

**ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE TUBERIA SANITARIA EN ACERO  
INOXIDABLE CON SOLDADURA TIG PARA LA EMPRESA INGENIAR  
INOXIDABLES DE PEREIRA**

**NÉSTOR IVÁN GÓMEZ RÍOS**  
**ESTUDIANTE TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**EMMANUEL RAMÍREZ CARMONA**  
**ESTUDIANTE TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA**  
**PEREIRA**

**2016**

**ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE TUBERIA SANITARIA EN ACERO  
INOXIDABLE CON SOLDADURA TIG PARA LA EMPRESA INGENIAR  
INOXIDABLES DE PEREIRA**

**EMMANUEL RAMÍREZ CARMONA  
1088307221**

**NESTOR IVÁN GÓMEZ  
1088012238**

**Trabajo de grado para optar por el título de tecnólogo en Mecánica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA  
PEREIRA  
2016**

**Pereira,**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Pereira, Junio de 2016**

## AGRADECIMIENTOS

- ✓ A la ingeniera Luz Adriana Cañas por haber puesto su confianza en nosotros desde un principio para la realización de este proyecto.
- ✓ A la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira y al Ingeniero Alexander Osorio quien muy amablemente nos permitió realizar este proyecto en su empresa, con la mano del Ingeniero Oscar Pineda quien siempre estuvo dispuesto a darnos su asesoría a lo largo de todo el proceso.
- ✓ Al equipo de trabajo del CECEND, en especial a Diego Alejandro Ramírez, egresado de tecnología mecánica quien siempre de la manera más atenta y cordial nos facilitó las instalaciones del CECEND y siempre compartió su conocimiento respondiendo a nuestras dudas e inquietudes
- ✓ Al equipo de trabajo del taller de la Facultad de Ingeniería Mecánica, en especial a Rolando que siempre nos colaboró en todo lo que necesitamos durante la ejecución de este proyecto.
- ✓ Al ingeniero Gabriel Calle Trujillo que nos ayudó con las pruebas de tracción siempre con la mejor disposición

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mis padres y mi hermano, quienes han sido mi mayor ejemplo y han sido las personas que más me han apoyado y depositado su confianza a lo largo de toda mi vida, ya que con su esfuerzo y dedicación han hecho de mí la persona que soy; a mi compañero, que en todo este tiempo se ha convertido en una de las personas más importantes en todo este proceso, siendo un gran apoyo y un gran amigo; a mi novia, amigos y familiares, por acompañarme en cada momento y a todas esas personas que han contribuido a que este sueño se haga realidad.

**NESTOR IVÁN GÓMEZ RIOS**

Quiero dedicar este proyecto a mis padres ya que es gracias a ellos que he logrado cumplir todas y cada una de mis metas hasta el momento, dándome siempre sus mejores consejos y ánimos para salir adelante sin hablar de su gran ejemplo, a mi familia, mi novia y amigos por hacer parte de mi vida y mi crecer constante.

**EMMANUEL RAMÍREZ CARMONA**

## CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>1. OBJETIVOS.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.1 Objetivo general .....</b>                                  | <b>9</b>  |
| <b>1.2 Objetivos específicos .....</b>                             | <b>9</b>  |
| <b>2. MARCO DE REFERENCIA .....</b>                                | <b>10</b> |
| <b>2.1 Marco histórico .....</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>3.1 Generalidades de la soldadura .....</b>                     | <b>11</b> |
| <b>3.1.1 Definición.....</b>                                       | <b>11</b> |
| <b>3.1.2 Tipos de soldadura .....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>3.1.3 Soldadura fuerte .....</b>                                | <b>12</b> |
| <b>3.1.3.1 Soldadura TIG (GTAW) .....</b>                          | <b>13</b> |
| <b>3.1.3.1.1 Información general .....</b>                         | <b>13</b> |
| <b>3.1.3.1.2 Características y ventajas.....</b>                   | <b>14</b> |
| <b>3.1.3.1.3 Equipo.....</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>3.1.3.1.4 Beneficios .....</b>                                  | <b>15</b> |
| <b>3.1.3.1.5 Aplicaciones típicas .....</b>                        | <b>15</b> |
| <b>3.2 Soldabilidad .....</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>3,2.1 Soldabilidad de aceros al carbono.....</b>                | <b>17</b> |
| <b>3.2.2 Soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos .....</b> | <b>17</b> |
| <b>3.3 Símbolos de soldadura .....</b>                             | <b>20</b> |
| <b>3.3.1 Símbolos de soldeo .....</b>                              | <b>20</b> |
| <b>3.4 Aceros Inoxidables .....</b>                                | <b>21</b> |

|  |    |
|--|----|
| 3.4.1 Propiedades físicas de los aceros inoxidables austeníticos ... | 22 |
| 3.4.2 Acero inoxidable 304 .....                                     | 23 |
| 3.5 Selección de electrodos en general .....                         | 24 |
| 3.6 Ensayos no destructivos .....                                    | 25 |
| 3.6.1 Inspección visual .....  | 26 |
| 3.7 Ensayos destructivos .....                                       | 27 |
| 3.7.1 Ensayo de tracción .....                                       | 27 |
| 3.7.2 Ensayo de sanidad (Dobleza) .....                              | 29 |
| 3.7.2.1 Ensayo dobleza de raíz .....                                 | 29 |
| 3.8 Elaboración del WPS .....  | 30 |
| 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                         | 31 |
| 4.1 Ensayos no destructivos .....                                    | 31 |
| 4.1.1 Inspección visual .....  | 31 |
| 4.2 Ensayos destructivos .....                                       | 32 |
| 4.2.1 Ensayo de Tracción .....                                       | 32 |
| 4.2.2 Ensayo de sanidad .....  | 41 |
| 4.2.2.1 Ensayo de dobleza de raíz .....                              | 41 |
| 5. CONCLUSIONES .....  | 42 |
| 6. RECOMENDACIONES .....   | 43 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA .....  | 44 |
| ANEXO A.....   | 46 |
| ANEXO B.....   | 47 |
| ANEXO C.....   | 48 |

## 0. INTRODUCCIÓN

En el gran campo de la industria metalúrgica, los aceros son elementos fundamentales, ya que constituyen un grupo de aleaciones que tiene importantes características, dependiendo de sus elementos de aleación.

Se ha decidido realizar un análisis del acero inoxidable 304 en forma de tubería al ser sometido a soldadura, pues en este caso viene siendo el principal candidato para la fabricación las tuberías sanitarias.

Por lo anterior, se ha decido aplicar sobre dos tuberías estandarizadas de acero inoxidable 304 el proceso de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), comúnmente utilizado en la industria, para analizar seguidamente las propiedades mecánicas y metalúrgicas de las uniones soldadas.

El acero inoxidable 304 es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidables de la serie 300. Tiene buenas propiedades para el conformado y el soldado, además tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas.

Los resultados de este estudio servirán, como un elemento clave al momento de realizar un WPS (Welding procedure specification).



## **1. OBJETIVOS**

### **1.2 GENERAL**

Realizar un estudio de la soldabilidad y del comportamiento corrosivo en medio salino, de un acero inoxidable AISI 304, utilizando el proceso de soldadura GTAW (TIG) con electrodo de aporte 308L, mediante la determinación de algunas propiedades mecánicas y metalúrgicas.

### **1.3 ESPECÍFICOS**

- Realizar el análisis y la síntesis del código estructural para la soldadura de acero inoxidable AWS D1.6 "Structural Welding Code - Stainless Steel"
- Analizar y sintetizar el código AWS D18.1 (Especificación para soldadura de tubería de acero inoxidable austenítico y Sistemas de Tuberías Sanitarias) para su aplicación en la empresa INGENIAR INOXIDABLE.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO HISTÓRICO

Dentro de la siderurgia, la historia del acero inoxidable es relativamente corta y de hecho esta en desarrollo continuo. Actualmente se encuentra en una etapa en la que los nuevos materiales deben vencer la resistencia de los patrones de compra existentes. En teoría, solo unos pocos, los innovadores, lo compran y lo utilizan. La paternidad y fecha de aparición del acero inoxidable son muy distintas y dieron lugar a celebres procesos, sin embargo parece ser que su aparición en la industria se realizó simultáneamente en diversos países. [9]

En 1913 Brearley reveló en Inglaterra la buena resistencia a la corrosión de los aceros que contenían del 9 al 16% de cromo, patentando esta aleación en Canadá y estados unidos. Casi simultáneamente en los estado unidos, Elwool Haynes, quien había estudiado las aleaciones cobalto-cromo y cobalto-cromo-tungsteno, mencionaba la notable resistencia a la corrosión, incluso después de la adición de hierro, pero a condición de que los aceros contengan en su composición, al menos, 10% de cromo y 5% de cobalto; asimismo, en una memoria publicada en 1914 en Alemania , Strauss y Maurer señalaron las propiedades de resistencia a la herrumbre y a los ácidos, de aquellos aceros que contenían una cantidad considerable de cromo y níquel (Ni). [9]

En 1917 se patentaron en Francia los aceros que contenían del 10 al 15% de cromo y 20 al 40 % de níquel, como resultado de los trabajos realizados por cheverd.

No obstante, que las patentes datan de 1912, fue después de la primera guerra mundial, -alrededor de 1920-, cuando se publicó un trabajo detallado y se lanzaron estos aceros al mercado. [9]

Con las innovaciones técnicas desarrolladas después de la Segunda Guerra Mundial, se introdujeron los procedimientos técnicos de aceleración al

oxiconvertidor y el laminador Sendzimir, y luego continuó el tren planetario para la laminación en caliente, la colada continua, etc., lo que ocasionó un notable incremento de la producción con el consiguiente abaratamiento de los costos de producción y, por ende, un precio más comercial en el mercado. [9]

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 GENERALIDADES DE LA SOLDADURA**

##### **3.1.1 Definición.**

Se denomina así a todos los procesos de unión de metales que se realizan por fusión localizada de las partes a unir, mediante la aplicación conveniente de calor o presión. Puede ser con y sin aporte de material a las piezas unidas, donde el material de aporte es de igual o diferente tipo a las partes a unir. Es importante tener en cuenta que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se sueldan, debido a que cambia alguna de las propiedades de los materiales que se están uniendo. [1]

##### **3.1.2 Tipos de soldadura**

La mayoría de los procesos de soldadura requieren la generación de altas temperaturas para hacer posible la unión de los metales envueltos. El tipo de fuente de calor, o en otros términos, la forma de producir la fusión, es básicamente lo que describe el tipo de proceso los cuales se agrupan en tres categorías: Welding o soldadura fuerte, Soldering y Brazing, soldaduras débiles. [1]

### **3.1.3 Soldadura Fuerte (Welding)**

Es una operación en la cual dos o más partes son unidas mediante calor o presión o ambos efectos a la vez, obteniéndose continuidad de la naturaleza del material entre las partes unidas. Este tipo de soldadura se puede realizar con o sin material de aporte.

