

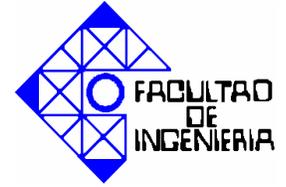


**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO DE FABRICACIÓN**



**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SOLDADURA  
GTAW EN LA APARICIÓN DE POROSIDADES EN JUNTAS DE TUBERÍAS  
DE ACERO SA 106 Gr. B**

**TUTOR: ARGEL PORRELLO**

**CASTRO GABRIEL**

**GARCÍA HUMBERTO**

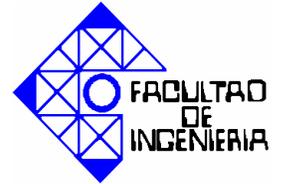
**VALENCIA, ENERO 2015**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO DE FABRICACIÓN**

**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SOLDADURA  
GTAW EN LA APARICIÓN DE POROSIDADES EN JUNTAS DE TUBERÍAS  
DE ACERO SA 106 Gr**

Trabajo especial de grado, presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para  
optar al Título de Ingeniero Mecánico

**TUTOR: ARGEL PORRELLO**

**CASTRO GABRIEL  
GARCÍA HUMBERTO**

**VALENCIA, ENERO 2015**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DPTO. DE MATERIALES Y PROCESO DE FABRICACIÓN**

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para evaluar el trabajo especial de grado titulado **INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SOLDADURA GTAW EN LA APARICIÓN DE POROSIDADES EN JUNTAS DE TUBERÍAS DE ACERO SA 106 B**, realizado por los bachilleres Gabriel Castro, CI. 19.919.673 y Humberto García CI. 18.853.761, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. Argel Porrello

Tutor

---

Prof. Luis Sidorovas

Jurado

---

Prof. Carmelo Torres

Jurado

**VALENCIA, ENERO 2015**

## DEDICATORIA

Principalmente dedico a Dios Todopoderoso por darme la sabiduría y guiarme siempre. Dedico a mi madre que con bastante trabajo y sacrificio me ha ayudado a llegar hasta a donde hoy estoy. A mi abuela querida que siempre ha cuidado de mí con su gran amor, a mi novia amada que ha estado a mi lado caminando juntos, como parte de la construcción de nuestra futura familia. A mis tías queridas: Mariela, Nene, Marve, María y la Negra apoyándome como madres en este camino. A mi tío Evis que ha velado siempre por mí. A Mi hermano, mis pequeños primos y primas para que sirva como inspiración y siempre aspiren a llegar más lejos. A mi abuela María y mi abuelo Servando y demás familiares.

Por último a un padre que me dio la vida, que hoy no se encuentra en este plano, mi amado Abuelo Antonio, en vida siempre fue un apoyo fundamental, enseñándome valores como el trabajo, la perseverancia y la constancia, por tal motivo esta investigación lleva una especial dedicatoria de mi parte para él, se que el esta aun apoyándome y guiando mis pasos.

**Gabriel Castro**

## DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este proyecto a mis hermanas y hermanos, que de una manera u otra, de forma directa o indirecta, han puesto día a día su granito de arena para ayudarme a salir adelante.

Sin embargo, este logro va dedicado especialmente a mis padres. A mi Madre, que día a día se encargó de que nada me faltara, atendiendo mis necesidades en todo momento, cuya voluntad por sacarme adelante mantuvo firme la mía. A mi Padre, que siempre estuvo ahí para ayudarme ante cualquier situación, dándome ese espaldarazo que en ciertos momentos necesité. Ambos me inculcaron los valores de la responsabilidad, la rectitud y el compromiso por cumplir con lo propuesto. La crianza que me dieron y sus oportunos consejos guiaron mi andar, y más que soportes, los considero el eje que impulsó el cumplimiento de esta gran meta.

Más que esperar que sientan orgullo por mí, quiero que sepan lo orgulloso que estoy de tenerlos.

**Humberto García**

## AGRADECIMIENTOS

A Jesús Díaz y Marleni Pinto por propiciar la relación con la empresa TRIME, C.A.

A la empresa TRIME, C.A, por su importante aporte al facilitar los materiales y equipos utilizados, personal calificado e instalaciones.

A la Ing. Jackeline Pérez, por su paciencia, guía e inagotable disposición de colaborar con el proyecto.

A la Profesora Argelia Pandarez, por su invaluable ayuda al instruirnos y proveer herramientas digitales y bibliográficas en temas de estadística, claves para la ejecución del proyecto.

A nuestro tutor, Ing. Argel Porrello, por siempre prestar su experiencia y oportuno consejo en pro de conducir este proyecto al éxito.

A Dios Todopoderoso, por darnos la sabiduría y el entendimiento, la voluntad y la perseverancia, al no dejarnos decaer en momentos difíciles.

A nuestros compañeros de estudio y futuros colegas, siempre haciendo lo posible y lo imposible por ayudar, siendo esos hermanos de lucha con los que siempre podemos contar.

A NUESTRAS FAMILIAS, por siempre apoyarnos en todo lo que nos propusimos, por siempre estar ahí en todo momento, por darnos el espaldarazo que en algún momento necesitamos para seguir adelante, por hacer de nosotros lo que hoy somos, ellos son los grandes responsables del cumplimiento de esta meta.

**A todos ¡INFINITAS GRACIAS!!!**

## **TÍTULO DEL TRABAJO**

### ***INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SOLDADURA GTAW EN LA APARICIÓN DE POROSIDADES EN JUNTAS DE TUBERÍAS DE ACERO SA 106 B.***

## **RESUMEN**

En el proceso de soldadura por arco eléctrico protegida con argón, o GTAW por sus siglas en inglés, son muchos los factores que influyen en la calidad de la junta soldada, la aparición de defectos tales como porosidades, puede darse como consecuencia de los parámetros inherentes al proceso. Específicamente se estudió la incidencia que tienen la intensidad de corriente y el flujo de argón en la aparición de porosidades en tuberías de acero SA106-GrB. Se seleccionaron tres valores dentro de los rangos recomendados para cada parámetro, 80, 100 y 120 A para la Intensidad de corriente y 0,283, 0,566 y 0,85 m<sup>3</sup>/h para el flujo de argón. Se soldaron probetas de 2 pulgadas de diámetro, empleando todas las combinaciones posibles de estos parámetros 3 veces cada una, resultando un total de 27 probetas de estudio. La búsqueda de porosidades se realizó en primer lugar mediante la inspección visual de la superficie del cordón de soldadura, y luego a través de un estudio radiográfico. Las radiografías resultantes fueron analizadas utilizando un software de procesamiento de imágenes, mediante el cual se contabilizaron las áreas del cordón afectadas con porosidades para cada probeta. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un método denominado Análisis de Varianza. Este método estadístico detecta la combinación de parámetros que presente un resultado apreciablemente diferente de la tendencia. Resultando que las combinaciones de los parámetros intensidad de corriente y flujo de argón con menos porosidades, estadísticamente hablando, fueron 80 - 100 A y 0,566 m<sup>3</sup>/h, presentando una reducción de área porosa promedio de 93% respecto al los valores de 0,283 y 0,85 m<sup>3</sup>/h.

Br. Gabriel Castro  
C. I. 19.919.673

Br. Humberto García  
C. I. 18.853.761

**LISTADO DE VARIABLES**

**A:** Área con porosidades

**CPI:** Combinación de parámetros

**F:** Valor calculado de significancia

**F $\alpha$ :** Valor teórico de significancia

**gl:** Grados de libertad

**H<sub>0</sub>:** Hipótesis Nula

**H<sub>1</sub>:** Hipótesis Alternativa

**I:** Intensidad de Corriente

**i:** Subíndice de grupo

**MCInter:** Media cuadrática Intergrupo

**MCIntra:** Media cuadrática Intragrupo

**N:** Número total de casos

**n:** Número de sujetos en cada grupo

**Q:** Flujo de Argón

**r:** Número de grupos

**SCInter:** Suma de Cuadrados Intergrupo

**SCIntra:** Suma de Cuadrados Intragrupo

**TC:** Término de Corrección

**X<sub>i</sub>:** Media del grupo i

**$X_t$** : Media total

**$\mu_i$** : Factor de Combinación

## ÍNDICE GENERAL.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <br>   |           |
| <b>1 EL PROBLEMA .....</b>   | <b>18</b> |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 18        |
| 1.2 FORMULACIÓN .....  | 20        |
| 1.3 IMPORTANCIA.....   | 21        |
| 1.4 OBJETIVOS .....  | 21        |
| 1.4.1 Objetivo General del Trabajo.....  | 21        |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....   | 21        |
| 1.5 LIMITACIONES .....   | 22        |
| 1.6 ALCANCE.....   | 22        |
| <b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>   | <b>23</b> |
| 2.1 REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....  | 23        |
| 2.2 BASES TEÓRICAS.....  | 26        |
| 2.2.1 Soldadura .....  | 26        |
| 2.2.2 Sociedad Americana de Soldadura.....   | 26        |
| 2.2.3 Clasificación de los tipos de soldadura .....  | 27        |
| 2.2.4 Defectologías de Soldadura .....   | 40        |
| 2.2.5 Inspección en soldadura .....  | 47        |
| 2.2.6 Estándares para la detección de porosidades a través de radiografías, según la Norma ASME B31.3-2013 ..... | 50        |
| 2.2.7 Analisis de Varianza. ....   | 52        |
| <b>3 MARCO METODOLÓGICO .....</b>  | <b>59</b> |
| 3.1 Nivel y Tipo de investigación .....  | 59        |
| 3.2 Material utilizado .....   | 59        |
| 3.3 Soldadura .....  | 63        |
| 3.3.1 Preparación de las probetas soldadas .....   | 63        |
| 3.3.2 Material de aporte .....   | 64        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.3.3    | Electrodo de tungsteno.....  | 64        |
| 3.3.4    | Flujo de gas protector.....  | 64        |
| 3.3.5    | Descripción del proceso .....  | 65        |
| 3.4      | Evaluación de la soldadura .....   | 66        |
| 3.4.1    | Inspección visual.....   | 66        |
| 3.4.2    | Radiografía.....   | 67        |
| 3.5      | Análisis de los datos obtenidos. ....  | 68        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS Y ANÁLISIS. ....</b>   | <b>72</b> |
| 4.1      | RESULTADOS OBTENIDOS .....   | 72        |
| 4.1.1    | Inspección visual.....   | 72        |
| 4.1.2    | Detección de la defectología en las probetas. ....   | 75        |
| 4.1.3    | Estudio estadístico.....   | 75        |
| 4.1.4    | Estudio estadístico de ANOVA multifactorial.....   | 83        |
| 4.1.5    | Sensibilidad de los parámetros establecidos sobre la aparición de poros. ....  | 87        |
| 4.1.6    | Determinación del rango que minimiza la aparición de poros.....  | 90        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>92</b> |
| 5.1      | CONCLUSIONES. ....   | 92        |
| 5.2      | RECOMENDACIONES.....   | 92        |
| <b>6</b> | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>94</b> |
| <b>7</b> | <b>ANEXOS .....</b>  | <b>95</b> |
| 7.1      | ANEXO A: ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS) ....  | 95        |
| 7.2      | ANEXO B: CERTIFICACIÓN DEL SOLDADOR. ....  | 99        |
| 7.3      | ANEXO C: CERTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE ARGÓN .....   | 100       |
| 7.4      | ANEXO D: CERTIFICACIÓN DE LOS TUBOS DE ACERO SA-106 Gr.B ....  | 101       |
| 7.5      | ANEXO F: REPORTE TÉCNICO RADIOGRÁFICO .....  | 105       |
| 7.6      | ANEXO G: CRITERIO DE ACEPTACIÓN RESPECTO A LA DISPOSICIÓN Y<br>DIMENSIONES DE LAS POROSIDADES DETECTADAS A TRAVÉS DE<br>RADIOGRAFÍA, SEGÚN LA NORMA ASME B31.3 ..... | 113       |
| 7.7      | ANEXO H: EJEMPLO DE CALCULO DEL ANALISIS ESTADISTICO. ....   | 119       |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo II

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.1</b> Esquema de clasificación de la soldadura (Jeffus, 2009). .....   | 28 |
| <b>Figura 2.2</b> Soldadura Heterogénea. a) Blanda b) Fuerte.....  | 29 |
| <b>Figura 2.3</b> a) Soldadura por presión b) Soldadura por fricción (López Galvez & Orozco Roldan, 2013) .....                | 30 |
| <b>Figura 2.4</b> a) Soldadura Oxiacetilénica b) Soldadura por Resistencia Eléctrica (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)..... | 30 |
| <b>Figura 2.5</b> Descripción gráfica de la soldadura por arco (Pender, 1989).....   | 32 |
| <b>Figura 2.6</b> Descripción gráfica del proceso GTAW (TIG) (Giachino & Weeks, 2007) .....                                    | 34 |
| <b>Figura 2.7</b> Equipo básico para llevar a cabo el proceso GTAW (Giachino & Weeks, 2007) .....                              | 34 |
| <b>Figura 2.8</b> Despiece de la torcha- (Giachino & Weeks, 2007) .....  | 35 |
| <b>Figura 2.9</b> Efecto delafilado del electrodo en la soldadura (Jeffus, 2009).....  | 39 |
| <b>Figura 2.10</b> Efectos del tipo de corriente y la polaridad en la soldadura (Jeffus, 2009) .....                           | 40 |
| <b>Figura 2.11.</b> Fusión incompleta en soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013) .....                                 | 42 |
| <b>Figura 2.12.</b> Falta de penetración en soldaduras. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013) .....                             | 42 |
| <b>Figura 2.13.</b> Fisuras en soldadura. (Jeffus, 2009) .....   | 43 |
| <b>Figura 2.14.</b> Socavadura en soldadura. (Jeffus, 2009).....   | 43 |
| <b>Figura 2.15.</b> Inclusiones de escoria en soldadura. (Pender, 1989).....   | 44 |
| <b>Figura 2.16.</b> Inclusión de tungsteno en soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013) .....                            | 45 |
| <b>Figura 2.17</b> Porosidades en el cordón de soldadura (Jeffus, 2009).....   | 45 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.18</b> Diversos tipos de porosidades, a) Uniformemente agrupada, b) Agrupada, c) Alineada (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)..... | 46 |
| <b>Figura 2.19</b> Ejemplo de aplicación de líquido penetrante en soldaduras.....   | 48 |
| <b>Figura 2.20</b> Muestra radiográfica de un cordón de soldadura con porosidades (López Galvez & Orozco Roldan, 2013).....                     | 49 |

### Capítulo III

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.1</b> Corte de las probetas de estudio. Acero SA 106 Gr. B .....              | 60 |
| <b>Figura 3.2</b> Esquema metodológico.....   | 61 |
| <b>Figura 3.3</b> Dimensiones de las probetas, a) Vista lateral b) Vista frontal.....     | 62 |
| <b>Figura 3.4</b> Configuración de las probetas, a) Antes de soldar b) Después de soldar. | 62 |
| <b>Figura 3.5</b> Etapas del cordón de soldadura .....                                    | 63 |
| <b>Figura 3.6</b> Método de aplicación de la radiografía a las probetas.....              | 67 |
| <b>Figura 3.7</b> Rotación de la probeta respecto al eje longitudinal.....                | 68 |

### Capítulo IV

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4.1</b> Fotografía del cordón exterior de la probeta con combinación 80 A – 0,283 m <sup>3</sup> /h .....  | 72 |
| <b>Figura 4.2</b> Fotografía del cordón exterior de la probeta con combinación 100 A – 0,566 m <sup>3</sup> /h .....   | 73 |
| <b>Figura 4.3</b> Fotografía del cordón exterior de la probeta con combinación 120 A – 0,850 m <sup>3</sup> /h .....   | 73 |
| <b>Figura 4.4</b> Fotografía de la radiografía la probeta con combinación 100 A y 0,566 m <sup>3</sup> /h.....   | 74 |
| <b>Figura 4.5</b> Fotografía de la radiografía la probeta con combinación 80 A y 0,850 m <sup>3</sup> /h, con porosidades representadas mediante software CAD..... | 74 |
| <b>Figura 4.6.</b> Grafica, Flujo de argón Vs. Área Porosa para 0,566 m <sup>3</sup> /h (20 pie <sup>3</sup> /h) ....  | 89 |
| <b>Figura 4.7.</b> Grafica, Flujo de argón Vs. Área Porosa para 0,85 m <sup>3</sup> /h (30 pie <sup>3</sup> /h). ...   | 90 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

### Capítulo II

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2.1</b> Gases de protección a utilizar para diversos metales ..... | 38 |
| <b>Tabla 2.2</b> Tamaño admisible de indicaciones redondeadas .....         | 52 |
| <b>Tabla 2.3</b> Cuadro de análisis ANOVA (Pinto & Pernalet, 2003).....     | 57 |

### Capítulo III

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 3.1</b> Composición química del acero SA 106 Gr. B (Certificado de Calidad. Anexo D, 2013) .....     | 59 |
| <b>Tabla 3.2</b> Propiedades mecánicas del acero SA 106 Gr. B. B (Certificado de Calidad. Anexo D, 2013)..... | 60 |
| <b>Tabla 3.3</b> Especificaciones de la varilla de aporte (ASME B31.3-2013) .....                             | 64 |
| <b>Tabla 3.4</b> Especificaciones del gas inerte según el WPS (ASME B31.3-2013) .....                         | 65 |
| <b>Tabla 3.5</b> Designación de las combinaciones de los parámetros a utilizar .....                          | 66 |
| <b>Tabla 3.6</b> Estudio estadístico agrupando las Intensidades de Corriente .....                            | 69 |
| <b>Tabla 3.7</b> Estudio estadístico agrupando los Flujos de Argón .....                                      | 71 |

### Capítulo IV

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 4.1.</b> Datos resultantes de las combinaciones de parámetros y la aparición de porosidades.....   | 76 |
| <b>Tabla 4.2.</b> Resultados agrupando las combinaciones con 80 A (análisis intragrupos). .....   | 77 |
| <b>Tabla 4.3.</b> Representación resumen de los resultados generados mediante la herramienta estadística, combinaciones con 80 A (análisis intergrupos) ..... | 78 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 4.4</b> Significancia de los flujos de argón para intensidad de corriente agrupados por 100 A y 120A según el ANOVA .....   | 80 |
| <b>Tabla 4.5</b> Representación de los resultados agrupado las combinaciones con 0,283 m <sup>3</sup> /h (10 pie <sup>3</sup> /h) .....  | 82 |
| <b>Tabla 4.6</b> Representación resumen de los resultados generados mediante la herramienta estadística, combinaciones con 10 pie <sup>3</sup> /h (análisis intergrupos) ..... | 83 |
| <b>Tabla 4.7</b> Significancia de las intensidades de corriente agrupadas por 0,566 y 0,85 m <sup>3</sup> /h (20 y 30 pie <sup>3</sup> /h) según el ANOVA .....                | 84 |
| <b>Tabla 4.8.</b> Representación de los resultados combinación de parámetros – promedio de área porosa de cada combinación .....   | 85 |
| <b>Tabla 4.9.</b> Representación de la homogeneidad de los flujos de argón ensayados en función en relación a la aparición de porosidades .....                                | 86 |
| <b>Tabla 4.10.</b> Representación de la significancia de los flujos de argón ensayados en función en relación a la aparición de porosidades. ....                              | 86 |

## INTRODUCCIÓN

En la industria del manejo de hidrocarburos, debido a la naturaleza de éstos, cada componente es de vital importancia para el funcionamiento de un sistema, y los estándares de calidad deben ser los más altos, ya que una mínima falla, un mínimo defecto, puede ocasionar la descompensación del sistema o incluso una situación peligrosa. En el caso de las redes de tuberías, se debe prestar especial atención a cada detalle, desde la fabricación de las líneas en sí, hasta los métodos de unión de tuberías, particularmente en las juntas soldadas.

Son diversos los procesos de soldadura existentes en la actualidad, cada uno con sus particularidades, y utilizados para diferentes aplicaciones. Sin embargo, en el caso de las redes de tuberías para el manejo de hidrocarburos, son requeridos procesos que ofrezcan resultados de calidad en cuanto a propiedades de la unión soldada, y con un mínimo de defectos. Para esta aplicación, el proceso más utilizado es la soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección con gas inerte, mejor conocida como GTAW o TIG. Dicho proceso, en general, ofrece una soldadura limpia y con muy pocos defectos. Esto ocurre, siempre y cuando se mantenga un estricto control de los parámetros inherentes al proceso.

Existen muchos parámetros que influyen en la calidad de la soldadura, como son: El voltaje, la intensidad de corriente, la inclinación del electrodo, la velocidad de pasada, el flujo de argón, posición de soldeo, etc. La AWS (American Welding Society) ofrece rangos recomendados para estos parámetros. La norma sugiere que siempre que se respeten estos rangos de valores, disminuye el riesgo de aparición de defectos tales como: fusión incompleta, socavación interna, aparición de grietas y porosidades. Sin embargo, esto no siempre se cumple.

En este trabajo, se evaluó la incidencia que tienen la intensidad de corriente y el flujo de argón en la aparición de porosidades en tuberías de acero SA106-GrB. Utilizando diversas combinaciones de los parámetros anteriormente mencionados, se efectuaron soldaduras por el proceso GTAW, se observaron mediante estudios radiográficos en busca de porosidades, y se analizaron los resultados a través de un método estadístico para determinar la combinación que presente mejores resultados.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La industria petrolera en Venezuela trasciende a los primeros años del siglo XX, a partir desde ese momento la economía venezolana se vio sustancialmente afectada por este fenómeno, volcándose en un desarrollo de este sector y posicionándose como la principal actividad productiva del país. A lo largo de los años esta industria ha crecido de manera vertiginosa, lo cual ha llevado a una evolución técnica y a un perfeccionamiento de los procesos perforación, manejo y refinación de hidrocarburos. La empresa estatal PDVSA (Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima), es la encargada de la explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano, razón por la cual sus equipos e instalaciones deben mantener altos estándares de calidad, desde su fabricación hasta su funcionamiento.

TRIME, C.A. es un grupo de empresas generales especializadas con más de 35 años de experiencia y recursos humanos altamente calificados, líder en la realización de proyectos y obras en el área del petróleo, gas, generación e infraestructura. En virtud de mantener los estándares de calidad se maneja un estricto apego a las normas internacionales de procesos de fabricación, principalmente la ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, por sus siglas en inglés), así como un riguroso sistema de evaluación a su personal calificado.

Entre los proyectos más comunes que maneja la empresa TRIME, C.A. en la actualidad, se puede destacar la fabricación de equipos e instalaciones relacionadas con la industria petrolera, tal como módulos destinados al manejo de hidrocarburos, entre ellos:

sistemas de tuberías y bancos de medición. Un ejemplo de esto, es el SKID de válvula selectora multipuerto destinada a una extracción de crudo por parte de la empresa estatal PDVSA. Este consiste en un intrincado sistema de tuberías encargado de conducir el crudo proveniente de distintos pozos hacia zonas donde se miden sus propiedades. En el ensamble de este equipo se efectúan gran cantidad de uniones soldadas, principalmente (para tuberías de diámetros menores a 4 pulgadas) mediante proceso el GTAW (Soldadura por arco de tungsteno y gas protector, por sus siglas en inglés), también conocida como soldadura con argón. Generalmente, en el manejo de hidrocarburos se someten a las tuberías a condiciones críticas de funcionamiento, por lo cual es necesario mantener un seguimiento del proceso de fabricación para garantizar la calidad del trabajo.

En la soldadura por argón GTAW, la correcta selección y control de los parámetros inherentes al proceso es crucial para la obtención de un cordón de soldadura uniforme y con un mínimo de defectos. Factores como la intensidad de corriente, la velocidad de pasada del electrodo, el flujo de argón (gas protector), entre otros, deben manejarse dentro de los valores normalizados para garantizar la calidad de la soldadura. Además, es necesario contar con soldadores altamente calificados para dicho procedimiento.

Sin embargo, durante la inspección de cada proyecto, constantemente se presentan defectos en algunas juntas soldadas, los cuales son principalmente atribuidos a errores del personal durante el proceso de soldadura. Esto muchas veces implica tener que deshacer y repetir el proceso en las juntas defectuosas, lo que conduce a un trabajo adicional y el consecuente aumento en el tiempo de finalización del proyecto.

Para mantener un control de la calidad de la soldadura, la empresa TRIME, C.A. efectúa una evaluación del rendimiento de cada soldador participante en el proyecto. Esto se determina mediante un indicador porcentual denominado “**Índice de Rechazo de Soldadura por Soldador**”, el cual representa el número de juntas soldadas con defectos

fuera de la tolerancia permitida por el código de construcción, realizadas por dicho soldador, respecto a la muestra de estudio seleccionada. Esta muestra está basada en los requerimientos y especificaciones del cliente y el Código de Construcción aplicable. La detección de defectos en las juntas se realiza mediante la aplicación de Gammagrafía Industrial (parte interna del cordón de soldadura) y tintes penetrantes (partes superficial del cordón de soldadura) a la muestra seleccionada.

Entre la gama de defectos que se observan en las juntas soldadas por el proceso GTAW, se puede mencionar la aparición de zonas de fusión incompleta, socavación interna y porosidades, siendo esta última la de más frecuente aparición y que genera más rechazos, según los registros de la empresa. Son muchos los factores que pueden generar porosidades, ya sea los referentes a la máquina de soldadura, al ambiente de trabajo, o bien los relacionados con la técnica del soldador.

Para efectos de esta investigación, se estudió la influencia de la intensidad de corriente y el flujo de argón (gas inerte), para determinar la sensibilidad de aparición de las porosidades en juntas soldadas de tuberías de Acero SA 106 Gr. B, mediante el proceso GTAW, con el fin de generar recomendaciones acerca de la combinación más adecuada de dichos parámetros en pro de disminuir la manifestación de este defecto.

## **1.2 FORMULACIÓN**

¿Qué incidencia tiene la variación de la intensidad de corriente y el flujo de argón en la aparición de porosidades en juntas soldadas de tuberías de acero SA 106 Gr. B mediante el proceso GTAW? y ¿Qué combinación de estos parámetros es más adecuada para disminuir este efecto?

### **1.3 IMPORTANCIA**

Enmarcados en la proposición de la empresa TRIME, C.A., se planteó el estudio de juntas soldadas en tuberías para determinar la sensibilidad de aparición de defectos, específicamente porosidades, según la variación de parámetros, todo esto en virtud de la necesidad de disminuir estos defectos en el proceso de soldadura de tipo GTAW. Esto puede generar un mayor control en el proceso. Cabe destacar, que únicamente son revisadas a fondo las soldaduras según el porcentaje especificado por el cliente al cual se le está prestando servicios, quedando una fracción mayoritaria de juntas que sólo es evaluada mediante una inspección visual. Si se conoce cuál es el rango donde los parámetros son potenciales generadores de defectos en las juntas soldadas, se puede establecer un control riguroso sobre estas variables del proceso y así asegurar que las porosidades serán disminuidas de manera considerable, evitando la reparación de la junta que conduce a un costo adicional de recurso humanos, de tiempo y, por ende, económico.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo General del Trabajo**

Evaluar la influencia de las variables que rigen el proceso de soldadura de tipo GTAW en la generación de porosidades en juntas de tuberías de acero SA 106 Gr. B.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Detectar la defectología resultante del proceso de soldadura según la variación de parámetros establecida, mediante inspección visual y radiografías.

2. Analizar la sensibilidad de aparición de porosidades según la variación de parámetros establecida.
3. Determinar la combinación de parámetros (intensidad de corriente – flujo de argón) dentro del rango de estudio que minimice la aparición de porosidades.

## **1.5 LIMITACIONES**

La limitada disponibilidad del material de trabajo impone una restricción a la hora de establecer el número de muestras a estudiar. Esto es debido a que el material es importado.

## **1.6 ALCANCE**

El estudio está dirigido a las soldaduras de tipo GTAW en juntas de tuberías de 2 pulgadas de diámetro (50,8mm), de acero SA 106 Gr. B, con material de aporte ER70S-3, evaluando la aparición de porosidades según la variación de la intensidad de corriente y el flujo de argón. Se fijaron tres valores para cada parámetro dentro de los valores normalizados, combinándolos entre sí, y a su vez, repitiendo este proceso tres veces. La evaluación fue realizada mediante inspección visual y radiografías.

El intervalo de valores para variación de intensidad de corriente, según el WPS (especificación del procedimiento de soldadura, por siglas en ingles), debe realizarse según la varilla de aporte utilizada, siendo el material ER 70S-3, para diámetro de 1/16 pulg, el intervalo de intensidad de corriente fue 80-120 amperios. Cabe acotar que para ambos diámetros la polaridad debe ser negativa y en corriente directa. En el caso del flujo de gas argón el WPS establece un intervalo de 0,283 – 0,85 m<sup>3</sup>/h (10 - 30 pie<sup>3</sup>/h), por lo tanto la variación se realizó según este rango.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 REVISIÓN DE ANTECEDENTES.

**Torres (2002)** estudió una relación entre las variables de un proceso de soldadura GMAW, como: La intensidad de corriente, tensión, la velocidad de soldadura, entre otras variables, sobre una aleación de aluminio 6061. Este realizó estudios microdureza, ensayos de calorimetría y fotomicrografías ópticas en la soldadura. Pudo determinar que el comportamiento mecánico se ve fuertemente influenciado por el aporte térmico recibido en el material durante su unión, donde resultan ser interesantes la línea de fusión y defectología del cordón que potencia la falla en esa posición. Este aporte calórico es inherente la cantidad de energía disipada involucrándose las variables tensión e intensidad de corriente. Las fallas de la unión se producen mayoritariamente en las zonas afectadas por el calor.

