

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO CON SOLDADURA TIG  
PARA LA EMPRESA INGENIAR INOXIDABLES, PEREIRA**

**JUAN SEBASTIÁN OSORIO GUTIÉRREZ**

**Código: 1088006703**

**DAVID LÓPEZ ORTEGA**

**Código: 1088294995**

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECANICA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
MARZO 2017**

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO CON SOLDADURA TIG  
PARA LA EMPRESA INGENIAR INOXIDABLES, PEREIRA**

**JUAN SEBASTIÁN OSORIO GUTIÉRREZ**

**Código: 1088006703**

**DAVID LÓPEZ ORTEGA**

**Código: 1088294995**

**M.SC LUZ ADRIANA CAÑAS**

**COAUTOR**

**EDGAR ALONSO SALAZAR**

**DIRECTOR**

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**MARZO, 2017**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma de jurado**

**Pereira, marzo de 2017**

## **DEDICATORIA**

Esta dedicatoria es para aquellas personas que intervinieron a lo largo de mi carrera, por su apoyo, enseñanzas y consejos. A mis padres quienes me dieron la vida, la educación y siempre estuvieron hay para lo que necesitará; gracias a todos.

**David López Ortega**

Este proyecto lo dedico a mis padres a mi hermana que siempre me apoyan en todas mi metas que me pongo, dándome lo mejor de ellos y que siempre confían en mi a pesar de mis fallas, y también a mi familia, mis compañeros que aportaron un grano de arena para que este sueño se hiciera realidad.

**Juan Sebastián Osorio Gutiérrez**

## **AGRADECIMIENTO**

- A la ingeniera Luz Adriana Cañas por ser la primera que nos dio su confianza y apoyo para iniciar este proyecto
- A la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira y al Ingeniero Alexander Osorio que nos apoyó en todo lo posible para realizar este proyecto, 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 ingeniero Gabriel Calle Trujillo que nos ayudó con las pruebas de tracción siempre con la mejor disposición
- Al ingeniero Edgar Alonso Salazar que al final de este proyecto nos colaboró en todo lo posible para que culmináramos de la mejor manera.

# CONTENIDO

## Contenido

0. INTRODUCCIÓN.....	11
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.1 Antecedentes del problema.....	12
1.2 Formulación .....	13
1.3 Descripción.....	13
2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS .....	14
2.1 Objetivo general.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. MARCO REFERENCIAL .....	15
3.1 MARCO TEÓRICO .....	15
3.1.1 El aluminio .....	15
3.1.2 Proceso de soldadura en aluminio – soldabilidad .....	15
3.1.3 Proceso de soldadura TIG .....	17
3.1.4. Documentación para estandarización de procesos de soldadura .....	19
3.1.6 Ensayos destructivos y no-destructivos en soldadura .....	21
3.1.6.1 Ensayo destructivo (ED) .....	21
3.1.6.2 Ensayo no destructivo (END) .....	21
3.1.7 DEFECTOLOGÍA DE LA SOLDADURA (Vega, 2012).....	22
4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	33
4.1. Obtención de los materiales y realización de uniones soldadas. ....	33
4.2 ensayos no destructivos (END) .....	33
4.2.1 inspección visual (IV):.....	33
4.2.2 Tintas penetrantes (TP):.....	34
4.3 Ensayos destructivos.....	37
4.3.2 Ensayos de sanidad (DobleZ).....	39
4.3.2.1. Ensayo de doblez de raíz .....	39
4.3.2.2. Ensayo de doblez de cara .....	41

4.3.2.3. Ensayo metalográfico.....	43
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	44
5.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	48
5.2.1 Ensayo de tracción. ....	48
5.2.2 Ensayo de sanidad.....	51
5.2.2.1 Ensayo de doblez de raíz: .....	51
5.2.3 ENSAYO METALOGRÁFICO .....	53
6. CONCLUSIONES.....	54
7. BIBLIOGRAFÍA.....	55

## Lista de tablas

Tabla 1. Designación de juntas para inspección visual	34
Tabla 2. Designación de juntas para tintas penetrantes	35
Tabla 3. Cuerpo de prueba para tracción y Sujeción en la maquina	38
Tabla 4. Cuerpo de prueba para doblez de raíz y Sujeción en la maquina	40
Tabla 5. Cuerpo de prueba para doblez de cara y Sujeción en la maquina	42
Tabla 6. Resultado inspección visual	45
Tabla 7. Resultado tintas penetrantes	47
Tabla 8. Resultado probeta TIG1-3mm	48
Tabla 9. Resultado probeta TIG2-3mm	49
Tabla 10. Resultado probeta TIG1-4mm	49
Tabla 11. Resultado probeta TIG2-4mm	50
Tabla 12. Resultado probeta TIG1-5mm	50
Tabla 13. Resultado probeta TIG2-5mm	51
Tabla 14. Resultado ensayo de doblez	52
Tabla 15. Resultado calificación de metalografía	53

## Lista de figuras

Figura 1. Comparación de conductividad	16
Figura 2. Vista esquemática de soldadura	17
Figura 3. Porosidades	23
Figura 4. Inclusión	24
Figura 5. Fusión	25
Figura 6. Penetración incompleta o falta de penetración	25
Figura 7. Formas de grietas	26
Figura 8. Socavado	27
Figura 9. Concavidad	28
Figura 10. Sobremona excesiva	29
Figura 11. Laminaciones	29
Figura 12. Golpe de arco	30
Figura 13. Desalineación	31
Figura 14. Salpicadura	32
Figura 15. Quemón	36
Figura 16. Proceso de aplicación tintas penetrantes	36

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A**

**WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA**

**Anexo B**

**WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA**

**Anexo C**

**WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA**

## 0. INTRODUCCIÓN

Las medianas y pequeñas empresas, en general, no practican la cultura de la estandarización de calidad en el sector y que muchas de las prácticas establecidas, no poseen los mínimos requisitos de aseguramiento que redunden en procesos eficientes, en términos de calidad, competitividad y lejos de una estandarización en sus procesos de producción.

Es indispensable promover la estandarización de los procesos de soldadura en las empresas nacionales, que les permita cumplir con los parámetros de calidad requeridos por la industria metalmecánica, por lo tanto, es necesario diligenciar, poner en práctica y avalar, los documentos WPS (Especificaciones del procedimiento de soldadura), PQR (Registro de la calificación del procedimiento), enmarcados en normas internacionales.

Implementar estos formatos, permite mantener un proceso de soldadura en las mismas condiciones durante varios años, sin afectar la calidad del trabajo, puesto que cualquier operario, podrá adelantar el procedimiento de soldadura, guiado por el documento generado por la empresa (WPS), con resultados constantes, eficientes y productivos, haciendo que las mejoras, en cuanto a eficiencia y calidad de sus productos, se reflejen al alcanzar menores costos operativos en el desarrollo de un producto.

A pesar que a nivel internacional se mantienen procesos y procedimientos de soldaduras calificados bajo estándares reconocidos, en muchos sectores de la industria no se han puesto todavía a consideración los beneficios que se generarían al implementar un WPS, como el mejor control de los procesos a través del aseguramiento de las variables para la obtención de resultados de calidad [1].

Es por esto, que la empresa Ingeniar Inoxidables ha visto la necesidad de estandarizar sus procesos de manufactura, impulsando diferentes estudios de soldabilidad que apoyen la generación de procedimientos calificados que conlleven al cumplimiento de estándares internacionales; en este caso concreto, mediante la implementación del código de Soldadura Estructural de Aluminio AWS D1.2/D1.2M:2014 (*Structural Welding Code Aluminium*).

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes del problema

Aunque muchos son los metales que se sueldan mediante el proceso GTAW (por sus siglas en inglés: Gas Tungsten Arc Welding), también conocido como TIG (Tungsten Inert Gas), es el aluminio el que con más frecuencia se relaciona con este proceso de soldadura, especialmente con piezas de pequeños espesores. Por supuesto, el aluminio puede soldarse utilizando otros procesos de soldadura, pero para chapa fina, el proceso TIG es el más adecuado.

El aluminio puro tiene un punto de fusión inferior a 650°C y no muestra los cambios de color, característicos de otros metales antes de la fusión. Es por esta razón que el aluminio no avisa cuando está caliente o a punto de fundir. El óxido de aluminio (ó alúmina,  $Al_2O_3$ ), que se forma rápidamente en su superficie tiene un punto de fusión casi tres veces superior (unos 1750 °C). Para añadir más confusión, el aluminio incluso hierve a una temperatura inferior (1564°C) a la que funde su óxido. Además, la alúmina tiene una dureza superior al aluminio puro y, cuando funde, tiende a quedar atrapada en el aluminio fundido. Es fácil entender por qué antes de soldar se debe eliminar el óxido tanto como sea posible. Por fortuna, la componente de polaridad inversa de la corriente alterna realiza un trabajo sobresaliente de limpieza al ir retirando este óxido delante del baño de soldadura [2].

Incluso para los expertos en la soldadura de aceros, el soldeo de las aleaciones de aluminio puede presentar un verdadero desafío. La mayor conductividad térmica y el menor punto de fusión de las aleaciones de aluminio pueden fácilmente producir perforaciones, a menos que los soldadores sigan los procedimientos prescritos. Para superar estos retos, los operarios necesitan seguir metodologías apropiadas en las cuales cuenten con variables operativas definidas.

Es por estas razones, que se plantea el actual proyecto, que pretende asegurar una alta calidad de las soldaduras de aluminio realizadas en la empresa *Ingeniar Inoxidables*, mediante el análisis del cambio en la soldabilidad de dichas soldaduras realizadas por el proceso TIG, de manera que al finalizar el trabajo se puedan generar procedimientos de soldadura previamente evaluados que permitan asegurar la integridad de las uniones obtenidas.

## **1.2 Formulación**

¿Es posible obtener uniones soldadas de láminas de aluminio mediante el proceso TIG (Tungsten Inert Gas), que cumplan con las especificaciones del código de Soldadura Estructural de Aluminio AWS D1.2/D1.2M (Structural Welding Code Aluminium) para asegurar una buena soldabilidad?

## **1.3 Descripción**

- ¿Cómo interpretar y aplicar la norma AWS D1.2/D1.2M para la soldadura de ranura en láminas de aluminio mediante el proceso de soldadura TIG?

- ¿Bajo qué criterios se establecen las variables de operación de soldadura para láminas de aluminio mediante el proceso de soldadura TIG?

-¿Qué tipo de ensayos destructivos y no-destructivos se deben aplicar para evaluar la soldabilidad de las uniones obtenidas?

- ¿Es posible generar un WPS (procedimiento de soldadura) aplicable a los materiales y necesidades de la empresa Ingeniar Inoxidables, asegurando una buena calidad de la soldadura?