Tipos de soldadura "Welding":

- TIG
- MIG
- ELECTRODO REVESTIDO
- FLASH WELDING
- SOLDADURA POR RESISTENCIA (PUNTO)
- SOLDADURA POR DIFUSION
- SOLDADURA POR FRICCIÓN
- SOLDADURA AUTOGENA
- SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES

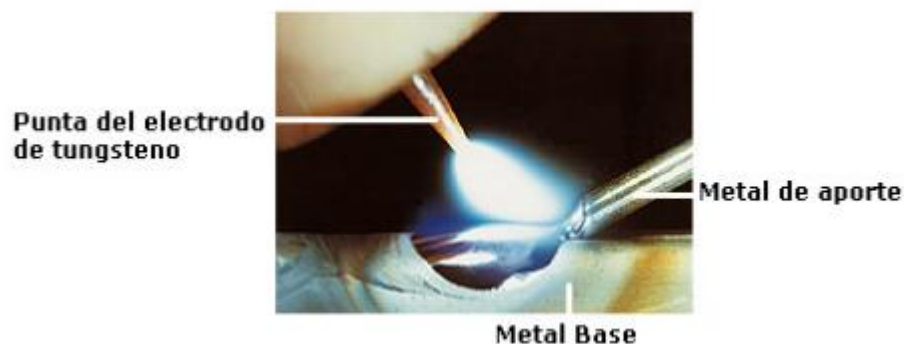
En el laboratorio de producción encontramos varios tipos de esta clase de soldadura como lo son: soldadura por arco eléctrico, soldadura autógena o por gas y la soldadura por resistencia (puntos).

#### **3.1.3.1 Soldadura TIG (GTAW)**

La sigla TIG corresponde a las iniciales de las palabras inglesas "Tungsten Inert Gas", lo cual indica una soldadura en una atmósfera con gas inerte y electrodo de tungsteno. El procedimiento TIG puede ser utilizado en uniones que requieran alta

calidad de soldadura y en soldaduras de metales altamente sensibles a la oxidación (tales como el titanio y el aluminio). (Ver Figura No. 7). Sin embargo, su uso más frecuente está dado en aceros resistentes al calor, aceros inoxidable y aluminio. Este método de soldadura se caracteriza también por la ausencia de salpicaduras y escorias (lo que evita trabajos posteriores de limpieza) y por su aplicabilidad a espesores finos (desde 0,3 mm). Cabe destacar que la soldadura TIG puede ser utilizada con o sin material de aporte. Las mayores ventajas del proceso TIG provienen de la estabilidad y la concentración del arco; además del hecho de que sea factible de utilizar en todas las posiciones y tipos de juntas y del buen aspecto del cordón (con terminaciones suaves y lisas). [1]

**Figura 1. Soldadura TIG**



**Fuente:** Soldadura protocolo [En línea]. Disponible en: [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637\\_soldadura.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf)

### **3.1.3.1.1 Información general**

Hoy en día se está generalizando el uso de la soldadura *TIG* sobre todo en aceros inoxidable y especiales ya que a pesar del mayor coste de ésta soldadura, debido al acabado obtenido en nuestros días, las exigencias tecnológicas en cuanto a calidad y confiabilidad de las uniones soldadas, obligan a adoptar nuevos sistemas, destacándose entre ellos la soldadura al arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa (*TIG*). El proceso *TIG* es muy utilizado en la industria alimentaria y farmacéutica gracias a que es un proceso muy limpio que no deja residuos y no contamina el metal base. Una ventaja muy grande del proceso *TIG* es que se puede controlar de manera muy precisa la temperatura y por lo tanto la soldadura puede penetrar aceros de gran espesor y es ideal para

soldar juntas biseladas que necesitan de gran precisión porque son juntas que serán sometidas a grandes esfuerzos mecánicos.

El sistema *TIG* es un sistema de soldadura al arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte. Se utiliza gas de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, para eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presente en la atmósfera. La característica más importante que ofrece este sistema es entregar alta calidad de soldadura en todos los metales, incluyendo aquellos difíciles de soldar, como también para soldar metales de espesores delgados y para depositar cordones de raíz en unión de cañerías.

Las soldaduras hechas con el sistema *TIG* son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales. Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, es necesario utilizar el sistema *TIG* para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso. [2]

#### **3.1.3.1.2 Características y ventajas**

- No se requiere de fundente y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura.
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco.
- Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión.
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible.
- El sistema puede ser automatizado, controlando mecánicamente la pistola o el metal de aporte.

#### **3.1.3.1.3 Equipo**

El equipo para sistema *TIG* consta básicamente de:

- Fuente de energía.
- Máscara.
- Unidad de alta frecuencia.
- Antorcha.
- Suministro gas de protección.
- Suministro agua de enfriamiento.

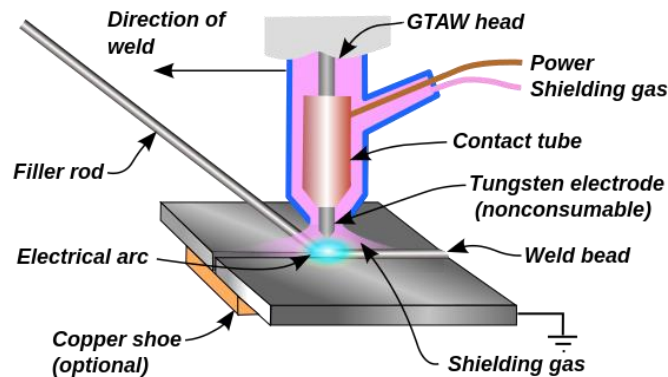
#### **3.1.3.1.4 Beneficios**

- Adecuada para soldaduras de responsabilidad (pase de raíz).
- El proceso puede ser mecanizado o robotizado.
- Facilita la soldadura en lugares de difícil acceso.
- Ofrece alta calidad y precisión.
- Óptimas resistencias mecánicas de la articulación soldada.
- Poca generación de humo.
- Soldaduras claras, brillantes y con óptimo acabado, sin usar flujo de limpieza, prescindiendo de acabado final y reduciendo costos de fabricación.
- Soldadura en todas las posiciones.
- Versatilidad: suelda prácticamente todos los metales industrialmente utilizados.

#### **3.1.3.1.5 Aplicaciones típicas**

- Soldadura de la primera pasada de tuberías de aceros aleados, aceros inoxidable y aleaciones de níquel.
- Soldadura de equipos de aluminio, titanio y aleaciones de níquel.
- Soldadura de tubos a la placa de los intercambiadores de calor.
- Soldadura interna de reactores de urea en acero inoxidable y titanio.

**Figura 2. Esquema soldadura TIG**



**Fuente: Wikipedia [En Línea].**

**[https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura\\_TIG#/media/File:GTAW.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_TIG#/media/File:GTAW.svg)**

### **3.2 Soldabilidad**

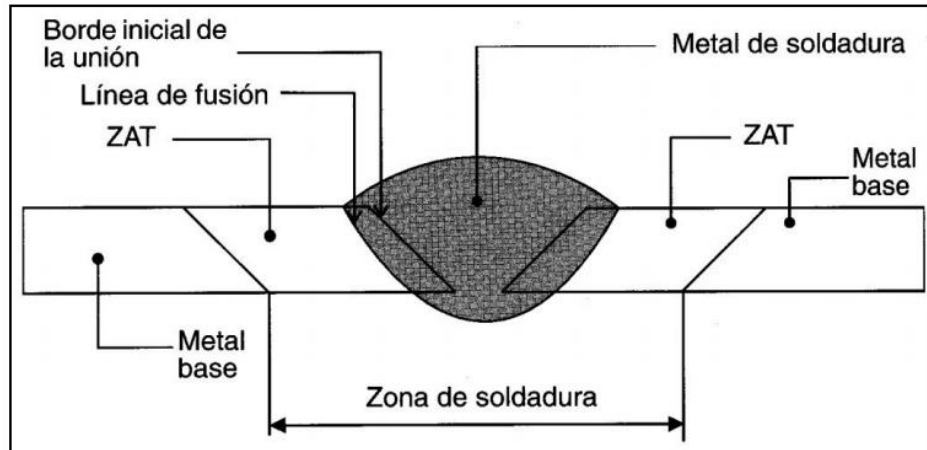
La Soldabilidad es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza para ser unidos de manera permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales perjudiciales, tensiones o deformaciones que puedan ocasionar alabeos, la soldabilidad de un material constituye una propiedad muy compleja y en muchas ocasiones queda condicionada a variaciones metalúrgicas y sus propiedades. Esto significa que un material puede tener buena soldabilidad, cuando se puede lograr una unión soldada con propiedades mecánicas y físico-químicas adecuadas, por cualquiera de los procesos de soldadura y sin necesidad de utilizar técnicas auxiliares. [3]

En un proceso de soldeo por fusión se pueden distinguir tres zonas claras en la unión soldada (ver figura 3). Estas zonas son:

- **Metal de soldadura**, o cordón de soldadura, que es la zona formada por el metal base y el metal de aporte.
- **Zona afectada térmicamente (ZAT)**, es la zona adyacente a la soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero que no funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas, pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones desfavorables.
- **Metal base** que no ha sufrido ninguna transformación en el proceso de soldadura (Avilés, Centro Integrado de Formación Profesional de).



**Figura 3. Zonas de unión de la junta**



**Fuente:** Concepto de soldabilidad. [En línea] Disponible en: <http://cifpaviles.webcindario.com/U.D%205.pdf>

### **3.2.1 Soldabilidad de aceros al carbono.**

La soldabilidad de los aceros al carbono es determinada principalmente por la cantidad de carbono presente en estos y su sensibilidad al agrietamiento por hidrógeno, aunque la tendencia al agrietamiento en caliente y las prácticas de desoxidación también pueden afectar la soldabilidad de algunos grados. [4]

### **3.2.2 Soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos.**

Los aceros inoxidables auténticos son, por lo general, considerados los más soldables entre las diferentes familias de aceros inoxidables. Estos pueden ser soldados sin ningún problema utilizando procesos de soldadura por arco, por haz de electrones, por rayo láser, o por procesos de resistencia y fricción. Sin embargo, las soldaduras por arco de metal con protección gaseosa (GMAW), de arco de tungsteno y gas (GTAW), de arco con núcleo de fundente (FCAW), y arco metálico y electrodo revestido (SMAW), representan los procesos más utilizados a la hora de soldar este tipo de material. [4]

Aunque la soldabilidad de estos aceros es, por lo general muy buena, realizar un inadecuado proceso de soldadura puede producir resultados indeseables o problemas, tanto en el metal base como en el cordón de soldadura, siendo

algunos de estos: la sensibilización o pérdida de resistencia a la corrosión intergranular, la fragilización y la fisuración en caliente. [4]

Los aceros inoxidable son una excelente elección para la construcción de equipos para la industria química, láctea, alimenticia, biotecnológica y para usos arquitectónicos y relacionados, todo esto gracias a la influencia de sus propiedades físicas en la soldadura.

