ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

“Elaboración de Procedimientos para la Calificación de la Soldadura en el Casco de Aluminio de una Lancha Rápida.”

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Karla Fernanda Caicedo Arroyo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

A Dios, que me lleva siempre de la mano por mi vida. A mi hermosa familia, especialmente a mis padres y hermano que siempre me han hecho creer que todo es posible. Al Ing. Julián Peña, Director de Tesis, por su ayuda invaluable en el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

A mi papá, mi inspiración para seguir esta carrera y mostrarme las infinitas formas de cambiar el mundo desde ella. A todos aquellos que creyeron en mí y buscan cambiar el mundo.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kléber Barcia Villacreces
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Andrés Rigail Cedeño
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

KARLA CAICEDO ARROYO .

RESUMEN

La certificación de calidad de materiales y procesos de manufactura de un proyecto provee al cliente y al usuario la confianza que una estructura o elemento cumplirá su objetivo de forma segura, ya que cumple con normas estandarizadas a nivel internacional. Cuando se trabaja en ambientes hostiles como el mar, estas normas de calidad se exigen con mayor rigurosidad, ya que la presencia de humedad, sales y organismos vuelven a una estructura más vulnerable que en tierra firme. La soldadura de una embarcación es la responsable de mantener sus elementos unidos herméticamente con respecto al agua que la rodea, asegurando el transporte seguro de aquellos a bordo. Por esta razón, el presente trabajo consiste en la elaboración de procedimientos de soldadura que cumplan con los criterios establecidos por las normas correspondientes para la construcción de una embarcación calificada.

En el primer capítulo se describen los fundamentos teóricos en los cuales se basa el trabajo. Esta sección incluye información sobre arquitectura naval, como los materiales y procesos de construcción empleados tradicional y actualmente. Se mencionan también exigencias de calidad para la soldadura de construcciones navales y los desafíos de la soldadura en aluminio, material del cual estará compuesta la lancha a construir.

En el segundo capítulo se describen los pasos realizados para la elaboración de los procedimientos de soldadura. Luego de analizar las juntas de la lancha a soldar se realizó la aplicación de las normas respectivas para establecer los rangos de prueba y calificación, así como los ensayos a realizar en las probetas soldadas. Se registraron los parámetros de soldadura durante las pruebas, los cuales constan en los registros de calificación de procedimientos para las probetas que, luego de las pruebas, aprobaron los ensayos correspondientes.

En el tercer capítulo se muestra el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas. Se mencionan las variaciones de los parámetros de soldadura que se debieron realizar para obtener cordones de soldadura libre de fallas, así como diversos factores externos que influyeron en los resultados obtenidos.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo. Se buscó establecer relaciones entre los distintos parámetros de soldadura y patrones de comportamiento del material frente a éstos.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN I

ÍNDICE GENERAL III

ABREVIATURAS V

ÍNDICE DE FIGURAS VI

ÍNDICE DE TABLAS X

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1

1. ESTÁNDARES DE CALIDAD EN CONSTRUCCIONES NAVALES 5

    1. 1 Requerimientos fundamentales de la arquitectura naval 5

    1. 2 Exigencias de calidad inherentes en soldadura 28

    1. 3 Especificaciones del proyecto de construcción de una lancha rápida ……………………………………………………………………………49

CAPÍTULO 2

2.CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA 52

    2. 1 Aplicación de los procedimientos de acuerdo a las necesidades del proyecto.. 53

    2. 2 Ejecución de pruebas de soldadura... 67

2. 3 Ensayos a realizar para la verificación del cumplimiento de los requerimientos... 79
2.3.1. Ensayos no destructivos realizados…………………...…79
2.3.2. Ensayos destructivos realizados…..……..………………97
3.ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.. 113
3.1 Variaciones de los parámetros y condiciones de soldadura realizadas 113
3.2 Aprobación de la calificación de los procedimientos de soldadura 119
3.3 Aprobación de los certificados de calificación de los procedimientos……………..………………………….……………...130
3.4 Capacitación y calificación de soldadores 130

CAPÍTULO 4

4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 134

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
ASME	American Society of Mechanical Engineers
BV	Bureau Veritas
Amp	Amperios
V	Voltios
kg	kilogramos
mm	milímetros
pWPS	Preliminar Welding Procedure Specification
WPS	Welding Procedure Specification
PQR	Procedure Qualification Record
WPQ	Welder Performance Qualification
s	segundos
MPa	Mega Pascal
ABS	American Bureau of Shipping
W	watt
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
ISO	International Organization for Standarization
ºC	Grado Centígrado
Si	Silicio
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
Fe	Hierro
Cu	Cobre
Cr	Cromo
Zn	Cinc
Ti	Titanio
Min	Mínimo
Max	Máximo
CJP	Junta de Penetración Completa
GMAW	Gas Metal Arc Welding
kJ	Kilo Joule
T	tiempo
h	altura
t	espesor
ICI	Índice de Calidad de Imagen

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1.-Tenacidad de Materiales Ingenieriles 12

Figura 1. 2.- Ánodo de sacrificio en una embarcación 18

Figura 1. 3.-: Partes más importantes de un barco 22

Figura 1. 4.- Estructura interna de un barco.. 22

Figura 1. 5.- Posiciones de soldadura... 32

Figura 1. 6.- Equipo de Ultrasonido y sus acoplantes 38

Figura 1. 7.- Curva tensión-alargamiento.. 41

Figura 1. 8.- Probeta normalizada para el ensayo de tensión 42

Figura 1. 9.- Tipos de ensayos de doblado: (a) libre, (b) semiguiado, (c) guiado, y (d) doblado por envoltura 43

Figura 1. 10.- Durómetro... 45

Figura 1. 11.- Defectos comunes de soldadura 48

Figura 1. 12.- Características de la lancha.. 51

Figura 2. 1.- Ubicación de juntas representativas en la lancha……….........…60

Figura 2. 2.- pWPS para la posición 1G en 6mm 62

Figura 2. 3.- pWPS para la posición 2G... 63

Figura 2. 4.- pWPS para la posición 3G... 64

Figura 2. 5.- pWPS para la posición 2G en 12mm 65

Figura 2. 6.- pWPS para la posición 3G en 12mm 66

Figura 2. 7.- Dimensiones de la probeta para calificación 68

Figura 2. 8.- Preparación de probetas 69

Figura 2. 9.- Esquema de la probeta con refuerzos 70

Figura 2. 10.- Probeta lista para soldar 71

Figura 2. 11.- Área de prueba de soldadura para la calificación 72

Figura 2. 12.- Probetas calificadas para las distintas posiciones en 6mm: 1G (a), 2G (b), y 3G (c) 77

Figura 2. 13.- Probetas calificadas para distintas posiciones en 12mm: 2G (a) y 3G (b) 78

Figura 2. 14.- Inspección visual realizada junto al inspector de la empresa calificadora 78

Figura 2. 15.- Inspección visual realizada en la probeta con ayuda de una lupa 81

Figura 2. 16.- Fallas en probetas: (a) salpicadura, (b) orificios en placas, (c) arco desviado 84

Figura 2. 17.- Fallas en probetas: (d) mordedura, (e) calor excesivo, (f) porosidad, (g) sobremonta excesiva 85

Figura 2. 18.- Fallas en probetas: (h) sobremonta excesiva, (i) porosidad y mal aspecto 86

Figura 2. 19.- Criterio de aceptación para perfiles de soldadura 87

Figura 2. 20.- Tintas utilizadas para el ensayo. De izquierda a derecha: Limpiador o removedor, Penetrante y Revelador 89

Figura 2. 21.- Ensayo de Tintas Penetrantes 91

Figura 2. 22.- Identificación radiográfica y ubicación de los ICI en probetas de 250mm, o mayor, de espesor uniforme 94

Figura 2. 23.- Radiografías de probetas para calificación de procedimientos95

Figura 2. 24.- Ubicación de especímenes en probeta.................................. 98

Figura 2. 25.- Esquema de los especímenes para los ensayos destructivos 98

Figura 2. 26.- Especímenes para ensayos de tracción y doblado................. 99

Figura 2. 27.- Máquina Universal de Ensayos 101

Figura 2. 28.- Sección transversal de especímenes falta de fusión (a) y porosidad excesiva (b)... 102

Figura 2. 29.- Espécimen de doblado luego del ensayo 103

Figura 2. 30.- Equipo para el ensayo de doblado 106

Figura 2. 31.- Esquema de especímenes para los ensayos de doblado de cara y de raíz 106

Figura 2. 32.- Especímenes para los ensayos de doblado de cara y de raíz…………………………………………………………….107

Figura 2. 33.- Especímenes con fisuras excesivas de: 12mm (a), 11mm (b) y fractura... 109

Figura 2. 34.- Especímenes aprobados-ensayo de doblado....................... 110

Figura 3. 1.- PQR para probeta de 6mm/ 1G (pg1)……………………........120

Figura 3. 2.- PQR para probeta de 6mm/ 1G (pg2).................................... 121

Figura 3. 3.- PQR para probeta de 6mm/ 2G (pg1).................................... 122

Figura 3. 4.- PQR para probeta de 6mm/ 2G (pg2).................................... 123

Figura 3. 5.- PQR para probeta de 6mm/ 3G (pg1)..................................... 124

Figura 3. 6.- PQR para probeta de 6mm/ 3G (pg2)..................................... 125

Figura 3. 7.- PQR para probeta de 12mm/ 2G (pg1)................................... 126

Figura 3. 8.- PQR para probeta de 12mm/ 2G (pg2)................................... 127

Figura 3. 9.- PQR para probeta de 12mm/ 3G (pg2)................................... 128

Figura 3. 10.- PQR para probeta de 12mm/ 3G (pg2)................................. 129

Figura 3. 11.- Lancha completamente armada 133

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA Nº I “DENSIDAD DE VARIOS TIPOS DE MADERA” 8

TABLA Nº II “CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ALUMINIO 5083”.... 55

TABLA Nº III “PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALUMINIO 5083”................... 56

TABLA Nº IV “JUNTAS DEL CASCO DE LA EMBARCACIÓN” 60

TABLA Nº V “RANGO DE CALIFICACIÓN PARA ESPESORES” 61

TABLA Nº VI “PARÁMETROS PARA LAS PLACAS DE 6MM APROBADAS EN CADA POSICIÓN” 75

TABLA Nº VII “PARÁMETROS PARA LAS PLACAS DE 12MM APROBADAS EN CADA POSICIÓN” 76

TABLA Nº VIII “CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA INSPECCIÓN VISUAL” 83

TABLA Nº IX “INFORMACIÓN GENERAL PARA LOS ENSAYOS DE RADIOGRAFÍA” 93

TABLA Nº X “RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN”........... 104

TABLA Nº XI "RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO PARA PROBETAS DE 6MM DE ESPESOR” 111

TABLA Nº XII "RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO PARA PROBETAS DE 12MM DE ESPESOR” 112

TABLA Nº XIII “MATERIAL UTILIZADO PARA LA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA” 114

TABLA Nº XIV “PARÁMETROS DE SOLDADURA PARA LAS PROBETAS APROBADAS” 115

TABLA Nº XV “PARÁMETROS RECOMENDADOS PARA CONSUMIBLES DE 1.2MM DE DIÁMETRO” 117

INTRODUCCIÓN

Los orígenes de las construcciones navales se remontan a siglos atrás y los procesos de construcción han ido variando cada vez con mayor velocidad. La construcción de buques y embarcaciones flotantes empezó con diseños muy sencillos, sin embargo, en la actualidad, constituye un proceso de construcción muy complejo. La construcción de una embarcación, independientemente del tamaño o uso que se le vaya a dar, exige la coordinación de muchas áreas de ingeniería y logística, así como de trabajadores e ingenieros de diversas especializaciones, que sepan trabajar en conjunto.

El transporte marino ha ido extendiendo cada vez más su enfoque, siendo utilizado no sólo para transportar mercadería o personal, sino para turismo, estudios científicos, extracción de recursos, plantas de producción, o fines militares. Por esta razón, los criterios de calidad a los cuales una embarcación debe atenerse son cada vez más rigurosos.

En un mundo cada vez más globalizado, la normalización es un tema que ya no es aplicado solamente por empresas multinacionales como un factor adicional, sino que se está convirtiendo en un requisito cada vez más exigido a nivel mundial. El cumplimiento o incumplimiento de éstos puede representar la apertura o cierre de oportunidades para el crecimiento o desarrollo de una empresa en un mercado cada vez más competitivo.

Este auge de normalización y calidad surge de la necesidad de establecer criterios de calidad estandarizados que otorguen a un cliente o usuario la seguridad de que el equipo a utilizar, o en este caso la embarcación sobre la cual viajará, no presentará problemas durante su uso, teniendo como consecuencias posibles pérdidas no sólo económicas sino humanas. El cumplimiento de criterios, normas y procesos previamente aprobados representa también un aumento en la seguridad del personal que participa en el proyecto, ya que éstas generalmente contemplan el uso adecuado de herramientas, materiales y equipos de protección personal en buen estado durante las actividades.

Con respecto a las construcciones navales, el seguimiento de normas y altas exigencias de calidad conllevan una responsabilidad muy grande ya que una falla mínima, a la presión a la cual se encuentra ejercida la embarcación, puede ocasionar una fuga de agua, una explosión y hasta el hundimiento del barco. La soldadura con la cual se construya la embarcación representa un factor muy importante en la flotabilidad del barco ya que debe ser capaz de soportar grandes esfuerzos debido a temperaturas drásticas, golpes o altas presiones, dependiendo del uso que se le vaya a dar, más aún si se trata de materiales novedosos como es el aluminio. Este material está siendo cada vez más utilizado en el área naval, ya que posee resistencias mecánicas mayores al acero, utilizado tradicionalmente en esta industria, aún siendo su peso considerablemente menor y teniendo mejores propiedades anticorrosivas.

Actualmente existen varias entidades calificadores que otorgan un certificado de haber cumplido todas las normas y exigencias necesarias, luego de haber fiscalizado todo el proceso de construcción. Para conseguir la certificación en la soldadura de un barco se debe primero calificar los procedimientos con los cuales se realizarán los cordones de soldadura. Una vez establecidos los parámetros necesarios, se debe calificar a los soldadores para asegurar que ellos poseen la habilidad y conocimiento necesarios para cumplir su trabajo correctamente. A medida que avanza el proceso de construcción, se realizan varios ensayos destructivos y no destructivos para comprobar que la soldadura realizada cumple los requisitos previamente establecidos por la misma.

Cada etapa de la construcción de una embarcación tiene un alto grado de importancia y debe ser llevada con un alto cuidado y objetividad. Se puede decir que la calificación de los procedimientos de soldadura y de los soldadores constituye uno de los pasos más importantes porque define los parámetros para soldar todo el barco. Si los parámetros de soldadura utilizados no son los correctos o el soldador no posee la habilidad adecuada, la embarcación no se mantendrá a flote.

El presente trabajo busca analizar la calidad de los procesos de construcción de embarcaciones de aluminio en el área de soldadura mediante el uso de normativas. Se orienta al proceso de calificación de procedimientos de soldadura en este material para la construcción de una lancha rápida bajo los criterios y exigencias de la norma AWS D1.2 y BV NR 216.

CAPÍTULO 1

1. ESTÁNDARES DE CALIDAD EN CONSTRUCCIONES NAVALES

1. 1 Requerimientos fundamentales de la arquitectura naval

El diseño y construcción de un buque o embarcación es un proceso complicado que considera múltiples detalles técnicos. Exige la coordinación de numerosos trabajadores, precisión en los cortes y uniones de cada sección del barco, así como un alto nivel de seguridad para los trabajadores involucrados. Este proceso conlleva una gran responsabilidad, ya que una pequeña falla en el barco puede ocasionar una fuga de agua, una explosión o hundimiento del barco, teniendo como resultado grandes pérdidas humanas y económicas. Por esta razón, las exigencias de calidad en la construcción de éstos son cada vez más rigurosas. Los criterios con los cuales se determina y asegura la calidad de la construcción de una embarcación son varios, y la exigencia de la calificación de una embarcación por parte de un cliente es cada vez más común. Esta clasificación se la puede realizar mediante las distintas normas de calidad como aquellas pertenecientes a la Sociedad Americana de Soldadura (AWS por sus siglas en inglés), la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), o el Departamento Americano de Embarcaciones (ABS, por sus siglas en inglés), que se especializa en construcciones navales.

Materiales y procesos de construcción

Existe una amplia variedad de materiales utilizados para la construcción de embarcaciones. La elección de éstos dependerá del conjunto de variables como el tipo de embarcación, frecuencia de uso, condiciones a las cuales estará expuesta, entre otras. Hasta el siglo XVIII la madera era el material más utilizado para los diferentes tipos de construcciones. Las embarcaciones, de igual forma, eran construidas de madera debido a su alto índice de flotabilidad y su disponibilidad. Sin embargo, la resistencia de la madera y sus propiedades anticorrosivas no son muy altas, por lo que un barco de madera requería constante mantenimiento y reparaciones. A mediados del siglo XVIII, el hierro fue utilizado para la construcción de los cascos de los barcos debido a su alta resistencia, para ser luego reemplazados a su vez, por el acero. En la actualidad existe una gran variedad de materiales utilizados para esta área de la ingeniería.

Los materiales más utilizados actualmente para la construcción naval son:

- Madera
- Acero
- Fibra de vidrio y
- Aluminio

Madera

La madera es el material tradicional en la construcción de barcos que, a pesar de la inclusión de nuevos materiales, se sigue utilizando en la actualidad aunque en menor proporción. Las características principales de la madera, que la hacen idónea para este tipo de construcciones, son su bajo peso específico y su disponibilidad. Los tipos de madera más utilizados son: el pino, el olmo, el roble, el cedro y la caoba. En la siguiente tabla se puede observar la densidad de estos tipos de madera. Obsérvese que el roble, siendo la madera que mayor densidad tiene del grupo, posee una densidad menor al agua.

TABLA Nº I

"DENSIDAD DE VARIOS TIPOS DE MADERA (1)"

Nombre común	**Nombre científico**	**Densidad (kg/m^3) (2)**
Cedro	Cedrus op.	420
Pino silvestre	Pinus sylvestric	550
Pino piñonero	Pinus pinea	590
Roble	Quercus petraea	730
Fresno	Fraxinus op	680
Olmo	Ulmus op	690

---

(1) "*Densidad normal de la madera de las principales especies forestales de Castilla y León",* F. Rodríguez, M. Broto, I. Lizarralde

(2) La densidad a la que hace referencia es la densidad básica o peso seco volumétrico

Para la construcción de barcos de madera se deben aplicar técnicas especiales para manipular el material. Las tablas para formar las cuadernas o marcos son dobladas a vapor y encajadas dentro del casco (Técnica Clinker o de construcción ajustada). La madera se vuelve flexible al absorber el vapor y se moldea o curva con plantillas. Cuando no se puede efectuar el doblado por el tamaño de los trozos de madera, se construyen en secciones llamadas genoles, varengas o barraganetes, ensambladas por medio de pernos. Otro método es el uso de planchas de plywood pegadas a un marco (método de punta y pegamento).

La madera seleccionada para la construcción de una embarcación debe cumplir ciertos requisitos para ser idónea. Se busca que las tablas a utilizar sean lo más largas posible para disminuir las uniones de testa necesarias, ya que éstas pueden presentar dificultades. Flexibilidad, baja densidad, volumen estable y alta resistencia a la humedad son varias características que se busca que cumpla la madera a utilizar para la construcción de un barco, todo esto sin perjudicar la resistencia mecánica. Hoy en día, la construcción de embarcaciones de madera incluye técnicas tradicionales modernizadas, además de recubrimientos de epoxi a la madera y varios tratamientos a las mismas, haciéndolas más duraderas y resistentes abriendo paso a una nueva etapa de construcción naval en madera.

Acero

La construcción combinada de acero y madera permitió las construcciones de buques de mayor tamaño, con proa estrecha y menos robusta pero con mayor resistencia. Las primeras naves de acero soldado comenzaron a producirse alrededor de 1880, destacándose como el material idóneo para la construcción naval y dejando a la madera en un segundo plano.

El acero es un material ferroso fuerte pero pesado (ρ: 7850kg/m^3), propenso a oxidarse si no es protegido adecuadamente del ambiente, especialmente del agua. Básicamente, consiste en hierro con un porcentaje de carbono añadido durante su fundición para aumentar su dureza y tenacidad. Generalmente, los componentes de acero son soldados o fundidos juntos, pero empezaron siendo remachados. Esta técnica es todavía usada comúnmente en ambientes no navales.

El acero, como otros metales, presenta varias ventajas con respecto a la madera al momento de ser procesado. Éste puede ser cortado con herramientas pequeñas, como la sierra, y equipos grandes, como las cortadoras por cizalla, con gran precisión (de décimas de milímetros). Puede ser doblado con roladoras o matrices, y maquinado con tornos, fresas y perforadoras. El acero presenta ventajas sobre materiales como la fibra de vidrio por ser más duro y tener mayor resistencia, otorgando mayor tranquilidad al navegar debido a su capacidad de admitir deformaciones en un momento de impacto, a diferencia de la madera o fibra de vidrio que pueden quebrarse o fracturarse. En la Figura 1.1 se puede observar un gráfico comparativo de la tenacidad de varios materiales, incluyendo el acero, la madera y la fibra de vidrio. En la construcción naval se manejan generalmente aceros de alta resistencia. Los más utilizados son los HTS, HY-80 y HY-100 que son los idóneos para el área naval, incluso la aeronáutica, donde el comportamiento y rendimiento en condiciones extremas son muy importantes.

A pesar de que el aluminio es también una buena opción para la construcción de buques, a partir de los 50 metros de eslora, el acero es la mejor elección. Como estos buques grandes se deslizan (navegación en desplazamiento) y no planean, no es necesario aligerar tanto el peso, sino buscar mayor estabilidad para ser capaz de afrontar cualquier estado del mar. Cuando el barco es de una menor eslora el costo relativo de la construcción en acero aumenta por sus procesos de construcción, además de la necesidad de agregar un margen de material para la corrosión, lo cual aumenta excesivamente el peso del mismo. Pero a medida que aumenta la eslora, el peso se compensa por las demás ventajas que proporciona el acero. Con las nuevas aleaciones y tratamientos para el acero, así como los nuevos tipos y procesos de recubrimientos, la tendencia del acero a corroerse se ha convertido en un tema cada vez menos relevante, haciéndolo cada vez más competitivo frente a los nuevos materiales.

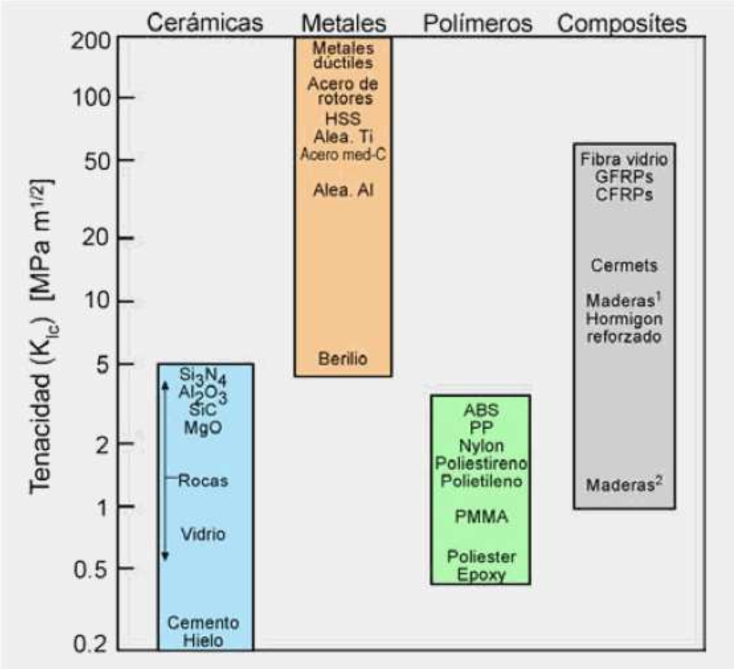


Figura 1. 1.-Tenacidad de Materiales Ingenieriles

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio puede ser considerada como una aleación de hilos de cristal impregnados con un plástico polimerizado de gran estabilidad. Es el material más utilizado para barcos de recreo, barcos pequeños que no se encontrarán sometidos a grandes esfuerzos, navegarán pocos días al año y pasarán la mayor parte del tiempo en el amarre. Generalmente estos barcos son producidos en serie. Las industrias tienen sus moldes hembra prefabricados que sirven como la base para dar la forma del barco. Sobre estos moldes se colocan varias capas de fibra de vidrio saturada por resina y reforzada con madera o espuma para proporcionar rigidez. Esto constituye al “emparedado” con el cual se elaboran los cascos. Entre dos capas de fibra de vidrio se coloca uno de estos materiales.

Se pueden fabricar también de forma manual o artesanal. A diferencia de los barcos de metal, que toman varias semanas o meses en terminarse, los barcos construidos con fibra de vidrio pueden ser terminados en unos días. Representa un método de fabricación relativamente barato que no requiere de grandes máquinas ni equipos de manufactura.

Uno de los problemas con este tipo de material, es que al momento de taladrarlo en el casco o la cubierta para fijar algún instrumento o mueble, se puede perder estanqueidad. Estas perforaciones, si no se las realiza con cuidado, puede ocasionar fugas de agua y roturas posteriores del barco. Otra desventaja de la fibra de vidrio es su bajo nivel de dureza. Al momento de un choque o impacto con algún otro objeto, más aún si es punzante, el material puede quebrarse o perforarse. Las reparaciones de los barcos de este material pueden llegar a ser muy costosas.

