| ENSAYOS DE TRACCIÓN | Calificado | SI | Descalificado | |
| RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO | | | | |
| DOBLADOS DE CARA | | | | |
| Muestra No. | Ident. de Laboratorio | Aprobado | | |
| 7 | 1DC-GVLJ-G | SI | | |
| | 2DC-GVLJ-G | SI | | |
| DOBLADOS DE RAIZ | | | | |
| 7 | 1DR-GVLJ-G | SI | | |
| | 2DR-GVLJ-G | SI | | |
| ENSAYOS DE DOBLADO. | Calificado | SI | Descalificado | |
| Límites de calificación: | El Procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de RANURA para todas las posiciones | | | |
| | Límite de calificación en material base: Todos los materiales especificados con: P No. 1 y Grupo No. 1 | | | |
| | El rango de calificación en diámetros es de: 73 mm (2 7/8") ≤ Ø ≤ ilimitado | | | |
| | El rango de espesor de Material base calificado es de: 1,6 mm. ≤ t ≤ 16,0 mm. | | | |
| | El proceso de soldadura utilizado es GTAW / GMAW | | | |
| | Los rangos de calificación en espesor de materiales de aporte son: | | | |
| | Proceso | Especificación AWS | Denominación AWS | Rango de espesor |
| | GTAW | AWS A 5,18 | ER70S-6 | 1,6 mm. ≤ t ≤ 8,0 mm. |
| | SMAW | AWS A 5,1 | E7018 | 1,6mm. ≤ t ≤ 8,0 mm. |
| | | | F No. | A No. |
| | | | F No. 6 | A No. 1 |
| | | | F No. 4 | A No. 1 |
| CERTIFICACIÓN | | | | |
| Nosotros certificamos que las especificaciones de este registro de soldadura son correctas, y que además los cupones fueron soldados y ensayados de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME IX - 2010 "BOILER & PRESSURE VESSEL CODE" PARTE "WELDING AND BRAZING QUALIFICATION". | | | | |
| REALIZADO POR: | | REVISADO POR: | | |
| Ing. Gabriel Velastegui | Ing. Luis Jaramillo | Ing. Carlos Díaz | Dr. Víctor Cárdenas | |
| | | CO-DIRECTOR | DIRECTOR | |
| Firma: | Firma: | Firma: | Firma: | |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: | Fecha: | |

7.3 CORRELACION ENTRE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN REALIZADOS A LAS PROBETAS Y TIPO DE PROCESO DE SOLDADURA, POSICIONES DE SOLDADURA, ESPESORES Y TIPOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL DE APORTE.

La resistencia última a la tracción de todas las probetas y en todos los procesos sobrepasan los valores de resistencia del material base y por ende todos los cupones cumplen con todos los requerimientos del código ASME sección IX.

En este proyecto se compara los valores de resistencia que se obtienen con cada proceso de soldadura, en cada posición de soldadura y con diferentes espesores, luego se analiza en cada caso.

7.3.1 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

Para la calificación de procedimientos de soldadura se necesitan dos probetas para el ensayo de tracción, para este análisis se toma un promedio de los valores de resistencia a la tracción (Sut), obtenidos por cada proceso de soldadura y se los representa en la Tabla 7.9 y Gráfico 7.1.

Tabla 7. 9 Resistencia a la tracción por proceso de soldadura

| Proceso de soldadura | Resistencia a la tracción (KSi) |
|----------------------|---------------------------------|
| GMAW-RMD-PULSED-1GR | 73 |
| GMAW-RMD-PULSED-6G | 72,3 |
| GMAW-S-6G | 73,7 |
| GTAW-GMAW-1GR | 73 |
| GTAW-GMAW-1GR | 77,35 |
| GTAW-GMAW-6G | 70,8 |
| GTAW-GMAW-P-6G | 75,35 |
| GTAW-SMAW-6G | 73,05 |

| | |
|--------------|-------|
| SMAW-SMAW-6G | 75,74 |
|--------------|-------|

Fuente: Propia.

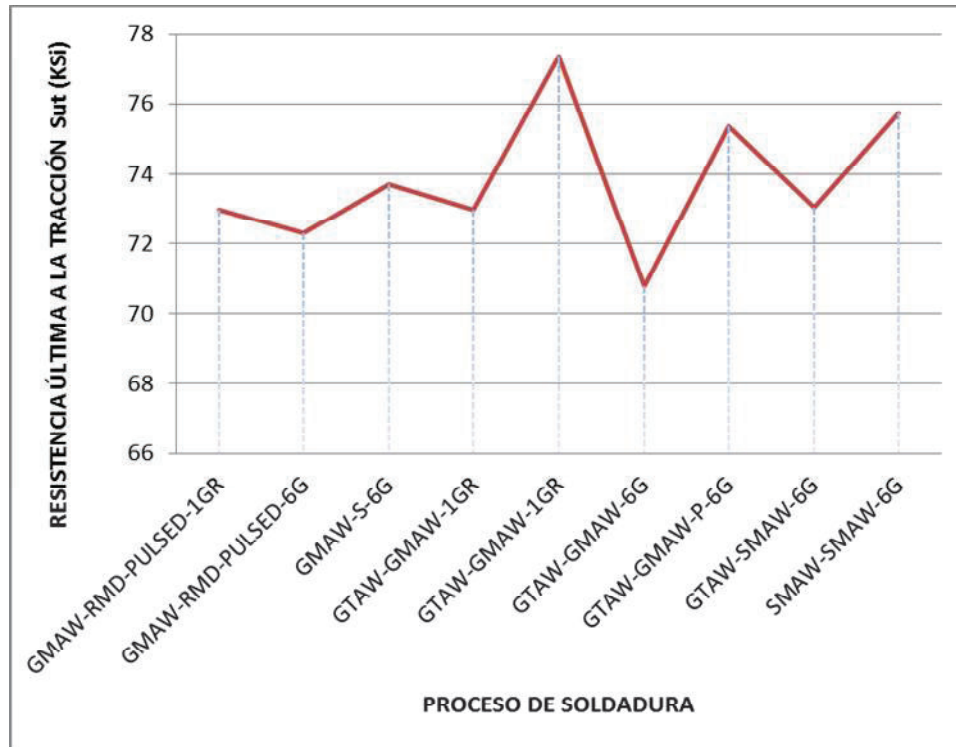


Gráfico 7. 1 Resistencia a la tracción vs proceso de soldadura

Fuente: Propia.

El proceso de soldadura que mayor valor de resistencia última a la tracción presenta es el correspondiente al proceso GTAW/GMAW-P (pulsada) en la posición plana rotada, 1GR con un valor promedio de 77,35 KPsi, seguido por el proceso de soldadura GTAW/GMAW-P (pulsada) en la posición fija a 45° 6G, con un valor promedio de 75,35 KPsi. Con esto se comprueba que el mejor proceso a utilizar es el de GTAW en el pase de raíz y caliente combinado con el proceso GMAW-P (pulsada) que controla de mejor manera el arco de soldadura, mejor control del aporte de calor y de mayor facilidad en el manejo.

El proceso de soldadura GMAW-RMD con tipo de transferencia de depósito de metal controlado, es especial para el pase de raíz, posee buena penetración, la calidad del perfil de soldadura es comparada con GTAW con la diferencia de la velocidad de aplicación o de avance de GMAW-RMD, que es de

aproximadamente el doble que GTAW y cumple con los valores de resistencia a la tracción que sobrepasan los 70.000 PSI, establecidos por el código. Se puede mejorar este nuevo proceso, con un tiempo de entrenamiento del soldador para que se familiarice, conozca y establezca de mejor manera los controles, los parámetros y las variables principales, para no introducir defectos de soldadura.

7.3.2 COMPARACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN VS LAS POSICIONES DE SOLDADURA

Comparando los valores de resistencia a la tracción que se obtienen con un mismo proceso de soldadura en diferentes posiciones de soldadura, plana rotada (1GR) y la posición fija a 45° (6G), se realiza el Gráfico 7.2. y los resultados se presentan en la Tabla 7.10.

Tabla 7. 10 Resistencia a la tracción por posición de soldadura

| Proceso de soldadura | Resistencia a la tracción (KSi) |
|----------------------|---------------------------------|
| GMAW-RMD-PULSED-1GR | 73 |
| GMAW-RMD-PULSED-6G | 72,3 |

Fuente: Propia.

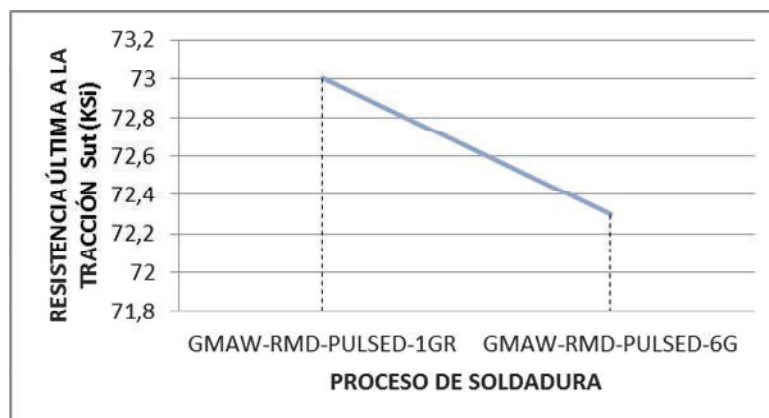


Gráfico 7. 2 Comparación de la resistencia a la tracción vs posición de soldadura en los cupones soldados con proceso GMAW-RMD / GMAW-P.

Fuente: Propia.

Tabla 7. 11 Resistencia a la tracción por posición de soldadura

| Proceso de soldadura | Resistencia a la tracción (KSi) |
|----------------------|---------------------------------|
| GTAW-GMAW-1GR | 73 |
| GTAW-GMAW-6G | 70,8 |

Fuente: Propia.

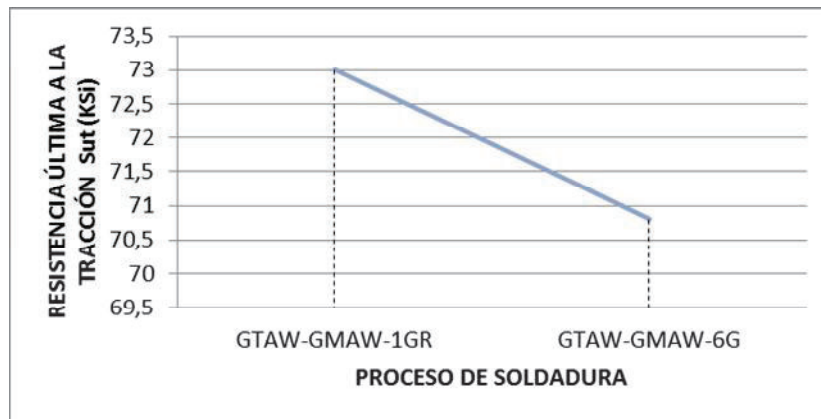


Gráfico 7. 3 Comparación de la resistencia a la tracción vs posición de soldadura en los cupones soldados con proceso GTAW-GMAW.

Fuente: Propia.

La soldadura en la posición plana (1G) es más fácil de realizar que en la posición fija a 45° (6G), se tiene mayor control de las variables, mayor velocidad de soldadura, posee menor posibilidad de introducir defectos en la junta soldada, se necesita menor habilidad del soldador para realizar esta soldadura. Es por esto que la resistencia en las tuberías soldadas con los procesos GMAW-RMD / GMAW-P y GTAW-GMAW, en la posición plana poseen mayor valor que la que se obtiene en la posición fija a 45° (6G).

Otra de las razones para que la resistencia última a la tracción en la posición plana rotada (1GR), sea mayor que la fija a 45° (6G), es que las probetas para ensayo de tracción, se extraen de la ubicación de las 12 y 6 de una tubería (comparando con un reloj), tal como se observa en la Fotografía 6.5. Se conoce que en el inicio y final de una soldadura es donde se tiene mayor posibilidad de

introducir defectos, en la posición plana rotada (1GR) posee 1 solo inicio y un final del arco de soldadura, en cambio en la soldadura en la posición fija a 45° (6G), al menos se tiene dos inicios y finales de inicio de arco de soldadura, lo que tiene mayor probabilidad de tener defectos en la junta soldada.

7.3.3 COMPARACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN VS TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL DE APORTE

Se compara los valores de resistencia a la tracción que se obtienen con un mismo proceso de soldadura, en la misma posición de soldadura, fija a 45° (6G) y los resultados se presentan en la Tabla 7.12 y el Gráfico 7.4.

Tabla 7. 12 Resistencia a la tracción por tipo de transferencia de metal de aporte hacia el metal base

| Proceso de soldadura | Resistencia a la tracción (KSi) |
|----------------------|---------------------------------|
| GMAW-S-6G | 73,7 |
| GMAW-RMD-PULSED-6G | 72,3 |

Fuente: Propia.

Entre los procesos de soldadura utilizados en este proyecto, el mejor es el proceso semiautomático (GMAW), para soldar tubería el GMAW-RMD / GMAW – PULSED por el mejor control de las variables, mejor control del aporte de calor (heat Input), menores salpicaduras, y esto se encuentra sustentado por información técnica y bibliográfica por ejemplo Miller establece que los procesos GMAW-RMD / GMAW –PULSED son de alta calidad en el pase de raíz, buena penetración, rápidos tiempos de soldadura en el llenado y capa, ofrece rendimiento de arco superior que los demás procesos de soldadura y además cuentan con tecnología de avanzada. Permite ser utilizado por operadores no tan experimentados para hacer soldaduras de calidad, igual o quizá mejor que la de los respetables soldadores de electrodo.

El proceso GMAW-S, con transferencia en cortocircuito posee muchas salpicaduras y poco control del arco eléctrico se necesita mayor habilidad del soldador

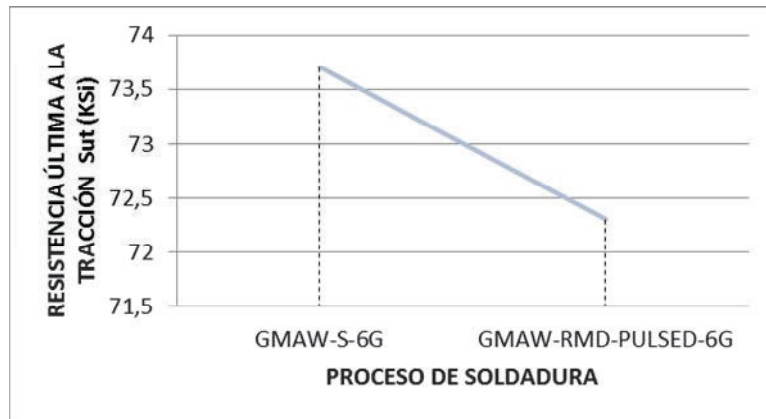


Gráfico 7. 4 Comparación de la resistencia a la tracción vs tipo de transferencia de cortocircuito, RMD y pulsada.

Fuente: Propia.

Se espera que el valor de resistencia a la tracción, del proceso GMAW con el tipo de transferencia RMD y pulsada sea mayor que el obtenido con las probetas con GMAW-S, en cortocircuito, pero esto no ocurre de esta manera, y no es debido al proceso de soldadura, sino a la habilidad del soldador. Lo antes mencionado se puede comprobar con los ensayos de radiografía industrial y metalográfico, en el que se encuentra discontinuidades como faltas de fusión debido a la alta velocidad de soldadura.

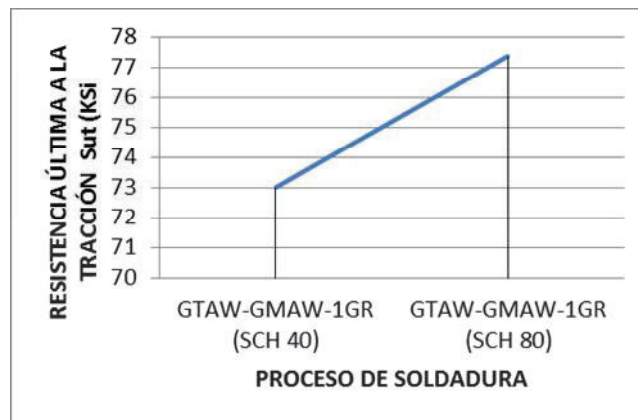
7.3.4 COMPARACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN VS ESPESOR DEL MATERIAL BASE

En la Tabla 7.13 y el Gráfico 7.5. se compara los valores de resistencia a la tracción que se obtienen con un mismo proceso de soldadura, en la misma posición de soldadura, plana rotada (1GR), pero de diferente espesor.

Tabla 7. 13 Resistencia a la tracción el espesor de material base.

| Proceso de soldadura | Resistencia a la tracción (KSi) |
|------------------------|---------------------------------|
| GTAW-GMAW-1GR (SCH 40) | 73 |
| GTAW-GMAW-1GR (SCH 80) | 77,35 |

Fuente: Propia.

**Gráfico 7. 5** Comparación de la resistencia a la tracción vs el espesor de material base.

Fuente: Propia.

La principal diferencia en la realización de los ensayos de tracción a probetas de diferentes espesores, reside en que a medida que aumenta el espesor, las bandas diagonales de deformación se van achatando, de tal forma que la deformación se concentra en una zona cada vez más estrecha y mientras menor el espesor menor la carga de rotura.

También la resistencia de los materiales depende de la composición química del material base, en algunos materiales mientras mayor es el espesor existe otros elementos de aleación que aumentan la resistencia última de la tracción.

7.4 ENSAYOS METALGRÁFICOS

La tubería en la que se va a realizar los ensayos metalográficos son los cupones de acero ASTM A 106 Gr B, de diámetro 203,2 mm (8 pulgadas) SCH 80. (12,70 mm.). en una secuencia llamada tipo cascada, esto es primero el pase de raíz, caliente, relleno y finalmente el de presentación.

Estas probetas se cortan, preparan, pulen y se atacan químicamente con nital al 2% (como se indica en el ítem 6.4.1), para la inspección micrográfica y al 10% para la inspección macrográfica.

7.4.1 ANÁLISIS MACROGRÁFICO

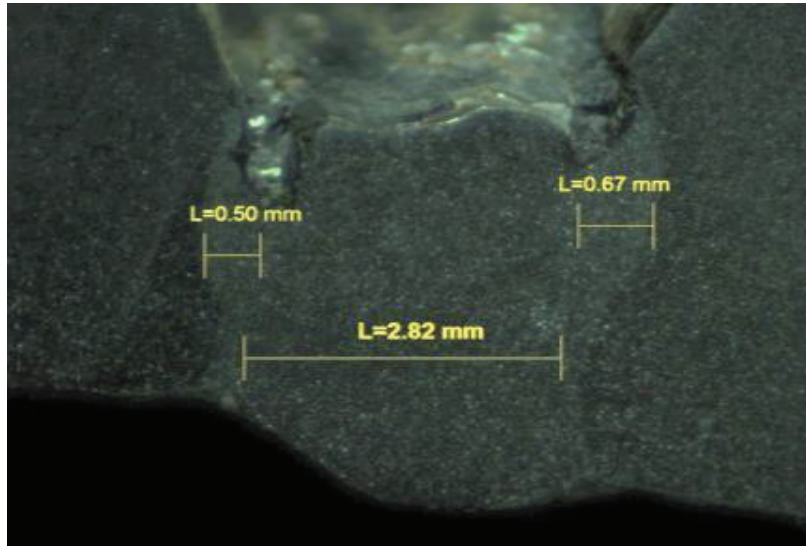
En el ensayo macroográfico se analiza la zona afectada por el calor, también la presencia de discontinuidades y/o defectos de soldadura, como porosidades, mordeduras, escorias atrapadas, faltas de penetración y faltas de fusión.

A continuación se presenta las macrografías por cada uno de los procesos, pero para explicar el análisis se va a trabajar con el proceso de soldadura SMAW en la posición fija a 45° (6G).

De las Fotografías 7.8; 7.9; 7.10 y 7.11, en cuales se presentan las dimensiones de las zonas afectadas por el calor mientras se va realizando cada una de las capas (pase de raíz, caliente, relleno y presentación), se determina que mientras mayor cantidad de pases de soldadura, mayor es la longitud o tamaño de la zona afectada por el calor, existe mayor aporte de calor mientras más pases de soldadura se realice.

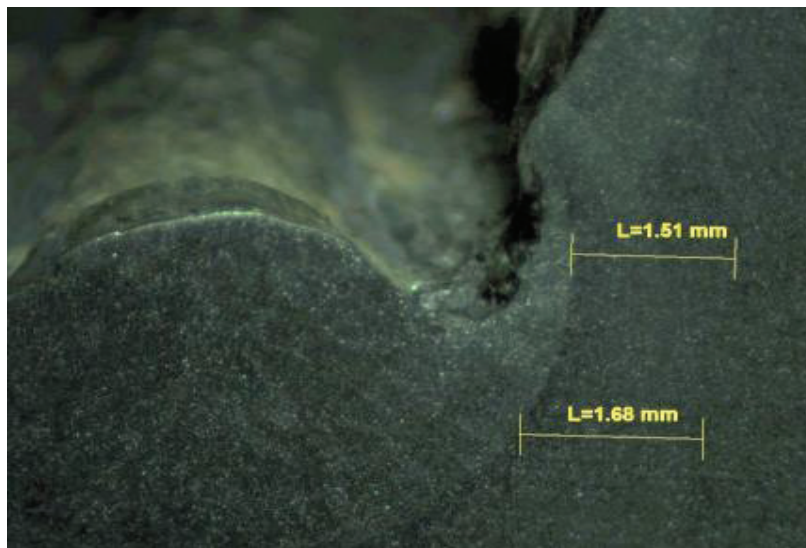
En las Fotografías 7.12; 7.13; 7.14 y 7.15, se observa la realización de la inspección macrográfica con la ayuda del microscopio Estéreo Zoom a 10X. Se comprueba que las probetas presentan buena fusión y penetración en cada uno de los pase de soldadura, se encuentran libre de defectos como porosidades y mordeduras. Las probetas corresponden al proceso GTAW/GMAW-P, como se explicó anteriormente, los dos son procesos de alta calidad de la soldadura, si se

encuentran con los parámetro exactos la posibilidad de que se presenten defectos es mínima.