**Zapata (2004)** realizó una recopilación de los conocimientos fundamentales que personas involucradas en el proceso de manufactura por soldadura deben poseer, y su relación con los criterios técnicos, los cuales aplicó específicamente en la elaboración del estándar de soldadura. Esta exploración, involucra información de la especificación del procedimiento de soldadura WPS, el control de materiales, calificación del soldador, control de calidad donde especifica los procedimientos para la evaluación como los ensayos destructivos y no destructivos.

la investigación concluye que en los diferentes procesos de fabricación, es la unión de metales el más regulado, por esta razón es de suma importancia tener procedimientos normalizados, donde se monitoreen las variables que intervienen, para el aseguramiento de

la calidad, este es el componente más relevante, que constituye la vía para optimizar la productividad y competitividad.

**Ramírez et al; (2006)**, efectuaron una investigación en la soldadura de un acero inoxidable dúplex 2205 mediante el proceso GTAW, siendo una parte de este estudio la determinación de los parámetros de soldadura como son: la intensidad de corriente, velocidad de avance entre otros, a fin de determinar un mínimo número de pases y posibles daños por defectos. En relación a la determinación de mejor rango de parámetros, específicamente en la intensidad de corriente, toman 6 diferentes valores, los cuales conllevan a selección de un rango que preste los mejores resultados. De igual manera con la velocidad de avance se establece un rango de mejor prestación. Concluyeron experimentalmente entre otras cosas, mediante la evaluación de la soldadura por ensayos no destructivos, microscopía entre otros que si se lograba realizar el proceso de soldadura GTAW del acero inoxidable dúplex 2205 en los parámetros recomendados, estos disminuían los defectos tales como: costras, costuras, escamas, porosidades, inclusiones de escorias y falta de fusión.

**Bylica y Adamiak (2008)** estudiaron la capa superficial del acero C45 cuando es sometida a un flujo de calor concentrado mediante el proceso de soldadura GTAW. Variando la intensidad de corriente eléctrica y la velocidad de avance del electrodo por separado, observando mediante pruebas de microscopía la microestructura y determinando la dureza de las capas superficiales, se demostró la relación existente entre la intensidad de corriente eléctrica, así como la tasa de avance, y la microdureza obtenida en la superficie del material.

**Huang (2009)** investigó la influencia de la variación del contenido de nitrógeno en la composición del gas de protección de argón, y el flujo activado, con respecto a la morfología de la soldadura, la distorsión angular, la retención de delta-ferrita, propiedades

mecánicas y susceptibilidad de agrietamiento en caliente. Variando el contenido de nitrógeno en un rango de entre 2,5 y 10% de volumen del gas. La activación del flujo consiste en aplicar una mezcla de polvo de óxido de manganeso y óxido de zinc. Resultando que, con el incremento del porcentaje de nitrógeno se obtuvo un aumento en la penetración, la tensión residual, retención de delta-ferrita, y la dureza, así como la susceptibilidad al agrietamiento por calor. Pero se redujo marcadamente la distorsión angular. Sin embargo, con el flujo activado se observó una variación mayor en las propiedades del acero inoxidable. Con el estudio quedo en evidencia la sensibilidad de variación de la soldadura resultante al modificarse la composición del gas de protección original.

**Gonzalez y Pribyl (2010)** estudiaron el efecto que tiene el amperaje usado en el proceso de soldadura SMAW sobre esfuerzos residuales, debido a esta variación del parámetro será necesario asegurar la calidad de la soldadura. El procedimiento se basó en la variación de la intensidad de corriente en 80, 90, 100, 110 y 120 amperios (A), y la determinación de los esfuerzos residuales mediante ensayos de tracción y microdureza. Se logró concluir que los esfuerzos residuales disminuyen usando un amperaje de 80 a 90, alcanzan su mayor máximo para 100A y por ultimo vuelven a disminuir al aumentar el amperaje.

**Tapia (2010)** estudió la aparición de porosidades en juntas soldadas y su efecto en las propiedades mecánicas del cordón de soldadura. Se forzó la aparición de porosidades sometiendo a la soldadura a diversas condiciones adversas como el exceso de humedad, enfriamientos bruscos con agua y/o aire, o utilizando electrodos con revestimiento defectuoso. Inspeccionando las porosidades generadas mediante exposición a rayos X, y aplicando ensayos de doblado y tracción para determinar las propiedades mecánicas de la soldadura, determinó que el enfriamiento brusco con agua y los defectos en el revestimiento de del electrodo son las condiciones más propicias para la generación de porosidades, y que estas, disminuyen notablemente la resistencia mecánica de la juntas soldadas.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Soldadura**

La Sociedad Americana de Soldadura, conocida como AWS por sus siglas en inglés, define una soldadura como una coalescencia localizada (fusión o unión de la estructura de granos de los materiales que se están soldando) de metales o no metales producida mediante el calentamiento de los materiales a las temperaturas de soldadura requeridas, con o sin aplicación de presión, o mediante la aplicación de presión sola, y con o sin el uso de material de aporte. En lenguaje menos técnico, una soldadura se produce cuando piezas separadas de material que se van a unir se combinan y forman una sola pieza al ser calentadas a una temperatura lo suficientemente alta como para causar su ablandamiento o fusión, y en consecuencia fluyen juntas. Se puede utilizar o no presión para unir las piezas. En algunos casos, la presión sola puede ser suficiente para forzar a que las piezas de material separadas se combinen y formen una sola pieza. Cuando es necesario, se agrega material de aporte para formar una soldadura completa en la junta. Es importante señalar que se utiliza la palabra material porque hoy en día se pueden hacer soldaduras de una lista cada vez mayor de materiales, como plástico, cristal y cerámica. (Jeffus, 2009)

Los defectos de la soldadura resultan determinantes para la utilidad del material soldado. El metal de aportación y las consecuencias derivadas del suministro de calor pueden afectar a las propiedades de la pieza soldada. (Jeffus, 2009)

### **2.2.2 Sociedad Americana de Soldadura**

Es una organización sin fines de lucro dedicada al avance de la ciencia, la tecnología y la aplicación de la soldadura y aliados. Se fundó en 1919 para facilitar el crecimiento de la recientemente desarrollada tecnología de soldadura eléctrica como una alternativa a otros

métodos de junta de metales .Hoy en día, la AWS tiene cerca de 70.000 afiliados alrededor del mundo, con secciones locales en cada continente. La misma tiene sus oficinas centrales en Miami para el fácil acceso desde todo el mundo.

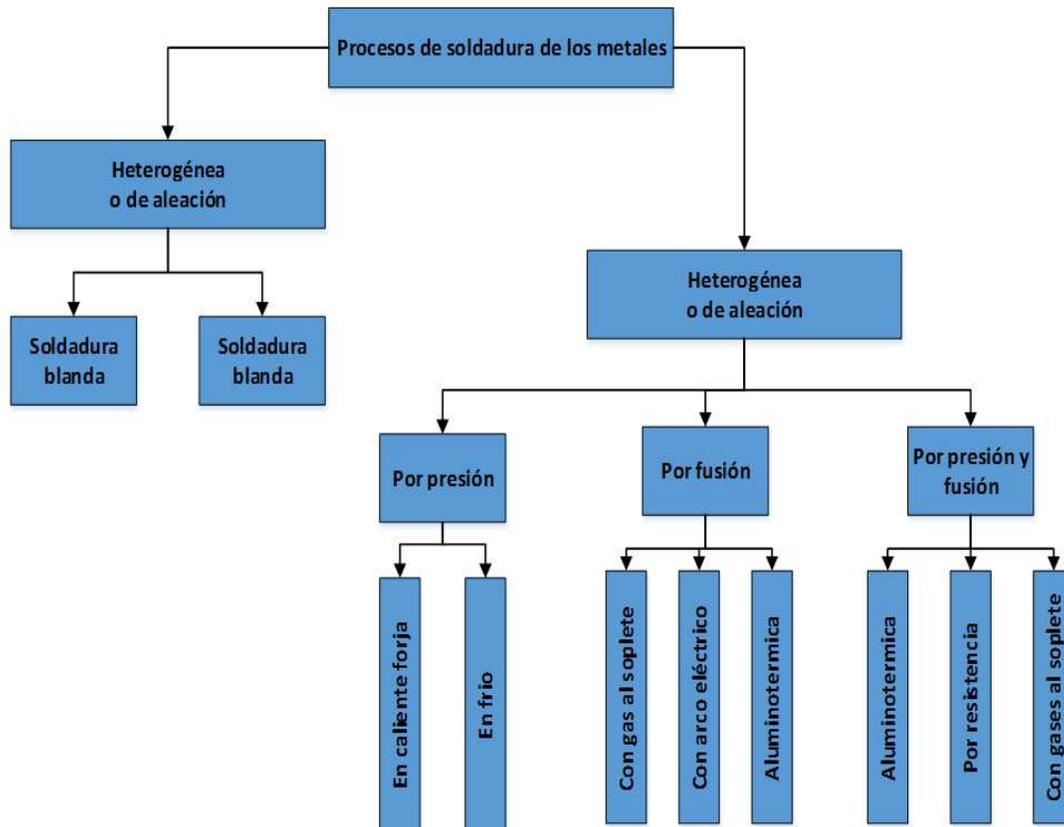
Las normas y certificaciones de la AWS son reconocidas y utilizadas en muchas naciones. Los países que centran su atención en el desarrollo de la infraestructura y el comercio mundial utilizan las normas y certificaciones de la AWS debido a su éxito probado en el apoyo del crecimiento económico, la seguridad y la calidad. Para la construcción y la infraestructura, los códigos estructurales de la AWS como el D1.1, proveen un balance entre la eficiencia y la calidad puesto a prueba en la práctica. Otras más de 200 normas de la AWS proveen criterios concisos e integrales para la producción y la evaluación de todos los tipos de productos y materiales soldados, utilizando virtualmente todos los procesos de soldadura. El enfoque de la AWS para certificar inspectores de soldadura y otros profesionales es también reconocido como el mejor enfoque para asegurar calidad a la vez que se mantiene una alta productividad. (Jeffus, 2009)

### **2.2.3 Clasificación de los tipos de soldadura**

En primer lugar, como se observa en la figura 2.1, se pueden distinguir los siguientes tipos de soldadura:

#### **2.2.3.1 Soldadura heterogénea**

Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación, o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser blanda o fuerte. En la figura 2.2 se puede observar un ejemplo de esto. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)



**Figura 2.1** Esquema de clasificación de la soldadura (Jeffus, 2009).

*Soldadura blanda:* Para el caso de los metales se realiza a temperaturas por debajo de los  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El material metálico de aportación más empleado es una aleación de estaño y plomo, que funde a  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

*Soldadura fuerte:* También se llama dura o amarilla. Es similar a la blanda, pero se alcanzan temperaturas de hasta  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Como metal de aportación se suelen usar aleaciones de plata, y estaño (conocida como soldadura de plata); o de cobre y cinc. Como material fundente para cubrir las superficies, desoxidándolas, se emplea el bórax. Un soplete de gas aporta el calor necesario para la unión. La soldadura se efectúa generalmente a tope, pero también se suelda a solape y en ángulo. Este tipo de soldadura se lleva a cabo cuando se exige una resistencia considerable en la unión de dos piezas

metálicas, o bien se trata de obtener uniones que hayan de resistir esfuerzos muy elevados o temperaturas excesivas. Se admite que, por lo general, una soldadura fuerte es más resistente que el mismo metal que une. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)



a)

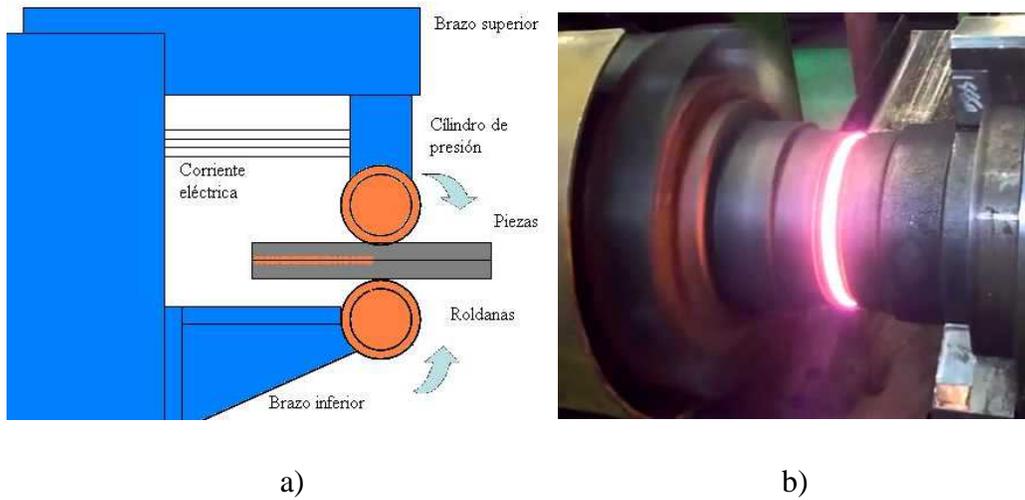
b)

**Figura 2.2** Soldadura Heterogénea. a) Blanda b) Fuerte

### 2.2.3.2 Soldadura Homogénea

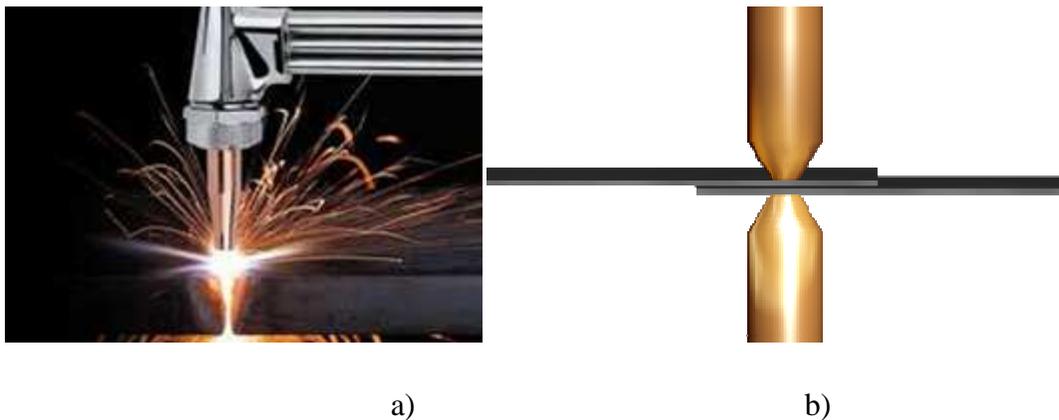
En este tipo de soldadura el material base y el de aportación, si se utiliza, son de igual naturaleza. El proceso se lleva a cabo fundiendo los bordes de las piezas a unir y añadiendo el material de aportación, también fundido, que evite la carencia de material en la zona de unión. Durante la fusión se mezclan el material base y el de aportación; esta mezcla en estado líquido recibe el nombre de baño de fusión. Una vez solidificado el baño de fusión, constituirá el cordón de soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

*Soldadura por presión:* La soldadura por presión (en frío o en caliente) , es un tipo de soldadura donde la unión entre los metales se produce sin aportación de calor. Consiste en aplicar presión las piezas en cuestión hasta que se produzca la unión. Puede resultar muy útil en aplicaciones en las que sea fundamental no alterar la estructura o las propiedades de los materiales que se unen. Esta soldadura se puede apreciar en la figura 2.3. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)



**Figura 2.3** a) Soldadura por presión b) Soldadura por fricción (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

*Soldadura por fricción:* Se someten dos piezas a movimiento relativo entre sí, generalmente haciendo girar una respecto a la otra, a la vez que se aplica presión, hasta que se calienten lo suficiente para entrar en estado plástico, momento en el cual cesa el movimiento bruscamente (figura 2.3). Al enfriarse, las piezas quedan unidas. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)



**Figura 2.4** a) Soldadura Oxiacetilénica b) Soldadura por Resistencia Eléctrica (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

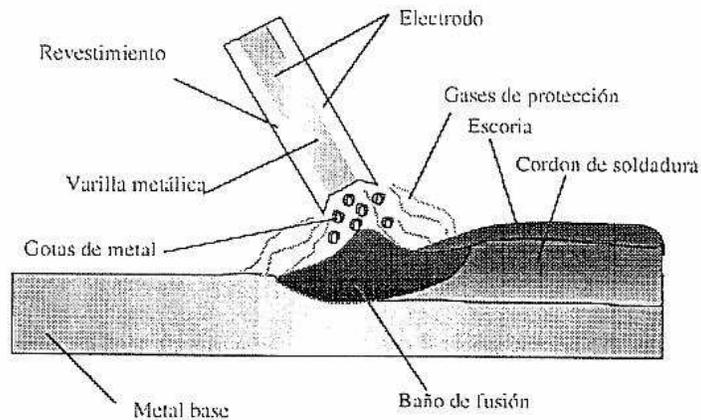
*Soldadura oxiacetilénica (con gases al soplete):* Este tipo de soldadura el calor aportado se debe a la reacción de combustión del acetileno ( $C_2H_2$ ) que resulta ser fuertemente exotérmica, pues se alcanzan temperaturas del orden de los  $3500\text{ }^{\circ}C$  (figura 2.4). (Pender, 1989)

*Soldadura por resistencia eléctrica:* El calentamiento se produce al pasar una corriente eléctrica a través de la unión de las piezas. Estas, generalmente chapas, quedan soldadas por pequeñas zonas circulares aisladas y regularmente espaciadas que, debido a su reducido tamaño, se denominan puntos. Las chapas se sujetan por medio de los electrodos y, a través de ellos, se hace pasar la corriente eléctrica para que funda los puntos. Cuando se solidifican, la pieza queda unida por estos puntos, cuyo número dependerá de las aplicaciones y de las dimensiones de las chapas que se unen (figura 2.4). (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

*Soldadura por arco eléctrico:* En la actualidad, la soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias. Es un sistema de reducido costo, de fácil y rápida utilización, buenos resultados y aplicables a toda clase de metales. Puede ser muy variado el proceso. (Pender, 1989)

El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. Al ponerse en contacto los polos opuestos de un generador se establece una corriente eléctrica de gran intensidad. Si se suministra la intensidad necesaria, la sección de contacto entre ambos polos por ser la de mayor resistencia eléctrica se hace incandescente. Esto puede provocar la ionización de la atmósfera que rodea a la zona de contacto haciendo que el aire se vuelva conductor, de modo que al separar los polos el paso de corriente eléctrica se mantenga de uno a otro a través del aire. En la figura 2.5

se observa las características de la zona de fusión durante la soldadura. (Pender, 1989)



**Figura 2.5** Descripción gráfica de la soldadura por arco (Pender, 1989)

### 2.2.3.3 Soldadura TIG o GTAW

El proceso se denomina *Soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa*. Es un procedimiento de soldadura con electrodo refractario bajo atmósfera gaseosa. Esta técnica puede utilizarse con o sin metal de aportación. El gas inerte, aísla el material fundido de la atmósfera exterior evitando así su contaminación. El arco eléctrico se establece entre el electrodo y la pieza. El gas inerte envuelve también al electrodo evitando toda posibilidad de oxidación. (Giachino & Weeks, 2007)

Como material para la fabricación del electrodo se emplea el tungsteno. Se trata de un metal escaso en la corteza terrestre que se encuentra en forma de óxido o de sales en ciertos minerales. De color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos, de ahí que se emplee para fabricar los electrodos no consumibles para la soldadura TIG. (Giachino & Weeks, 2007)

*Características del proceso:* Las características del proceso son todas aquellas que involucran en el proceso de soldadura, a continuación se presentan:

- **Fuente de calor:** Por arco eléctrico.
- **Tipo de electrodo:** No consumible.
- **Tipo de protección:** Por gas inerte.
- **Material de aportación:** Externa, mediante varilla, aunque para el caso de chapas finas se puede conseguir la soldadura mediante fusión de los bordes sin aportación exterior.

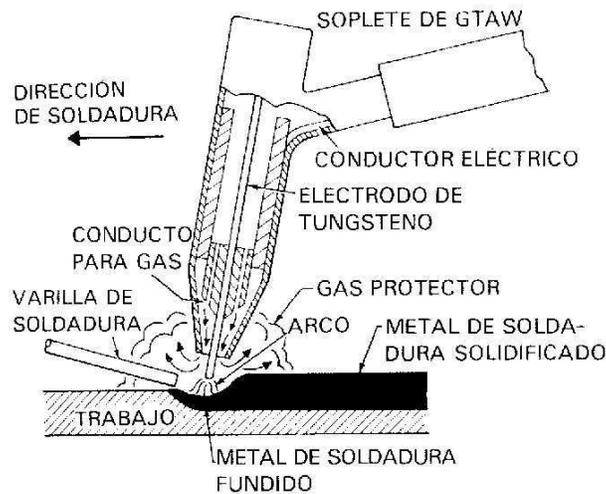
La soldadura que se consigue con este procedimiento puede ser de muy alta calidad, siempre y cuando el operario muestra la suficiente pericia en el proceso. Permite controlar la penetración y la posibilidad de efectuar soldaduras en todas las posiciones. Es por ello que sea éste el método empleado para realizar soldaduras en tuberías.

Una variante de este proceso es el llamado soldadura con gas argón pulsado, donde la corriente que se aplica varía entre dos niveles a frecuencias que dependen del tipo de trabajo, consiguiéndose mejorar el proceso de cebado. Para este caso el tipo de corriente a emplear es alterna. El TIG pulsado tiene aplicación sobre todo para pequeños espesores. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

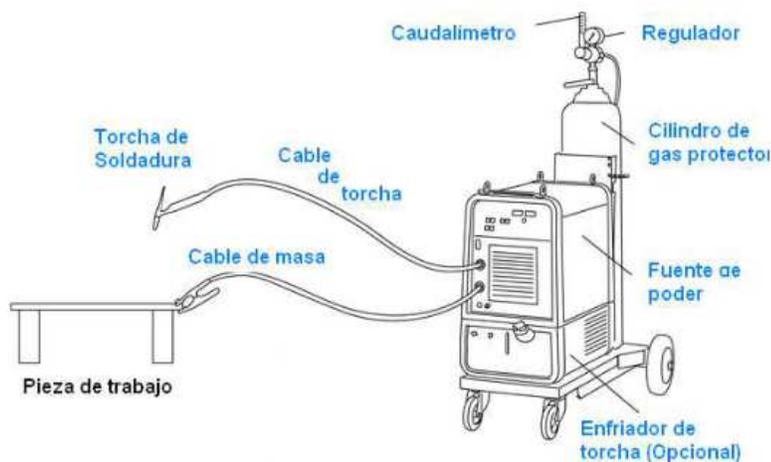
La descripción del procedimiento de soldadura GTAW puede apreciarse en la figura 2.6

*Equipo básico para la soldadura de tipo GTAW:* Como se observa en las figuras 2.7 y 2.8, el equipo básico a utilizar para efectuar una soldadura mediante el proceso GTAW se menciona a continuación.

- **Generador de corriente CC y/o CA** de característica descendente;
- **Generador de alta frecuencia o de impulsos**, que mejora la estabilidad del arco en caso de empleo de CA, y facilita el cebado;
- El circuito de gas
- Pinza Porta-electrodo (torcha)
- Circuito de refrigeración



**Figura 2.6** Descripción gráfica del proceso GTAW (TIG) (Giachino & Weeks, 2007)



**Figura 2.7** Equipo básico para llevar a cabo el proceso GTAW (Giachino & Weeks, 2007)



**Figura 2.8** Despiece de la torcha- (Giachino & Weeks, 2007)

La pinza termina formando una tobera por donde sale el gas, sobresaliendo el electrodo por su centro.

Como ya se ha dicho, el procedimiento TIG es de aplicación para todo tipo de metales y en soldaduras con responsabilidad, debido a la gran calidad de los cordones que se obtienen. No obstante, requiere cierta pericia en la fase inicial de cebado del arco, debido a la posibilidad que existe que durante esta fase ocurra que el extremo del electrodo toque la pieza. Si esto se produce, puede originarse la contaminación del baño con restos del electrodo que puedan desprenderse. (Giachino & Weeks, 2007)

En ocasiones la soldadura TIG se emplea en combinación con otros procesos, siendo el ejecutado mediante TIG el primer cordón de soldadura que se deposite.

*Ventajas y Limitaciones del proceso:* entre las principales ventajas del proceso GTAW se tienen:

- Excelente control del baño de soldadura.
- Permite la soldadura de metales sin usar metal de aporte.
- Permite la mecanización y la automatización del proceso.
- Útil en la soldadura de la mayoría de los metales.
- No genera salpicaduras, siempre y cuando se haga una buena ejecución de la soldadura.
- Requiere poca o ninguna limpieza después de culminado el proceso.
- Permite controlar en forma independiente la fuente de calor y la adición de metal de aporte. (Jeffus, 2009)

Como principales limitaciones se pueden mencionar:

- El costo de los repuestos y el equipo es relativamente alto.
- Se requiere de un personal altamente calificado para efectuar el proceso.
- Para espesores mayores a 10mm (3/8") resulta más costoso que los procesos con electrodo consumible.
- Es difícil proteger la zona de soldadura en lugares donde hay corrientes de aire

#### **2.2.3.3.1 Parámetros relacionados con el proceso**

*Material de aporte:* Cuando se utilice material de aportación para la soldadura, éste debe ser similar al material base de las piezas a soldar. Este procedimiento no genera escorias al no emplearse revestimientos en el electrodo, ni tampoco proyecciones. Normalmente las varillas empleadas como producto de aporte son de varios diámetros en función de los espesores de las piezas a unir.

Durante el proceso de soldadura se debe tener la precaución de mantener dentro del flujo de gas la parte caliente de la varilla con el material de aporte, de lo contrario este se oxidaría perdiendo propiedades.

*Gases de protección:* La función principal de los gases de protección en el proceso TIG es evitar el contacto del aire ambiente con el electrodo y el metal fundido, en el momento en que se realiza la soldadura. El gas empleado también tiene influencia en la estabilidad, características y comportamiento del arco, y por consiguiente en el resultado de la soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

El efecto de protección del gas depende de:

- El flujo de gas.
- El tipo de soldadura.
- El tamaño de la cubierta de gas.
- La longitud del arco.
- La posición de la soldadura.

Los gases más empleados en la soldadura TIG son Argón, Helio, o una combinación de ambos; los cuales deben tener una alta pureza (normalmente 99.99%).

Para una misma longitud de arco y corriente, el Helio necesita un voltaje superior que el Argón para producir el arco. Debido a su excelente conductividad térmica, el Helio produce mayor temperatura que el Argón en el área soldada, por ende se logra una penetración mucho mayor que con el Argón, resultando más efectivo en la soldadura de materiales de gran espesor.

El Argón se adapta mejor a la soldadura de metales de menor conductividad térmica y de poco espesor, en particular para posiciones de soldadura distintas a la plana. En la tabla 2.1 se pueden apreciar los gases inertes utilizados para diferentes metales.

Cuanto más denso sea el gas, mejor será su resultado a los efectos de protección del

arco. El Argón es aproximadamente 10 veces más denso que el Helio, y un 30% más denso que el aire, por lo cual forma una densa nube protectora, mientras que la acción del Helio es mucho más liviana y vaporosa, la cual se dispersa rápidamente. Debido a esto serán necesarias mayores cantidades de gas en caso de usar Helio (puro o mezclas que contengan mayoritariamente Helio) que si se utilizara Argón. (Molera, 1982)

Actualmente el Helio ha sido reemplazado por el Argón, o por mezclas Argón-Hidrógeno o Argón-Helio. Esto se debe a que estos gases ayudan a mejorar la generación del arco eléctrico y características de transferencia de metal durante la soldadura, favorecen la penetración incrementando la temperatura producida, el ancho de la zona de fusión, la velocidad de formación de soldadura; además de reducir la tendencia al socavado.