La fibra de vidrio es un material que sensible a los rayos ultravioleta provenientes del sol, lo cual puede ser combatido con una pulida anual del casco. A pesar de esto, presenta una gran ventaja sobre los metales por su gran resistencia a la corrosión. La exposición al fuego es también un tema que debe prevenirse en las embarcaciones de fibra de vidrio. A diferencia del aluminio y el acero, la fibra es muy vulnerable a él por su composición que incluye madera y espuma.

Los mejores cascos de fibra de vidrio son construidos con refuerzos estructurales de acero inoxidable, unidos y laminados con resina epóxica o vinílica. Algunos son ahora construidos por la infusión al vacio donde las fibras son presentadas y la resina es tirada en el molde por la presión atmosférica. Esto tiene como resultado una superficie más fuerte compuesta por cristal en mayor proporción a la resina. El problema es que para realizar este proceso se requieren materiales y conocimientos técnicos especializados. En otros casos se combinan tejidos bidireccionales con tejidos de kevlar o de fibra de carbono para agregar mayor dureza y resistencia. Estos son utilizados en barcos de competencia por su elevado precio.

Aluminio

El aluminio es un metal cada vez más utilizado en construcciones en general debido a las aleaciones actuales que le proporcionan propiedades mecánicas similares, y en algunos casos mejores, manteniendo un peso significativamente más bajo (casi 1/3 de la densidad del acero). Además de ser ligero, el aluminio es fácil de manipular y maquinar. El éxito del uso del aluminio consiste en las múltiples aleaciones existentes que le otorgan distintas propiedades. Los grupos principales de aleaciones no tratables térmicamente son: 1XXX, 3XXX y 5XXX. Mientras que las tratables térmicamente son: 2XXX, 6XXX y 7XXX. Las aplicaciones del aluminio incluyen la industria automovilística, naval, ferrocarriles, construcción de carreteras, edificios y maquinarias.

En la industria naval el aluminio juega un papel muy importante, ya que es uno de los materiales más utilizados para la construcción de barcos deportivos y profesionales, ya sean marítimos o fluviales. El aluminio se utiliza en hojas para el casco, en vigas para refuerzos o tuberías para la parte estructural. Las aleaciones más utilizadas en esta industria son las 5086 y 5083. A pesar de ser menos resistentes que los del grupo 2XXX, 6XXX y 7XXX, presentan mayor resistencia y estabilidad frente a la corrosión. En muchos casos, por ser resistentes al agua marina, el interior del casco es recubierto por una capa de espuma para crear un aislamiento térmico y sonoro.

En los últimos años, la demanda de aluminio de uso naval ha ido aumentando por las numerosas ventajas que éste presenta ante los demás materiales, tanto los tradicionales como los recientemente desarrollados. El aluminio posee una resistencia mayor que la fibra de vidrio y no tiene problemas de ósmosis ni fisuración. Debido a su alta ductilidad, es uno de los materiales que menos se fisura al momento de un impacto con una roca o arrecife.

Presenta una gran rigidez estructural, reduciendo las fatigas del material. Debido a que permite soldar diferentes elementos directamente a su estructura, no es necesario realizar perforaciones para fijar equipos o elementos, conservando su estanqueidad. Siendo más ligero que la fibra y el acero, proporciona mayor maniobrabilidad y menor consumo de combustible durante el funcionamiento del barco. Otras ventajas del aluminio incluyen su bajo costo de mantenimiento y de reparación, proporcionando un mayor valor residual, ya que éste no se deteriora por los rayos solares y resiste mejor la incrustación de algas y otros organismos.

El aluminio permite una gran variedad de soluciones y diseños. Una de estas consiste en soldar un “doble casco”. Éste podrá hacer las veces de depósito de agua y protegerá al barco en caso de una colisión o perforación que, en otros casos, provocaría el hundimiento del barco.

El aluminio es también altamente resistente a la corrosión. A pesar de su afinidad con el oxigeno, éste es inalterable en el aire. Posee un mecanismo de defensa contra la oxidación: se recubre con una delgada capa de óxido que lo protege de ésta y del ataque de varios compuestos químicos. Este óxido es el que le da su tonalidad grisácea, a diferencia de su apariencia brillante, similar a un espejo, que posee cuando está pulido.

La corrosión galvánica, que presentaba un gran desafío para las primeras embarcaciones metálicas, se produce al juntar dos metales distintos. Por su diferencia en potencial eléctrico, los metales juntos funcionan como una pila eléctrica, consumiendo el metal de menor potencial electroquímico. En el caso de embarcaciones navales, el problema es solucionado con la utilización de ánodos de sacrificio. Éstos son piezas de metal con menor potencial electroquímico que el material del casco que son colocados en lugares estratégicos en contacto con el agua y se consumirán protegiendo la embarcación.

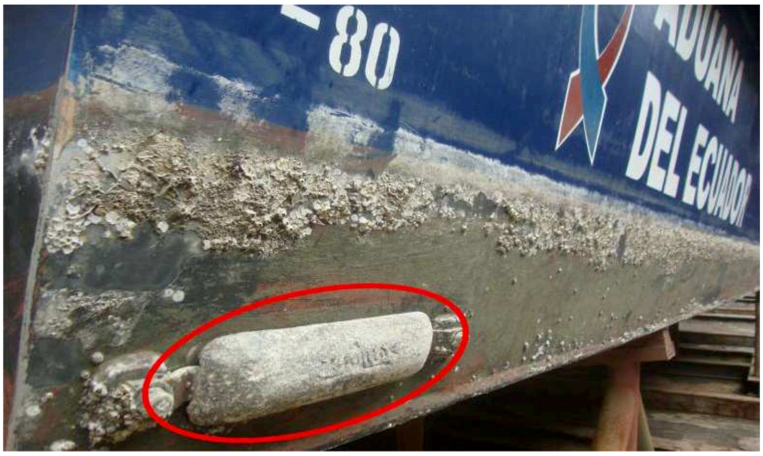


Figura 1. 2.- Ánodo de sacrificio en una embarcación

Una de las desventajas del aluminio es la dificultad que éste presenta al momento de soldar. Se requieren procedimientos especiales y ambientes inertes para lograr un buen acabado. Esto también convierte al acero en el mejor material para realizar trabajos de reparación o reforma, permitiendo todo tipo de trabajo posterior. Lo importante es determinar en qué situación se debe escoger cada material disponible. En varias ocasiones se realizan combinaciones entre estos dos materiales. Se construyen cascos de acero con superestructuras y cubiertas de aluminio, complementando las ventajas de cada material, disminuyendo los costos de construcción y mantenimiento.

Forma y elementos de una embarcación

Se denomina barco a cualquier construcción cóncava y fusiforme que, por su forma, es capaz de flotar en el agua. Es una estructura flotante de forma simétrica respecto a un plano longitudinal provisto de medios de propulsión y gobierno. Su condición principal de flotabilidad se basa en el principio de Arquímedes, que establece que todo cuerpo sumergido total o parcialmente experimenta una fuerza de empuje hacia arriba igual al peso desalojado. Otras condiciones importantes que debe cumplir un barco son:

- Resistencia
- Estanqueidad
- Capacidad de Carga
- Estabilidad
- Gobernabilidad y
- Movilidad

Existen varios criterios para la clasificación de un barco. Una de ellas corresponde al tamaño, que se determina de acuerdo a la eslora. Los barcos menores son aquellos cuya eslora es menor a 24m, mientras que los barcos mayores son los que superan esta medida. Según su método de propulsión, se distinguen los de propulsión humana, eólica y mecánica. Un tercer criterio de clasificación está determinado por el uso que se vaya a dar. Entre éstos se pueden encontrar los barcos comerciales como los pesqueros, los deportivos como los veleros, y los de patrullaje como las lanchas.

Las lanchas son embarcaciones generalmente pequeñas que pueden ser de vela y remos, de vapor o de motor. Estas últimas son utilizadas frecuentemente para servicios auxiliares, misiones de combate en ríos de bajo calado, o de patrullaje. Las lanchas son diseñadas para dar libre paso a través del agua y poder planear sobre ella. Por esta razón el casco está diseñado para permanecer fuera del agua en lo posible, a pesar de su peso, por la presión de la superficie en el casco. Se busca que éstos sean lo más plano posible, sin perjudicar la seguridad y comodidad al navegar, por lo que se equilibra el diseño de la superficie plana y la forma en "V" del casco.

La estructura de un barco corresponde al conjunto de piezas o elementos que constituyen la forma del mismo, otorgándole un equilibrio de las condiciones previamente mencionadas. La forma y dimensiones del barco se varían para adaptar la embarcación al medio al cual estará expuesta. Las partes más importantes de un barco se muestran en la Figura 1.3. La chimenea mostrada dependerá del diseño y tipo de propulsión de la embarcación. Los elementos estructurales de un barco son, en cambio, aquellos elementos internos que conforman su esqueleto o armazón. Éstos determinan en gran parte la resistencia y solidez del mismo. En la Figura 1.4 se muestran estos elementos.

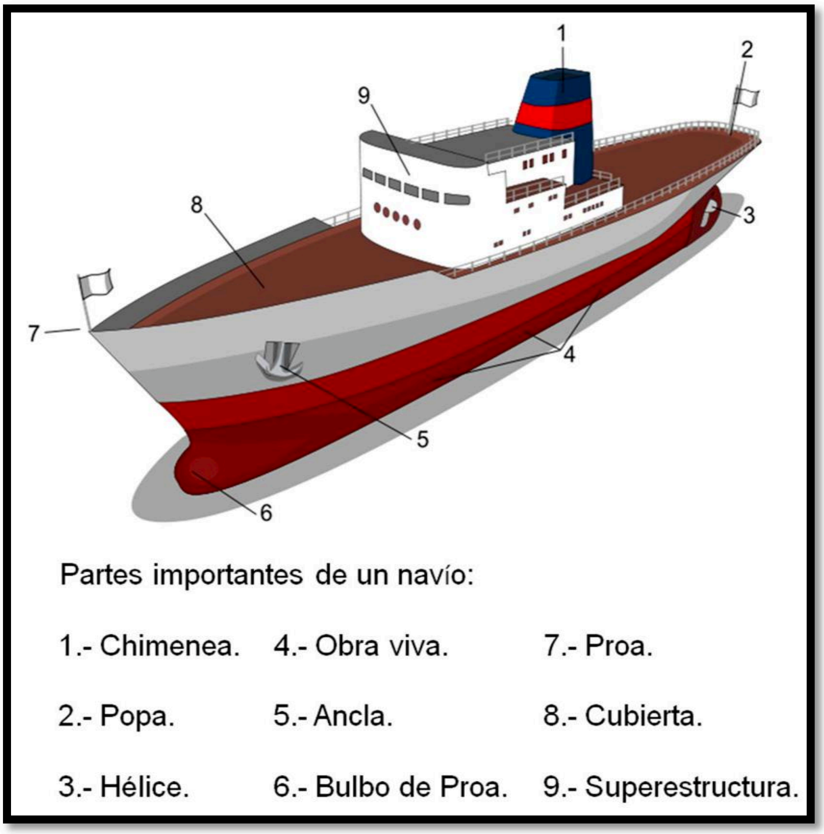

1
2
9
8
3
7
4
5
6
Partes importantes de un navío:
1.- Chimenea.
2.- Popa.
3.- Hélice.
4.- Obra viva.
5.- Ancla.
6.- Bulbo de Proa.
7.- Proa.
8.- Cubierta.
9.- Superestructura.

Figura 1. 3.-: Partes más importantes de un barco

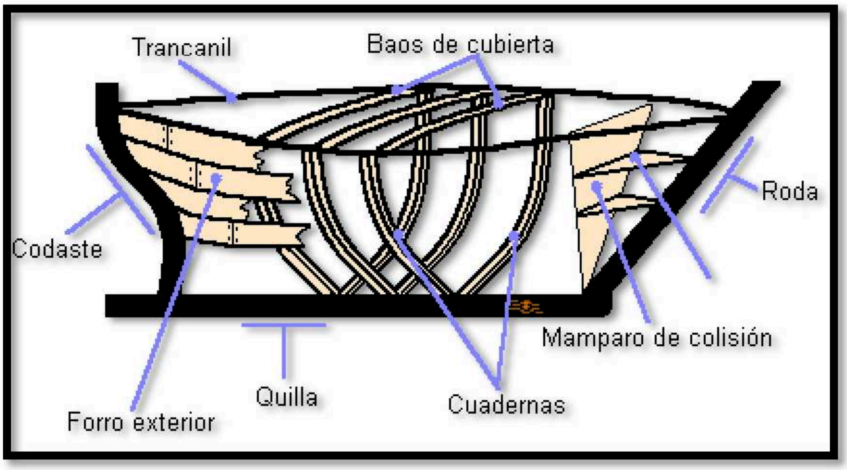

Trancanil
Baos de cubierta
Roda
Codaste
Mamparo de colisión
Quilla
Cuadernas
Forro exterior

Figura 1. 4.- Estructura interna de un barco

Quizás uno de los componentes más importantes de un barco es el casco. Éste proporciona la flotabilidad de la embarcación, y mantiene su forma con los refuerzos, también llamados mamparos. El casco representa uno de los elementos críticos de un barco ya que es el que se encuentra más expuesto a las condiciones del entorno y si llega a producirse una fractura o falla en él, habría una fuga de agua y el barco se hundiría. Por esta razón se busca que el casco esté bien reforzado, especialmente en la proa, la popa y la sala de máquinas, que son los sectores más vulnerables de la embarcación. Al mencionar el casco del barco es conveniente incluir los mamparos y la quilla como parte del mismo, ya que sin ellos el casco no podría mantener su forma.

Retos de soldadura en construcciones navales

El ser humano ha ido desarrollando varios procesos de soldadura desde sus contactos iniciales con los metales. A partir del siglo XIX se desarrolló el proceso de soldadura por fusión, disponiendo industrialmente de fuentes caloríficas lo suficientemente altas para fundir localmente las superficies que se deseaban unir. No fue hasta la Primera Guerra Mundial que los procesos de soldadura despuntaron como una de las técnicas de unión más utilizadas a nivel industrial.

Actualmente existen numerosos procesos de soldadura que se han ido desarrollando y mejorando a través de los años, por lo que hoy en día se puede decir que todo metal es fundible con el proceso adecuado. Existen varios criterios para la clasificación de los procesos de soldadura. Éstos pueden ser por el tipo de fuente de energía, procesos físicos de unión, medios de protección, entre otros. Algunos de los procesos de soldadura más utilizados en la industria naval son:

- Arco con electrodo revestido (SMAW)
- Arco con gas inerte y electrodo de volframio (GTAW)
- Arco metálico con protección de gas (GMAW)
- Alambre tubular con flux interior (FCAW)
- Arco sumergido (SAW)

El proceso de soldadura de arco con electrodo revestido es uno de los procesos más utilizados en la construcción naval. Esto se debe a su versatilidad en cuanto a materiales soldables, espesores permitidos y su facilidad de transportación. Su uso es de carácter muy general. Para soldar superestructuras y cascos de embarcaciones de aluminio, el proceso de arco con gas inerte brinda mejores resultados, ya que trabaja con corriente alterna e impulsos de alta frecuencia, consiguiendo una menor aportación térmica y proporcionando un mejor acabado. El proceso de arco metálico con protección de gas es también ampliamente utilizado en el sector naval debido a la alta calidad que se puede obtener con él. Este proceso es muy fácil de automatizar y tiene un rango de espesores de metal base muy amplio.

En la actualidad, con tantos procesos de soldadura, la obtención de un buen cordón no radica simplemente en la habilidad del soldador, sino en la correcta selección del proceso y parámetros de soldadura. Cada uno de estos procesos presenta distintas ventajas y limitaciones con respecto a los demás. La elección del proceso a utilizar depende de varios factores como el material a soldar, los espesores, las condiciones ambientales, entre otros. Con frecuencia se utilizan varios procesos de soldadura para realizar un proyecto, ya que éste puede tener distintos materiales, tipos de juntas y elementos.

La importancia de la soldadura en una embarcación naval consiste principalmente en asegurar la estanqueidad del casco de la embarcación. El cordón de soldadura del casco del barco, especialmente del planchaje, debe regirse a condiciones muy altas de seguridad para evitar que haya defectos pasantes en ella, provocando rotura y fugas de agua, que puede tener como consecuencia el hundimiento del barco. La soldadura debe ser capaz de resistir las vibraciones, especialmente en la sala de máquinas, donde se encuentran los motores. La norma ABS para la calificación de embarcaciones, en su Parte 2, establece estándares y requerimientos para los materiales y la soldadura utilizada en embarcaciones y construcciones en alta mar (3).

Desafíos de soldadura en aluminio

El aluminio, a pesar de ser fácil de maquinar, presenta grandes dificultades al momento de ser soldado. Siendo éste un material más ligero y conductor que el acero y otros metales, requiere mucho más cuidado y precisión al momento de soldar. El aluminio posee una conductividad térmica aproximadamente cuatro veces superior a la del acero (209.3 W/Km) (4), lo que lo hace sensible a las fluctuaciones de calor y propenso a deformarse al momento de aplicarle calor. Por esta razón se debe calentar la pieza antes de trabajar y asegurarse que ésta se enfríe lentamente para evitar que se fragilice. Al calentar la pieza, ésta tenderá a dilatarse el doble de lo que lo haría una pieza similar de acero, deformando la pieza a medida que se suelda o al enfriarse. Para evitar esto se puede realizar un punteado previo, además de colocar rigidizadores.

---

(3) ABS Part 2, R*ules for materials and welding*

(4) Koshkin N. I., Shirkévich M.G.. *Manual de Física Elemental*. Editorial Mir 1975.

La limpieza previa de la pieza a soldar es esencial, ya que el aluminio forma una capa de oxido para protegerse del ambiente. Esta capa se funde a temperaturas mucho más altas, lo que puede ocasionar una falta de fusión en el cordón. El gas utilizado en el proceso influye también en la calidad del cordón resultante, ya que éste crea una atmosfera de protección al momento de soldar. Para espesores menores a 13mm, ya sea que se esté soldando con arco con gas inerte (GTAW) o arco metálico con protección de gas (GMAW), es recomendable utilizar Argón puro. Si se tiene un espesor mayor a 13mm, la combinación de Argón y Helio favorece la penetración de la soldadura.

Con respecto al material de aporte, al utilizar arco metálico con protección de gas se utiliza un rodillo que proporciona automática y constantemente el material a medida que se suelda. Este hilo de aluminio es muy blando y propenso a deformaciones y roturas.

Algunos problemas que se pueden encontrar son la alimentación irregular, interrupciones de la misma o la fusión del hilo dentro de la boquilla de contacto. Para evitar esto es recomendable tener en el rodillo guía un canal en forma de “U” sin contornos para evitar marcas en el hilo. No se debe frenar el carrete del hilo para no provocar disrupciones en el funcionamiento de éste, y no tocar el hilo con las manos, ya que la grasa que se transmite con las manos ensucia el hilo y perjudica la calidad del cordón.

1. 2 Exigencias de calidad inherentes en soldadura

La soldadura es uno de los métodos más utilizados para la unión de piezas metálicas en la industria actual. Una falla en soldadura puede ocasionar daños a personas y equipos, por lo que es responsabilidad de las empresas fabricantes de productos soldados comprobar que la calidad de éstos cumpla los requerimientos del cliente y de las normas establecidas internacionalmente. El primer paso para esto es la elaboración y calificación de procedimientos y parámetros a cumplir durante la soldadura. Posteriormente se debe calificar a los soldadores que realizarán este trabajo como responsables de la aplicación de los procedimientos.

Una soldadura de calidad es aquella que cumple con los requisitos correspondientes a la estructura o proyecto, vinculada al cumplimiento de normas técnicas previamente comprobadas. Con esto no se busca la aprobación de una soldadura “perfecta”, totalmente libre de discontinuidades, sino de aquella que se encuentre dentro de los límites de aceptación, con los cuales se puede garantizar que la estructura no falle por causa de la soldadura. Por lo tanto, una norma establece los límites de aceptación de las discontinuidades que pueden existir en un cordón de soldadura. La AWS es una de las entidades que ha desarrollado normas para los distintos procesos y materiales de soldadura, así como para los consumibles y prácticas de seguridad. En caso de trabajar con aceros, la norma a utilizar es la AWS D 1.1, mientras que si se trabaja en aluminio, la norma a seguir es la AWS D 1.2. La elección de una norma dependerá de varios factores como el elemento a fabricar y su futuro servicio, el material del cual está hecho y el proceso de soldadura que se utilizará. El procedimiento es, en cambio, la especificación escrita de los parámetros a utilizar en la soldadura.

Pasos y requisitos a cumplir para la calificación de procedimientos de soldadura y soldadores

La calificación de un procedimiento y de un soldador consiste básicamente en realizar un cordón de soldadura que, luego de ser inspeccionado con ciertos ensayos, cumpla con los requisitos establecidos en la norma, que pueden ser tomadas de entidades normativas como AWS o de entidades calificadoras como Bureau Veritas. Antes de empezar este trabajo se debe analizar el proyecto que se va a realizar. Esto incluye el material base, material de aporte, proceso de soldadura, tipo de junta, rango de espesores y demás características del proyecto. Dependiendo del tipo de construcción o material a trabajar se selecciona el código o norma con el cual se regirán los parámetros a elegir. Es común trabajar con más de una norma, tomando en cuenta siempre los criterios más rigurosos entre ellas. Se deben tener muy claro las variables que influirán en el proceso para poder modificarlas de acuerdo a los resultados de los ensayos y mejorar la soldadura obtenida. Estas variables pueden ser: la corriente y el voltaje de la máquina de soldar, la velocidad del alambre, la pureza del gas, entre otras.

Consideraciones iniciales

Es importante definir correctamente los tipos de juntas y rangos de espesores a calificar. Dentro de las normas se puede encontrar que para ciertos grupos de espesores que se desee soldar existe un rango que los incluye. De esta forma, al realizar la calificación con un sólo espesor, se incluye un rango de espesores con el que se puede trabajar en la obra. Esto se aplica también para el tipo de junta y la posición. Se deben primero analizar las juntas existentes en la obra y determinar las posiciones en las cuales se soldará cada una. Con esta información se selecciona uno o varios tipos de junta y las posiciones con las cuales se puedan calificar las juntas de toda la embarcación. Al calificar procedimientos se debe realizar una prueba por cada posición de soldadura mientras que, al calificar a un soldador, se puede realizar la prueba solamente en la posición más compleja para calificar automáticamente para las demás. Es decir, si se realiza la prueba en posición vertical, el soldador estará calificando para las posiciones en plano y horizontal. Si el soldador realiza la prueba en posición sobrecabeza, estará calificando para todas las posiciones de ese tipo de junta, como lo permita la norma. Las posiciones de soldadura para diferentes juntas se muestran en la Figura 1.5. Una vez definidas las variables se procede a elaborar el documento de

Especificación del Procedimiento de Soldadura Preliminar (pWPS, por sus siglas en inglés). En este documento se listan las variables y parámetros de soldadura preliminares que se buscará comprobar durante la prueba.

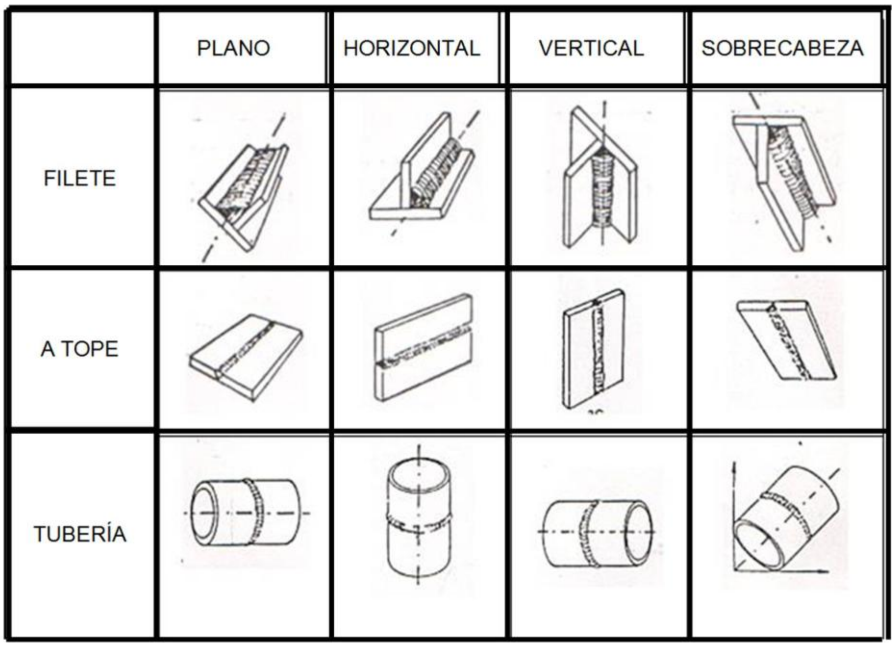


Figura 1. 5.- Posiciones de soldadura

Preparación de la probeta

Antes de empezar la prueba de soldadura se debe preparar cuidadosamente la probeta. En la norma bajo la cual se esté rigiendo el proceso se establecen las medidas y especificaciones de los especímenes o placas de prueba, incluyendo el bisel que se deba realizar, cuando se amerite. El corte de los especímenes puede ser mecánico o térmico. Los bordes de las placas deberán ser suavizados y toda impureza debe ser retirada. El ensamble de las juntas puede ser realizado con otras placas o grapas en el caso de tubos y platinas. Las placas deben estar bien alineadas y a una distancia constante, especificada en la norma, para lograr que la unión sea uniforme. En el caso de juntas de filete, las placas deben tener sus bordes rectos sin dejar espacio entre las superficies de contacto.