**Tabla 1. Influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, comparados con el acero**

|  | <b>Aceros inoxidables austeníticos</b> | <b>Aceros al carbono</b>      | <b>Observaciones</b>  |
|--|--|-------------------------------|---|
| Punto de fusión (tipo AISI 304)                                | 1400- 1450 °C                          | 1540 °C                       | El Tipo AISI 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor, o menos calor para la misma velocidad.   |
| Respuesta magnética  | No magnético a todas las temperaturas  | Magnético hasta más de 705 °C | Los aceros inoxidables al níquel no están sujetos a la soldadura de arco.   |
| Velocidad de conductividad térmica<br>A 100 °C<br><br>A 650 °C | 28%<br><br>66%                         | 100 %<br><br>100%             | El Tipo AISI 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual produce gradientes de temperatura más pronunciados. Esto acelera la deformación.<br>Una difusión más lenta del calor a través del metal de base significa que la zona soldada permanece caliente por más tiempo, resultado de lo cual puede ser una mayor precipitación de carburos, a menos que se usen medios |

|  |                       |                       |  |
|--|-----------------------|-----------------------|--|
|  |                       |                       | artificiales para extraer el calor, tales como barras enfriadoras, etc   |
| Resistencia Eléctrica (aleado) (microhm.cm, aprox.) a 20 °C a 885 °C     | 72.0<br>126.0         | 12.5<br>125           | Esto es importante en los métodos de fusión eléctrica. La resistencia eléctrica más grande del tipo AISI 304 resulta en la generación de más calor para la misma corriente, o la misma cantidad de calor con menos corriente, comparado con los aceros al carbono. Esta propiedad, junto con una menor velocidad de conductividad térmica, resulta en la efectividad de los métodos para soldadura por resistencia del Tipo AISI 304 |
| Expansión térmica en el rango indicado pulg./pulg./°C x 10 <sup>-6</sup> | 17.6<br>(20 - 500 °C) | 11.7<br>(20 - 628 °C) | El tipo AISI 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que el acero al carbono, lo cual significa que se debe permitir expansión y contracción a fin de controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para el acero inoxidable deben usarse más puntos de soldadura que para el acero al carbono   |

**Fuente. ACERIND S.C. Soldadura de los aceros inoxidable Sección I: Para el soldador [En línea] (ACERIND, S.C., 2011) [6]**

### 3.3 Símbolos de Soldadura.

Los símbolos se representarán "sobre" la línea de referencia (indicada a trazos con fines ilustrativos). [7]

**Figura 4. Simbología Soldadura**

| CHAFLAN |           |   |       |   |   |                 |                     |
|---------|-----------|---|-------|---|---|-----------------|---------------------|
| PLANO   | INCLINADO | V | BISEL | U | J | V<br>ENSANCHADA | BISEL<br>ENSANCHADO |
|         |           |   |       |   |   |                 |                     |

| ANGULO | TAPON<br>U<br>OJAL | ESPARRA-<br>GO | PUNTO<br>O<br>PROYECCION | COSTURA | REVERSO<br>O<br>RESPALDO | RECARGUE | BORDE |         |
|--------|--------------------|----------------|--------------------------|---------|--------------------------|----------|-------|---------|
|        |                    |                |                          |         |                          |          | CANTO | ESQUINA |
|        |                    |                |                          |         |                          |          |       |         |

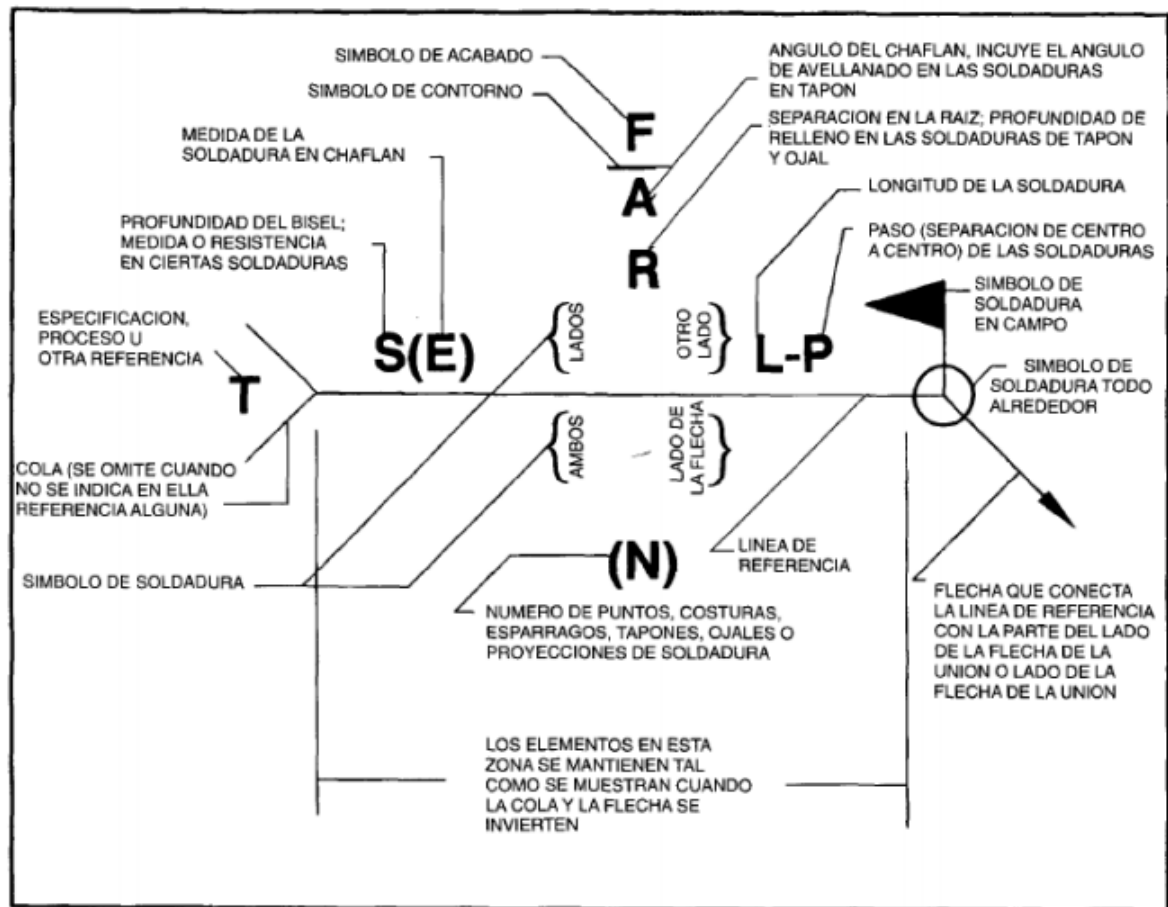
NOTA: LA LINEA DE REFERENCIA SE MUESTRA A TRAZOS CON FINES ILUSTRATIVOS

Fuente: Universidad Don Bosco [En línea], <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-tecnologico/soldaduras-industriales-ebc/2015/ii/guia-3.pdf>

#### 3.3.1 Símbolos de Soldeo.

El símbolo de soldeo está constituido por varios elementos. La línea de referencia y la flecha son los únicos elementos requeridos. Pueden incluirse elementos adicionales para facilitar información de soldeo específica. Alternativamente, la información del soldeo puede ser facilitada por otros medios tales como notas o detalles en planos, especificaciones, normas, códigos u otros planos que eliminen la necesidad de incluir los elementos correspondientes en el símbolo de soldeo. Todos los elementos, cuando se utilicen, estarán en posiciones específicas del símbolo de soldeo como se indica en la Figura 5. [7]

Figura 7. Símbolos soldeo



Fuente: Universidad Don Bosco [En línea].  
<http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-tecnologico/soldaduras-industriales-ebc/2015/ii/guia-3.pdf>

### 3.4 Aceros inoxidables

El objetivo de mezclar metales, o metales con no metales es el de obtener aleaciones que puedan ser utilizadas en distintas exigencias.

En el caso del Fe, este material es aleado con otros metales y no metales, con el fin de mejorar sus características mecánicas o químicas.

Los elementos de aleación más utilizados para alea con el hierro son el Silicio, Manganeso, Níquel, Cromo, Molibdeno, Cobre, Vanadio y otros, Algunos de ellos

se combinan con el carbono durante el enfriamiento, formando carburos u otros compuestos, es decir son agentes endurecedores del acero. [9]

Al aumentar a un mínimo de 12% de Cromo se obtienen los aceros inoxidable, los que tienen propiedades mecánicas y químicas especiales. Se acepta que el mecanismo de resistencia a la corrosión en estos aceros es debido a la formación de una capa superficial de óxido de Cromo muy fina, que impide el ataque corrosivo. Para que el acero sea inoxidable, es necesario que concurren las circunstancias de composición, estado del material y medio de ataque convenientes, para que se forme esa capa de óxido protector. [9]

En realidad, ninguno de estos aceros es completamente inmune a toda clase de ataques corrosivos. Unos resisten bien a ciertos ácidos y otros a determinadas soluciones, otros resisten el calor, etc. Por eso es conveniente, en cada caso, estudiar cual es el más adecuado.

Además, en el comportamiento de los aceros inoxidable, es muy importante el tratamiento térmico. Si un acero inoxidable no ha recibido el tratamiento que corresponde, su resistencia a la corrosión puede quedar muy disminuida. En general conviene obtener estructuras ferríticas, martensíticas, o austeníticas y evitar la formación de carburos de Cromo, que en estos aceros, elimina la resistencia a la corrosión. [9]

### **3.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITÍCOS**

Las propiedades físicas de los aceros al carbono y los inoxidable austeníticos son bastante diferentes, y esto requiere una revisión de los procesos de soldadura. En la Tabla I de Propiedades Físicas de ambos tipos de aceros, se incluyen algunos ítems como el punto de fusión, expansión térmica, conductividad térmica, y otros que no cambian significativamente con el tratamiento térmico o mecánico. Como se ilustra en esta Tabla, el punto de fusión de los grados austeníticos es menor, así que se requiere menos calor para lograr la fusión. Su resistencia eléctrica es mayor que la de los aceros comunes, así que se requiere menos corriente eléctrica para la soldadura. Estos aceros inoxidable tienen un coeficiente de conductividad térmica menor, lo cual causa que el calor se concentre en una zona pequeña adyacente a la soldadura. Los aceros inoxidable austeníticos también tienen coeficientes de expansión térmica aproximadamente 50% más grandes que

los aceros al carbono, lo cual requiere más atención en el control de la distorsión y deformación. [10]

**Figura 8. Influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidable austeníticos.**

|   | <b>Aceros<br/>inoxidables<br/>austeníticos</b>       | <b>Aceros al carbono</b>      | <b>Observaciones</b>  |
|---|--|-------------------------------|---|
| Punto de fusión<br>(Tipo 304)   | 1400 - 1450 °C                                       | 1540 °C                       | El Tipo 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor, o menos calor para la misma velocidad   |
| Respuesta magnética   | No magnético a todas las temperaturas <sup>(1)</sup> | Magnético hasta más de 705 °C | Los aceros inoxidables al níquel no están sujetos a la sopladura de arco  |
| Velocidad de conductividad térmica<br>A 100 °C<br>A 650 °C                    | 28%<br>66%   | 100 %<br>100%                 | El Tipo 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual produce gradientes de temperatura más pronunciados. Esto acelera la deformación.<br>Una difusión más lenta del calor a través del metal de base significa que la zona soldada permanece caliente por más tiempo, resultado de lo cual puede ser una mayor precipitación de carburos, a menos que se usen medios artificiales para extraer el calor, tales como barras enfriadoras, etc |
| Resistencia Eléctrica (aleado)<br>(microhm.cm, aprox.)<br>a 20 °C<br>a 885 °C | 72.0<br>126.0  | 12.5<br>125                   | Esto es importante en los métodos de fusión eléctrica. La resistencia eléctrica más grande del tipo 304 resulta en la generación de más calor para la misma corriente, o la misma cantidad de calor con menos corriente, comparado con los aceros al carbono. Esta propiedad, junto con una menor velocidad de conductividad térmica, resulta en la efectividad de los métodos para soldadura por resistencia del Tipo 304  |
| Expansión térmica en el rango indicado<br>pulg./pulg./°C x 10 <sup>-5</sup>   | 17.6<br>(20 - 500 °C)                                | 11.7<br>(20 - 628 °C)         | El tipo 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que el acero al carbono, lo cual significa que se debe permitir expansión y contracción a fin de controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para el acero inoxidable deben usarse más puntos de soldadura que para el acero al carbono   |

(1) Los aceros inoxidables dúplex son magnéticos.