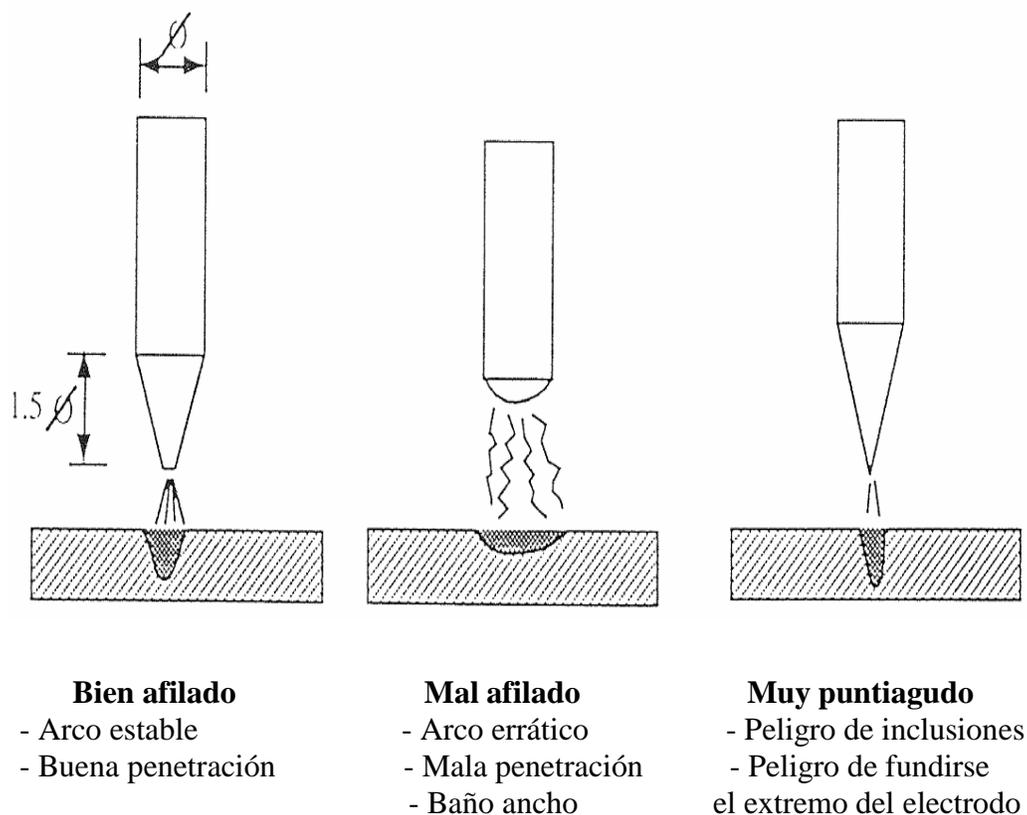
**Tabla 2.1** Gases de protección a utilizar para diversos metales

| <b>Gases inertes para GTAW</b>       |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Metal a soldar                       | Gas           |
| Aluminio y sus aleaciones            | Argón         |
| Latón y sus aleaciones               | Helio o Argón |
| Cobre y sus aleaciones (menor a 3mm) | Argón         |
| Cobre y sus aleaciones (mayor a 3mm) | Helio         |
| Acero al carbono                     | Argón         |
| Acero Inoxidable                     | Argón         |

*Electrodos:* Los electrodos empleados en la soldadura TIG deben ser tales en su naturaleza y diseño, que garanticen un correcto ajuste y mantenimiento del arco eléctrico. Por otro lado, al no ser consumibles, deben estar constituidos de materiales con un elevadísimo punto de fusión (>4.000 °C) que eviten su degradación. Entre los materiales existentes es el Tungsteno, en estado puro o aleado, el que mejor cumple con las

condiciones exigibles. También se suele utilizar con ciertos componentes añadidos a su composición. Estos elementos aleantes favorecen en ciertos aspectos, como el encendido del arco, y además mejoran su estabilidad, aparte de incrementar también el punto de fusión del tungsteno puro. Así se suele utilizar como material para los electrodos el tungsteno aleado con torio (Th) o con circonio (Zr). (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

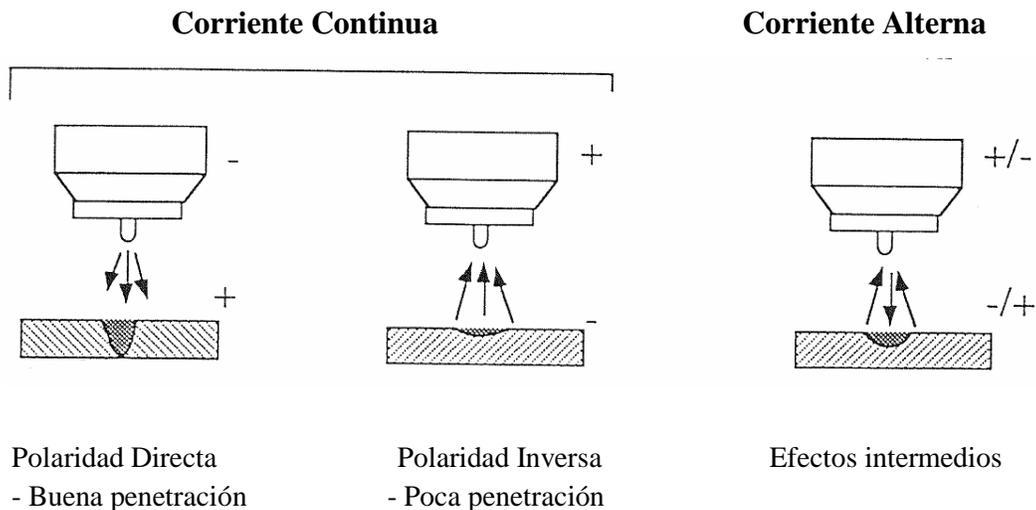
Los electrodos se presentan en forma cilíndrica con una gama de diámetros de 1.6, 2.4 y 3.2 mm. Cabe destacar la importancia del afilado en el extremo del electrodo, que incide de manera decisiva en la calidad de la soldadura, como se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.9** Efecto del afilado del electrodo en la soldadura (Jeffus, 2009)

*Corriente Eléctrica:* Para las soldaduras TIG se puede emplear tanto la corriente continua como alterna. En la figura 2.10 se expone los resultados del empleo de uno u otro tipo de corriente.

La intensidad de corriente requerida será función del diámetro del electrodo que se utilice y del espesor del material que se vaya a soldar.



**Figura 2.10** Efectos del tipo de corriente y la polaridad en la soldadura (Jeffus, 2009)

#### 2.2.4 Defectologías de Soldadura

Para ahondar en el tema defectos en las soldaduras es necesario, definir que son los defectos y discontinuidades en los cordones de soldaduras.

Una *discontinuidad* es una falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.

Un *defecto* es una discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realizar un

ensayo no destructivo se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable. (Jeffus, 2009)

Las discontinuidades más frecuentes que se encuentran en las soldaduras son las siguientes:

#### ***2.2.4.1 Fusión incompleta***

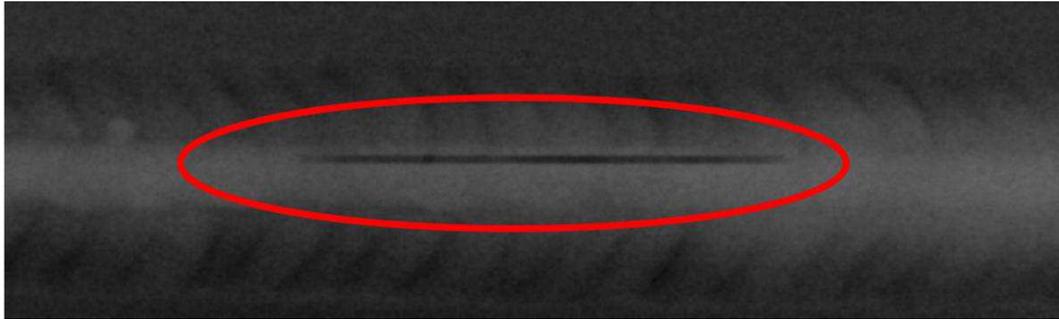
Discontinuidad bidimensional causada por la falta de unión entre los cordones de soldadura y el metal base, o entre los cordones de la soldadura.

Es el resultado de técnica de soldadura, preparación del metal base, o diseño de la junta inapropiados. Entre las deficiencias que causan la fusión incompleta se destacan el insuficiente aporte de calor de soldadura, falta de acceso a toda la superficie de fusión, o ambas. El óxido fuertemente adherido interferirá con una completa fusión, siempre que haya un correcto acceso a las superficies de fusión y un adecuado aporte de calor a la soldadura (figura 2.11). (Jeffus, 2009)

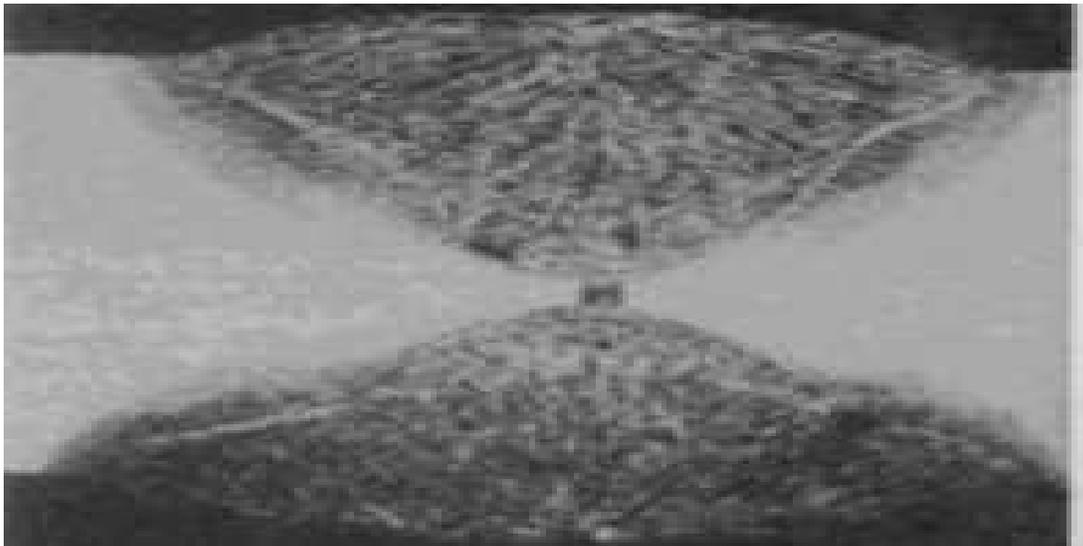
#### ***2.2.4.2 Penetración incompleta o falta de penetración***

Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta, como puede observarse en la figura 2.12. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como penetración incompleta. Esta puede resultar de un insuficiente aporte de calor de soldadura, diseño de la junta inapropiado (por ejemplo demasiado espesor para ser penetrado por el arco, o chanfle insuficiente), o control lateral inapropiado del arco de soldadura. Algunos procesos tienen una mayor capacidad de penetración que otros. Las soldaduras en tuberías son especialmente vulnerables a este tipo de discontinuidad, dado que el lado interior es usualmente inaccesible. Los diseñadores frecuentemente emplean una planchuela de respaldo para auxiliar a los soldadores en tales

casos. (Jeffus, 2009)



**Figura 2.11.** Fusión incompleta en soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

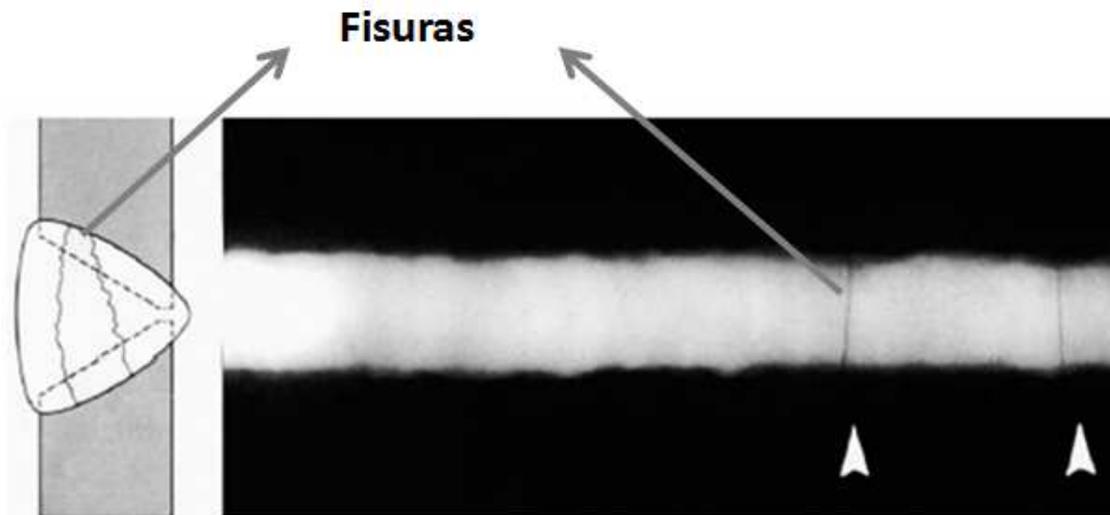


**Figura 2.12.** Falta de penetración en soldaduras. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

### 2.2.4.3 Fisuras

Se presentan a través del cordón de soldadura cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material, en la figura 2.13 se observan grietas detectadas a través de radiografía. La mayor parte de las normas consideran que las fisuras son, independientemente de su longitud, defectos y por lo tanto una vez detectadas deben removerse, eliminarse. Las fisuras, según su forma, pueden ser longitudinales, transversales, cráteres, de garganta, de borde y de raíz. Estas discontinuidades pueden

producirse en caliente (durante la solidificación) o en frío (asociadas por la fragilización por alto contenido de hidrógeno). (Jeffus, 2009)



**Figura 2.13.** Fisuras en soldadura. (Jeffus, 2009)

#### 2.2.4.4 Socavadura

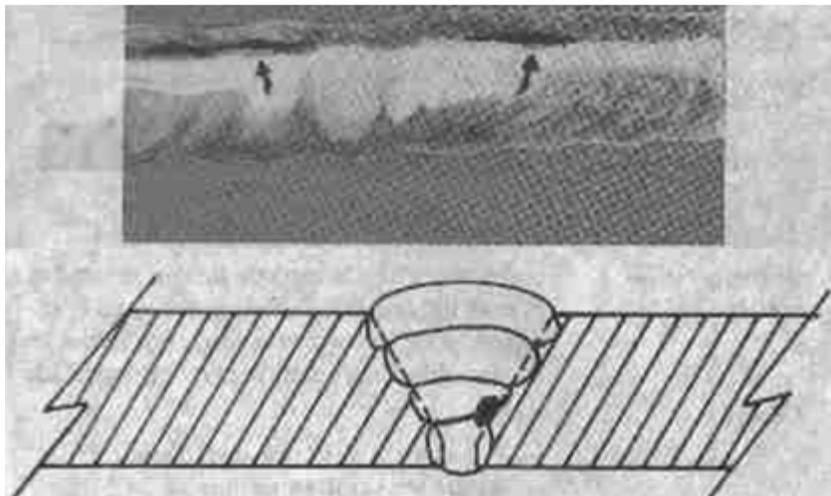
Asociadas generalmente con técnicas inapropiadas y/o corrientes excesivas de soldadura. La socavadura es una muesca o canaleta o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura (figura 2.14); es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o caños, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura. Cuando la socavadura es controlada, su longitud está dentro de los límites especificados y no constituye una muesca profunda, no es considerada un defecto de soldadura. (Jeffus, 2009)



**Figura 2.14.** Socavadura en soldadura. (Jeffus, 2009)

#### 2.2.4.5 Inclusiones

*Inclusiones de escoria:* Son sólidos no metálicos atrapados en el cordón de soldadura o entre el metal de aporte y el material base (figura 2.15). Pueden encontrarse en soldaduras hechas por cualquier proceso de arco. En general, estas inclusiones resultan por fallas en la técnica de soldadura, en el diseño de la junta tal que no permita un acceso adecuado, o en una limpieza inadecuada entre los cordones de la soldadura. Placa radiográfica mostrando inclusiones de escoria entre los cordones. Normalmente, la escoria disuelta fluiría hacia la parte superior de la soldadura, pero muescas agudas en la interfase de metal base y de soldadura, o entre los cordones de soldadura, frecuentemente provocan que la escoria quede atrapada bajo el metal de soldadura. A veces se observan inclusiones de escoria alargadas alineadas en la raíz de la soldadura, denominadas “carrileras”. (Jeffus, 2009)



**Figura 2.15.** Inclusiones de escoria en soldadura. (Pender, 1989)

*Inclusiones de Tungsteno:* Son partículas de Tungsteno atrapadas en el metal de soldadura y son exclusivas del proceso GTAW (TIG). En este proceso, un electrodo de Tungsteno no consumible es usado para crear el arco entre la pieza y el electrodo. Si el electrodo es sumergido en el metal, o si la corriente es fijada en un valor muy alto, se depositarán

gotitas de Tungsteno, o se romperá la punta del electrodo y quedará atrapado en la soldadura.

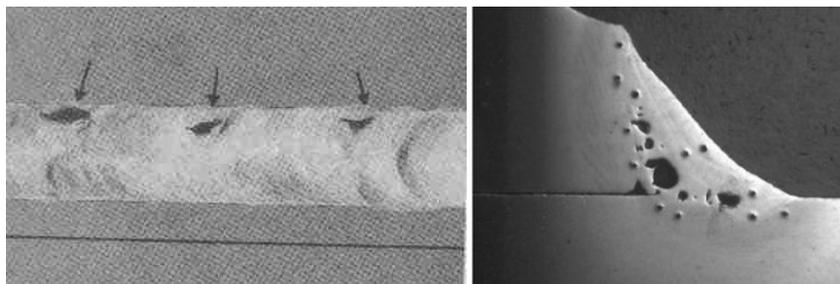
Dichas inclusiones aparecen como manchas claras en la radiografía, pues el Tungsteno es más denso que el acero y absorbe más radiación; se adjunta una vista de una placa radiográfica con inclusiones de tungsteno (figura 2.16). Casi todas las demás discontinuidades, incluyendo las inclusiones de escoria, se muestran como áreas oscuras en las radiografías porque son menos densas que el acero. (Jeffus, 2009)



**Figura 2.16.** Inclusión de tungsteno en soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

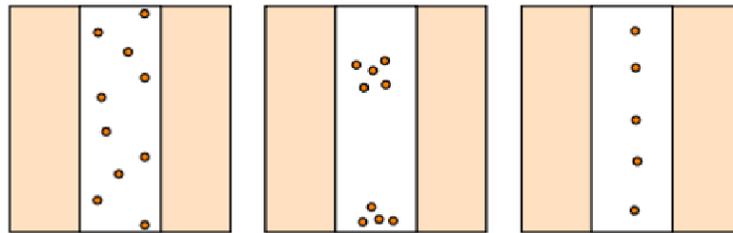
#### **2.2.4.6 Porosidades**

Discontinuidades del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. En la figura 2.17 se aprecia con mayor detalle este defecto.



**Figura 2.17** Porosidades en el cordón de soldadura (Jeffus, 2009)

Las principales causas operativas de la formación de poros están relacionadas con la contaminación con suciedad, óxido y humedad en la superficie del metal base, el estado del material de aporte o por falla en la atmósfera de protección de la pileta líquida (debido a turbulencias en el gas de protección, un flujo muy alto de gas, problemas con el propio equipo o el efecto de las corrientes de aire). Parámetros de soldadura inadecuados como intensidad de corriente muy elevada o arco demasiado largo, pueden causar la formación de porosidades. (Jeffus, 2009)



**Figura 2.18** Diversos tipos de porosidades, a) Uniformemente agrupada, b) Agrupada, c) Alineada (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

Las porosidades pueden presentarse de cuatro distintas maneras, como se muestra en la figura 2.18.

*Porosidad uniformemente dispersa:* Es porosidad uniformemente distribuida a lo largo de la soldadura; causada por la aplicación de una técnica de soldadura incorrecta o por materiales defectuosos. Si la soldadura se enfría lo suficientemente lento para permitir que la mayor parte del gas pase a la superficie antes de la solidificación, habrá pocos poros en la soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

*Porosidad agrupada:* Es un agrupamiento localizado de poros. Generalmente resulta por un inicio o fin inadecuado del arco de soldadura. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013).

*Porosidad alineada:* Frecuentemente ocurre a lo largo de la interfase metal de soldadura / metal base, la interfase entre cordones de soldadura, o cerca de la raíz de soldadura, y

suele ser causada por la contaminación que provoca el gas por su evolución en esos sitios. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

*Porosidad vermicular o tipo gusanos.*: Es un poro de gas alargado. Este tipo de porosidad de soldadura se extiende desde la raíz hasta la superficie de la soldadura. Cuando uno o más poros son vistos en la superficie de la soldadura, un cuidadoso descarnado puede también revelar porosidades subsuperficiales. De todas formas, muchas de las porosidades vermiculares encontradas en soldaduras no se extienden hasta la superficie. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

## **2.2.5 Inspección en soldadura**

Para garantizar la calidad de las soldaduras, es necesario aplicar procedimientos de inspección en los que se revelen los posibles defectos existentes en el cordón de soldadura y así evitar una posible falla cuando la pieza en cuestión se encuentre en operación. (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

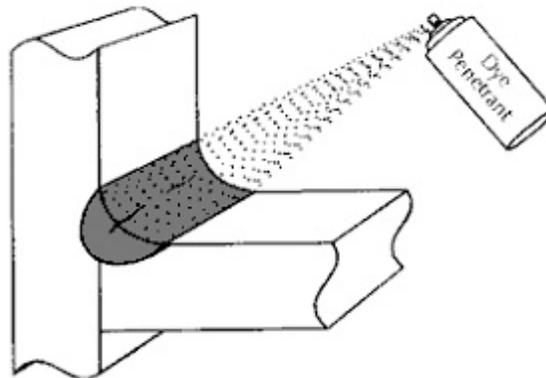
### **2.2.5.1 Ensayos No Destructivos.**

Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada. (Giachino & Weeks, 2007)

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma.

*Ensayo Visual:* Se realiza mediante inspección visual y brinda información inmediata del área evaluada. Aunque su práctica es sencilla, requiere de personal calificado, capaz de comparar los datos obtenidos en la superficie del cordón de soldadura, con los estándares nacionales e internacionales que determinan la aceptabilidad y calidad de una unión soldada. (Giachino & Weeks, 2007)

*Líquidos Penetrantes:* Este ensayo se basa en el principio físico conocido como capilaridad y se realiza, básicamente, mediante la aplicación sobre la superficie a inspeccionar de líquidos de baja tensión superficial que penetran los poros y fisuras, y son retenidos en las discontinuidades (figura 2.19).

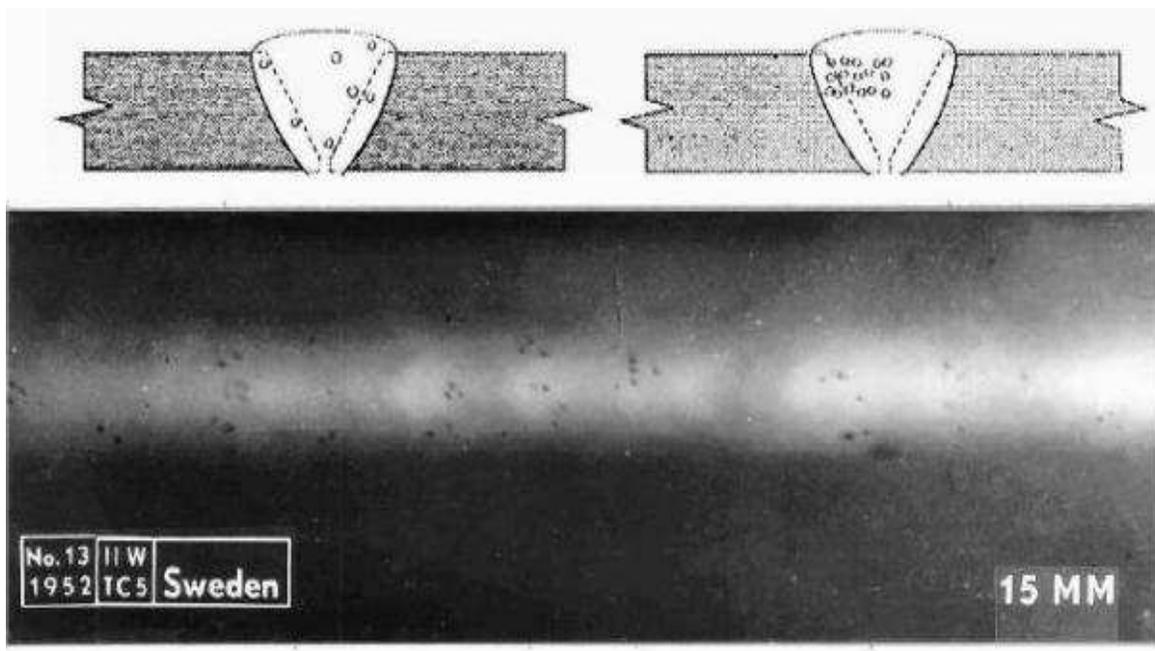


**Figura 2.19** Ejemplo de aplicación de líquido penetrante en soldaduras (Giachino & Weeks, 2007)

*Partículas Magnética:* Mediante este método se puede detectar las discontinuidades que se encuentran sobre o justamente debajo de la superficie. Para realizar esta prueba es preciso someter el cordón de soldadura a una magnetización o flujo magnético y espolvorear sobre

él, partículas finas de material ferromagnético. Si en algún lugar de la superficie examinada se forma un campo de fuga que atrae hacia este el material ferromagnético, es porque existe una discontinuidad. (Giachino & Weeks, 2007)

*Radiografía o rayos X:* Los rayos X (o rayos Gamma) tienen la propiedad de atravesar los materiales opacos sin reflejarse ni refractarse, para producir una impresión fotográfica. Esta cualidad de los rayos gamma, permite inspeccionar internamente los cordones de soldadura y detectar defectos como inclusiones, grietas, porosidades, entre otros, ya que dichas discontinuidades absorben las radiaciones en diferente proporción del material base y generan un tipo de contraste “claro-oscuro”, que permite identificarlas fácilmente en la impresión fotográfica. En la figura 2.20 se puede observar un ejemplo de este ensayo. (Giachino & Weeks, 2007)



**Figura 2.20** Muestra radiográfica de un cordón de soldadura con porosidades (López Galvez & Orozco Roldan, 2013)

Este tipo de ensayo es altamente efectivo a la hora de evaluar los cordones de soldadura, ya que posibilita inspeccionar mejor los defectos presentes en el interior de los mismos. Sin embargo, posee una limitante, y es que no detecta fácilmente los defectos o discontinuidades de poco espesor que estén dispuestos perpendicularmente a la dirección de las radiaciones, por lo que es necesario examinar la pieza o soldadura en distintas direcciones.

### **2.2.6 Estándares para la detección de porosidades a través de radiografías, según la Norma ASME B31.3**

La empresa TRIME, C.A. se basa en la norma B31.3 de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, mejor conocida como ASME por sus siglas en inglés, para la detección y consideración de defectologías en soldadura, además de los criterios de rechazo y/o aceptación de las juntas soldadas.

#### **2.2.6.1 Terminología**

*Indicaciones:* Son todas aquellas porosidades detectables a través del estudio radiográfico en el cordón de soldadura.

*Indicaciones Redondeadas:* Defectos con una longitud máxima de tres veces el ancho de la radiografía o menos son considerados redondeados. Estas indicaciones pueden ser circulares, elípticas, cónicas o de forma irregular, y pueden tener colas o zonas alargadas. Cuando se evalúa el tamaño de un defecto, las colas deben ser incluidas. Las indicaciones pueden surgir de cualquier imperfección en la soldadura, como porosidad, escoria o inclusiones de tungsteno. (ASME, 2013)

*Indicaciones Alineadas:* Una secuencia de cuatro o más indicaciones redondeadas debe ser considerada como alineada cuando siguen una línea paralela a la longitud de la soldadura, trazada a través del centro de dos indicaciones redondeadas exteriores.

*Espesor t:* “t” es el espesor de la soldadura, excluyendo cualquier refuerzo permisible. Para una junta soldada a tope que tengan dos miembros con diferentes espesores en la soldadura, “t” es el menor de los espesores. Si una penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta del filete debe ser incluido en “t” (ASME, 2013)

### 2.2.6.2 Criterios de Aceptación

*Densidad de la Imagen:* La densidad dentro de la imagen de la indicación puede variar y no constituye un criterio de aceptación o rechazo.

- Indicaciones Relevantes: (Ver tabla 2.2 ) Sólo aquellas indicaciones redondeadas que excedan las siguientes dimensiones deben ser consideradas relevantes:  $1/10 t$  para  $t > 1/8$  de pulgada (3mm)
- $1/64$  de pulgada para  $1/8$  pulgada  $< t < 1/4$  pulgada (3mm  $< t < 6$ mm)
- $1/32$  pulgada para  $1/4$  pulgada  $< t < 2$  pulgadas (6mm  $< t < 50$ mm)
- $1/16$  pulgada para  $t > 2$  pulgadas

*Tamaño máximo de indicaciones redondeadas* (ver tabla 2.2): El máximo tamaño permisible de cualquier indicación debe ser  $1/4t$ , o  $5/32$  pulgada (4mm), lo que sea menor; excepto que una indicación aislada este separada de una indicación adyacente por 1 pulgada o más, debe ser  $1/3t$  o  $1/4$  pulgada, lo que sea menor. Para  $t$  mayor que 2 pulgadas, el máximo tamaño permisible de una indicación aislada debe ser aumentado a  $3/8$  pulgada (10mm). (ASME, 2013)

En el anexo G, se pueden observar gráficamente la disposición y las dimensiones de las indicaciones o porosidades detectadas por radiografías según las consideraciones de la norma ASME B31.3-2013.