Desarrollo de la prueba

El desarrollo de la prueba de soldadura debe ser realizado en un ambiente libre de corrientes de aire y contaminantes para evitar que éstos afecten la soldadura. Corrientes de aire, humedad, salinidad y partículas de metales pueden contaminar el proceso de soldadura, teniendo como consecuencia la presencia de impurezas o falta de penetración en el cordón. Una vez colocados todos los equipos de soldadura y seguridad en la estación de soldadura se procede a soldar la junta bajo los procesos y parámetros especificados en la pWPS. Generalmente, para realizar las pruebas de calificación de procedimientos, se escoge al mejor soldador de la empresa para que realice el trabajo ya que contará con un gran conocimiento del procedimiento y de los equipos y podrá aportar en la adaptación del procedimiento preliminar.

Selección y aplicación de ensayos

Una vez realizada la prueba de soldadura se procede a realizar una variedad de ensayos para comprobar la calidad del cordón y la posible detección de discontinuidades en él. Los ensayos a realizar se deben seleccionar de acuerdo a las exigencias y recomendaciones de la norma más rigurosa entre las escogidas como guías. La elección de los ensayos está determinada principalmente por el tipo de junta y el espesor de las placas. Los ensayos se pueden clasificar en 2 grupos: ensayos destructivos y no destructivos.

Entre los ensayos destructivos se encuentran:

- Inspección visual

Es el primer ensayo que se realiza antes, durante y luego de realizar un cordón de soldadura. A pesar de ser muy básico, éste tiene una gran importancia por ser el ensayo con el cual se revisa todo el proceso de soldadura desde su fase de preparación hasta ser terminado. Éste puede ser llevado a cabo en primera instancia por el soldador, luego por el supervisor y finalmente por el inspector de soldadura. Con este ensayo se determina si existen discontinuidades superficiales fuera de los límites de tolerancia. Incluye el control en la preparación de la junta a soldar, distorsiones y deformaciones del cordón, preparación de raíz de la junta al soldar por el otro lado de las probetas, la secuencia de pases y la apariencia en general de la soldadura. Un inspector experimentado puede determinar si existen discontinuidades externas fuera de los límites al observar el aspecto del mismo o incluso al escuchar atentamente los sonidos producidos durante el soldado. Este ensayo se lo puede realizar directamente con el ojo humano o con ayuda de instrumentos como linternas y lupas para aumentar la visibilidad. En caso de que la probeta no cumpla con los requerimientos mínimos de la inspección visual ésta deberá ser rechazada inmediatamente. De otro modo, se deberán realizar los demás ensayos definidos por la norma.

- Tintas penetrantes

El ensayo de Líquidos o Tintas Penetrantes permite localizar discontinuidades superficiales y pasantes. Este método se basa en el principio de capilaridad. Se aplica un líquido sobre la superficie, a lo largo del cordón, que penetra las discontinuidades en contacto con ésta. Éste puede ser aplicado por medio de rociado, inmersión, brocha o vaciado, y la tinta penetrante puede ser visible o fluorescente. Una vez seca, se limpia el exceso y, luego de un tiempo prudencial, se aplica el revelador que absorbe el líquido penetrante que se introdujo previamente en las discontinuidades, extrayéndolo hasta la superficie. Éste puede ser un revelador húmedo o seco, que se elegirá dependiendo de las características de la pieza a ensayar. Se produce una tinturación de este último líquido, mostrando así la presencia o no de discontinuidades. El procedimiento elegido para este ensayo, sea con penetrantes visibles o fluorescentes, reveladores húmedos o secos, y sus sub-clasificaciones dependerá de la pieza a ensayar, las discontinuidades que se espera encontrar y las condiciones del medio en el cual se realizará el ensayo. Para elegir el proceso con el cual se realizará este ensayo, la norma AWS D1.2 sugiere el uso de la norma ASTM E165 (5). Otra norma común es la ASTM E 1417 – 99 (6). Este ensayo es muy utilizado y de gran importancia en la industria naval, ya que permite comprobar la estanqueidad del casco de un barco al ensayar la soldadura que une sus elementos. La ventaja de este ensayo es su portabilidad, facilidad de uso y resultados casi inmediatos.

---

(5) ASTM E 165, *Práctica normalizada para la inspección por Líquidos Penetrantes*.

(6) ASTM E 1417 – 99, P*ractica normalizada para el examen por Líquidos Penetrantes*

- Ultrasonido

El ensayo de ultrasonido se basa en la detección de vibraciones mecánicas a través de un material por medio de ondas. El equipo de ultrasonido determina el tiempo que ha tomado una onda en ser detectada debido al cambio en la impedancia acústica del material, traduciendo este resultado como distancia. Esta distancia representa la posición vertical o profundidad a la cual se encuentra algún cambio de sección o discontinuidad. Para este ensayo se requiere un palpador que emita y recepte las ondas, y se encuentre en contacto con la superficie del material a través de un acoplante.

Este acoplante puede ser agua o un gel que elimine la presencia de aire entre la superficie del palpador y la pieza a ensayar. Las ventajas de este ensayo son su velocidad de prueba, ya que proporciona resultados instantáneos y de gran exactitud, además de tener alta sensibilidad, penetración y resolución. Este ensayo puede dejar un registro permanente de las inspecciones realizadas, pero está limitado por el gran conocimiento técnico que se requiere por parte del inspector para realizarla. Para realizarlo se necesitan patrones de referencia, tanto para calibrar el equipo como para caracterizar las discontinuidades, además de tener un alto costo de equipos y accesorios. Para inspeccionar cordones de soldadura con este ensayo se recomienda revisar la norma ASTM E 164-08.

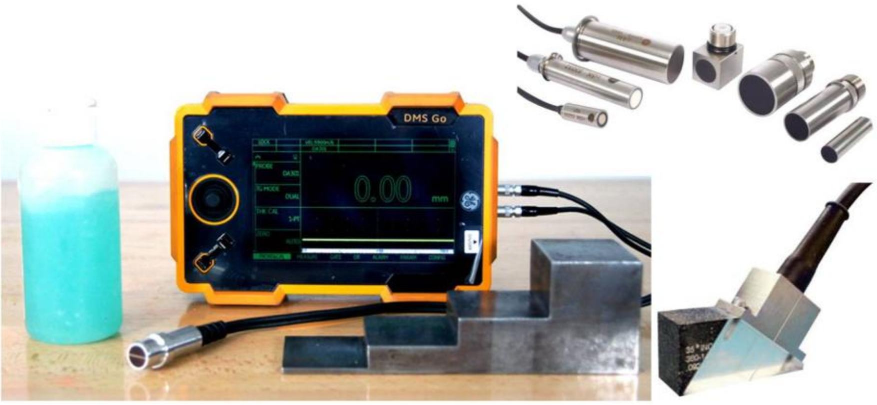


Figura 1. 6.- Equipo de Ultrasonido y sus acoplantes

- Radiografía

La radiografía industrial se basa en la interacción entre un material y la radiación electromagnética, de longitud de onda corta y alta energía, debido a la exposición radiográfica de rayos X o gamma, que es absorbida o atenuada al atravesar dicho material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado. Éste es un método utilizado no sólo a nivel técnico, sino a nivel médico e investigativo. Las propiedades de la radiación y su interacción con la materia permiten la determinación de estructuras cristalinas y de la composición química de varios elementos, la destrucción de células, control de mutaciones, entre otras aplicaciones. En cuanto a la aplicación técnica, se utiliza para detectar discontinuidades internas mediante la atenuación de la imagen plasmada en las placas radiográficas luego de exponer algún material a la radiación. Los materiales tienden a absorber la radiación, por lo cual en la película radiográfica se observarán imágenes claras que corresponden al material. Las secciones oscuras que se observen corresponden a sectores con ausencia de material. Si esto se observa dentro del área de la pieza, éstas corresponden a defectos como grietas, socavados, porosidades, falta de fusión, entre otras. La norma ASTM E 94 ofrece una guía para la inspección por radiografía y la ASTM E 1648-95 (7) una referencia especial para soldadura en aluminio. Sus principales ventajas son la posibilidad de obtener una imagen visual del interior de un material y la obtención de un registro permanente de la misma, mientras que es limitado por su alto costo y alto requerimiento de personal capacitado y normas de seguridad.

---

(7) ASTM E 1648-95, *Standard reference radiographs for examination of aluminum fusión welds.*

Entre los ensayos destructivos de encuentran:

- Ensayo de tensión o tracción

El ensayo de tracción determina el esfuerzo de fluencia y de rotura de una probeta o espécimen normalizado sobre el cual se ejerce una fuerza de tensión (o tracción) axial creciente. El espécimen es sujetado por sus dos extremos y estirado hasta el punto de rotura. Este ensayo se puede realizar en una gran variedad de materiales plásticos y metálicos. Las características del material que influyen en el ensayo son: el módulo de elasticidad (Módulo de Young), coeficiente de Poisson, límite de proporcionalidad elástico y de fluencia. Estos valores se los puede determinar observando el gráfico que establece la relación entre el esfuerzo o tensión y la elongación o alargamiento del material, mostrado en la pantalla de los equipos computarizados. Cada material posee una curva característica, manteniendo siempre los mismos elementos, como se muestra en la Figura 1.7.

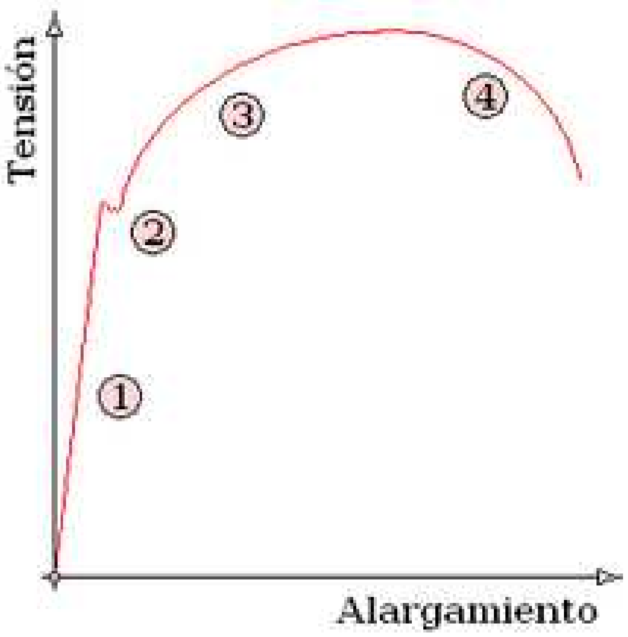


Figura 1. 7.- Curva tensión-alargamiento

En esta curva se muestran enumeradas las 4 secciones que representan el comportamiento del material: deformación elástica o zona elástica, punto de fluencia o cedencia, deformación plástica o zona plástica y estricción o punto de rotura. Debido a la forma de la probeta normalizada, la deformación y rotura se concentra en un punto de la probeta, como se muestra en la Figura 1.8. Al ensayar cordones de soldadura se comprueba si el cordón tiene mayor resistencia que el material base al observar la zona de rotura, caso contrario, no es aprobado. El quipo utilizado para este ensayo debe ser regulado de acuerdo a la norma ISO 7500-1.

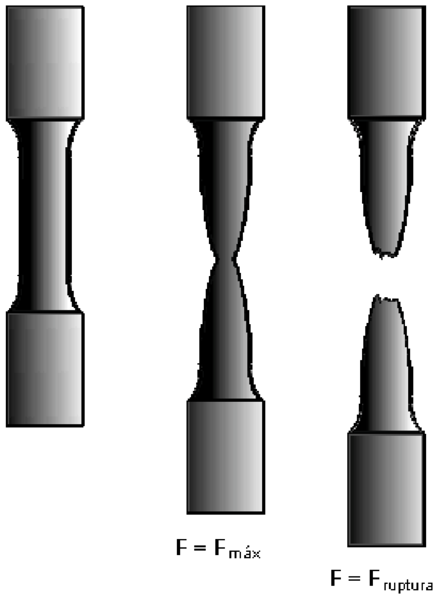


Figura 1. 8.- Probeta normalizada para el ensayo de tensión

- Ensayo de flexión o doblado

Este ensayo busca determinar la ductilidad y sanidad de un material al someterlo a una fuerza de doblado. Es utilizado para ensayar placas, tubos y alambres sometidos a un proceso de manufactura. Existen 4 tipos de prueba de doblado: libre, semiguiado, guiado y por envoltura. El ensayo de doblez libre consiste en colocar la pieza sobre un tornillo de banco y ejercer una fuerza sobre ella con una prensa para doblarla. El doblez guiado se realiza sobre probetas estandarizadas en un émbolo o punzón, forzando a la probeta a flexionarse lentamente adaptándose a la forma del punzón. Este método es frecuentemente utilizado para ensayar cordones de soldadura. Se requiere que la zona afectada por el calor y la soldadura se encuentren dentro de la porción doblada del espécimen, sin contener fisuras o aberturas mayores a 3.2mm (1/8”), medidas en cualquier dirección sobre la superficie convexa. El doblez semiguiado es similar al guiado con la diferencia de que no se fuerza al espécimen dentro de un aditamento. El doblado por envoltura consiste en enrollar el material alrededor de un pasador de un diámetro determinado sin que éste presente fisuras. La aceptación de los resultados obtenidos de este ensayo depende de la norma a la que se está rigiendo toda la calificación, ya que los límites dependen de las características del trabajo a realizar.

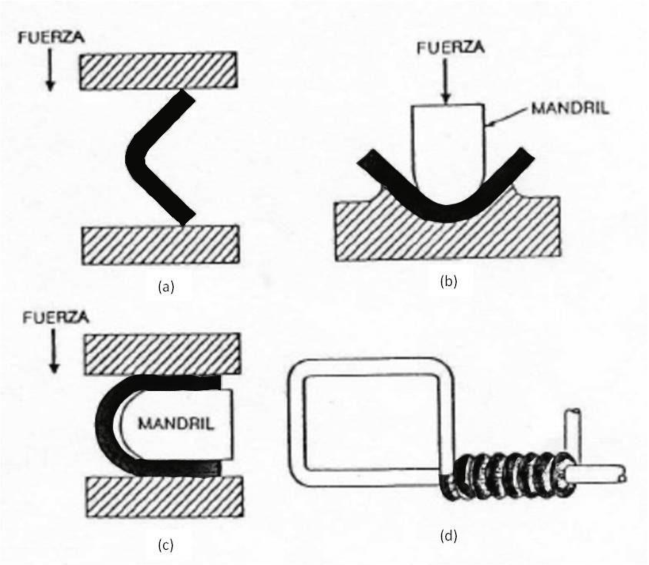


Figura 1. 9.- Tipos de ensayos de doblado: (a) libre, (b) semiguiado, (c) guiado, y (d) doblado por envoltura

- Ensayo de dureza

El ensayo de dureza se utiliza para determinar el grado de deformación que presentará un material al momento que una presión es ejercida sobre él (penetrabilidad). Ésta es una característica importante del material, ya que con ello se podrá saber si dicho material resistirá un determinado esfuerzo por la relación existente entre la dureza y la resistencia mecánica.

El ensayo consiste en la aplicación de una carga a un material a través de un penetrador, que puede ser una esfera, pirámide o cono. Se mide el tamaño de la huella obtenida, y mediante una fórmula, se establece la dureza del material con la que se puede estimar la resistencia a la tracción. Este ensayo es más sencillo, rápido y económico que el ensayo de tracción, por lo que en ciertos casos es preferido antes que éste último. Los ensayos de dureza más utilizados son el de Brinell, Knoop, Rockwell y Vickers. Éstos pueden utilizar como punta una bola de acero templado, carburo de Wolframio o punta de diamante. El ensayo de dureza Rockwell, regido por la norma ASTM E18-02 (8), es el más utilizado por su medición directa y por ser apto para todo tipo de materiales. En la

---

(8) ASTM E18-02, *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*

Figura 1.10 se observa un durómetro, equipo utilizado para realizar este ensayo.

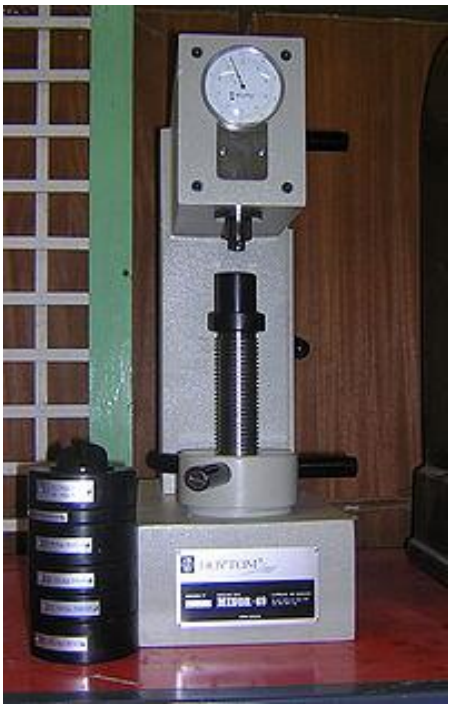


Figura 1. 10.- Durómetro

- Ensayo de impacto Charpy

La prueba de impacto tiene como objetivo determinar la energía absorbida por un material al momento de recibir un impacto (tenacidad) a una temperatura específica. Esta prueba dinámica puede predecir hasta cierto punto el comportamiento dúctil o frágil de un material, y si se lo realiza para un material a distintas temperaturas se puede determinar el rango de temperatura de transición dúctil-frágil del mismo. Para realizar esta prueba se utiliza una muestra o probeta con muesca que será luego impactada con un yunque en la ubicación de la muesca. El péndulo de Charpy, regulado por la norma ISO 148-02, es generalmente utilizado para esta prueba, siendo la diferencia en su altura inicial y final tras el impacto, lo que permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturación de la probeta.

Elaboración de documentos

Una vez aplicados los ensayos necesarios y determinada su aprobación con respecto a las especificaciones de las normas, se utilizan los pWPS finales como WPS y se utiliza la información en estos documentos, junto a los parámetros de soldadura registrados, para elaborar el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR, por sus siglas en inglés). En este documento se define el diseño de la junta, los parámetros del procedimiento y demás datos necesarios para realizar la soldadura. En este documento se incluyen también los resultados de los ensayos realizados a las probetas. Con estos documentos se deben realizar las pruebas para calificar a los soldadores, para demostrar que éstos son capaces de realizar un cordón libre de fallas o con discontinuidades dentro del rango aceptable.

Discontinuidades y fallas en un cordón de soldadura

Es muy difícil encontrar un cordón de soldadura completamente libre de fallas, por lo que dentro de las normas de soldadura se establecen criterios de aceptación para éstas. Las fallas más comunes encontradas en un cordón de soldadura se muestran en la Figura 1.11. El aspecto de un cordón influye no sólo en la estética del proyecto sino que es sinónimo de una soldadura mal realizada. Una discontinuidad consiste en la perturbación de la estructura física de un material o pieza que no afecta su funcionamiento. En este caso puede ser aceptada. Cuando ésta afecta o puede su funcionamiento se considera un defecto y es inaceptable para operar.

En un cordón de soldadura, una discontinuidad puede ser ocasionada por conexiones eléctricas defectuosas, recalentamiento o uso de un electrodo inadecuado. Para evitar esto se recomienda revisar que las conexiones y los implementos sean los adecuados, además de formar un vaivén uniforme al avanzar en el cordón. La fusión deficiente es causada por un calentamiento irregular de la pieza y la contracción del metal de aporte, lo cual se puede evitar punteando la unión previamente y distribuyendo la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.

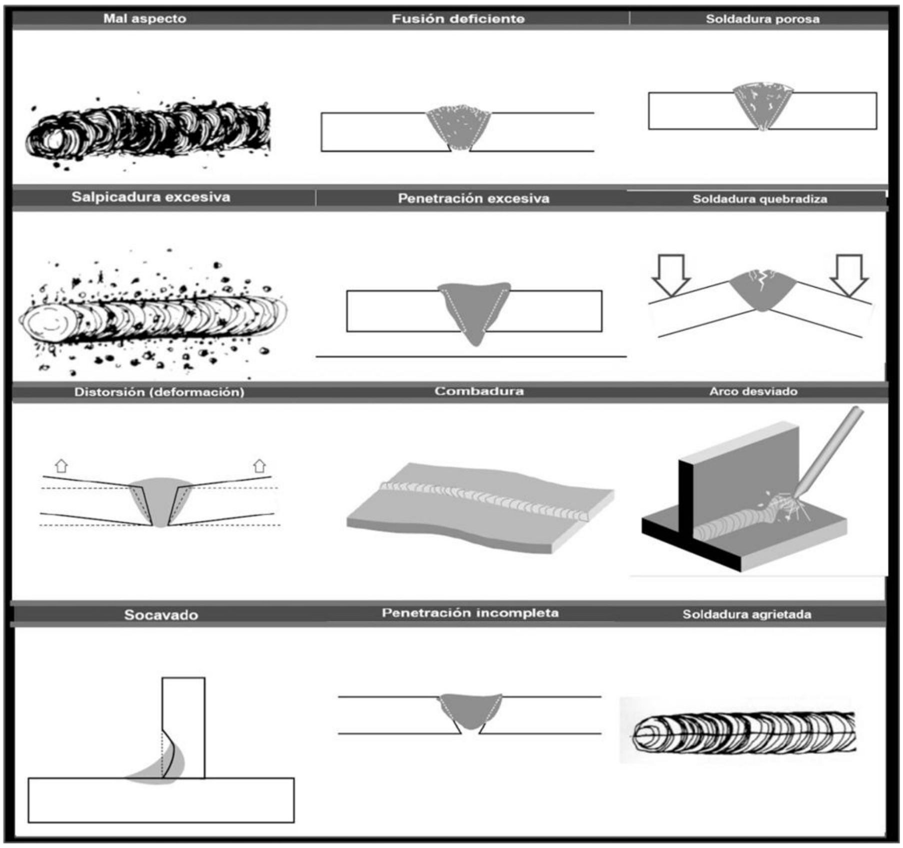

Mal aspecto
Fusión deficiente
Soldadura porosa
Salpicadura excesiva
Penetración excesiva
Soldadura quebradiza
Distorsión (deformación)
Combadura
Arco desviado
Socavado
Penetración incompleta
Soldadura agrietada

Figura 1. 11.- Defectos comunes de soldadura

La porosidad que se pueda encontrar en un cordón puede ser causada por un electrodo defectuoso, una corriente inadecuada o un arco corto, por lo que se recomienda eliminar toda impureza del material base y mantener un arco más largo. La salpicadura excesiva es muy común y afecta no sólo al cordón sino al área cercana a éste. La salpicadura ocurre al utilizar una corriente elevada y un arco muy largo al momento de soldar. Para evitar esto se debe mantener la corriente necesaria sin elevarla demasiado y un arco corto, además de cambiar de lugar la grampa a tierra y utilizar un banco no magnético. En caso de presentarse la salpicadura en el área fuera del cordón, ésta puede removerse con un disco pulidor. Se debe tomar las precauciones necesarias para disminuir las discontinuidades y obtener así un cordón de soldadura que asegure la calidad y sanidad de la estructura. Para ello se debe regir a las recomendaciones y límites propuestos por las normas, como la AWS D 1.2 para soldadura en aluminio o la AWS D 1.1 para soldadura en acero.

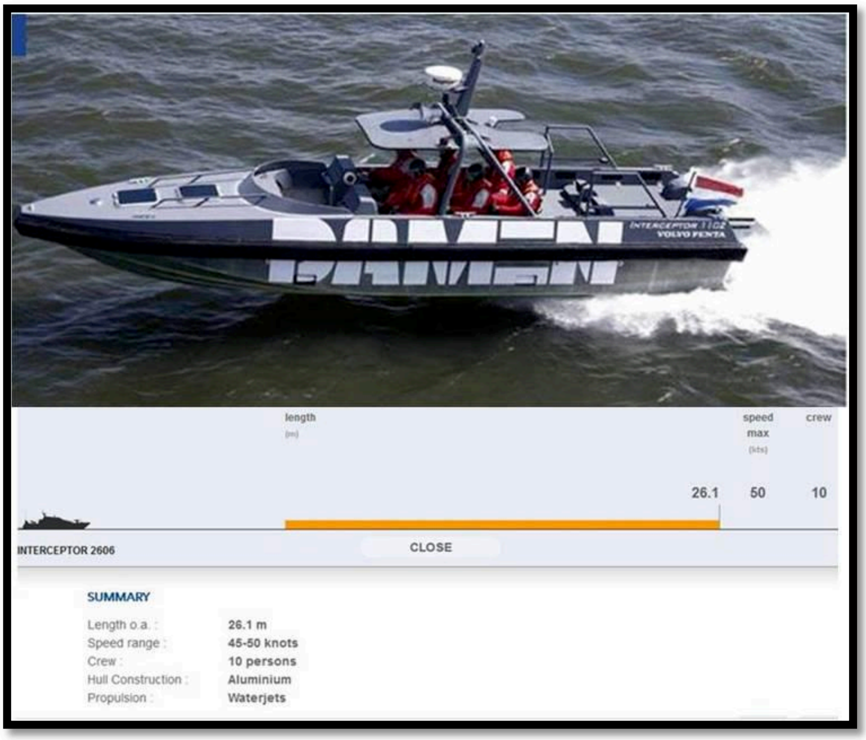
1. 3 Especificaciones del proyecto de construcción de una lancha rápida

El proyecto actual consiste en la construcción de una lancha rápida cuya estructura es compuesta principalmente de aluminio. Los planos, las piezas y el material de aporte para la soldadura son entregados por una empresa proveedora, por lo que el trabajo reside básicamente en armar la lancha.