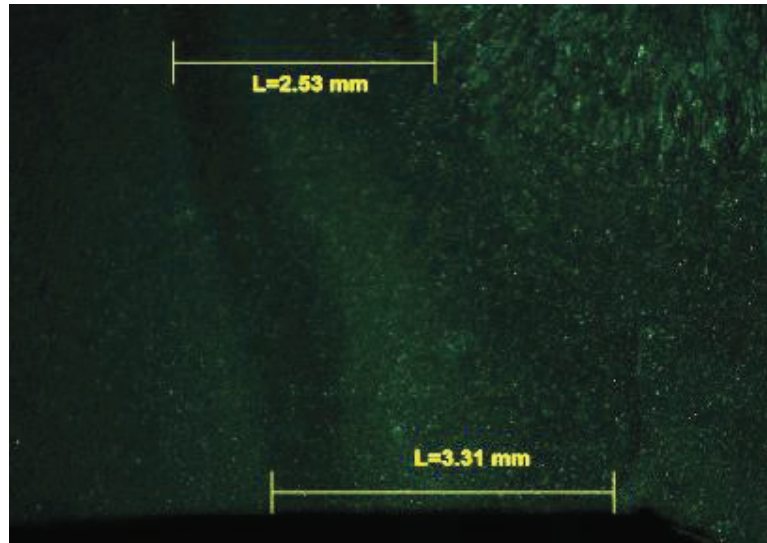
Fotografía 7. 8 Macrografía del primer pase (raíz) de soldadura realizado con proceso SMAW (6G), presenta buena penetración y fusión, 30X. Las dimensiones indican la longitud de la zona de soldadura y las zonas afectadas por el calor.

Fuente: Propia.



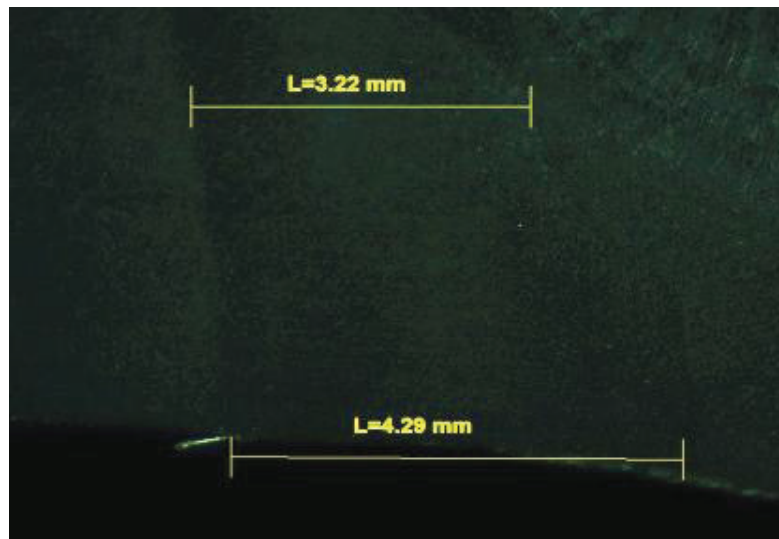
Fotografía 7. 9 Macrografía del segundo pase de soldadura (caliente) realizado con proceso SMAW (6G), presenta buena penetración y fusión, 30X. Las dimensiones indican la longitud de la zona de soldadura y las zonas afectadas por el calor.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 10 Macrografía del tercer pase de soldadura (relleno) realizado con proceso SMAW (6G), presenta buena penetración y fusión, 30X.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 11 Macrografía del quinto pase de soldadura (presentación) realizado con proceso SMAW (6G), presenta buena penetración y fusión, 30X.

Fuente: Propia.



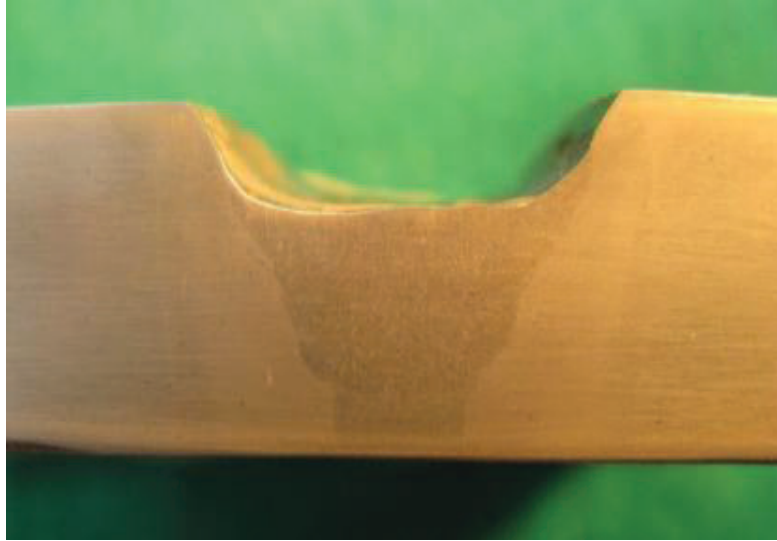
Fotografía 7. 12 Macrografía del cordón de soldadura completado el primer pase (raíz) de soldadura realizado con proceso GTAW (6G), presenta buena penetración y fusión, 10X.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 13 Macrografía del cordón de soldadura completado el segundo pase de soldadura (caliente), realizado con proceso GTAW (6G), presenta buena penetración y fusión, 10X.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 14 Macrografía del cordón de soldadura completado el tercer pase de soldadura (relleno) realizado con proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), presenta buena penetración y fusión, 10X.

Fuente: Propia.

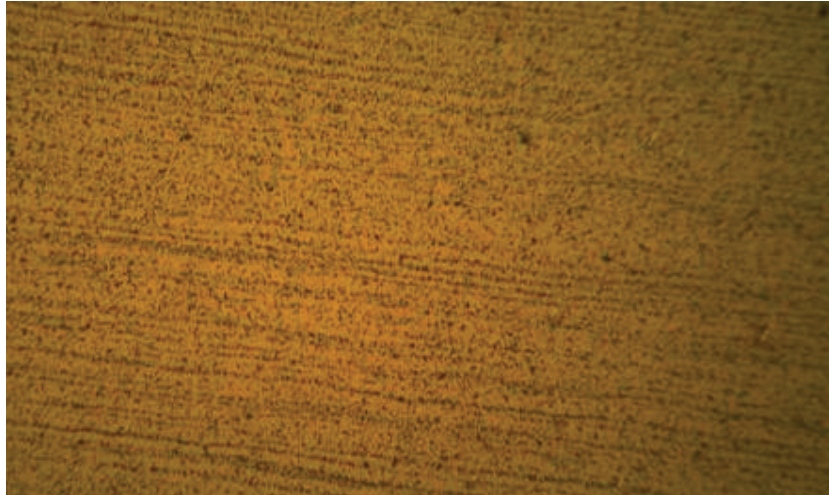


Fotografía 7. 15 Macrografía del cordón de soldadura completado el pase de presentación, realizado con proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), presenta buena penetración y fusión, 10X.

Fuente: Propia.

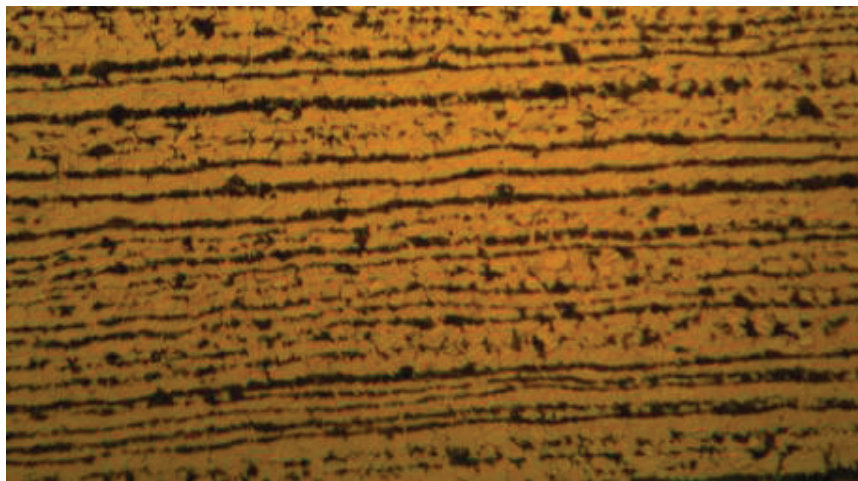
7.4.2 ANÁLISIS MICROGRÁFICO

En las probetas para análisis micrográfico se realiza un barrido desde el material base, zona afectada por el calor y material de aporte, se analiza el tipo de microestructura que se presenta en cada una de las zonas de inspección. Tal como se observa en las Fotografía 7.16; 7.17 y 7.18.



Fotografía 7. 16 Micrografía del material base en donde se observa una estructura ferrítica-perlítica ($\approx 0,3\%C$), realizado con proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), 100X.

Fuente: Propia.

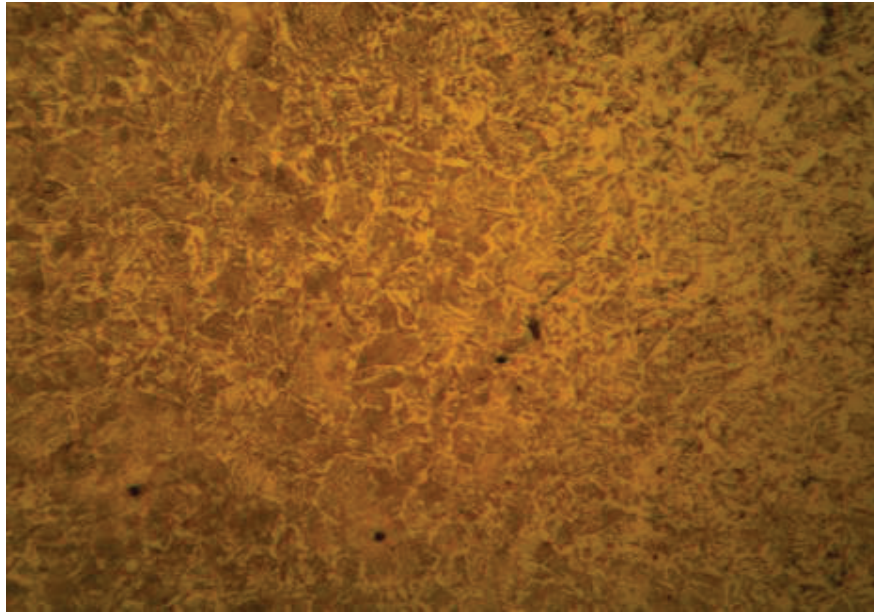


Fotografía 7. 17 Micrografía del material base en donde se observa una estructura ferrítica-perlítica ($\approx 0,3\%C$), realizado con proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), 200X.



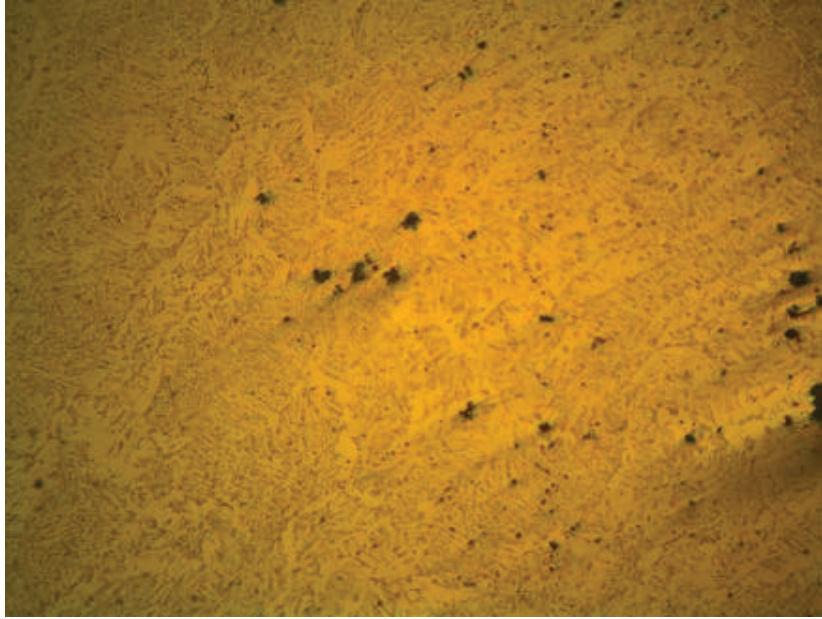
Fotografía 7. 18 Micrografía del material base y la zona afectada por el calor en donde se observa una formación de colonias de perlita y ferrita. Proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), 100X.

Fuente: Propia.



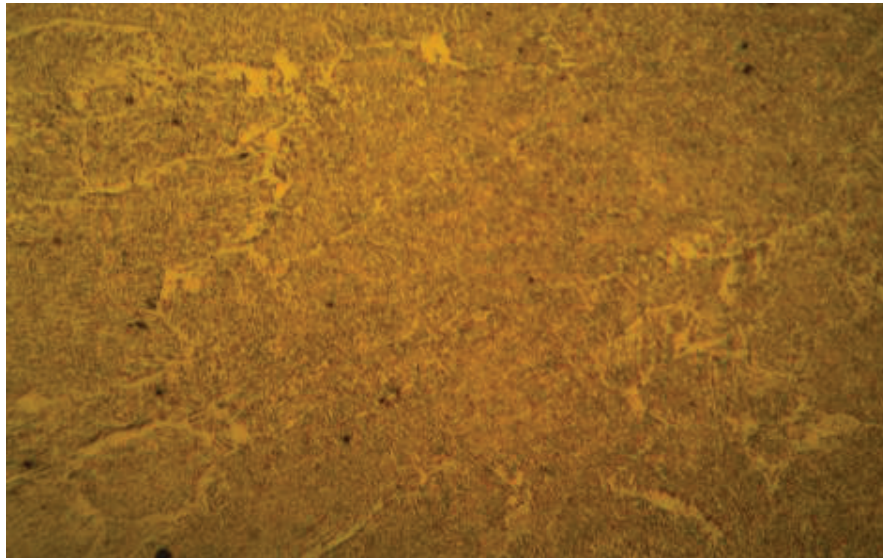
Fotografía 7. 19 Micrografía del material base y la zona afectada por el calor en donde se observa una formación de colonias de perlita y ferrita. Proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), 200X.

Fuente: Propia



Fotografía 7. 20 Micrografía del material de aporte en donde se observa formación granos columnares debido a la velocidad de enfriamiento, se observa la ferrita acicular. Proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), 100X.

Fuente: Propia.



Fotografía 7. 21 Micrografía del material de aporte en donde se observa formación granos columnares, se observa la ferrita acicular. Proceso GTAW/GMAW-PULSADO (6G), 200X.

Fuente: Propia.

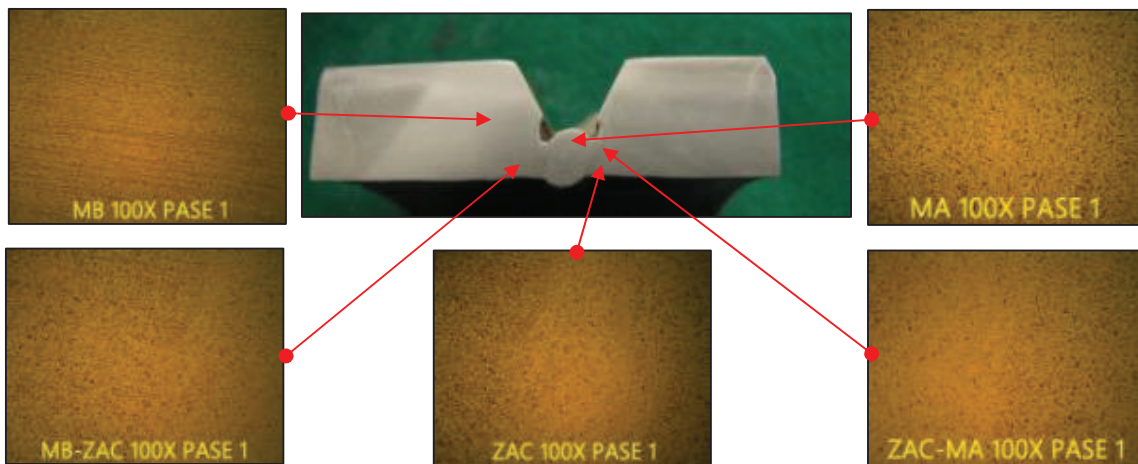
En las Fotografías 7.16 y 7.17, se observa la microestructura del material base inspeccionados a 100X y 200 X respectivamente, en el cual se observa un acero ferrítico perlítico de bajo contenido de carbono, también presenta un alineamiento de los granos debido a la deformación plástica por el proceso de trabajado en frío y terminado en caliente. Los granos de ferrita se encuentran homogéneamente distribuidos y son equiaxiales debido al terminado en caliente. En cambio la ferrita se encuentra alineada en la dirección del conformado.

La entercara entre el material base y la zona afectada por el calor se indican en las Fotografías 7.18 y 7.19, donde se aprecia la metalografía inspeccionada a 100X y 200X respectivamente. Se observa una formación de colonias de perlita y ferrita y también la zona de recristalización.

Las Fotografías 7.20 y 7.21, indican la metalografía del material de aporte del cordón de soldadura GMAW con electrodo ER70S-6 de diámetro 1,2mm. A 100X y 200 X respectivamente, donde se observa claramente un crecimiento columnar, debido a la velocidad de enfriamiento en dirección del mayor gradiente de temperatura. También se encuentra presente una estructura de ferrita aliotromorfa, acicular y widmanstätten.

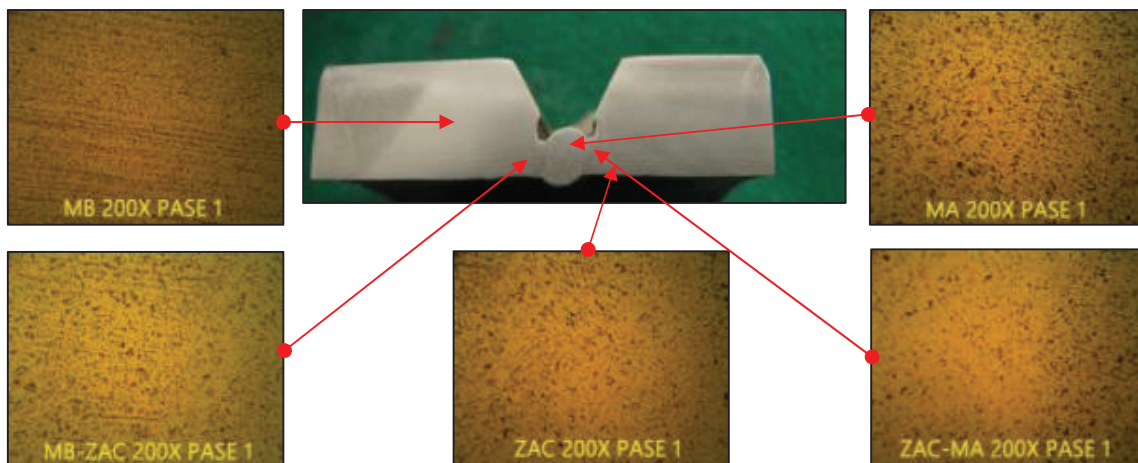
A continuación se presentan los gráficos del barrido metalográfico por cada uno de los procesos de soldadura, inspeccionados 100X y 200 X, esta observación se realiza por cada capa de soldadura es decir en el pase de raíz, caliente, relleno y presentación.