**Tabla 2.2** Tamaño admisible de indicaciones redondeadas (ASME, 2013)

| Espesor t,<br>mm           | Máximo tamaño admisibles<br>para la indicaciones<br>redondeadas mm |          | Máximo tamaño<br>de indicaciones<br>no relevantes,<br>mm. |
|----------------------------|--|----------|---|
|                            | Aleatorias   | Aisladas |   |
| menor que 3                | 1/4 t  | 1/3 t    | 1/10 t  |
| 3                          | 0,79   | 1,07     | 0,38  |
| 5                          | 1,19   | 1,60     | 0,38  |
| 6                          | 1,60   | 2,11     | 0,38  |
| 8                          | 1,98   | 2,64     | 0,79  |
| 10                         | 2,31   | 3,18     | 0,79  |
| 11                         | 2,77   | 3,71     | 0,79  |
| 13                         | 3,18   | 4,27     | 0,79  |
| 14                         | 3,61   | 4,78     | 0,79  |
| 16                         | 3,96   | 5,33     | 0,79  |
| 17                         | 3,96   | 5,84     | 0,79  |
| mayor o<br>igual a<br>19mm | 3,96   | 6,35     | 1,6   |

### 2.2.7 Análisis de Varianza

El análisis de varianza, o mejor conocido por sus siglas en inglés como ANOVA, es un diseño elaborado para constatar si dos o más poblaciones tienen la misma varianza, aunque es un diseño estadístico para comparar varias medidas muestrales y decidir si existe alguna relación estadística entre las variables experimentales, este procedimiento exige que se analicen las varianzas de las muestras estudiadas, de allí su nombre, más comúnmente el

procedimiento se puede aplicar a la determinación de si un tratamiento en particular aplicado a una población tendrá efecto significativo sobre su medida. (Fuenlabrada, 2002)

En la utilización del ANOVA las unidades estáticas o experimentales son los objetos que reciben el tratamiento, la aplicación más corriente es el diseño completamente aleatorio, siendo todas las observaciones muestrales elegidas al azar y son sometidas a diferente tratamiento, siendo este modelo conocido como efectos fijos, porque los tratamientos específicos se eligen o se fijan antes de comenzar el estudio.

Para la aplicación de este procedimiento se parte de tres supuestos básicos:

1. Existe una media general.
2. Las variables indicadas deben aproximarse a la distribución normal.
3. Todas las poblaciones tienen varianzas iguales (homocedasticidad).

Como un supuesto pudiera incluirse la existencia de dos variables, una de escala nominal que es la variable independiente y otra de escala de intervalo o de razón, que es la variable dependiente

Partiendo de la base de los supuesto, el análisis de varianza lo que hace es comparar la variabilidad de los grupos entre sí (variabilidad intergrupos) con la variabilidad de los sujetos dentro de cada grupo (variabilidad intragrupo), esto se realiza ya que la varianza es un índice de variabilidad, al final lo que se hace es comparar la varianza intergrupo con la varianza intragrupo, indicando esta comparación las diferencia entre los que son significativas o no. (Fuenlabrada, 2002)

El análisis de varianza de un factor es aquel que trata de estudiar la influencia de una sola variable independiente sobre una variable dependiente, denominada factor.

La variable dependiente es cuantitativa (entiéndase como medida en una escala de intervalo o de razón) y el factor o variable independiente será tratado como variable cualitativa (escala nominal).

Si se designa el número de tratamientos por  $i$ , el sistema de hipótesis a contrastar será:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_i \quad (2.1)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_i \quad (2.2)$$

Donde  $\mu_i$  es el Factor de Combinación,  $H_0$  representa la hipótesis nula y  $H_1$  la hipótesis alternativa, en las ecuaciones (2.1) y (2.2) respectivamente

Existen varias clases de ANOVA, según sea el número de variables de escala nominal, sea una, dos o más de dos, siendo esta denominada diseños factoriales. (Fuenlabrada, 2002)

Para el cálculo existe un procedimiento práctico, el cual se señalará a continuación con la respectiva conceptualización de los términos que se utilizan.

1. Constrúyase la tabla de resultados  $X$  con tantas columnas como grupos o tratamientos y tantas filas como elementos existan en cada grupo.
2. Determinése la suma de las filas y las columnas.

$$\sum_{i=1}^n X_i \quad \text{y la suma total} \quad \sum_{i=1}^N X_i$$

Donde  $X_i$  es el resultado del tratamiento,  $N$  es el número total de muestras o tratamientos existentes en cada grupo, y  $n$  es el número de grupos o parámetros considerados.

3. Determinése la suma de los cuadrados de los valores de cada columna.

$$\sum_{i=1}^n X_i^2$$

4. Hállese la suma de los cuadrados de todos los valores.

$$\sum_{i=1}^N X_i^2$$

5. Determinése el término de corrección, mediante la ecuación (2.3)

$$TC = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} \quad (2.3)$$

Donde TC es el Término de Corrección y N el Número total de muestras.

6. Determinése la sumatoria total de los cuadrados mediante la ecuación (2.4), expresa la suma de los cuadrados de las diferencias de cada valor y la media total, lo que expresa la variación total de los N sujetos en torno a la medida total del grupo.

$$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_t)^2 = \sum_{i=1}^N X_i^2 - TC \quad (2.4)$$

7. Determinése la suma de los cuadrados intergrupo mediante la ecuación (2.5), indica la suma de los cuadrados de las diferencias entre la media de su grupo y la total (multiplicidad por n), lo que expresa la variación de los sujetos de grupo a grupo o, lo que es igual, la variación de las medias de los grupos en torno a la media general.

$$n \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X}_t)^2 = \sum_{i=1}^r \frac{\sum_{i=1}^r X_i^2}{n} - TC \quad (2.5)$$

8. Determinése la suma de los cuadrados intragrupo mediante la ecuación (2.6), es la que indica la suma de los cuadrados de las diferencias entre cada valor y la media de su grupo, lo que expresa la variación de los sujetos dentro de cada grupo, en torno a la media de cada grupo.

$$\sum_{i=1}^r \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_t)^2 - n \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X}_t)^2 \quad (2.6)$$

9. Constrúyase la tabla de análisis

A continuación se puede observar la tabla de análisis que muestra los factores utilizados para determinar la significancia (Suma de cuadrados, grados de libertad, medidas cuadráticas y el parámetro F)

**Tabla 2.3** Cuadro de análisis ANOVA (Pinto & Pernalet, 2003)

| Fuente de variación | Suma de cuadrados                               | Grados de libertad | Medidas cuadráticas     | F                               |
|---------------------|---|--------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Intergrupos         | $n \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X}_t)^2$      | r-1                | $\frac{SC_{Inter}}{gl}$ | $\frac{MC_{Inter}}{MC_{Intra}}$ |
| Intragrupos         | $\sum_{i=1}^r \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2$ | N-r                | $\frac{SC_{Intra}}{gl}$ |                                 |
| Total               | $\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_t)^2$              | N-1                |                         |                                 |

Donde gl son los Grados de Libertad

Medida cuadrática intergrupo consiste en la estimación de la varianza de la población con r-1 grados de libertad

Media cuadrática intragrupo consiste en una estimación de la varianza de la población basada en r(n-1) grados de libertad.

Al llegar a la tabla de análisis se comparan las medidas cuadráticas, intergrupo e intragrupo, para determinar si existen diferencias significativas entre ellas y esto se realiza a través de una prueba F (ecuaciones 2.7 y 2.8), en la cual se compara el valor obtenido con el valor teórico y se contrasta mediante la siguiente regla de decisión.

$$\text{Si } F < F_{\alpha} \text{ se acepta la } H_0 \quad (2.7)$$

$$\text{Si } F \geq F_{\alpha} \text{ se acepta la } H_1 \quad (2.8)$$

Donde F es el Cociente entre las medias cuadráticas intergrupos e intragrupos y  $F_{\alpha}$  es el Valor teórico comparativo de F.

Empleando el ANOVA se llega a una conclusión de aceptar o rechazar la hipótesis nula, si se rechaza la hipótesis nula es necesario recurrir a las comparaciones múltiples para determinar qué o quienes están generando estos cambios. Si la hipótesis nula es la correcta los resultados son significativos, y si la hipótesis alternativa es correcta, existe significancia en el tratamiento realizado. (Fuenlabrada, 2002).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Nivel y Tipo de investigación

El nivel de la investigación es exploratorio, debido a que se determinó y recabó información que permitió, como resultado del estudio, la formulación de una hipótesis. De igual forma la investigación se inscribe al modelo *descriptivo*, porque se caracterizó el fenómeno de soldadura GTAW con el fin de establecer un comportamiento determinando el grado de reacción o asociación existente entre las variables.

La investigación fue de tipo experimental, ya que se manipularon variables experimentales en condiciones controladas, con el fin de describir por qué o de qué manera se produce una situación en particular.

#### 3.2 Material utilizado

El metal base de las probetas es el Acero SA 106 Gr. B, cuyas propiedades se muestran en las Tablas 3.1 y 3.2

**Tabla 3.1** Composición química del acero SA 106 Gr. B (Certificado de Calidad. Anexo D, 2013)

| Elem.       | C     | Mg    | P     | Si    | Ni    | Cr    | Mo    | Cu    | S     | V     |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>%Min</b> | 0,000 | 0,290 | 0,000 | 0,100 | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| <b>%Max</b> | 0,270 | 1,060 | 0,030 | 0,500 | 0,400 | 0,400 | 0,100 | 0,500 | 0,030 | 0,050 |

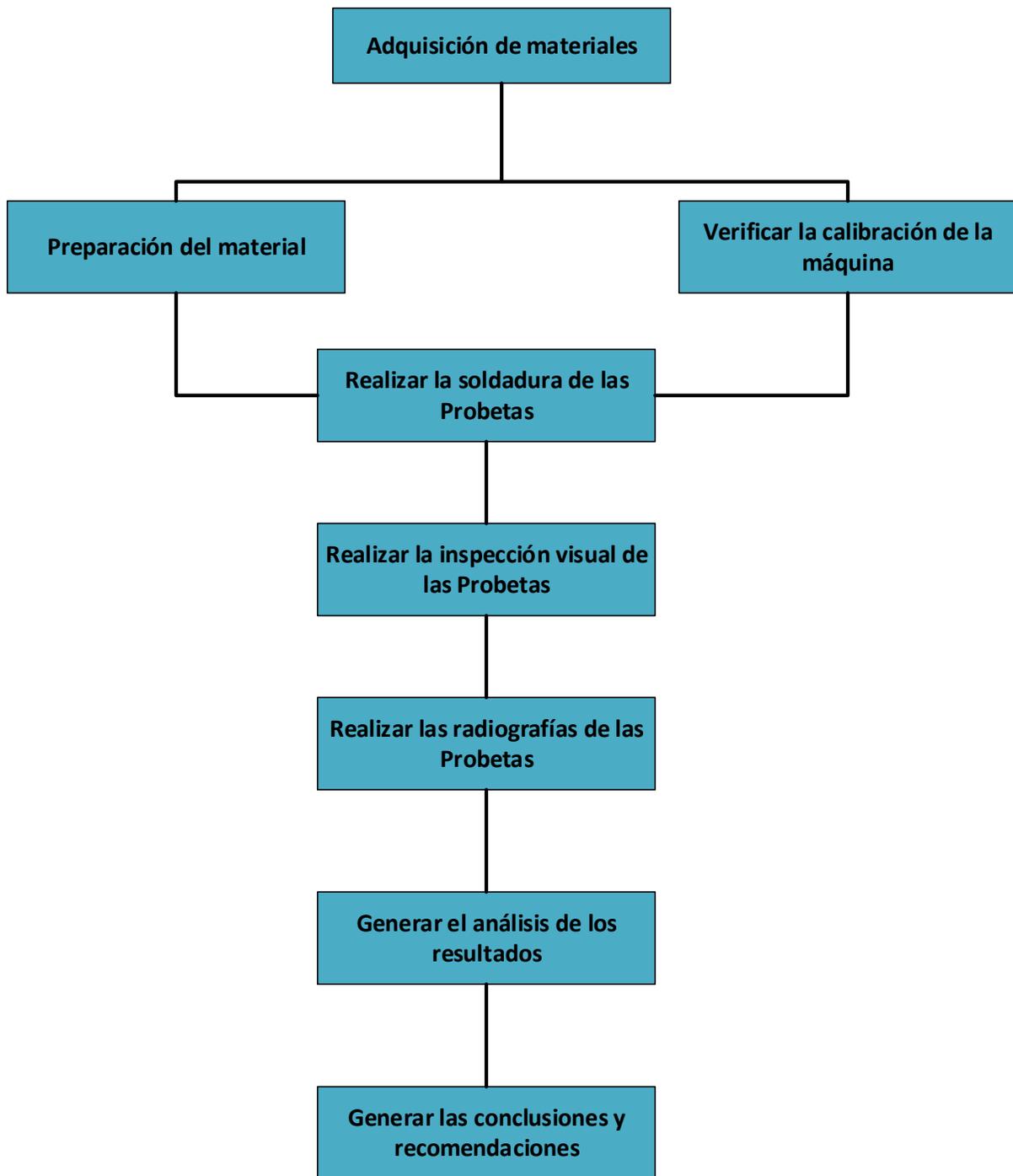
**Tabla 3.2** Propiedades mecánicas del acero SA 106 Gr. B (Certificado de Calidad. Anexo D, 2013)

| <b>Resistencia a la tracción (MPa)</b> | <b>Limite Elástico al 0,2% Mínimo (Mpa)</b> | <b>Coefficiente de conductividad térmica (W/m°C) (20°C)</b> |
|--|---|---|
| 414                                    | 241   | 60,4  |

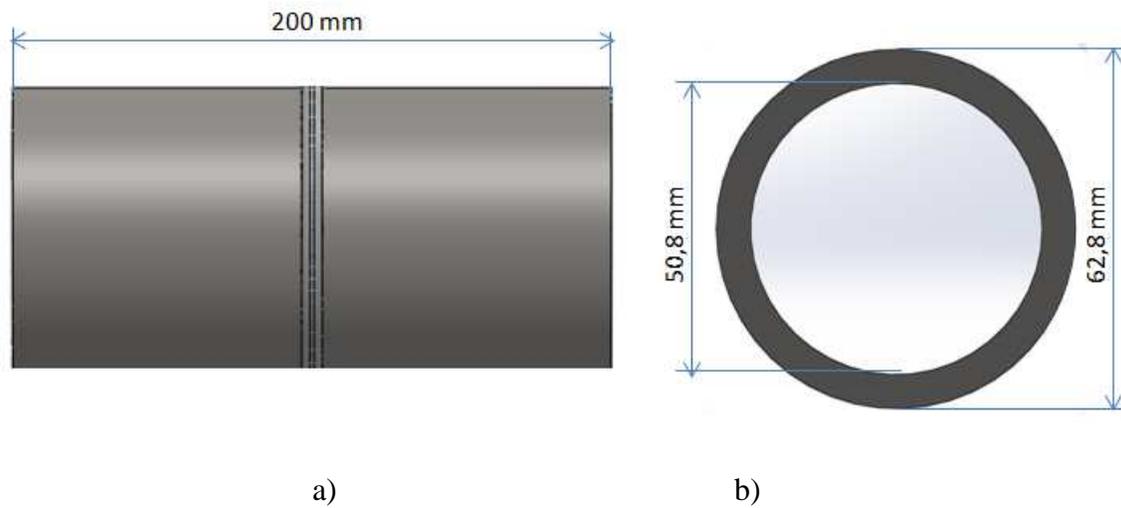
En la figura 3.1 se observa el corte del material base. Para mayor información acerca de la certificación de calidad del material base se puede observar en el Anexo D.

**Figura 3.1** Corte de las probetas de estudio. Acero SA 106 Gr. B

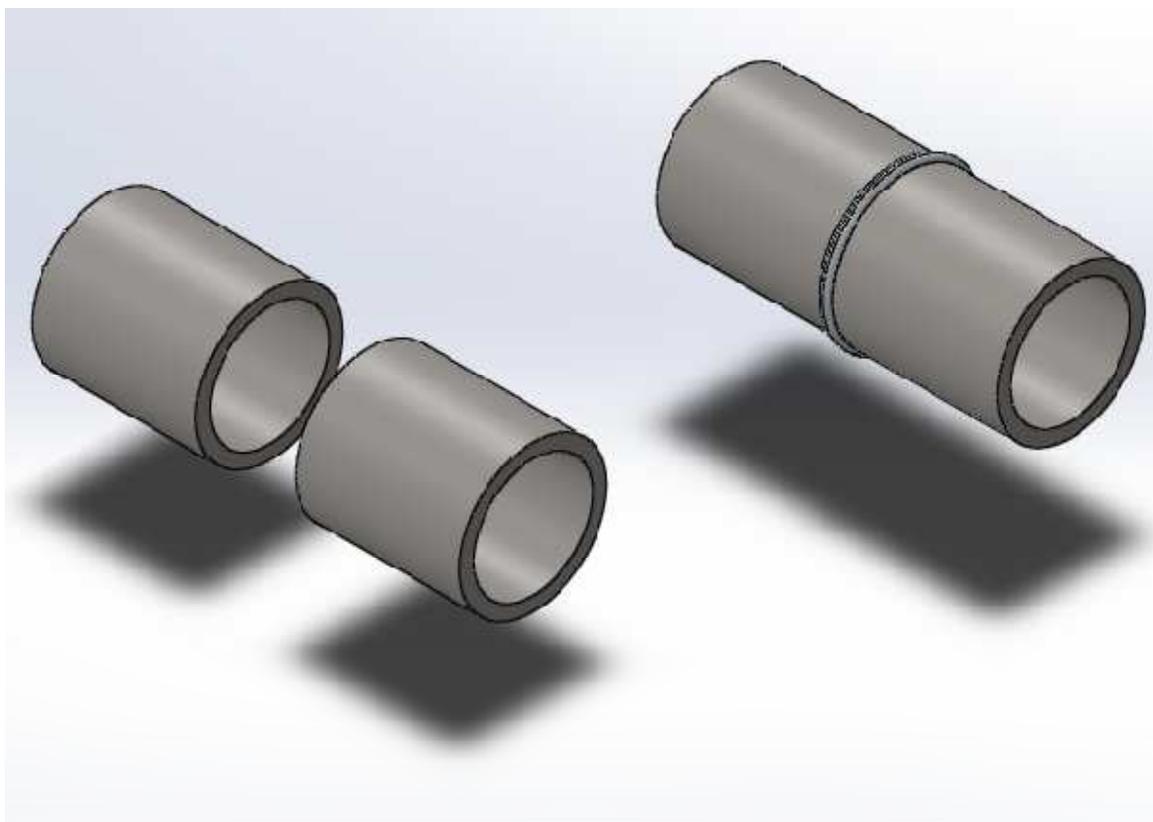
En la figura 3.2 se representa de manera esquemática la metodología a seguir.



**Figura 3.2** Esquema metodológico



**Figura 3.3** Dimensiones de las probetas, a) Vista lateral b) Vista frontal



a)

b)

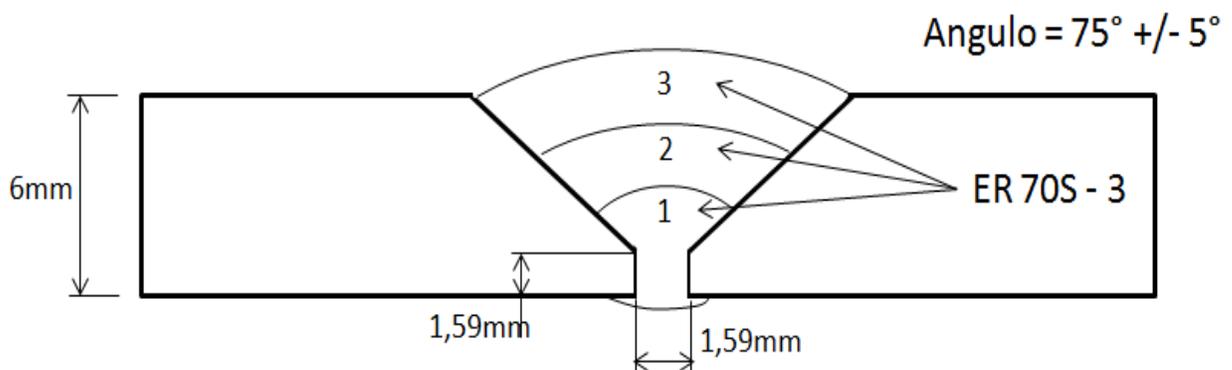
**Figura 3.4** Configuración de las probetas, a) Antes de soldar b) Después de soldar

### 3.3 Soldadura

#### 3.3.1 Preparación de las probetas soldadas

Las probetas consisten en dos niples de 100 mm de longitud cada uno, diámetro interior de 2 pulgadas, unidos mediante el cordón de soldadura. Se seleccionó una junta de tipo bisel, debido a que en la empresa TRIME, C.A. se trabaja con este tipo de junta. El niple de acero tenía un espesor de 6mm. Debido al espesor se realizó un primer pase de penetración, un segundo pase de relleno y un último de acabado, cumpliendo también, que los pases no podían superar 1/2 pulgada de espesor. En la figura 3.4 se puede observar las etapas del cordón de soldadura.

Cabe destacar que todos estos procesos fueron realizados según el procedimiento del WPS (Especificación del proceso de soldadura) como dictan la AWS y las normas que esta rige. Estos son los procedimientos habitualmente aplicados, siendo todos certificados. Para mayor detalle del WPS ir al Anexo A.



**Figura 3.5** Etapas del cordón de soldadura

### 3.3.2 Material de aporte

**Tabla 3.3** Especificaciones de la varilla de aporte (ASME, 2013)

| Pasada(s) | Proceso | Metal de aporte |          | Corriente        |   |
|-----------|---------|-----------------|----------|------------------|---|
|           |         | Clasificación   | Diámetro | Tipo y polaridad | Rango de Intensidad de Corriente (Amperios) |
| Todas     | G.T.A.W | ER 70S-3        | 1/16"    | DC E(-)          | 80 – 120                                    |

El material de aporte ER 70S – 3 está seleccionado según la norma ASME B31.3, y está debidamente certificado por la empresa proveedora. Para mayor información acerca de la certificación de calidad del material de aporte se puede observar en el Anexo E.

### 3.3.3 Electrodo de tungsteno

El electrodo se toma directamente de la especificación de soldadura existente en la empresa, apegado a las normas ASME, tal especificación se encuentra en el anexo A. El electrodo utilizado es EwTh-2: Diámetro 1/8 pulgada (98% tungsteno puro)

### 3.3.4 Flujo de gas protector

El gas de protección Argón está seleccionado según la norma ASME B31.3, y está debidamente certificado por la empresa proveedora. Para información acerca de la certificación del gas de Argón se puede observar en el Anexo C.

**Tabla 3.4** Especificaciones del gas inerte según el WPS (ASME, 2013)

| <b>GAS (QW- 408)</b> | <b>N/A</b>                    |               |                           |
|----------------------|-------------------------------|---------------|---------------------------|
|                      | <b>Composición porcentual</b> |               |                           |
|                      | <b>Gas(es)</b>                | <b>Mezcla</b> | <b>Velocidad de flujo</b> |
| <b>Protección</b>    | ARGÓN                         |               | 10-30 pie <sup>3</sup> /h |
| <b>Refuerzo</b>      | Ninguno                       | N/A           | N/A                       |

### 3.3.5 Descripción del proceso

Se tomaron tres (3) valores de intensidad de corriente según el electrodo seleccionado, y tres (3) valores de caudal de argón entre los límites de norma. De esta manera se procedió a soldar las probetas teniendo un número de nueve combinaciones, como se observa en la tabla 3.6. Este proceso de combinación de parámetros se debía repetir tres (3) veces para cada pareja de parámetros para lograr así un estudio de carácter estadístico, resultando en 27 probetas de estudio.

Cabe destacar que cada soldadura se efectuó a velocidad de trabajo. Además, utilizando barreras físicas, se aisló el ambiente de trabajo para evitar corrientes de aire (velocidad de tiro) que puedan alterar la estabilidad del flujo de argón.

Todo el proceso se realizó bajo las técnicas adecuadas de soldadura, como lo especifica el procedimiento de soldadura según la normativa de la ASME.

**Tabla 3.5** Designación de las combinaciones de los parámetros a utilizar

| Q / I | I1  | I2  | I3  |
|-------|-----|-----|-----|
| Q1    | CP1 | CP2 | CP3 |
| Q2    | CP4 | CP5 | CP6 |
| Q3    | CP7 | CP8 | CP9 |

### 3.4 Evaluación de la soldadura

#### 3.4.1 Inspección visual

Mediante la técnica de inspección visual, se chequeó la superficie para asegurar que las etapas del proceso resultaron en una soldadura satisfactoria. Los aspectos tomados en cuenta al finalizar el proceso fueron:

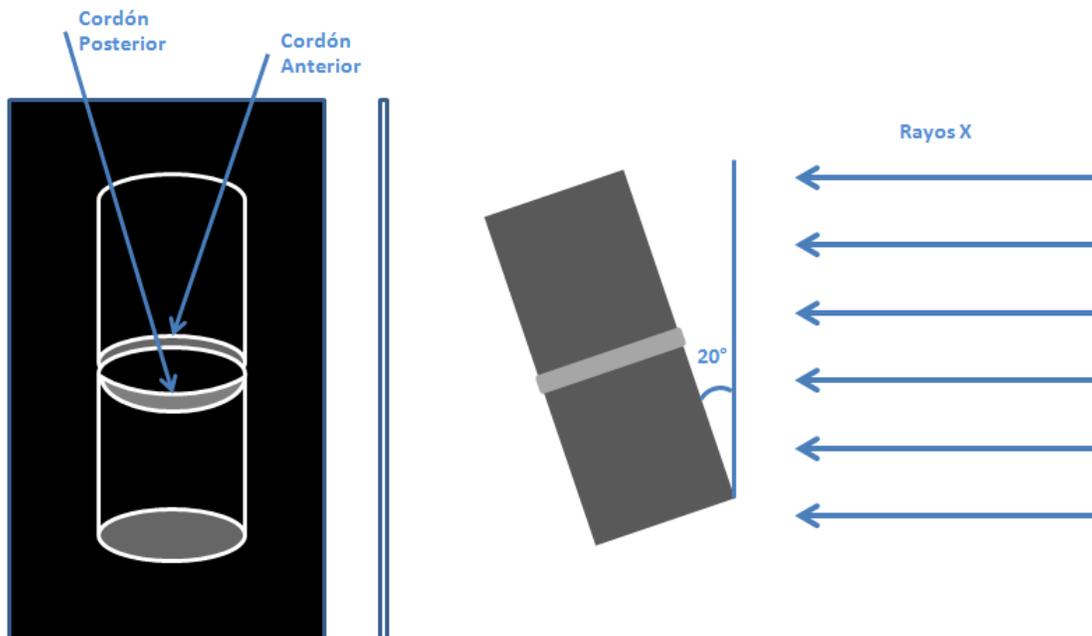
- (1) Apariencia final de la soldadura
- (2) Tamaño final de la soldadura
- (3) Longitud de la soldadura
- (4) Precisión dimensional
- (5) Cantidad de discontinuidades superficiales

El propósito básico de la inspección visual final fue asegurar la calidad externa de la soldadura. La norma ASME B31.3 describe la extensión de las discontinuidades que son aceptables, y muchas de estas pueden aparecer en la superficie de la soldadura terminada, se hizo especial énfasis en las porosidades

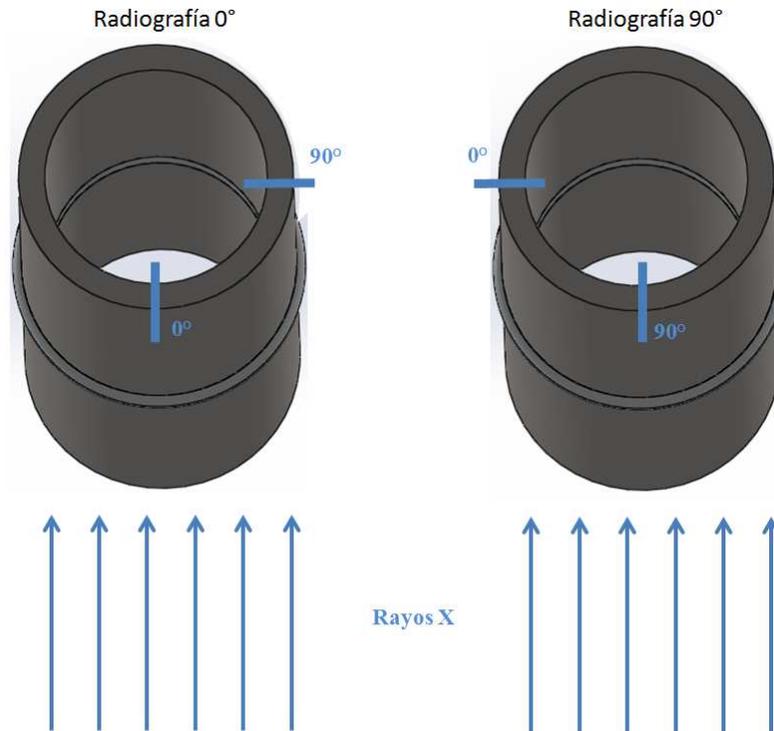
### 3.4.2 Radiografía

Este ensayo se efectuó para detectar porosidades internas en el cordón de soldadura, se realizó por personal técnico de la empresa TRIME, C. A. Dicho ensayo consistió en seleccionar un punto cero de la probeta y tomar una primera imagen radiográfica colocando la probeta con una inclinación de alrededor de  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$  (transversalmente) para poder visualizar el cordón frontal y el posterior, como se observa en la figura 3-5.

Luego la probeta se rotó noventa grados en relación del punto cero establecido (respecto al eje longitudinal) para poder visualizar todos los detalles de esta, como se muestra en la figura 3.6. Todos lo antes mencionado fue realizado y avalado por personal especializado como se muestra en el Anexo F.