## **2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS**

### **2.1 Objetivo general**

Realizar el análisis de la soldabilidad y análisis metalográfico, de una aleación de aluminio 6061 T5, utilizando el proceso de soldadura TIG con electrodo de aporte ER 4043, mediante la determinación de algunas propiedades mecánicas y metalúrgicas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar el análisis y la síntesis del código estructural para la soldadura de aluminio AWS D1.2/D1.2M.
- Desarrollar un diseño experimental para la evaluación de la soldabilidad del aluminio, definiendo rangos de trabajo para las variables esenciales y aplicando ensayos destructivos y no destructivos.
- Generar y evaluar un procedimiento de soldadura (WPS), con base en el estudio de la soldabilidad y en las normas vigentes para soldadura de aluminio, aplicable a la empresa Ingeniar Inoxidables.

### **3. MARCO REFERENCIAL**

#### **3.1 MARCO TEÓRICO**

##### **3.1.1 El aluminio**

El aluminio es un metal ligero, de color blanco plateado y relativamente blando.

El aluminio es conocido también por su resistencia a la corrosión frente al aire, agua, aceites, alimentos y muchos agentes químicos. Esta resistencia se debe a la existencia de una capa de óxido de aluminio, llamada alúmina, que impide la corrosión del metal. Se trata de una capa refractaria, es decir, que posee una temperatura de fusión muy elevada por lo que se debe retirar antes o durante la operación de soldeo para permitir una buena fusión del metal base [4].

El aluminio es un metal muy dúctil (incluso a muy bajas temperaturas) y con baja resistencia mecánica. Sin embargo, las aleaciones de aluminio tienen mayor resistencia mecánica que muchos otros aceros, ya que los elementos de aleación endurecen y mejoran las características mecánicas del aluminio, sus principales aleantes son el cobre (Cu), magnesio (Mg), silicio (Si), y zinc (Zn). También se suelen añadir pequeñas cantidades de cromo (Cr), hierro (Fe), níquel (Ni) y titanio (Ti) [5].

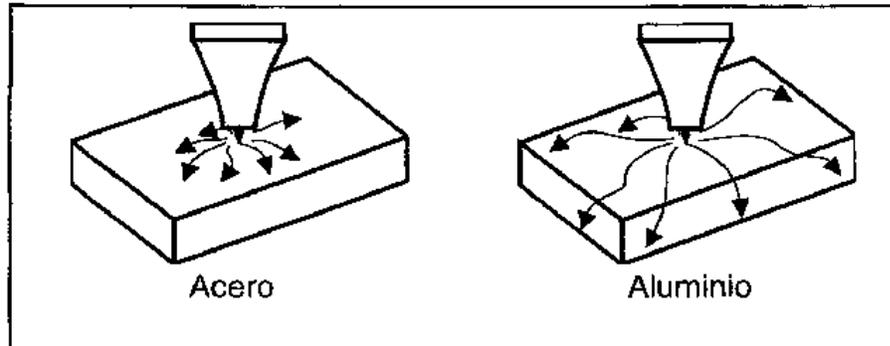
##### **3.1.2 Proceso de soldadura en aluminio – soldabilidad**

A continuación se mencionan los factores influyentes en la realización de las uniones soldadas, en otras palabras, los que influyen la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones.

- Temperatura de fusión del aluminio: El aluminio puro funde a unos 600°C y las aleaciones de aluminio a unos 560°C, temperaturas muy bajas en comparación con la del acero (1535°C) y la del cobre (1082°C). Sin embargo las aleaciones de aluminio no cambian de color durante el calentamiento, por lo que se corre el riesgo de perforar la pieza [5].
- Conductividad térmica: Las aleaciones de aluminio conducen el calor tres veces más rápido que el acero, por lo que se requerirá un aporte térmico

más elevado para soldar una pieza de aluminio que una de acero, aunque ambas tengan las mismas dimensiones. Para conseguir una buena fusión cuando la pieza tenga gran espesor, es necesario realizar un precalentamiento [5].

Figura 1. Comparación de la conductividad térmica del acero y del aluminio.



Fuente [5]

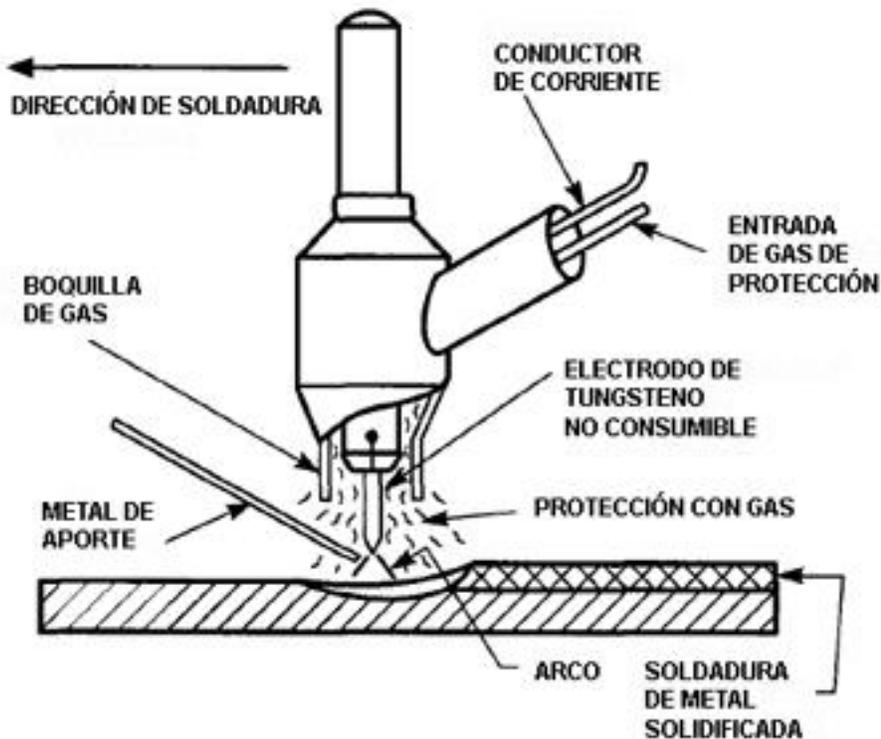
- Dilatación térmica: Las aleaciones de aluminio se dilatan dos veces más que el acero al calentarse, lo que puede provocar grandes tensiones internas y deformaciones en las piezas durante el soldeo. También es mayor la tendencia a la disminución de la separación en la raíz en las piezas a tope. El soldeo a bajas velocidades y con gran cantidad de metal de aportación incrementa las deformaciones y la tendencia a la rotura.
- Óxido de aluminio: En las aleaciones de aluminio, en presencia de aire, se forma alúmina (óxido de aluminio), con gran facilidad. Este óxido tiene una temperatura de fusión muy elevada, entre 1200°C y 2000°C mayor que la temperatura de fusión del aluminio. Por tanto, el aluminio funde antes que su óxido y, cuando esto sucede, la película de óxido impide la fusión entre el metal base y el metal de aportación, por lo que es imprescindible eliminar o retirar la capa de óxido mediante un decapado químico, un fundente, amolado o mediante la acción decapante del arco eléctrico. En el soldeo MIG y TIG (con CC+ o CA respectivamente) el arco eléctrico decapa la superficie de la pieza eliminando el óxido y la envoltura del gas inerte previene la contaminación del baño. En algunas ocasiones, y debido a una mala limpieza, se puede quedar atrapado algún óxido en el baño de fusión que dará lugar a una imperfección en la soldadura. Por tanto es imprescindible limpiar las piezas antes del soldeo y cepillarlas utilizando cepillos con púas de acero inoxidable. Estos cepillos deberán destinarse exclusivamente a la limpieza de aluminio.

El aluminio y sus aleaciones pueden soldarse mediante la mayoría de los procesos de soldeo por fusión, así como por soldeo blando, fuerte y soldeo en estado sólido. El soldeo por fusión se puede realizar mediante TIG, MIG, por resistencia, plasma, láser y haz de electrones. El soldeo con electrodos revestidos y oxigás sólo se emplea en reparaciones, o cuando no es posible utilizar otro proceso por carencia de medios. El proceso por arco sumergido no se realiza [5].

### 3.1.3 Proceso de soldadura TIG

El proceso de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo (no consumible), también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), usa un arco eléctrico como fuente de energía que se establece entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar con la envoltura protectora del gas inerte. Cuando se usa material de relleno, éste se proporciona mediante el uso de varillas [4].

Figura 2. Vista esquemática de una operación de soldadura con arco de gas tungsteno



Fuente [3].

Este proceso mostrado en la figura 2, se tiene en cuenta también el tipo de corriente empleado en el que se pueden presentar las siguientes posibilidades:

- Corriente Continua Polaridad Inversa, CC+: Cuando se trabaja con corriente continua, el circuito de soldadura puede alimentarse, con polaridad directa, o con polaridad inversa, la circulación de electrones se produce desde la pieza hacia el electrodo, originando un fuerte calentamiento de este último. El intenso calor generado en el electrodo tiende a fundir el extremo del mismo y puede producir la contaminación del cordón de soldadura, con polaridad inversa, requiere el empleo de electrodos de mayor diámetro que lo utilizados con polaridad directa a la misma intensidad. [3].
- Corriente Continua Polaridad Directa, CC: Por ser la pieza el ánodo (polo positivo), no existe acción decapante sobre ella ya que los iones positivos son emitidos por la pieza y no impactan en ella, la capa de alúmina no se disgrega y la soldadura tiene tendencia a incorporar óxidos, Para soldar en estas condiciones es imprescindible una buena limpieza previa [3].
- Corriente Alterna, CA: Es el tipo de corriente más utilizada para el soldeo de aluminio. La limpieza o decapado de la pieza tiene lugar cuando el electrodo se encuentra en el semiciclo positivo, aunque en éste la penetración es reducida y el electrodo se calienta. Cuando actúa el semiciclo negativo, el electrodo se enfría y no se produce el decapado de la pieza, pero la penetración es buena. Como resultado, en corriente alterna se consigue una penetración y limpieza intermedias [3].
- Gas De Protección: Se emplea normalmente argón, aunque para el soldeo de piezas de gran espesor, se puede utilizar mezclas de argón + helio. En el caso de utilizar corriente continua polaridad directa (CC-), se utiliza helio o argón + helio. No es necesario el empleo de gas de respaldo. El caudal de gas de protección suele ser mayor que el empleado para el soldeo de acero al carbono, siendo tanto mayor cuanto mayor sea el espesor de la pieza. Se deberá utilizar un caudal mayor cuando se suelda en posición vertical ascendente y tubería en posición cornisa, debido al efecto chimenea. Cuando se suelda tubería fija, puede llegar a ser de 17-38 l/min [3].
- Imperfecciones Típicas: Las más comunes son las inclusiones de wolframio y de óxidos, poros y grietas de cráter. La protección y limpieza serán adecuadas si se obtienen soldaduras brillantes con ambos bordes plateados. Un cordón oxidado es el resultado de una baja intensidad, poca cantidad de gas de protección o una longitud de arco excesiva[5]

### 3.1.4. Documentación para estandarización de procesos de soldadura

Uno de los aspectos más relevantes en el tema de la estandarización de procesos de soldadura, corresponde al diligenciamiento de los formatos o de la documentación que especifica los detalles operativos para la aplicación de la misma. Los documentos que comandan los procesos de estandarización, tendientes a obtener grandes niveles de calidad, consisten en la elaboración, evaluación e implementación del WPS, PQR y WPQ.