La lancha a construir está diseñada para labores de patrullaje a altas velocidades. Posee alta maniobrabilidad y grandes aceleraciones. Adecuada para una tripulación de 10 personas, posee 26.1 m de eslora, 6.06m de manga, 4m de altura y 1.80m de calado máximo (aproximadamente). Es capaz de desarrollar una velocidad máxima de 45 a 50 nudos, propulsada por medio de chorros de agua. El barco tiene un casco con arista con fondo profundo en forma de “V” y rieles de aspersión.

La estructura de la lancha está conformada principalmente de aluminio 5083 (H111), cuyo uso para aplicaciones navales ha ido incrementando por su alta resistencia mecánica, alta resistencia a la corrosión y buena soldabilidad. Ciertos elementos de la lancha han sido construidos con otros materiales debido a sus condiciones especiales de uso, como ciertos tubos de acero inoxidable conectados a la sala de máquinas. El barco se divide en los siguientes compartimientos principales:

- Pique de popa
- Cuarto de máquinas
- Alojamiento (superestructura)
- Pique de proa


length
(m)
speed
max
(kts)
crew
26.1
50
10
INTERCEPTOR 2606
CLOSE
INTERCEPTOR 1102
VOLVO PENTA

SUMMARY

Length o.a. : 26.1 m
Speed range : 45-50 knots
Crew : 10 persons
Hull Construction : Aluminium
Propulsion : Waterjets

Figura 1. 12.- Características de la lancha

El proyecto exige que los procedimientos de soldadura, los soldadores, los materiales utilizados y los demás procesos de construcción sean calificados, por esta razón se deben cumplir todos los requerimientos especificados por la norma exigida por el cliente y el proveedor. El proveedor realiza esta exigencia para asegurar que la lancha se comporte adecuadamente y dure el tiempo establecido en la garantía, manteniendo así la reputación de su empresa como una que inspira confiabilidad. El plano general de la lancha se encuentra en el Apéndice A.

CAPÍTULO 2

2. CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

El primer paso a realizar para la calificación de un procedimiento de soldadura es el análisis del proyecto que se va a realizar, seguido por la definición de las variables influyentes y las normas bajo las cuales se regirá el proceso de calificación. Una vez establecidas las condiciones iniciales, se elaborará pWPS, el cual será modificado al realizar las pruebas para la obtención de mejores resultados. Se elaborarán ensayos destructivos y no destructivos en las probetas para determinar la presencia o ausencia de discontinuidades dentro del rango de aceptación establecido por la norma. Los parámetros correspondientes a las probetas que aprueben los ensayos, serán utilizados para la elaboración de los WPS y PQR que se presentarán para la calificación.

2. 1 Aplicación de los procedimientos de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Durante el proceso de calificación de los procedimientos de soldadura se utilizarán los criterios exigidos en el documento entregado por la empresa calificadora, *Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units (9).* En este documento se establecen criterios y reglas especiales para soldadura en construcciones navales. Debido a que el material con el cual se trabajará consiste en aluminio, se utilizará como referencia adicional la norma AWS D1.2, *Código de soldadura estructural-Aluminio.* En esta norma se establecen los criterios que se deben tomar en cuenta para la realización de las pruebas y los ensayos, además de establecer los límites de aceptación para las probetas realizadas. Debido a que se trabajarán con 2 referencias, en cada aspecto se buscará cumplir el criterio más exigente entre ellas.

---

(9) Bureau Veritas, January 2011, Rule Note NR 216 DT R05 E

El elemento más vulnerable de una embarcación corresponde a su casco, junto a su quilla y mamparos, ya que asegura la flotabilidad y movilidad del barco, además de ser la más propensa a daños por golpes o vibraciones propias de la misma. Por esta razón, se analizarán las juntas correspondientes a éste, a pesar de que la calificación realizada valida la soldadura en aluminio de la embarcación en su totalidad.

El material base de la embarcación corresponde a la aleación de Aluminio 5083 (H111). Ésta es una aleación utilizada principalmente en construcciones navales por su alta resistencia mecánica, su alta ductilidad y gran resistencia frente a la corrosión. Estas características son otorgadas debido a su composición química (véase Apéndice D). Las características y propiedades físicas de esta aleación se pueden observar en las TABLAS II y III. La Tabla 3.2 de la norma AWS D1.2 especifica el mínimo esfuerzo de tensión aceptable para el rango de espesor de las placas a soldar (10). El material a utilizar cumple además los especificados en la Tabla 3 del capítulo 3, sección 2, de la guía entregada por la empresa calificadora (11).

---

(10) AWS D1.2, Table 3.2: Tensile Strength of Welded Aluminum Alloys

TABLA Nº II

"CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ALUMINIO 5083 (12)"

Características	Aleación más fuerte con excelente resistencia a la corrosión y muy apta para soldadura
Usos típicos	Chapas y planchas para astilleros, cascos de barcos, lanchas rápidas, yates, tanques de almacenamiento de gas natural líquido (LNG), equipos químicos, superestructuras soldadas (de gran durabilidad), tanques a presión
Temples	0 H111 H112 H116 H321

---

(11) BV NR 216, Chapter 3, Section 2, Table 3 : *Mechanical properties for extruded products with 3 mm ≤ t ≤ 50 mm*

(12) Fuente: Alcoa European Mill Products Inc.

TABLA Nº III

“PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALUMINIO 5083 (13)”

Densidad	2.66 x 10^3 kg/m^3
Coeficiente medio de expansión térmica (20÷100ºC)	23.8 x 10^{-6} por ºC
Rango de fundición aproximado	580÷640 ºC
Conductividad térmica	580÷640 ºC
Módulo de elasticidad	71 GPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Potencial de solución electrolítica	-0.91 V*
Resistencia mecánica	39 ksi (275 MPa) (14)

*Versus 0.1 N de electrodo calomel en una solución acuosa que contiene 53 g de NaCl más 3 g de H2O por litro.

---

(13) Fuente: Alcoa European Mill Products Inc.

(14) Valores obtenidos del certificado de calificación del material, *Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.2,* Hydro Aluminum Rolled Products.

El material de aporte a utilizar es el ER 5183, recomendado en la TABLA A1 (15) de la norma AWS D 5.10 y la TABLA 4.2 (16) de la norma AWS D1.2 para elementos de esta aleación de Aluminio. Este material tiene una resistencia de 42 ksi (290 MPa) (17), convirtiéndolo en el material de aporte más resistente para uso naval. Los rollos que contienen el material de aporte deben permanecer dentro de su envoltorio sin abrir en un contenedor cerrado, seco y protegido de cualquier condición climática hasta el momento de su uso, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Luego de analizar las juntas de aluminio de la embarcación, y considerando que la primera etapa de la construcción se realiza con el casco invertido, se concluyó que las posiciones en las cuales se soldará serán:

- Plano (1G),
- Horizontal (2G), y

---

(15) AWS D5.10, Table A1, *Guide to the Choice of Filler Metal for General Purpose Welding*

(16) AWS D1.2, Table 4.2, *Recommended Aluminum Alloy Filler Metals For Structural Welding of Various Base Aluminum Alloy*

(17) Valor obtenido del certificado de calificación del material, *LNT/LNM AlMg 4.5 M,* Lincoln Electric

- Vertical ascendente (3G)

La norma AWS D1.2, en sus Figuras 3.1 y 3.2 (18), establece los rangos de inclinación permitidos para cada posición. Para calificar los procedimientos, se deberá realizar una prueba para cada posición de soldadura. A pesar de que en la construcción existen juntas a tope y filete, al realizar la prueba en una posición a tope se califican las juntas a tope y filete en esa posición, como lo muestra la TABLA 3.3 de la norma AWS D1.2. Todas las juntas son de penetración completa (CJP), lo que significa que las placas se soldarán de ambos lados, con la raíz del primer pase como base para el último pase.

Para definir el espesor de las placas a soldar durante las pruebas de los procedimientos se deben analizar los espesores de las placas en las juntas existentes de la embarcación. Esta información se la puede encontrar en el plano de conexiones de soldadura entregado por el proveedor, provisto en el Anexo A. Las juntas más representativas del casco de la embarcación, junto a sus espesores se listan en la TABLA IV. En ella se pueden observar que los espesores de estas juntas se encuentran en un rango de 3,7mm a 10mm. Algunas de estas conexiones se encuentran señaladas en la Figura 2.1. En el plano con los detalles de soldado se incluyen también consideraciones a tomar para juntas mayores a aquellas especificadas en la tabla del plano. A pesar de no estar especificadas en la TABLA IV, en el casco se encuentran también juntas de 12mm de espesor, además de la quilla, que cuenta con un espesor de 25mm (1”).

---

(18) AWS D1.2, Figure 3.1, *Positions of Groove Welds ;* AWS D1.2, Figure 3.2, *Positions of Fillet Welds*

En la TABLA V se establecen los rangos de espesores de calificación definidos por la empresa calificadora. Debido a que se requiere calificar para espesores entre 3mm y 12mm, y para 25mm, se realizarán las pruebas con placas de 6mm (1/4”), para calificar juntas con espesores entre 3mm (1/8”) y 12mm (1/2”), y con placas de 12.7mm (1/2”) para calificar para 25mm (1”).

TABLA Nº IV

"JUNTAS DEL CASCO DE LA EMBARCACIÓN"

	Conexión	**Espesor de junta (mm)**	**Detalle de soldado**
1	Refuerzos de mamparo	5	W4
2	E. A. Mamparo sobre cubierta y casco	4	W4
3	Conexión fondo-quilla	6 / 10	det D
4	Conexión cubierta-casco (como orificios de drenaje)	4	W4 (W7)
5	Planchas de fondo y de casco	4 / 6 / 10	W1, W5
6	Encuadrado longitudinal (caso longitudinales) fuera del área de impacto)	3,7 / 4,2 / 4,7	W4
7	Viga de centro sobre quilla maciza	6	W4

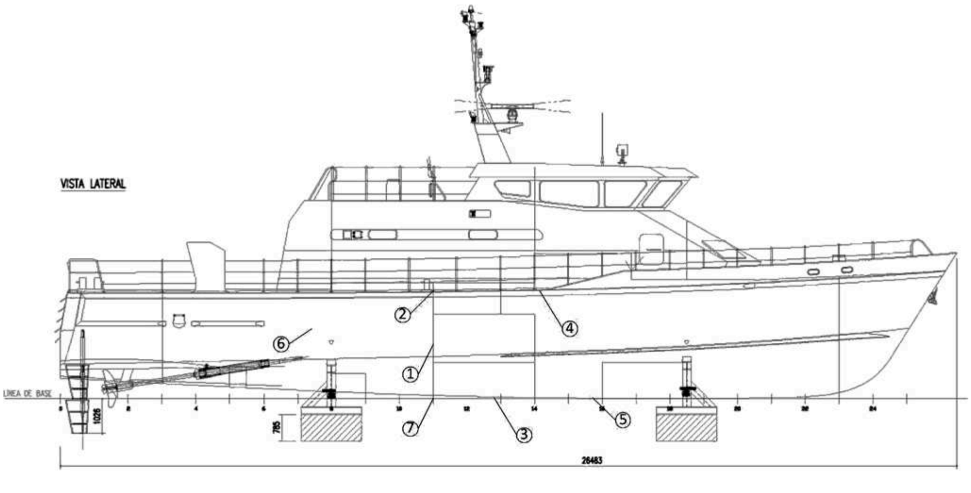

VISTA LATERAL
LINEA DE BASE
②
④
⑥
①
⑦
③
⑤
1026
785
26483
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24

Figura 2. 1.- Ubicación de juntas representativas en la lancha

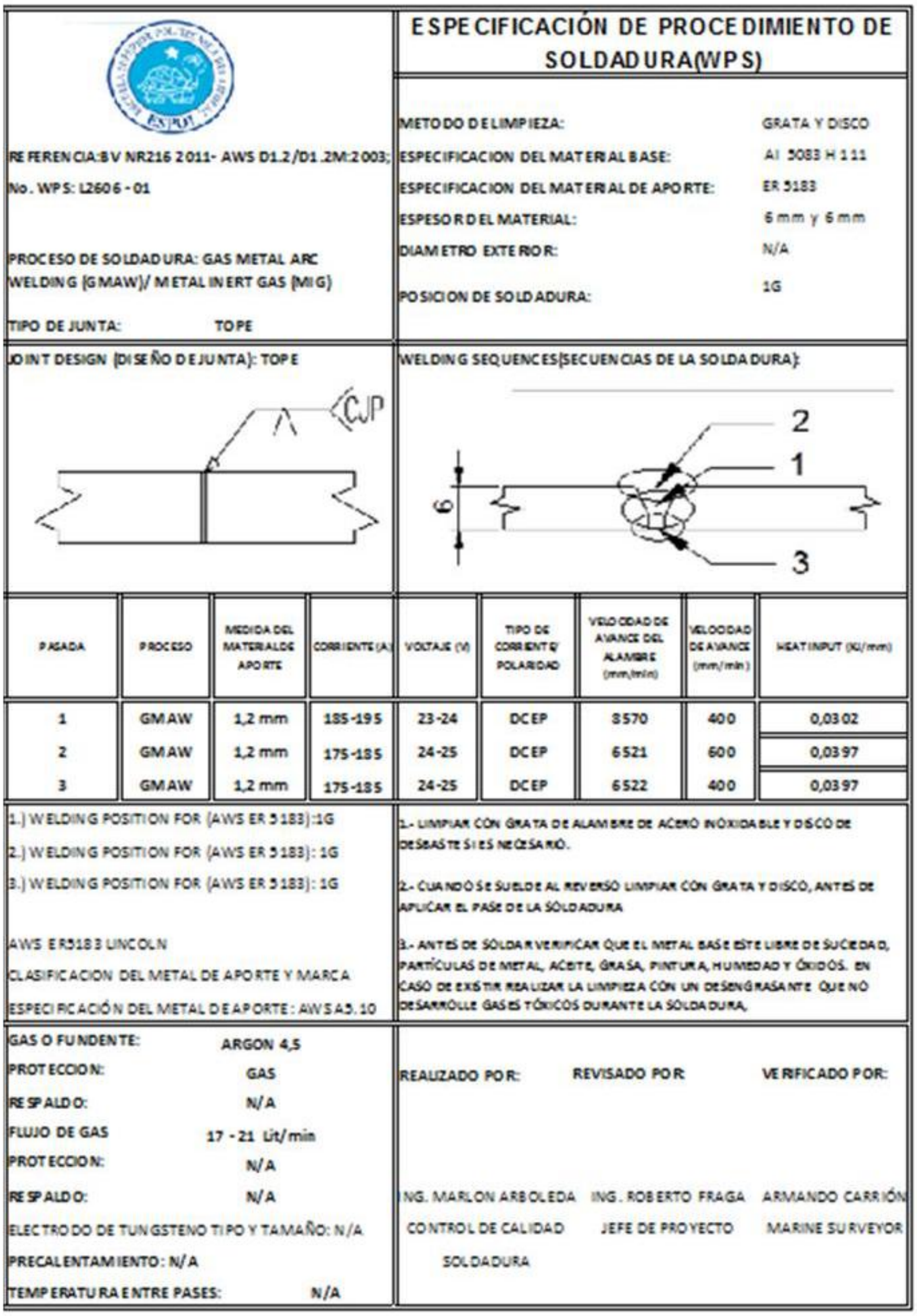
TABLA Nº V
“RANGO DE CALIFICACIÓN PARA ESPESORES (19)”

Espesor t de la junta de prueba (mm)	**Rango de espesores de calificación (mm)**
t ≤ 6	0,7t ≤ t ≤ 2,5t
6 < t ≤ 15	6 ≤ t ≤ 40

En los pWPS se encuentran definidos los parámetros propuestos antes de realizar las pruebas. Estos valores y variables se modificarán y adaptarán durante las pruebas de ser necesario hasta obtener resultados positivos de los ensayos. Una vez que éstos sean aceptados, los datos del pWPS correspondiente se utilizarán para la elaboración de los demás documentos y la posterior calificación de losprocedimientos. Los pWPS se muestran en las Figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.

---

(19) Fuente: Bureau Veritas, November 2011, Rule Note NR 476 DTM R00 E, Table 4



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(WPS)

REFERENCIA:BV NR216 2011- AWS D1.2/D1.2M:2003;
No. WPS: L2606 - 01

PROCESO DE SOLDADURA: GAS METAL ARC WELDING (GMAW)/ METAL INERT GAS (MIG)

TIPO DE JUNTA: TOPE

METODO DE LIMPIEZA: GRATA Y DISCO
ESPECIFICACION DEL MATERIAL BASE: Al 5083 H 111
ESPECIFICACION DEL MATERIAL DE APORTE: ER 5183
ESPESOR DEL MATERIAL: 6 mm y 6 mm
DIAMETRO EXTERIOR: N/A
POSICION DE SOLDADURA: 1G

JOINT DESIGN (DISEÑO DE JUNTA): TOPE

WELDING SEQUENCES(SECUENCIAS DE LA SOLDADURA):

PASADA	PROCESO	MEDIDA DEL MATERIAL DE APORTE	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	TIPO DE CORRIENTE/ POLARIDAD	VELOCIDAD DE AVANCE DEL ALAMBRE (mm/min)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)
1	GMAW	1,2 mm	185-195	23-24	DCEP	8570	400	0,0302
2	GMAW	1,2 mm	175-185	24-25	DCEP	6521	600	0,0397
3	GMAW	1,2 mm	175-185	24-25	DCEP	6522	400	0,0397

1.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183):1G
2.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G
3.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G

AWS ER5183 LINCOLN
CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE Y MARCA
ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE : AWS A5. 10

1.- LIMPIAR CON GRATA DE ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE Y DISCO DE DESBASTE SI ES NECESARIO.

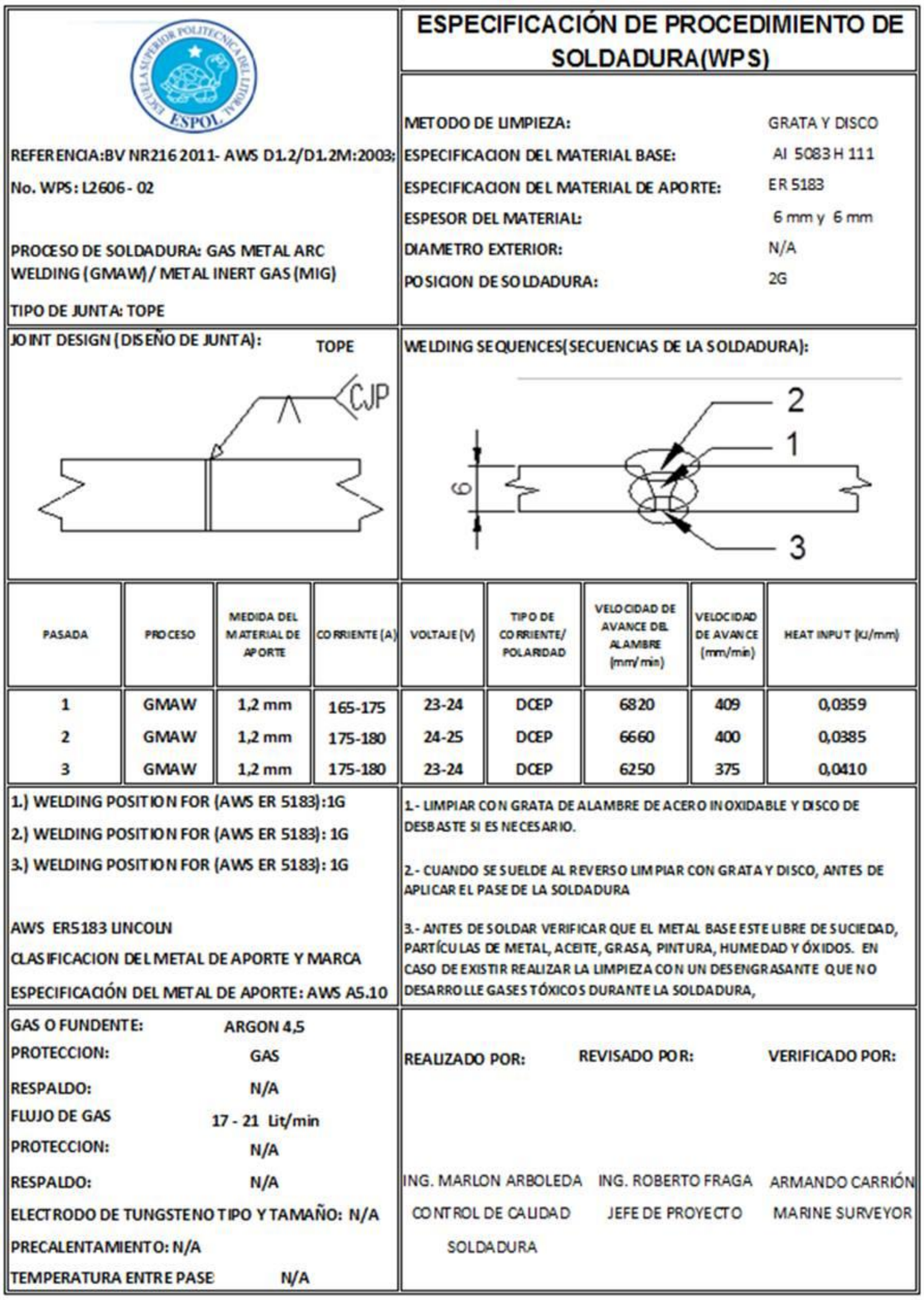
2.- CUANDO SE SUELDE AL REVERSO LIMPIAR CON GRATA Y DISCO, ANTES DE APLICAR EL PASE DE LA SOLDADURA

3.- ANTES DE SOLDAR VERIFICAR QUE EL METAL BASE ESTE LIBRE DE SUCIEDAD, PARTÍCULAS DE METAL, ACEITE, GRASA, PINTURA, HUMEDAD Y ÓXIDOS. EN CASO DE EXISTIR REALIZAR LA LIMPIEZA CON UN DESENGRASANTE QUE NO DESARROLLE GASES TÓXICOS DURANTE LA SOLDADURA,

GAS O FUNDENTE: ARGON 4,5
PROTECCION: GAS
RESPALDO: N/A
FLUJO DE GAS 17 - 21 Lit/min
PROTECCION: N/A
RESPALDO: N/A
ELECTRODO DE TUNGSTENO TIPO Y TAMAÑO: N/A
PRECALENTAMIENTO: N/A
TEMPERATURA ENTRE PASES: N/A

REALIZADO POR:	REVISADO POR	VERIFICADO POR:
ING. MARLON ARBOLEDA CONTROL DE CALIDAD SOLDADURA	ING. ROBERTO FRAGA JEFE DE PROYECTO	ARMANDO CARRIÓN MARINE SURVEYOR

Figura 2. 2.- pWPS para la posición 1G en 6mm


TOPE
CJP
2
1
3
6

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(WPS)

REFERENCIA:BV NR216 2011- AWS D1.2/D1.2M:2003;
No. WPS: L2606 - 02

PROCESO DE SOLDADURA: GAS METAL ARC WELDING (GMAW) / METAL INERT GAS (MIG)

TIPO DE JUNTA: TOPE

METODO DE LIMPIEZA: GRATA Y DISCO
ESPECIFICACION DEL MATERIAL BASE: Al 5083 H 111
ESPECIFICACION DEL MATERIAL DE APORTE: ER 5183
ESPESOR DEL MATERIAL: 6 mm y 6 mm
DIAMETRO EXTERIOR: N/A
POSICION DE SOLDADURA: 2G

JOINT DESIGN (DISEÑO DE JUNTA): TOPE

WELDING SEQUENCES(SECUENCIAS DE LA SOLDADURA):

PASADA	PROCESO	MEDIDA DEL MATERIAL DE APORTE	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	TIPO DE CORRIENTE/ POLARIDAD	VELOCIDAD DE AVANCE DEL ALAMBRE (mm/ min)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)
1	GMAW	1,2 mm	165-175	23-24	DCEP	6820	409	0,0359
2	GMAW	1,2 mm	175-180	24-25	DCEP	6660	400	0,0385
3	GMAW	1,2 mm	175-180	23-24	DCEP	6250	375	0,0410

1.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183):1G
2.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G
3.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G

AWS ER5183 LINCOLN
CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE Y MARCA
ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE: AWS A5.10

1.- LIMPIAR CON GRATA DE ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE Y DISCO DE DESBASTE SI ES NECESARIO.