PROCESO SMAW 6G



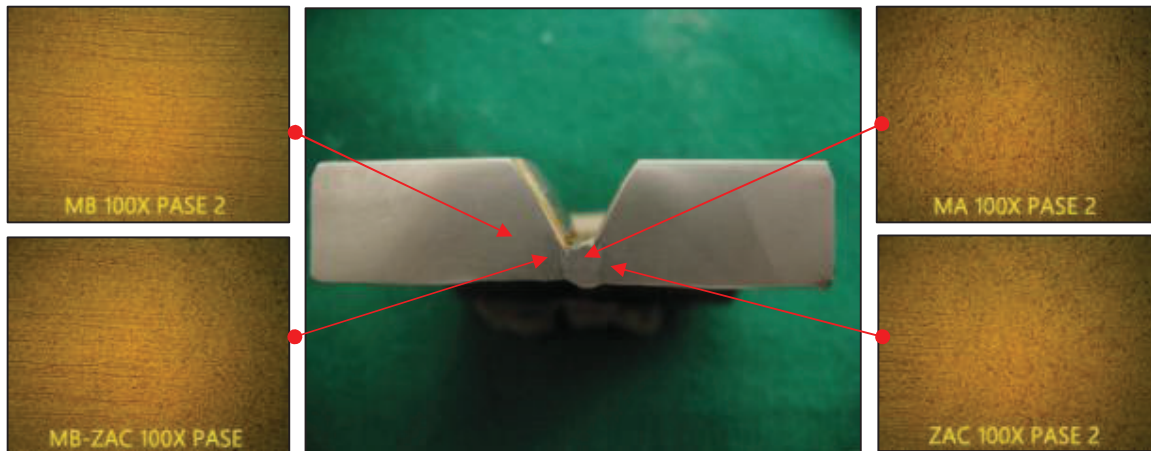
Fotografía 7. 22 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 100X primer pase (pase de raíz)

Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



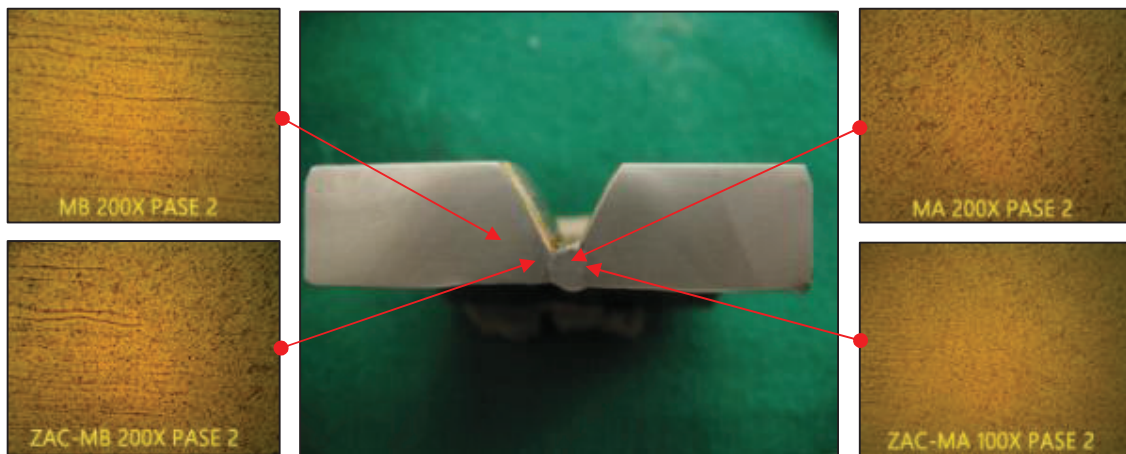
Fotografía 7. 23 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 200X primer pase (pase de raíz)

Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



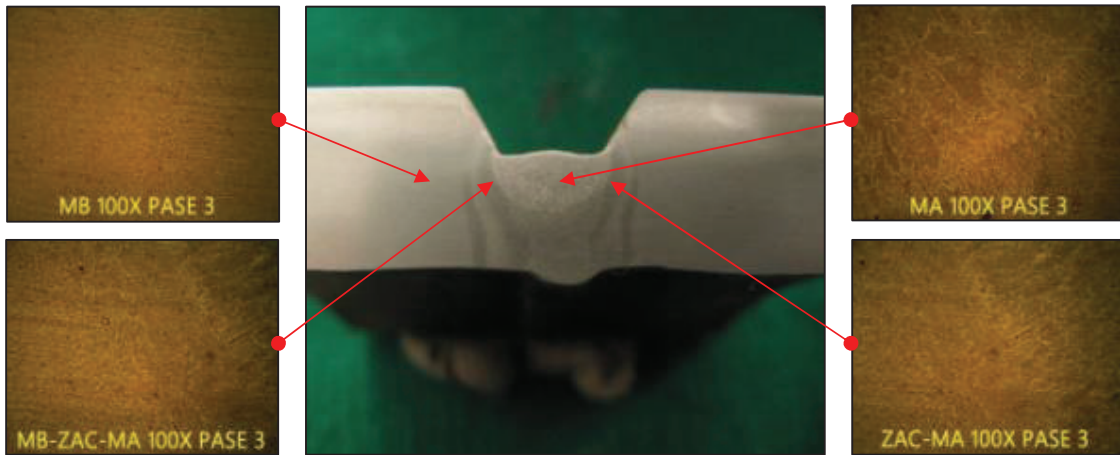
Fotografía 7. 24 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 100X segundo pase (pase en caliente).

Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



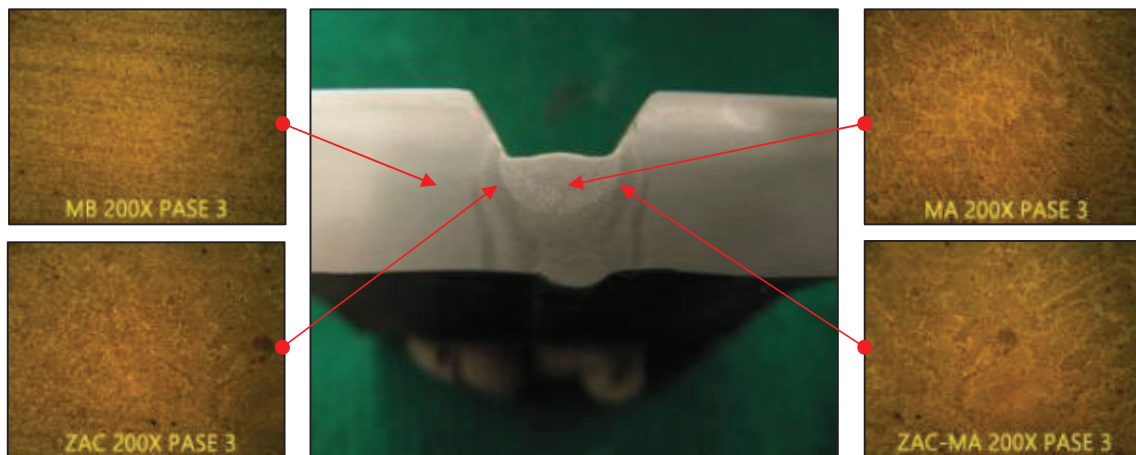
Fotografía 7. 25 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 100X segundo pase (pase en caliente)

Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



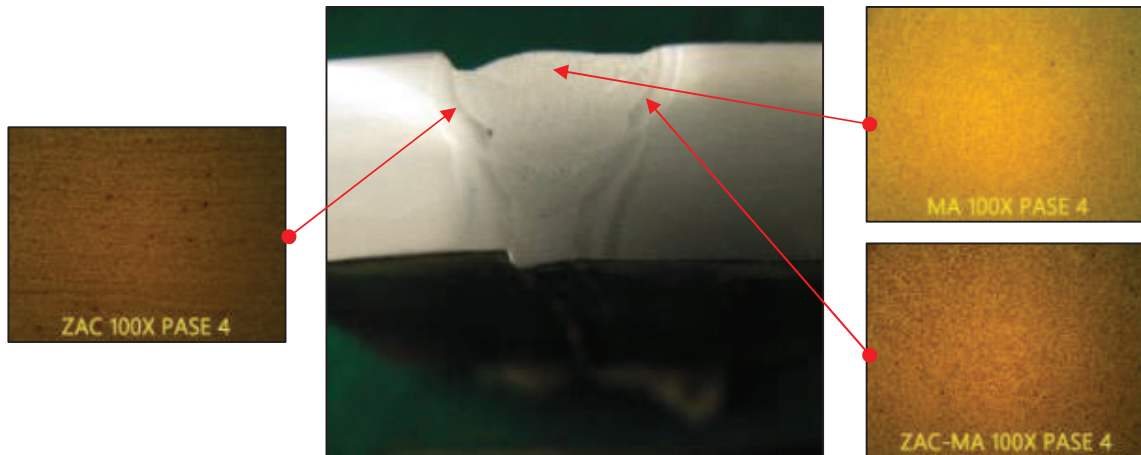
Fotografía 7. 26 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 100X tercer pase (pase de relleno).

Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



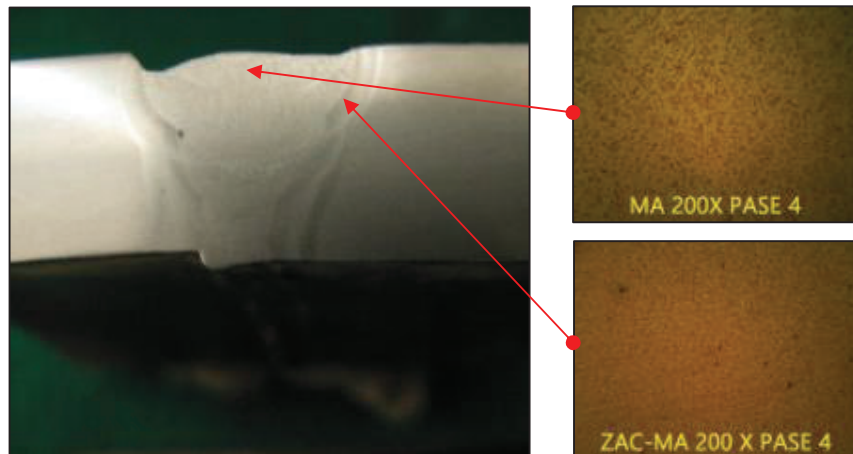
Fotografía 7. 27 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 200X tercer pase (pase de relleno).

Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



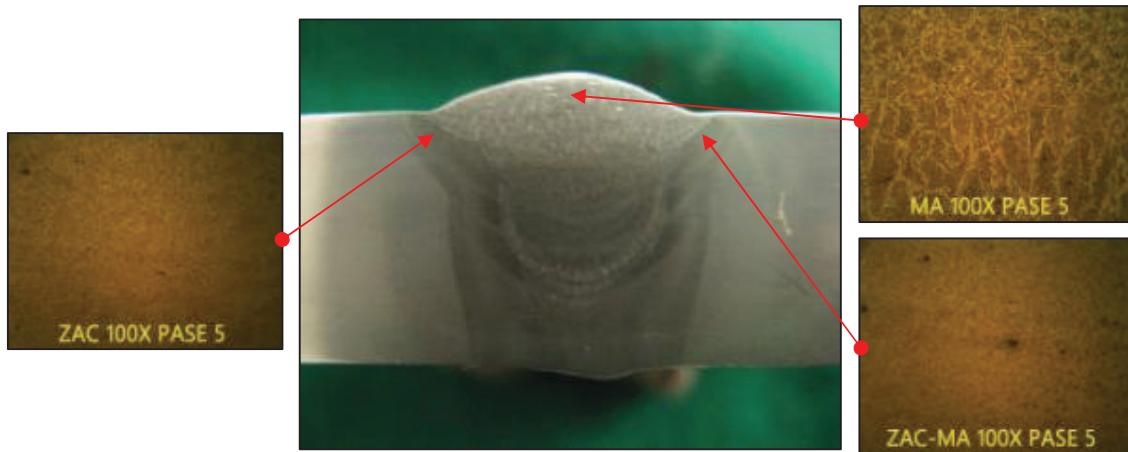
Fotografía 7. 28 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 100X cuarto pase (pase de relleno)

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



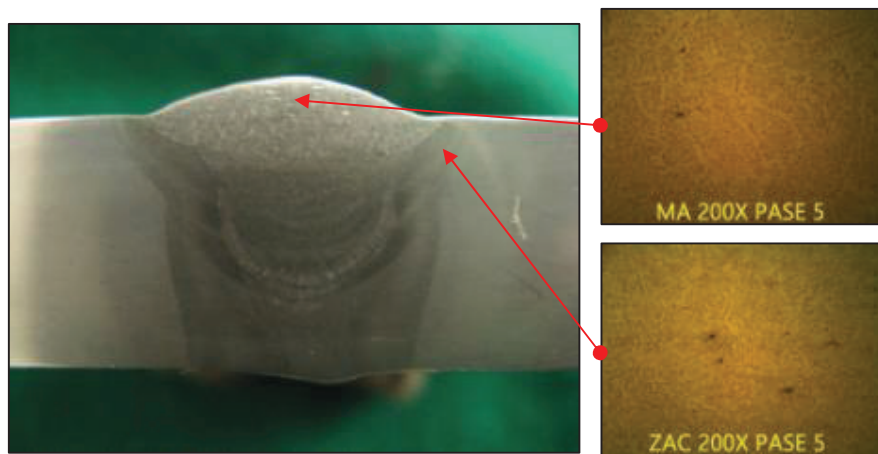
Fotografía 7. 29 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 200X cuarto pase (pase de relleno)

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 30 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 100X último pase (pase de presentación)

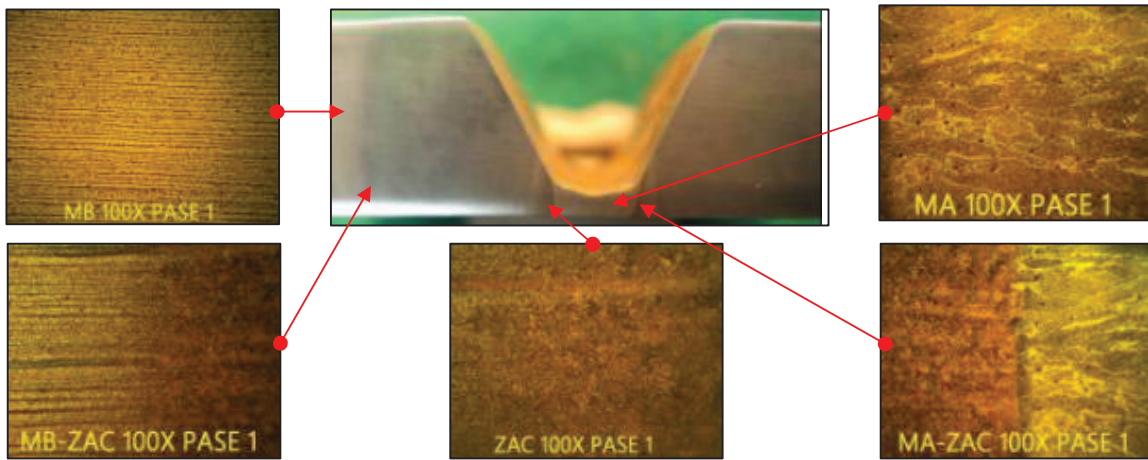
Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 31 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso SMAW 6G a 200X último pase (pase de presentación)

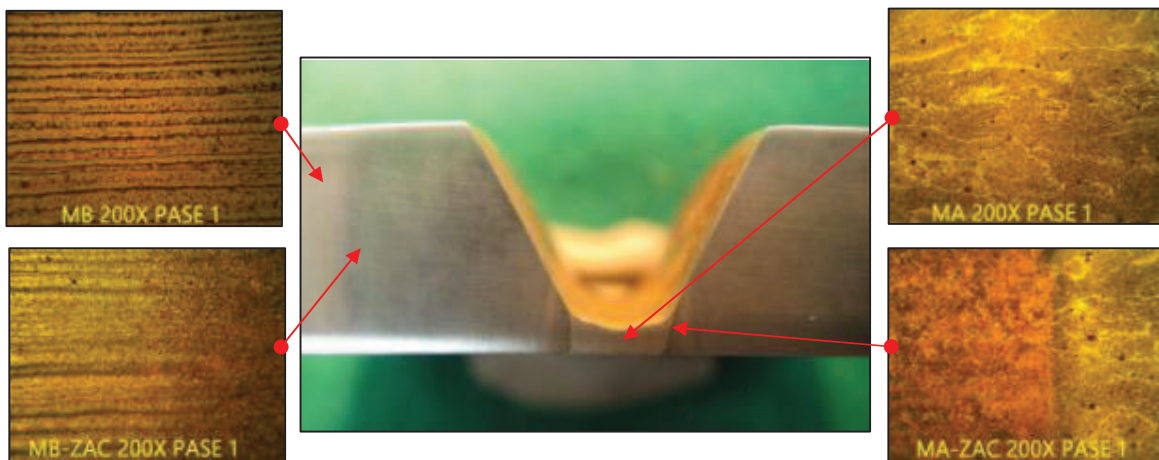
Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)

PROCESO GTAW-GMAW ROTADO



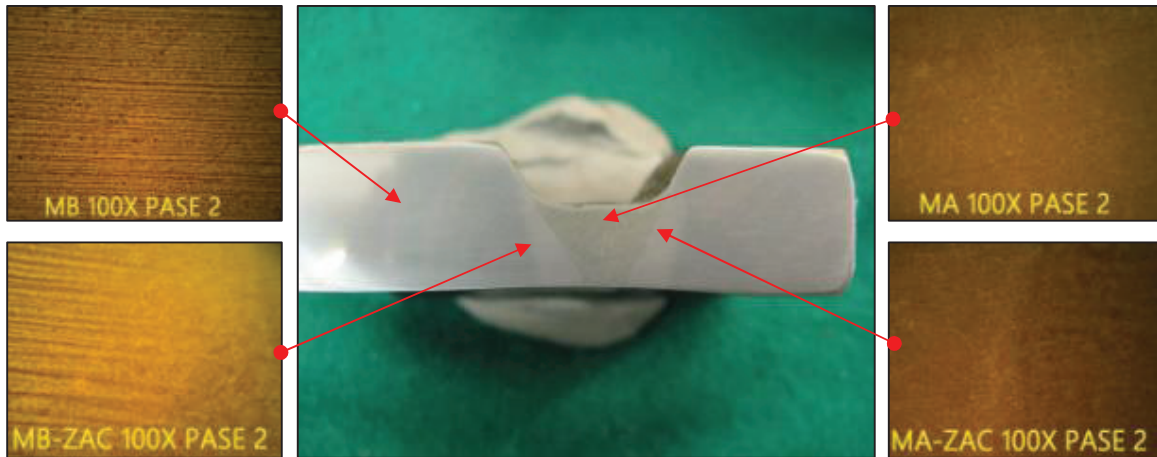
Fotografía 7. 32 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 100X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



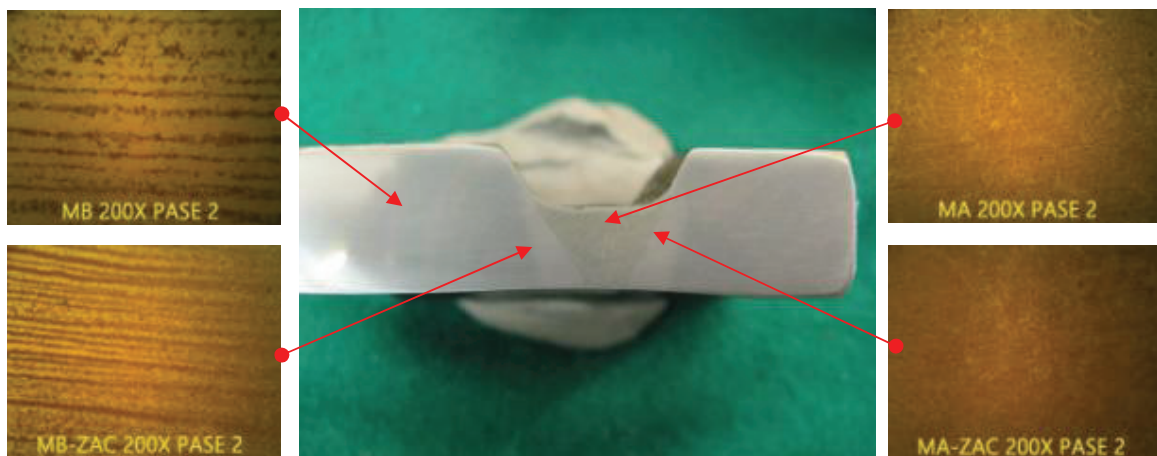
Fotografía 7. 33 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 200X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



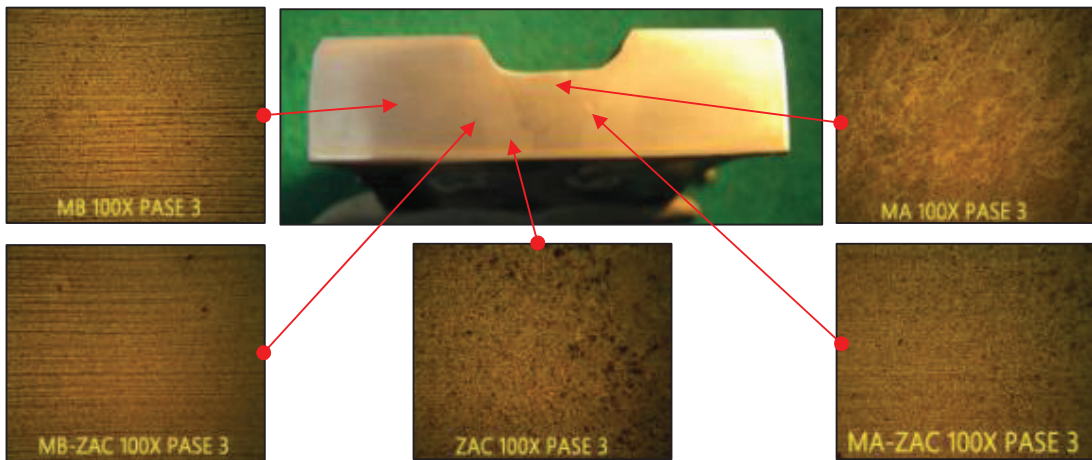
Fotografía 7. 34 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 100X segundo pase (pase en caliente).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



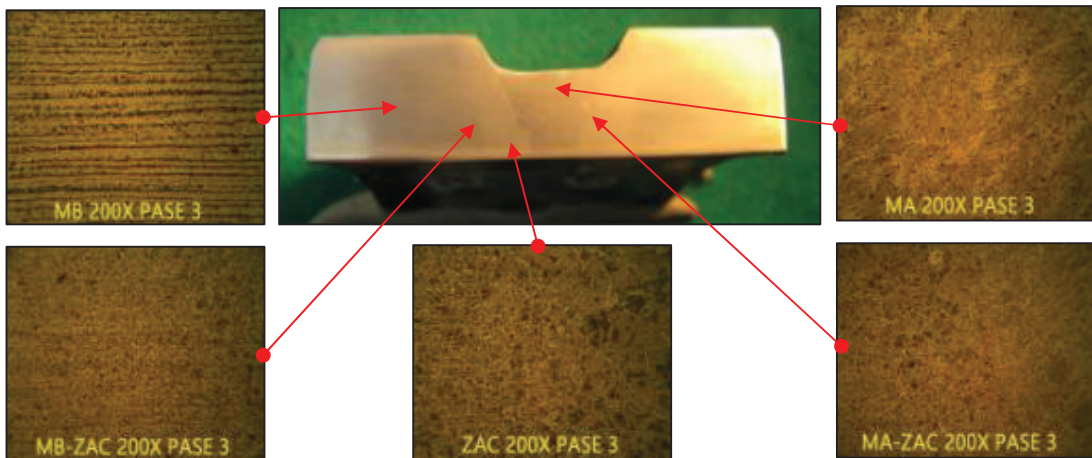
Fotografía 7. 35 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 200X segundo pase (pase en caliente).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