Es ideal que cada empresa formule los formatos según sus necesidades y características productivas, de manera que la aplicación de las soldaduras produzca uniones de calidad, independientemente del operario que desarrolle el trabajo. Sin embargo, aun cuando se definan correctamente las variables esenciales de un procedimiento de soldadura, es fundamental que el soldador posea las competencias para el desarrollo del trabajo, ya que son dos aspectos que inciden directamente en la calidad del producto.

A continuación se describen, de manera general, los formatos previamente mencionados.

- *WPS, Welding Process Specification*: Especificaciones del proceso de soldadura. El formato WPS, en el que se especifica el procedimiento de soldadura a desarrollar, propuesto para una eventual estandarización, es un documento preparado y calificado por el departamento encargado del control de calidad de cada empresa, en el que se describen las variables esenciales y no esenciales del procedimiento, basadas en el código de la sociedad americana de ingenieros mecánicos ASME, para que el personal que realiza las soldaduras, lo utilice como guía, con el propósito de obtener el resultado deseado y cumplir con las exigencias de su contratante [2].
- PQR (Registro de calificación del procedimiento): Documento que valida y respalda el WPS. El PQR contiene las variables reales de soldadura utilizadas en la prueba y los resultados de ensayos realizados sobre la soldadura para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura. El PQR es el registro que documenta los resultados de soldar y ensayar las probetas [2].

- WPQ (Calificación de los soldadores): Documento que registra los ensayos de calificación de desempeño requeridos. Para determinar la habilidad de los soldadores para producir soldaduras sanas [2].

### **3.1.5 Código estructural para la soldadura de aluminio AWS D1.2/D1.2M. (*Structural Welding Code Aluminium*).**

Este código contiene los requisitos para la fabricación y montaje de estructuras soldadas de aluminio. Cuando se trabaja bajo las directrices de este código, se requiere la conformidad con todos los requisitos exigidos en el mismo, excepto aquellos que el ingeniero o el contratista decida determinar.

En el capítulo 3 del código, se presentan los requerimientos generales para los procesos de calificación, con el fin de asegurar que los procedimientos utilizados en las etapas de producción cuenten con estándares reconocidos para lograr la obtención de productos de alta calidad. Para cumplir con este objetivo, cada contratista o fabricante tiene que seguir las siguientes indicaciones previas al inicio de la producción:

- Calificar y registrar las variables esenciales para el PQR que vaya a ser utilizado para la definición del WPS, de acuerdo con lo especificado en el código, indicando los materiales, equipos, métodos de limpieza y preparación, condiciones de soldadura, etc., que estarán contenidos en el WPS.
- Preparar el formato WPS escrito de acuerdo con el código
- Calificar los soldadores y operarios de soldadura de acuerdo con el código aplicado
- Conducir los ensayos requeridos en este código, para calificar los WPSs , soldadores, y operarios de soldadura que aplicarán dichos procedimientos (WPSs)
- Certificar y mantener registros de todos los ensayos y procedimientos en los formatos apropiados, y enviarlos a un organismo o laboratorio acreditado para la realización de sus análisis.

- Suministrar los procedimientos escritos a todos los soldadores u operarios, y controlar la calidad del personal involucrado en la obra.

El ingeniero puede aceptar evidencia debidamente documentada de calificaciones previas de los procedimientos a ser empleados, así como calificaciones previamente realizadas a los operarios o soldadores.

### **3.1.6 Ensayos destructivos y no-destructivos en soldadura**

#### **3.1.6.1 Ensayo destructivo (ED)**

Se entiende por ensayos destructivos o mecánicos, aquellos que pretenden medir la capacidad de un material para soportar esfuerzos de diferente tipo.

- Estáticos: dureza, tracción, compresión, cizallamiento, pandeo, torsión, flexión
- Destructivos Dinámicos: de resistencia al choque y fatiga
- Tecnológicos: De chispa, de plegado, de embutición, de forja [6]

#### **3.1.6.2 Ensayo no destructivo (END)**

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de *nondestructive testing*), 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.

Entre los ensayos no destructivos se encuentran los siguientes:

- Ensayo de dureza (en algunos casos no se considera como ensayo no destructivo, especialmente cuando puede comprometer la resistencia de la pieza a cargas estáticas o a fatiga).
- Inspección visual, microscopía y análisis de acabado superficial.
- Ensayos por tintas penetrantes.

- Inspección por partículas magnéticas.
- Ensayos radiológicos.
- Ensayo por ultrasonidos.
- Ensayos por corrientes inducidas.[7]

### 3.1.7 DEFECTOLOGÍA DE LA SOLDADURA (Vega, 2012)

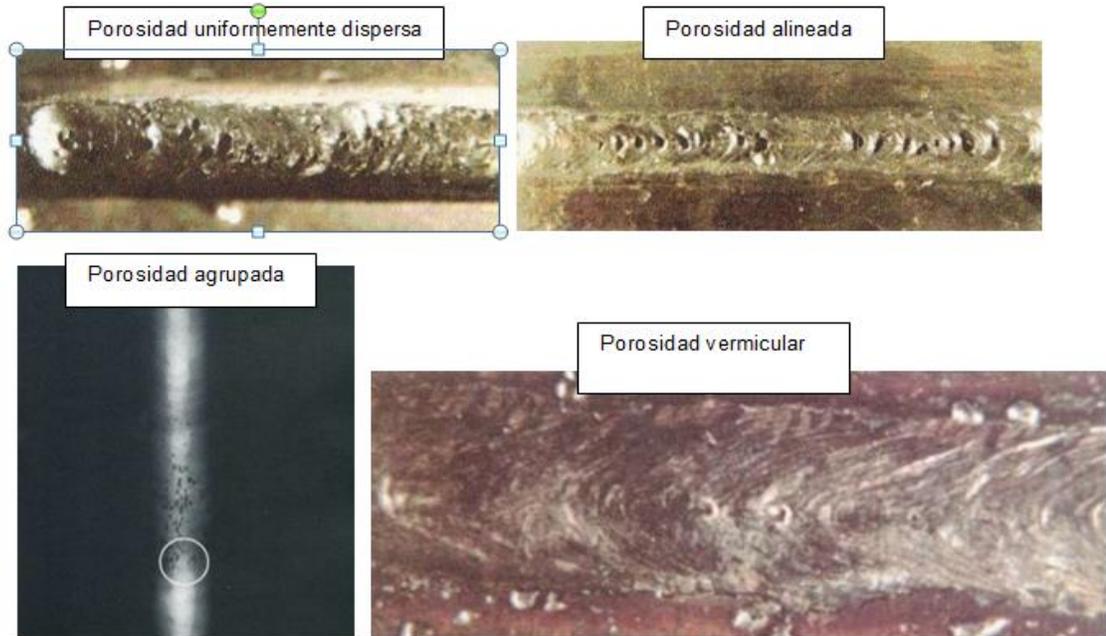
En todas las uniones soldadas pueden producirse diferentes defectos, los cuales se pueden dar por diversas causas, como: el tipo de electrodos utilizados, o por las deformaciones producidas por el intenso calor aportado y las anomalías o discontinuidades del cordón, que pueden dañar el aspecto y configuración tanto interna como externa de la soldadura.

Las discontinuidades más frecuentes que se encuentran en las soldaduras, o que están muy relacionadas con ellas, forman parte de los siguientes tipos:

1. **Porosidad (“Porosity”).** Discontinuidad del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. Se divide a su vez en cuatro tipos:
  - a) Porosidad uniformemente dispersa. Es una 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 unos pocos poros en la soldadura.
  - b) Porosidad agrupada (“Cluster porosity”). Es un agrupamiento localizado de poros. Generalmente resulta por un inicio o fin inadecuado del arco de soldadura.
  - c) Porosidad alineada (“Linear porosity”). Frecuentemente ocurre a lo largo de la interface metal de soldadura / metal base, la interface entre cordones de soldadura, o cerca de la raíz de soldadura, y es causada por la contaminación que provoca el gas por su evolución en esos sitios.
  - d) Porosidad vermicular o tipo gusanos (“Piping porosity”). Es un poro de gas alargado. Este tipo de porosidad de soldadura se extiende desde la raíz hasta la superficie de la soldadura.

En la figura 3 se pueden observar las 4 porosidades anteriormente mencionadas.

**Figura 3. Porosidades**



**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

## **2. Inclusiones (“*Inclusions*”).**

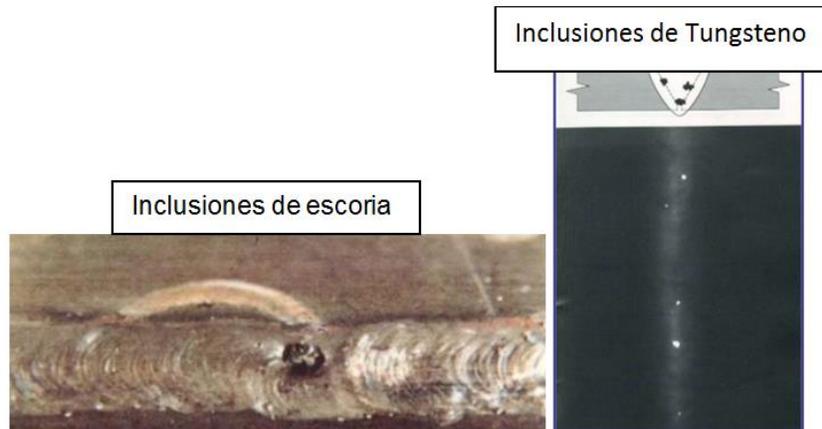
**a) Inclusiones de escoria (“*Slag inclusions*”):** Son sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Pueden encontrarse en soldaduras hechas por cualquier proceso de arco. En general, estas inclusiones resultan por fallas en la técnica de soldadura, en el diseño de la junta tal que no permita un acceso adecuado, o en una limpieza inadecuada entre los cordones de

**b) Inclusiones de Tungsteno** Son partículas de Tungsteno atrapadas en el metal de soldadura y son exclusivas del proceso GTAW (TIG).

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.

En la figura 4 se pueden observar las inclusiones anteriormente mencionadas.