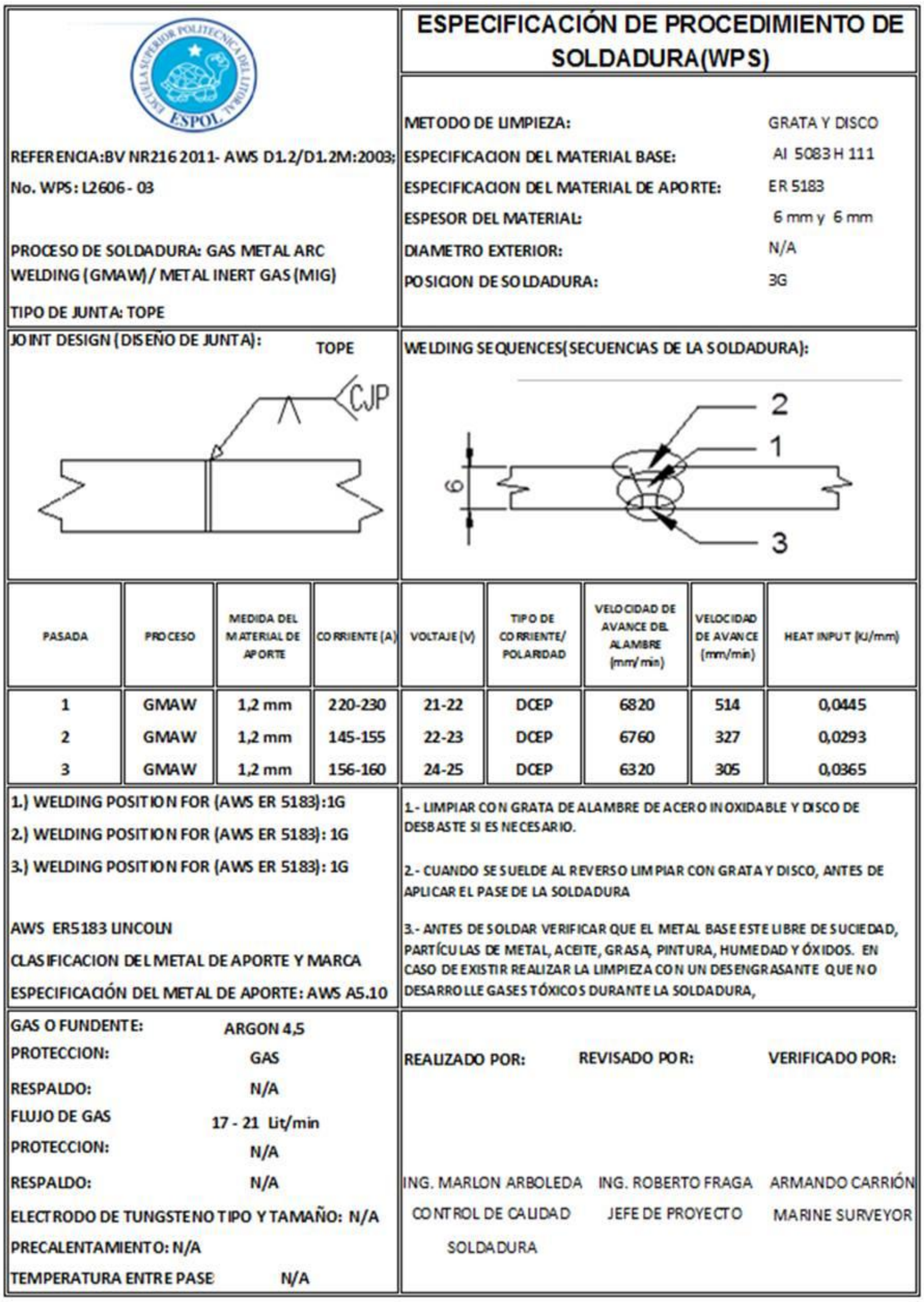
2.- CUANDO SE SUELDE AL REVERSO LIMPIAR CON GRATA Y DISCO, ANTES DE APLICAR EL PASE DE LA SOLDADURA

3.- ANTES DE SOLDAR VERIFICAR QUE EL METAL BASE ESTE LIBRE DE SUCIEDAD, PARTÍCULAS DE METAL, ACEITE, GRASA, PINTURA, HUMEDAD Y ÓXIDOS. EN CASO DE EXISTIR REALIZAR LA LIMPIEZA CON UN DESENGRASANTE QUE NO DESARROLLE GASES TÓXICOS DURANTE LA SOLDADURA,

GAS O FUNDENTE: ARGON 4,5
PROTECCION: GAS
RESPALDO: N/A
FLUJO DE GAS 17 - 21 Lit/min
PROTECCION: N/A
RESPALDO: N/A
ELECTRODO DE TUNGSTENO TIPO Y TAMAÑO: N/A
PRECALENTAMIENTO: N/A
TEMPERATURA ENTRE PASE N/A

REALIZADO POR:	REVISADO POR:	VERIFICADO POR:
ING. MARLON ARBOLEDA CONTROL DE CALIDAD SOLDADURA	ING. ROBERTO FRAGA JEFE DE PROYECTO	ARMANDO CARRIÓN MARINE SURVEYOR

Figura 2. 3.- pWPS para la posición 2G



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(WPS)

REFERENCIA:BV NR216 2011- AWS D1.2/D1.2M:2003;
No. WPS: L2606 - 03

PROCESO DE SOLDADURA: GAS METAL ARC WELDING (GMAW)/ METAL INERT GAS (MIG)

TIPO DE JUNTA: TOPE

METODO DE LIMPIEZA:	GRATA Y DISCO
ESPECIFICACION DEL MATERIAL BASE:	Al 5083 H 111
ESPECIFICACION DEL MATERIAL DE APORTE:	ER 5183
ESPESOR DEL MATERIAL:	6 mm y 6 mm
DIAMETRO EXTERIOR:	N/A
POSICION DE SOLDADURA:	3G

JOINT DESIGN (DISEÑO DE JUNTA): TOPE

WELDING SEQUENCES(SECUENCIAS DE LA SOLDADURA):

PASADA	PROCESO	MEDIDA DEL MATERIAL DE APORTE	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	TIPO DE CORRIENTE/ POLARIDAD	VELOCIDAD DE AVANCE DEL ALAMBRE (mm/min)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)
1	GMAW	1,2 mm	220-230	21-22	DCEP	6820	514	0,0445
2	GMAW	1,2 mm	145-155	22-23	DCEP	6760	327	0,0293
3	GMAW	1,2 mm	156-160	24-25	DCEP	6320	305	0,0365

1.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183):1G
2.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G
3.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G

AWS ER5183 LINCOLN
CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE Y MARCA
ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE: AWS A5.10

1.- LIMPIAR CON GRATA DE ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE Y DISCO DE DESBASTE SI ES NECESARIO.

2.- CUANDO SE SUELDE AL REVERSO LIMPIAR CON GRATA Y DISCO, ANTES DE APLICAR EL PASE DE LA SOLDADURA

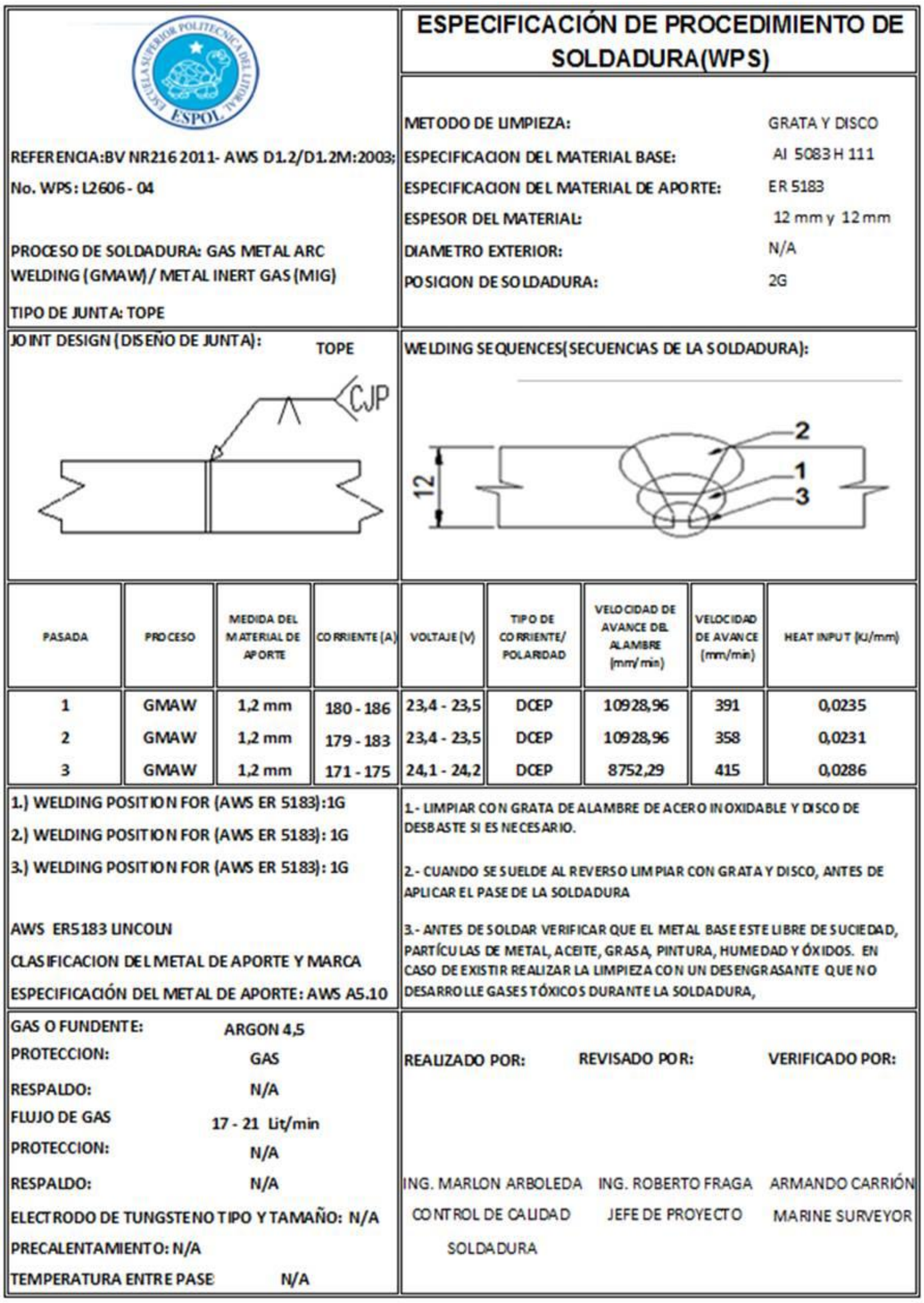
3.- ANTES DE SOLDAR VERIFICAR QUE EL METAL BASE ESTE LIBRE DE SUCIEDAD, PARTÍCULAS DE METAL, ACEITE, GRASA, PINTURA, HUMEDAD Y ÓXIDOS. EN CASO DE EXISTIR REALIZAR LA LIMPIEZA CON UN DESENGRASANTE QUE NO DESARROLLE GASES TÓXICOS DURANTE LA SOLDADURA,

GAS O FUNDENTE:	ARGON 4,5
PROTECCION:	GAS
RESPALDO:	N/A
FLUJO DE GAS	17 - 21 Lit/min
PROTECCION:	N/A
RESPALDO:	N/A

ELECTRODO DE TUNGSTENO TIPO Y TAMAÑO: N/A
PRECALENTAMIENTO: N/A
TEMPERATURA ENTRE PASE N/A

REALIZADO POR:	REVISADO POR:	VERIFICADO POR:
ING. MARLON ARBOLEDA CONTROL DE CALIDAD SOLDADURA	ING. ROBERTO FRAGA JEFE DE PROYECTO	ARMANDO CARRIÓN MARINE SURVEYOR

Figura 2. 4.- pWPS para la posición 3G



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(WPS)

REFERENCIA:BV NR216 2011- AWS D1.2/D1.2M:2003;
No. WPS: L2606 - 04

PROCESO DE SOLDADURA: GAS METAL ARC WELDING (GMAW)/ METAL INERT GAS (MIG)

TIPO DE JUNTA: TOPE

METODO DE LIMPIEZA: GRATA Y DISCO
ESPECIFICACION DEL MATERIAL BASE: Al 5083 H 111
ESPECIFICACION DEL MATERIAL DE APORTE: ER 5183
ESPESOR DEL MATERIAL: 12 mm y 12 mm
DIAMETRO EXTERIOR: N/A
POSICION DE SOLDADURA: 2G

JOINT DESIGN (DISEÑO DE JUNTA): TOPE

WELDING SEQUENCES(SECUENCIAS DE LA SOLDADURA):

PASADA	PROCESO	MEDIDA DEL MATERIAL DE APORTE	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	TIPO DE CORRIENTE/ POLARIDAD	VELOCIDAD DE AVANCE DEL ALAMBRE (mm/min)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)
1	GMAW	1,2 mm	180 - 186	23,4 - 23,5	DCEP	10928,96	391	0,0235
2	GMAW	1,2 mm	179 - 183	23,4 - 23,5	DCEP	10928,96	358	0,0231
3	GMAW	1,2 mm	171 - 175	24,1 - 24,2	DCEP	8752,29	415	0,0286

1.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183):1G
2.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G
3.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G

AWS ER5183 LINCOLN
CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE Y MARCA
ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE: AWS A5.10

1.- LIMPIAR CON GRATA DE ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE Y DISCO DE DESBASTE SI ES NECESARIO.

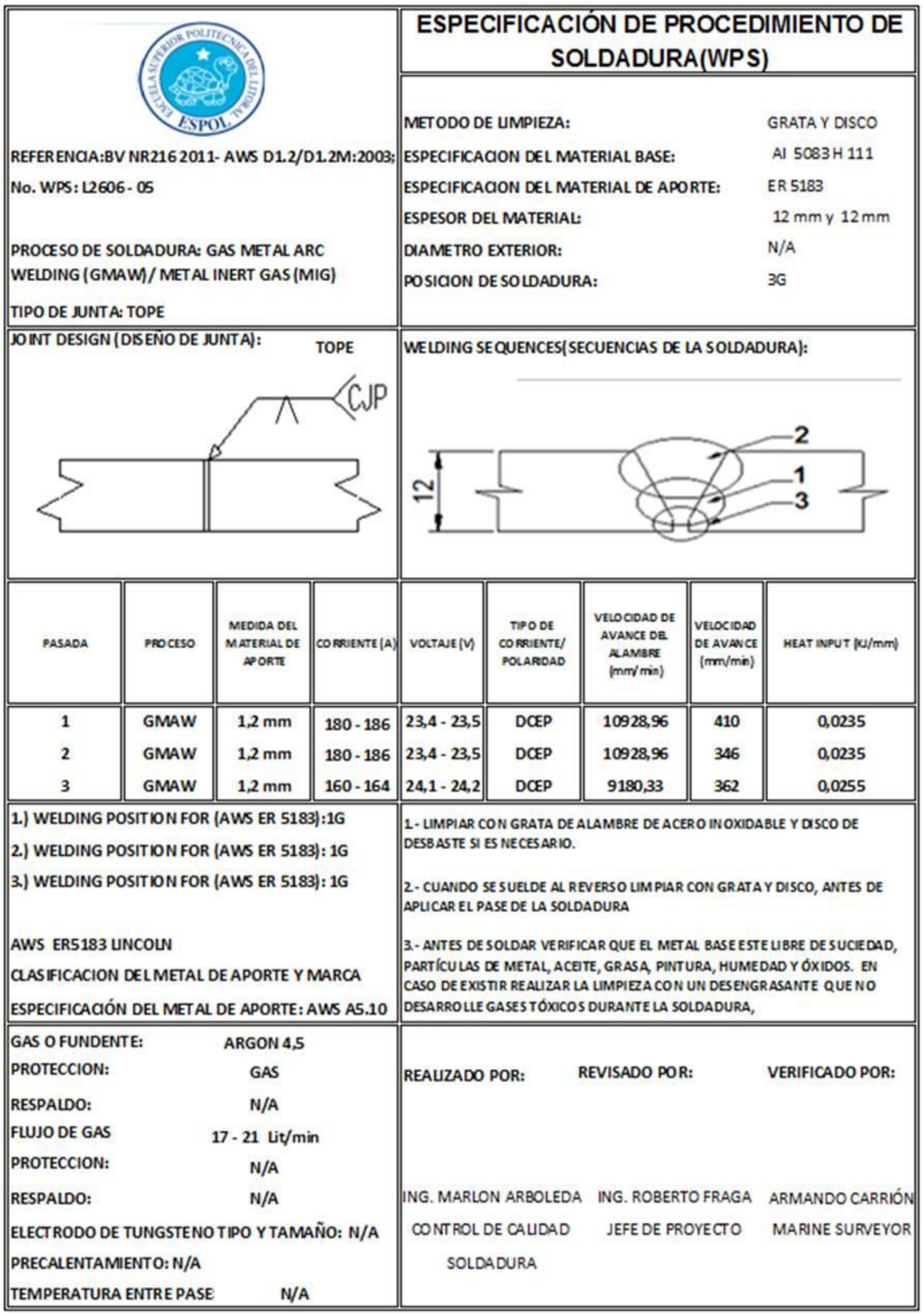
2.- CUANDO SE SUELDE AL REVERSO LIMPIAR CON GRATA Y DISCO, ANTES DE APLICAR EL PASE DE LA SOLDADURA

3.- ANTES DE SOLDAR VERIFICAR QUE EL METAL BASE ESTE LIBRE DE SUCIEDAD, PARTÍCULAS DE METAL, ACEITE, GRASA, PINTURA, HUMEDAD Y ÓXIDOS. EN CASO DE EXISTIR REALIZAR LA LIMPIEZA CON UN DESENGRASANTE QUE NO DESARROLLE GASES TÓXICOS DURANTE LA SOLDADURA,

GAS O FUNDENTE: ARGON 4,5
PROTECCION: GAS
RESPALDO: N/A
FLUJO DE GAS 17 - 21 Lit/min
PROTECCION: N/A
RESPALDO: N/A
ELECTRODO DE TUNGSTENO TIPO Y TAMAÑO: N/A
PRECALENTAMIENTO: N/A
TEMPERATURA ENTRE PASE N/A

REALIZADO POR:	REVISADO POR:	VERIFICADO POR:
ING. MARLON ARBOLEDA CONTROL DE CALIDAD SOLDADURA	ING. ROBERTO FRAGA JEFE DE PROYECTO	ARMANDO CARRIÓN MARINE SURVEYOR

Figura 2. 5.- pWPS para la posición 2G en 12mm



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(WPS)

REFERENCIA:BV NR216 2011- AWS D1.2/D1.2M:2003;
No. WPS: L2606 - 05

PROCESO DE SOLDADURA: GAS METAL ARC WELDING (GMAW)/ METAL INERT GAS (MIG)

TIPO DE JUNTA: TOPE

METODO DE LIMPIEZA:	GRATA Y DISCO
ESPECIFICACION DEL MATERIAL BASE:	Al 5083 H 111
ESPECIFICACION DEL MATERIAL DE APORTE:	ER 5183
ESPESOR DEL MATERIAL:	12 mm y 12 mm
DIAMETRO EXTERIOR:	N/A
POSICION DE SOLDADURA:	3G

JOINT DESIGN (DISEÑO DE JUNTA): TOPE

WELDING SEQUENCES(SECUENCIAS DE LA SOLDADURA):

PASADA	PROCESO	MEDIDA DEL MATERIAL DE APORTE	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	TIPO DE CORRIENTE/ POLARIDAD	VELOCIDAD DE AVANCE DEL ALAMBRE (mm/ min)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	HEAT INPUT (KJ/mm)
1	GMAW	1,2 mm	180 - 186	23,4 - 23,5	DCEP	10928,96	410	0,0235
2	GMAW	1,2 mm	180 - 186	23,4 - 23,5	DCEP	10928,96	346	0,0235
3	GMAW	1,2 mm	160 - 164	24,1 - 24,2	DCEP	9180,33	362	0,0255

1.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183):1G
2.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G
3.) WELDING POSITION FOR (AWS ER 5183): 1G

AWS ER5183 LINCOLN
CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE Y MARCA
ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE: AWS A5.10

1.- LIMPIAR CON GRATA DE ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE Y DISCO DE DESBASTE SI ES NECESARIO.

2.- CUANDO SE SUELDE AL REVERSO LIMPIAR CON GRATA Y DISCO, ANTES DE APLICAR EL PASE DE LA SOLDADURA

3.- ANTES DE SOLDAR VERIFICAR QUE EL METAL BASE ESTE LIBRE DE SUCIEDAD, PARTÍCULAS DE METAL, ACEITE, GRASA, PINTURA, HUMEDAD Y ÓXIDOS. EN CASO DE EXISTIR REALIZAR LA LIMPIEZA CON UN DESENGRASANTE QUE NO DESARROLLE GASES TÓXICOS DURANTE LA SOLDADURA,

GAS O FUNDENTE:	ARGON 4,5
PROTECCION:	GAS
RESPALDO:	N/A
FLUJO DE GAS	17 - 21 Lit/min
PROTECCION:	N/A
RESPALDO:	N/A
ELECTRODO DE TUNGSTENO TIPO Y TAMAÑO:	N/A
PRECALENTAMIENTO:	N/A
TEMPERATURA ENTRE PASE	N/A

REALIZADO POR:	REVISADO POR:	VERIFICADO POR:
ING. MARLON ARBOLEDA CONTROL DE CALIDAD SOLDADURA	ING. ROBERTO FRAGA JEFE DE PROYECTO	ARMANDO CARRIÓN MARINE SURVEYOR

Figura 2. 6.- pWPS para la posición 3G en 12mm

2. 2 Ejecución de pruebas de soldadura.

Una vez definidos los pWPS junto a los parámetros de soldadura, se procede a preparar las placas que se soldarán en las pruebas. El tamaño de éstas dependerá de los ensayos que se deberán realizar una vez soldadas las placas, ya que de las probetas se extraerán los especímenes necesarios para realizarlos. La norma NR 476 (20), *Approval Testing of Welders,* establece las dimensiones mínimas requeridas para las probetas: 150mm (6”) por 300mm (12”), como se observa en la Figura 2.7, que serán las utilizadas para las pruebas en ambos espesores.

El gas a utilizar será Argón 4.5, con una pureza del 99.9995%, cuidando que en el área donde se realizarán las pruebas no haya gran presencia de humedad o viento mayor a 8km/h. Mientras más protegida esté el área, el gas mantendrá un mayor grado de pureza, evitando así fallas en las pruebas por esta causa. El certificado del gas se encuentra en el Anexo B.

---

(20) Bureau Veritas, November 2011, Rule Note NR 476 DTM R00 E

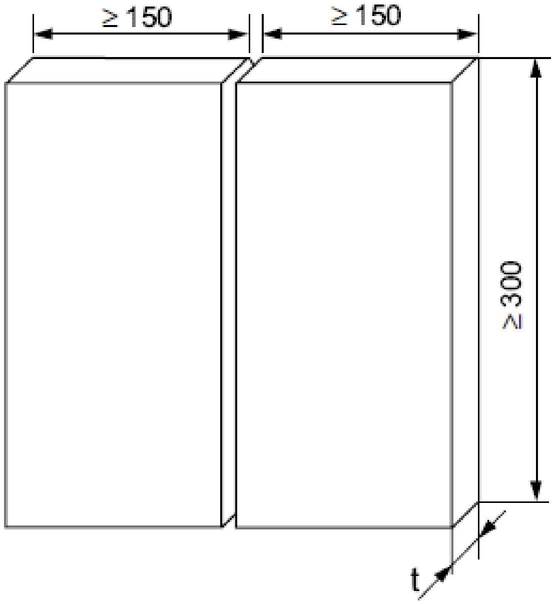


Figura 2. 7.- Dimensiones de la probeta para calificación (21)

- Preparación de las probetas

La preparación de las probetas es esencial e influye drásticamente en la calidad del cordón de soldadura. Las placas deben estar sin rastros de pintura, óxidos, grasa o humedad. Sus superficies y bordes, deben estar lisos, uniformes y sin fisuras. Para ello se debe utilizar una pulidora de disco suave y una grata, en caso de existir incrustaciones o salpicadura, como se muestra en la Figura 2.8.

---

(21) Fuente: Bureau Veritas, November 2011, Rule Note NR 476 DTM R00 E, Figure 7.

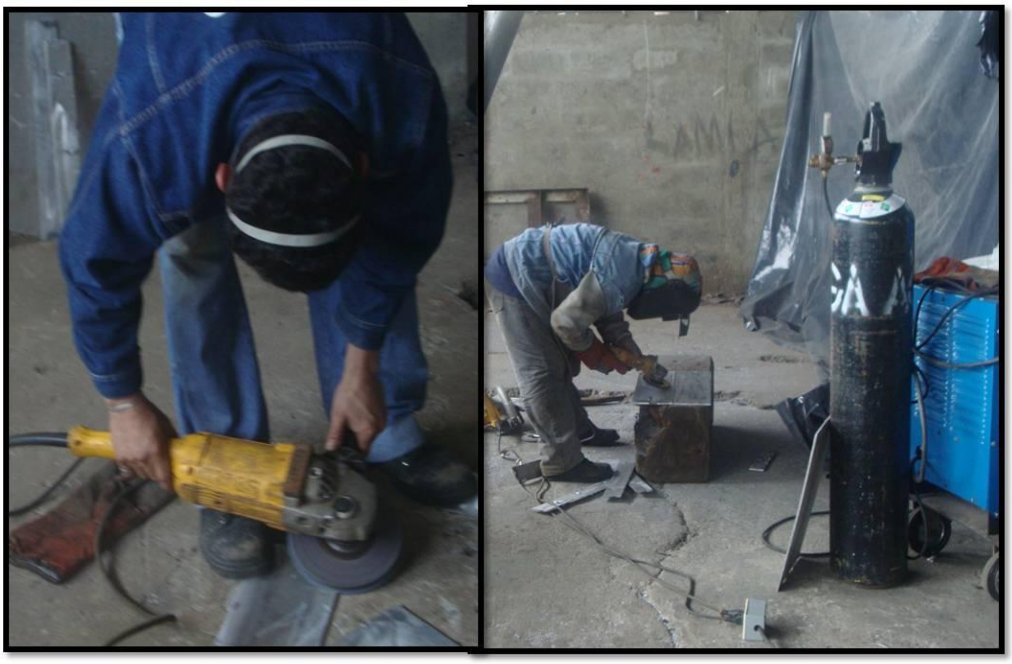


Figura 2. 8.- Preparación de probetas

Las placas deben estar previamente fijadas en la posición deseada antes de empezar la prueba. Para esto se pueden soldar con puntos a una base fija, fuera del área de soldadura. Una vez terminada la prueba, la soldadura debe ser pulida completamente hasta el nivel de la placa. La distancia entre las placas será la del diámetro del alambre, es decir, 1.2mm. Para mantener las placas fijas entre ellas y evitar que se doblen debido al calor aportado se soldarán 2 refuerzos perpendiculares al cordón, dejando una abertura en el refuerzo a la altura del cordón, como se muestra en la Figura 2.9. Las placas adjuntadas arriba y debajo de la probeta son colocadas para que el soldador empiece el trabajo desde la placa superior y termine en la inferior a la probeta, ya que son los lugares donde generalmente se generan fallas. De esta forma, la soldadura será uniforme a lo largo de la placa. Estas placas son luego removidas para los ensayos. En las Figura 2.9 y 2.10 se muestran un esquema y una imagen, respectivamente, de una probeta lista para soldar.