**Figura 3.6** Método de aplicación de la radiografía a las probetas



**Figura 3.7** Rotación de la probeta respecto al eje longitudinal

### 3.5 Análisis de los datos obtenidos.

*Contabilización de áreas con porosidades:* Luego de obtención de las radiografías, se procedió a obtener imágenes digitalizadas de las mismas. Se colocó cada radiografía en un negatoscopio, y se capturaron fotografías de cada una de ellas, posicionando la cámara de tal manera que se encontrara en una posición y distancia fijas respecto a la radiografía, para mantener una equidad de dimensiones en cada imagen. Una vez hecho lo anterior, cada imagen fue importada a un software CAD, teniendo especial cuidado al dar dimensiones a cada imagen de manera que la probeta tenga las medidas reales, es decir, en escala 1:1. Se dibujaron regiones acotadas con la forma y dimensiones de cada poro. Observando las propiedades de cada elemento, se puede obtener el área de la región correspondiente a cada poro, la cual es calculada automáticamente por el software en

cuestión. Luego, sumando el área de cada poro se obtiene el área total con porosidades de la probeta. Este procedimiento se realizó para cada probeta.

*Análisis estadístico:* Se realizaron tres estudios estadísticos todos mediante el análisis de varianza, estos se explicarán a continuación:

El primero se realizó agrupando las intensidades de corriente por grupo, es decir, se obtuvo tres 80 A, 100 A y 120 A, para los cuales se relacionaron con cada uno de los flujos de gas 0,283, 0,566 y 0,850 m<sup>3</sup>/h (10, 20 y 30 pie<sup>3</sup>/h respectivamente), considerando todas las combinaciones posibles, como se observa en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Estudio estadístico agrupando las Intensidades de Corriente

| Grupo | Intensidad de corriente (A) | Flujo de Argón (m <sup>3</sup> /h) | Áreas (mm <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| I     | 80                          | 0,283                              | A1                       |
|       |                             | 0,566                              | A2                       |
|       |                             | 0,850                              | A3                       |
| II    | 100                         | 0,283                              | A4                       |
|       |                             | 0,566                              | A5                       |
|       |                             | 0,850                              | A6                       |
| III   | 120                         | 0,283                              | A7                       |
|       |                             | 0,566                              | A8                       |
|       |                             | 0,850                              | A9                       |

Para cada grupo se realizó un estudio de análisis de varianza independiente. Segundo, se agrupó los valores de flujo de gas, lo cual produjo tres grupos 0,283, 0,566 y 0,850 m<sup>3</sup>/h (10, 20 y 30 pie<sup>3</sup>/h respectivamente), cada uno de ellos con sus respectivos

valores de intensidades de corrientes (80 A, 100 A y 120 A), considerando todas las combinaciones posibles, como se observa en la tabla 3.7.

Para cada grupo se realizó un estudio de análisis de varianza independiente. En estos dos primeros procedimientos se estudiaron los dos factores de la investigación manipulados (intensidad de corriente y flujo de argón) independientemente, lo que permitió determinar si algunos de estos son factores críticos, es decir, si uno de los tratamientos estudiados de forma independiente es significativo para la aparición de las porosidades.

El tercer procedimiento fue un análisis de varianza multifactorial, en el cual las variables independientes o nominales fueron evaluadas en pares como combinación de parámetros intensidad de corriente – flujo de argón. Este estudio permitió determinar cuál de los factores manipulados es más predominante en la aparición de porosidades y cuál es el tratamiento significativamente relevante en la aparición de porosidades, todo esto desde un punto de vista estadístico.

Todos estos análisis fueron realizados mediante una herramienta estadística computarizada denominada StatGraphics que efectúa dichos cálculos.

Dicho software permite realizar el ANOVA. Si se comprueba que la hipótesis nula es correcta, mediante la ecuación 2.7, entonces no existe diferencia significativa, es decir, la combinación de parámetros no es concluyente para decir que tienen influencia sobre la aparición de poros. En caso de que se compruebe que la hipótesis alternativa es correcta para una determinada combinación de parámetros, quiere decir que dicha combinación influye sobre la aparición de poros.

**Tabla 3.7** Estudio estadístico agrupando los Flujos de Argón

| <b>Grupo</b> | <b>Flujo de Argón (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Intensidad de corriente (A)</b> | <b>Áreas (mm<sup>2</sup>)</b> |
|--------------|---|------------------------------------|-------------------------------|
| I            | 0,283                                   | 80                                 | A1                            |
|              |   | 100                                | A2                            |
|              |   | 120                                | A3                            |
| II           | 0,566                                   | 80                                 | A4                            |
|              |   | 100                                | A5                            |
|              |   | 120                                | A6                            |
| III          | 0,850                                   | 80                                 | A7                            |
|              |   | 100                                | A8                            |
|              |   | 120                                | A9                            |

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS.

#### 4.1 RESULTADOS OBTENIDOS

##### 4.1.1 Inspección visual

Luego de soldar las probetas, se realizó una cuidadosa inspección para buscar poros superficiales, y no se encontraron porosidades en la superficie del cordón de ninguna de las probetas soldadas. La soldadura realizada es de buena calidad. Las figuras 4.1, 4.2, 4.3 muestran cada una una vista exterior de probetas para cada valor de flujo de argón.

Se realizaron los ensayos radiográficos de las probetas y se resaltaron los poros existentes para contabilizar sus áreas mediante un software de reconocimiento de imágenes. (Ver figuras 4.4 y 4.5) Se obtuvieron resultados como los siguientes:



**Figura 4.1** Fotografía del cordón exterior de la probeta con combinación 80 A – 0,283 m<sup>3</sup>/h



**Figura 4.2** Fotografía del cordón exterior de la probeta con combinación 100 A – 0,566 m<sup>3</sup>/h

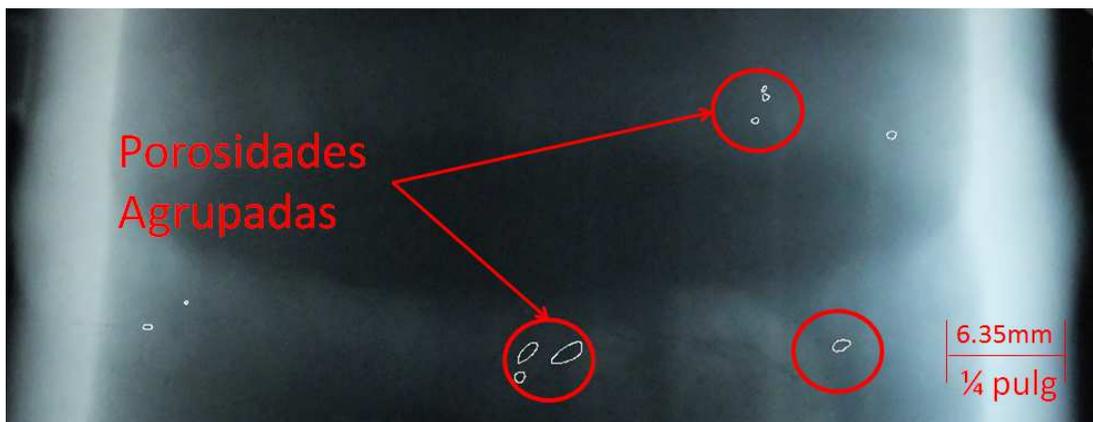


**Figura 4.3** Fotografía del cordón exterior de la probeta con combinación 120 A – 0,850 m<sup>3</sup>/h

Se realizaron los ensayos radiográficos de las probetas y se resaltaron los poros existentes para contabilizar sus áreas mediante un software de reconocimiento de imágenes. Se obtuvieron resultados como los siguientes.



**Figura 4.4** Fotografía de la radiografía la probeta con combinación 100 A y 0,566 m<sup>3</sup>/h



**Figura 4.5** Fotografía de la radiografía la probeta con combinación 80 A y 0,850 m<sup>3</sup>/h, con porosidades representadas mediante software CAD.

Las radiografías fueron evaluadas por el personal técnico de TRIME, C. A, bajo los parámetros de aceptación de la norma antes mencionada (Ver Sección 2.2.6), siendo contabilizadas las porosidades relevantes según dicha norma. Esta evaluación consta de un informe, donde a cada radiografía de las probetas se le estudia con la finalidad de determinar defectos en los cordones de soldadura (Anexo F).

Este análisis mencionado solo establece cual es el defecto y si la unión debe ser reparada, para efectos de esta investigación los defectos arrojados por dicho análisis fueron Porosidades, socavación e inclusión de tungsteno.

Es importante mencionar que los defectos predominantes en las probetas fueron los poros, siendo esta defectología el objetivo de esta investigación. No obstante, los defectos como socavación e inclusión de tungsteno lo presentaron combinaciones con 120 A.

En la tabla 4.1, se presentan los resultados obtenidos luego de haber pasado por el procedimiento para el cálculo de las áreas porosas de cada una de las probetas. Estos resultados se representan según la combinación de parámetros establecida, área porosa de cada probeta y un promedio de las áreas afectadas para cada combinación.

#### **4.1.2 Detección de la defectología en las probetas.**

Las probetas presentaron mayoritariamente aparición de poros con relación a los otros defectos encontrados inclusión de tungsteno y socavación. Esto había sido reflejado al inicio de esta investigación cuando se realizó una revisión de la data llevada por la empresa de los proyectos.

En el caso de esta investigación los defectos como inclusión de tungsteno y socavación son generalmente atribuidos a procesos de soldadura donde la temperaturas son elevadas, tal como es el caso, estos defectos aparecieron en combinaciones con intensidad de corriente elevada.

#### **4.1.3 Estudio estadístico**

Inicialmente se presentaron los estudios realizados a los tratamientos de forma independiente, agrupados por intensidad de corriente y por flujo de argón.

**Tabla 4.1.** Datos resultantes de las combinaciones de parámetros y la aparición de porosidades.

| Probeta | I (A) | Q (m <sup>3</sup> /h) | Área total de poros (mm <sup>2</sup> ) | Promedio de Serie (mm <sup>2</sup> ) |
|---------|-------|-----------------------|--|--------------------------------------|
| CP1-1   | 80    | 0,283                 | 0,0000                                 | 6,8487                               |
| CP1-2   |       |                       | 5,3699                                 |                                      |
| CP1-3   |       |                       | 15,1762                                |                                      |
| CP2-1   | 100   | 0,283                 | 0,0000                                 | 4,0367                               |
| CP2-2   |       |                       | 3,3236                                 |                                      |
| CP2-3   |       |                       | 8,7866                                 |                                      |
| CP3-1   | 120   | 0,283                 | 0,0000                                 | 3,4184                               |
| CP3-2   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |
| CP3-3   |       |                       | 10,2552                                |                                      |
| CP4-1   | 80    | 0,566                 | 0,0000                                 | 0,0000                               |
| CP4-2   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |
| CP4-3   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |
| CP5-1   | 100   | 0,566                 | 0,0000                                 | 0,2242                               |
| CP5-2   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |
| CP5-3   |       |                       | 0,6726                                 |                                      |
| CP6-1   | 120   | 0,566                 | 0,7316                                 | 0,3335                               |
| CP6-2   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |
| CP6-3   |       |                       | 0,2688                                 |                                      |
| CP7-1   | 80    | 0,850                 | 0,0000                                 | 3,2021                               |
| CP7-2   |       |                       | 3,9240                                 |                                      |
| CP7-3   |       |                       | 5,6824                                 |                                      |
| CP8-1   | 100   | 0,850                 | 3,3385                                 | 2,6233                               |
| CP8-2   |       |                       | 2,4640                                 |                                      |
| CP8-3   |       |                       | 2,0673                                 |                                      |
| CP9-1   | 120   | 0,850                 | 0,0000                                 | 0,0000                               |
| CP9-2   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |
| CP9-3   |       |                       | 0,0000                                 |                                      |

El ejemplo de cálculo tipo para estudio estadístico puede observarse en el anexo H.

#### **4.1.3.1 Estudio de agrupación por intensidad de corriente.**

Para 80 A: En la tabla 4.2, se presenta la agrupación por la intensidad de corriente 80A, en el cual se estudió de forma independiente, si en esta serie el flujo de argón es significativamente relevante en la aparición de porosidades.

En dicha tabla se puede observar que, para 80 A, ninguno de los valores de flujo de argón tratados mostró significancia.

**Tabla 4.2.** Resultados agrupando las combinaciones con 80 A (análisis intragrupos).

| <b>Intensidad de corriente(A)</b> | <b>Flujo de argón (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Áreas con poros (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Promedio de áreas</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------------|---|---|--------------------------|----------------------|
| 80                                | 0,283                                   | 0,0000                                  | 6,8487                   | No                   |
|                                   |   | 5,3699                                  |                          |                      |
|                                   |   | 15,1762                                 |                          |                      |
| 80                                | 0,566                                   | 0,0000                                  | 0,0000                   | No                   |
|                                   |   | 0,0000                                  |                          |                      |
|                                   |   | 0,0000                                  |                          |                      |
| 80                                | 0,850                                   | 0,0000                                  | 3,2021                   | No                   |
|                                   |   | 3,9240                                  |                          |                      |
|                                   |   | 5,6824                                  |                          |                      |

En la tabla 4.3 a continuación, se expresan los resultados del análisis intergrupo, se realizó la comparación de los valores de flujo de argón entre sí, con relación al área porosa arrojada en las probetas, la comparación se realizó en pareja para contrastar si existe diferencia significativa en cada pareja de flujo de argón. Cabe destacar que este análisis fue realizado para la intensidad de corriente de 80 A

**Tabla 4.3.** Representación resumen de los resultados generados mediante la herramienta estadística, combinaciones con 80 A (análisis intergrupos)

| <b>Flujo de argón<br/>(m<sup>3</sup>/h)</b>           | <b>Número de muestras<br/>por flujo de argón</b>     | <b>Media de las áreas<br/>porosas del grupo</b> | <b>Grupo<br/>Homogéneo</b> |
|---|--|---|----------------------------|
| 0,566   | 3  | 0,0000  | SI                         |
| 0,850   | 3  | 3,20213   | SI                         |
| 0,283   | 3  | 6,8487  | SI                         |
| <b>Contraste flujo de<br/>argón (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Significancia entre<br/>pares de tratamientos</b> |   |                            |
| 0,283 - 0,566   | <b>NO</b>  |   |                            |
| 0,283 - 0,850   | <b>NO</b>  |   |                            |
| 0,566 - 0,850   | <b>NO</b>  |   |                            |

Se puede observar en la tabla 4.3 los tratamientos de flujo de argón realizados, el número de repeticiones por cada tratamiento, la media de área porosa del grupo de flujo de argón, la homogeneidad del grupo. En la subdivisión inferior de la tabla se ubica el par contrastado, si la comparación del par es significativa en la aparición de poros.

Es importante destacar que, la homogeneidad del grupo es un resultado del estudio estadístico en el cual se establece qué tan análogo son los flujos de argón estudiados, con relación a las áreas porosas resultadas para cada probeta. En la tabla 4.3 en la columna a la derecha se evidencia mediante SI o NO, la homogeneidad de los grupos entre sí.

Por otra parte el resultado si es significativo o no, se refiere a que si alguno de los tratamiento tiene preponderancia en la aparición de poros.

La homogeneidad de cada grupo de flujo de argón como demuestra la tabla 4.3, todas indican SI, siendo los tres flujos de argón (10, 20 y 30)  $\text{pie}^3/\text{h}$  homogéneos entre sí con relación a los intergrupos, es decir, no presentan significancia en la aparición de poros según el ANOVA planteado.

En la tabla 4.3, parte inferior, se observan las columnas de contraste y significancia, estas son referentes a un análisis en el cual se establece la relación entre las varianzas de las áreas porosas resultantes por cada flujos de argón. Este contraste se realizó en pares de tratamientos de flujos de argón, es decir, se contrasta 10 con 20  $\text{pie}^3/\text{h}$ , 10 con 30  $\text{pie}^3/\text{h}$  y 20 con 30  $\text{pie}^3/\text{h}$ , para identificar si las diferencias entre sus varianzas son significantes en la aparición de porosidades, esto se realiza mediante la comparación de la diferencia de las medias cuadráticas de cada par, con un factor teórico establecido propio del software estadístico utilizado.

De forma análoga a los resultados para 80 A se realizaron los análisis independientes para los valores de intensidad de corriente de 100 y 120, se presentarán en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Significancia de los flujos de argón para intensidad de corriente agrupados por 100 A y 120A según el ANOVA

| <b>Análisis Intragrupo</b>               |   |                      | <b>Análisis Intergrupo</b> |
|--|---|----------------------|----------------------------|
| <b>Intensidad de corriente(A)</b>        | <b>Flujo de argón (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Significancia</b> | <b>Significancia</b>       |
| <b>Análisis independiente para 100 A</b> |   |                      |                            |
| 100                                      | 0,283                                   | NO                   | NO                         |
| 100                                      | 0,566                                   | NO                   | NO                         |
| 100                                      | 0,850                                   | NO                   | NO                         |
| <b>Análisis independiente para 120 A</b> |   |                      |                            |
| 120                                      | 0,283                                   | NO                   | NO                         |
| 120                                      | 0,566                                   | NO                   | NO                         |
| 120                                      | 0,850                                   | NO                   | NO                         |

#### 4.1.3.2 Estudio de agrupación por flujo de argón.

En la tabla 4.5, se presenta la agrupación por flujo de argón de  $10 \text{ pie}^3/\text{h}$ , en el cual se estudió de forma independiente, si en este grupo la intensidad de corriente es significativamente relevante en la aparición de porosidades.

*Para  $0,283 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $10 \text{ pie}^3/\text{h}$ ):* En la tabla 4.6, se expresan los resultados del análisis intergrupo, se realizó la comparación de los valores intensidad de corriente entre sí, en relación al área porosa arrojada en las para el flujo de argón de  $10 \text{ pie}^3/\text{h}$ .

Se puede observar en la tabla 4.6 los tratamientos de intensidad de corriente, el número de repeticiones por cada tratamiento, la media de área porosa del grupo de flujo de argón, la homogeneidad del grupo. En la subdivisión inferior de la tabla se ubica el par contrastado, si la comparación del par es significativa en la aparición de poros.

Se puede observar en la tabla 4.6 los tratamientos de intensidad de corriente, el número de repeticiones por cada tratamiento, la media de área porosa del grupo de flujo de argón, la homogeneidad del grupo. En la subdivisión inferior de la tabla se ubica el par contrastado, si la comparación del par es significativa en la aparición de poros.

**Tabla 4.5** Representación de los resultados agrupado las combinaciones con 0,283 m<sup>3</sup>/h (10 pie<sup>3</sup>/h)

| <b>Flujo de argón (m<sup>3</sup>/h.)</b> | <b>Intensidad de corriente (A)</b> | <b>Áreas con poros (mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Promedio de áreas</b> | <b>Significancia</b> |
|--|------------------------------------|---|--------------------------|----------------------|
| 0,283                                    | 80                                 | 0,0000                                  | 6,8487                   | NO                   |
|  |                                    | 5,3699                                  |                          |                      |
|  |                                    | 15,1762                                 |                          |                      |
| 0,283                                    | 100                                | 0,0000                                  | 4,0367                   | NO                   |
|  |                                    | 3,3236                                  |                          |                      |
|  |                                    | 8,7866                                  |                          |                      |
| 0,283                                    | 120                                | 0,0000                                  | 3,4184                   | NO                   |
|  |                                    | 0,0000                                  |                          |                      |
|  |                                    | 10,2552                                 |                          |                      |

En cuanto a la homogeneidad de cada grupo de intensidad de corriente, todas están en una misma columna y alineadas, siendo las tres intensidades de corriente (80A, 100A, 120A) homogéneas entre sí, es decir, no presentan significancia en la aparición de poros según el ANOVA planteado

De forma análoga a los resultados para 0,283 m<sup>3</sup>/h, se realizaron los análisis independientes para los valores de flujo de argón de 0,566 y 0,850 pie<sup>3</sup>/h, se presentarán en la tabla 4.7.

**Tabla 4.6** Representación resumen de los resultados generados mediante la herramienta estadística, combinaciones con 10 pie<sup>3</sup>/h (análisis intergrupos)

| <b>Intensidad de corriente</b> | <b>Número de muestras por flujo de argón</b> | <b>Media de las áreas porosas del grupo</b> | <b>Grupo Homogéneo</b> |
|--------------------------------|--|---|------------------------|
| 80                             | 3  | 3,4184                                      | SI                     |
| 100                            | 3  | 4,03673                                     | SI                     |
| 120                            | 3  | 6,8487                                      | SI                     |
| <b>Contraste</b>               | <b>Significancia</b>                         |   |                        |
| 100 - 120                      | <b>NO</b>                                    |   |                        |
| 100 - 80                       | <b>NO</b>                                    |   |                        |
| 120 - 80                       | <b>NO</b>                                    |   |                        |

#### **4.1.4 Estudio estadístico de ANOVA multifactorial.**

Los resultados del ANOVA multifactorial, son los obtenidos de haber tomado los tratamiento a las probetas como una combinación de ambos factores, intensidad de corriente – flujo de argón, con relación al área porosa. En la tabla 4.8 a continuación se presenta las combinaciones estudiadas mediante el método estadístico:

**Tabla 4.7** Significancia de las intensidades de corriente agrupadas por 0,566 y 0,85 m<sup>3</sup>/h (20 y 30 pie<sup>3</sup>/h) según el ANOVA

| <b>Análisis intragrupo</b>  |                                   |                      | <b>Análisis intergrupo</b> |
|---|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|
| <b>Flujo de argón (m<sup>3</sup>/h)</b>   | <b>Intensidad de corriente(A)</b> | <b>significancia</b> | <b>Significancia</b>       |
| <b>Análisis independiente para 0,566 m<sup>3</sup>/h (20 pie<sup>3</sup>/h)</b> |                                   |                      |                            |
| 0,566   | 80                                | NO                   | NO                         |
| 0,566   | 100                               | NO                   | NO                         |
| 0,566   | 120                               | NO                   | NO                         |
| <b>Análisis independiente para 0,850 m<sup>3</sup>/h (30 pie<sup>3</sup>/h)</b> |                                   |                      |                            |
| 0,850   | 80                                | NO                   | NO                         |
| 0,850   | 100                               | NO                   | NO                         |
| 0,850   | 120                               | NO                   | NO                         |

**Tabla 4.8.** Representación de los resultados combinación de parámetros – promedio de área porosa de cada combinación

| <b>Intensidad de corriente<br/>(A)</b> | <b>Flujo de argón<br/>(m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Áreas promedio con poros<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> |
|--|---|--|
| 80                                     | 0,283                                       | 6,8487   |
| 100                                    | 0,283                                       | 4,0367   |
| 120                                    | 0,283                                       | 3,4184   |
| 80                                     | 0,566                                       | 0,0000   |
| 100                                    | 0,566                                       | 0,2242   |
| 120                                    | 0,566                                       | 0,3335   |
| 80                                     | 0,850                                       | 3,2021   |
| 100                                    | 0,850                                       | 2,6233   |
| 120                                    | 0,850                                       | 0,0000   |

En la tabla 4.8, el área de poros es la promedio o media de las tres repeticiones de cada combinación de parámetros.

Según el estudio de ANOVA multifactorial el parámetro con mayor incidencia estadística en la aparición de poros es el flujo de argón. En este caso, sí existe significancia debido a que ahora los tratamientos son considerados como combinación de ambos parámetros, en lugar de valorarlos individualmente.

A continuación se presentará una tabla en la cual se establece cual valor de flujo de argón es significativamente relevante en la aparición de poros:

**Tabla 4.9.** Representación de la homogeneidad de los flujos de argón ensayados en función en relación a la aparición de porosidades

| <b>Flujo de argón (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Casos</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|---|--------------|--------------------------|
| 0,566                                   | 3            | <b>SI</b>                |
| 0,850                                   | 3            | <b>SI</b>                |
| 0,283                                   | 3            | <b>NO</b>                |

Como se evidencia en la tabla 4.9, al evaluar la homogeneidad de los grupos de flujo de argón, resultó que para 10 pie<sup>3</sup>/h existe diferencia significativa en la aparición de porosidades.

Ahora se presenta la tabla 4.10 donde se contrastan los grupos de flujos de argón con relación a la media de áreas con poros del cordón de la probeta:

**Tabla 4.10.** Representación de la significancia de los flujos de argón ensayados en función en relación a la aparición de porosidades.

| <b>Contraste</b> | <b>Significancia</b> |
|------------------|----------------------|
| 10 – 20          | <b>SI</b>            |
| 10 – 30          | <b>SI</b>            |
| 20 – 30          | <b>NO</b>            |

En la tabla 4.8, de manera análoga a los ANOVA individuales, donde se trata cada parámetro de manera independiente, el software realizó este contraste en pares de tratamientos de flujos de argón, para identificar si las diferencias entre sus varianzas son significantes en la aparición de porosidades, esto se realiza mediante la comparación de la diferencia de las medias cuadráticas de cada par, con un factor teórico establecido propio del software estadístico utilizado.

#### **4.1.5 Sensibilidad de los parámetros establecidos sobre la aparición de poros.**

Inicialmente se generaron dos estudios estadísticos paralelos donde se aislaron los valores de intensidad de corriente y flujo de argón respectivamente, determinando, sí de una forma independiente alguno de estos valores arrojaban significancia en la aparición de poros, desde un punto de vista estadístico mediante un ANOVA.

En el caso de los primeros estudios, ningún tratamiento aislado de intensidad de corriente o flujo de argón presentaron diferencias significativas en la aparición de poros, esto se debe a que los tratamientos son combinaciones de parámetros y no un tratamiento aislado, pero era de importancia descartar la influencia independiente de cada uno de los tratamientos utilizados en la investigación.

El tercer estudio realizado fue el ANOVA multifactorial, en el cual se estudió la combinación de parámetros intensidad de corriente – flujo de argón, para determinar cuál de los dos tratamientos en conjunto es más influyente en la aparición de poros, y la combinación de parámetros que estadísticamente disminuya este defecto. El software realizó la comparación de las combinaciones de parámetros, y determinó que todas aquellas que tenían 0,283 m<sup>3</sup>/h (10 pie<sup>3</sup>/h) presentaron una mayor media cuadrática de área porosa que el resto. Debido a esto, este valor es

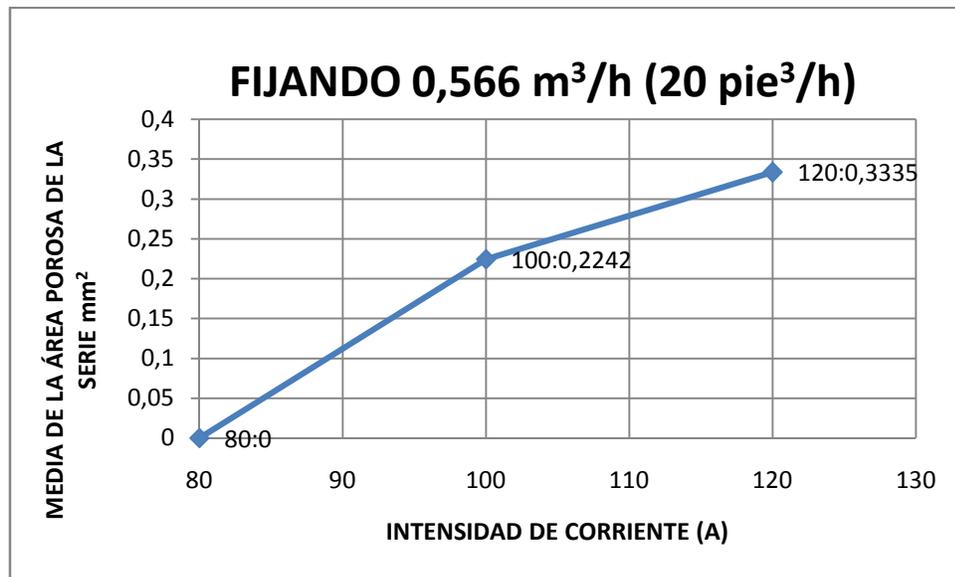
considerado como significativo en la aparición de poros. Además, este método ratifica que los parámetros no son significativos de manera individual, sino como parte de una combinación entre los mismos.

Considerando lo antes mencionado, el análisis ANOVA multifactorial sólo mostró un valor de flujo de argón que presenta, de manera estadística, mayor aparición de poros, por lo que es necesario analizar el comportamiento de la intensidad de corriente cuando esta actúa en conjunto con el resto de los valores de flujo de argón, pero estudiándolos desde el punto de vista de la sensibilidad de aparición de poros, comparando directamente las áreas porosas resultantes de cada combinación.

En la figura 4.8, se observa un gráfico que muestra la tendencia que presenta la intensidad de corriente, en cuanto al área porosa se refiere, para un flujo de argón de  $0,566 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $20 \text{ pie}^3/\text{h}$ ).

En la figura 4.8 se puede observar que al fijar un flujo de argón de  $0,566 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $20 \text{ pie}^3/\text{h}$ ) e incrementar el valor de la corriente, se genera una tendencia creciente de área porosa en el cordón de soldadura. Por lo tanto, para una corriente de 120 A se aprecia mayor aparición de poros.

Seguidamente se presentaron en la figura 4.9, una gráfica donde se fija el valor de  $0,850 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $30 \text{ pie}^3/\text{h}$ ) para observar el comportamiento en función del área porosa.