**Figura 4. Inclusiones**

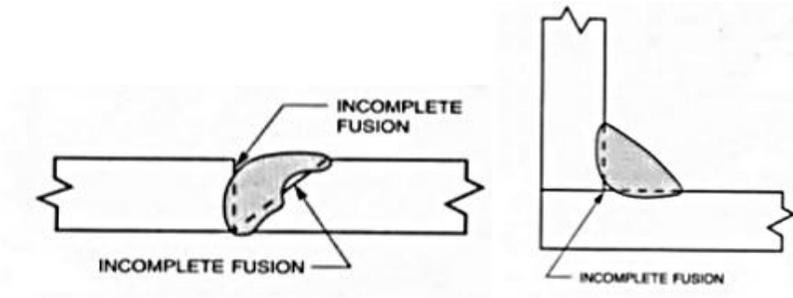


**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

- 3. Fusión incompleta (*"Incomplete fusion"* o falta de fusión).** 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 la técnica de soldadura utilizada, la preparación del metal base, o diseño de la junta inapropiado.

En la figura 5 se puede observar la fusión incompleta.

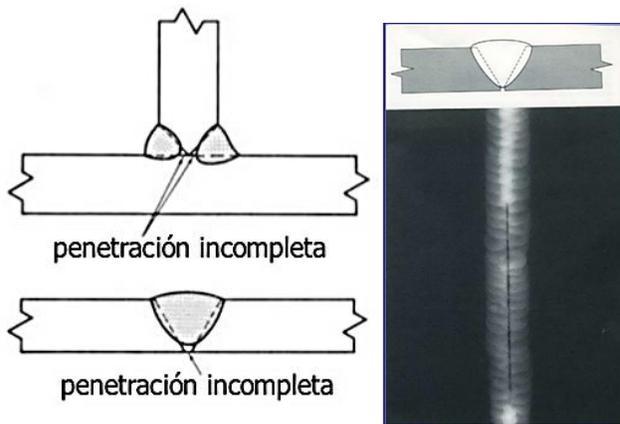
Figura 5. Fusión incompleta



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)

4. Penetración incompleta o falta de penetración (“*Incomplete joint penetration*”). Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. 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 chaflán insuficiente), o control lateral inapropiado del arco de soldadura. En la figura 6 se puede observar la fusión incompleta.

Figura 6. Penetración incompleta o falta de penetración



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)

5. **Grietas (“Cracks”).** Ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. Según la temperatura en las que se forman, las grietas pueden clasificarse como:

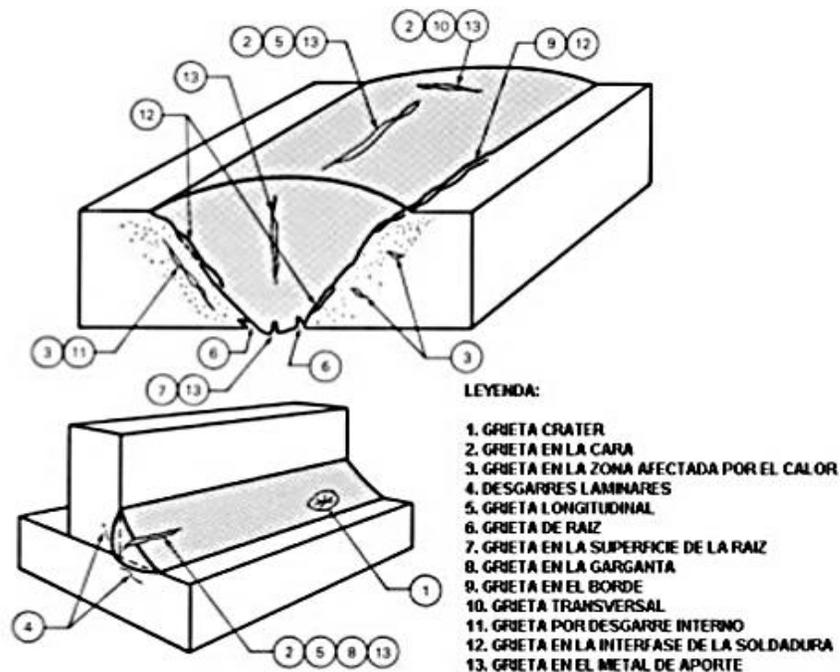
- a) Grietas en caliente
- b) Grietas en frío

Según su forma, las grietas también se pueden clasificar en:

- a) Grietas longitudinales
- b) Grietas transversales
- c) Cráteres
- d) De garganta
- e) De borde
- f) De raíz

En la figura 7 se pueden observar las formas de grietas anteriormente mencionadas.

**Figura 7. Formas de grietas**



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)

6. **Socavadura/mordedura (“Undercut”)**. 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; es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o tubos, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura. En la figura 8 se pueden observar las formas de grietas anteriormente mencionadas.

Figura 8. Socavado

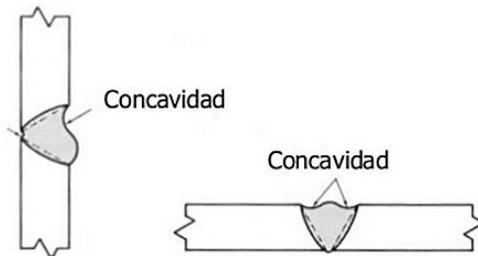


Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)

7. **Concavidad (“Underfill”)** Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base.

En la figura 9 se pueden observar la concavidad.

**Figura 9. Concavidad**

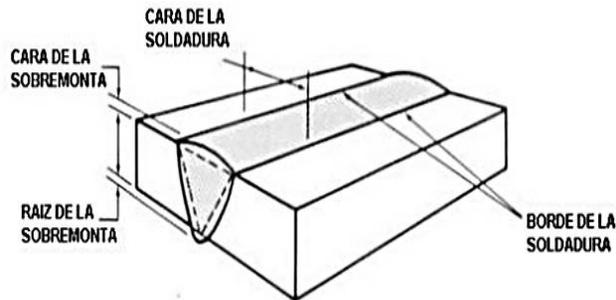


**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

8. **Garganta insuficiente (“Insufficient throat”)**. Puede ser debido a una depresión en la cara de la soldadura de filete, disminuyendo la garganta, cuya dimensión debe cumplir la especificación dada por el proyectista para el tamaño del filete. Las fallas del soldador pueden ser:
- a) No obtener fusión del metal base en la raíz de la soldadura, o b) no depositar suficiente metal de relleno en el área de garganta (en la cara del filete).
9. **Solape (“Overlap”)** (**Metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin fundirlo**). Es la porción que sobresale del metal de soldadura más allá del límite de la soldadura o de su raíz. Se produce un falso borde de la soldadura, estando el metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin haberlo fundido. Puede resultar por un deficiente control del proceso de soldadura, errónea selección de los materiales, o preparación del metal base inapropiados.
10. **Sobremonta excesiva (“Weld reinforcement”)**. La sobremonta es un concentrador de tensiones y, además, un exceso de ésta aumenta las tensiones residuales, presentes en cualquier soldadura, debido al aporte sobrante.

En la figura 10 se pueden observar la sobremonta excesiva.

**Figura 10. Sobremonta excesiva**



**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

**11. “Laminaciones” (“Laminations”).** Son discontinuidades planas y alargadas en el metal base, encontrándose normalmente en la parte media del espesor de los materiales forjados (como lo son las planchas de acero utilizadas para construcción de recipientes o tanques, que se producen por laminado (rolado), el cual es un proceso de forja).

En la figura 11 se pueden observar las laminaciones.

**Figura 11. Laminaciones**

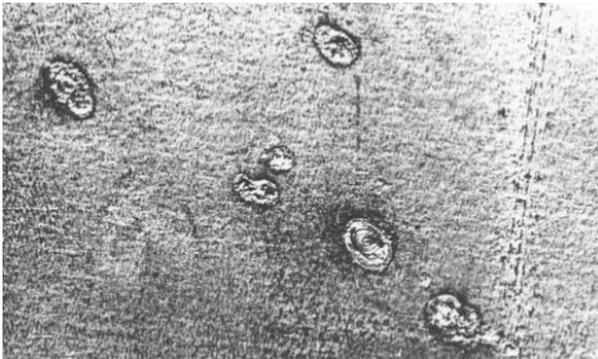


**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

**12. Fisuras laminares (“Lamellar tears”).** Son fracturas en forma de terraza en el metal base, con orientación básicamente paralela a la superficie forjada. Son causadas por altos esfuerzos en la dirección del espesor que resultan del proceso de soldadura.

**13. Golpes de arco / apertura de arco / arranque de arco / chisporroteo (en el material base fuera de la soldadura) (“Arc strike”).** Imperfección localizada en la superficie del metal base, caracterizada por una ligera adición o falta de metal, resultante de la apertura accidental del arco eléctrico. Normalmente se depositará sobre el metal base una serie de pequeñas gotas de material fundido que pueden originar microfisuras. En la figura 12 se pueden observar los golpes de arco.

**Figura 12. Golpes de arco**



**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

**14. Desalineación (“High – Low”).** Esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas. En la figura 13 se pueden observar la desalineación.

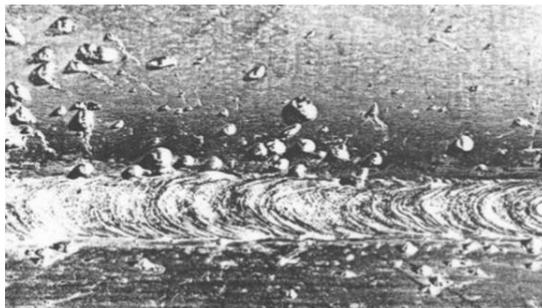
**Figura 13. Desalineación**



**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

**15. Salpicaduras (“Spatter”).** Son glóbulos de metal de aporte transferidos durante la soldadura y adheridos a la superficie del metal base, o a la zona fundida ya solidificada. Es inevitable producir cierto grado de salpicaduras, pero deben limitarse eliminándose, aunque únicamente sea por estética de la superficie soldada. En la figura 14 se pueden observar las salpicaduras.

**Figura 14. Salpicaduras**



**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014).**

- 16. Penetración excesiva (“*Excessive penetration*”).** En una soldadura simple desde un solo lado (típicamente soldaduras de tuberías), esta discontinuidad representa un exceso de metal aportado en la raíz de la soldadura que da lugar a descolgaduras de metal fundido.
- 17. Rechupes (de cráter).** Es la falta de metal de soldadura resultante de la contracción de la zona fundida, localizada en la cara de la soldadura.
- 18. Porosidad alargada en la raíz (“*Hollow - bead porosity (HB)*”).** Es definida como una porosidad alargada alineada a lo largo de la línea central de la soldadura que ocurre a lo largo del cordón de raíz de la soldadura.
- 19. Quemón (“*Burn - Through (BT)*”).** Es definida como una porción del cordón de raíz donde una excesiva penetración ha causado que el metal de soldadura sea soplado hacia el interior, o puede que se descuelgue un excesivo metal fundido. Suele presentarse como una depresión no alargada, en forma de cráter, en la raíz. En la figura 15 se pueden este defecto.

**Figura 15. Quemón**



**Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>. (López, 2014)**

## 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 4.1. Obtención de los materiales y realización de uniones soldadas.