**Fuente: Autores**

### 3.4.2 Acero inoxidable 304

El acero inoxidable AISI 304 hace parte del grupo de aceros inoxidables austeníticos. Este tipo de acero tiene mayor punto de fusión que los aceros al carbono, por lo tanto requiere menos calor para fundir, lo que se traduce en una soldadura más rápida para el mismo calor, o menos calor para la misma velocidad de soldadura; los aceros inoxidables austeníticos conducen el calor más lentamente que los aceros al carbono debido a que su conductividad térmica es menor, presentando gradientes de temperatura más pronunciados, acelerando la deformación del metal base y permitiendo que la zona soldada permanezca

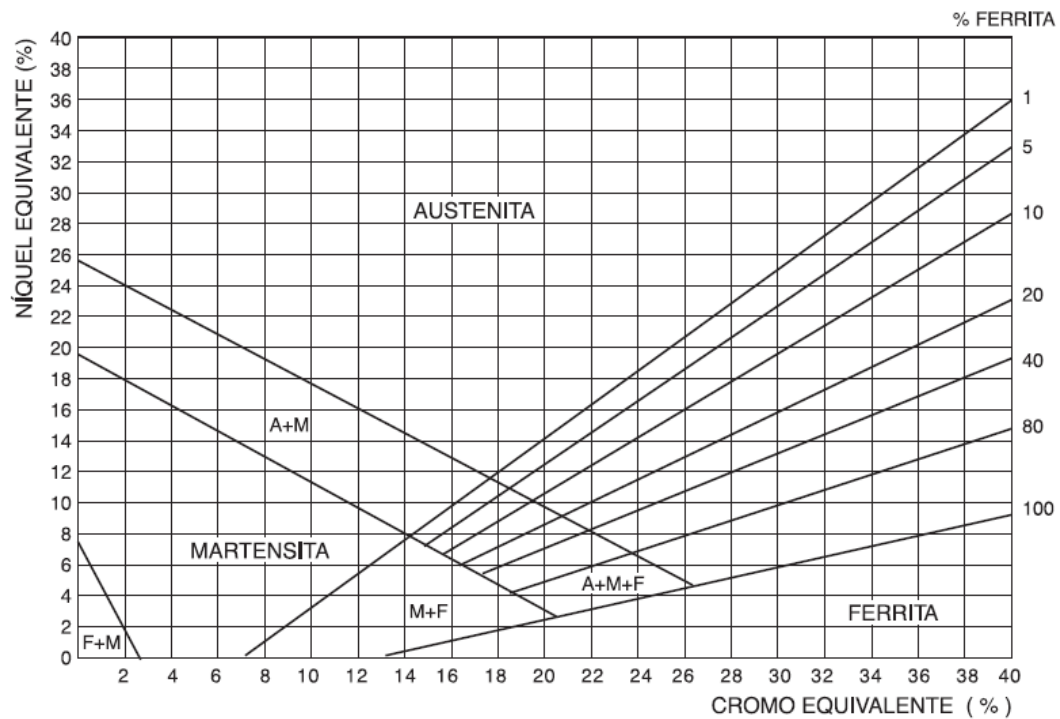
caliente por más tiempo, lo que puede resultar en una mayor precipitación de carburos, a menos que se usen medios artificiales para extraer el calor, tales como barras enfriadoras. [10]

### 3.5 Selección de electrodos en general

Para la selección del electrodo se utiliza el diagrama de Schaeffler, (Fig. 3) Para aceros inoxidable. Este se utiliza principalmente para predecir la estructura residual de metal obtenido por soldadura en la unión de aceros inoxidable iguales, disimiles o de aceros inoxidable con aceros al carbono con o sin aleación.

Cuando se trata de unir materiales de la misma composición química, el punto correspondiente al metal depositado se encontrara entre la recta trazada por los puntos correspondientes al metal hace y al electrodo. Su ubicación específica dependerá del grado de disolución con que se trabaje. [11]

**Figura 9. Diagrama Schaeffler**

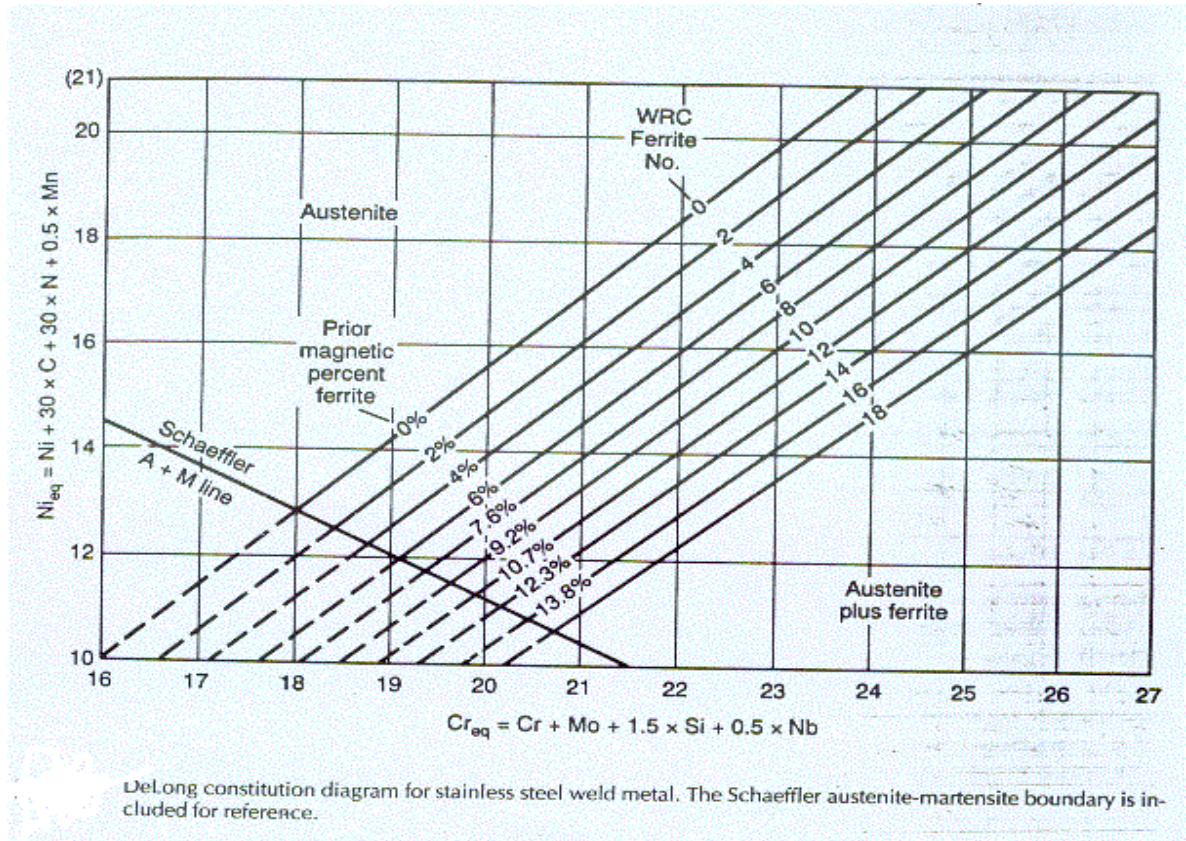


**Fuente: Aceros inoxidable Universidad Tecnológica de Pereira [9]**



El diagrama de Long es una variación del diagrama de Schaeffler, para la determinación de ferrita en la soldadura. De Long incluyó Nitrógeno en Níquel equivalente. Este diagrama no es adecuado para soldaduras tratadas térmicamente y materiales base afectados por el calor. [3]

**Figura 10. Diagrama de Long**



Fuente: Asociación Británica de Aceros inoxidables [En línea].  
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=121>

### 3.6 ensayos no destructivos (END)

En esta etapa del proyecto se ejecutó solo un ensayo no destructivos, suficiente para hacer un análisis previo de la sanidad de la soldadura, este ensayo fue inspección visual.

### 3.6.1 Inspección visual

Se realizó el análisis visual, con apoyo del personal del CECEND (centro de estudios y consultorías en ensayos no destructivos y resistencia de materiales), ubicado en la universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica. Inicialmente se inspeccionaron las piezas con los siguientes criterios:

**Ensayo:** sanidad de uniones

**Elemento inspeccionado:** tuberías de dos pulgadas de diámetro

**Número de muestras:** dos (2) uniones de soldaduras

**Clase de material:** acero inoxidable AISI SAE 304

**Fecha del ensayo:** mayo 18 de 2016

**Documentos de referencia:** Norma NTC GTC 110: Guía para la inspección visual de soldaduras, además del uso de documentación y procedimientos internos del laboratorio.

**Equipos utilizados:** Galgas para inspección visual de soldadura, Paños de limpieza, cámara digital, flexómetro e implementos de seguridad.

**Elementos inspeccionados:** los elementos sujetos al análisis de sanidad mediante inspección visual y su designación para la elaboración de este análisis se relacionan en la tabla 2.

**Tabla 2. designación de juntas**

| DESIGNACIÓN | MÉTODO APLICADO |       |
|-------------|-----------------|-------|
|             | IV              | JUNTA |
| GTAW -1     | X               | TOPE  |
| GTAW -2     | X               | TOPE  |

**Fuente:** autores

**Para la realización de la prueba visual se utilizaron las etapas descritas a seguir :**

- Acondicionamiento de la superficie: Se realizó una limpieza con grata mecánica suave al cordón de soldadura y la zona afectada por el calor. A continuación se limpió la superficie a inspeccionar con solvente para que estuviera libre de polvo y suciedades.
- Inspección visual: Se realizó inspección minuciosa a los diferentes cordones y se realizó el diagnóstico, con base en criterios establecidos, para determinar si había indicaciones relevantes

### **3.7 Ensayos destructivos:**

Para evaluar el comportamiento mecánico y la sanidad de las uniones soldadas, se realizaron pruebas mecánicas, como tracción y prueba de doblez de raíz. El procedimiento utilizado para realizar estas pruebas se describe a continuación.

#### **3.7.1 Ensayo de tracción:**

Se realizó el ensayo de tracción, cuyos resultados permitieron obtener propiedades como el límite de fluencia, la resistencia a la tracción y la ductilidad (tomando como referencia la deformación máxima); la ejecución del ensayo se hizo bajo la norma de referencia. El ensayo de tracción se realizó a doce(12) probetas soldadas, de las cuales a seis (6) de ellas se soldaron con el proceso GTAW y las otras seis (6) con el proceso SMAW.

#### **Documentos de referencia:**

- ASTM E9-09, Ensayo de Tracción (*Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room*).
- Especificaciones de operación y calidad internas de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Parte QW-153.1 Resistencia de Tensión del código ASME sección IX.


### Equipos utilizados:

- Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica, donde se usaron los siguientes equipos:
- Máquina universal de ensayos WPM ZD 40 calibrada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y a la norma NTC 2289.
- Cámara digital.

**Elementos de ensayo:** las probetas que fueron sometidas a las pruebas de tracción se relacionan en la tabla 3, donde además, se muestra el montaje que se llevó a cabo para realizar las pruebas.