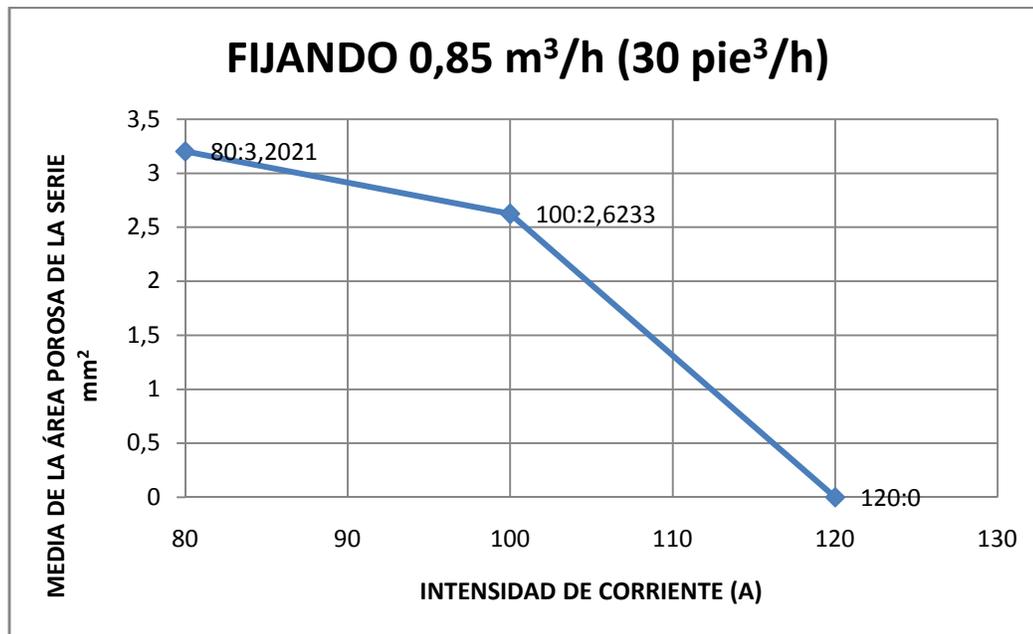


**Figura 4.6.** Grafica, Flujo de argón Vs. Área Porosa para 0,566 m<sup>3</sup>/h (20 pie<sup>3</sup>/h)

En la figura 4.9 se puede observar que al fijar un flujo de argón de 30 pie<sup>3</sup>/h e incrementar el valor de la corriente, se genera una tendencia decreciente de área porosa en el cordón de soldadura. Por lo tanto, para una corriente de 80 A se aprecia mayor aparición de poros.

Al observar los gráficos de las figuras 4.8 y 4.9, se evidencia que las magnitudes de área porosa para un flujo de argón de 30 pie<sup>3</sup>/h son significativamente mayores que en los de 20 pie<sup>3</sup>/h. Por lo tanto, el valor seleccionado será este último.

Además, de la figura 4.8 se puede extraer que el uso de 120 A es poco recomendable, ya que es la intensidad de corriente que presenta mayor porosidad, y para la cual el soldador se ve más forzado a incrementar la velocidad de pasada, lo que puede aumentar la aparición de defectos. Debido a esto, se recomienda un intervalo de trabajo de entre 80 y 100 A.



**Figura 4.7.** Grafica, Flujo de argón Vs. Área Porosa para 0,85 m<sup>3</sup>/h (30 pie<sup>3</sup>/h).

#### 4.1.6 Determinación del rango que minimiza la aparición de poros

Para poder seleccionar un intervalo de valores que, estadísticamente y mediante este estudio realizado, permita disminuir la probabilidad de aparición de poros, es importante destacar que mientras mayor sea la intensidad de corriente mayor debe ser la velocidad de pasada. Esto, si se realiza de forma manual con un operador, acarrea una complicación técnica, generando fatiga, aumento de la temperatura de trabajo y, por ende, posibles imprecisiones en los resultados.

Según lo antes mencionado y los resultados en función de la menor aparición de poros, el valor de flujo de argón que mejor prestaciones mostró fue el de **0,566 m<sup>3</sup>/h (20 pie<sup>3</sup>/h)** y los valores de intensidad de corriente son **80 A y 100 A**. Con relación al intervalo de intensidad de corriente se debe manejar según el criterio del operador dentro de este intervalo.

Para tener una mejor idea de cuánto se redujo la aparición de porosidades para las combinaciones resultantes respecto al resto, se procedió a calcular el promedio de áreas porosas agrupando los resultados por valores de flujo de argón, ya que este parámetro, según el ANOVA multifactorial, fue el que presentó un valor marcadamente fuera de la tendencia:

$$\text{Prom. Área Porosa}_{10\text{pie}^3/h} = \frac{6,8487 + 4,0367 + 3,4184}{3} = 4,77\text{mm}^2$$

$$\text{Prom. Área Porosa}_{20\text{pie}^3/h} = \frac{0,0000 + 0,2242 + 0,3335}{3} = 0,19\text{mm}^2$$

$$\text{Prom. Área Porosa}_{30\text{pie}^3/h} = \frac{3,2021 + 2,6233 + 0,0000}{3} = 1,94\text{mm}^2$$

Luego se expresó esta reducción en términos de porcentaje, enfocándose en el valor de 20 pie<sup>3</sup>/h respecto a 10 y 30 pie<sup>3</sup>/h:

$$\% \text{ Reducción de Área Porosa}_{20/10} = \frac{4,77\text{mm}^2 - 0,19\text{mm}^2}{4,77\text{mm}^2} \times 100 = 96\%$$

$$\% \text{ Reducción de Área Porosa}_{20/30} = \frac{1,94\text{mm}^2 - 0,19\text{mm}^2}{1,94\text{mm}^2} \times 100 = 90\%$$

$$\% \text{ Reducción de Área Porosa}_{\text{promedio}} = \frac{96 + 90}{2} = 93\%$$

Se puede observar una reducción muy significativa, respecto a los demás grupos de combinaciones, lo que valida aún más los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

- La inspección visual no mostró defectologías, en contra parte las radiografías realizadas expusieron defectos como: inclusión de tungsteno, socavación y predominantemente poros. Siendo estos dos primeros tipos de defectos despreciables en comparación a la frecuencia de aparición de las porosidades.
- En cuanto a la sensibilidad de aparición de porosidades en función de la intensidad de corriente y flujo de argón, según el estudio estadístico practicado, se determinó que no depende en mayor medida de alguno de estos parámetros de manera individual. Por el contrario, es un fenómeno que involucra ambos parámetros de manera conjunta.
- Mediante el análisis estadístico, se determinó que la combinación de parámetros estadísticamente menos propensa a presentar poros es un flujo de argón de  $0,566 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $20 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) y una intensidad de corriente comprendida entre 80 y 100 A. Además, para  $0,566 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $20 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) se observó una reducción promedio de 93% respecto a los otros dos valores de flujo de argón.

#### 5.2 RECOMENDACIONES.

- Se debe realizar un estudio donde se manipulen otras variables fuera del alcance de esta investigación (velocidad de tiro, velocidad de pasada,

diámetro del electrodo entre otros), en aras de determinar cómo influyen estos factores en la aparición de porosidades u otros defectos, así profundizar el conocimiento de este proceso de soldadura.

- Recomendar a los soldadores establecer o variar los valores de intensidad de corriente-flujo de argón de manera conjunta para disminuir la probabilidad de aparición de poros.
- Profundizar este estudio mediante el aumento de las repeticiones de las combinaciones de parámetros establecidas, así como considerar un número mayor de valores dentro del rango de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society Mechanical Engineer. (2013). Process Piping B31.3. En *ASME Code for Process Piping* (págs. 146 - 407). New York.
- Bylica, A., & Adamiak, S. (2008). The effect of GTAW processing on the structure and microhardness of C45 steel. *Archives of Foundry Engineering*, 8, 35 - 111.
- Fuenlabrada, L. (2002). *Probabilidad y Estadísticas*. Mexico: McGraw Hill.
- Giachino, J., & Weeks, W. (2007). *Técnica y Práctica en la Soldadura* (5ta ed.). Barcelona: Reverté.
- Huang, H. (2009). Effects of Shielding gas composition an activating flux on GTAW weldements. *Materials and Design*(30), 2404 - 2409.
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura. Principios y Aplicaciones* (5ta ed.). Madrid: Paraninfo.
- Keystometal.com. (2013). *Keys to Metals*. Recuperado el Mayo de 2013, de <http://www.keytometals.com/>
- López Galvez, C., & Orozco Roldan, F. R. (2013). *Soldadura en atmósfera protegida*. Madrid: Paraninfo.
- Molera, P. (1982). *Soldadura Industrial: Clases y Aplicaciones* (8va ed.). Barcelona: Marcombo.
- Pender, J. (1989). *Soldadura* (3era ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Pinto, A., & Pernalete, R. (2003). *Apuntes de Estadística con aplicación en procesadores* (1era ed.). Valencia: Publicaciones FACES UC.
- Ramirez, A., Cerpa, S., Mejías, G., León, J. B., & Quintero, A. (2006). Soldadura de un Acero Inoxidable Duplex 2205 por el proceso de soldadura GTAW. *Metalurgia y Materiales*(26), 46 - 50.
- Torres, J. (2002). Evolución microestructural de la aleación de aluminio 6061 durante el proceso de soldadura MIG. *Ingeniería y Desarrollo*(12), 52 - 65.
- TRIMECA. (2013). *Documentación Técnica*.
- Zapata, A. (2004). Parámetros para la elaboración de estándares de soldadura. *Scientia Et Technica*, X(24), 151 - 156.

ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)



**QW-482 WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)**  
 (See QW-260.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

---

Company Name: TUBAC, C.A.      Date: MAY 30, 2007      P#: QW-482-2042P  
 Welding Procedure Specification No.: 7-009      Supporting PQR No.: 013  
 Revision No.: 2      Date: OCTOBER 09, 2012

Welding Process(es): G.T.A.W.      Type(s): MANUAL  
(Shielded Metal, Nonferrous or Ferrous)

---

**QW-482 (QW-482)**      Details

Joint Design: GROOVE AND FILLET  
 Root Spacing: (See the details in the shop drawings)  
 Rooting: (File) 2 (No) \_\_\_\_\_  
 Backing Material (Type): BASE / WELD METAL  
(See QW-260.1, Section IX)

Metal       Nonferrous Metal  
 Nonmetallic       Copper

**SEE THE WELD DETAILS INDICATED ON THE SHOP DRAWING**

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.

(At the option of the manufacturer, sketches may be attached to describe joint design, weld types and bead sequences, e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)

REINFORCERS: NONE

---

**BASE METAL (QW-482)**

File: 04      Group No.: 1, 2      In P-No.: 2      Group No.: 1, 2

Specification and typegrade or UNS Number: \_\_\_\_\_  
 or Specification and typegrade or UNS Number: \_\_\_\_\_  
 or \_\_\_\_\_

Class, Analysis and Mech. Prop: \_\_\_\_\_  
 or Class, Analysis and Mech. Prop: \_\_\_\_\_

Thickness Range: \_\_\_\_\_

Base Metal:      Group: 0.0020" to 0.0075"      File: ALL  
 Maximum Part Thickness: 1/2 in. (13 mm)      (File) 2      (No) \_\_\_\_\_

Other: \_\_\_\_\_

---

**FILLER METAL (QW-482)**

|                           |                           |  |  |
|---------------------------|---------------------------|--|--|
| Spec. No. (AWS)           | <u>G.T.A.W.</u>           |  |  |
| ER No. (AWS)              | <u>ER 308-L</u>           |  |  |
| C No.                     | <u>E</u>                  |  |  |
| A No.                     | <u>1</u>                  |  |  |
| Size of Filler Metal      | <u>0.075" - 3/32"</u>     |  |  |
| Filler Metal Product Form | <u>SOLID</u>              |  |  |
| Supplier of Filler Metal  | <u>not</u>                |  |  |
| Weld Metals               |                           |  |  |
| Thickness Range           |                           |  |  |
| Group                     | <u>A1, B1, C1, D1, E1</u> |  |  |
| File                      | <u>ALL</u>                |  |  |
| Electrode-Flux Class      | <u>MS</u>                 |  |  |
| Flux Type                 | <u>MS20</u>               |  |  |
| Flux Trade Name           | <u>MS</u>                 |  |  |
| Consumable Inert          | <u>NONE</u>               |  |  |
| Other                     | <u>LINE 2 WITH FILLER</u> |  |  |

Each base metal-filler metal combination should be recorded individually

| <b>QW-482 ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (EPS)</b> |   |
|---|---|
| Nombre de la Empresa: TRIME, C.A                              | Op: <u>JEFE QA/QC</u>   |
| Esp. Proceso de Soldadura: <u>T-009</u>                       | Fecha: <u>30 Mayo 2014</u> RPC: <u>013</u>                              |
| Revisión N°: <u>2</u>   | Fecha: <u>Octubre 2014</u>  |
| Proc. Soldadura <u>G.T.A.W</u>                                | Tipo(s) <u>Manual</u>   |
| <b>JUNTAS QW - 402</b>  |   |
| Diseñ de Junta  | <u>Penetración y Relleno</u>  |
| Refuerzo  | Si: <u>X</u> No: _____ <b>VER LOS DETALLES DE LA SOLDADURA</b>          |
| Material del Refuerzo:  | <u>Metal Base / Mat de Aporte</u> <b>INDICADOS EN EL DIBUJO TÉCNICO</b> |
| <b>METAL BASE (QW-403)</b>                                    |   |
| P-N°: <u>1</u>  | Grupo N° <u>1,2</u> a P-N°: <u>1</u> Grupo N° <u>1,2</u>                |
| Ó   | -   |
| Especificación y tipo/grado o Número UNS                      | _____ - _____   |
| a Especificación y tipo/grado o Número UNS                    | _____ - _____   |
| Ó   | -   |
| Análisis Químico y Prop. Mecánicas                            | _____ - _____   |
| a Análisis Químico y Prop. Mecánicas                          | _____ - _____   |
| <b>Rango de Espesor</b>                                       |   |
| Metal Base      Penetración                                   | 0,0625" a 0,8675"      Relleno <u>Todo</u>                              |
| Máximo Espesor ≤ 1/2"   | Si: <u>X</u> No: _____  |
| <b>Metal de Relleno (QW-404)</b>                              | <u>G.T.A.W</u>  |
| SFA N°  | <u>SFA 5.18</u>   |
| AWS N°  | <u>ER 70S - 3</u>   |
| F-N°  | <u>6</u>  |
| A-N°  | <u>1</u>  |
| Diámetro del electrodo  | <u>1/16" - 3/32"</u>  |
| Metal de relleno suplementario                                | <u>Ninguno</u>  |
| Material de Aporte  | _____   |
| Rango de Espesor  | _____   |
| Penetración   | <u>0,8675" max</u>  |
| Relleno   | <u>Todo</u>   |

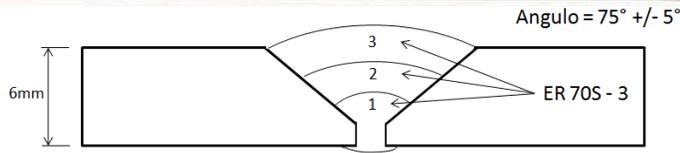


**QW-483 PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)**

(See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessels Code)  
Record Actual Conditions Used to Weld Test Coupon.

Company Name TRIME, C.A.  
 Procedure Qualification Record No. 013 Date MAY 30, 2002  
 WPS No. T-009 Rev. 0  
 Welding Process (es) G.T.A.W.  
 Types (Manual, Automatic, Semi-Autom.) MANUAL

**JOINT (QW-402)**



Groove Design of Test Coupon

(for combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal or process used)

| <p><b>BASE METAL (QW-403)</b></p> <p>Material Spec. <u>SA 516</u><br/>                 Type and Grade <u>70</u><br/>                 P.No. <u>1 Gr.2</u> to P.No. <u>1 Gr.2</u><br/>                 Thickness of Test Coupon <u>0.34375"</u><br/>                 Diameter of Test Coupon <u>N/A"</u><br/>                 Other <u>BACKING: "Yes" (weld metal) per S.M.A.W.</u><br/>                 Retainers: <u>none</u></p> <p><b>FILLER METALS (QW-404)</b></p> <p>SFA Specification <u>SFA 5.18</u><br/>                 AWS Classification <u>ER 70S-3</u><br/>                 Filler Metals F-No. <u>6</u><br/>                 Weld Metal Analysis A-No. <u>1</u><br/>                 Size of Filler Metal <u>1/16"</u><br/>                 Other <u>NONE</u><br/>                 Weld Metal Thickness <u>0.34375"</u></p> <p><b>POSITION (QW-405)</b></p> <p>Position of Groove <u>1G</u><br/>                 Weld Progression (Uphill, Downhill) <u>N/A</u><br/>                 Other <u>NONE</u></p> <p><b>PREHEAT (QW-406)</b></p> <p>Preheat Temp. <u>80°F</u><br/>                 Interpass Temp. <u>AS WELDED</u><br/>                 Other <u>NONE</u></p> | <p><b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b></p> <p>Temperature <u>NONE</u><br/>                 Time <u>NONE</u><br/>                 Other <u>N/A</u></p> <p><b>GAS (QW-408)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas (es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td><u>ARGON</u></td> <td><u>---</u></td> <td><u>10 - 30 CFH</u></td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td><u>NONE</u></td> <td><u>N/A</u></td> <td><u>N/A</u></td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td><u>NONE</u></td> <td><u>N/A</u></td> <td><u>N/A</u></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b></p> <p>Current <u>DC</u><br/>                 Polarity <u>ELECTRODE NEGATIVE (-)</u><br/>                 Amps. <u>G.T.A.W.: N.R.</u> Volts <u>N.R.</u><br/>                 Tungsten Electrode Size <u>3/32"</u><br/>                 Other <u>ORIFICE SIZE: 3/8"</u></p> <p><b>TECHNIQUE (QW-410)</b></p> <p>Travel Speed <u>N.R.</u><br/>                 String or Weave Bead <u>STRING</u><br/>                 Oscillation <u>NONE</u><br/>                 Multipass or Single Pass (per side) <u>MULTIPASS</u><br/>                 Single or multiple electrode <u>SINGLE</u><br/>                 Other <u>NO PEENING</u><br/> <u>WITHOUT BACKGOUING THE ROOT PASS.</u><br/>                 N.R.: Not Recorded.</p> |            | Percent Composition |  |  | Gas (es) | (Mixture) | Flow Rate | Shielding | <u>ARGON</u> | <u>---</u> | <u>10 - 30 CFH</u> | Trailing | <u>NONE</u> | <u>N/A</u> | <u>N/A</u> | Backing | <u>NONE</u> | <u>N/A</u> | <u>N/A</u> |
|---|---|------------|---------------------|--|--|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|--------------------|----------|-------------|------------|------------|---------|-------------|------------|------------|
|   | Percent Composition   |            |                     |  |  |          |           |           |           |              |            |                    |          |             |            |            |         |             |            |            |
|   | Gas (es)  | (Mixture)  | Flow Rate           |  |  |          |           |           |           |              |            |                    |          |             |            |            |         |             |            |            |
| Shielding   | <u>ARGON</u>  | <u>---</u> | <u>10 - 30 CFH</u>  |  |  |          |           |           |           |              |            |                    |          |             |            |            |         |             |            |            |
| Trailing  | <u>NONE</u>   | <u>N/A</u> | <u>N/A</u>          |  |  |          |           |           |           |              |            |                    |          |             |            |            |         |             |            |            |
| Backing   | <u>NONE</u>   | <u>N/A</u> | <u>N/A</u>          |  |  |          |           |           |           |              |            |                    |          |             |            |            |         |             |            |            |



**QW-482**

WPS No. T-009 Rev. 2

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>POSITIONS (QW-405)</b><br>Position(s) of Groove _____<br>Welding Progression Up: <u>FLAT</u> Down: _____<br>Position(s) of Fillet _____<br>Other: _____ |  | <b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b><br>Temperature Range _____ <u>NONE</u><br>Time Range _____ <u>NONE</u><br>Other: _____ |  |
|--|--|--|--|

| <b>PREHEAT (QW-406)</b><br>Preheat Temperature, Minimum: _____ <u>50°F</u><br>Interpass Temperature Maximum: _____ <u>AS WELDED</u><br>Preheat Maintenance: _____ <u>NO</u><br>Other: _____<br>(Continuous or special heating where applicable should be recorded) |              | <b>GAS (QW-408)</b> <u>N/A</u><br>Percent Composition<br><table border="1"> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>Mixture</th> <th>Flow Rate</th> </tr> <tr> <td>Shielding</td> <td><u>ARGON</u></td> <td><u>COMM. GRADE</u></td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td><u>NONE</u></td> <td><u>N/A</u></td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td><u>NONE</u></td> <td><u>N/A</u></td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table> |  |  | Gas(es) | Mixture | Flow Rate | Shielding | <u>ARGON</u> | <u>COMM. GRADE</u> | Trailing | <u>NONE</u> | <u>N/A</u> | Backing | <u>NONE</u> | <u>N/A</u> | Other | _____ | _____ |
|--|--------------|---|--|--|---------|---------|-----------|-----------|--------------|--------------------|----------|-------------|------------|---------|-------------|------------|-------|-------|-------|
| Gas(es)  | Mixture      | Flow Rate   |  |  |         |         |           |           |              |                    |          |             |            |         |             |            |       |       |       |
| Shielding  | <u>ARGON</u> | <u>COMM. GRADE</u>  |  |  |         |         |           |           |              |                    |          |             |            |         |             |            |       |       |       |
| Trailing   | <u>NONE</u>  | <u>N/A</u>  |  |  |         |         |           |           |              |                    |          |             |            |         |             |            |       |       |       |
| Backing  | <u>NONE</u>  | <u>N/A</u>  |  |  |         |         |           |           |              |                    |          |             |            |         |             |            |       |       |       |
| Other  | _____        | _____   |  |  |         |         |           |           |              |                    |          |             |            |         |             |            |       |       |       |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)**

| Weld Pass(es) | Process        | Filler Metal    |                 | Current           |                  | Volt (Range) | Travel Speed (Range) | Other (e.g. Remarks, Comments, Hot Wire, Addition Technique, Torch Angle, Etc.) |
|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------|----------------------|---|
|               |                | Classification  | Diameter        | Type and Polarity | Amps (Range)     |              |                      |   |
| <u>ALL</u>    | <u>G.T.A.W</u> | <u>ER 70S-3</u> | <u>1/16" or</u> | <u>DC E (-)</u>   | <u>60 - 150</u>  | _____        | _____                | _____   |
|               | <u>G.T.A.W</u> | <u>ER 70S-3</u> | <u>3/32"</u>    | <u>DC E (-)</u>   | <u>120 - 250</u> |              |                      |   |

80 - 120

Amps and volts range should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current: \_\_\_\_\_ NOT USED Heat Input (max.): \_\_\_\_\_ AS WELDED

Tungsten Electrode Size and Type: \_\_\_\_\_ EW17-2 Ø 1/8" OR 3/32"  
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW): \_\_\_\_\_ N/A  
(Spray Arc, Shielding Gas, etc.)

Electrode Wire Feed Speed Range: \_\_\_\_\_ N/A

Other: \_\_\_\_\_

**TECHNIQUE (QW-410)**

String or Weave Bead: \_\_\_\_\_ BOTH

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size: \_\_\_\_\_ N/A

Initial and Interpass Clearing (Brushing, Grinding, etc.): \_\_\_\_\_ BRUSHING AND/OR GRINDING

Method of Back Gouging: \_\_\_\_\_ NR

Oscillation: \_\_\_\_\_ N/A

Contact Tube to Work Distance: \_\_\_\_\_ N/A

Multiple or Single Pass (per side): \_\_\_\_\_ SINGLE AND MULTIPLE

Multiple or Single Electrodes: \_\_\_\_\_ SINGLE

Electrode Spacing: \_\_\_\_\_ N/A

Peening: \_\_\_\_\_ NO

Other: \_\_\_\_\_ STAY OUT OF CHAMBER



Manufacturer: TRIME, C.A.  
 By: Eng. Ma. Jacqueline Pérez A.  
QA/QC CHIEF

Date: OCTUBER 09, 2012

## ANEXO B: CERTIFICACIÓN DEL SOLDADOR.



**QW-484A WELDER PERFORMANCE QUALIFICATIONS (WPQ)**  
 (See QW-301, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Welder's name REINALDO HERNÁNDEZ Identification N° S-291  
 Identification of WPQS followed T-009 Test Description \_\_\_\_\_  
 Specification and type of UNS of base metal (s) SA 106 Gr. B Thickness 0.432" (10,57mm.)

Test coupon  Production Weld

| Welding Variables (QW-350)  | Actual Values      | Range Qualified            |
|---|--------------------|----------------------------|
| Welding process(es)<br>Type (is: manual, semi-auto) used  | GTAW               | GTAW                       |
| Backing (with/without)  | MANUAL             | MANUAL                     |
| <input type="checkbox"/> Plate <input checked="" type="checkbox"/> Pipe (enter diameter if pipe or tube)    | WITH-OUT           | WITH / WITHOUT             |
| Base metal P - Number to P - Number   | 6"                 | ≥ 2" / 8"                  |
| Filler metal or electrode specification(s) (SFA) (info only)  | 1                  | P1 TO P15F, P3, P41 TO P49 |
| Filler metal or electrode classification(s) (info only)   | E 5-8              | E 5-13                     |
| Filler metal F-Number(s)  | ER 70S 6           | ALL CLASSIFICATIONS        |
| Consumable insert (GTAW or PAW)   | -                  | -                          |
| Filler Metal Product Form (solid/metal or flux cored/powder) (GTAW or PAW)                                  | -                  | -                          |
| Deposit thickness for each process:   | SOLID METAL        | SOLID METAL                |
| Process 1: <u>GTAW</u> 3 layers minimum <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No | 0.432" (10,57 mm.) | 0.864" (21,94 mm.)         |
| Process 2: _____ 3 layers minimum <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No                  | NONE               | NONE                       |
| Position qualified (2G, 6G, 3F, etc.)   | 6G                 | ALL                        |
| Vertical progression (uphill or downhill)   | UPHILL             | UPHILL / DOWNHILL          |
| Type of fuel gas (OFW)  | N/A                | N/A                        |
| Inert gas backing (GTAW, PAW, GMAW)   | NONE               | WITH / WITHOUT             |
| Transfer mode (spray/globular or pulse to short circuit - GMAW)   | N/A                | N/A                        |
| GTAW current type/polarity (AC, DCEP, DCEN)   | DCE (-)            | DCE (-)                    |

Note: \_\_\_\_\_

**RESULTS**

Visual Examination of Completed Weld (QW-302.4) SATISFACTORY  
 Transverse face and root bends (QW-462.3(a))  Longitudinal bends (QW-462.3(b))  Side bends (QW-462.2)  
 Pipe bend specimen, corrosion resistant metal metal overlay (QW-462.5(d))  Plate bend specimen, corrosion resistant metal metal overlay (QW-462.5(c))  
 Pipe specimen, macro test for fusion (QW-462.5(b))  Plate specimen, macro test for fusion (QW-462.5(e))

| Type | Result | Type | Result | Type | Result |
|------|--------|------|--------|------|--------|
| ---  | ---    | ---  | ---    | ---  | ---    |
| ---  | ---    | ---  | ---    | ---  | ---    |

Alternative Volumetric Examination Results (QW-191) Satisfactory TRIME, C.A.'s Report N° 07207 RT  or UT  (check one)  
 Fillet weld - fracture test (QW-181.2) --- Length and percent of defects ---  
 Fillet welds in plate (QW-462.4(b))  Fillet welds in pipe (QW-462.4(c))  
 Macro examination (QW-184) --- Fillet size (in.) --- X --- Concavity/convexity (in) ---  
 Other test: ---

Firm or specimens evaluated by CARLOS GUINAKO  
 Mechanical tests conducted by --- Company TRIME, C.A.  
 Welding supervised by ARDENA CARMONA Laboratory test N° ---

We certify that statements in this record are correct and that the test coupons were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of the Section IX of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

Manufacturer or Contractor TRIME, C.A.  
 Certified By ING. JACQUELINE PEREZ

Date 22/07/2011

## ANEXO C: CERTIFICACIÓN DE LOS CILINDROS DE ARGÓN



**OXIGENO CARABOBO, C.A.**  
**LABORATORIO DE GASES ESPECIALES**  
 Urb. Industrial Carabobo – Transversal 9 – Calle 87 – A. N° 86-141  
 Tel.: (0241)-8322680, Fax.: (0241)-8334982

GE-P.01-F05 Rev. 0 03/05

N° de Certificado 1308120Pág. 1/1**CERTIFICADO DE CALIDAD**Cliente OXICARTipo 220

Dirección \_\_\_\_\_

Serial del envase Lote 5 CilindrosFecha de análisis 30/08/2013Serial analizado 23781Estabilidad del Gas 3 AñosTipo de Gas Alta Pureza

| Equipo Utilizado                    | Principio de Operación | Última fecha de Cal. / Verif. |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Teledyne AE-6 (ppm O <sub>2</sub> ) | Electroquímico         | Mayo 2013                     |
| Shaw AE-7 (ppm H <sub>2</sub> O)    | Dewpoint               | Mayo 2013                     |
| Cussons AE-13 (ppm N <sub>2</sub> ) | Espectrofotométrico    | Mayo 2013                     |

| Componente | Formula Química  | Unid. Medición | Especificación | Resultado |
|------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| Oxígeno    | O <sub>2</sub>   | ppm            | <5,0           | 1,8       |
| Humedad    | H <sub>2</sub> O | vpm            | <5             | < 2       |
| Nitrógeno  | N <sub>2</sub>   | ppm            | <20,0          | 3,1       |
| Argón      | Ar               | %              | 99,995         | 99,995    |
| -----      | -----            | ----           | -----          | -----     |

**CONDICIONES DE ENSAYO**

|             |         |                  |      |
|-------------|---------|------------------|------|
| Temperatura | 20,1 °C | Humedad Relativa | 53 % |
|-------------|---------|------------------|------|

**CONDICIONES DEL ENVASE**

|         |         |                    |            |
|---------|---------|--------------------|------------|
| Válvula | CGA-580 | Cont. Neto         | 6 m3       |
| Volumen | 40 l    | Presión de Llenado | 2200 Psig. |

OBSERVACIONES Seriales: 96707-1475-16257-15673-242117-004038

*JMR*  
 Supervisor de Gases Especiales  
 Ldo. José Miguel Rivero

|   |                 |
|---|-----------------|
| REVISADO POR:<br>ACCEPTED BY:           | FECHA:<br>DATE: |
| DEPARTAMENTO DE GASES<br>GAS DEPARTMENT |                 |
| <i>J. M. Rivero</i>                     | <i>08/08/13</i> |

ANEXO D: CERTIFICACIÓN DE LOS TUBOS DE ACERO SA-106

Gr.B

211540



## TUBOS REUNIDOS, S.A. - AMURRIO

CERTIFICADO DE CALIDAD S/DIN 50049-3.1.B  
MILL TEST CERTIFICATE, AC. TO DIN 50049-3.1.B

TRIME, C.A.