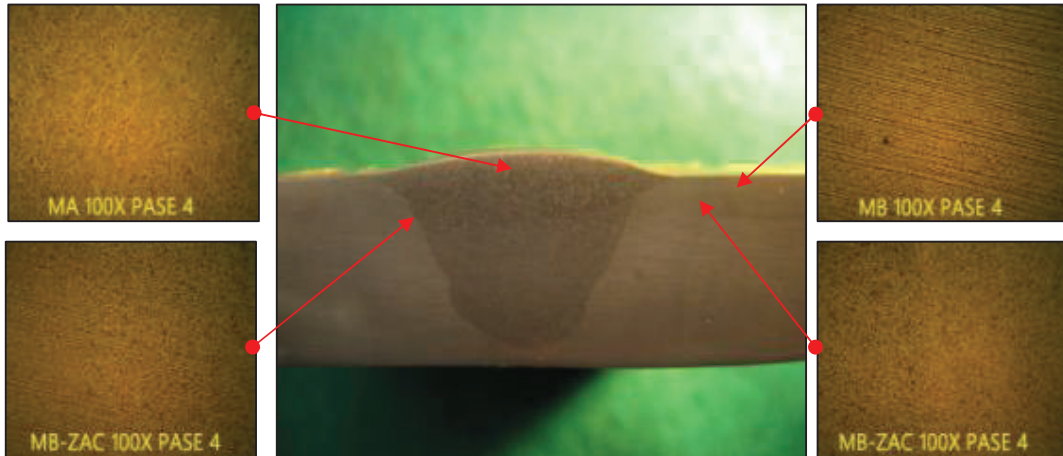
Fotografía 7. 36 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 100X tercer pase (pase de relleno).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



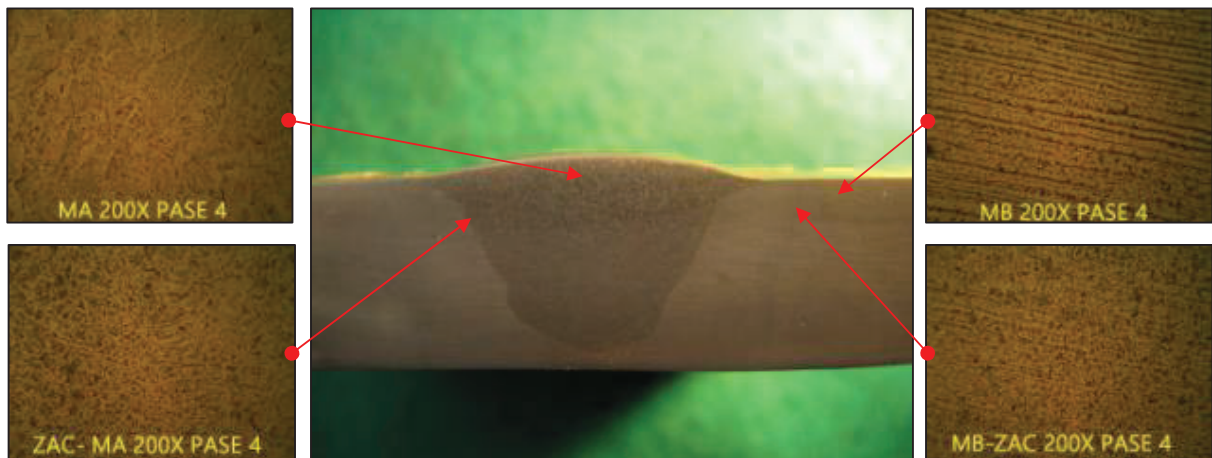
Fotografía 7. 37 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 200X tercer pase (pase de relleno).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 38 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 100X último pase (pase de presentación).

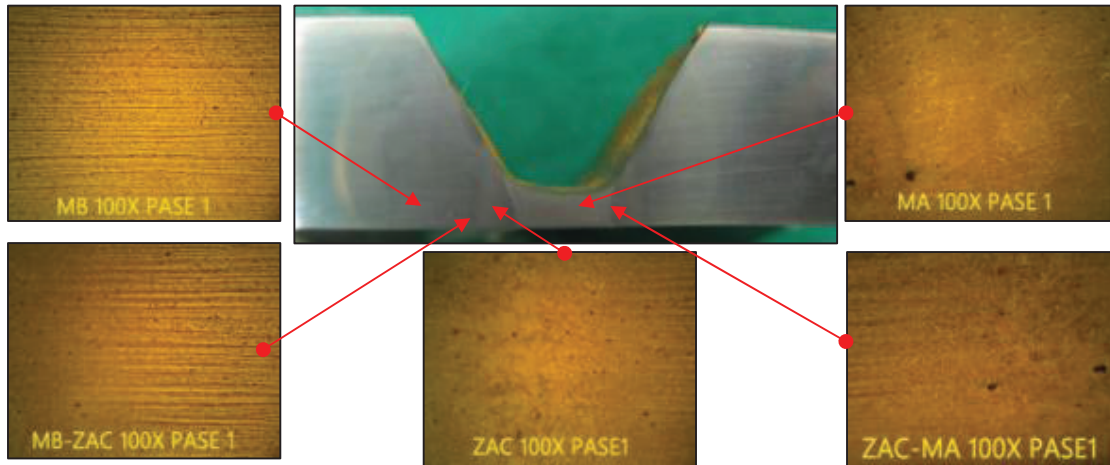
Fuente: (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 39 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW Rotado a 200X último pase (pase de presentación).

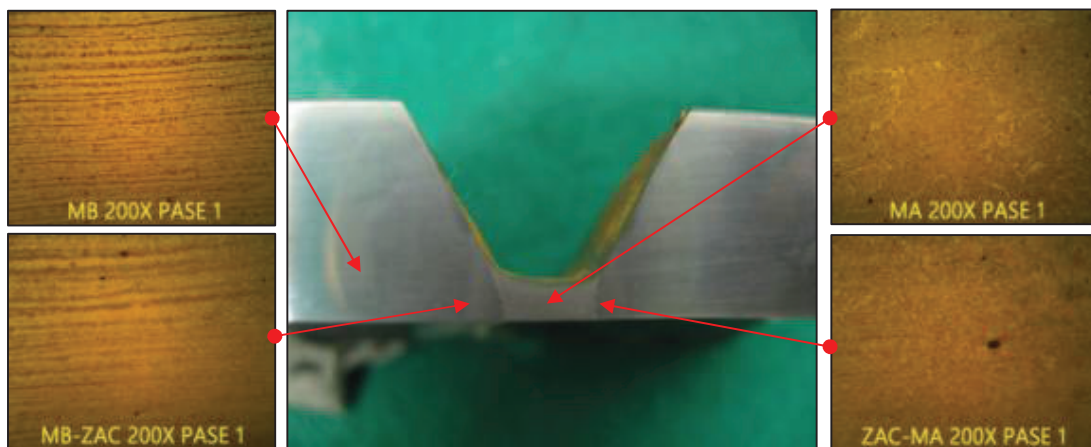
Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)

PROCESO GTAW / GMAW-PULSADA EN LA POSICIÓN FIJA A 45° (6G)



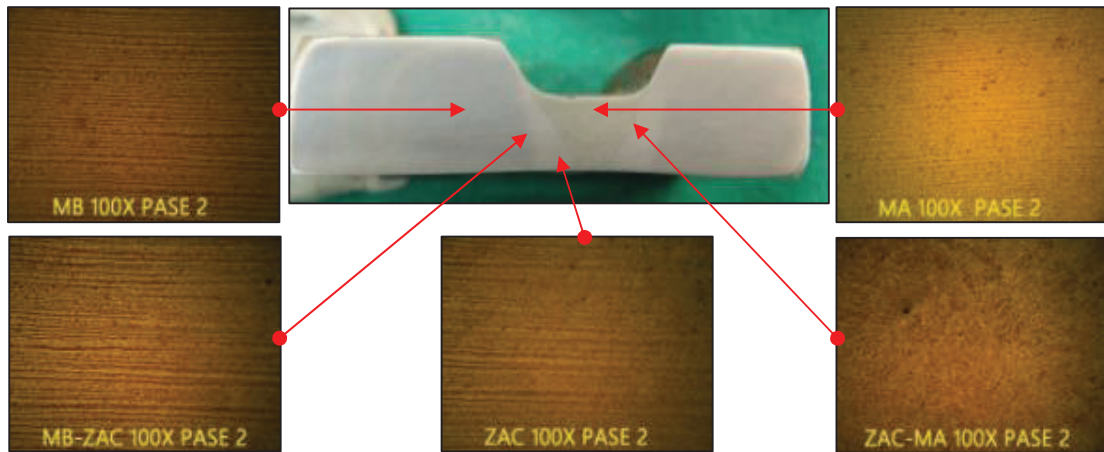
Fotografía 7. 40 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW 6G a 100X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



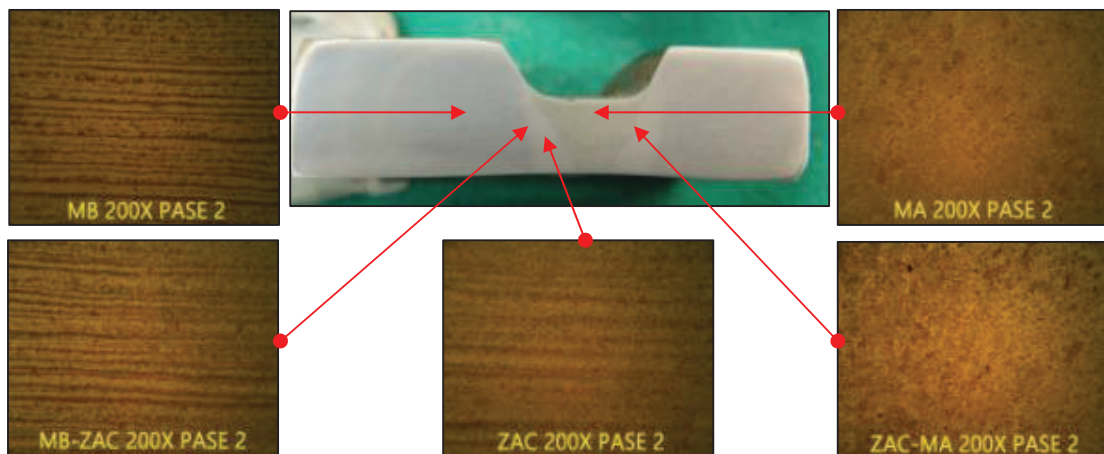
Fotografía 7. 41 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW 6G a 200X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



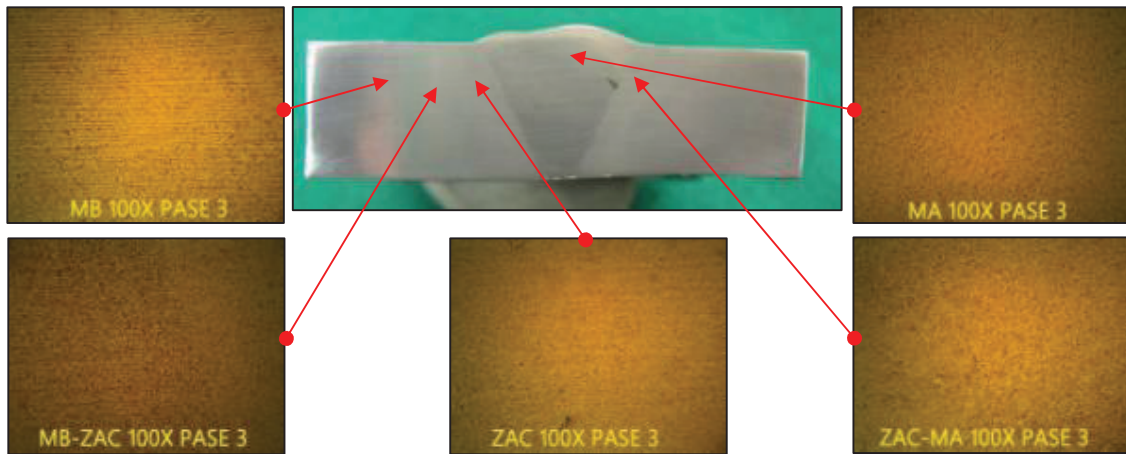
Fotografía 7. 42 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW 6G a 100X segundo pase (pase en caliente).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



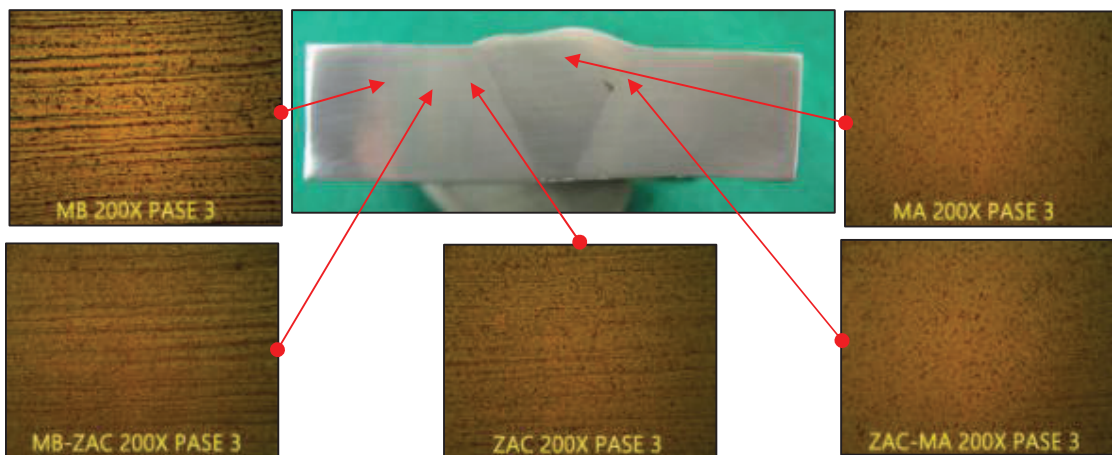
Fotografía 7. 43 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW 6G a 200X segundo pase (pase en caliente).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 44 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW 6G a 100X tercer pase (pase de presentación).

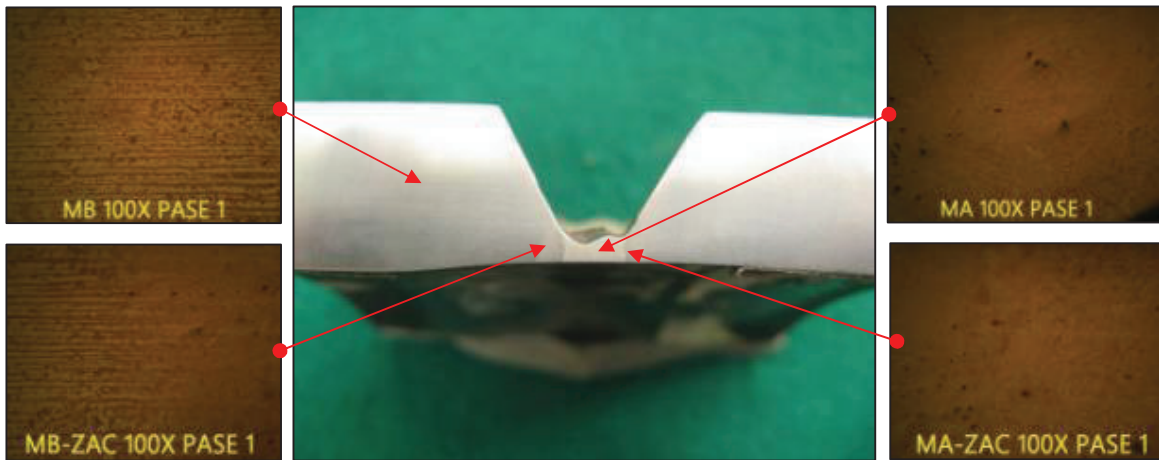
Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 45 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GTAW 6G a 200X tercer pase (pase de presentación).

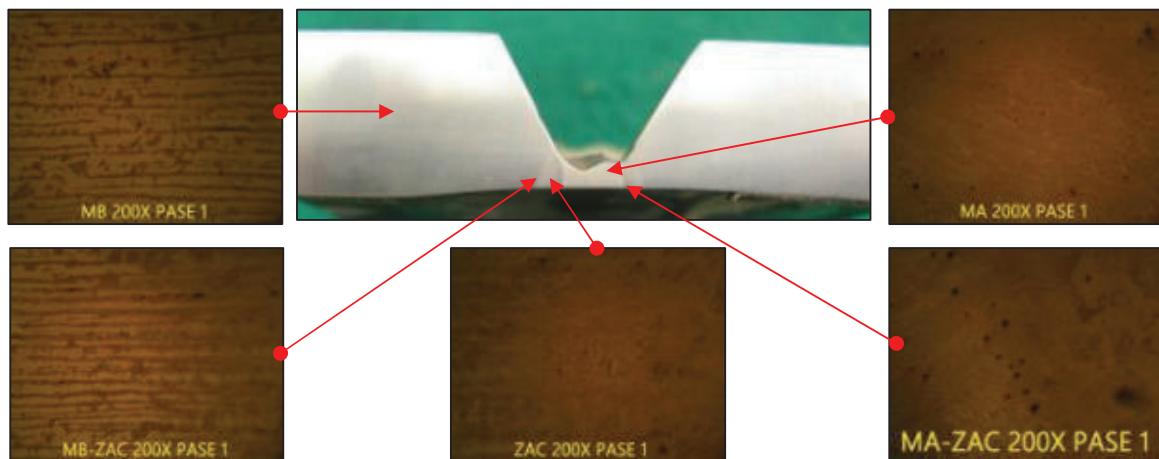
Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)

PROCESO GMAW ROTADO



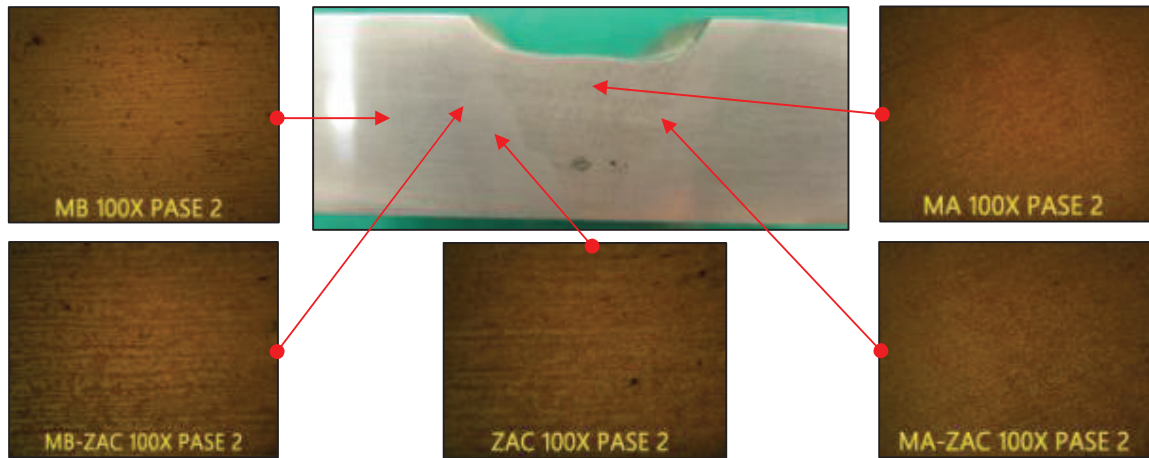
Fotografía 7. 46 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW Rotado a 100X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



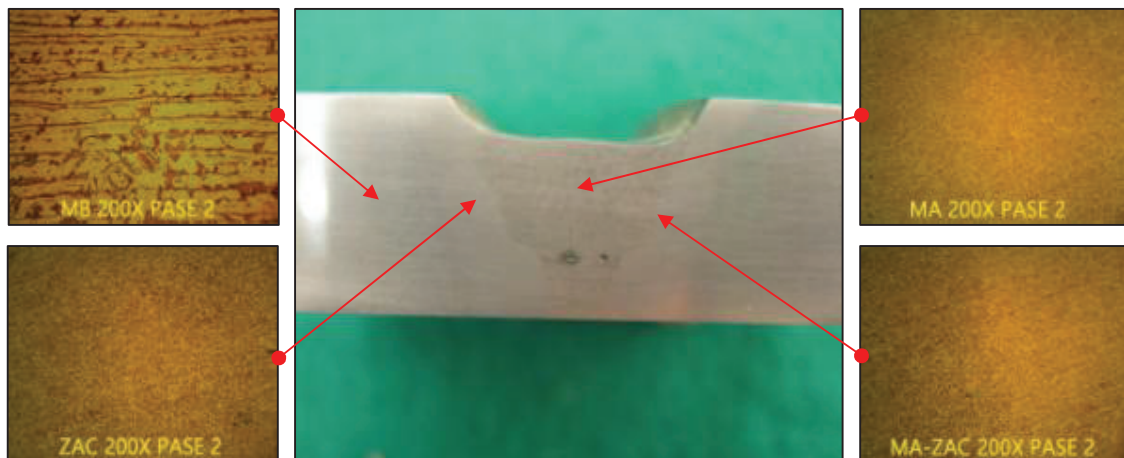
Fotografía 7. 47 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW Rotado a 200X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