**Tabla 3 de prueba de tracción y su sujeción en la máquina.**

| DESIGNACIÓN | REGISTRO FOTOGRÁFICO   | DESCRIPCIÓN                             |
|-------------|--|---|
| GTAW-1      |   | Probeta acero inoxidable (AISI-SAE 304) |
| GTAW-2      |  | Probeta acero inoxidable (AISI-SAE 304) |
| GTAW-3      |  | Probeta acero disímil (AISI-SAE 304)    |
| GTAW-4      |  | Probeta acero disímil (AISI-SAE 304)    |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p><b>Maquina de ensayos universales WPM ZD 40</b></p> |  | <p>Montaje realizado a las probetas para realizar la prueba de tracción en la máquina IBERTEST modelo UMIB-600-S</p> |
|--|--|--|

**Fuente: autores**

Para la prueba de tracción se siguieron los procedimientos de ensayo establecidos por la normatividad y las especificaciones internas del laboratorio. Una vez se instalaron en el equipo los accesorios correspondientes, se sometieron los elementos de prueba a fuerzas axiales en sentido opuesto a la sección transversal para ejercer tracción y llevarlos a la rotura. Estas pruebas se realizaron a probetas soldadas de acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36) de acuerdo con las especificaciones para realizar el ensayo. Se tomaron datos de carga, en kgf y de alargamiento en mm y con esto se realizó la gráfica esfuerzo-deformación, después de hacer las respectivas transformaciones ( $F$  vs  $\delta \rightarrow (\sigma$  vs  $\epsilon)$ ) usando las expresiones:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad (2)$$

### 3.7.2 Ensayos de sanidad (Doblez)

**3.7.2.1. Ensayo de doblez de raíz:** se realizó el ensayo de doblez de raíz, con ayuda del personal del CECEND y con base en el código ASME sección IX. El ensayo de doblez de raíz se realizó a cuatro (4) probetas soldadas con soldadura GTAW (TIG)

**Lugar de inspección:** laboratorio de ensayos no destructivos, facultad de ingeniería mecánica.(CECEND)

**Materiales:** unión soldada de acero inoxidable AISI-SAE 304.

**Espesores:** Dimensiones de los cuerpos de un dieciséis de pulgada (1/16")

**Equipos utilizados:**

- Dispositivo matriz de dobléz.

### **3.8 Elaboración del WPS**

La elaboración de las WPS, fue realizada en compañía del personal de la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira basados en sus requerimientos, especificaciones y criterios; con esto como base, más los espesores de las chapas a soldar y el tipo de material, fueron seleccionados todos los parámetros como el voltaje, el amperaje, la velocidad de avance y los tipos de electrodos a utilizar.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Ensayos no destructivos (END)

**4.1.1 Inspección visual (IV).** Los resultados de la inspección visual se muestran en la tabla 4, donde se relaciona cada una de las uniones soldadas inspeccionadas con las respectivas observaciones. Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de tracción fueron basados en la parte QW-195.2.2 del código ASME sección IX:

***QW-195.2.2 Normas de Aceptación.*** Las pruebas de procedimiento y de habilidad con examen por técnicas de penetrantes líquidos serán juzgadas inaceptables cuando el examen exhiba una indicación en exceso de los límites especificados abajo:

(a) indicaciones lineales importantes;

(b) indicaciones redondeadas importantes mayores que 3/16 pulg (4,7625 mm).;

(c) cuatro o más indicaciones redondeadas importantes en una línea separada por 1/16 pulg (1,5875 mm). O menos (orilla a orilla).

**Tabla 4. Resultados inspección visual**

| N° | DESIGNACIÓN | MÉTODO APLICADO | DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS  | OBSERVACIONES<br>Realizadas con base en el código de referencia, clase y tipo para la IV.  |
|----|-------------|-----------------|---|--|
|    |             | IV              |   |  |
| 1  | GTAW-1      | X               | Se observó que la junta se encontraba desalineada. El cordón no presenta indicaciones relevantes. | En la inspección visual no se presentaron indicaciones relevantes que superen los límites establecidos por la normatividad de referencia. <b>La junta es aceptada.</b> |

|   |        |   |  |  |
|---|--------|---|--|--|
| 2 | GTAW-2 | X | El cordón no presenta indicaciones relevantes. | En la inspección visual no se presentaron indicaciones relevantes que superen los límites establecidos por la normatividad de referencia. <b>La junta es aceptada.</b> |
|---|--------|---|--|--|

**Fuente: autores**

Una vez se realizó la inspección de las juntas, se concluye que las uniones no presentan discontinuidades que afecten la sanidad de la soldadura.

## **4.2 Ensayos destructivos (ED)**

### **4.2.1 Ensayo de tracción.**

Los resultados obtenidos se muestran en las tabla 5,6,7,8.

Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de tracción fueron basados en la parte QW-153.1 del código ASME sección IX:

***QW-153.1 Resistencia de Tensión.*** Para pasar la prueba de tensión, el espécimen tendrá una resistencia de tensión que no sea menor que:

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



## RESULTADO PROBETA “GTAW 1”

*Tabla 5. Resultado probeta “GTAW 1”*

| DESCRIPCIÓN          | VALOR    | UNIDAD              |
|----------------------|----------|---------------------|
| FUERZA DE FLUENCIA   | 540      | Kgf                 |
| FUERZA ULTIMA        | 1400     | Kgf                 |
| FUERZA DE FLUENCIA   | 5295,59  | N                   |
| FUERZA DE ULTIMO     | 13729,31 | N                   |
| DIAMETRO NOMINAL     | 0,000    | Cm                  |
| ÁREA                 | 0,3175   | cm <sup>2</sup>     |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 1700,79  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO ULTIMO      | 4409,45  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 166,79   | MPa                 |
| ESFUERZO ULTIMO      | 432,42   | MPa                 |
| % DE ELONGACIÓN      | 13,13    | %                   |

**Fuente: Autores**

## RESULTADO PROBETA "GTAW 2"

Tabla 6. Resultado probeta "GTAW 2"

| DESCRIPCIÓN          | VALOR    | UNIDAD              |
|----------------------|----------|---------------------|
| FUERZA DE FLUENCIA   | 545      | Kgf                 |
| FUERZA ULTIMA        | 1270     | Kgf                 |
| FUERZA DE FLUENCIA   | 5344,62  | N                   |
| FUERZA DE ULTIMO     | 12454,45 | N                   |
| DIAMETRO NOMINAL     | 0,000    | Cm                  |
| ÁREA                 | 0,3175   | cm <sup>2</sup>     |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 1716,54  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO ULTIMO      | 4000,00  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 168,33   | MPa                 |
| ESFUERZO ULTIMO      | 392,27   | MPa                 |
| % DE ELONGACIÓN      | 13,13    | %                   |

Fuente: Autores

## RESULTADO PROBETA “GTAW 3”

Tabla 7. Resultado probeta “GTAW 3”

| DESCRIPCIÓN          | VALOR    | UNIDAD              |
|----------------------|----------|---------------------|
| FUERZA DE FLUENCIA   | 585      | Kgf                 |
| FUERZA ULTIMA        | 1470     | Kgf                 |
| FUERZA DE FLUENCIA   | 5736,89  | N                   |
| FUERZA DE ULTIMO     | 14415,78 | N                   |
| DIAMETRO NOMINAL     | 0,000    | cm                  |
| ÁREA                 | 0,3175   | cm <sup>2</sup>     |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 1842,52  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO ULTIMO      | 4629,92  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 180,69   | MPa                 |
| ESFUERZO ULTIMO      | 454,04   | MPa                 |
| % DE ELONGACIÓN      | 13,13    | %                   |

Fuente: Autores

## RESULTADO PROBETA “GTAW 4”

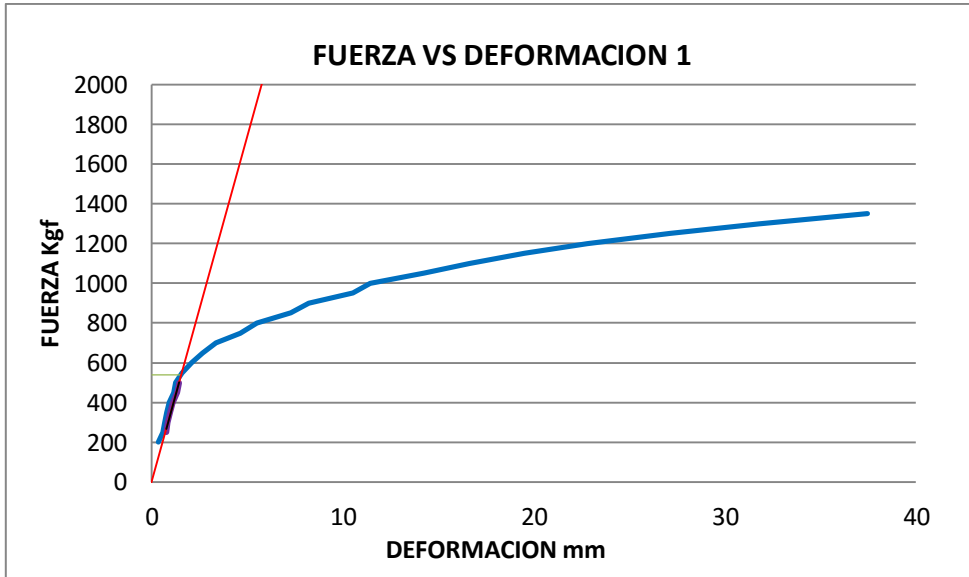
Tabla 8. Resultado probeta “GTAW 4”

| DESCRIPCIÓN          | VALOR    | UNIDAD              |
|----------------------|----------|---------------------|
| FUERZA DE FLUENCIA   | 725      | Kgf                 |
| FUERZA ULTIMA        | 1490     | Kgf                 |
| FUERZA DE FLUENCIA   | 7109,82  | N                   |
| FUERZA DE ULTIMO     | 14611,91 | N                   |
| DIAMETRO NOMINAL     | 0,000    | cm                  |
| ÁREA                 | 0,3175   | cm <sup>2</sup>     |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 2283,46  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO ULTIMO      | 4692,91  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| ESFUERZO DE FLUENCIA | 223,93   | MPa                 |
| ESFUERZO ULTIMO      | 460,22   | MPa                 |
| % DE ELONGACIÓN      | 13,13    | %                   |

Fuente: Autores

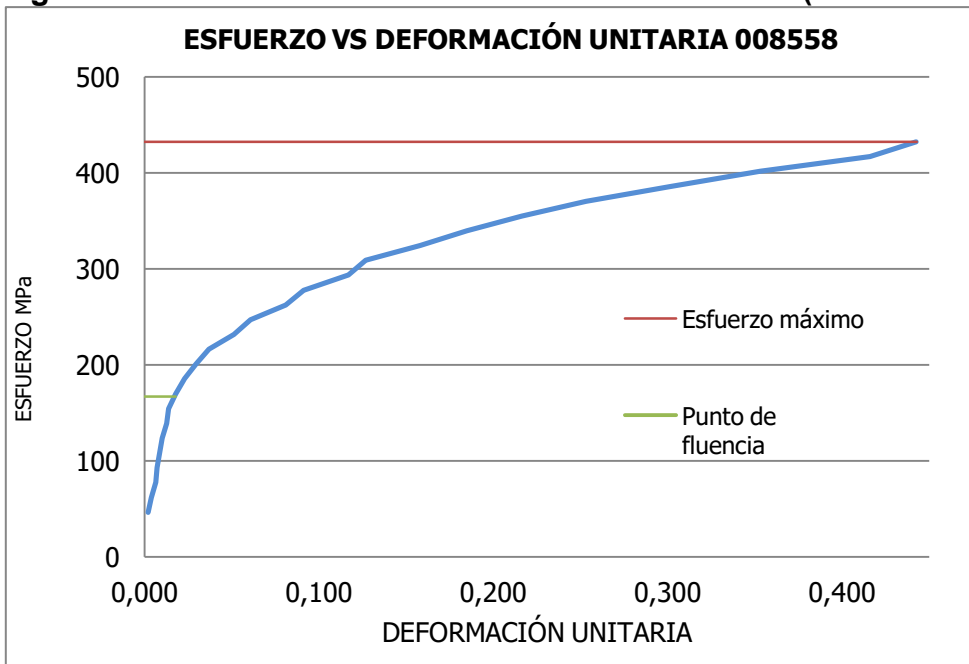
A continuación en las figuras de la 11 a la 18 se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación y Esfuerzo vs deformación unitaria de todas las probetas que fueron sometidas al ensayo de resistencia a la tracción.