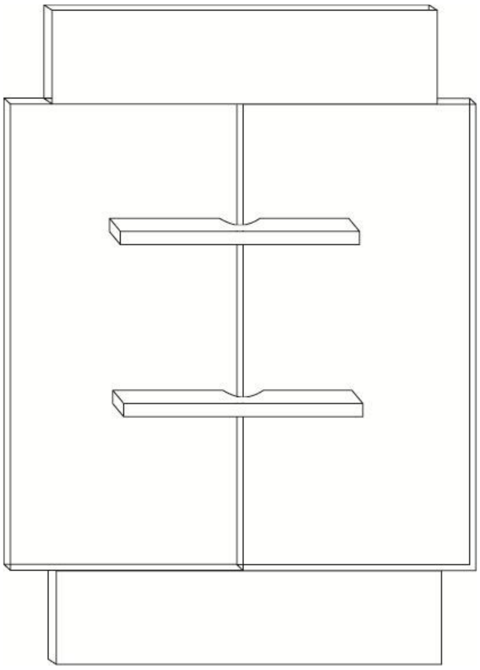


Figura 2. 9.- Esquema de la probeta con refuerzos

Las pruebas se realizarán en un espacio especialmente preparado y cerrado para limitar las corrientes de viento. El espacio para el pulido de las placas se encuentra separado del área de soldado, en el cual se encuentran la máquina de soldar, una mesa de trabajo y un poste de acero, en el cual se fijarán las probetas, como se muestra en la Figura 2.11.

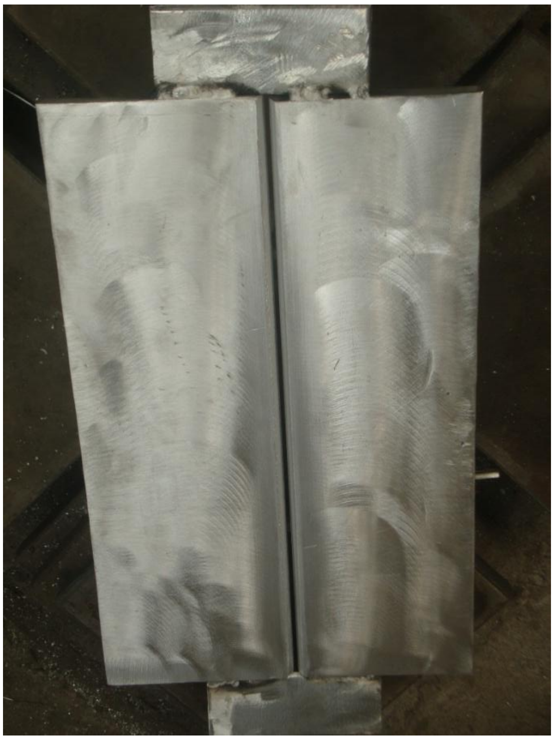


Figura 2. 10.- Probeta lista para soldar

Para realizar las pruebas se escogió al soldador con mayor experiencia y habilidad, buscando así obtener los mejores resultados. Una vez que el soldador ha terminado de preparar y fijar la probeta, procede a revisar y ajustar las condiciones de la máquina de soldar: sus conexiones, nivel de voltaje y amperaje, velocidad del alambre (en la pistola) y salida del gas.

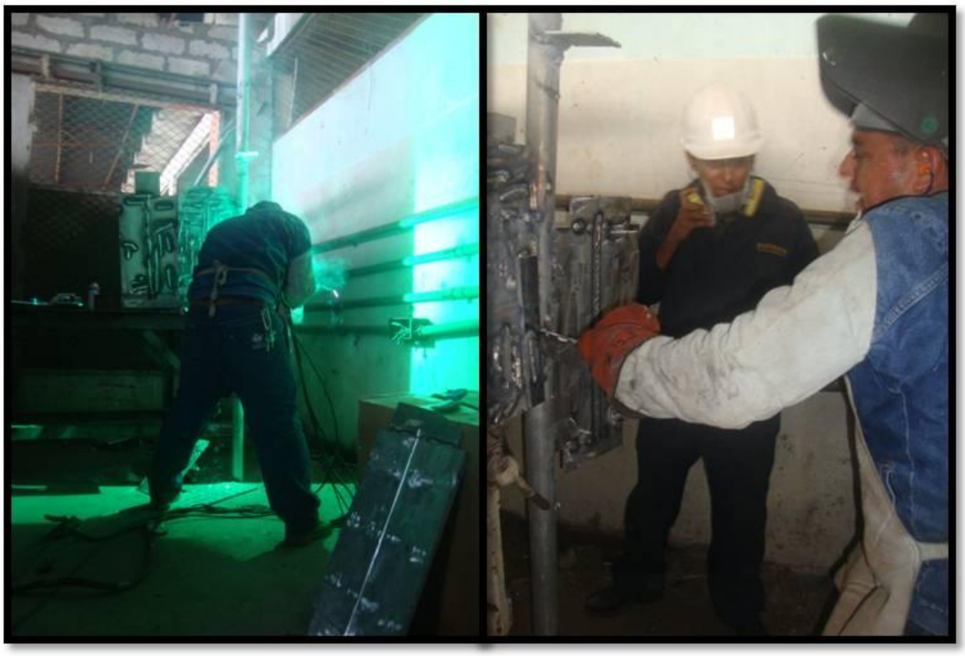


Figura 2. 11.- Área de prueba de soldadura para la calificación

- Ejecución de pruebas

Se debe revisar regularmente el estado de la boquilla de la pistola, ya que ésta tiene un corto tiempo de vida. Éstas pueden llegar a taparse por impurezas del argón o suciedad y tienden a deteriorarse por el constante y drástico cambio de temperatura al realizar las pruebas. Esto puede tener como consecuencia un aporte de calor muy alto, falta de continuidad en el aporte del alambre o la fundición del alambre dentro de la boquilla. Una vez que se ha comprobado el correcto funcionamiento de la máquina y demás condiciones de soldado, incluyendo la conexión a tierra, se procede a realizar la prueba dado que el soldador lleve correctamente el equipo de protección personal adecuado para este trabajo.

El soldador puede realizar un cordón de práctica en alguna otra placa para comprobar que los parámetros escogidos estén bien, y para obtener mayor confianza al realizar la prueba. Es recomendable cortar con pinzas la punta del alambre de soldadura cada vez que se vaya a empezar un cordón, ya que éste puede estar doblado por el soldado anterior y generar una ligera explosión al empezar a soldar, lo que se traduce en fallas. Entre cada pase se debe esperar que la probeta se enfríe, y si el siguiente se lo realizará en el lado opuesto de la probeta, se deberá pulir la raíz de la soldadura del primer pase con una grata y una pulidora de disco suave.

Se deben registrar las variaciones de los parámetros de la máquina mientras se realiza la prueba. Se registran el voltaje y amperaje marcado en la máquina, así como el tiempo de soldado. El tiempo es registrado para definir la velocidad de avance. Con estos valores o rangos se determina si los valores establecidos inicialmente son los correctos para una buena soldadura o si se deben modificar, dependiendo del resultado obtenido en la prueba. Si se encuentran fallas al inspeccionar la placa se procede a modificar estos valores dependiendo de la falla encontrada. En las TABLAS VI y VII se detallan los parámetros correspondientes a las placas aprobadas en cada posición.

En cada prueba debía estar presente el inspector de la empresa calificadora para asegurar que las pruebas hayan sido realizadas correctamente, de acuerdo a lo establecido en las normas. Luego de cada pase en cada probeta se realizó junto al inspector una inspección visual de la probeta soldada. En ciertos casos, si la falla resultaba ser muy grande, se resolvía que la probeta no pasaría los ensayos, y se repetía la prueba.

TABLA Nº VI

“PARÁMETROS PARA LAS PLACAS DE 6MM APROBADAS EN CADA POSICIÓN”.

Soldador: Pedro Banchón

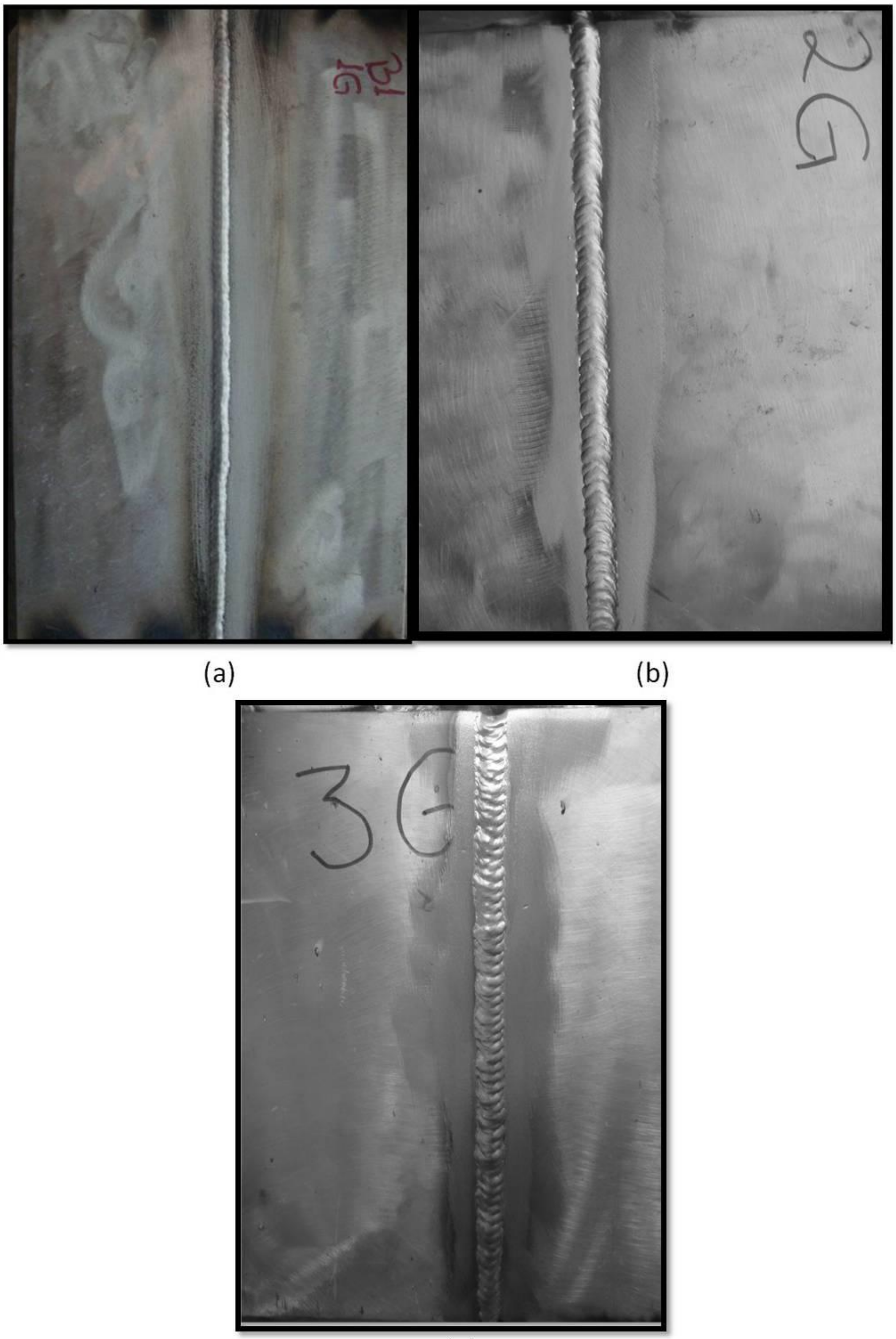
Posición	t (mm)	Pase	V (V)	I (A)	Tiempo (s)	Velocidad de avance (mm/min)
1G	6	1	23,0-24,0	185-195	35	400
		2	24,0-25,0	175-185	55	600
		3	24,0-25,0	175-185	59	400
2G	6	1	23,0-24,0	165-175	44	409
		2	24,0-25,0	175-180	45	400
		3	23,0-24,0	175-180	48	375
3G	6	1	21,0-22,0	220-230	35	514
		2	22,0-23,0	145-155	55	327
		3	24,0-25,0	156-160	59	305

TABLA Nº VII

“PARÁMETROS PARA LAS PLACAS DE 12MM APROBADAS EN CADA POSICIÓN”.

Soldador: Pedro Banchón

Posición	t (mm)	Pase	V (V)	I (A)	Tiempo (s)	Velocidad de avance (mm/min)
2G	12	1	23,4-23,5	180-186	70	391
		2	23,4-23,5	179 - 183	82	358
		3	24,1-24,2	171 - 175	63	415
3G	12	1	23,4-23,5	180 - 186	66	410
		2	23,4-23,5	180 - 186	85	346
		3	24,1-24,2	160 - 164	76	362



(a) (b)

(c)

Figura 2. 12.- Probetas calificadas para las distintas posiciones en 6mm: 1G (a), 2G (b), y 3G (c)

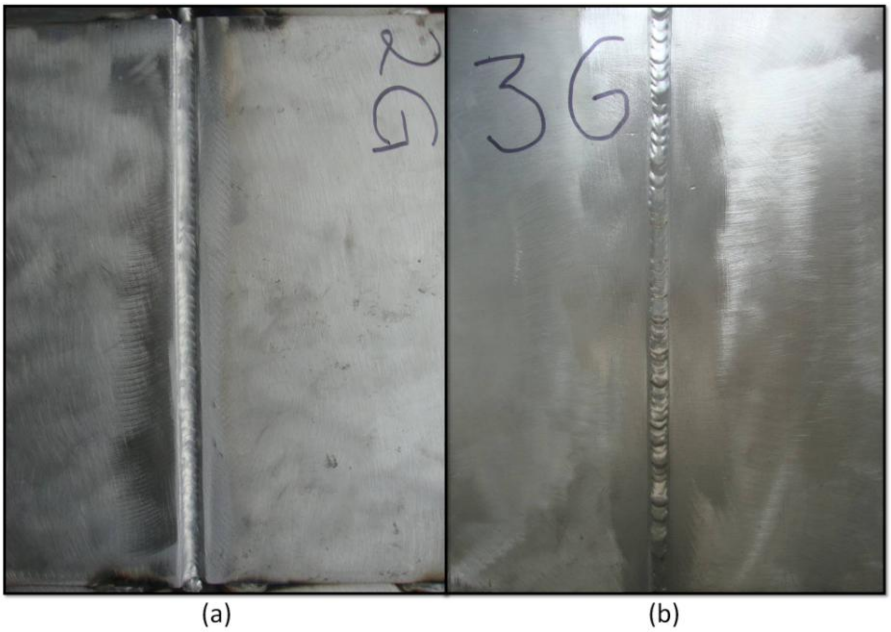


Figura 2. 13.- Probetas calificadas para distintas posiciones en 12mm: 2G (a) y 3G (b)

Figura 2. 14.- Inspección visual realizada junto al inspector de la empresa calificadora

2. 3 Ensayos a realizar para la verificación del cumplimiento de los requerimientos

El propósito de los ensayos que se realizarán a las probetas es la determinación de la existencia o ausencia de discontinuidades fuera del rango de aceptación para la aprobación de los procedimientos. Cada ensayo tiene sus características particulares y requisitos especiales que debe cumplir la probeta. Todos los ensayos deberán ser realizados ante la presencia del inspector de la empresa calificadora a menos que el laboratorio que lo realice esté certificado para hacerlos.

2.3.1. Ensayos no destructivos realizados

Inspección visual

El primer ensayo a realizar es la inspección visual. Este ensayo debe ser realizado antes, durante y después de la prueba, ya que con éste se controla que la prueba vaya siendo realizada de acuerdo a los requerimientos de las normas, además de conservar el nivel de seguridad durante las pruebas. Antes de realizar la prueba se debe revisar que el área donde se realizará esté libre de obstáculos y adecuadamente resguardada de corrientes de viento. Se debe revisar que las conexiones de la máquina de soldar estén aseguradas y correctamente dispuestas, además de confirmar que los parámetros señalados en la máquina sean aquellos especificados en el pWPS. La probeta que se soldará deberá cumplir los requisitos anteriormente descritos, en cuanto a su aspecto, arreglo y ubicación. En cuanto a la seguridad, se debe revisar que tanto el soldador, como las demás personas presente durante la prueba, tengan el equipo de protección personal adecuado, además de la presencia de un extinguidor a la mano en caso de algún accidente.

Luego de realizar cada pase en la probeta se deberá realizar la inspección para determinar la presencia de alguna discontinuidad significativa que amerite la detención de la prueba y la reanudación con una nueva placa. Esta inspección deberá ser realizada adecuadamente, con instrumentos de ayuda visual, como una lámpara y una lupa, de ser necesario, como se muestra en la Figura 2.15.

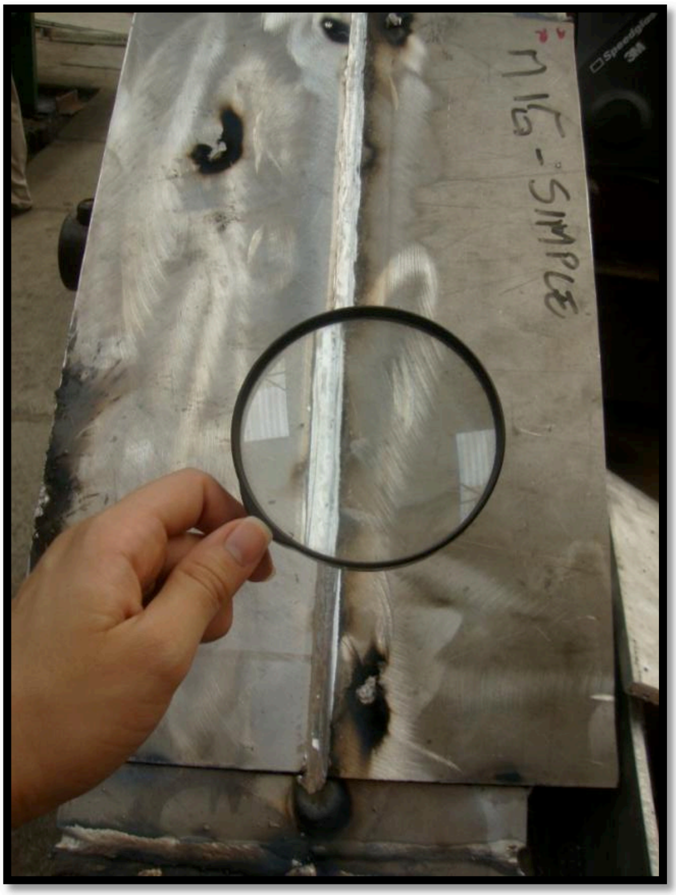


Figura 2. 15.- Inspección visual realizada en la probeta con ayuda de una lupa

Las discontinuidades frecuentemente halladas al inspeccionar las probetas fueron:

- Porosidades localizadas
- Mordedura o socavado
- Orificios en las placas
- Sobremonta excesiva
- Arco desviado

- Mal aspecto
- Salpicadura

En las Figuras 2.16, 2.17 y 2.18 se muestran algunas probetas con discontinuidades, que no aprobaron la inspección visual y debieron ser reemplazadas en una nueva prueba. Para determinar si una probeta es aprobada se deben analizar las normas. Éstas determinan los criterios de aceptación y los requerimientos de la probeta antes y después de realizar la prueba. Algunos de estos límites se detallan en la TABLA VIII. Fallas como orificios en las placas y fisuras descartan inmediatamente a la probeta.

TABLA Nº VIII

“CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA INSPECCIÓN VISUAL”

Discontinuidad	**Criterio de aceptación**
Porosidad	Ø ≤ 05.mm Longitud acumulada ≤ 10% longitud total
Sobremonta	1mm ≤ h ≤ 3mm
Mordedura	h ≤ 0.5mm
Socavado	50mm acumulado en 300mm de soldadura Profundidad ≤ 2mm

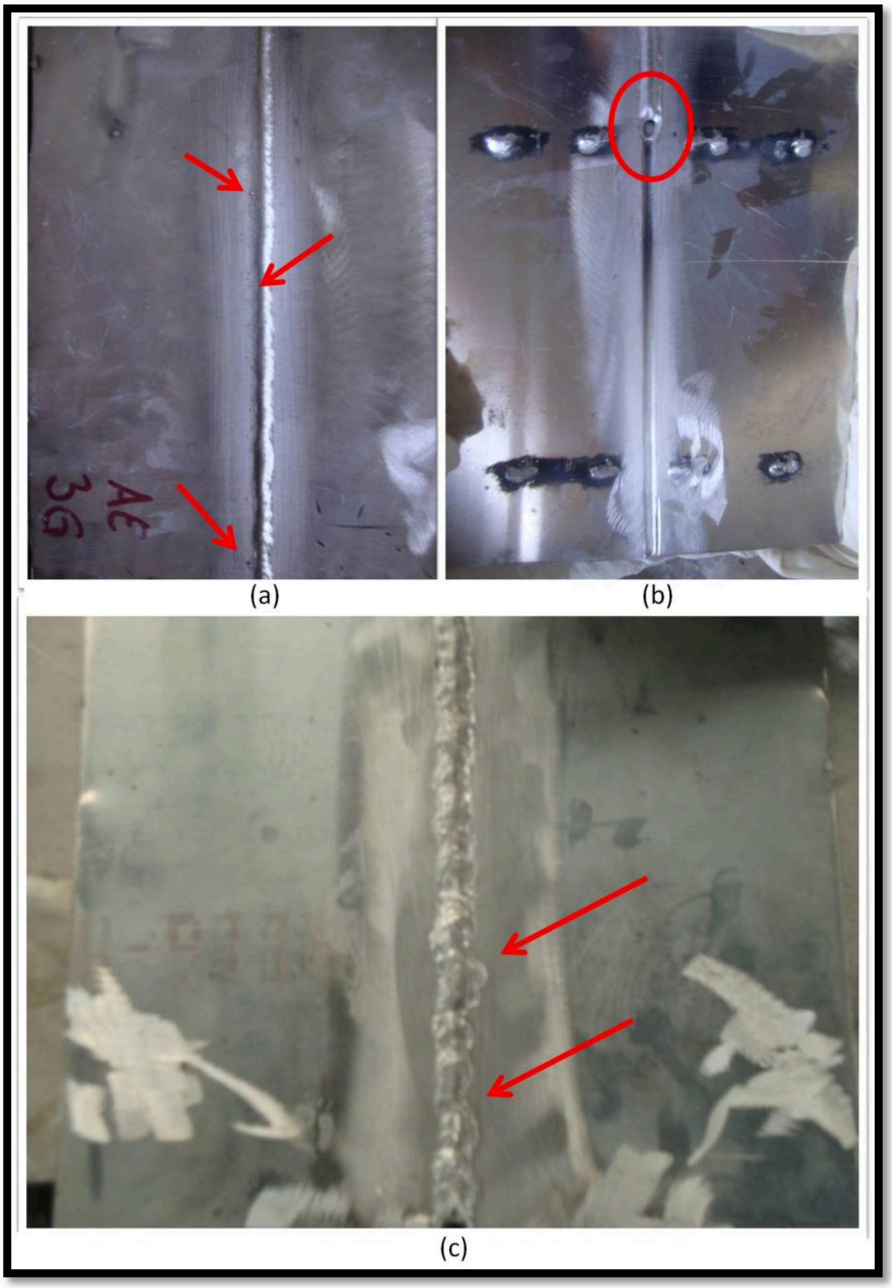
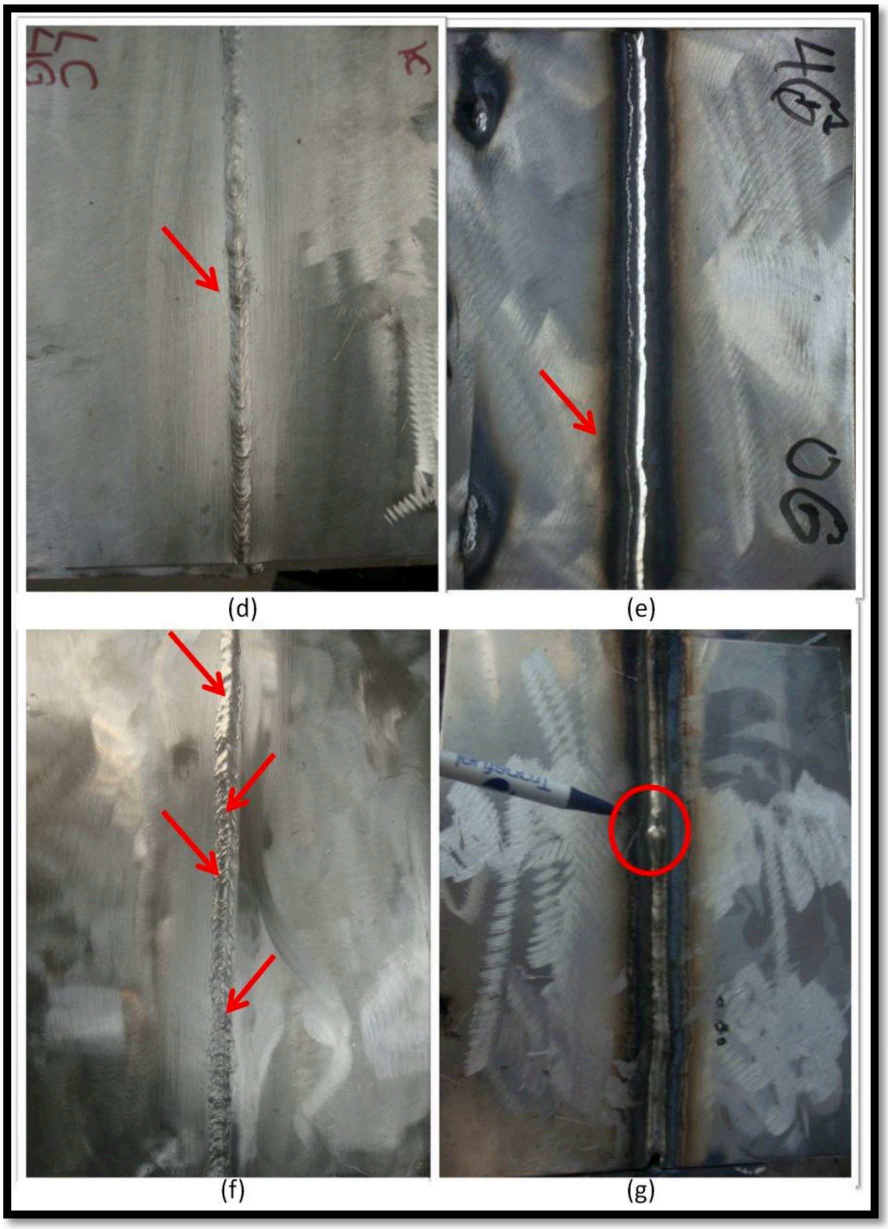