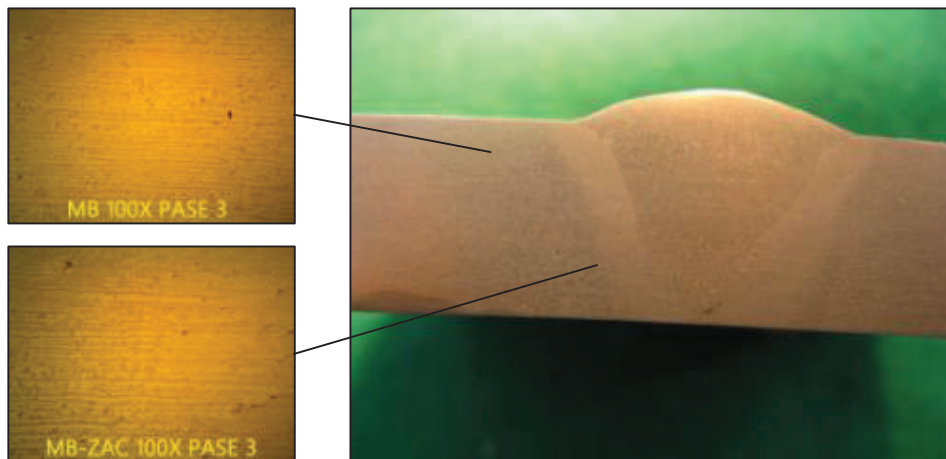
Fotografía 7. 48 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW Rotado a 100X segundo pase (pase en caliente).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



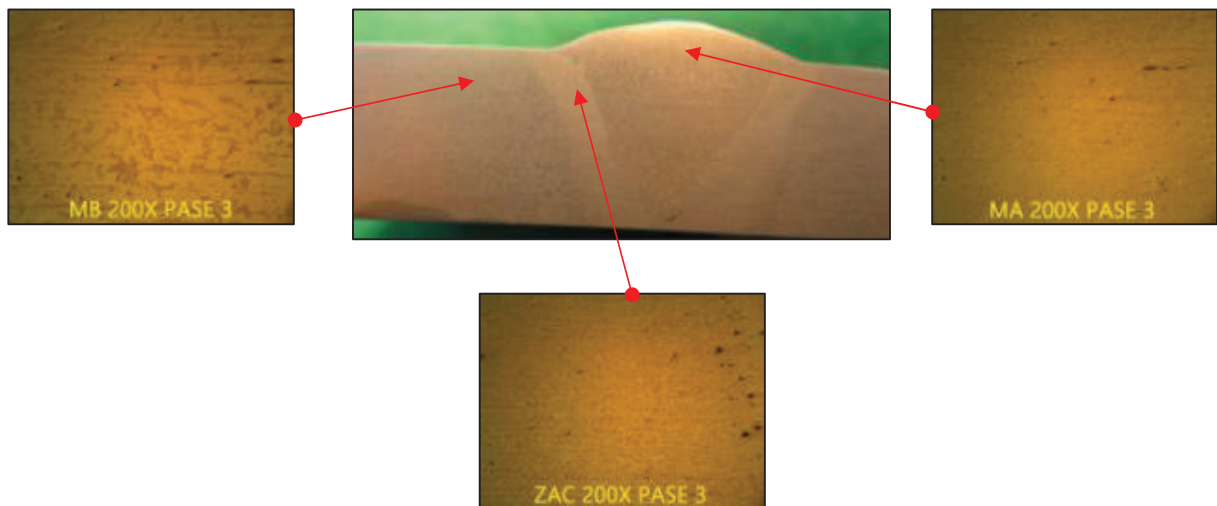
Fotografía 7. 49 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW Rotado a 200X segundo pase (pase en caliente).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 50 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW Rotado a 100X tercer pase (pase de presentación).

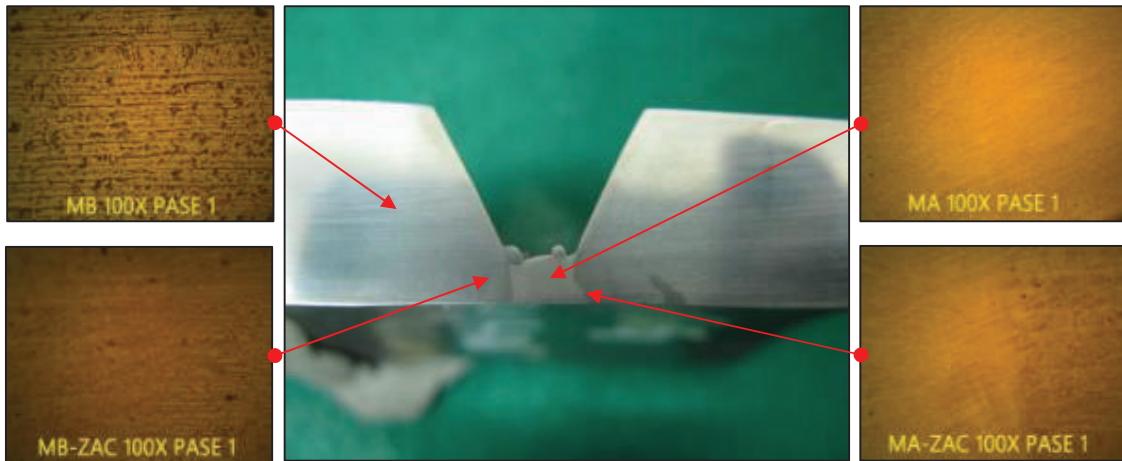
Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 51 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW Rotado a 200X tercer pase (pase de presentación).

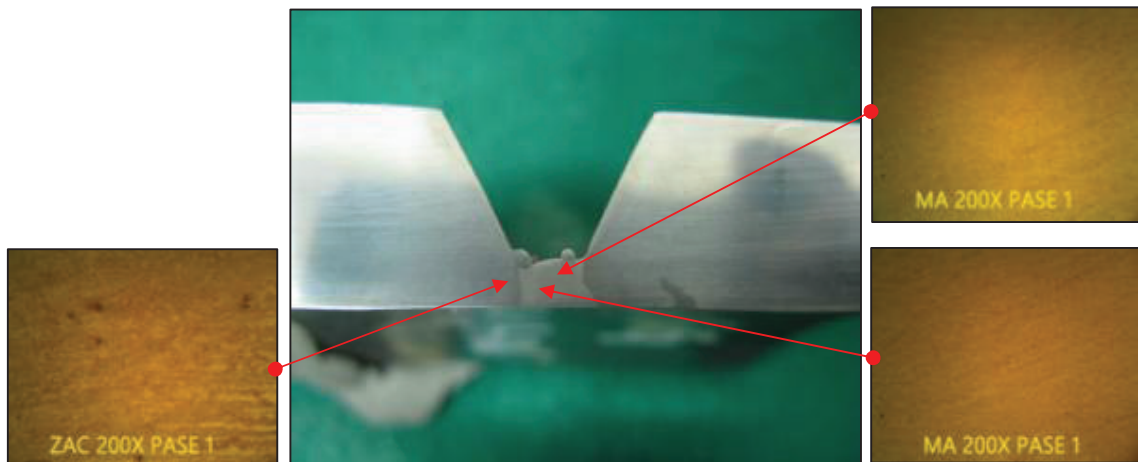
Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)

PROCESO GMAW 6G



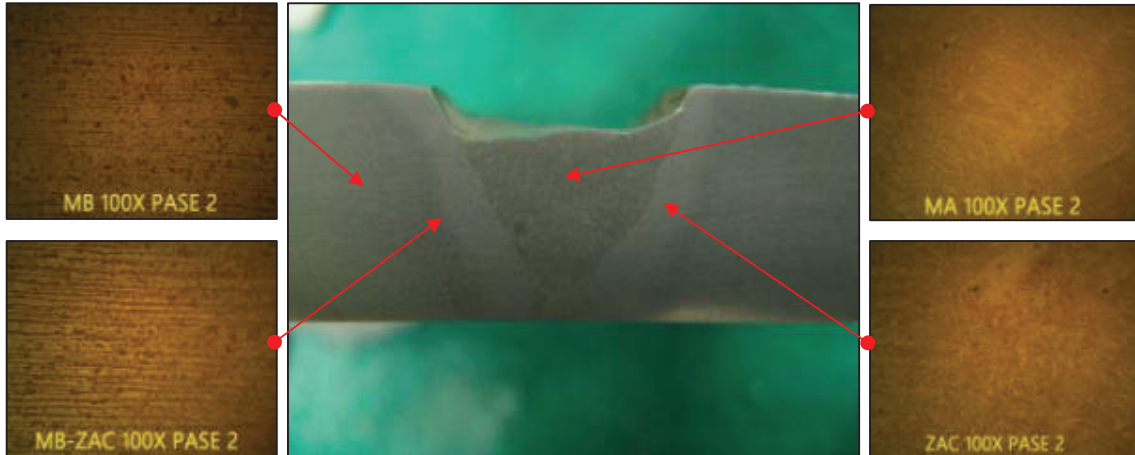
Fotografía 7. 52 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW 6G a 100X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



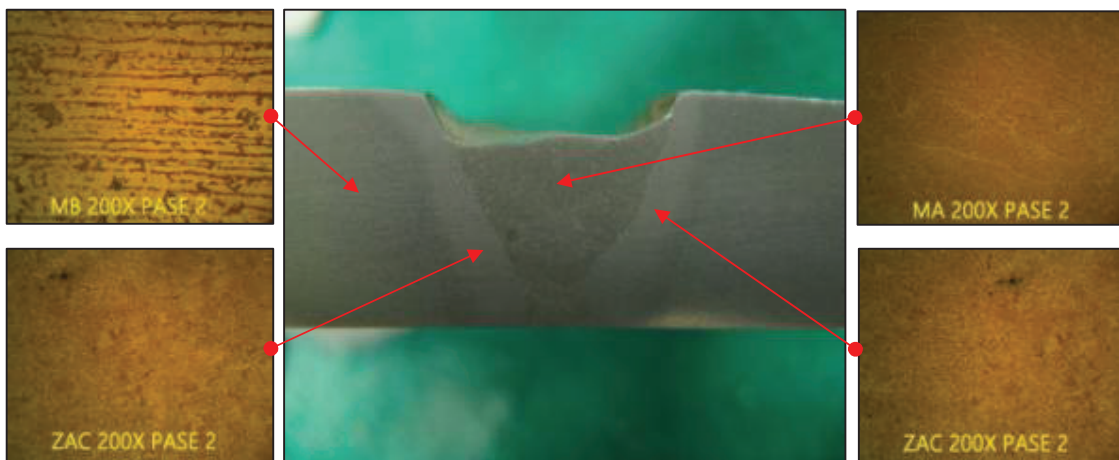
Fotografía 7. 53 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW 6G a 200X primer pase (pase de raíz).

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



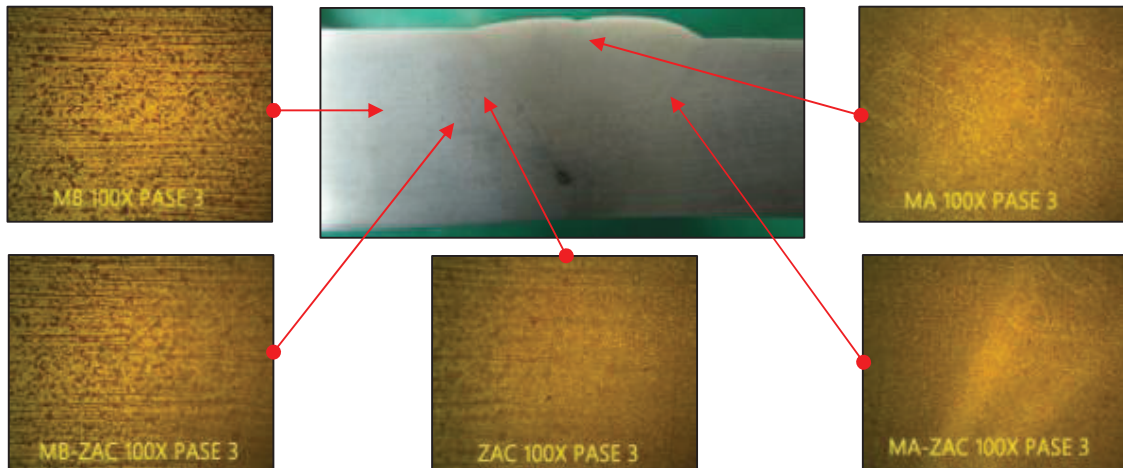
Fotografía 7. 54 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW 6G a 100X segundo pase (pase en caliente)

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



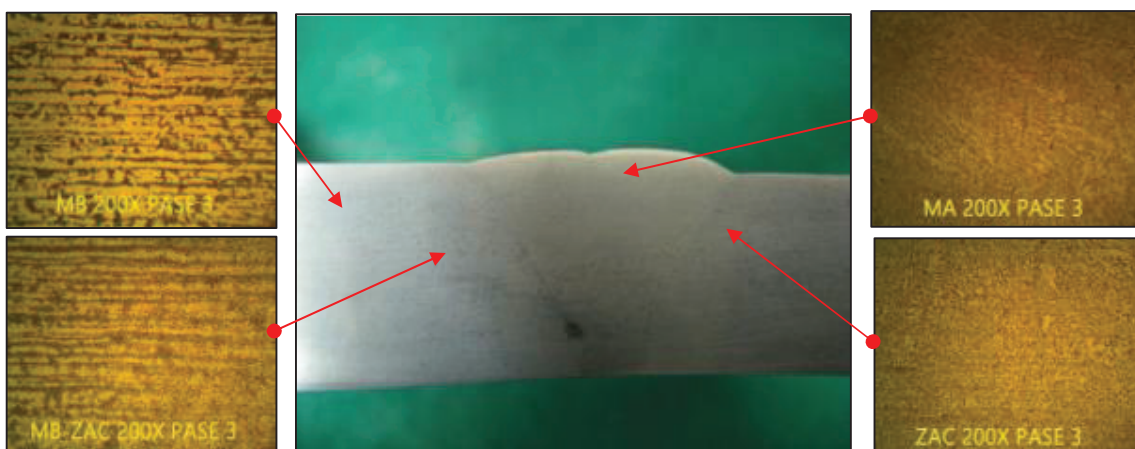
Fotografía 7. 55 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW 6G a 200X segundo pase (pase en caliente)

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 56 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW 6G a 100X tercer pase (pase de presentación)

Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)



Fotografía 7. 57 Análisis metalográfico de la soldadura realizada con el proceso GMAW 6G a 200X tercer pase (pase de presentación)

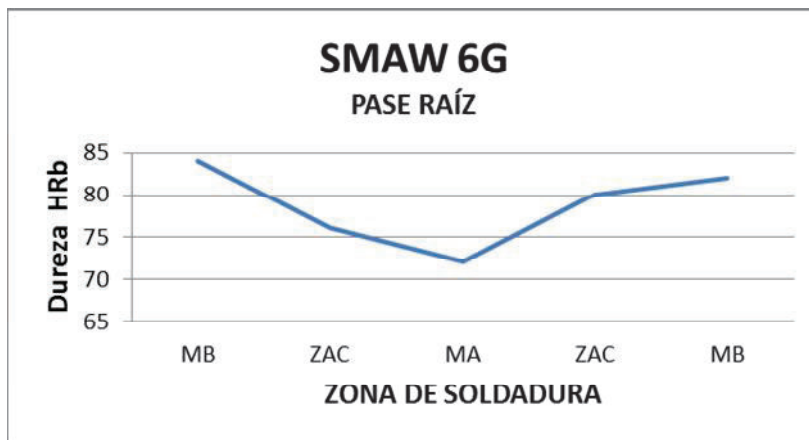
Fuente (Jaramillo-Velastegui, 2015)

7.5 ENSAYOS DE DUREZA

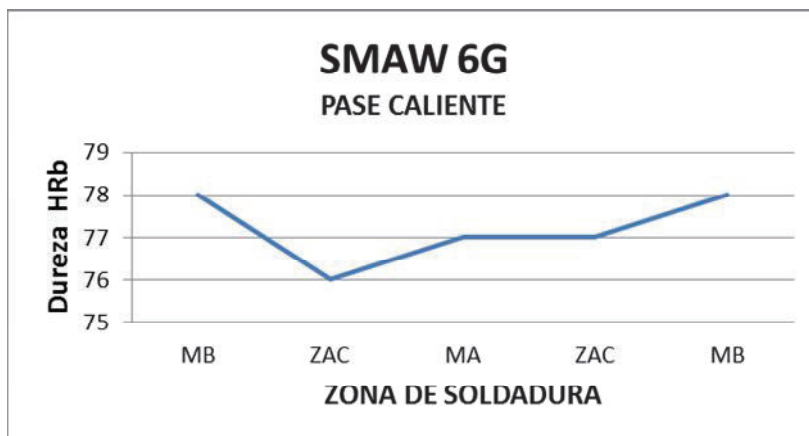
Los resultados del ensayo de dureza se muestran a continuación y se los representa gráficamente para poder comparar la dureza en cada una de las capas de soldadura.

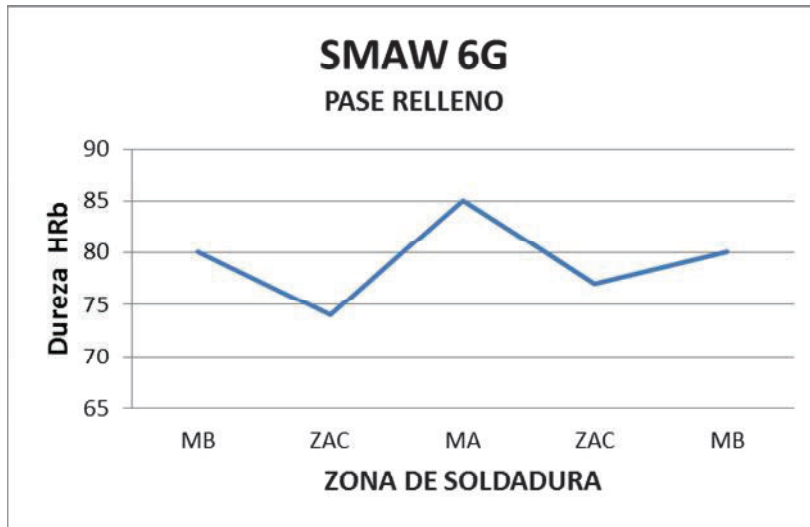
7.5.1 DUREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN LA POSICIÓN DE SOLDADURA 6G.

| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 84 | 76 | 72 | 80 | 82 |

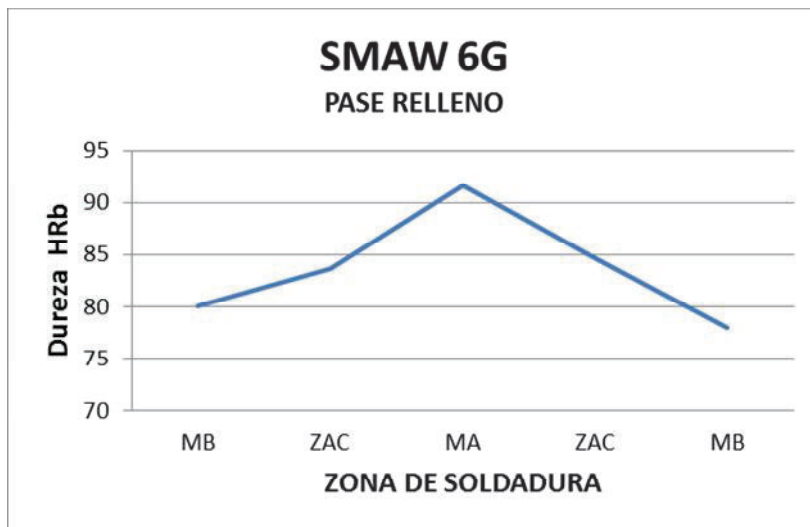


| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 80 | 74 | 85 | 77 | 80 |
| | 72 | 85 | 77 | |
| | 76 | | 77 | |





| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 80 | 84 | 92 | 85 | 78 |
| | 85 | 93 | 88 | |
| | 84 | 94 | 83 | |
| | 82 | 88 | 83 | |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|-----|-----|----|
| 78 | 88 | 93 | 85 | 78 |
| | 88 | 100 | 85 | |
| | 85 | 88 | 84 | |
| | 90 | 90 | 87 | |

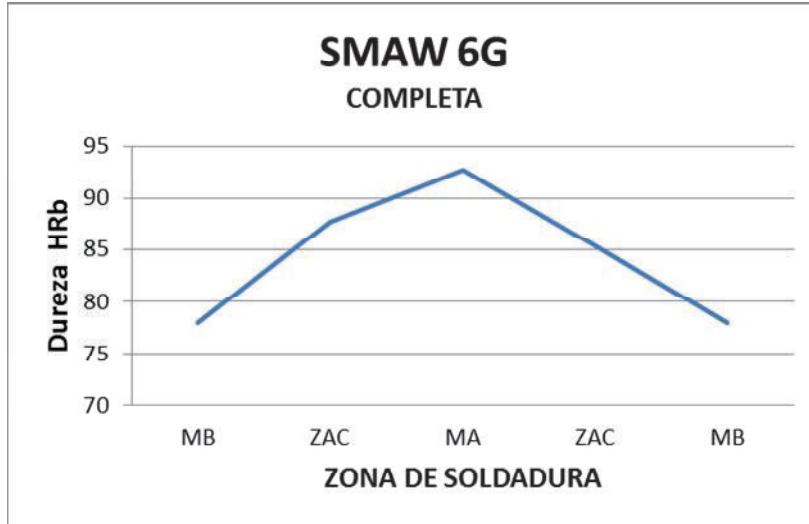


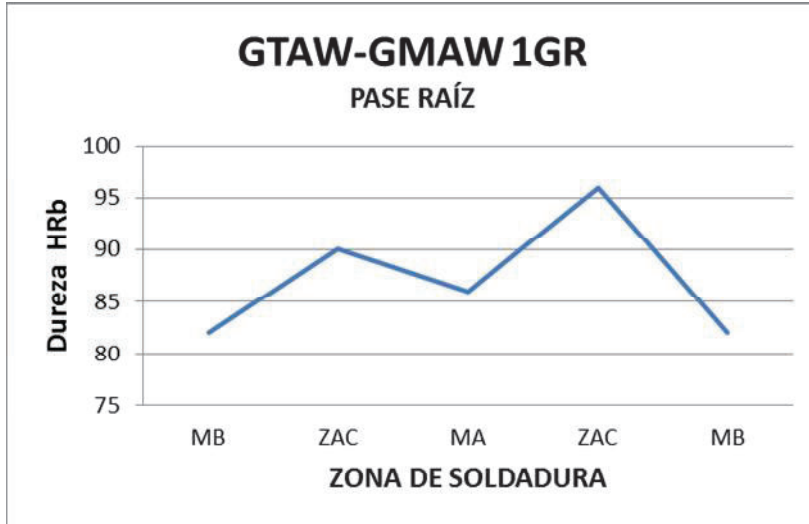
Gráfico 7. 6 Gráficos de dureza realizados con proceso SMAW, de pase en pase, en la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia.