**Figura 11. Gráfica Esfuerzo vs deformación (Probeta “GTAW 1”)**



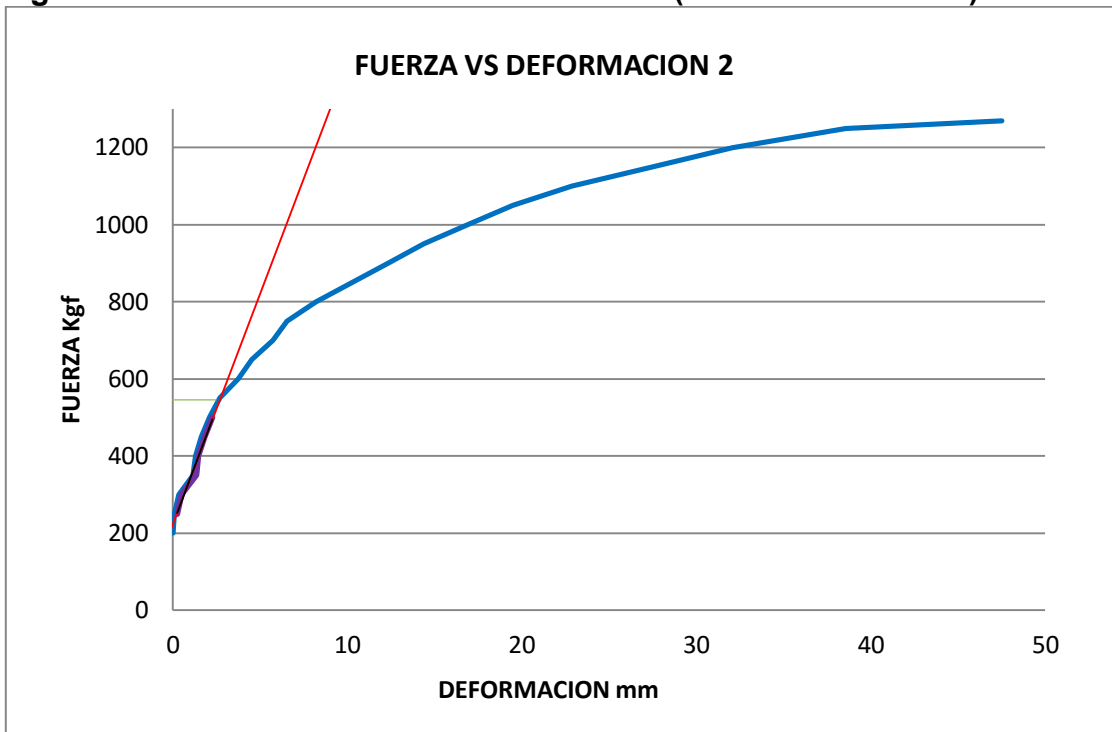
Fuente: Autores

**Figura 12. Gráfica Esfuerzo vs Deformación Unitaria (Probeta “GTAW 1”)**



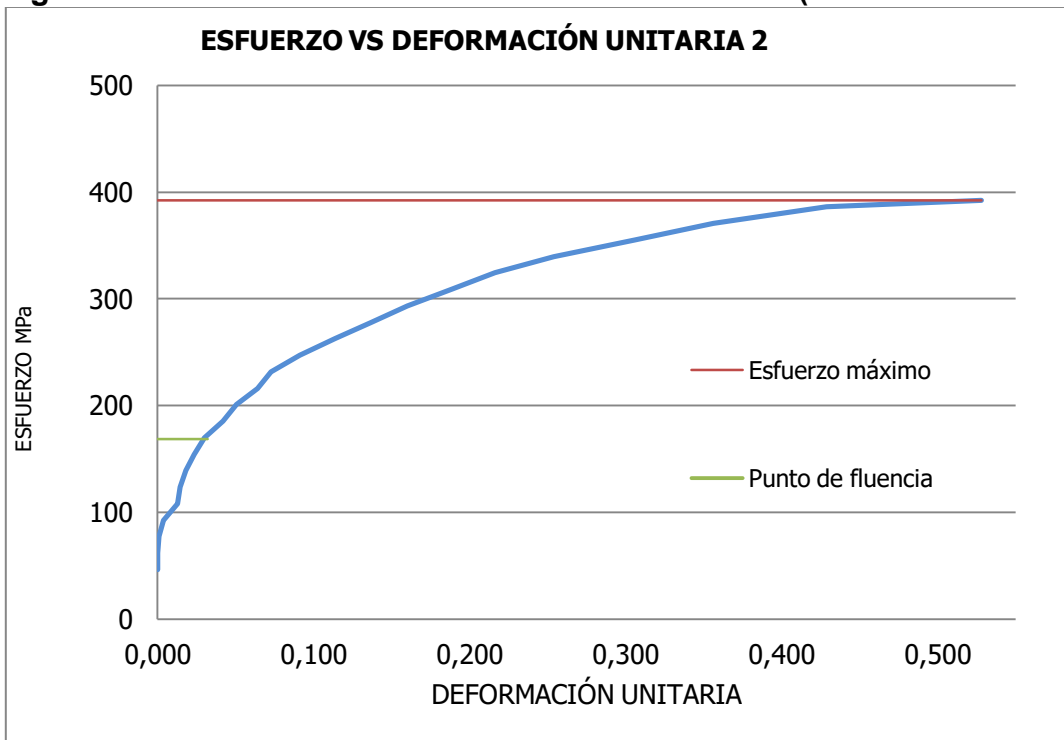
Fuente: Autores

**Figura 13. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (Probeta "GTAW 2")**



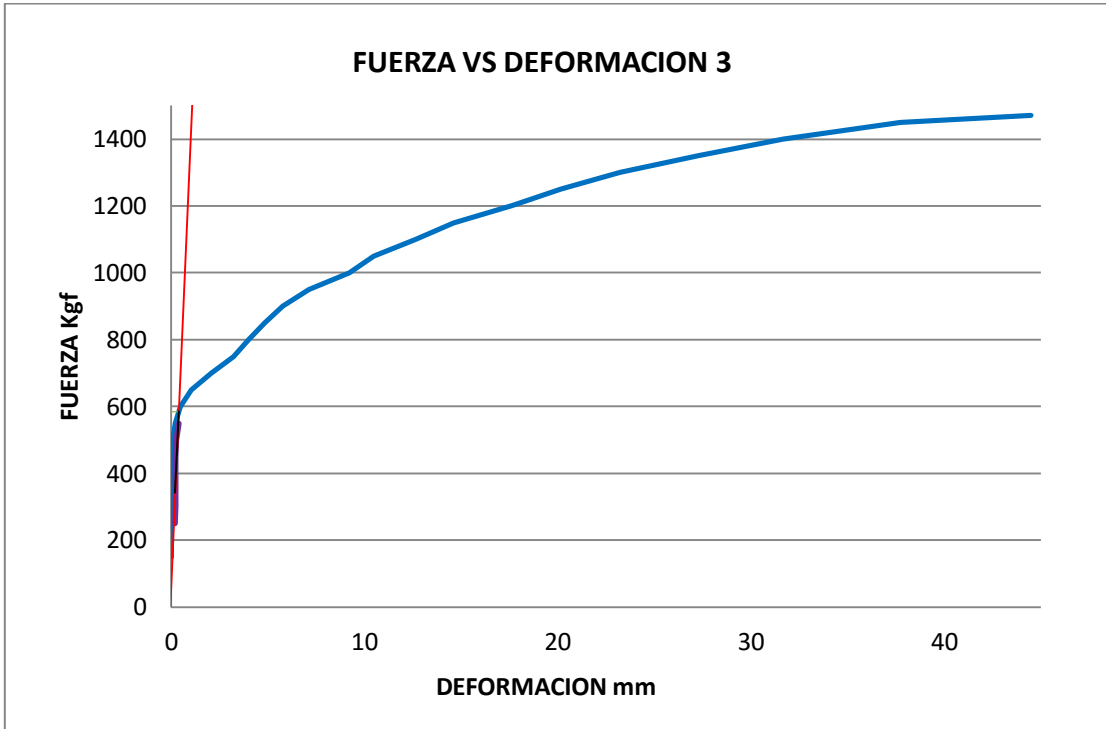
Fuente: Autores

**Figura 14. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria (Probeta "GTAW 2")**



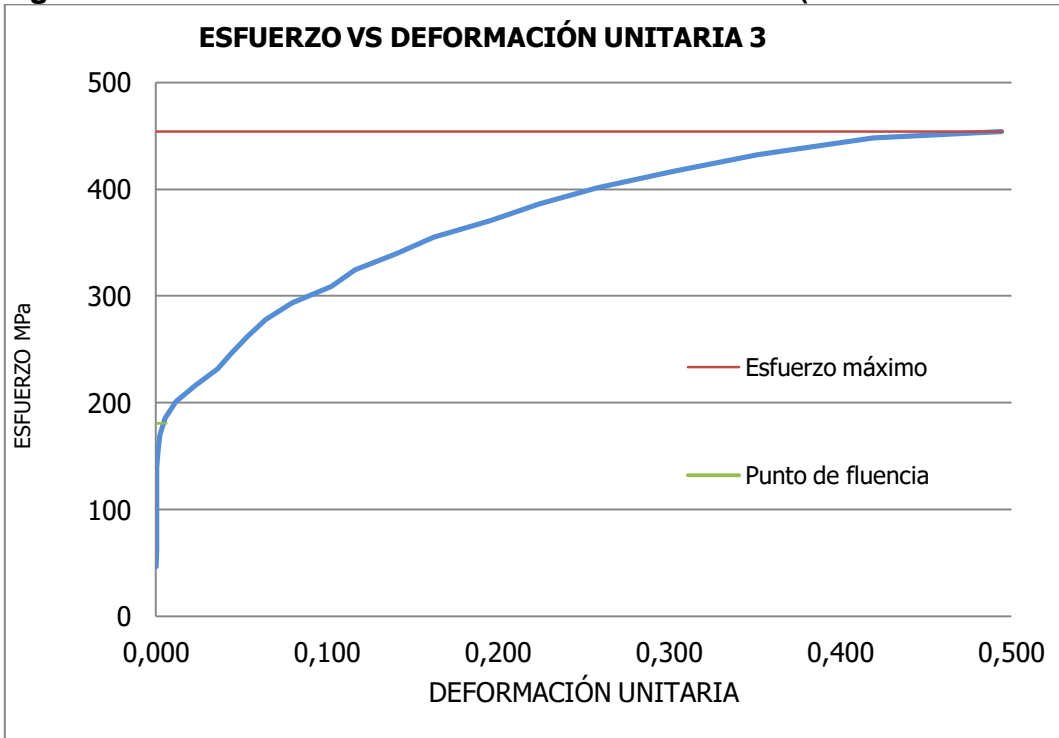
Fuente: Autores

**Figura 15. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (Probeta “GTAW 3”)**



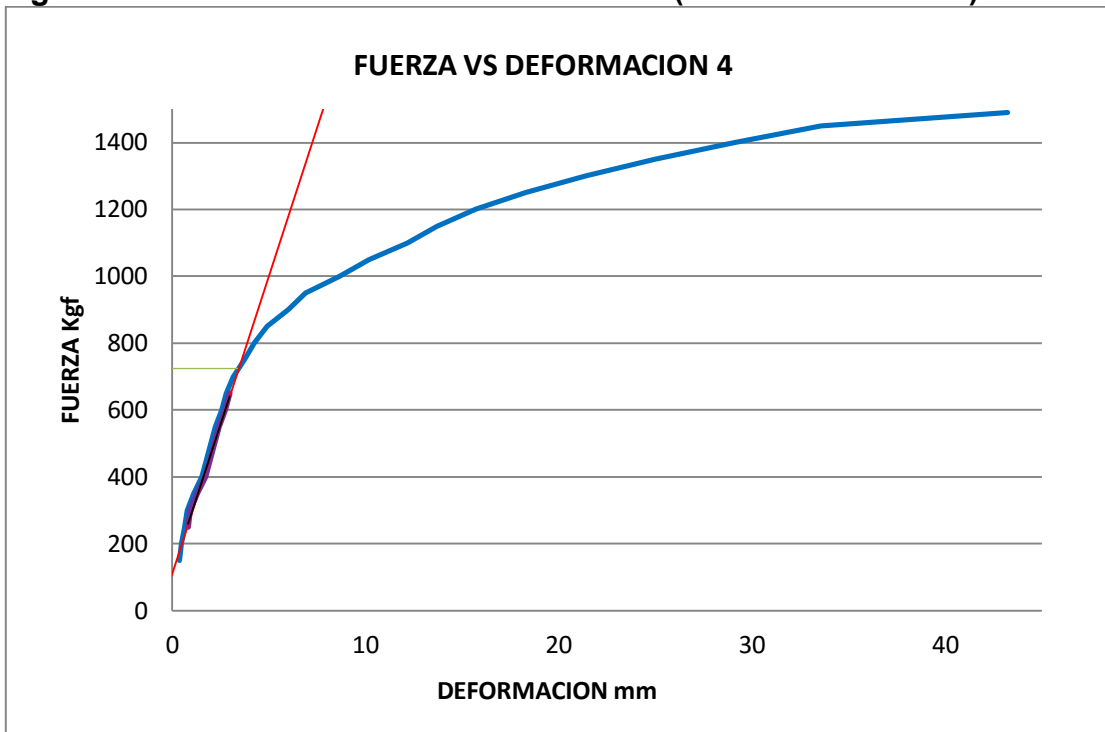
Fuente: Autores

**Figura 16. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria (Probeta “GTAW 3”)**



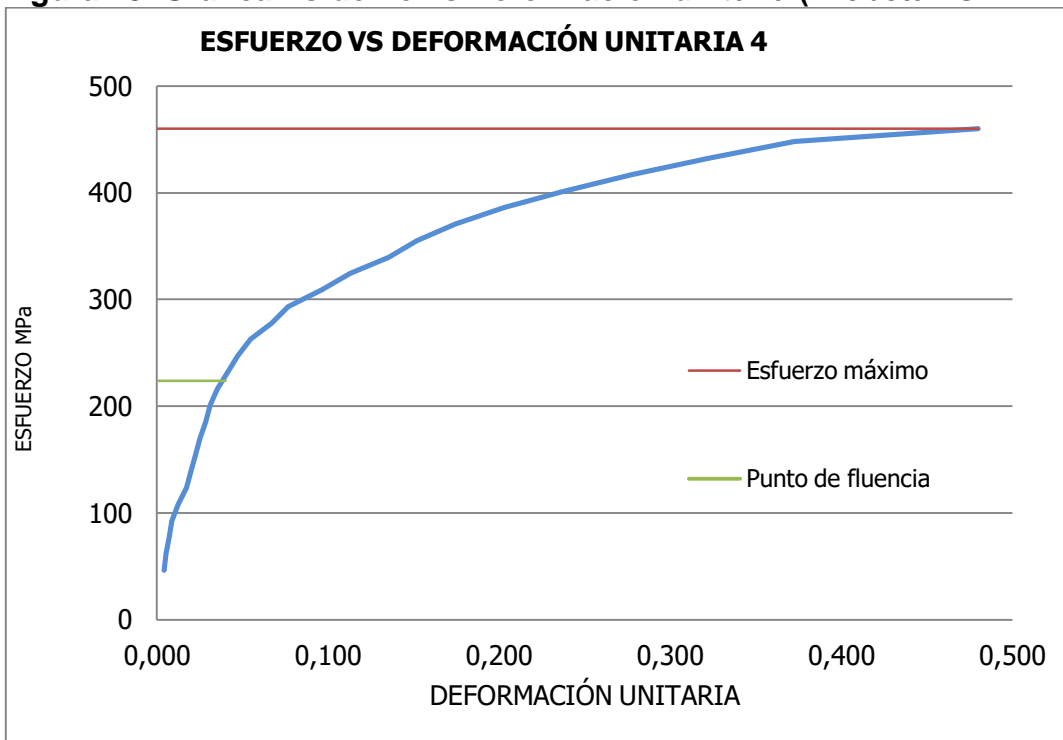
Fuente: Autores

Figura 17. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (Probeta "GTAW 4")



Fuente: Autores

Figura 18. Gráfica Esfuerzo vs Deformación unitaria (Probeta "GTAW 4")



Fuente: Autores



## 4.2.2 Ensayo de sanidad.

### 4.2.2.1 Ensayo de doblez de raíz:

Los resultados obtenidos en el ensayo de doblez de raíz se muestran en la tabla 9. Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de doblez de raíz fueron basados en la parte QW-163 del código ASME sección IX:

*QW-163 Criterios de Aceptación — Pruebas de doblez.*

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

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

*Para revestimiento de sobrecapa de soldadura resistente a corrosión, nada de defecto abierto que exceda de 1/16 pulg., medido en cualquier dirección, será permitido en el revestimiento; y nada de defectos abiertos, que excedan de 1/8 pulg., se permitirán en la línea de ligazón.*

**Tabla 9: resultados ensayo de doblez de raíz**

| DESIGNACIÓN       | DISCONTINUIDAD O DEFECTO | CALIFICACIÓN |           |
|-------------------|--------------------------|--------------|-----------|
|                   |                          | CUMPLE       | NO CUMPLE |
| GTAW-1(muestra 1) | No presenta indicaciones | X            |           |
| GTAW-1(muestra 2) | No presenta indicaciones | X            |           |
| GTAW-2(muestra 1) | No presenta indicaciones | X            |           |
| GTAW-2(muestra 2) | No presenta indicaciones | X            |           |

**Fuente: autores**

## 5. CONCLUSIONES

- Se realizó la revisión del código AWS D1.6 sobre el tema de soldadura, en la cual se definieron los parámetros, variables esenciales y no esenciales del procedimiento logrando comprender la importancia de estos en la realización de un procedimiento de soldadura.
- De acuerdo con los resultados de la inspección visual pudimos determinar que la soldadura fue correctamente depositada, ya que no presentaba socavadura ni ningún otro tipo de defecto apreciable a simple vista.