Figura 2. 16.- Fallas en probetas: (a) salpicadura, (b) orificios en placas, (c) arco desviado



(d) (e)

(f) (g)

Figura 2. 17.- Fallas en probetas: (d) mordedura, (e) calor excesivo, (f) porosidad, (g) sobremonta excesiva

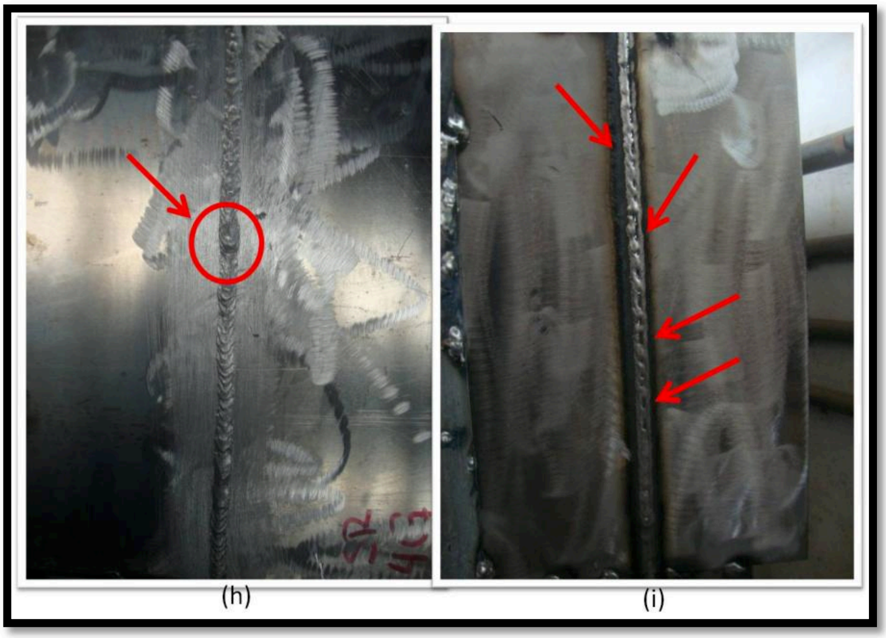
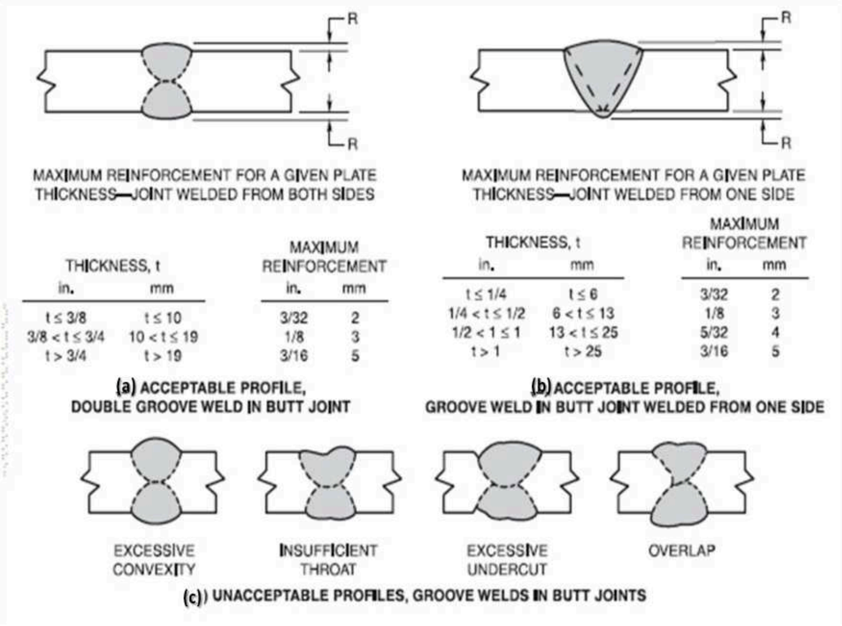


Figura 2. 18.- Fallas en probetas: (h) sobremonta excesiva, (i) porosidad y mal aspecto


R
R
MAXIMUM REINFORCEMENT FOR A GIVEN PLATE THICKNESS—JOINT WELDED FROM BOTH SIDES
R
R
MAXIMUM REINFORCEMENT FOR A GIVEN PLATE THICKNESS—JOINT WELDED FROM ONE SIDE
EXCESSIVE CONVEXITY
INSUFFICIENT THROAT
EXCESSIVE UNDERCUT
OVERLAP

THICKNESS, t		MAXIMUM REINFORCEMENT	
in.	mm	in.	mm
t ≤ 3/8	t ≤ 10	3/32	2
3/8 < t ≤ 3/4	10 < t ≤ 19	1/8	3
t > 3/4	t > 19	3/16	5

(a) ACCEPTABLE PROFILE,
DOUBLE GROOVE WELD IN BUTT JOINT

THICKNESS, t		MAXIMUM REINFORCEMENT	
in.	mm	in.	mm
t ≤ 1/4	t ≤ 6	3/32	2
1/4 < t ≤ 1/2	6 < t ≤ 13	1/8	3
1/2 < t ≤ 1	13 < t ≤ 25	5/32	4
t > 1	t > 25	3/16	5

(b) ACCEPTABLE PROFILE,
GROOVE WELD IN BUTT JOINT WELDED FROM ONE SIDE

(c)) UNACCEPTABLE PROFILES, GROOVE WELDS IN BUTT JOINTS

Figura 2. 19.- Criterio de aceptación para perfiles de soldadura (22)

Tintas Penetrantes

Las probetas con discontinuidades dentro del criterio de aceptación son luego expuestas a un ensayo de Tintas Penetrantes. La primera fase del ensayo consiste en la preparación de la superficie que se va a ensayar, eliminando cualquier elemento contaminante que pudiera dificultar o interferir en el proceso. La limpieza será realizada con un removedor a base de solvente, SKC-S clase 2 (23).El solvente es aplicado directamente sobre la superficie, frotándola con un trapo o papel toalla hasta que se observe libre de contaminantes. Se debe dejar secar el solvente sobre la probeta unos minutos hasta que éste se evapore. En la Figura 2.20 se muestran los tintes utilizados para el proceso.

---

(22) Fuentes: AWS D1.2, Figure 4.2, *Acceptable and unnacceptable Welds Profiles (see 4.19)*

Una vez que la superficie se encuentra limpia y seca, se procede a la fase 2, que corresponde a la aplicación del penetrante. Se utilizará un penetrante SKL-SP2 de tipo II (tinta visible), método C, de color rojo (24). El penetrante se aplicará por medio de rociado (al igual que el removedor y el revelador), directamente en la superficie a ensayar, a unos 15cm (6”) de la misma. Para soldadura de aluminio, se recomienda dejar actuar al penetrante por un tiempo aproximado de 30 minutos.

---

(23) Spotcheck® SKC-S, Magnaflux

(24) Spotcheck® SKL-SP2 Solvent Removable Penetrant, Magnaflux

Una vez transcurrido el tiempo de penetración, se debe remover el exceso de penetrante en la superficie frotándola con un trapo o papel toalla que no desprenda hilachas. Esta operación debe ser repetida hasta remover la mayor cantidad de penetrante. El penetrante restante se debe limpiar frotando suavemente un trapo o papel toalla humedecido con el limpiador de solvente, hasta que la superficie quede limpia, para luego dejarlo secar unos minutos.

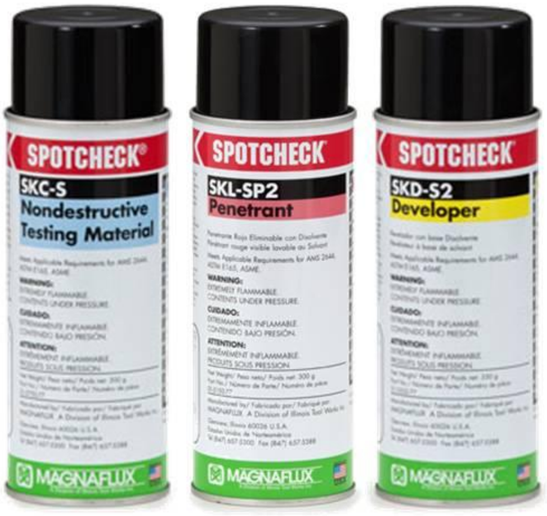

SPOTCHECK
SKC-S
Nondestructive Testing Material
SPOTCHECK
SKL-SP2
Penetrant
SPOTCHECK
SKD-S2
Developer
MAGNAFLUX
MAGNAFLUX
MAGNAFLUX

Figura 2. 20.- Tintas utilizadas para el ensayo. De izquierda a derecha: Limpiador o removedor, Penetrante y Revelador

El revelador a utilizar, SKD-S2 (25) tipo 2, será aplicado por medio de rociado a lo largo del cordón de soldadura, cubriendo completamente la superficie deseada. El revelador comenzará a presentar manchas rojas, que corresponden a las discontinuidades. Las principales discontinuidades encontradas con este ensayo corresponden a fisuras, socavado y porosidades. Para este ensayo, los criterios de aceptación van de la mano con aquellos correspondientes a la Inspección Visual, algunos destacados en la TABLA VIII. En la Figura 2.21 se muestran algunas imágenes del ensayo.

---

(25) Spotcheck® SKD-S2 Non-Halogenated Solvent Developer, Magnaflux

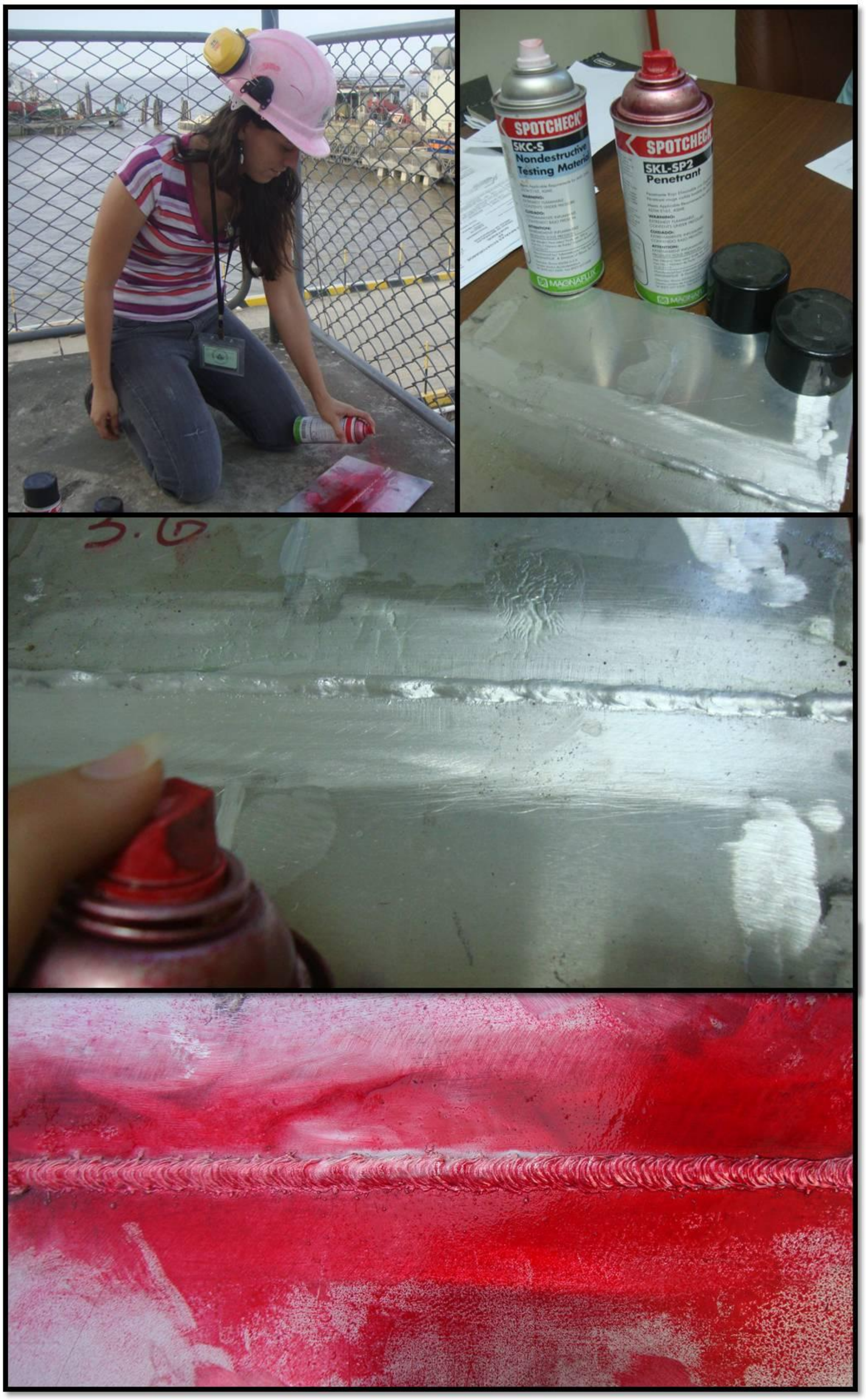

SPOTCHECK
SKC-S
Nondestructive
Testing Material
SPOTCHECK
SKL-SP2
Penetrant
MAGNAFLUX
3.6

Figura 2. 21.- Ensayo de Tintas Penetrantes

Radiografía

Una vez que las probetas han aprobado la inspección por Tintas Penetrantes, éstas son llevadas a un laboratorio para realizar el ensayo de Radiografía. Con las imágenes obtenidas se pueden observar las discontinuidades internas del cordón de soldadura en cada probeta. Debido a que el laboratorio donde se realizaron los ensayos es certificado, no se necesita la presencia del inspector durante los mismos. La TABLA IX muestra los datos generales con los que se realizaron los ensayos.

Antes de realizar la radiografía en una probeta, ésta debe tener un acabado que cumpla lo requerido en el artículo 4.19.3 de la norma AWS D1.2. La superficie debe ser pulida, pero su espesor no debe ser reducido más de 1mm (1/35”) o el 5% de su espesor, el que sea menor. La radiografía se realizará con una sola fuente de Iridio192, y una pantalla o lámina de plomo posterior como lo recomiendan la norma AWS D1.2, Sección 5.10 y la norma ASTM E 94.

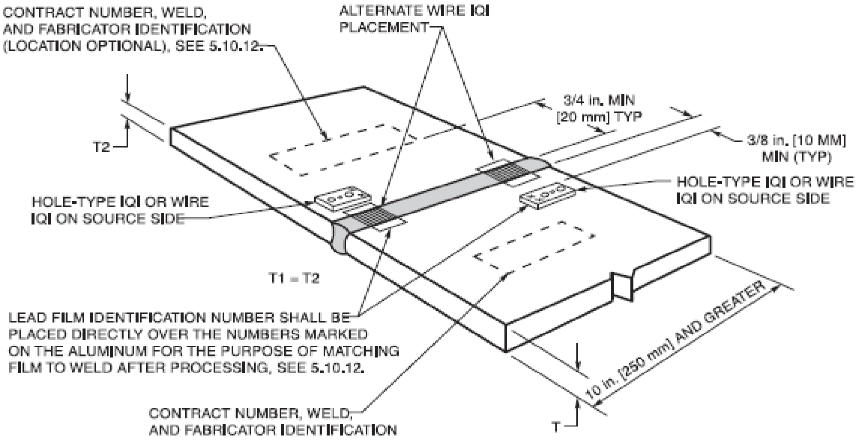
TABLA Nº IX

“INFORMACIÓN GENERAL PARA LOS ENSAYOS DE RADIOGRAFÍA”

Fuente de radiación	Iridio 192
Exposición	69 Ci-min
Distancia fuente-película	60 cm
Película	AGFA D7
Revelado	Manual
Norma aplicada	ASME Sección V, Art. 2 ASME Sec. IX
Técnica	Simple Pared / Simple Imagen
Penetrámetro	ASTM Nº 15 y Nº 20
Pantallas de plomo	0.127mm / 0.127 mm
Densidad observada	2.0 – 3.0
Elementos inspeccionados	Planchas (probetas) soldadas

El Índice de Calidad de Imagen (ICI) señala la sensibilidad obtenida en las distintas zonas de la radiografía y establece la variación mínima de espesor que se puede observar en la misma. La norma AWS D1.2 establece que para planchas de espesor uniforme igual o mayor a 250mm (10”) al menos 2 ICI deben poder observarse claramente en la imagen radiográfica, ubicados como se muestra en la Figura 2.22.

Los ICI utilizados durante el ensayo se describen en la TABLA IX.


CONTRACT NUMBER, WELD, AND FABRICATOR IDENTIFICATION (LOCATION OPTIONAL), SEE 5.10.12.
ALTERNATE WIRE IQI PLACEMENT
3/4 in. MIN [20 mm] TYP
3/8 in. [10 MM] MIN (TYP)
T2
HOLE-TYPE IQI OR WIRE IQI ON SOURCE SIDE
HOLE-TYPE IQI OR WIRE IQI ON SOURCE SIDE
T1 = T2
LEAD FILM IDENTIFICATION NUMBER SHALL BE PLACED DIRECTLY OVER THE NUMBERS MARKED ON THE ALUMINUM FOR THE PURPOSE OF MATCHING FILM TO WELD AFTER PROCESSING, SEE 5.10.12.
10 in. [250 mm] AND GREATER
CONTRACT NUMBER, WELD, AND FABRICATOR IDENTIFICATION (LOCATION OPTIONAL), SEE 5.10.12.
T

NOTE: ALTERNATE SOURCE SIDE IQI PLACEMENT MAY BE USED FOR TUBULAR APPLICATIONS AND OTHER APPLICATIONS WHEN APPROVED BY THE ENGINEER.

Figura 2. 22.- Identificación radiográfica y ubicación de los ICI en probetas de 250mm, o mayor, de espesor uniforme (26)

Finalmente, las radiografías obtenidas son observadas frente a una fuente de iluminación lo suficientemente fuerte como para observar una lámina con una densidad de 4. De esta forma se pueden observar las discontinuidades existentes en el cordón de soldadura para cada posición. En la Figura 2.23 se pueden observar algunas radiografías de probetas.

---

(26) Fuente: AWS D1.2, Figure 5.1—*Radiographic Identification and Hole-Type or Wire IQI Locations on Approximately Equal Thickness Joints 10 in. [250 mm] and Greater in Length (see 5.10.7)*

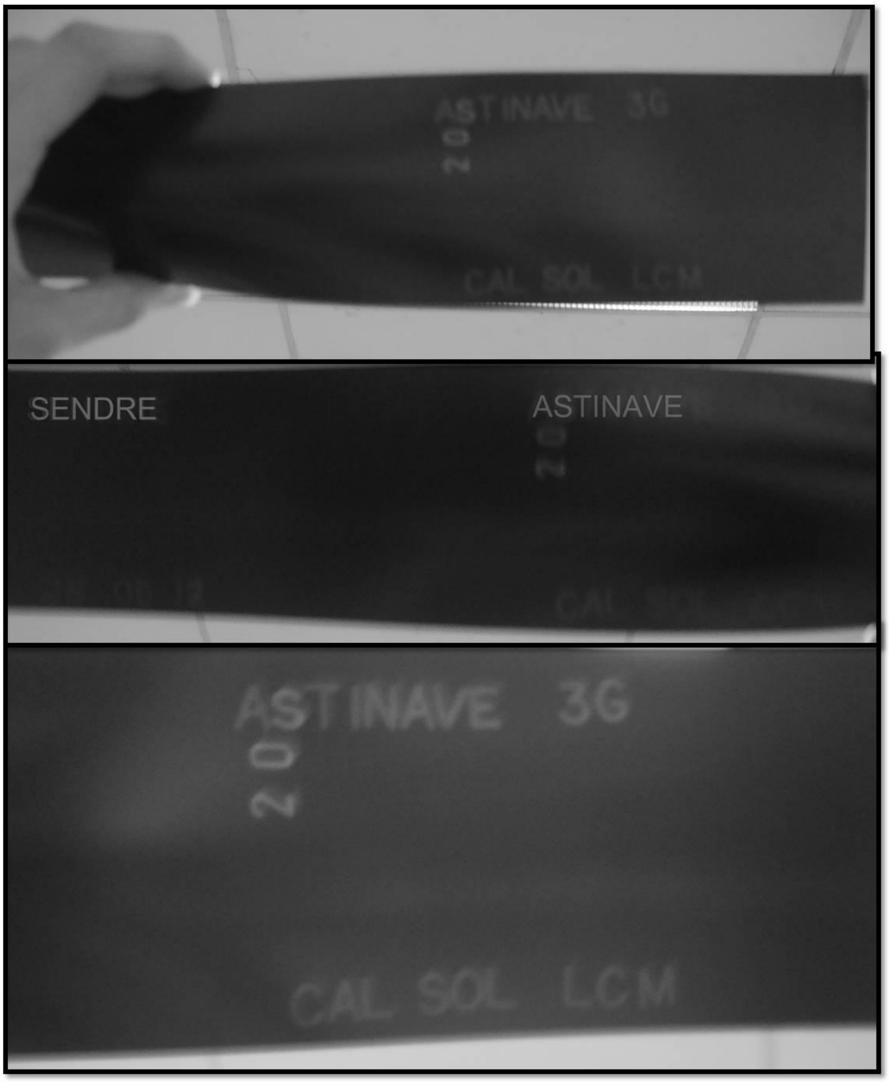

ASTINAVE 3G
20
CAL SOL LCM
SENDRE
ASTINAVE
20
CAL SOL
ASTINAVE 3G
20
CAL SOL LCM

Figura 2. 23.- Radiografías de probetas para calificación de procedimientos

Los criterios de aceptación para este ensayo se detallan en la Parte D de la norma AWS D1.2. Ésta determina que ninguna porosidad individual, con un diámetro mayor a 2mm (2/3”), puede ser más de 2/3 del tamaño de la soldadura o tener alguna otra discontinuidad a una distancia menor a 3 veces su mayor dimensión. En caso de presentarse discontinuidades agrupadas, dentro de las cuales hay una o más con una dimensión mayor a 2mm (3/32”), la suma de las dimensiones de todas las discontinuidades debe ser menor a 6 veces el tamaño de la soldadura. Adicionalmente, el espacio entre 2 discontinuidades adyacentes debe ser mayor al triple de la mayor dimensión de la discontinuidad más grande entre ellas. En el caso de que las discontinuidades sean menores a 2mm (3/32”), la suma entre ellas no debe exceder los 10mm (3/8”). Solamente las porosidades cuya mayor dimensión exceda 1mm (1/32”) serán consideradas al analizar las películas radiográficas.

2.3.2. Ensayos destructivos realizados

Una vez que las probetas han aprobado la Inspección Visual y Radiografía, se procede a maquinar los especímenes necesarios para realizar los ensayos destructivos. Los especímenes se obtienen de las probetas aprobadas, desde la ubicación que muestra la Figura 2.24. En la parte central de la probeta se mantiene un espacio libre para obtener algún espécimen adicional en caso de que alguno de los inicialmente preparados sufra algún golpe, fractura o falla durante o después del maquinado.