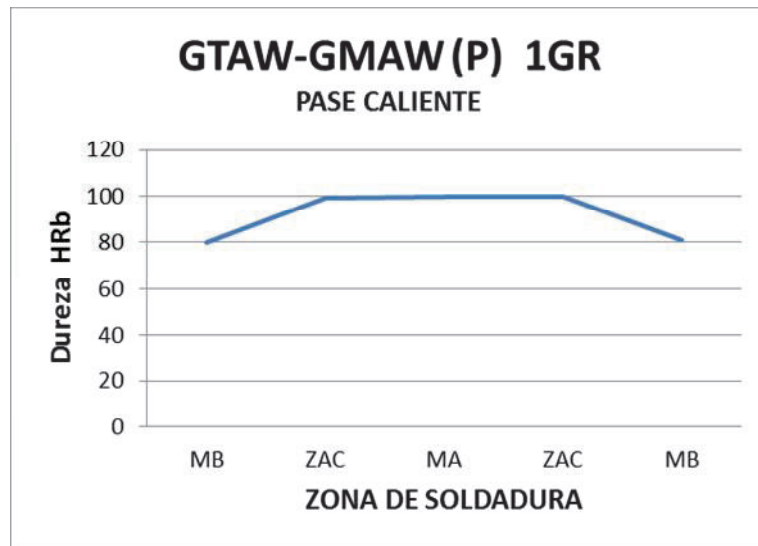
En el material de aporte se obtiene el mayor valor de dureza, con excepción del del valor obtenido en el pase de raíz, que se debe a que en este pase se trabaja con electrodo E6010 que posee menor resistencia y por ende menor valor de dureza que un electrodo E7018.

7.5.2 DUREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW-GMAW EN LA POSICIÓN DE SOLDADURA PLANA ROTADA (1GR).

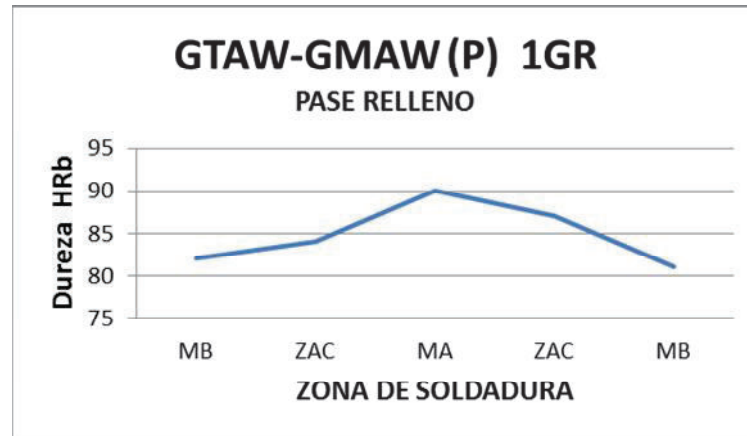
| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 82 | 90 | 86 | 96 | 82 |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|-----|-----|----|
| 80 | 99 | 100 | 100 | 81 |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 82 | 84 | 90 | 87 | 81 |
| | 86 | 88 | 87 | |
| | 83 | 91 | 87 | |
| | 83 | 91 | | |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 79 | 82 | 81 | 83 | 80 |
| | 82 | 82 | 83 | |
| | 81 | 81 | 82 | |
| | 83 | 81 | 83 | |

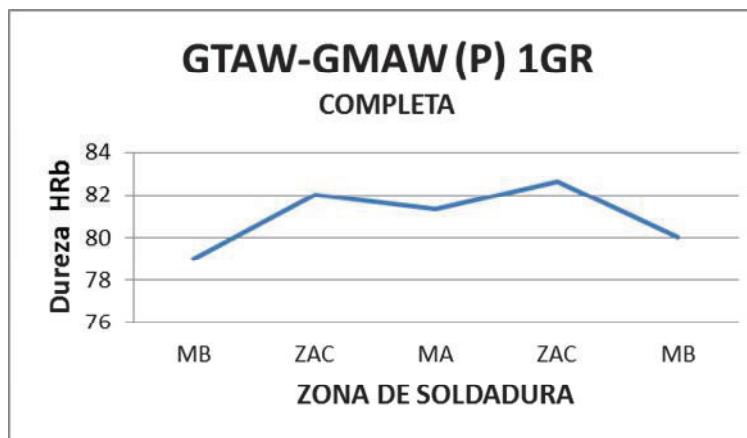


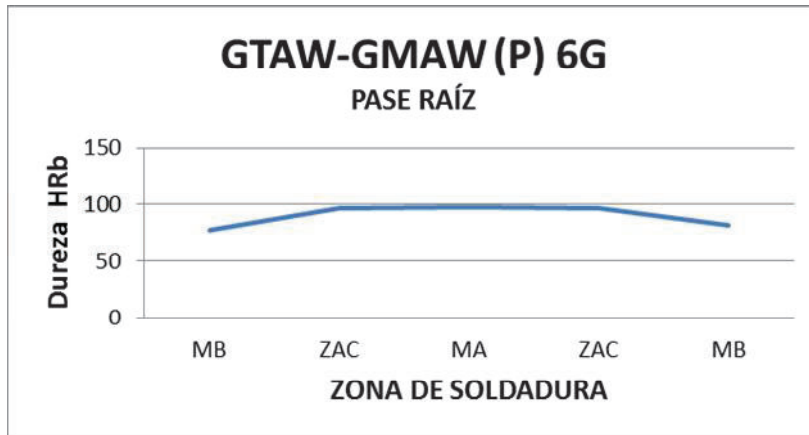
Gráfico 7. 7 Gráficos de dureza realizados con proceso GTAW-GMAW , desde el pase de raíz, caliente, relleno y presentación, en la posición de soldadura 1GR.

Fuente: Propia.

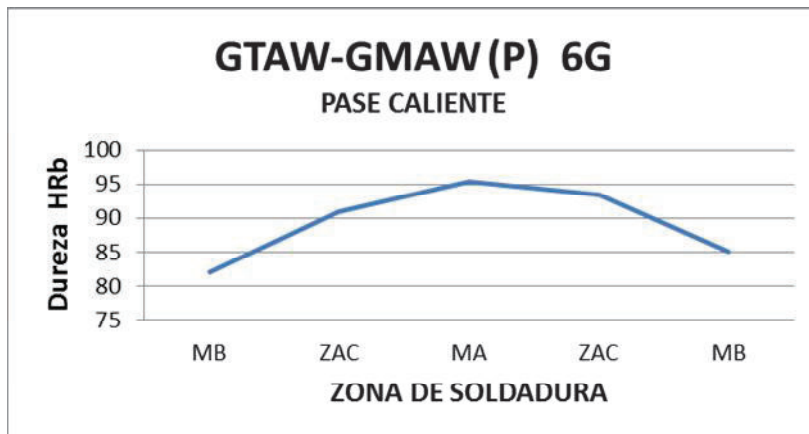
En el material de aporte se presenta el mayor valor de dureza, con excepción del pase del valor obtenido en el pase de raíz, que se debe a que en este pase se trabaja con electrodo E6010 que posee menor resistencia y por ende menor valor de dureza que un electrodo E7018.

7.5.3 DUREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW-GMAW EN LA POSICIÓN DE SOLDADURA FIJA A 45° (6G).

| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 78 | 97 | 98 | 97 | 82 |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 82 | 91 | 95 | 94 | 85 |
| | 92 | 93 | 92 | |
| | 90 | 98 | 95 | |
| | | 95 | | |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 85 | 84 | 87 | 84 | 83 |
| | 86 | 84 | 83 | |
| | 82 | 88 | 85 | |
| | 85 | 92 | 84 | |
| | | 84 | | |

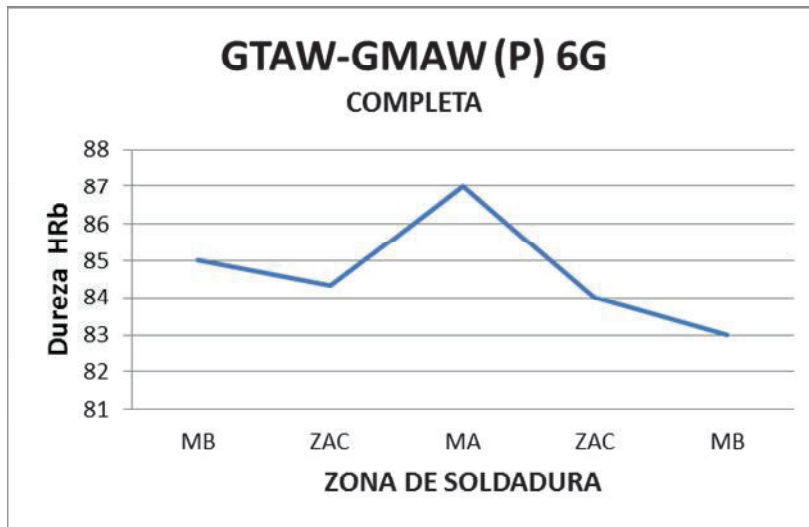


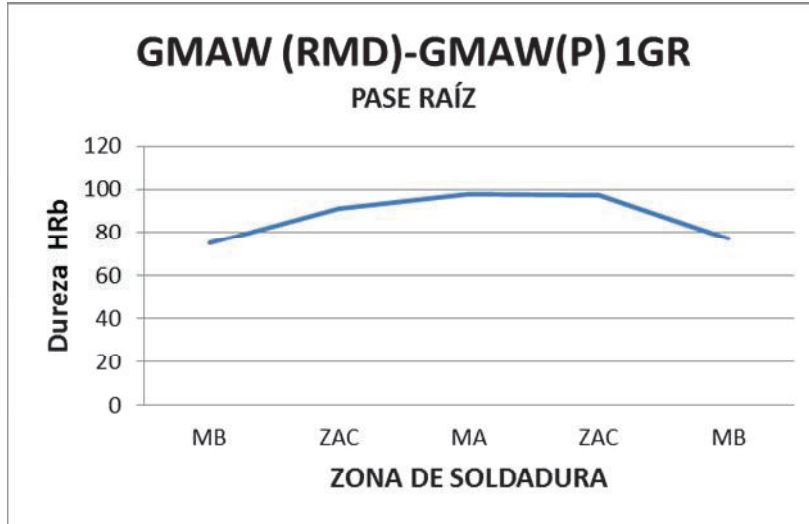
Gráfico 7. 8 Gráficos de dureza realizados con proceso GTAW-GMAW, desde el pase de raíz, caliente, relleno y presentación, en la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia.

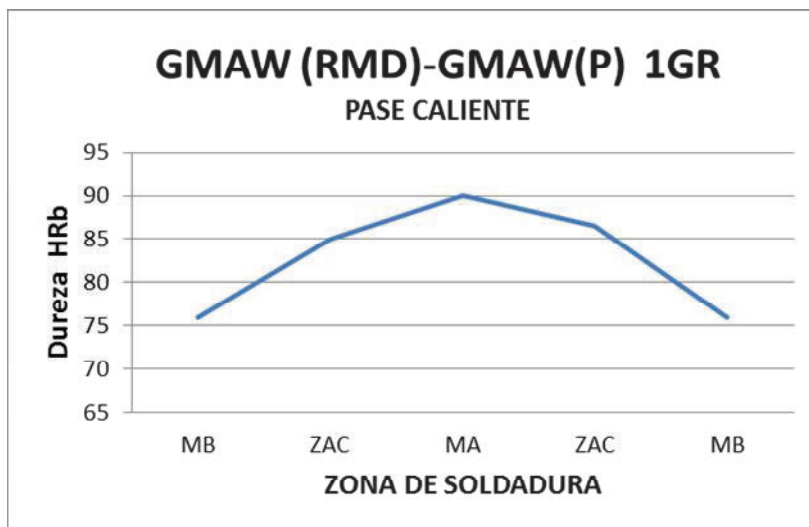
En los pases de raíz, caliente y relleno se presentan curvas de dureza normales en el que el material base posee el mayor valor. En los pases de presentación existe un cambio en el que en la zona afectada por el calor, ya que presenta menor dureza, esto se debe a que esta zona posee una descomposición de la perlita lo que le vuelve un poco mas blanda.

7.5.4 DUREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW-(RMD) / GMAW (P) EN LA POSICIÓN DE SOLDADURA PLANA ROTADA (1GR).

| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 75 | 91 | 98 | 97 | 77 |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 76 | 85 | 90 | 87 | 76 |
| | 85 | 88 | 87 | |
| | 85 | 92 | 86 | |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 79 | 85 | 84 | 83 | 77 |
| | 82 | 83 | 82 | |
| | 87 | 84 | 83 | |

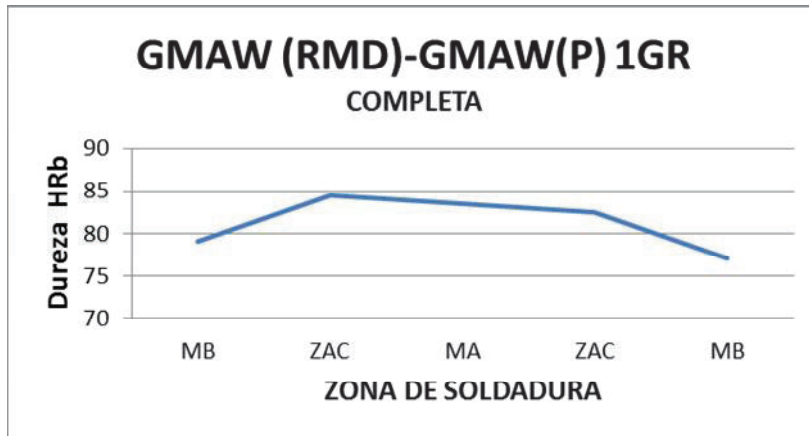


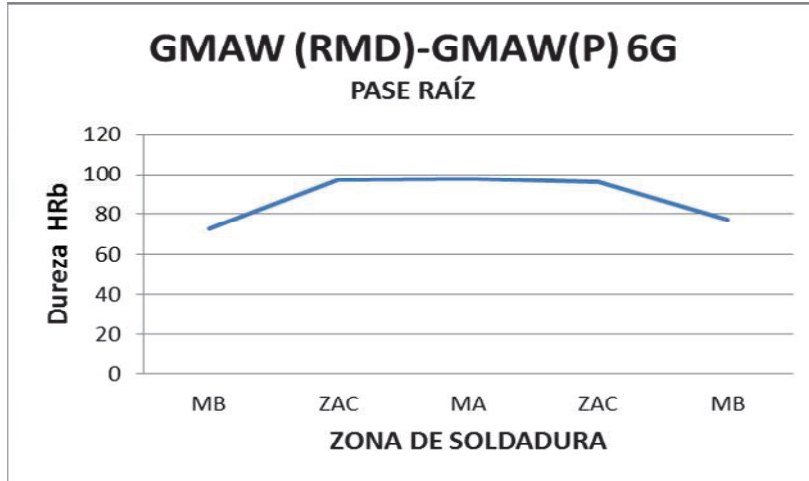
Gráfico 7. 9 Gráficos de dureza realizados con proceso GMAW-RMD/GMAW-P , desde el pase de raíz, caliente, relleno y presentación, en la posición de soldadura 1GR.

Fuente: Propia.

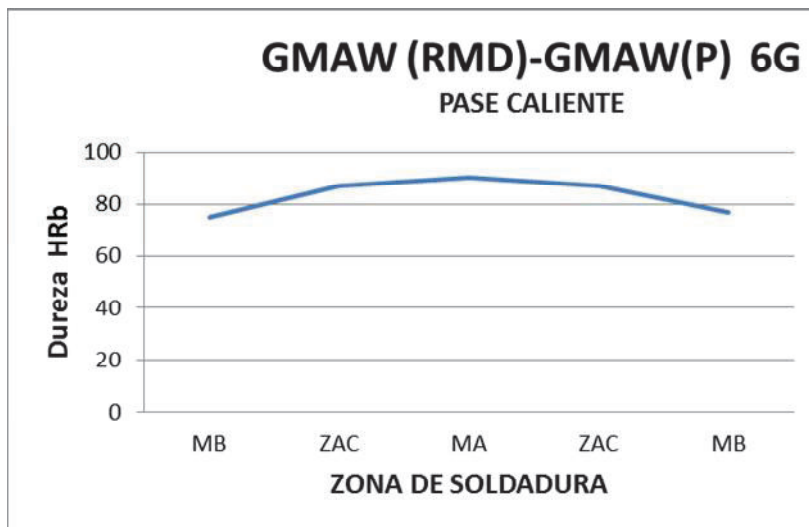
El material de aporte presenta el mayor valor de dureza, la zona afectada por el calor presenta valores de dureza mayores que el material base. Esto se debe a que en la zona afectada por el calor existe un normalizado en donde la dureza aumenta debido al afinamiento del grano.

7.5.5 DUREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW-(RMD) / GMAW (P) EN LA POSICIÓN DE SOLDADURA FIJA A 45° (6G).

| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 73 | 97 | 98 | 96 | 77 |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 75 | 87 | 91 | 87 | 77 |
| | 89 | 90 | 86 | |
| | 85 | 91 | 88 | |



| MB | ZAC | MA | ZAC | MB |
|----|-----|----|-----|----|
| 71 | 83 | 84 | 83 | 72 |
| | 81 | 83 | 82 | |
| | 84 | 85 | 83 | |

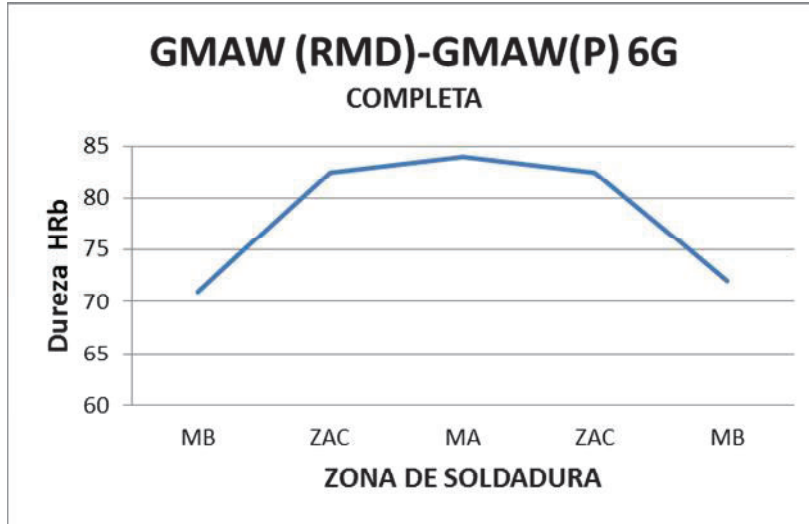


Gráfico 7. 10 Gráficos de dureza realizados con proceso GMAW-RMD/GMAW-P desde el pase de raíz, caliente, relleno y presentación, en la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia.

El material de aporte presenta el mayor valor de dureza, la zona afectada presenta valores de dureza mayores que el material base. Esto se debe a que en la zona afectada por el calor existe un normalizado en donde la dureza aumenta debido al afinamiento del grano.

7.6 CÁLCULO DEL CALOR ENTREGADO / HEAT INPUT (HI)

De los valores que se obtienen al momento de realizar las probetas para la calificación del procedimiento de soldadura, se calcula el aporte de calor que ingresa a cada una de las juntas soldadas, obteniéndose los siguientes resultados.