Inicialmente se acordó con la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira realizar el análisis de la unión soldada del aluminio 6061 T5 con el aporte ER 4043, mediante el proceso de soldadura TIG. Como materiales se utilizaron laminas con tres espesores diferentes, de 3mm, 4mm, 5mm, para cada proceso de soldadura.

Para el proceso de soldadura TIG para aluminio el equipo de la empresa INGENIAR INOXIDABLES se encontraba con fallas técnicas y nos vimos obligados a entrar en la búsqueda de otra empresa con el equipo en buenas condiciones para que el proceso de soldadura tuviera las condiciones apropiadas.

Adicionalmente a esto, basados en la norma y con ayuda experimental del personal de la empresa INGENIAR INOXIDABLE, se definieron los parámetros y las variables, tanto esenciales como no esenciales, para el desarrollo de las uniones soldadas, las cuales se especificaron en las WPS en que se basaron los soldadores para aplicar la soldadura; finalmente, resultaron 6 láminas soldadas de donde se obtuvieron las probetas para las diferentes pruebas realizadas, como fueron ensayos no destructivos (visual y tintas penetrantes), mecánicos (ensayo de tracción), ensayo de sanidad (doblez de cara y de raíz). A continuación son descritos los diferentes ensayos.

### 4.2 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 y tintas penetrantes.

**4.2.1 inspección visual (IV):** 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:

**Número de muestras:** dos (2) uniones de soldaduras, por cada espesor; 3, 4, 5 mm

**Documentos de referencia:** Norma AWS D1.2/D1.2M Structural Welding Code—Aluminum, capítulo 3 parte B, 3.6.1

**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 1.

**Tabla 1. Designación de juntas para inspección visual**

N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO	
		IV	JUNTA
1	TIG 1-3mm	X	TOPE
2	TIG 2-3mm	X	TOPE
3	TIG 3-4mm	X	TOPE
4	TIG 4-4mm	X	TOPE
5	TIG 5-5mm	X	TOPE
6	TIG 6 -5mm	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 por grata mecánica 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.

**4.2.2 Tintas penetrantes (TP):** se realizó el análisis de tintas para detectar la defectología que no fue visible en la inspección visual.

**Equipos utilizados:**

- Kit de galgas de medición con longitudes y geometría acordes a los cordones soldadura a evaluar.
- Kit de tintas penetrantes visibles coloreadas (*Spotcheck penetrant SKL-WP2* y *Spotcheck Developer SKD-S2*).

- Paños de limpieza, cámara digital, flexómetro e implementos de seguridad.

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

**Tabla 2. Designación de juntas para tintas penetrantes (PT)**

N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO		
		IV	PT	JUNTA
1	TIG1-3mm	X	X	TOPE
2	TIG 2- 3mm	X	X	TOPE
3	TIG 3- 4mm	X	X	TOPE
4	TIG 4- 4mm	X	X	TOPE
5	TIG 5-5mm	X	X	TOPE
6	TIG 6-5mm	X	X	TOPE

**Fuente: Autores**

**Metodología de la inspección:** Se realizó la aplicación del método según los estándares de la ASTM E 165.

- Se procedió la designación de los puntos a inspeccionar. N° junta.
- Acondicionamiento de la superficie: Se realizó una limpieza con grata mecánica al cordón de soldadura y la zona afectada por el calor; a continuación se limpió la superficie de inspección con solvente para que quedara libre de polvo.
- Se aplicó el líquido penetrante, se dejó actuar durante 30 minutos luego se limpia este.
- Se aplica líquido revelador.

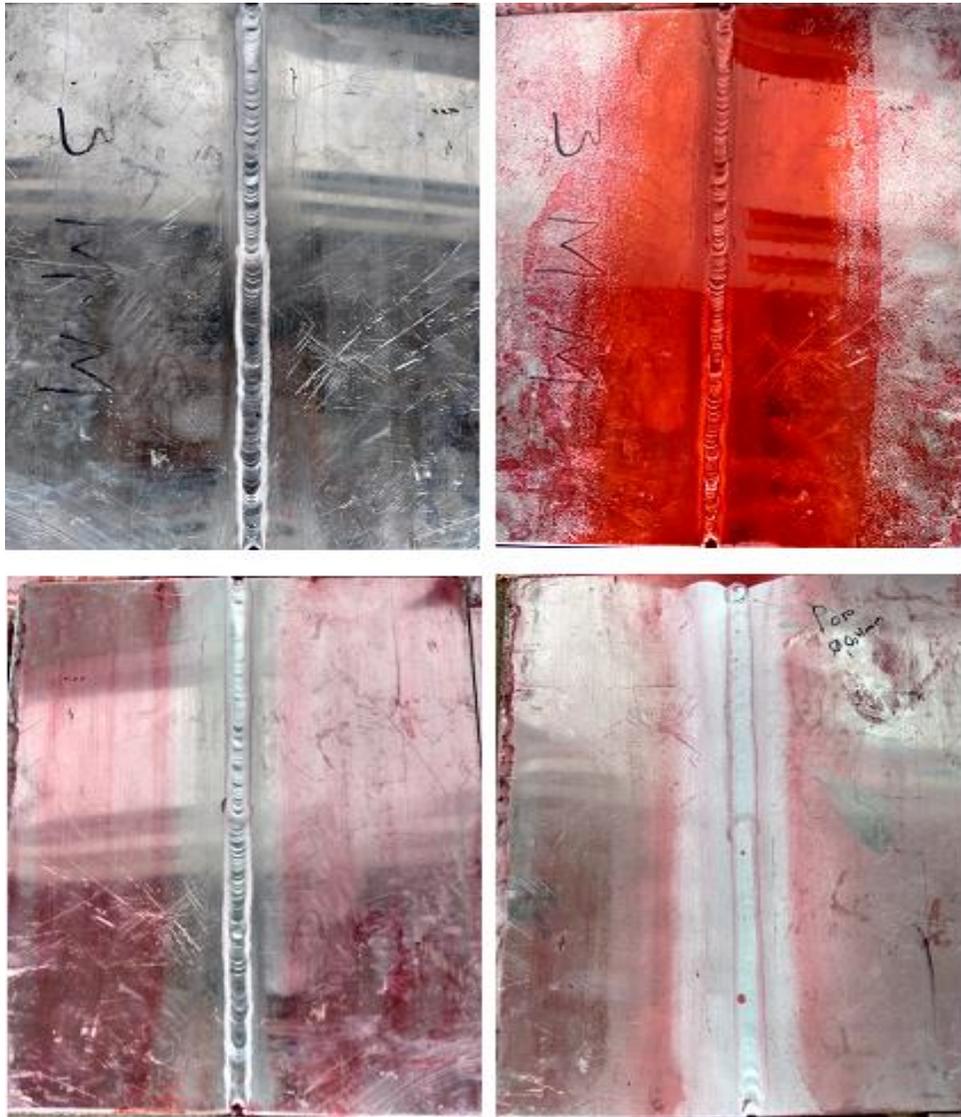


Figura 16. Proceso aplicación de tintas penetrantes

### **4.3 Ensayos destructivos.**

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

**4.3.1 Ensayo de tracción:** se realizó el ensayo de tracción, cuyos resultados permitieron obtener propiedades como el límite de fluencia, la resistencia a la tracción, la ductilidad (tomando como referencia la deformación máxima) y el módulo de elasticidad. El ensayo de tracción se realizó (6) probetas soldadas

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

- Norma AWS D1.2/D1.2M Structural Welding Code—Aluminum capítulo 3 parte b, 3.7.1.1
- Especificaciones de operación y calidad internas de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

#### **Equipos utilizados:**

- Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Máquina IBERTEST modelo UMIB-600-S, última verificación interna 12-06-2015 con anillo KMBM s/n M10066 de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- 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. Cuerpos de prueba de tracción y su sujeción en la máquina.**

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
TIG1-3mm	
TIG2-3mm	
TIG3-4mm	
TIG4-4mm	
TIG5-5mm	
TIG6-5mm	
<p>Máquina de ensayos universales WPM ZD 40</p>	

**Fuente: Autores**

Para la prueba de tracción se siguieron los procedimientos de ensayo establecidos por la norma del código estructural para el aluminio D1.2/D1.2M 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 aluminio 6061 T5 de acuerdo con las especificaciones para realizar el ensayo. Se tomaron datos de carga, en kgf.

#### **4.3.2 Ensayos de sanidad (Doblez)**

**4.3.2.1. Ensayo de doblez de raíz:** se realizó el ensayo de doblez de raíz, con ayuda del personal del CECEND y con base en la norma AWS D1.2/D1.2M Structural Welding Code—Aluminum, capítulo 3 parte B, 3.8.1.6. El ensayo de doblez de raíz se realizó a 2 probetas por cada espesor.

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

**Espesores:** 1-1/2 pulgadas

##### **Equipos utilizados:**

- Dispositivo matriz de doblez.
- Cámara digital

**Elementos de ensayo:** las probetas que fueron sometidas a las pruebas de doblez de raíz se relacionan en la tabla 4, donde además, se muestra el montaje que se llevó a cabo para realizar las pruebas.

**Tabla 4. Cuerpos de prueba de doblez de raíz y su sujeción en la máquina.**

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
TIG 3mm-1DR	
TIG 3mm-2DR	
TIG 4mm-1DR	
TIG 4mm-2DR	
TIG 5mm-1DR	
TIG 5mm-2DR	
Máquina de ensayos de doblez	

**Fuente: autores**

Para la prueba de doblez de raíz 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 en el punto central del material que contiene la soldadura, mientras que el resto de la muestra se apoya en los extremos de la fijación.

**4.3.2.2. Ensayo de doblez de cara:** se realizó el ensayo de doblez de raíz, con ayuda del personal del CECEND y con base en la norma AWS D1.2/D1.2M Structural Welding Code—Aluminum, capítulo 3 parte B, 3.8.1.5. El ensayo de doblez de cara se realizó a 2 probetas por cada espesor.

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

**Espesores:** 1-1/2 pulgadas

**Equipos utilizados:**

- Dispositivo matriz de doblez.
- Cámara digital

**Elementos de ensayo:** las probetas que fueron sometidas a las pruebas de doblez de cara se relacionan en la tabla 5, donde además, se muestra el montaje que se llevó a cabo para realizar las pruebas.

**Tabla 5. Cuerpos de prueba de doblez de cara y su sujeción en la máquina.**

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
TIG 3mm-1DC	
TIG 3mm-2DC	
TIG 4mm-1DC	
TIG 4mm-2DC	
TIG 5mm-1DC	
TIG 5mm-2DC	
Máquina de ensayos de doblez	

**Fuente: autores**

Para la prueba de dobléz de cara 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 en el punto central del material que contiene la soldadura, mientras que el resto de la muestra se apoya en los extremos de la fijación.