- Según los ensayos de tracción realizados, se concluye que el WPS que generó la empresa INGENIAR INOXIDABLES es correcto para este diámetro de tubería, ya que comparado con la ficha técnica del material, no lo debilitó y no falló tampoco por la unión soldada.
- De acuerdo con los ensayos de sanidad, las grietas aparecidas durante los ensayos de doblado de raíz, son aceptadas, ya que el tamaño de los defectos observados se encuentran dentro de los valores mínimos aceptados por la norma de referencia.
- Se comprobó que mediante experimentación es posible generar una WPS que sea aplicable a un proceso correcto en la industria.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la aplicación de la soldadura TIG invertir la polaridad del equipo, ya que de esta manera fueron soldadas estas tuberías con muy buenos resultados
- Se recomienda acogerse al WPS generado por la empresa INGENIAR INOXIDABLES para soldar una tubería de acero inoxidable.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Escuela Colombiana de Ingeniería, Protocolo de soldadura [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637\\_soldadura.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf)
- [2] Wikipedia, Soldadura TIG [https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura\\_TIG](https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_TIG)
- [3] Scribd , Soldabilidad de los materiales, <https://es.scribd.com/doc/215613920/4-Soldabilidad-de-Los-Materiales>
- [4] Bencomo, N. (2009). Trabajo de grado especial, para optar al título de ingeniero Mecánico. Universidad Central de Venezuela. *soldadura disímil entre los aceros AISI/SAE 304 y ASTM A36 mediante el proceso de GMAW-P*. Venezuela, Caracas.
- [5] Vázquez, J. (2011). *WELDERMEX*. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de WELDERMEX: <http://welderemex.blogspot.com/2012/10/soldadura-de-metales-disimiles.html>
- [6] ACERIND, S.C. (2011). Soldadura de los aceros inoxidable. Sección I: Para el soldador. *ACERIND S.C.*, 1.
- [7] Universidad Don Bosco, Lectura e interpretación de los planos de soldadura. <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-tecnologico/soldaduras-industriales-ebc/2015/ii/guia-3.pdf>
- [8] Asociación británica de aceros inoxidables, <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=121>
- [9] R. Cortes, J. Villanueva, E.Ponce, M. Rojas, y E. Rojas. “Estudio de la soldabilidad y corrosión del acero inoxidable AISI 904L con los agentes utilizados en la lixiviación del cobre”. Revista Facultad de Ingeniería, UTA, Chile. 2004
- [10] L. Cañas. “Estudio de la soldabilidad del acero inoxidable 304 con la aplicación de los procesos SMAW, GTAW Y GMAW”.