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|---------------------|
| SMAW-E6010 | 28 | 100 | 62,75 | 2,68 |
| SMAW-E6010 | 25 | 120 | 75,29 | 2,39 |
| SMAW-E7018 | 20,2 | 110 | 45,71 | 2,92 |
| SMAW-E7018 | 20,5 | 120 | 47,41 | 3,11 |
| SMAW-E7018 | 20,2 | 110 | 54,70 | 2,44 |

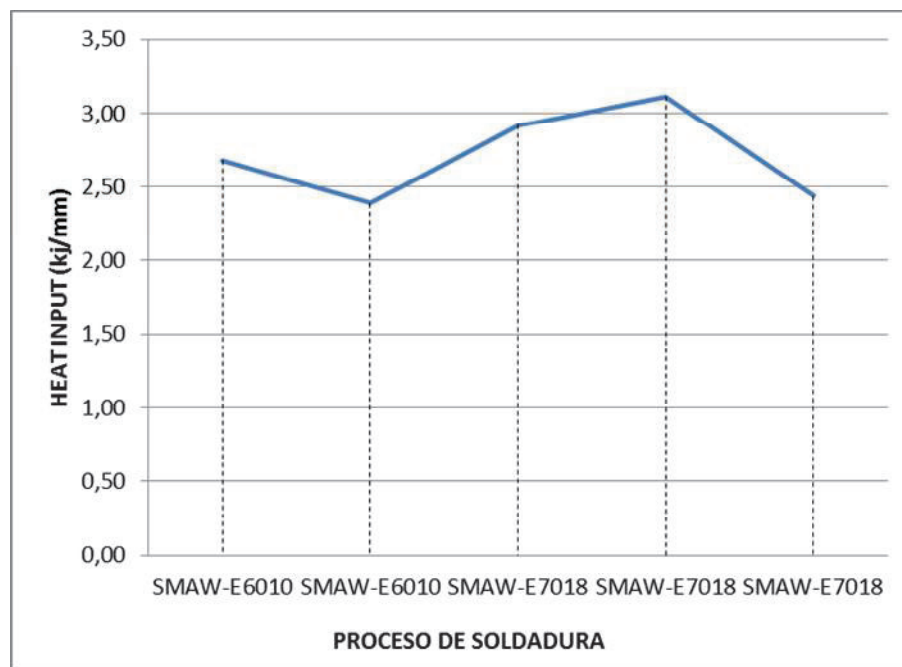


Gráfico 7. 11 Gráficos del aporte de calor en el proceso SMAW. En la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|
| GTAW | 10 | 100 | 41,56 | 1,44 |
| GTAW | 11 | 170 | 68,09 | 1,65 |
| SMAW-E7018 | 20,2 | 110 | 43,54 | 3,06 |
| SMAW-E7018 | 20,5 | 120 | 45,71 | 3,23 |
| SMAW-E7018 | 20,2 | 110 | 50,00 | 2,67 |

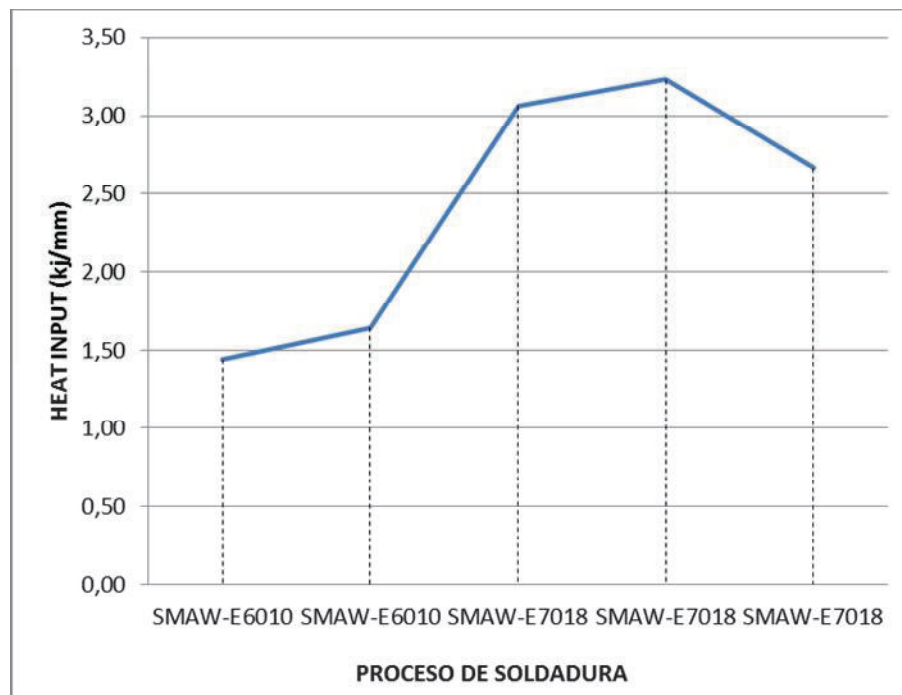


Gráfico 7. 12 Gráficos del aporte de calor en el proceso GTAW /SMAW. En la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|---------------------|
| GMAW-S | 20 | 98 | 84,21 | 1,40 |
| GMAW-S | 20,7 | 150 | 75,29 | 2,47 |
| GMAW-S | 20,7 | 155 | 82,05 | 2,35 |
| GMAW-S | 19,8 | 134 | 182,86 | 0,87 |

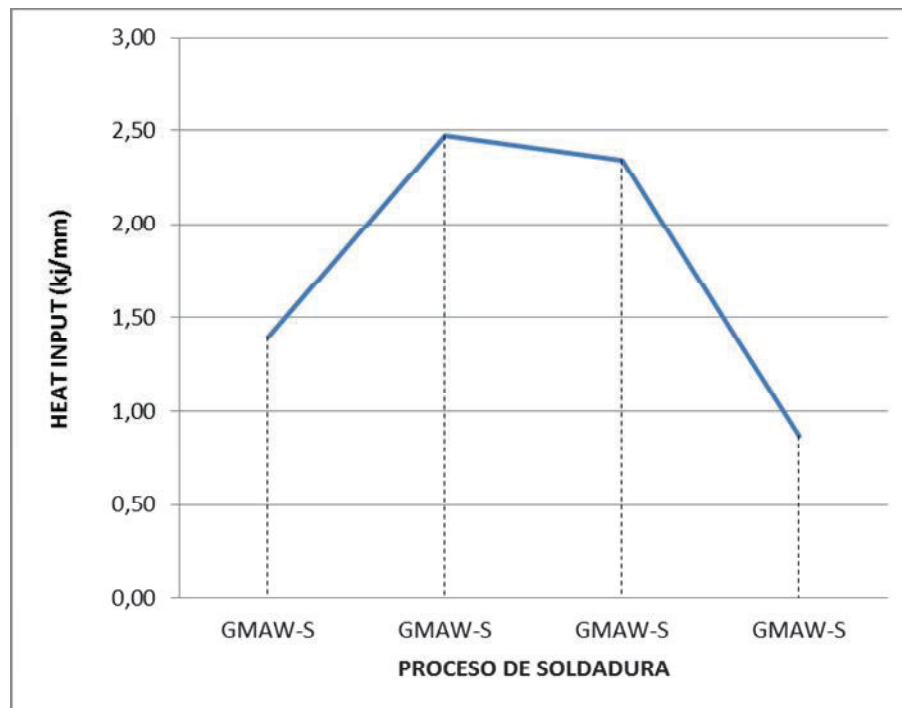


Gráfico 7. 13 Gráficos del aporte de calor en el proceso GMAW-S. En la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|
| GTAW | 15 | 185 | 119,18 | 1,40 |
| GTAW | 16 | 210 | 158,02 | 1,28 |
| GMAW-P | 20,5 | 125 | 117,43 | 1,31 |
| GMAW-P | 20,5 | 120 | 126,48 | 1,17 |

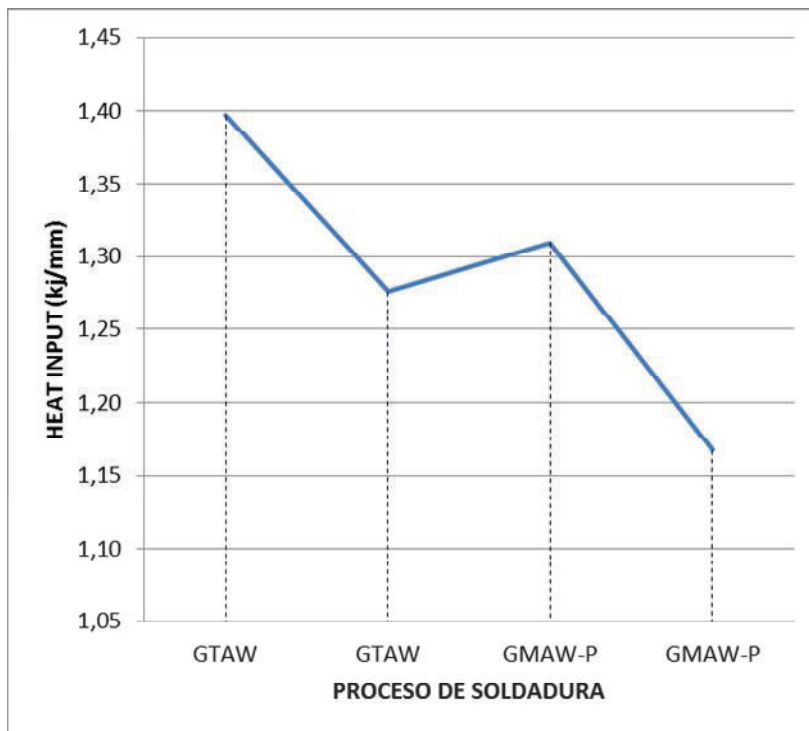


Gráfico 7. 14 Gráficos del aporte de calor en el proceso GTAW /GMAW-P. En la posición de soldadura 1GR.

Fuente: Propia

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|
| GTAW | 12,5 | 114 | 90,52 | 0,94 |
| GTAW | 15,5 | 200 | 179,78 | 1,03 |
| GMAW-P | 21,5 | 115 | 203,17 | 0,73 |
| GMAW-P | 20,5 | 105 | 141,59 | 0,91 |

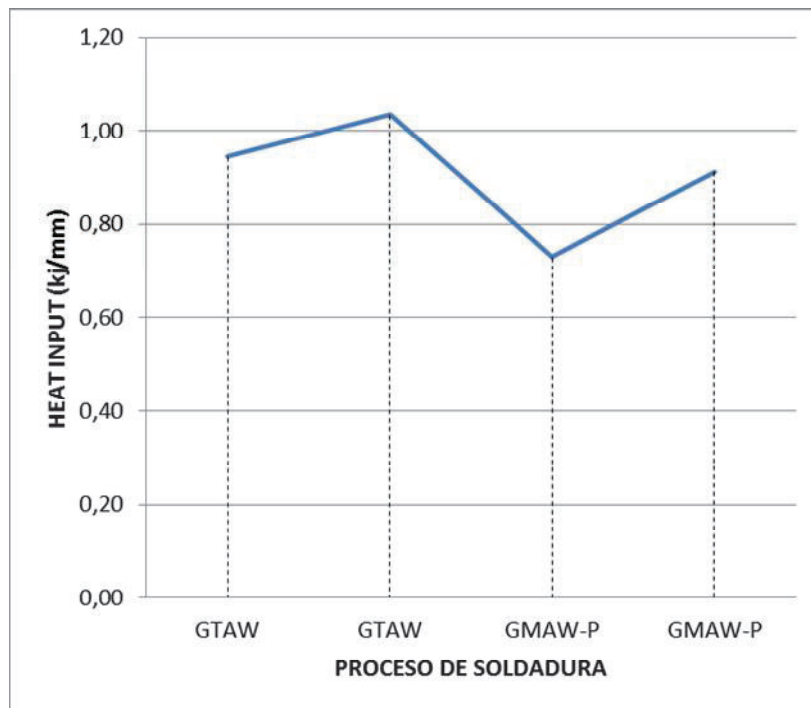


Gráfico 7. 15 Gráficos del aporte de calor en el proceso GTAW /GMAW-P. En la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|
| GMAW-RMD | 15,5 | 108 | 188,24 | 0,53 |
| GMAW-P | 20,8 | 120 | 126,48 | 1,18 |
| GMAW-P | 20,2 | 115 | 463,77 | 0,30 |
| GMAW-P | 20,2 | 104 | 484,85 | 0,26 |

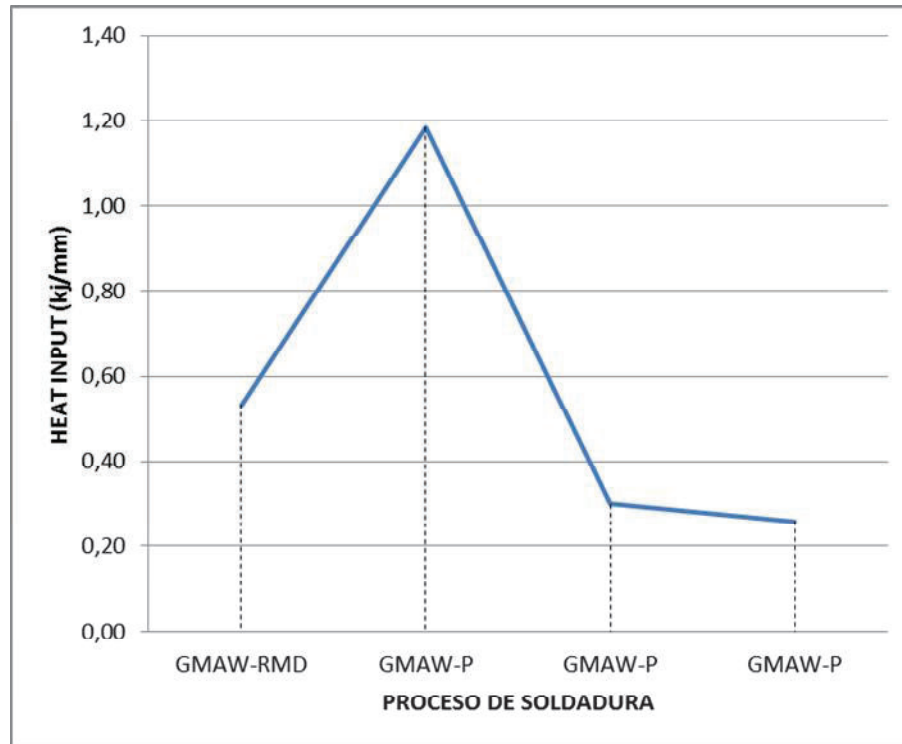


Gráfico 7. 16 Gráficos del aporte de calor en el proceso GMAW-RMD /GMAW-P.
En la posición de soldadura 1GR.

Fuente: Propia

| Proceso de soldadura | V (Voltios) | I (Amperios) | S (mm/min) | Heat Input (KJ/min) |
|----------------------|-------------|--------------|------------|---------------------|
| GMAW-RMD | 15,5 | 95 | 196,32 | 0,45 |
| GMAW-P | 20,4 | 117 | 86,02 | 1,66 |
| GMAW-P | 19,6 | 100 | 105,09 | 1,12 |
| GMAW-P | 19,7 | 95 | 258,06 | 0,44 |

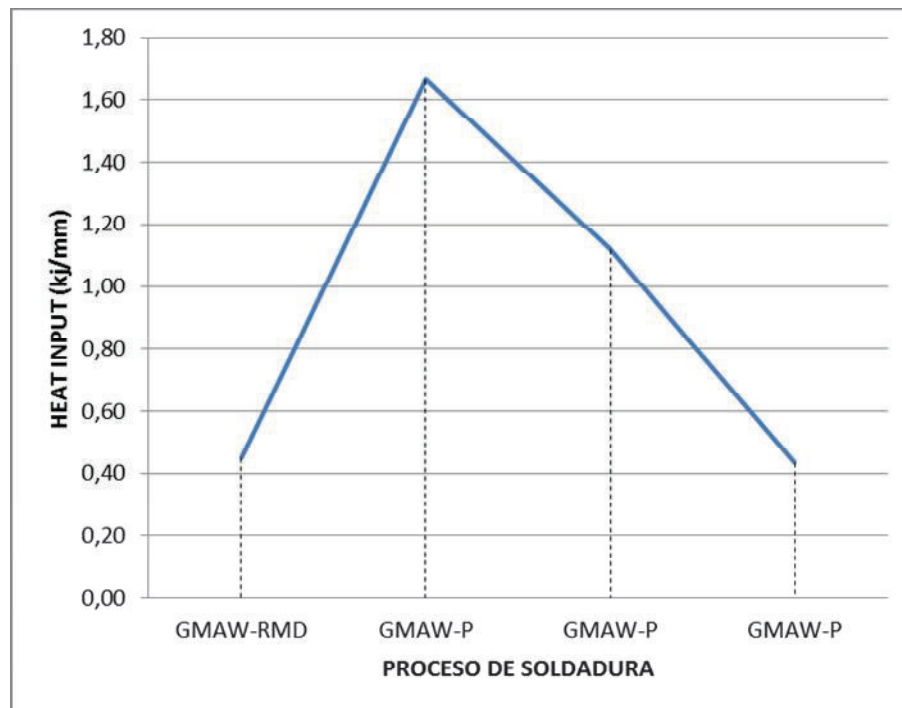


Gráfico 7. 17 Gráficos del aporte de calor en el proceso GMAW-RMD /GMAW-P. En la posición de soldadura 6G.

Fuente: Propia

El proceso de soldadura SMAW, presenta mayor aportación de calor que los otros procesos de soldadura en análisis, esto se debe a que posee menor velocidad de avance, pese a que los valores de voltaje y amperaje son bajos.

En el proceso de soldadura GMAW-RMD /GMAW-P. posee la menor aportación de calor debido a la velocidad de avance y al mejor control de la soldadura, y la velocidad de alimentación.

En el proceso de soldadura con GTAW, se produce también un alta tasa de aportación calor debido a la baja velocidad de avance y a los valores altos de intensidad (amperaje).

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- En la presente Tesis se cumplieron los objetivos planteados elaborar y se calificar satisfactoriamente, varios procedimientos de soldadura (WPS's) de acuerdo a los requerimientos de la norma ASME sección IX. Estos ensayos nos ayudan a comparar diferentes procesos de soldadura.
- Los sistemas de soldadura semi-automáticos (GMAW) con un buen control de las variables y buen manejo de los parámetros, ofrecen una mayor velocidad de soldadura que los procesos manuales (SMAW), mayor productividad, mejor estética, disminuye las reparaciones, reduce los costos de mano de obra con respecto a la soldadura por arco eléctrico de electrodo de tungsteno protegido con gas (GTAW).
- Los procesos de soldadura semiautomáticos como GMAW, con tipos de transferencia pulsada, con depósito de metal regulada RMD, STT, etc, se adaptan perfectamente a la automatización dando como resultado un proceso más eficiente y rentable.
- El proceso de soldadura GMAW, presenta menor cantidad de partículas de pulido (escoria, óxidos, etc.), partículas de afilado de electrodos con proceso GTAW, menor cantidad de humos de soldadura que el proceso de soldadura SMAW.
- Los resultados revelan que el arco de soldadura se ve afectado significativamente por la forma del desprendimiento de la gota fundida. (cuanto afecta esto a las propiedades mecánicas de la soldadura) Por esto se puede concluir que en los procesos de soldadura GMAW, dependiendo de los tipos de

transferencia que se empleé, se puede controlar de mejor manera el depósito de soldadura, dependiendo de la forma en que se deposite la gota.

- La zona afectada por el calor también depende del tipo de transferencia que se utilice, como se puede apreciar el proceso de soldadura con GMAW-P posee menor afectación de calor que los otros procesos de soldadura (GMAW-S)
- La temperatura entre pases se debe mantener dentro del rango adecuado (150°C - 300°C recomendado por normas) y además depende de los efectos de los procesos de soldadura, procedimientos y la secuencia de soldadura. Mientras más pases de soldadura más afectación del material base y por ende mayor tamaño de la ZAC. De igual manera si la soldadura es rotada se afecta mayormente al material que en una soldadura en la posición fija 6G.
- Los efectos de la temperatura mínima y máxima entre pases se debe considerar en relación con las propiedades mecánicas y micro estructurales del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor (ZAC). Si se sobrepasa los valores de temperatura se produce un crecimiento de grano, por ende una disminución de las propiedades mecánicas.
- Los procesos SMAW y GTAW son los más utilizados, pero sus limitaciones (velocidad, limpieza, etc.) y poca productividad los relega y son sustituidos con procesos de soldadura semi – automáticos GMAW, GMAW – P, GMAW – RMD y STT . Generalmente estos procesos garantizan una misma aplicación del proceso TIG (GTAW).
- Los procesos con GMAW con transferencia RMD y pulsada pueden resolver muchos problemas de soldadura de tubos y aumentar la productividad.
- Los valores de Heat Input que se obtuvieron en las juntas soldadas, con los diferentes procesos de soldadura, aplicados en este proyecto, se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el código ASME.

- Concluida la presente investigación se determina que se pueden utilizar procesos semiautomáticos como el GMAW, para la soldadura de tubería de oleoductos y de alta presión, aunque se requiere controlar el depósito del material de aporte en la posición plana como es el caso de soldaduras fuera de posición, en el caso de los procesos GMAW – RMD y GMAW pulsada se los puede utilizar para soldaduras de raíz, relleno y presentación.

8.2 RECOMENDACIONES

- La tubería para los ensayos y análisis debe estar libre de óxidos, grasa, pintura, corrosión, al igual que la superficie a soldar (bisel). El diseño de la junta, la separación de la raíz, el talón deben estar de acuerdo a los procedimientos de soldadura.
- Es importante tener cuidado con las condiciones climáticas, humedad del aire vientos, al momento de realizar la soldadura, en especial cuando se realice la soldadura con procesos con protección gaseosa GTAW y GMAW. En estos casos se debe aislar la zona o de soldadura para que no sea afectada y no se produzcan defectos como porosidades y fisuras.
- Si se desea tener un mejor análisis con respecto a las durezas se debe realizar las mediciones con microdureza vickers.
- Para la soldadura de tubería en cualquier proyecto de construcción se debe tener la documentación necesaria que son: La Especificación del Procedimiento de soldadura WPS, el registro de calificación del Procedimiento de Soldadura PQR y el registro de calificación del soldador.