**4.3.2.3. Ensayo metalográfico:** se realizó el ensayo metalográfico, con ayuda del personal del CECEND y con base en el código QW-191.1. Las soldaduras serán seleccionadas en forma recta, se pulirán para revelar el metal de la soldadura, la sección se examinara con una amplificación de 10 veces, El ensayo metalográfico se realizó a 1 probeta por cada espesor.

**Lugar de inspección:** laboratorio de metalografía, facultad de ingeniería mecánica. (CECEND)

**Equipos utilizados:**

- Lijas.
- Microscopio zeiss

## 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1 Ensayos no destructivos (END)

**5.1.1 Inspección visual (IV).** Los resultados de la inspección visual se muestran en la tabla 6, 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 Norma AWS D1.2/D1.2M *Structural Welding Code—Aluminum* capítulo 3 parte B, 3.6.2

Capítulo 3 parte B 3.6.2 criterios de aceptación examen visual:

*El examen visual De la soldadura de prueba deberá satisfacer los siguientes criterios:*

- (1) Tanto la cara como las superficies radicales deberán estar libres de Grietas*
- (2) Todos los cráteres deben ser llenados a toda la sección transversal De la soldadura.*
- (3) Los bordes de la soldadura se mezclarán suavemente con El metal base.*
- (4) El relleno no deberá exceder 0,01 pulg. [0,25 mm]*
- (5) La raíz mostrará (a) fusión completa para CJP O (b) penetración igual o mayor que El tamaño de soldadura especificado para soldaduras de ranuras PJP.*
- (6) Las soldaduras máximas a través de la ranura en Tubería o tubo no debe exceder 1/8 pulg. [3 mm].*
- (7) La concavidad de la raíz no debe exceder 1/16 pulg. [2 mm].*

**Tabla 6. Resultados inspección visual**

N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO	DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS	OBSERVACIONES Realizadas con base en el código de referencia, clase y tipo para la IV.
		IV		
1	TIG 3mm	X	Se observó que la junta se encontraba algunas burbujas.	En la inspección visual se observó que faltó más penetración en la soldadura por la normatividad de referencia. <b>La junta no es aceptada.</b>
2	TIG 3mm	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>
3	TIG 4mm	X	Se observó que la junta se encontraba algunas grietas.	En la inspección visual se observó que faltó más penetración en la soldadura por la normatividad de referencia. <b>La junta no es aceptada.</b>
4	TIG 4mm	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>
5	TIG 5mm	X	Se observó que la junta se encontraba algunas burbujas y desviación en la soldadura.	En la inspección visual se observó que faltó más penetración en la soldadura por la normatividad de referencia. <b>La junta no es aceptada.</b>
6	TIG 5mm	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 algunas de las uniones no presentan discontinuidades que afecten la sanidad de la soldadura.

**5.1.2 Tintas Penetrantes (TP).** Los resultados de las tintas penetrantes se muestran en la tabla 7, 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 7. Resultados tintas penetrantes**

N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO	DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS	OBSERVACIONES Realizadas con base en el código de referencia, clase y tipo para la TP.
		TP		
1	TIG 3mm	X	Se observó que la junta se encontraba con acumulaciones de indicaciones redondeadas en una línea de separación de 1,3 mm.	Después de haber aplicado el líquido revelado se observó una acumulación de indicaciones redondeadas mayor al indicado en la norma por lo cual, <b>la junta no es aceptada.</b>
2	TIG 3mm	X	El cordón no presenta indicaciones relevantes.	Se observa que después del proceso de la aplicación de las tintas penetrantes no aparecen defectos relevantes <b>La junta es aceptada.</b>
3	TIG 4mm	X	Se observó que la junta se encontraba una acumulación de indicaciones redondeadas en una línea de separación de 1,7 mm.	Después de haber aplicado el líquido revelado se observó una acumulación indicaciones redondeadas por lo cual, <b>La junta no es aceptada.</b>
4	TIG 4mm	X	El cordón no presenta indicaciones relevantes.	Se observa que después del proceso de la aplicación de las tintas penetrantes no aparecen defectos relevantes. <b>La junta es aceptada.</b>
5	TIG 5mm	X	Se observó que la junta se encontraba una acumulación de indicaciones redondeadas en una línea de separación de 1,5 mm.	Después de haber aplicado el líquido revelado se observó una acumulación de indicaciones redondas mayor al requerido por la norma para su aceptación por lo cual <b>la junta no es aceptada.</b>
6	TIG 5mm	X	El cordón no presenta indicaciones relevantes.	Se observa que después del proceso de la aplicación de las tintas penetrantes no aparecen defectos relevantes. <b>La junta es aceptada</b>

**Fuente: autores**

Una vez se realizó la inspección de las juntas, se concluye que algunas de las uniones no presentan discontinuidades que afecten la sanidad de la soldadura y otras tienen defectos que no son permitidos por la norma.

## 5.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

### 5.2.1 Ensayo de tracción.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 8, 9, 10, 11, 12,13.

Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de tracción fueron basados en Norma AWS D1.2/D1.2M (*Structural Welding Code—Aluminum*) capítulo 3 parte b, 3.7.3

Capítulo 3 parte B 3.7.3 criterios de aceptación de pruebas de tracción:

La resistencia mínima a la tracción especificada Como se muestra en el anexo 4

### RESULTADO PROBETA “TIG 3mm”

**Tabla 8. Resultado probeta “TIG1- 3mm”**

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
FUERZA ÚLTIMA	540	kgf
ÁREA	0,6	cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ÚLTIMO	900	kgf/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ÚLTIMO	88,2	MPa

**Fuente: Autores**

### **RESULTADO PROBETA “TIG 3mm”**

**Tabla 9. Resultado probeta “TIG2- 3mm”**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
FUERZA ÚLTIMA	600	kgf
ÁREA	0,6	cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ÚLTIMO	1000	kgf/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ÚLTIMO	98	MPa

**Fuente: Autores**

### **RESULTADO PROBETA “TIG 4mm”**

**Tabla 10. Resultado probeta “TIG1- 4mm”**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
FUERZA ULTIMA	610	kgf
ÁREA	0,8	cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	762,5	kgf/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	74,7	MPa

**Fuente: Autores**

## RESULTADO PROBETA “TIG 4mm”

Tabla 11. Resultado probeta “TIG2- 4mm”

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
FUERZA ULTIMA	600	kgf
ÁREA	0,8	cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	750	kgf/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	73,54	MPa

Fuente: Autores

## RESULTADO PROBETA “TIG 5mm”

Tabla 12. Resultado probeta “TIG1- 5mm”

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
FUERZA ULTIMA	1480	kgf
ÁREA	1	cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	1480	kgf/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	145	MPa

Fuente: Autores

## RESULTADO PROBETA “TIG 5mm”

Tabla 13. Resultado probeta “TIG2- 5mm”

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
FUERZA ULTIMA	1290	kgf
ÁREA	1	cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	1290	kgf/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO ULTIMO	126,5	MPa

Fuente: Autores

Los valores de esfuerzo último hallados se comparan con el valor del material utilizado que se encuentran en la norma AWS D1.2/D1.2M (*Structural Welding Code—Aluminum*) en la sección 3 tabla 3.2 que se muestra en el anexo 4 y se concluye que ninguna de las probetas son aceptadas ya que los esfuerzos últimos son más bajos que los recomendados en la norma.

### 5.2.2 Ensayo de sanidad.

#### 5.2.2.1 Ensayo de doblez de raíz:

Los resultados obtenidos en el ensayo de doblez de raíz y cara 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 Norma AWS D1.2/D1.2M (*Structural Welding Code—Aluminum*) capítulo 3 parte b, 3.8.3

Capítulo 3 parte B 3.8.3 criterios de aceptación de ensayo de doblez:

3.8.3.2 *La superficie convexa de la muestra de ensayo de flexión Deberán ser examinadas visualmente para detectar discontinuidades superficiales. Para su aceptación, la superficie no contendrá discontinuidades Superando las siguientes dimensiones:*

(1) 1/8 pulg. [3 mm] medida en cualquier dirección en la superficie.

(2) 3/8 in [10 mm] -para la suma de las dimensiones mayores de todas las discontinuidades que exceden 1/32 pulg. [1 mm], pero inferior o igual a 1/8 pulg. [3 mm]. Esto se basa en un ancho de espécimen [40 mm] de 1-1 / 2 pulg.

(3) 1/4 pulg. [6 mm] -Máximo para una grieta en la esquina, excepto Cuando esa grieta de la esquina fue resultado de una inclusión visible U otras discontinuidades del tipo de fusión, entonces es 1/8 pulg. [3 mm] máximo

(4) Muestras con grietas en las esquinas de más de 1/4 pulg. [6 mm], sin evidencia de inclusiones u otras discontinuidades de tipo de fusión, pueden ser descartados y una muestra de prueba de reemplazo de la soldadura original debe ser probada.

**Tabla 14: resultados ensayo de dobléz**

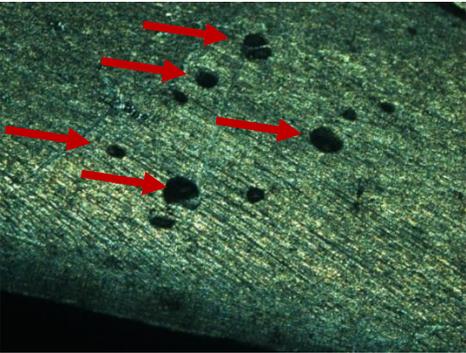
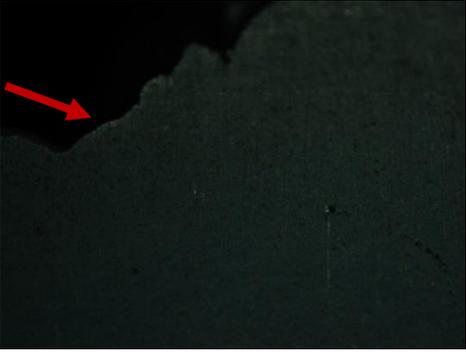
DESIGNACIÓN	DISCONTINUIDAD O DEFECTO	CALIFICACIÓN	
		CUMPLE	NO CUMPLE
TIG 3mm-1DR	Presenta una grieta en la superficie de 4mm		X
TIG 3mm-2DR	Presentan una grieta en la esquina de mas 10mm		X
TIG 3mm-1DC	No presentan discontinuidades	x	
TIG 3mm-2DC	No presentan discontinuidades	x	
TIG 4mm-1DR	Presenta grieta en la esquina de las de 10mm		X
TIG 4mm-2DR	Presenta grieta en toda la superficie		X
TIG 4mm-1DC	No presenta discontinuidades	x	
TIG 4mm-2DC	Presenta grieta en la superficie de más de 3mm		X
TIG 5mm-1DR	Al hacer la prueba se fracturo la soldadura		X
TIG 5mm-2DR	Al hacer la prueba se fracturo la soldadura		X
TIG 5mm-1DC	No presenta discontinuidades	x	
TIG 5mm-2DC	Al hacer la prueba se fracturo la soldadura		X