[11] R. Ospina, H. Aguirre, H. Parra. "Soldabilidad en aceros inoxidable y aceros disimiles" *Scientia et Technica* Año XIII, No 34, Mayo de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

## ANEXO A

### WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA



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

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

|  |   |
|--|---|
| Nombre de la Empresa: <b>INGENIAR INOX S.A.S</b>                               |   |
| Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: <b>4</b>                     | Fecha: <b>21/08/2014</b> PQR No.(s):            |
| Proceso(s) de Soldadura: <b>GTAW</b>   | Tipo: <b>MANUAL</b>                             |
| <small>SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW Automático, Semí Automático, Manual</small> |   |
| Soldador: <b>WALTER VALDEZ</b>   | Revisión No.: <b>1</b> Fecha: <b>21/08/2014</b> |

|   |  |
|---|--|
| <p style="text-align: center;"><b>UNIONES (QW - 402)</b></p> <p>Diseño de la Unión: <u>A tope</u><br/>                 Tipo de soldadura: <u>cuadrada</u><br/>                 Abertura de raíz: <u>1 mm</u> Longitud de cara de raíz: <u>----</u><br/>                 Angulo de ranura: <u>---</u><br/>                 Limpieza de raíz: <u>Si</u> Método: <u>Wipers</u><br/>                 Plancha: <u>-----</u> Tubería: <u>'x</u><br/>                 Respaldo: (sí, No) <u>Si</u><br/>                 Material de Respaldo (Tipo) <u>Gaseoso</u><br/> <small>(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)</small></p> |  |
|---|--|

|  |  |                  |     |                 |        |       |     |       |     |                   |       |
|--|--|------------------|-----|-----------------|--------|-------|-----|-------|-----|-------------------|-------|
| <p style="text-align: center;"><b>METAL(ES) BASE (QW - 403)</b></p> <p>No. P <u>8</u> No. de Grupo <u>1</u><br/>                 Especificación del acero <u>AISI 304</u> Espesor: <u>1,6mm (calibre16)</u><br/>                 O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.</p> | <p style="text-align: center;"><b>METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>No. Espec. (SFA)</td><td>5,9</td></tr> <tr><td>No. AWS (Clase)</td><td>ER308L</td></tr> <tr><td>No. F</td><td>F-6</td></tr> <tr><td>No. A</td><td>A-8</td></tr> <tr><td>Tamaño del Aporte</td><td>1/16"</td></tr> </table> <p>Bisel <u>X</u> Filete <u>-----</u><br/>                 Fundente (Clase) <u>-----</u> Marca <u>-----</u> Inserto <u>-----</u><br/>                 Otros <u>-----</u></p> | No. Espec. (SFA) | 5,9 | No. AWS (Clase) | ER308L | No. F | F-6 | No. A | A-8 | Tamaño del Aporte | 1/16" |
| No. Espec. (SFA)   | 5,9  |                  |     |                 |        |       |     |       |     |                   |       |
| No. AWS (Clase)  | ER308L   |                  |     |                 |        |       |     |       |     |                   |       |
| No. F  | F-6  |                  |     |                 |        |       |     |       |     |                   |       |
| No. A  | A-8  |                  |     |                 |        |       |     |       |     |                   |       |
| Tamaño del Aporte  | 1/16"  |                  |     |                 |        |       |     |       |     |                   |       |

| <p style="text-align: center;"><b>GAS PROTECCION (QW - 408)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas(es)</th> <th>Mezcla</th> <th>Vel. Flujo (cfh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pantalla</td> <td>ARGON</td> <td>99,90%</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td>ARGON</td> <td>99,90%</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> |         | Gas(es) | Mezcla           | Vel. Flujo (cfh) | Pantalla | ARGON | 99,90% | 15 | Respaldo | ARGON | 99,90% | 20 |  |
|---|---------|---------|------------------|------------------|----------|-------|--------|----|----------|-------|--------|----|--|
|   | Gas(es) | Mezcla  | Vel. Flujo (cfh) |                  |          |       |        |    |          |       |        |    |  |
| Pantalla  | ARGON   | 99,90%  | 15               |                  |          |       |        |    |          |       |        |    |  |
| Respaldo  | ARGON   | 99,90%  | 20               |                  |          |       |        |    |          |       |        |    |  |

|   |  |
|---|--|
| <p style="text-align: center;"><b>POSICIONES (QW - 405)</b></p> <p>Posición de Junta <u>1G</u> de la Soldadura <u>-----</u><br/> <small>(Hacia Arriba, Hacia Abajo)</small></p> |  |
|---|--|

| <p style="text-align: center;"><b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Corriente</th> <th>CC</th> <th>Polaridad Electrodo</th> <th>-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>CC ó CA</td> <td></td> <td>(+ ó -)</td> </tr> <tr> <td>Heat Input</td> <td></td> <td>Kj/mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amperes (Rango)</td> <td>45-75</td> <td>Voltios (Rango)</td> <td>(8 11)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Diám. y Tipo Elec. Tungst: <u>AWS A 3/32" EWTh-2</u><br/>                 5.12<br/>                 Tamaño de boquilla: <u>N° 6 (3/8")</u></p> | Corriente | CC                  | Polaridad Electrodo | -                     |  | CC ó CA |  | (+ ó -) | Heat Input |  | Kj/mm |  | Amperes (Rango) | 45-75 | Voltios (Rango) | (8 11) | <p style="text-align: center;"><b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase</th> <th>Proceso</th> <th>Metal de aporte</th> <th>Amperaje</th> <th>Corriente y polaridad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ER308L 1/16"</td> <td>45-75</td> <td>DCEN</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> </div> | Pase | Proceso | Metal de aporte | Amperaje | Corriente y polaridad | 1 | GTAW | ER308L 1/16" | 45-75 | DCEN |
|--|-----------|---------------------|---------------------|-----------------------|--|---------|--|---------|------------|--|-------|--|-----------------|-------|-----------------|--------|--|------|---------|-----------------|----------|-----------------------|---|------|--------------|-------|------|
| Corriente  | CC        | Polaridad Electrodo | -                   |                       |  |         |  |         |            |  |       |  |                 |       |                 |        |  |      |         |                 |          |                       |   |      |              |       |      |
|  | CC ó CA   |                     | (+ ó -)             |                       |  |         |  |         |            |  |       |  |                 |       |                 |        |  |      |         |                 |          |                       |   |      |              |       |      |
| Heat Input   |           | Kj/mm               |                     |                       |  |         |  |         |            |  |       |  |                 |       |                 |        |  |      |         |                 |          |                       |   |      |              |       |      |
| Amperes (Rango)  | 45-75     | Voltios (Rango)     | (8 11)              |                       |  |         |  |         |            |  |       |  |                 |       |                 |        |  |      |         |                 |          |                       |   |      |              |       |      |
| Pase   | Proceso   | Metal de aporte     | Amperaje            | Corriente y polaridad |  |         |  |         |            |  |       |  |                 |       |                 |        |  |      |         |                 |          |                       |   |      |              |       |      |
| 1  | GTAW      | ER308L 1/16"        | 45-75               | DCEN                  |  |         |  |         |            |  |       |  |                 |       |                 |        |  |      |         |                 |          |                       |   |      |              |       |      |

|  |  |
|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>Técnica (QW - 410)</b></p> <p>Cordón (Recto o Oscilante) <u>Oscilante</u><br/>                 Pase (Simple ó Multiple) <u>Simple</u><br/>                 Limpieza entre Pases <u>-----</u><br/>                 Método: <u>-----</u></p> |  |
|--|--|

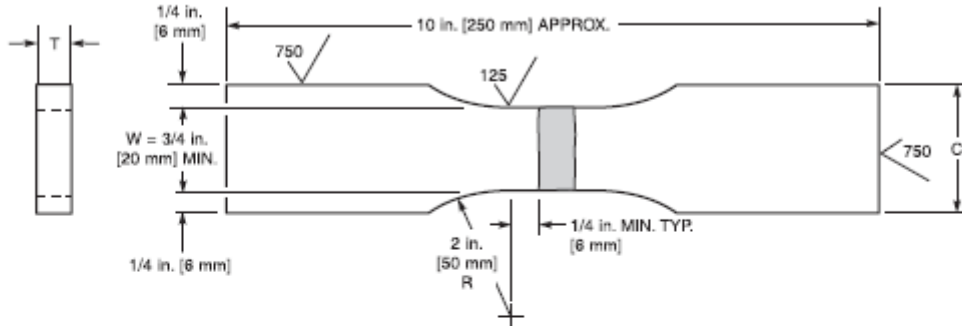
|   |              |                          |
|---|--------------|--------------------------|
| Elaborado Por: <b>Andres Pineda</b><br>Ingeniero mecanico | Aprobado Por | Fecha: <b>19/08/2014</b> |
|---|--------------|--------------------------|

## ANEXO B

### Plano de probeta a tracción

AWS D1.6/D1.6M:2007

CLAUSE 4. QUALIFICATION



T = SPECIMEN THICKNESS OR THICKNESS OF TEST WELDMENT (t) PER NOTE 3.

**Notes:**

1. Thin sheet metal being tested tends to tear and break near the shoulder. In such cases, dimension C shall be no greater than 1-1/3 times W.
2. Weld reinforcement and backing strip, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen.
3. When the thickness, T, of the test weldment is such that it would not provide a specimen within the capacity limitations of the available test equipment, the specimen shall be parted through its thickness into as many specimens as required.
4. The length of the reduced sections shall be equal to the width of the widest portion of the weld plus 1/4 in. [6 mm] on each side.

**Figure 4.10—Transverse Rectangular Tension Test Specimen (see 4.6.6.1)**

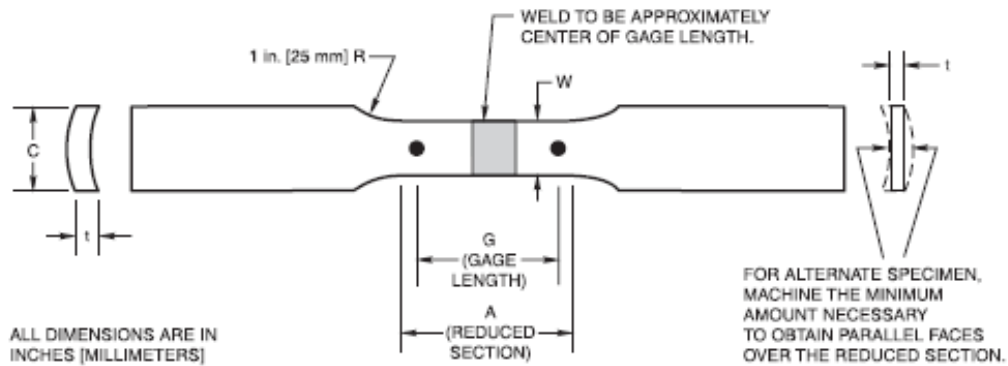
}}

## ANEXO C

### Plano de probeta a tracción

AWS D1.6/D1.6M:2007

CLAUSE 4. QUALIFICATION



| Specimen No. | W, in. [mm]           | C, in. [mm]         | G, in. [mm]                        | A (min.), in. [mm]                      |
|--------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|---|
| 1            | 1/2 ± 1/64 [12 ± 0.4] | 1-1/16 [27] approx. | 2± [50±]                           | 2-1/4 [57]                              |
| 2            | 3/4 ± 1/32 [20 ± 1]   | 1 [25] approx.      | 2± [50±]<br>4± [100±]              | 2-1/4 [57]<br>4-1/2 [115]               |
| 3            | 1 ± 1/16 [25 ± 2]     | 1-1/2 [40] approx.  | 2± [50±]<br>4± [100±]              | 1/64 [0.5]<br>2-1/4 [57]<br>4-1/2 [115] |
| 4            | 1-1/2 ± 1/8 [40 ± 3]  | 2 [50] approx.      | 2± [50±]<br>4± [100±]<br>8± [200±] | 2-1/4 [57]<br>4-1/2 [115]<br>9 [230]    |

**Notes:**

1. The weld reinforcement and backing, if any, shall be removed flush with the specimen.
2. Alternate specimen shall not be used for nominal wall thickness less than 3/8 in. [10 mm].
3. Only grip sections of the specimen may be flattened.
4. In the case of full wall thickness specimens, cross-sectional areas may be calculated by multiplying W and t (t = T).
5. T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable specification.
6. The reduced section shall be parallel within 0.010 in. [0.25 mm] and may have a gradual taper in width from the ends toward the center with the ends not more than 0.010 in. [0.25 mm] wider than the center.
7. The grip section of the specimen shall be symmetrical, with the centerline of the reduced section within 1/8 in. [3 mm].

**Figure 4.12—Tension Specimen for Pipe Size Greater Than 2 in. [50 mm] Nominal Diameter (see 4.6.6.1)**