BIBLIOGRAFÍA.

1. AMERICAN WELDING SOCIETY. (1996). Manual de Soldadura. México: Prentice – Hall Hispanoamericana Octava Edición. Pág. 109 – 123.
2. ANSÍ Z49.1: 2012; AMERICAN NATIONAL STANDARD; Safety in Welding, Cutting,
3. CGA P-I Compressed Gas Association, Inc., General Safety Guidelines, Arlington, and Allied Processes; ANSI; EEUU; 2012.
4. Giachino, J., Weeks, W., (2007). “Técnica y Práctica de la Soldadura”, España: Reverte Quinta Edición. Pág. 200 - 220.
5. Harris, M., (2002). “Welding Health and Safety”; AHIA, Pág. 32-36
6. Horwitz, H., (1976). “Soldadura Aplicaciones y práctica”. México; Ediciones Alfaomega
7. Jeffus, L., (2004). “Welding Principles and Applications”. Estados Unidos: Ed. Thomson, Quinta Edición. Pág. 219 – 230.
8. LINCOLN ELECTRIC. (1997). “MIG /MAG Welding Guide”. USA: Third Edition; Lincoln Electric.
9. Rodríguez, P., (1995). “Manual de Soldadura”. España. Edit. Tecnicbook / Alsina.
10. Rowe, R., Jeffus L., (2008). “Manual de Soldadura GMAW (MIG - MAG)”. España: Paraninfo, Pág. 47 – 60.
11. ASME. (2010). *BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE*. USA: ASME.
12. ASTM. (2014). ASTM.
13. AWS. (1996). Manual de Soldadura. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
14. B36.10, A. (2010). ASME B36.10 . USA: ASME.
15. ELECTRIC, L. (1997). MIG /MAG Welding Guide. USA: Lincoln Electric.
16. Indura. (2007). Manual de Soldadura. Chile.
17. MILLER. (2011). Guia de soldadura GTAW. México.
18. Society, A. W. (1996). Manual de Soldadura. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

ANEXOS

ANEXO A

TERMINOS Y DEFINICIONES

Especificación de Procedimiento de Soldar (WPS): Una WPS es un procedimiento de soldadura calificado y escrito preparado para proveer dirección para hacer soldaduras de producción en conformidad con requerimientos de Código. La WPS u otros documentos se puede usar para proveer dirección al soldador o al operario de soldadura para asegurar cumplimiento con los requerimientos del Código.

Registro de Calificación de Procedimiento (PQR): Un PQR es un registro de los datos de soldadura usados para soldar una muestra de prueba. EL PQR es un registro de variables registradas durante la soldadura de las muestras de prueba. Contiene también los resultados de las pruebas de los especímenes probados. Las variables registradas caen normalmente dentro de una serie pequeña de las variables reales que se usarán en soldadura de producción.

Defectos: Es una discontinuidad que excede los criterios de aceptación establecidos, o que podría generar que el material o equipo falle cuando sea puesto en servicio o durante su funcionamiento.

Indicación: Es la respuesta que se obtiene al aplicar algún método de pruebas no destructivas, que requiere ser interpretada para determinar su significado. Se clasifican en tres tipos:

Indicaciones falsas: Se producen por una aplicación incorrecta de la prueba.

Indicaciones no relevantes: Producidas por el acabado superficial o la configuración del material.

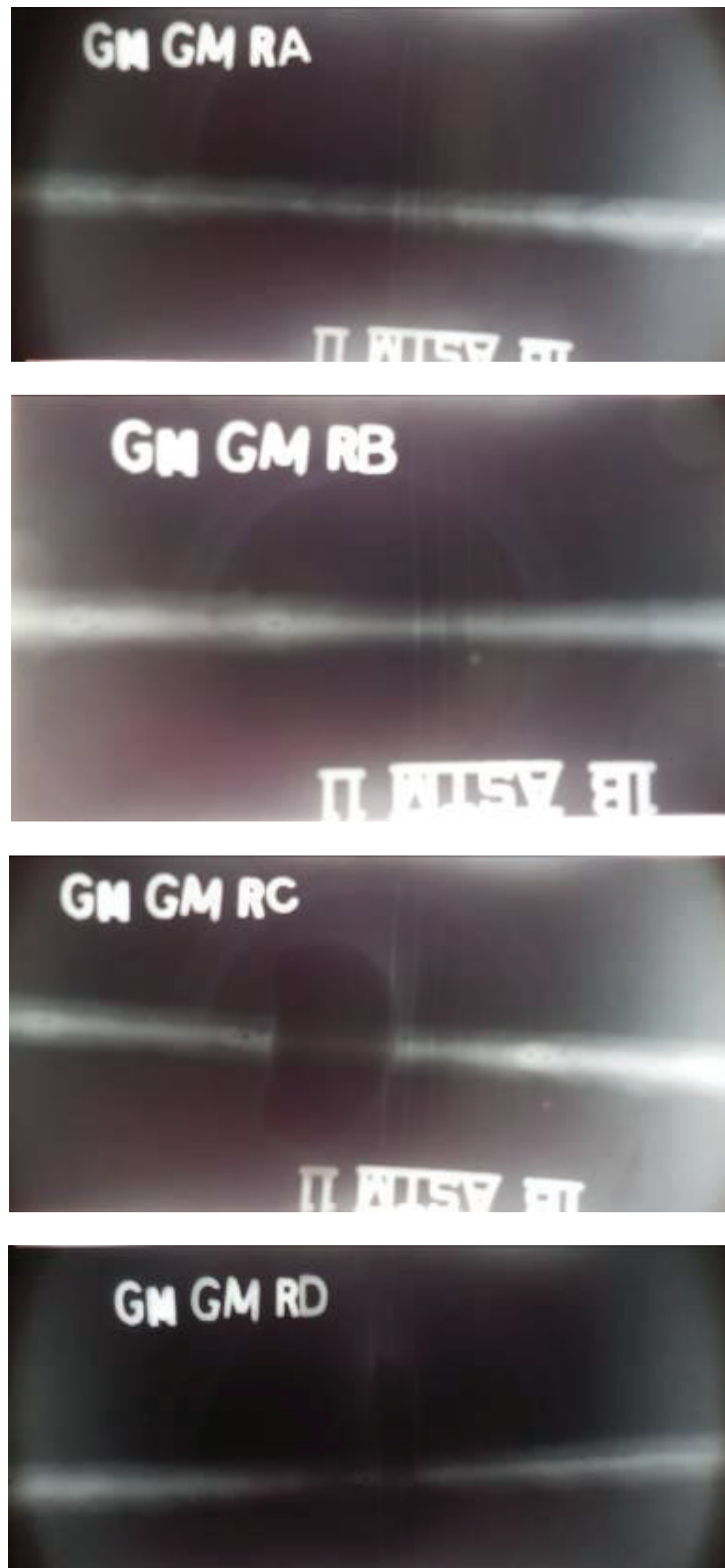
Indicaciones verdaderas: Producidas por discontinuidades. Al aplicar una prueba no destructiva los técnicos observan indicaciones, por lo que deben determinar cuales son producidas por discontinuidades.

ANEXO B

INSPECCION RADIOGRAFICA



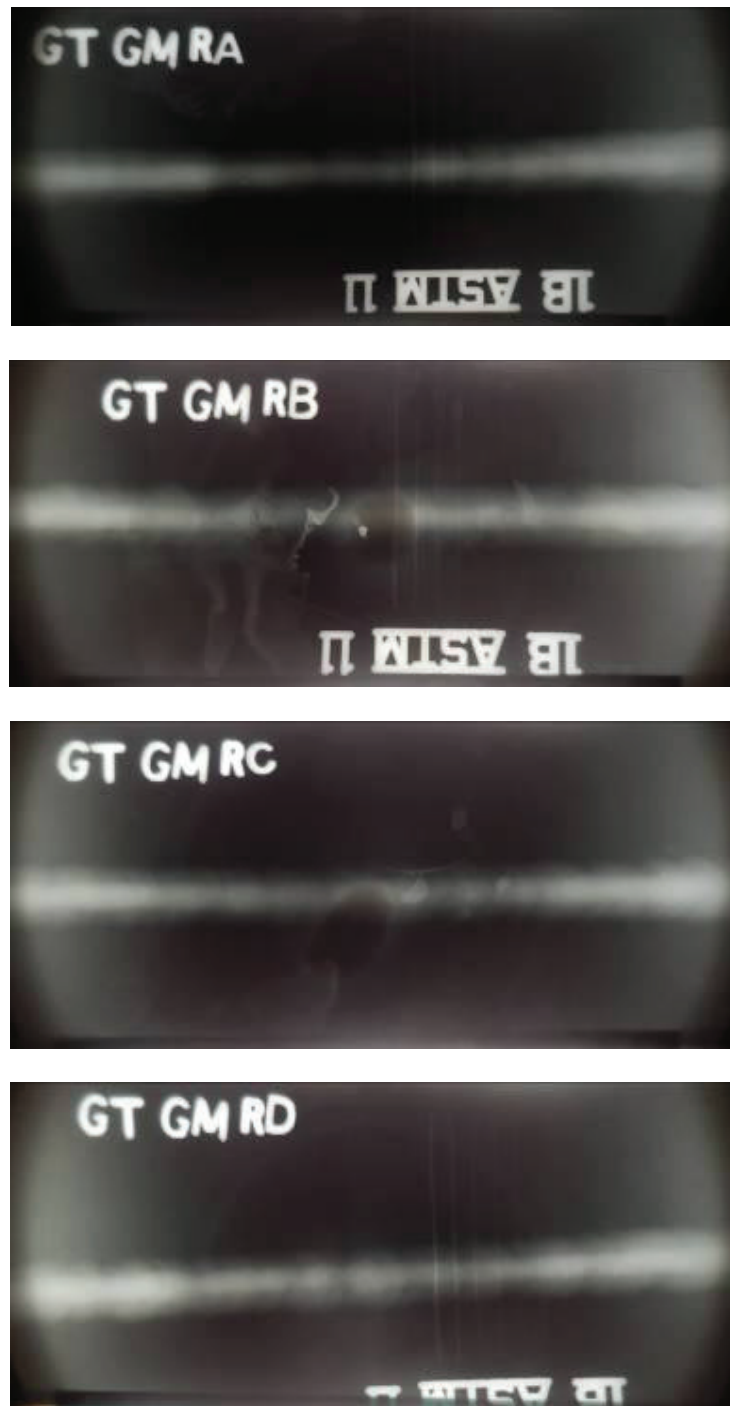
Fotografía B.1 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GMAW-GMAW en posición 6G en tubería de 8"



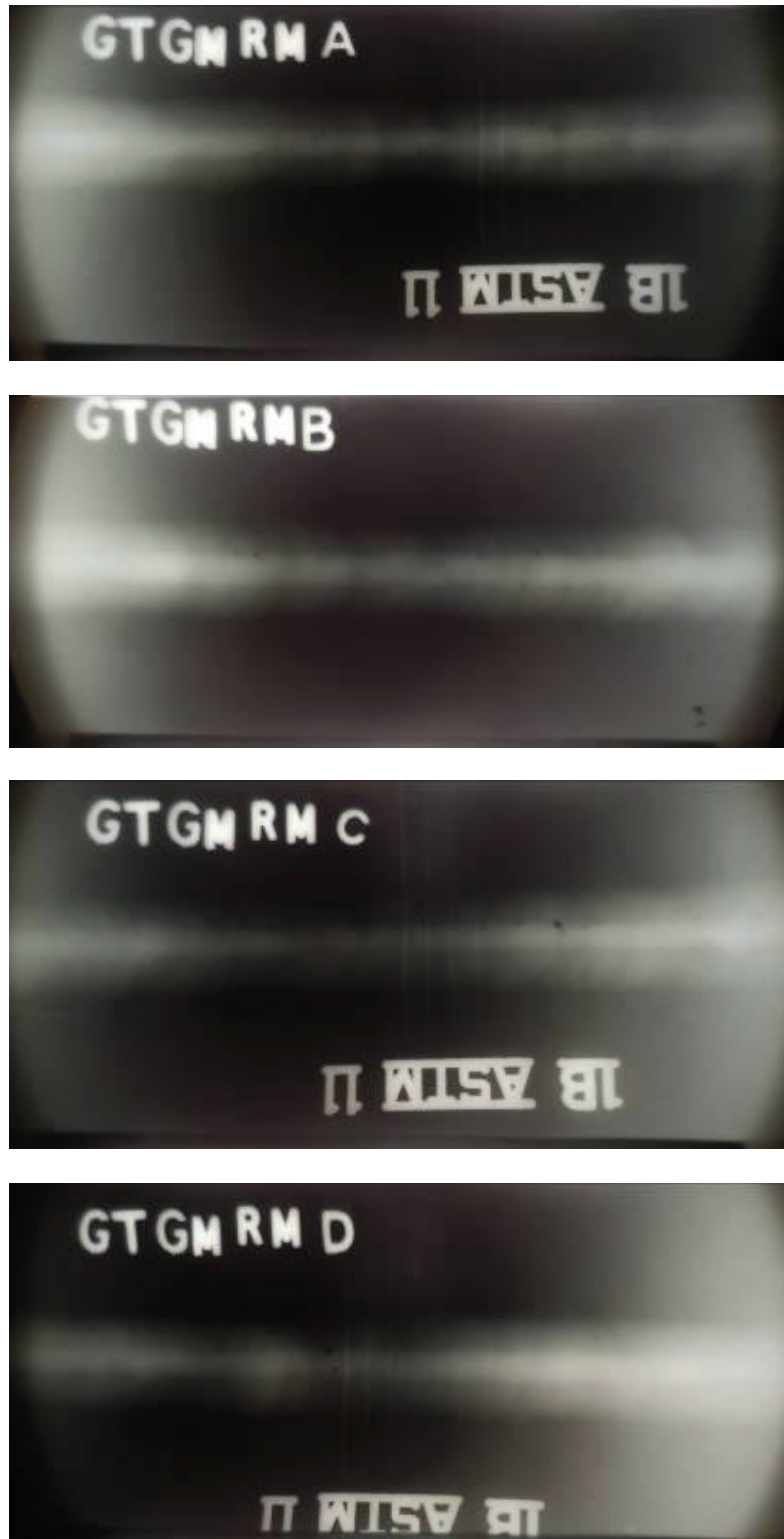
Fotografía B.2 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GMAW-GMAW en posición 1G rotada en tubería de 8"



Fotografía B.3 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GMAW-SMAW en posición 6G en tubería de 8"



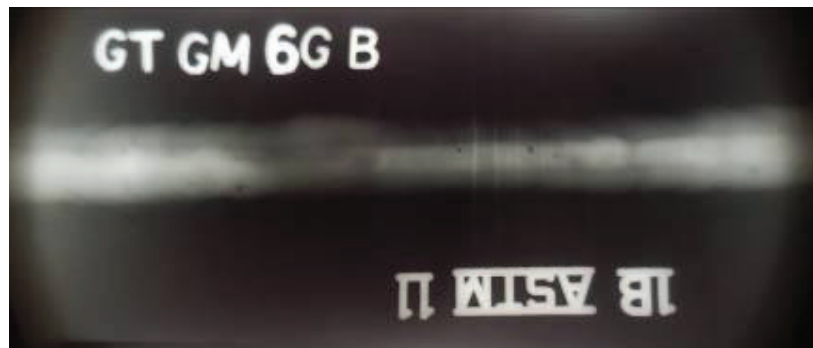
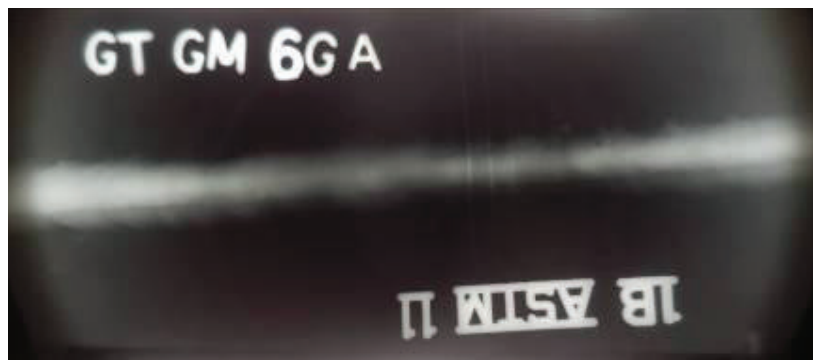
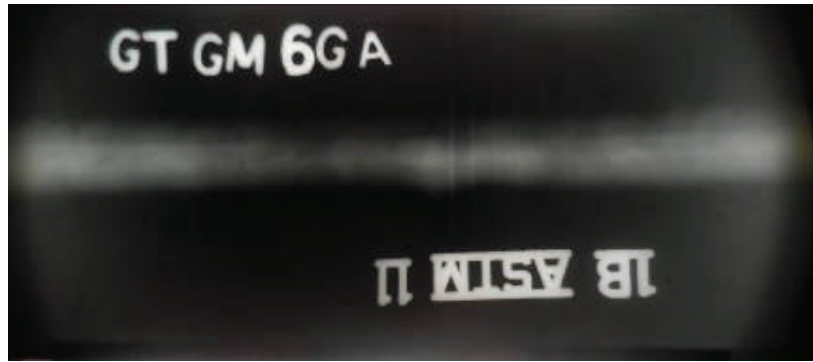
Fotografía B.4 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW en posición 1G rotada en tubería de 8"

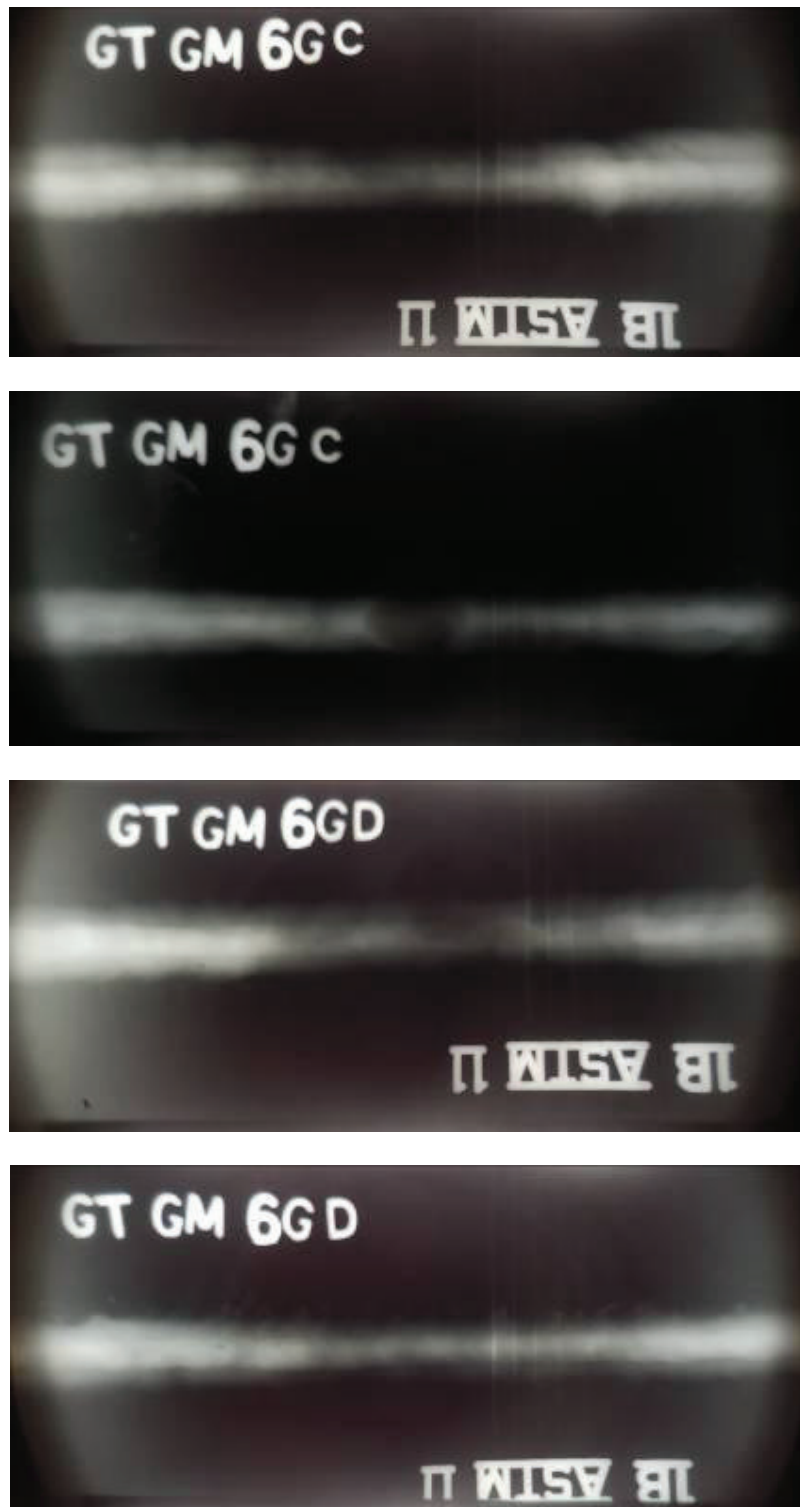


Fotografía B.5 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW en posición 1G M rotada en tubería de 8"



Fotografía B.6 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GTAW-DMAW en posición 6G en tubería de 8"





Fotografía B.7 Imágenes de placas radiográficas tomadas por secciones de la junta de soldadura realizada con el proceso GTAW-GMAW en posición 6G en tubería de 8"