**Fuente: autores**

### 5.2.3 ENSAYO METALGRÁFICO

Los resultados obtenidos en el ensayo metalográfico 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-196.1 del código ASME sección IX:

**Tabla 15 calificación de metalografía**

MUESTRA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CALIFICACION
3mm		Se observa acumulación de indicadores redondeadas
4mm		Se observa socavado
5mm		Se observa que no hubo unión de los cordones

## 6. CONCLUSIONES

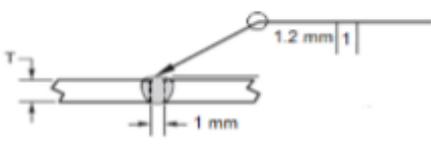
- Se realizó la revisión del código AWS D1.2/D1.2M Structural Welding Code—Aluminum, sobre el tema de soldadura, en la cual se definieron los parámetros, variables esenciales y no esenciales del procedimiento logrando comprender la importancia de estos en la realización de un procedimiento de soldadura.
- De acuerdo con los resultados vistos en la inspección visual y de tintas penetrantes se pudo determinar que algunos cordones de soldadura presentaban defectos como acumulación de indicadores redondeadas y falta de penetración que afectaban la integridad de la soldadura.
- Según los ensayos de tracción ninguna de las probetas pasaron debido a que los esfuerzos últimos no cumplieron con los requerimientos de la norma.
- Según los ensayos de doblez la mayoría de probetas no pasaron por discontinuidades que no son aceptadas en la norma.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1].Soldadura Tig de aluminio. duero soldadura. [En línea]lincoln electric. <http://www.duerosoldadura.es>
- [2].Jimenez, Jose luis ordoñez. Estandarización de Procesos. *Metal actual*. [En línea] [www.metalactual.com](http://www.metalactual.com).
- [3].Solter. [En línea] [www.solter.com/es/procesos-soldadura/tig](http://www.solter.com/es/procesos-soldadura/tig).
- [4].Oficios tecnicos. [En línea] [www.tecnioficio.com/soldadura/soldadura\\_TIG\\_1.php](http://www.tecnioficio.com/soldadura/soldadura_TIG_1.php).
- [5].Departamento de Formación lincoln-KD, S.A. *Soldeo de aluminio y sus aleaciones*. s.l. : Lincoln Electric.
- [6].Estudiantes, metalografía. [blog.utp.edu.co](http://blog.utp.edu.co). [En línea] <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>.
- [7].China, Sheila. wordpress. [En línea] <http://china128sheila.wordpress.com/2011/07/17/ensayos-destructivos-y-no-destructivos/>.
- [8]. [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 inoxidables y aceros disimiles” Scientia et Technica Año XIII, No 34, Mayo de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

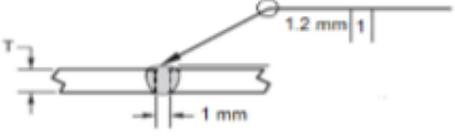
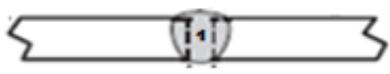
# Anexo A

## WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA

 <b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> <small>(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)</small>		Página 1 de 1																																		
<b>Nombre de la Empresa:</b> <u>INGENIAR INOX S.A.S</u>																																				
<b>Especificación de Procedimiento de Soldadura No.:</b> <u>1</u> <b>Fecha:</b> <u>21/08/2014</u> <b>PQR No.(s):</b> _____																																				
<b>Proceso(s) de Soldadura:</b> <u>GTAW</u> <b>Tipo:</b> <u>MANUAL</u> <small>SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW      Automático, Semi Automático, Manual</small>																																				
<b>Soldador:</b> _____ <b>Revisión No.:</b> <u>1</u> <b>Fecha:</b> <u>21/08/2014</u>																																				
<b>UNIONES (QW - 402)</b>																																				
<b>Diseño de la Unión:</b> <u>A tope</u> <b>Tipo de soldadura:</b> <u>cuadrada</u> <b>Abertura de raíz:</b> <u>1 mm</u> <b>Longitud de cara de raíz:</b> _____ <b>Angulo de ranura:</b> _____ <b>Limpieza de raíz:</b> Si _____ <b>Metodo:</b> <u>Wipers</u> <b>Plancha:</b> <u>X</u> <b>Tubería:</b> _____ <b>Respaldo:</b> (sí, No) <u>No</u> <b>Material de Respaldo (Tipo)</b> _____ <small>(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)</small>																																				
<b>METAL(ES) BASE (QW - 403)</b>		<b>METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)</b>																																		
<b>No. P</b> <u>8</u> <b>No. de Grupo</b> <u>1</u> <b>Especificación del acero</b> <u>6061</u> <b>Espesor:</b> <u>3 mm (calibre18)</u> <b>O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.</b>		<table border="1"> <tr> <td><b>No. Espec. (SFA)</b></td> <td><u>5.9</u></td> </tr> <tr> <td><b>No. AWS (Clase)</b></td> <td><u>ER4043</u></td> </tr> <tr> <td><b>No. F</b></td> <td><u>F-6</u></td> </tr> <tr> <td><b>No. A</b></td> <td><u>A-8</u></td> </tr> <tr> <td><b>Tamaño del Aporte</b></td> <td><u>1/16"</u></td> </tr> </table>	<b>No. Espec. (SFA)</b>	<u>5.9</u>	<b>No. AWS (Clase)</b>	<u>ER4043</u>	<b>No. F</b>	<u>F-6</u>	<b>No. A</b>	<u>A-8</u>	<b>Tamaño del Aporte</b>	<u>1/16"</u>																								
<b>No. Espec. (SFA)</b>	<u>5.9</u>																																			
<b>No. AWS (Clase)</b>	<u>ER4043</u>																																			
<b>No. F</b>	<u>F-6</u>																																			
<b>No. A</b>	<u>A-8</u>																																			
<b>Tamaño del Aporte</b>	<u>1/16"</u>																																			
<b>GAS PROTECCIÓN (QW - 408)</b>		<b>Bisel</b> _____ <b>Fillete</b> <u>X</u> <b>Fundente (Clase)</b> _____ <b>Marca</b> _____ <b>Inserto</b> _____ <b>Otros</b> _____																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><b>Gas(es)</b></th> <th><b>Mezcla</b></th> <th><b>Vel. Flujo (fth)</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Pantalla</b></td> <td><u>ARGON</u></td> <td><u>99,90%</u></td> <td><u>15</u></td> </tr> </tbody> </table>			<b>Gas(es)</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Vel. Flujo (fth)</b>	<b>Pantalla</b>	<u>ARGON</u>	<u>99,90%</u>	<u>15</u>																											
	<b>Gas(es)</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Vel. Flujo (fth)</b>																																	
<b>Pantalla</b>	<u>ARGON</u>	<u>99,90%</u>	<u>15</u>																																	
<b>POSICIONES (QW - 405)</b>																																				
<b>Posición de Junta</b> <u>1G</u> de la Soldadura _____ <small>(Hacia Arriba, Hacia Abajo)</small>																																				
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Corriente</th> <th>CA</th> <th>Polaridad Electrodo</th> <th>-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td><u>CC ó CA</u></td> <td></td> <td><u>(+ ó -)</u></td> </tr> <tr> <td><b>Heat Input</b></td> <td colspan="3"><b>Kj/mm</b></td> </tr> <tr> <td><b>Amperes (Rango)</b></td> <td><u>30-70</u></td> <td><b>Voltios (Rango)</b></td> <td><u>(8-11)</u></td> </tr> <tr> <td><b>Diám. y Tipo Elec. Tungst:</b></td> <td colspan="3"><u>1/16" EWP</u></td> </tr> <tr> <td><b>Tamaño de boquilla:</b></td> <td colspan="3"><u>Nº 6 (3/8")</u></td> </tr> </tbody> </table>		Corriente	CA	Polaridad Electrodo	-		<u>CC ó CA</u>		<u>(+ ó -)</u>	<b>Heat Input</b>	<b>Kj/mm</b>			<b>Amperes (Rango)</b>	<u>30-70</u>	<b>Voltios (Rango)</b>	<u>(8-11)</u>	<b>Diám. y Tipo Elec. Tungst:</b>	<u>1/16" EWP</u>			<b>Tamaño de boquilla:</b>	<u>Nº 6 (3/8")</u>			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pase</th> <th>Proceso</th> <th>Metal de aport</th> <th>Amperaje</th> <th>Corriente y polaridad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>1</u></td> <td><u>GTAW</u></td> <td><u>ER4043 1/16"</u></td> <td><u>55 - 70</u></td> <td><u>DCEN</u></td> </tr> </tbody> </table>	Pase	Proceso	Metal de aport	Amperaje	Corriente y polaridad	<u>1</u>	<u>GTAW</u>	<u>ER4043 1/16"</u>	<u>55 - 70</u>	<u>DCEN</u>
Corriente	CA	Polaridad Electrodo	-																																	
	<u>CC ó CA</u>		<u>(+ ó -)</u>																																	
<b>Heat Input</b>	<b>Kj/mm</b>																																			
<b>Amperes (Rango)</b>	<u>30-70</u>	<b>Voltios (Rango)</b>	<u>(8-11)</u>																																	
<b>Diám. y Tipo Elec. Tungst:</b>	<u>1/16" EWP</u>																																			
<b>Tamaño de boquilla:</b>	<u>Nº 6 (3/8")</u>																																			
Pase	Proceso	Metal de aport	Amperaje	Corriente y polaridad																																
<u>1</u>	<u>GTAW</u>	<u>ER4043 1/16"</u>	<u>55 - 70</u>	<u>DCEN</u>																																
<b>Técnica (QW - 410)</b>																																				
<b>Cordón (Recto o Oscilante)</b> <u>Oscilante</u> <b>Pase (Simple ó Multiple)</b> <u>Simple</u> <b>Limpieza entre Pases</b> _____ <b>Metodo:</b> _____																																				
<b>Elaborado Por:</b> <u>Andres Pineda</u> <small>Ingeniero mecanico</small>		<b>Aprobado Por</b> _____ <b>Fecha:</b> <u>19/07/2018</u>																																		