MATERIAL ACCEPTED AND VERIFIED AS MEETING SPECIFICATION SA-106 IN ACCORDANCE WITH SECTION I PART A ASME CODE YEAR 2010 AND ADDENDA




REI 2011-00285

Nº 0000048988 / 1 Rev. 0

PAG. 1/3

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <b>CLIENTE:</b><br>CUSTOMER                     | ITF INC., OF TEXAS  | <b>Nº PEDIDO/PARTIDA:</b><br>FORDER / ITEM     | 005355-00<br>000009  |
| <b>PRODUCTO:</b><br>ARTICLE                     | TUBERIA SIN SOLDADURA LAMINADA EN CALIENTE<br>HOT FINISHED SEAMLESS TUBES | <b>REF. FABRICA:</b><br>WORK ORDER             | 030001489<br>000090  |
| <b>EXTREMOS:</b><br>ENDS                        | BISELADOS<br>BEVELLED ENDS  | <b>PROTECCION SUPERF:</b><br>EXT. COATING      | LACA SECA EXTERIOR<br>OD DRY LACQUERED   |
| <b>NORMA / GRADO:</b><br>API STANDARD AND GRADE | A/SA53.99/106.90/5L.2000.PSL1<br>DR. II                                   | <b>ESPEC. ADICIONALES:</b><br>ADDITIONAL SPEC. |  |
| <b>DIMENSIONES:</b><br>DIMENSIONS               | 2.375" OD X SCH 40 X<br>6.1-6.7 M.  | <b>REQUISITOS SUP.:</b><br>SUP. REQUIREMENTS   |  |
| <b>MARCAS:</b><br>MARKING                       | ESTAMPADO<br>DIE STAMPING   | <b>PROCESO FUSION:</b><br>MELTING PROCESS      | HORNO ELECTRICO<br>ACERO TOTALMENTE CALMADO<br>ELECTRIC FURNACE & FULLY KILLED |

TRIME, C.A.  
ACEPTADO POR:  
ACCEPTED BY:  
DEPARTAMENTO DE QA/QC  
QA/QC DEPARTMENT

FIRMA:  
SIGNATURE

*[Signature]* 100811

PINTADO / STENCILED: TR 5L-0011 (BILLO API) (MM/AA) ASTM/ASME A/SA53 A/SA106 2 3/8 R PSL1 3 (LONG. TUBO EN MTS) M H.N. (COLADA)

CODIGO COLOR / COLOUR CODE

TRAT. TERMICO: NORM. BRUTO LAM. ENFR. AL AIRE / N. AS ROLLED. STILL AIR COOLED  
HEAT TREATMENT: APROX. 920 °C

LISTA DE BULTOS / PACKING LIST: 025722

| DESCRIPCION SUMINISTRO / DESCRIPTION OF DELIVERY |                              |                                     |                      |                      |                         |                    |                             |
|--|------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|
| ITEM FABRICA<br>T.R. ITEM                        | ITEM CLIENTE<br>CLIENTS ITEM | LONG.INDIV (M)<br>INDIVIDUAL LENGTH | COLADA<br>CAST NR.   | Nº TUBOS<br>QUANTITY | LONG.TOTAL(M)<br>LENGTH | PISO(KG)<br>WEIGHT | PROBITAS Nº<br>SPECIMEN NR. |
| 000090   | 9                            | 6.100 - 6.700                       | 662487-9680<br>60249 | 1120<br>387          | 7.418,790<br>2.579,840  | 39904<br>14069     | 1 - 4<br>2 - 6              |
| <b>TOTAL</b>                                     |                              |                                     |                      |                      | 9.998.630               | 53973              |                             |

Customer: Quilensa

P.O. No.: 027-078

Item No.: 382

1 of 3

TUBOS REUNIDOS GARANTIZA QUE TODOS LOS TUBOS CUBIERTOS POR ESTE CERTIFICADO CUMPLEN LOS REQUISITOS DEL PEDIDO Y CON LAS ESPECIFICACIONES ARRIBA MENCIONADAS.  
TUBOS REUNIDOS CERTIFY THAT ALL THE TUBES COVERED BY THIS CERTIFICATE COMPLY WITH ORDER REQUIREMENTS AND ABOVE MENTIONED SPECIFICATIONS

# TUBOS REUNIDOS, S.A. - AMURRIO

CERTIFICADO DE CALIDAD S/DIN 50049-3.1.B  
MILL TEST CERTIFICATE, AC. TO DIN 50049-3.1.B



N° 000048988 /1 Rev. 0

REI 2011-00385

ENSAYO DE TRACCION  
TENSILE TEST

ENSAYO DE IMPACTO - CHARPY V  
IMPACT TEST

PAG. 3/3

| N° | LT (*) | DIMENSION (mm) | L.ELAST. YIELD POINT (N/mm <sup>2</sup> ) | R.TRACC. T-STRENGTH (N/mm <sup>2</sup> ) | ALARG. ELONG. (%)(**) | DUREZA HARDNESS ( ) | LT (*) | DIMENS (mm) | T* (°C) | RESILIENCIA IMPACT TEST | A.DUCTIL SHEAR AREA (%) | ESTRICCION RED. AREA (%) |
|----|--------|----------------|---|--|-----------------------|---------------------|--------|-------------|---------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|    |        |                | 241                                       | 414                                      |                       |                     |        |             | 0       |                         |                         |                          |
| 2  | L      | 18,60 x 4,500  | 363                                       | 483                                      | 36                    |                     |        |             |         |                         |                         |                          |
| 3  | L      | 18,70 x 4,400  | 367                                       | 489                                      | 36                    |                     |        |             |         |                         |                         |                          |
| 4  | L      | 18,70 x 4,500  | 367                                       | 490                                      | 36                    |                     |        |             |         |                         |                         |                          |
| 5  | L      | 18,70 x 4,500  | 373                                       | 507                                      | 36                    |                     |        |             |         |                         |                         |                          |
| 6  | L      | 18,80 x 4,400  | 368                                       | 510                                      | 36                    |                     |        |             |         |                         |                         |                          |

(\*): L = LONGITUDINAL // T = TRANSVERSAL  
(\*\*): L<sub>0</sub> = 2" (50,8 mm)

Customer: Quwensa  
P.O. No.: 027-018  
Item No.: 382  
p 3 of 3

T-9680

**TRIME, C.A.**

MATERIAL ACCEPTED AND VERIFIED AS MEETING  
SPECIFICATION SA 106610 IN ACCORDANCE WITH  
SECTION II PART A ASME CODE YEAR 2010  
AND ADDENDA -

TRIME, C.A.  
ACCEPTADO POR:  
ACCEPTED BY:  
D-DEPARTAMENTO DE QA/QC  
QA/QC DEPARTMENT  
FIRMA SIGNATURE: [Signature] FECHA DATE: 16/08/11

# TUBOS REUNIDOS, S.A. - AMURRIO

CERTIFICADO DE CALIDAD S/DIN 50049-3.1.B  
MILL TEST CERTIFICATE, AC. TO DIN 50049-3.1.B

TRIME, C.A.

MATERIAL ACCEPTED AND VERIFIED AS MEETING  
SPECIFICATION SA 1066UB IN ACCORDANCE WITH  
SECTION II PART A ASME CODE YEAR 2010  
AND ADDENDA \_\_\_\_\_

N° 000048988 /1 Rev. 0



PAG. 2/3

**ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / N.D.T.**

| ENSAYO / TEST                                     | %CONTROL/TEST RATE(%) | REQUISITOS/REQUIREMENT | RESULTADO |
|---|-----------------------|------------------------|-----------|
| VISUAL Y DIMENSIONAL / VISUAL & DIMENSIONAL INSP. | 100%                  |                        | O.K.      |
| P.HIDROSTATICA / HYDROTEST                        | 100%                  | 2500 PSI 5 SEC.        | O.K.      |
| INSP. POR PASO DE ANILLO / RING GAUGE INSPECTION  | 100%                  |                        | O.K.      |

REI 2011-00385

**ENSAYOS TECNOLOGICOS Y METALURGICOS / TECHNOLOGICAL AND METALLURGICAL TEST**

DOBLADO / BENDING AC/ A/SA53/SA106/5L -OK

Customer: UWENSA  
P.O. No.: 027-018  
Item No.: 382  
p 2 of 3

**ANALISIS DE COLADA / CAST ANALYSIS**

|       | C    | Mn   | Si   | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo    | Cu    | V     | Al    | Ti    | Nb    | B      | C.E. |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| MIN.  | 0.00 | 0.29 | 0.10 | 0.000 | 0.000 | 0.400 | 0.400 | 0.100 | 0.500 | 0.050 | 0.060 | 0.050 | 0.020 | 0.0010 |      |
| MAX.  | 0.27 | 1.06 | 0.50 | 0.030 | 0.030 | 0.400 | 0.400 | 0.100 | 0.500 | 0.050 | 0.060 | 0.050 | 0.020 | 0.0010 |      |
| 66248 | 0.14 | 0.69 | 0.23 | 0.011 | 0.001 | 0.060 | 0.130 | 0.030 | 0.290 | 0.001 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.0001 | 0.30 |
| 66249 | 0.15 | 0.68 | 0.21 | 0.011 | 0.001 | 0.060 | 0.120 | 0.030 | 0.280 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.0001 | 0.31 |

**ANALISIS DE PRODUCTO / PRODUCT ANALYSIS**

|       | C    | Mn   | Si   | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo    | Cu    | V     | Al    | Ti    | Nb    | B      | (1)  | (2)  | C.E. |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|
| MIN.  | 0.00 | 0.29 | 0.10 | 0.000 | 0.000 | 0.400 | 0.400 | 0.100 | 0.500 | 0.050 | 0.060 | 0.050 | 0.020 | 0.0010 |      |      |      |
| MAX.  | 0.27 | 1.06 | 0.50 | 0.030 | 0.030 | 0.400 | 0.400 | 0.100 | 0.500 | 0.050 | 0.060 | 0.050 | 0.020 | 0.0010 | 1.00 | 0.15 |      |
| 66248 | 0.14 | 0.68 | 0.24 | 0.012 | 0.001 | 0.040 | 0.150 | 0.030 | 0.270 | 0.004 | 0.005 | 0.001 | 0.002 | 0.0001 | 0.49 | 0.01 | 0.30 |
| 66248 | 0.14 | 0.68 | 0.24 | 0.012 | 0.001 | 0.040 | 0.150 | 0.030 | 0.270 | 0.004 | 0.005 | 0.001 | 0.002 | 0.0001 | 0.49 | 0.01 | 0.30 |
| 66249 | 0.14 | 0.66 | 0.22 | 0.011 | 0.001 | 0.060 | 0.120 | 0.030 | 0.260 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.0001 | 0.47 | 0.01 | 0.29 |
| 66249 | 0.15 | 0.67 | 0.23 | 0.011 | 0.001 | 0.060 | 0.130 | 0.030 | 0.270 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.0001 | 0.49 | 0.01 | 0.31 |

(1) Cr + Ni + Mo + Cu + V

(2) Nb + Ti + V

T=9680

**ENSAYO DE TRACCION  
TENSILE TEST**

**ENSAYO DE IMPACTO - CHARPY V  
IMPACT TEST**

| N° L/T | DIMENSION<br>(*) (mm) | L.ELAST.<br>YIELD POINT<br>(N/mm2) | R.TRACC.<br>T.STRENGTH<br>(N/mm2) | ALARG.<br>ELONG.<br>(%)(**) | DUREZA<br>HARDNESS<br>(*) ( ) | L/T<br>DIMENS<br>(mm) | T <sup>a</sup><br>(°C) | RESILIENCIA<br>IMPACT TEST | A.DUCTIL<br>SHEAR AREA<br>(%) | ESTRICCION<br>RED. AREA<br>(%) |
|--------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|        |                       | 241                                | 414                               |                             |                               |                       | 0                      |                            |                               |                                |
| 1      | L 18,60 x 4,400       | 365                                | 510                               | 36                          |                               |                       |                        |                            |                               |                                |

CONTROL DE CALIDAD DE TUBOS REUNIDOS

*(Handwritten signature)*

## ANEXO E: CERTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE



### CERTIFICATE OF ANALYSIS

CONALLOY 70S-3 ER70S-3 1/16" X 36" TIG WIRE

LOT No. 12311244 ✓ AWS 5.18 Class ER70S-3 ✓

DESCRIPTION: ER70S-3 is a general purpose MIG wire suitable for many carbon steel welding applications. It is a silicon and manganese deoxidized wire making it excellent for general fabrication. This product requires a shielding gas.

METAL ANALYSIS %:

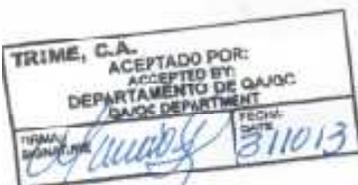
|            |      |
|------------|------|
| Carbon     | .92  |
| Silicon    | .64  |
| Manganese  | 1.16 |
| Phosphorus | .013 |
| Sulfur     | .012 |
| Chromium   | .012 |
| Nickel     | .016 |
| Molybdenum | .021 |
| Copper     | .011 |

MECHANICAL PROPERTIES

|                  |        |
|------------------|--------|
| Tensile Strength |        |
| 72,000 PSI       | 500MPA |
| Yield Strength   |        |
| 56,500           | 390MPA |
| Elongation       |        |
| 5%               |        |

A certificate of the actual analysis of materials shipped is available from Conweld Products Sales Department upon request

*Stephen R. Covey*



## ANEXO F: REPORTE TÉCNICO RADIOGRÁFICO

|    |                      | DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD<br>(QA/QC DEPARTMENT)  |  |  |                                   |  |                             | REPORTE DE RADIOGRAFIA<br>(RADIOGRAPHIC TEST REPORT) |   |  | HOJA 1 DE 4<br>SHEET 1 OF 4 |  |
|---|----------------------|--|--|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|--|---|--|-----------------------------|--|
| PROYECTO: SAN DIEGO DE CABRUTICA<br>(PROJECT) (TESIS DE GRADO)  |                      |  | O.T.: 34005<br>(JOB) (INSTALLATION OF TUBES) |  | REPORTE N°: 05227<br>(REPORT NO.) |  | FECHA: 22/05/2014<br>(DATE) |  |   |  |                             |  |
| <b>LEYENDA:</b> (LEGEND)<br>PE: PENETRACION INCOMPLETA (INCOMPLETE PENETRATION)<br>FI: FUSION INCOMPLETA (INCOMPLETE FUSION)<br>P: POROSIDAD (POROSITIES)<br>C/A/B: CORDON ALTOBAJO (REINFORCEMENT NON-DRI)<br>GR/LT: GRIETA LONG./TRANSV. (LONG./TRANSV. CRACK)<br>S/VE: SOCAVACION INT./EXT. (UNDERCUT INT./EXT.) |                      |  |  |  |                                   | LB/IE: LINEA / INCLUSION DE ESCORIA (SLAG LINE / INCLUSION)<br>DP: DEFECTO DE PELICULA (FLAW DEFECT)<br>A/B/D: ALTA/BAJA DENSIDAD (HIGH/LOW DENSITY)<br>M/R/P: MANCHURAYA DE PELICULA (PROCESSING DEFECTS)<br>IF: INDICACION FALSA (FALSE INDICATION)<br>EP: EXCESO DE PENETRACION (EXCESSIVE PENETRATION) |                             |  |   | RESULTADOS: (RESULTS)<br>A: ACEPTADO (ACCEPTED)<br>M: RECHAZADA (REPAIR)<br>RPT: REPETIR PELICULA (REPEAT) |                             |  |
| JUNTA<br>(Joints)   | SECTOR<br>(INTERNAL) | ESTAMPA<br>(STAMP)   | ESP. METAL BASE<br>(THE BASE METAL)          | ESP. DE SOLDADURA<br>(WELD THK)  | IC/ TALAMB.<br>(IC/ WIRE)         | DENSIDAD<br>(DENSITY)  | EVALUACION<br>(EVALUATION)  | RESULTADOS (RESULTS)                                 |   |  |                             |  |
|   |                      |  |  |  |                                   |  |                             | A  | M | RPT  |                             |  |
| CC  | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,83   | P                           |  | X |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,9 mm  | Set 1B/7                          | 2,84   | -                           | X  |   |  |                             |  |
| CP1-1   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,08   | -                           | X  |   |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,84   | -                           | X  |   |  |                             |  |
| CP1-2   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,92   | FP (cortar)                 |  | X |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,05   | FP (cortar)                 |  | X |  |                             |  |
| CP1-3   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,09   | P                           |  | X |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,07   | P                           |  | X |  |                             |  |
| CP2-1   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,18   | -                           | X  |   |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,13   | -                           | X  |   |  |                             |  |
| CP2-2   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,10   | -                           | X  |   |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,99   | P                           |  | X |  |                             |  |
| CP2-3   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,07   | P                           |  | X |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,18   | P                           |  | X |  |                             |  |
| CP3-1   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,87   | IT/IE                       |  | X |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,98   | IT/IE                       |  | X |  |                             |  |
| CP3-2   | 0                    | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 2,96   | -                           | X  |   |  |                             |  |
|   | 90                   | S-291  | 6 mm   | 10,8 mm  | Set 1B/7                          | 3,00   | -                           | X  |   |  |                             |  |
| PELICULAS: CANTIDAD: 8 TIPO: D4 MARCA: AGFA PELICULAS POR CASSETTE: 1<br>(No. OF FILM) (TYPE) (MFR) (No. FILMS BY CASSETTES)  |                      | ISOTOPO: TIPO: Iridium-192 ACTIVIDAD: 15 Ci TAMAÑO: 0.125" PENUMERA: 50.027"<br>(ISOTOPE) (TYPE) (ACTIVITY) (SIZE) (G. UNSHARPNESS)        |  | TECNICA: <input checked="" type="checkbox"/> EPS <input type="checkbox"/> EPD <input type="checkbox"/> VPS <input type="checkbox"/> VPD DISTANCIAS FUENTE-SOLDADURA(MM): LADO FUENTE-SOLDADURA - PELICULA(MM): 5.425"(21.8 in.)<br>(TECHNIQUE) (SOURCE-WELDING) (DISTANCES) (SOURCE-TO-FILM) |                                   | CODIGO/NORMA: ASME SECCION VIII DIV 1 W/BASE: SA 516 Gr. 70 PROCEDIMIENTO: 02 REV.: 6<br>(CODE/STANDARD) (SPOT) (100% (BASE)) (PROCEDURE) (REV.)   |                             |  |   |  |                             |  |
| FIRMA (SIGNATURE)<br>YOMPRE (NAME)<br>FECHA (DATE)<br>NIVEL (LEVEL)   |                      | EVALUADOR (EVALUATOR)<br><br>Carlos Guinand<br>22/05/14 |  | INSPECTOR AUTORIZADO (A)<br>_____  |                                   | INSPECTOR CLIENTE (CLIENT INSPECTOR)<br>_____  |                             |  |   |  |                             |  |

| DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD   |        |   |  |  |                   |                                |   |            |   |     |
|---|--------|---|--|--|-------------------|--------------------------------|---|------------|---|-----|
| REPORTE DE RADIOGRAFÍA  |        |   |  |  |                   |                                |   |            |   |     |
| PROYECTO: TESIS DE GRADO  |        |   | O.T.: 34005<br>prefabricación de tubería |  | Reporte N°: 0522T |                                | FECHA: 22/05/14   |            |   |     |
| <b>LEYENDA</b><br>PI: PENETRACIÓN INCOMPLETA<br>FI: FUSIÓN INCOMPLETA<br>P: POROSIDAD<br>C A/B: CORDON ALTO/BAJO<br>GR L/T: GRIETA LONG/TRANSV<br>S I/E: SOCAVACION INT./EXT. |        |   |  |  |                   |                                | <b>RESULTADOS</b><br>A: ACEPTADO<br>M: RECHAZADO<br>RPT: REPETIR PELICULA |            |   |     |
| JUNTA   | SECTOR | ESTAMPA   | ESP. METAL BASE                          | ESP DE SOLDADURA   | ICI/ALAMBRE       | DENSIDAD                       | EVALUACION  | RESULTADOS |   |     |
|   |        |   |  |  |                   |                                |   | A          | M | RPT |
| CP1-1   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,06                           | -   | X          |   |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 2,84                           | -   | X          |   |     |
| CP1-2   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 2,92                           | FP (cortar)   |            | X |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,05                           | FP (cortar)   |            | X |     |
| CP1-3   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,09                           | P   |            | X |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,07                           | P   |            | X |     |
| CP2-1   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,18                           | -   | X          |   |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,13                           | -   | X          |   |     |
| CP2-2   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,10                           | -   | X          |   |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 2,99                           | P   |            | X |     |
| CP2-3   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,07                           | P   |            | X |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,18                           | P   |            | X |     |
| CP3-1   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 2,87                           | IT/ME   |            | X |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 2,98                           | IT/ME   |            | X |     |
| CP3-2   | 0      | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 2,96                           | -   | X          |   |     |
|   | 90     | S-291   | 6 mm                                     | 10,8 mm  | SET 1B/7          | 3,00                           | -   | X          |   |     |
| PELICULAS: CANTIDAD 1 TIPO: D4 MARCA AGFA PELICULAS POR CASSETTE 1<br>ISOTOPO: TIPO Iridium-192 ACTIVIDAD 15 C.i: TAMAÑO: 0,125" PENUNMBRA: ≤0,020"                           |        | TECNICA EPS VPS DISTANCIAS: FUENTE SOLDADURA(min) LADO FUENTE SOLDADURA |  | CODIGO/NORMA: ASME SECCIÓN VIII DIV. 1 M.BASE: SA 106 Gr B |                   | PELICULA (max) 0,425" (10,8mm) |   |            |   |     |
| EVALUADOR   |        |   |  | PROCEDIMIENTO:   |                   | 2                              |   | REV        |   | 6   |
| NOMBRE  |        | Ing. Carlos Guinand   |  |  | NIVEL             |                                | III   |            |   |     |



**DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD**  
(QA/QC DEPARTMENT)

**REPORTE DE RADIOGRAFIA**  
(RADIOGRAPHIC TEST REPORT)

HOJA 2 DE 4  
SHEET OF

---

|   |   |  |                                    |
|---|---|--|------------------------------------|
| <b>PROYECTO:</b> SAN DIEGO DE CABRUTICA<br>(PROJECT) (TESIS DE GRADO) | <b>O.T.:</b> 34005<br>(JOB) (prefabricación de tubería) | <b>REPORTE N°:</b> 0522T<br>(REPORT No.) | <b>FECHA:</b> 22/05/2014<br>(DATE) |
|---|---|--|------------------------------------|

---

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>LEYENDA:</b> (LEGEND)<br>PE: PENETRACION INCOMPLETA (INCOMPLETE PENETRATION)<br>FI: FUSION INCOMPLETA (INCOMPLETE FUSION)<br>P: POROSIDAD (POROSITY)<br>C/AB: CORDON ALTO/BAJO (REINFORCEMENT HIGH/LOW)<br>GR/LT: GRIETA LONG/TRANS/ (CRACK LONG/TRANS)<br>SUE: SOCAVACION INT/EXT. (UNDERCUT INT/CUL/TISE) | <b>LE/IE:</b> LINEA/ INCLUSION DE ESCORIA (SLAG LINE/ INCLUSION)<br>DP: DEFECTO DE PELICULA (FILM DEFECT)<br>A/B/D: ALTA/BAJA DENSIDAD (LOW/HIGH DENSITY)<br>M/R/P: MANCHA/RAYA DE PELICULA (PROCESSING DEFECTS)<br>IF: INDICACION FALSA (FALSE INDICATOR)<br>EP: EXCESO DE PENETRACION (EXCESSIVE PENETRATION) | <b>RESULTADOS:</b> (RESULTS)<br>A : ACEPTADO (ACCEPTED)<br>M : RECHAZADA (REPAIR)<br>RPT: REPETIR PELICULA (RESHOT) |
|--|---|---|

---

| JUNTA<br>(WELD) | SECTOR<br>(SECTOR) | ESTAMPA<br>(STAMP) | ESP. METAL BASE<br>(THK BASE METAL) | ESP. DE SOLDADURA<br>(WELD THK) | ICI / ALAMB.<br>(C/I WIRE) | DENSIDAD<br>(DENSITY) | EVALUACION<br>(EVALUATOR) | RESULTADOS (RESULTS) |   |     |
|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---|-----|
|                 |                    |                    |                                     |                                 |                            |                       |                           | A                    | M | RPT |
| CP3-3           | 0                  | S-201              | 5 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,89                  | P                         |                      | X |     |
|                 | 90                 | S-201              | 5 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,91                  | P                         |                      | X |     |
| CP4-1           | 0                  | S-201              | 5 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,07                  | -                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 5 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,06                  | -                         | X                    |   |     |
| CP4-2           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,09                  | -                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,20                  | -                         | X                    |   |     |
| CP4-3           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,12                  | -                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,99                  | RC                        | X                    |   |     |
| CP5-1           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,96                  | FFISE                     |                      | X |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,97                  | SE                        |                      | X |     |
| CP5-2           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,87                  | -                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 2,90                  | -                         | X                    |   |     |
| CP5-3           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,07                  | P                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7                   | 3,06                  | -                         | X                    |   |     |
| CP6-1           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,6 mm                         | Set 1B/7                   | 3,06                  | -                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,6 mm                         | Set 1B/7                   | 3,04                  | P                         | X                    |   |     |
| CP6-2           | 0                  | S-201              | 6 mm                                | 10,6 mm                         | Set 1B/7                   | 2,95                  | -                         | X                    |   |     |
|                 | 90                 | S-201              | 6 mm                                | 10,6 mm                         | Set 1B/7                   | 2,73                  | -                         | X                    |   |     |

---

|   |
|---|
| PELICULAS: CANTIDAD: 9 TPO: D4 MARCA: AGFA PELICULAS POR CASSETTE: 1<br>(No. OF FILM) (TYPE) (MSF#) (No. FILMS BY CASSETTES)  |
| ISOTOPO: TIPO: Iridium -192 ACTIVIDAD: 15 Ci TAMAÑO: 0.125" PENUMERA: 50.027<br>(ISOTOPE) (TYPE) (ACTIVITY) (SIZE) (G. UNSHARPNESS)   |
| TECNICA: <input checked="" type="checkbox"/> EPS <input type="checkbox"/> EPD <input type="checkbox"/> VFS <input type="checkbox"/> VPD DISTANCIAS: FUENTE-SOLDADURA(MIN): LADO FUENTE SOLDADURA - PELICULA(mm): 3420 (10.3 mm)<br>(TECHNIQUE) (TYPE) (TYPE) (TYPE) (TYPE) (DISTANCE) (SOURCE - WELDING) (SOURCE SIDE WELDING - FILM) |
| CODIGO/NORMA: ASME SECCION VIII DIV. 1 M. BASE: SA 516 Gr. 70 PROCEDIMIENTO: 02 REV: 6<br>(CODE/S.TANDARD) (SPOT) (100%) (BASE MET.) (PROCEDURE) (REV)  |

---

|   |  |   |
|---|--|---|
| EVALUADOR: <br>INGENIERO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD<br>Ing. Carlos Guinand | INSPECTOR AUTORIZADO (A) _____<br>_____<br>_____ | INSPECTOR CLIENTE (CLIENT INSPECTOR)<br>_____<br>_____<br>_____ |
| F/PMA (SIGNATURE) _____<br>NOMBRE (NAME) _____<br>FECHA (DATE) 24/05/14<br>NIVEL (LEVEL) III  |  |   |

| DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD   |                          |             |                 |   |             |                   |                        |                    |                                |     |
|---|--------------------------|-------------|-----------------|---|-------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-----|
| REPORTE DE RADIOGRAFÍA  |                          |             |                 |   |             |                   |                        |                    |                                |     |
| PROYECTO: TESIS DE GRADO  |                          |             |                 | O.T.: 34005<br>prefabricación de tubería  |             | Reporte N°: 0522T |                        | FECHA: 22/05/14    |                                |     |
| LEYENDA   |                          |             |                 |   |             |                   |                        | RESULTADOS         |                                |     |
| PI: PENETRACIÓN INCOMPLETA<br>FI: FUSIÓN INCOMPLETA<br>P: POROSIDAD<br>C A/B: CORDON ALTO/BAJO<br>GR L/T: GRIETA LONG/TRANSV<br>S I/E: SOCAVACION INT./EXT. |                          |             |                 | LE/IE: LINEA / INCLUSION DE ESCORIA<br>DP: DEFECTO DE PELICULA<br>A/B D: ALTA/BAJA DENSIDAD<br>M/R P: MANCHA/ RAYA DE PELICULA<br>IF: INDICACION FALSA<br>EP: EXCESO DE PENETRACION |             |                   |                        |                    |                                |     |
| JUNTA   | SECTOR                   | ESTAMPA     | ESP. METAL BASE | ESP DE SOLDADURA  | ICI/ALAMBRE | DENSIDAD          | EVALUACION             | RESULTADOS         |                                |     |
|   |                          |             |                 |   |             |                   |                        | A                  | M                              | RPT |
| CP3-3   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,89              | P                      |                    | X                              |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,91              | P                      |                    | X                              |     |
| CP4-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,07              | -                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,06              | -                      | X                  |                                |     |
| CP4-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,09              | -                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,20              | -                      | X                  |                                |     |
| CP4-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,12              | -                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,99              | RC                     | X                  |                                |     |
| CP5-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,96              | FF/SE                  |                    | X                              |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,97              | SE                     |                    | X                              |     |
| CP5-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,87              | -                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 2,90              | -                      | X                  |                                |     |
| CP5-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,07              | P                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,06              | -                      | X                  |                                |     |
| CP6-1   | 0                        | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,06              | -                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 6 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/7    | 3,04              | P                      | X                  |                                |     |
| CP6-1   | 0                        | S-291       | 7 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/8    | 2,95              | -                      | X                  |                                |     |
|   | 90                       | S-291       | 8 mm            | 10,8 mm   | SET 1B/9    | 2,73              | -                      | X                  |                                |     |
| PELICULAS:  | CANTIDAD                 | 1           |                 | TIPO: D4  | MARCA       | AGFA              | PELICULAS POR CASSETTE |                    | 1                              |     |
| ISOTOPO:  | TIPO                     | Iridium-192 |                 | ACTIVIDAD   | 15          | C.i:              | TAMAÑO: 0,125"         | PENUNMBRA: ≤0,020" |                                |     |
| TECNICA   | EPS                      | VPS         |                 | DISTANCIAS:   | FUENTE      | SOLDADURA(min)    | LADO FUENTE SOLDADURA  |                    | PELICULA (max) 0,425" (10,8mm) |     |
| CODIGO/NORMA:   | ASME SECCIÓN VIII DIV. 1 |             |                 |   | M.BASE:     | SA 106 Gr B       |                        |                    |                                |     |
| EVALUADOR   |                          |             |                 | PROCEDIMIENTO:  |             | 2                 | REV                    | 6                  |                                |     |
| NOMBRE  | Ing. Carlos Guinand      |             |                 |   |             |                   |                        |                    |                                |     |
| NIVEL   | III                      |             |                 |   |             |                   |                        |                    |                                |     |



**TRIME, C.A.**

**DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD**  
(QA/QC DEPARTMENT)

**REPORTE DE RADIOGRAFIA**  
(RADIOGRAPHIC TEST REPORT)

HOJA 3 DE 4  
SHEET OF

---

**PROYECTO:** SAN DIEGO DE CABRUTICA  
(PROJECT) (TESIS DE GRADO)

**O.T.:** 34005  
(JOB) perforación de tubería

**REPORTE N°:** 0522T  
(REPORT No.)

**FECHA:** 22/05/2014  
(DATE)

---

**LEYENDA:** (LEGEND)

PI: PENETRACION MCOMPLETA (INCOMPLETE PENETRATION)  
FI: FUSION INCOMPLETA (INCOMPLETE FUSION)  
P: POROSIDAD (POROUSNESS)  
C/A/B: CORDON ALTO/BAJO (REINFORCEMENT HIGH/LOW)  
GR/LT: GRIETA LONG./TRANSV. (CRACK LONG./TRANSV.)  
S/IE: SOCAVACION INT./EXT. (UNDERCUT INSIDE/OUTSIDE)

LEJE: LINEA / INCLUSION DE ESCORIA (SLAG LINE/ INCLUSION)  
DP: DEFECTO DE PELICULA (FILM DEFECT)  
A/B/D: ALTA/BAJA DENSIDAD (LOW/HIGH DENSITY)  
M/R/P: MANCHURAYA DE PELICULA (PROCESSING DEFECTS)  
IF: INDICACION FALSA (FALSE INDICATION)  
EP: EXCESO DE PENETRACION (EXCESSIVE PENETRATION)

**RESULTADOS:** (RESULTS)

A: ACEPTADO (ACCEPTED)  
M: RECHAZADA (REPAIR)  
RPT: REPETIR PELICULA (RESHOT)

---

| JUNTA<br>(WELD) | SECTOR<br>(INTERNAL) | ESTAMPA<br>(STAMP) | ESP. METAL BASE<br>(THK BASE METAL) | ESP. DE SOLDADURA<br>(WELD THK) | CI/ALAMB<br>(W/ WIRE) | DENSIDAD<br>(DENSITY) | EVALUACION<br>(EVALUATION) | RESULTADOS (RESULTS) |   |     |
|-----------------|----------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---|-----|
|                 |                      |                    |                                     |                                 |                       |                       |                            | A                    | M | RPT |
| CP8-3           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,86                  | P                          | X                    |   |     |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,99                  | -                          | X                    |   |     |
| CP7-1           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 3,02                  | -                          | X                    |   |     |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,85                  | FF                         |                      | X |     |
| CP7-2           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,70                  | -                          | X                    |   |     |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,82                  | P                          |                      |   | X   |
| CP7-3           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,3 mm                         | Set 1B/7              | 3,02                  | P                          |                      |   | X   |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,3 mm                         | Set 1B/7              | 3,09                  | P                          |                      |   | X   |
| CP8-1           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,3 mm                         | Set 1B/7              | 2,88                  | P                          |                      |   | X   |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,3 mm                         | Set 1B/7              | 2,92                  | P                          | X                    |   |     |
| CP8-2           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,5 mm                         | Set 1B/7              | 2,94                  | -                          | X                    |   |     |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,59                  | P                          |                      |   | X   |
| CP8-3           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,95                  | P                          |                      |   | X   |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,90                  | -                          | X                    |   |     |
| CP8-1           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,79                  | -                          | X                    |   |     |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,89                  | -                          | X                    |   |     |
| CP9-2           | 0                    | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 2,95                  | -                          | X                    |   |     |
|                 | 90                   | S-291              | 6 mm                                | 10,8 mm                         | Set 1B/7              | 3,05                  | -                          | X                    |   |     |

---

PELICULAS: CANTIDAD: 9  
(No. OF FILM)

TIPO: D4  
(TYPE)

MARCA: AGFA  
(MGR)

PELICULAS POR CASSETTE: 1  
(No. FILMS BY CASSETTES)

---

ISOTOPO: Indium -192  
(ISOTOPE)

TIPO: Inidum -192  
(TYPE)

ACTIVIDAD: 15  
(ACTIVITY)

TAMAÑO: 0,125"  
(SIZE)

PENUMBRA: <math>\leq 0,026''</math>  
(G. UNSHARPNESS)

---

TECNICA:  EPS  EPD  VPS  VPD  
(TECHNIQUE) (SWE) (DYE) (DYE) (DYE)

DISTANCIAS: FUENTE-SOLDADURA (MIN):  
(DISTANCES) (SOURCE - WELDING)

LADO FUENTE SOLDADURA - PELICULA (MAX): 0,425" (10,8 mm)  
(SOURCE SIDE WELDING - FILM)

---

CODIGO/NORMA: ASME SECCION VIII DIV 1  
(CODE/STANDARD) SPOT  100%

BASE: SA 516 Gr. 70  
(BASE MTL)

PROCEDIMIENTO: D2  
(PROCEDURE)

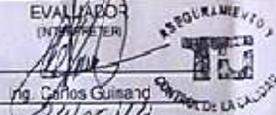
REV: 6  
(REV.)

---

EVALUADOR (INTERPRETER)  
*[Signature]*  
Ing. Carlos Guisard  
24/05/14

INSPECTOR AUTORIZADO (AI)  
\_\_\_\_\_

INSPECTOR CLIENTE (CLIENT INSPECTOR)  
\_\_\_\_\_



OC-F-05

| DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD  |        |                          |                 |  |                |                   |                |   |                    |     |
|--|--------|--------------------------|-----------------|--|----------------|-------------------|----------------|---|--------------------|-----|
| REPORTE DE RADIOGRAFÍA   |        |                          |                 |  |                |                   |                |   |                    |     |
| PROYECTO: TESIS DE GRADO   |        |                          |                 | O.T.: 34005<br>prefabricación de tubería |                | Reporte N°: 0522T |                | FECHA: 22/05/14   |                    |     |
| <b>LEYENDA</b><br>PI: PENETRACIÓN INCOMPLETA<br>FI: FUSIÓN INCOMPLETA<br>P: POROSIDAD<br>C A/B: CORDON ALTO/BAJO<br>GR L/T: GRIETA LONG/TRANSV<br>S I/E: SOCAVACION INT./EXT.<br>LE/IE: LINEA / INCLUSION DE ESCORIA<br>DP: DEFECTO DE PELICULA<br>A/B D: ALTA/BAJA DENSIDAD<br>M/R P: MANCHA/ RAYA DE PELICULA<br>IF: INDICACION FALSA<br>EP: EXCESO DE PENETRACION |        |                          |                 |  |                |                   |                | <b>RESULTADOS</b>   |                    |     |
|  |        |                          |                 |  |                |                   |                | <b>A: ACEPTADO</b><br><b>M: RECHAZADO</b><br><b>RPT: REPETIR PELICULA</b> |                    |     |
| JUNTA  | SECTOR | ESTAMPA                  | ESP. METAL BASE | ESP DE SOLDADURA                         | ICI/ALAMBRE    | DENSIDAD          | EVALUACION     | RESULTADOS  |                    |     |
|  |        |                          |                 |  |                |                   |                | A   | M                  | RPT |
| CP6-3  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,86              | P              | X   |                    |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,99              | -              | X   |                    |     |
| CP7-1  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 3,02              | -              | X   |                    |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,85              | FF             |   | X                  |     |
| CP7-2  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,70              | -              | X   |                    |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,82              | P              | X   |                    |     |
| CP7-3  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 3,02              | P              |   | X                  |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 3,09              | P              |   | X                  |     |
| CP8-1  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,88              | P              |   | X                  |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,92              | P              | X   | X                  |     |
| CP8-2  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,84              | -              | X   |                    |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,59              | P              |   | X                  |     |
| CP8-3  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,95              | P              |   | X                  |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,90              | -              | X   |                    |     |
| CP9-1  | 0      | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,79              | -              | X   |                    |     |
|  | 90     | S-291                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,89              | -              | X   |                    |     |
| CP9-2  | 0      | S-292                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 2,95              | -              | X   |                    |     |
|  | 90     | S-293                    | 6 mm            | 10,8 mm                                  | SET 1B/7       | 3,05              | -              | X   |                    |     |
| PELICULAS:   |        | CANTIDAD                 | 1               |  | TIPO: D4       | MARCA             | AGFA           | PELICULAS POR CASSETTE  |                    | 1   |
| ISOTOPO:   |        | TIPO                     | Iridium-192     |  | ACTIVIDAD      | 15                | C.i:           | TAMAÑO: 0,125"  | PENUNMBRA: ≤0,020" |     |
| TECNICA  |        | EPS                      | VPS             |  | DISTANCIAS:    | FUENTE            | SOLDADURA(min) | LADO FUENTE SOLDADURA   |                    |     |
|  |        |                          |                 |  |                |                   |                | PELICULA (max)  | 0,425" (10,8mm)    |     |
| CODIGO/NORMA:  |        | ASME SECCIÓN VIII DIV. 1 |                 |  |                | M.BASE:           | SA 106 Gr B    |   |                    |     |
| EVALUADOR  |        |                          |                 |  | PROCEDIMIENTO: |                   | 2              | REV   | 6                  |     |
| NOMBRE   |        | Ing. Carlos Guinand      |                 |  |                | NIVEL             |                | III   |                    |     |





**ANEXO G: CRITERIO DE ACEPTACIÓN RESPECTO A LA DISPOSICIÓN Y DIMENSIONES DE LAS POROSIDADES DETECTADAS A TRAVÉS DE RADIOGRAFÍA, SEGÚN LA NORMA ASME B31.3**

4-3

2013 SECTION VIII - DIVISION 1

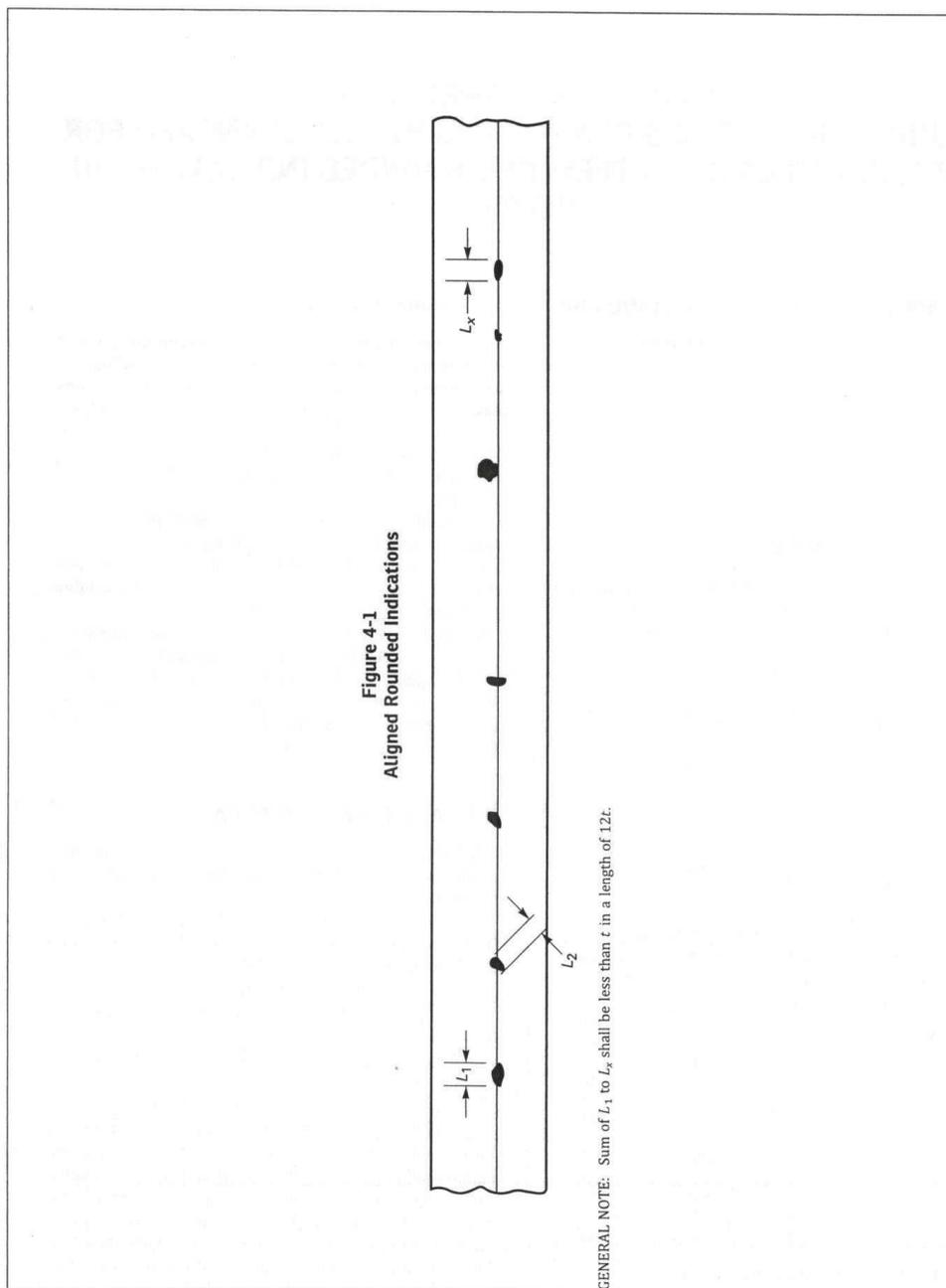
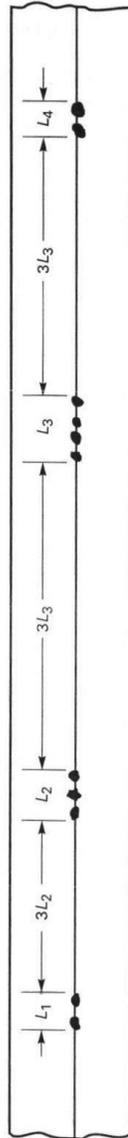


Figure 4-2  
Groups of Aligned Rounded Indications



GENERAL NOTE: Sum of the group lengths shall be less than  $t$  in a length of  $12t$ .

Maximum Group Length

$L = 1/4$  in. (6 mm) for  $t$  less than  $3/4$  in. (19 mm)

$L = 1/3t$  for  $t$   $3/4$  in. (19 mm) to  $2 1/4$  in. (57 mm)

$L = 3/4$  in. (19 mm) for  $t$  greater than  $2 1/4$  in. (57 mm)

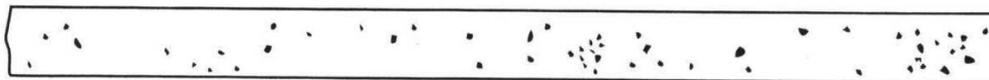
Minimum Group Spacing

$3L$  where  $L$  is the length of the

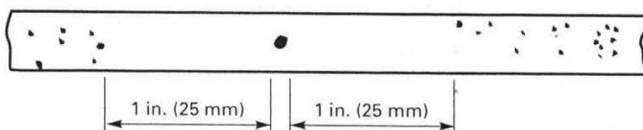
longest adjacent group being

evaluated.

**Charts for  $t$  Equal to  $\frac{1}{8}$  in. to  $\frac{1}{4}$  in. (3 mm to 6 mm), Inclusive**



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]

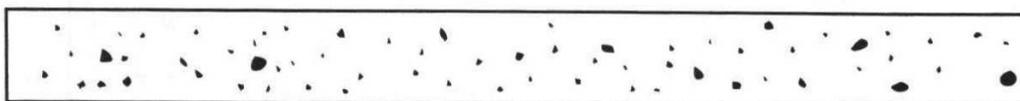


(c) Cluster

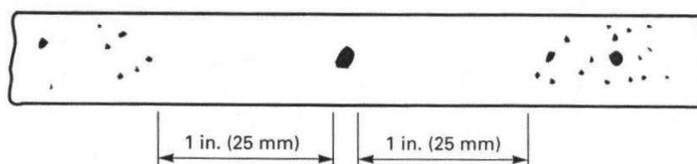
**NOTES:**

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

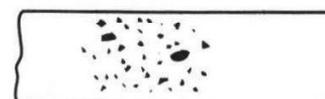
**Charts for  $t$  Over  $\frac{1}{4}$  in. to  $\frac{3}{8}$  in. (6 mm to 10 mm), Inclusive**



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]

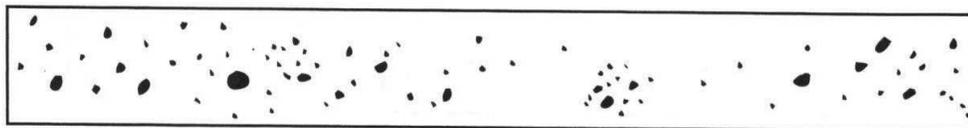


(c) Cluster

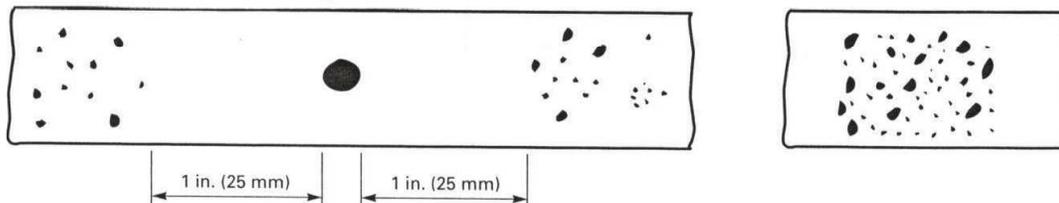
**NOTES:**

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

**Charts for  $t$  Over  $\frac{3}{8}$  in. to  $\frac{3}{4}$  in. (10 mm to 19 mm), Inclusive**



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



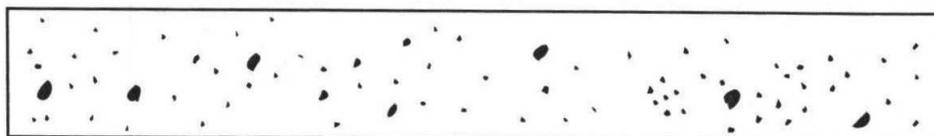
(b) Isolated Indication [See Note (2)]

(c) Cluster

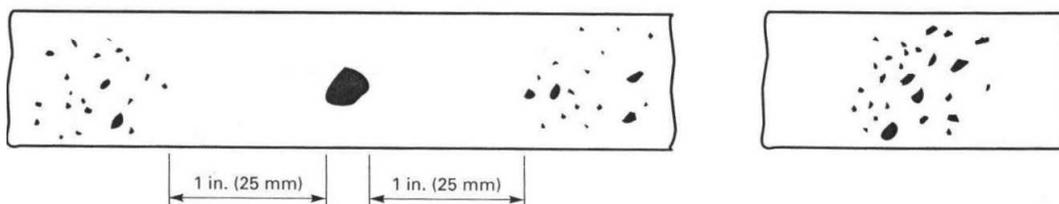
NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

**Charts for  $t$  Over  $\frac{3}{4}$  in. to 2 in. (19 mm to 50 mm), Inclusive**



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



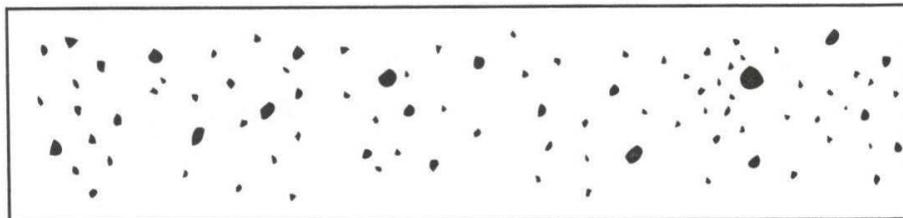
(b) Isolated Indication [See Note (2)]

(c) Cluster

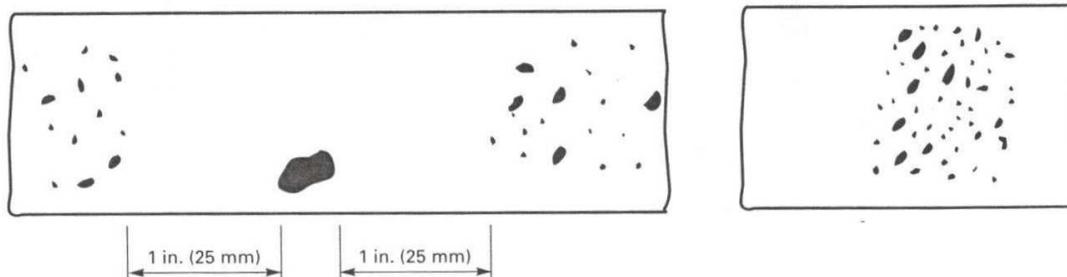
NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

Charts for  $t$  Over 2 in. to 4 in. (50 mm to 100 mm), Inclusive



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



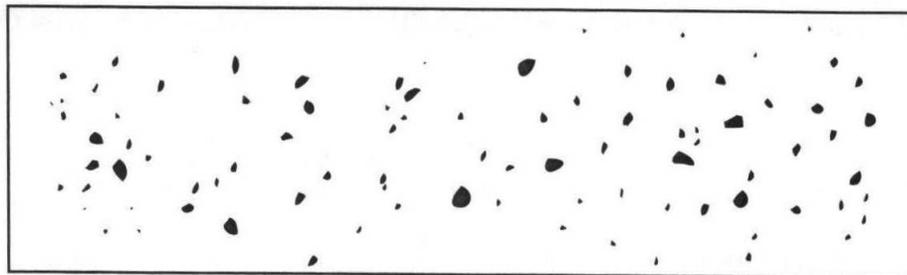
(b) Isolated Indication [See Note (2)]

(c) Cluster

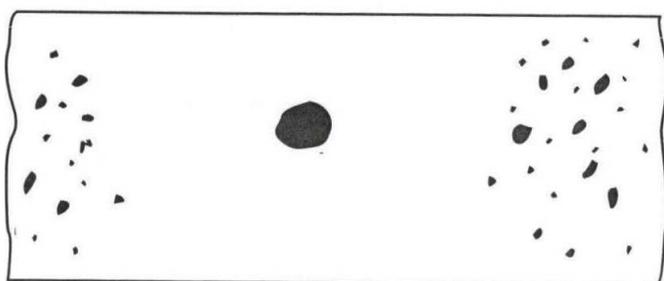
NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

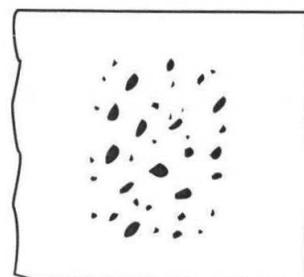
Charts for  $t$  Over 4 in. (100 mm)



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



(c) Cluster

NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

### ANEXO H: EJEMPLO DE CALCULO DEL ANALISIS ESTADISTICO.

Fijando 80 A, planteando las siguientes hipótesis:

| Intensidad de corriente(A) | Flujo de argón (pie <sup>3</sup> /h) | Áreas con poros (mm <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 80                         | 10                                   | 0                                  |
|                            |                                      | 5,3699                             |
|                            |                                      | 15,1762                            |
| 80                         | 20                                   | 0                                  |
|                            |                                      | 0                                  |
|                            |                                      | 0                                  |
| 80                         | 30                                   | 0                                  |
|                            |                                      | 3,924                              |
|                            |                                      | 5,6824                             |

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \text{ (Ecuación 2.1)}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \text{ (Ecuación 2.2)}$$

Número de repeticiones (n): n=3 y Número total de la muestra (N): N = 9

|                      | 10      | 10 <sup>2</sup> | 20 | 20 <sup>2</sup> | 30    | 30 <sup>2</sup> |
|----------------------|---------|-----------------|----|-----------------|-------|-----------------|
| Repeticón 1          | 0       | 0               | 0  | 0               | 0     | 0               |
| Repeticón 2          | 5,370   | 28,835          | 0  | 0               | 3,924 | 15,398          |
| Repeticón 3          | 15,1762 | 230,317         | 0  | 0               | 5,682 | 32,290          |
| $\sum_{i=1}^3 X_i$   | 20,546  | -               | 0  | -               | 9,606 | -               |
| $\sum_{i=1}^3 X_i^2$ | -       | 259,153         | -  | 0               | -     | 47,687          |

$$\sum_{i=1}^N X_i = 30,152$$

$$\sum_{i=1}^N X_i^2 = 306,84$$

Determinación del término de corrección:

$$TC = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} = \frac{(30,152)^2}{9} = 101,02 \text{ (Ecuación 2.3)}$$

A continuación se obtiene la suma de cuadrado total:

$$\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_t)^2 = \sum_{i=1}^N X_i^2 - TC = 306,84 - 101,02 = 205,82 \text{ (Ecuación 2.4)}$$

Luego se obtiene la suma de cuadrado intragrupo:

$$\begin{aligned} n \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X}_t)^2 &= \sum_{i=1}^r \frac{\sum_{i=1}^r X_i^2}{n} - TC = \left( \frac{(20,546)^2}{3} + \frac{(0)^2}{3} + \frac{(6,606)^2}{3} \right) - 101,02 = \\ &\text{(Ecuación 2.5)} \\ &= 61,33 \end{aligned}$$

Seguidamente se determina la suma de cuadrados intragrupos.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^r \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2 &= \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_t)^2 - n \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X}_t)^2 = 205,82 - 61,33 \\ &\text{(Ecuación 2.6)} \\ &= 144,49 \end{aligned}$$

**Tabla de análisis:**

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Medidas cuadráticas | F                             |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| Intergrupos         | 61,33             | 2                  | 30,67               | $\frac{30,67}{24,08} = 1,274$ |
| Intragrupos         | 144,49            | 6                  | 24,08               |                               |
| Total               | 205,82            | 8                  |                     |                               |

De acuerdo a los grados de libertad:  $F_{\alpha} = 3,463$

Se plantea la regla de decisión:

Si  $1,274 < 3,463$  se acepta la  $H_0$  (correcta) {Ecuación 2.7}

Si  $1,274 \geq 3,463$  se acepta la  $H_1$  (incorrecta) {Ecuación 2.1}

Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, resultado fijando 80 A para los tratamientos 10, 20, 30 ft<sup>3</sup>/h; **no son significativos.**