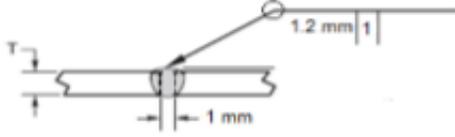
# Anexo B

## WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA

 <b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> <small>(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)</small>		Página 1 de 1																																												
<b>Nombre de la Empresa:</b> <u>INGENIAR INOX S.A.S</u>																																														
<b>Especificación de Procedimiento de Soldadura No.:</b> <u>1</u> <b>Fecha:</b> <u>21/08/2014</u> <b>PQR No.(s):</b> _____																																														
<b>Proceso(s) de Soldadura:</b> <u>GTAW</u> <b>Tipo:</b> <u>MANUAL</u> <small>SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW      Automático, Semi Automático, Manual</small>																																														
<b>Soldador:</b> _____ <b>Revisión No.:</b> <u>1</u> <b>Fecha:</b> <u>21/08/2014</u>																																														
<b>UNIONES (QW - 402)</b>																																														
<b>Diseño de la Unión:</b> <u>A tope</u> <b>Tipo de soldadura:</b> <u>cuadrada</u> <b>Abertura de raíz:</b> 1 mm <b>Longitud de cara de raíz:</b> _____ <b>Angulo de ranura:</b> _____ <b>Limpieza de raíz:</b> <u>Si</u> <b>Método:</b> Wipers <b>Plancha:</b> <u>X</u> <b>Tubería:</b> _____ <b>Respaldo: (sí, No)</b> <u>No</u> <b>Material de Respalo (Tipo)</b> _____ <small>(Metálico, No Metálico, Neta/ No Fundente, Otros)</small>																																														
<b>METAL(ES) BASE (QW - 403)</b>		<b>METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)</b>																																												
<b>No. P</b> <u>8</u> <b>No. de Grupo</b> <u>1</u>  <b>Especificación del acero</b> <u>6061</u> <b>Espesor:</b> 4 mm (calibre8) <b>O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><b>No. Espec. (SFA)</b></td><td>5.9</td></tr> <tr><td><b>No. AWS (Clase)</b></td><td>ER4043</td></tr> <tr><td><b>No. F</b></td><td>F-6</td></tr> <tr><td><b>No. A</b></td><td>A-8</td></tr> <tr><td><b>Tamaño del Aporte</b></td><td>3/32"</td></tr> </table>	<b>No. Espec. (SFA)</b>	5.9	<b>No. AWS (Clase)</b>	ER4043	<b>No. F</b>	F-6	<b>No. A</b>	A-8	<b>Tamaño del Aporte</b>	3/32"																																		
<b>No. Espec. (SFA)</b>	5.9																																													
<b>No. AWS (Clase)</b>	ER4043																																													
<b>No. F</b>	F-6																																													
<b>No. A</b>	A-8																																													
<b>Tamaño del Aporte</b>	3/32"																																													
<b>GAS PROTECCION (QW - 408)</b>		<b>Bisel</b> _____ <b>Filete</b> <u>X</u>  <b>Fundente (Clase)</b> _____ <b>Marca</b> _____ <b>Inserto</b> _____  <b>Otros</b> _____																																												
<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><b>Pantalla</b></td> <td>ARGON</td> <td>99,90%</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>			Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)	<b>Pantalla</b>	ARGON	99,90%	15																																					
	Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)																																											
<b>Pantalla</b>	ARGON	99,90%	15																																											
<b>POSICIONES (QW - 405)</b>																																														
<b>Posición de Junta</b> <u>1G</u> <b>de la Soldadura</b> _____ <small>(Hacia Arriba, Hacia Abajo)</small>																																														
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Corriente</th> <th>CA</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><b>Heat Input</b></td> <td></td> <td><b>Kj/mm</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Amperes (Rango)</b></td> <td>70-100</td> <td><b>Voltios (Rango)</b></td> <td>(8-11)</td> </tr> <tr> <td><b>Diám. y Tipo Elec. Tungst: AWS A</b></td> <td>5.12</td> <td><b>1/16" EWP</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Tamaño de boquilla:</b></td> <td></td> <td><b>Nº 6 (3/8")</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Corriente	CA	Polaridad Electrodo	-		CC ó CA		(+ ó -)	<b>Heat Input</b>		<b>Kj/mm</b>		<b>Amperes (Rango)</b>	70-100	<b>Voltios (Rango)</b>	(8-11)	<b>Diám. y Tipo Elec. Tungst: AWS A</b>	5.12	<b>1/16" EWP</b>		<b>Tamaño de boquilla:</b>		<b>Nº 6 (3/8")</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase</th> <th>Proceso</th> <th>Metal de aport</th> <th>Amperaje</th> <th>Corriente y polaridad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ER4043 3/32"</td> <td>60 - 80</td> <td>DCEN</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Pase	Proceso	Metal de aport	Amperaje	Corriente y polaridad	1	GTAW	ER4043 3/32"	60 - 80	DCEN										
Corriente	CA	Polaridad Electrodo	-																																											
	CC ó CA		(+ ó -)																																											
<b>Heat Input</b>		<b>Kj/mm</b>																																												
<b>Amperes (Rango)</b>	70-100	<b>Voltios (Rango)</b>	(8-11)																																											
<b>Diám. y Tipo Elec. Tungst: AWS A</b>	5.12	<b>1/16" EWP</b>																																												
<b>Tamaño de boquilla:</b>		<b>Nº 6 (3/8")</b>																																												
Pase	Proceso	Metal de aport	Amperaje	Corriente y polaridad																																										
1	GTAW	ER4043 3/32"	60 - 80	DCEN																																										
<b>Técnica (QW - 410)</b>																																														
<b>Cordón (Recto o Oscilante)</b> <u>Oscilante</u>  <b>Pase (Simple ó Multiple)</b> <u>Simple</u>  <b>Limpieza entre Pases</b> _____  <b>Método:</b> _____																																														
<b>Elaborado Por:</b> Andres Pineda <small>Ingeniero mecanico</small>		<b>Aprobado Por</b> _____ <b>Fecha:</b> 19/07/2016																																												

# Anexo C

## WPS USADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLDADURA

 <b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>																																									
(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.: <u>1</u> Fecha: <u>21/08/2014</u> PQR No.(s): _____																																									
Proceso(s) de Soldadura: <u>GTAW</u> Tipo: <u>MANUAL</u> <small>SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW      Automático, Semi Automático, Manual</small>																																									
Soldador: _____      Revisión No.: <u>1</u> Fecha: <u>21/08/2014</u>																																									
<b>UNIONES (QW - 402)</b>																																									
Diseño de la Unión: <u>A tope</u> Tipo de soldadura: <u>cuadrada</u> Abertura de raíz: <u>1 mm</u> Longitud de cara de raíz: _____ Angulo de ranura: _____ Limpieza de raíz: <u>Si</u> Método: <u>Wipers</u> Plancha: <u>X</u> Tubería: _____ Respaldo: (sí, No) <u>No</u> Material de Respaldo (Tipo) _____ <small>(Metálico, No Metálico, Metal No Fundible, Otros)</small>																																									
<b>METAL(ES) BASE (QW - 403)</b>	<b>METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)</b>																																								
No. P <u>8</u> No. de Grupo <u>1</u> Especificación del acero <u>6061</u> Espesor: <u>5 mm (calibre6)</u> O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr><td>No. Espec. (SFA)</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>No. AWS (Clase)</td><td>ER4043</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>3/32"</td></tr> <tr><td>Bisel</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Filete</td><td><u>X</u></td></tr> <tr><td>Fundente (Clase)</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Marca</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Inserto</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Otros</td><td>_____</td></tr> </table>	No. Espec. (SFA)	5.9	No. AWS (Clase)	ER4043	No. F	F-6	No. A	A-8	Tamaño del Aporte	3/32"	Bisel	_____	Filete	<u>X</u>	Fundente (Clase)	_____	Marca	_____	Inserto	_____	Otros	_____																		
No. Espec. (SFA)	5.9																																								
No. AWS (Clase)	ER4043																																								
No. F	F-6																																								
No. A	A-8																																								
Tamaño del Aporte	3/32"																																								
Bisel	_____																																								
Filete	<u>X</u>																																								
Fundente (Clase)	_____																																								
Marca	_____																																								
Inserto	_____																																								
Otros	_____																																								
<b>GAS PROTECCIÓN (QW - 408)</b>																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr><th>Gas(es)</th><th>Mezcla</th><th>Vel. Flujo (off)</th></tr> <tr><td>Pantalla</td><td>ARGON</td><td>99,90%</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>15</td></tr> </table>	Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (off)	Pantalla	ARGON	99,90%			15																																
Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (off)																																							
Pantalla	ARGON	99,90%																																							
		15																																							
<b>POSICIONES (QW - 405)</b>																																									
Posición de Junta <u>1G</u> de la Soldadura _____ <small>(Hacia Arriba, Hacia Abajo)</small>																																									
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr><td>Corriente</td><td><u>CA</u></td><td>Polaridad Electrodo</td><td><u>-</u></td></tr> <tr><td>Heat Input</td><td><u>CC ó CA</u></td><td>Kj/mm</td><td><u>(+ ó -)</u></td></tr> <tr><td>Amperes (Rango)</td><td><u>70-100</u></td><td>Voltios (Rango)</td><td><u>(8 11)</u></td></tr> <tr><td>Diám. y Tipo Elec. Tungst:</td><td><u>AW5 A 5.12</u></td><td></td><td><u>1/16" EWP</u></td></tr> <tr><td>Tamaño de boquilla:</td><td></td><td></td><td><u>Nº 6 (3/8")</u></td></tr> </table>	Corriente	<u>CA</u>	Polaridad Electrodo	<u>-</u>	Heat Input	<u>CC ó CA</u>	Kj/mm	<u>(+ ó -)</u>	Amperes (Rango)	<u>70-100</u>	Voltios (Rango)	<u>(8 11)</u>	Diám. y Tipo Elec. Tungst:	<u>AW5 A 5.12</u>		<u>1/16" EWP</u>	Tamaño de boquilla:			<u>Nº 6 (3/8")</u>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr><th>Pase</th><th>Proceso</th><th>Metal de aporte</th><th>Amperaje</th><th>Corriente y polaridad</th></tr> <tr><td>1</td><td>GTAW</td><td>ER4043 3/32"</td><td>60 - 80</td><td>DCEN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	Pase	Proceso	Metal de aporte	Amperaje	Corriente y polaridad	1	GTAW	ER4043 3/32"	60 - 80	DCEN										
Corriente	<u>CA</u>	Polaridad Electrodo	<u>-</u>																																						
Heat Input	<u>CC ó CA</u>	Kj/mm	<u>(+ ó -)</u>																																						
Amperes (Rango)	<u>70-100</u>	Voltios (Rango)	<u>(8 11)</u>																																						
Diám. y Tipo Elec. Tungst:	<u>AW5 A 5.12</u>		<u>1/16" EWP</u>																																						
Tamaño de boquilla:			<u>Nº 6 (3/8")</u>																																						
Pase	Proceso	Metal de aporte	Amperaje	Corriente y polaridad																																					
1	GTAW	ER4043 3/32"	60 - 80	DCEN																																					
<b>Técnica (QW - 410)</b>																																									
Cordon (Recto o Oscilante) <u>Oscilante</u> Pase (Simple ó Multiple) <u>Simple</u> Limpieza entre Pases _____ Método: _____																																									
Elaborado Por: <u>Andres Pineda</u> Aprobado Por _____      Fecha: <u>19/08/2014</u> Ingeniero mecanico																																									