Para obtenerlos, primeramente se cortan placas con un ancho 10mm (3/8”) mayor al requerido con la cortadora de disco. Posteriormente, se reducen al ancho requerido para el ensayo utilizando la fresadora, incluyendo la curvatura de sección reducida necesaria en los especímenes para el ensayo de tracción. Los bordes de los especímenes deben ser pulidos y suavizados, y las superficies frontal y posterior deben ser pulidas hasta que no se pueda observar el cordón de soldadura.

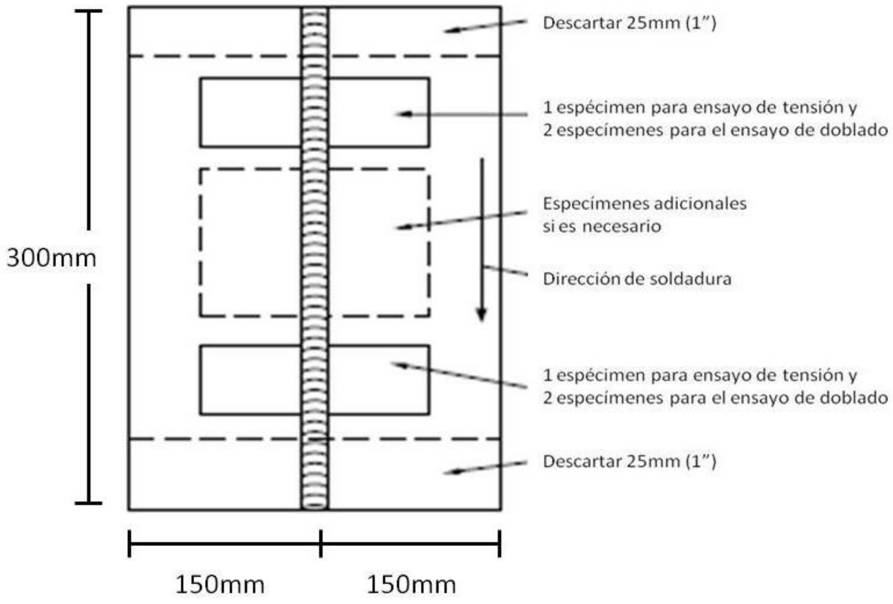
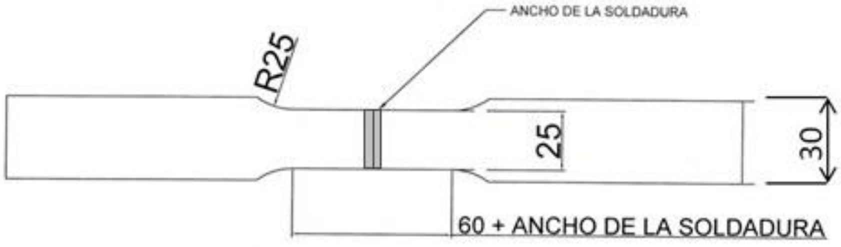

Descartar 25mm (1")
1 espécimen para ensayo de tensión y
2 especímenes para el ensayo de doblado
Especímenes adicionales
si es necesario
Dirección de soldadura
1 espécimen para ensayo de tensión y
2 especímenes para el ensayo de doblado
Descartar 25mm (1")
300mm
150mm
150mm

Figura 2. 24.- Ubicación de especímenes en probeta

Especímenes para ensayo de tracción


ANCHO DE LA SOLDADURA
R25
25
30
60 + ANCHO DE LA SOLDADURA

Especímenes para ensayos de doblado

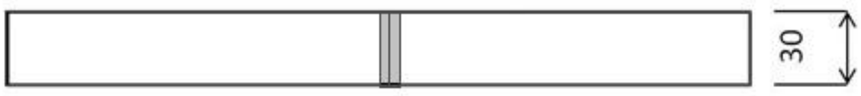


Figura 2. 25.- Esquema de los especímenes para los ensayos destructivos

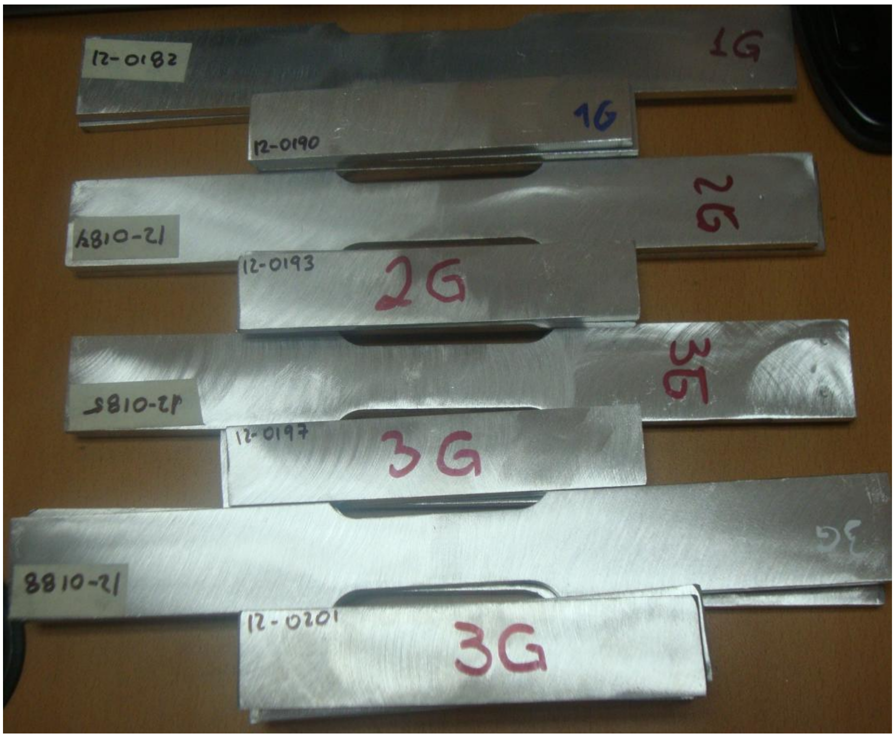

12-0182
1G
1G
12-0190
12-0184
2G
12-0193
2G
12-0185
3G
12-0197
3G
12-0188
3G
12-0201
3G

Figura 2. 26.- Especímenes para ensayos de tracción y doblado

Los ensayos de tensión y doblado se realizaron en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Este laboratorio cuenta con una acreditación, en cumplimiento con las exigencias de la ISO/IEC 17025, por lo que la presencia del inspector de la empresa calificadora durante los ensayos no fue necesaria. Los reportes de resultados de los ensayos para las probetas aprobadas se encuentran en el Apéndice C.

Ensayo de tracción

El ensayo de tracción fue realizado en la Máquina Universal de Ensayos (UTM-600KN), mostrada en la Figura 2.27. Este equipo es capaz de realizar diversos ensayos como tensión, compresión y flexión. Tiene un límite de 600KN y una precisión de 0.5% de la máxima carga aplicada, además de estar conectado a un dispositivo que registra los datos obtenidos, como el esfuerzo de rotura y la elongación de la probeta hasta el punto de rotura. Estos valores, así como la curva característica del espécimen, son registrados y almacenados en una computadora conectada al equipo. La medición de la fuerza del ensayo y su correcta aplicación se realiza con un sistema de válvulas servo-hidráulicas automático.

Una vez terminado el ensayo se puede observar en los especímenes ensayados la ubicación de la rotura y su área seccional. En la Figura 2.28 se muestra el área seccional de dos especímenes que presentaron fallas, luego de la rotura. La Figura 2.29 muestra, en cambio imágenes de especímenes aprobados, luego del ensayo.

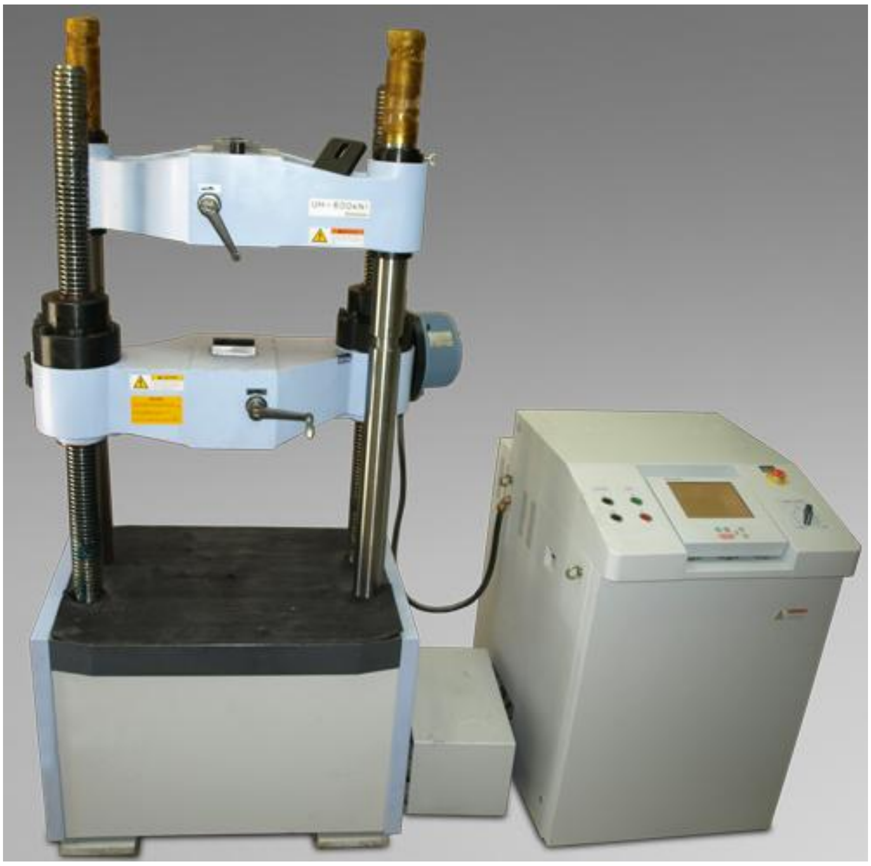


Figura 2. 27.- Máquina Universal de Ensayos

(UTM-600KN)

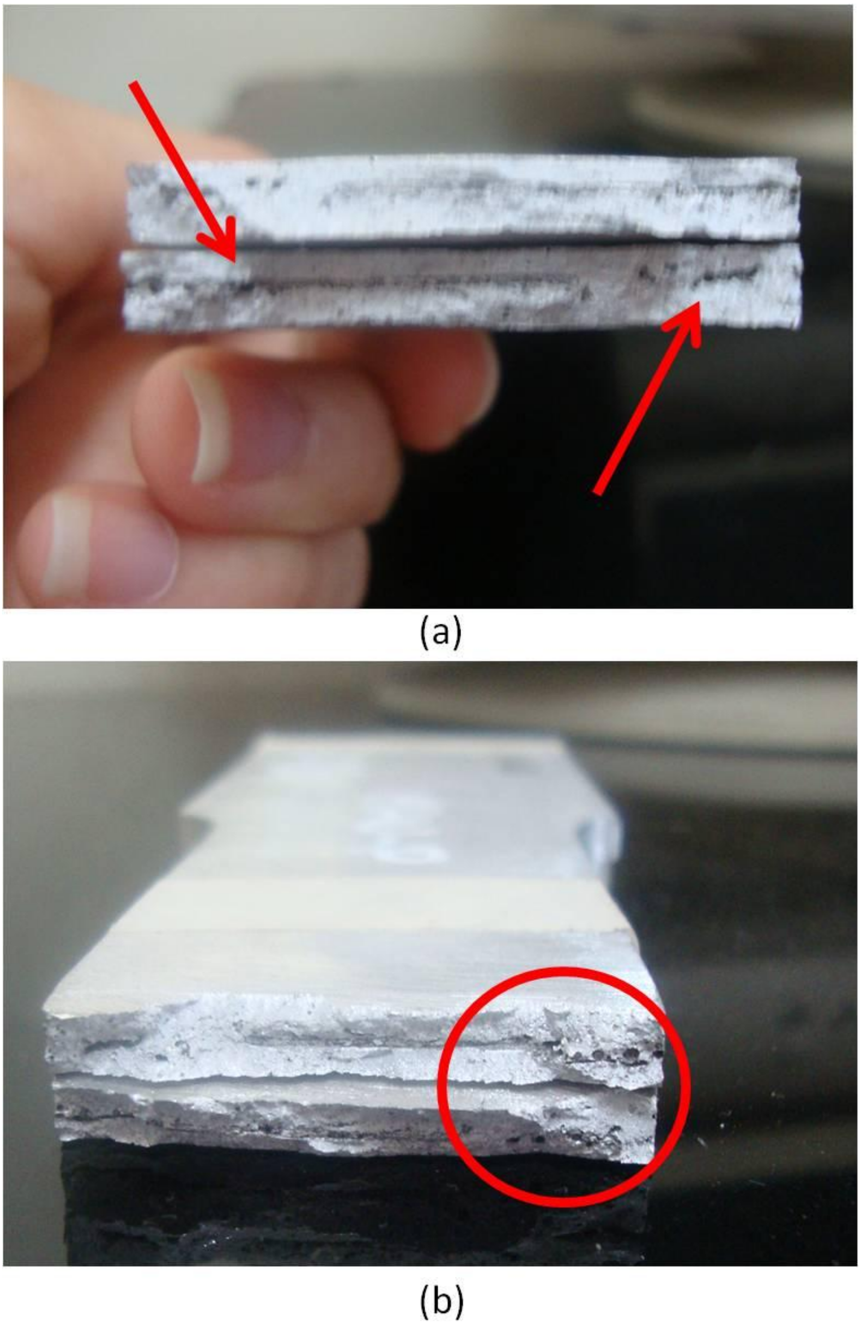


Figura 2. 28.- Sección transversal de especímenes falta de fusión (a) y porosidad excesiva (b)

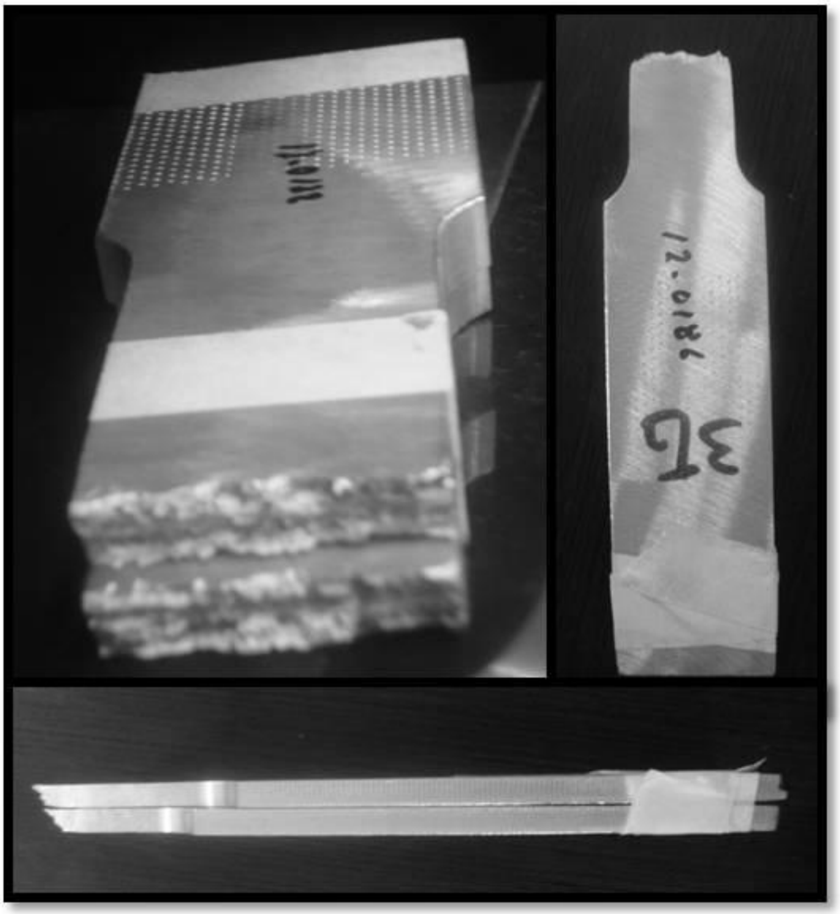


Figura 2. 29.- Espécimen luego del ensayo

En cuanto al criterio de aceptación, la guía proporcionada por la empresa calificadora establece que el espécimen debía romperse luego de aplicar un esfuerzo de 275 MPa, mientras que la norma AWS D.1.2 especifica en su TABLA 3.2 un esfuerzo mínimo de tensión de 262 MPa. Por esta razón el criterio de aceptación se concuerda en 275 MPa, siendo el mayor valor. Los resultados de los ensayos para los especímenes aprobados se muestran en la TABLA X.

TABLA Nº X

”RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN”

Espesor (mm)	Posición	Esfuerzo máximo (N/mm^2)	Esfuerzo de fluencia (N/mm^2)	Elongación luego de la rotura (%)
6	1G	290,06	173,30	14,00
		274,21	174,17	10,00
	2G	275,63	180,48	10,00
		274,93	160,49	14,00
	3G	292,14	177,54	12,00
		275,42	178,34	8,00
12	2G	258,44	189,85	13,24
		220,19	185,08	10,00
	3G	253,54	187,97	12,12
		211,50	183,35	10,54

Ensayo de doblado

Para la realización de los ensayos de doblado por el método de guiado se utilizó la Máquina Universal de Ensayos (UTM-600KN) adaptada con un elemento adicional para su realización, como se muestra en la Figura 2.30. Este elemento consiste en 2 rodillos y un mandril de 38.1mm de diámetro que bajará lentamente entre ellos, guiando al espécimen. El espécimen se dobla lentamente con ayuda de la máquina hasta los 180º. La Sección 3.8 de la norma AWS D1.2 establece los parámetros y consideraciones a seguir para realizar este ensayo, además de las dimensiones de los especímenes.

El tipo de espécimen a maquinar depende de dos factores: la dirección del cordón de soldadura con respecto al eje longitudinal del espécimen, que puede ser paralela o perpendicular, y la superficie convexa o exterior del espécimen doblado, que puede ser de raíz, de cara o lateral. Ya que los ensayos a realizar serán longitudinales de cara y de raíz, la Figura 2.31 muestra el esquema y dimensiones correspondientes a los especímenes. Para el doblado de cara la superficie que se curva convexa corresponde al mayor ancho de soldadura, mientras que para el doblado de raíz corresponde al menor.

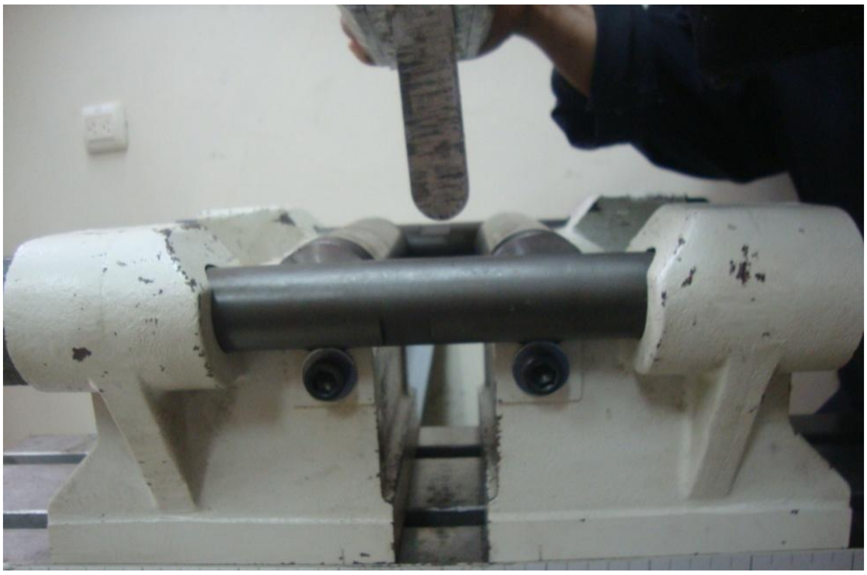
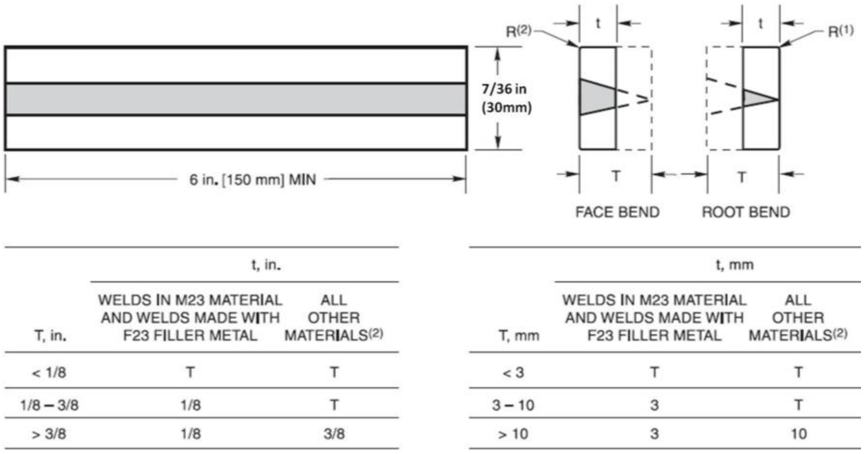


Figura 2. 30.- Equipo para el ensayo de doblado



R(2)
t
t
R(1)
7/36 in
(30mm)
6 in. [150 mm] MIN
T
T
FACE BEND
ROOT BEND

T, in.	t, in.	
	WELDS IN M23 MATERIAL AND WELDS MADE WITH F23 FILLER METAL	ALL OTHER MATERIALS(2)
< 1/8	T	T
1/8 – 3/8	1/8	T
> 3/8	1/8	3/8

T, mm	t, mm	
	WELDS IN M23 MATERIAL AND WELDS MADE WITH F23 FILLER METAL	ALL OTHER MATERIALS(2)
< 3	T	T
3 – 10	3	T
> 10	3	10

Figura 2. 31.- Esquema de especímenes para los ensayos de doblado de cara y de raíz (27).

---

(27) Fuente: AWS D1.2, *Figure 3.11—Longitudinal Face and Root Bend Specimens (see 3.8.1.5 and 3.8.1.6)*

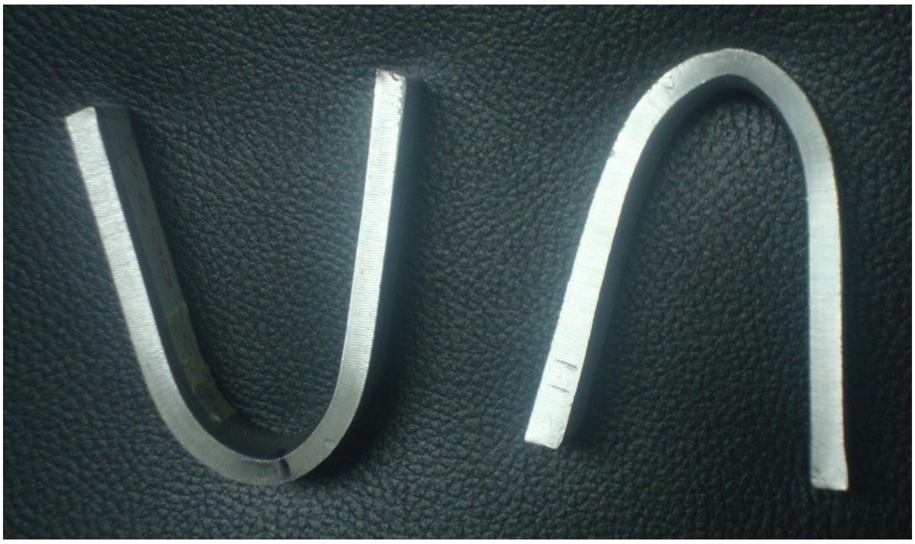


Figura 2. 32.- Especímenes para los ensayos de doblado de cara y de raíz

Para que el ensayo sea válido se requiere que el área de soldadura se encuentre completamente en la sección doblada del espécimen. El principal criterio de aceptación corresponde a que el espécimen pueda ser doblado los 180º requeridos sin presentar fractura alguna. La superficie convexa del espécimen de doblado debe ser inspeccionada visualmente para detectar y medir cualquier discontinuidad presente. Adicionalmente, el espécimen no debe tener en su superficie convexa discontinuidad alguna de una dimensión mayor a 3mm en cualquier dirección. La suma de la mayor dimensión de todas las discontinuidades halladas, mayores a 1mm pero menores a 3mm, no debe exceder los 7.5mm. En cuanto a discontinuidades en las esquinas, éstas no deben exceder los 6mm.

En la Figura 2.33 se muestran 3 especímenes con acumulación de fisuras y fractura que sobrepasan los límites de aceptación. La Figura 2.34 muestra, en cambio, algunos especímenes que aprobaron el ensayo. Los resultados de los ensayos de doblado se muestran en las TABLAS XI y XII. Como se puede observar, todos los especímenes cumplen con los criterios mencionados previamente, con la excepción de dos de 6mm de espesor en la posición 3G. Estos especímenes se fracturaron al realizar la prueba o presentaron discontinuidades mayores al límite, pero fueron aceptados por el inspector al analizar los resultados de los demás ensayos para esa probeta, incluyendo el porcentaje de elongación y esfuerzo de rotura en los ensayos de tracción.

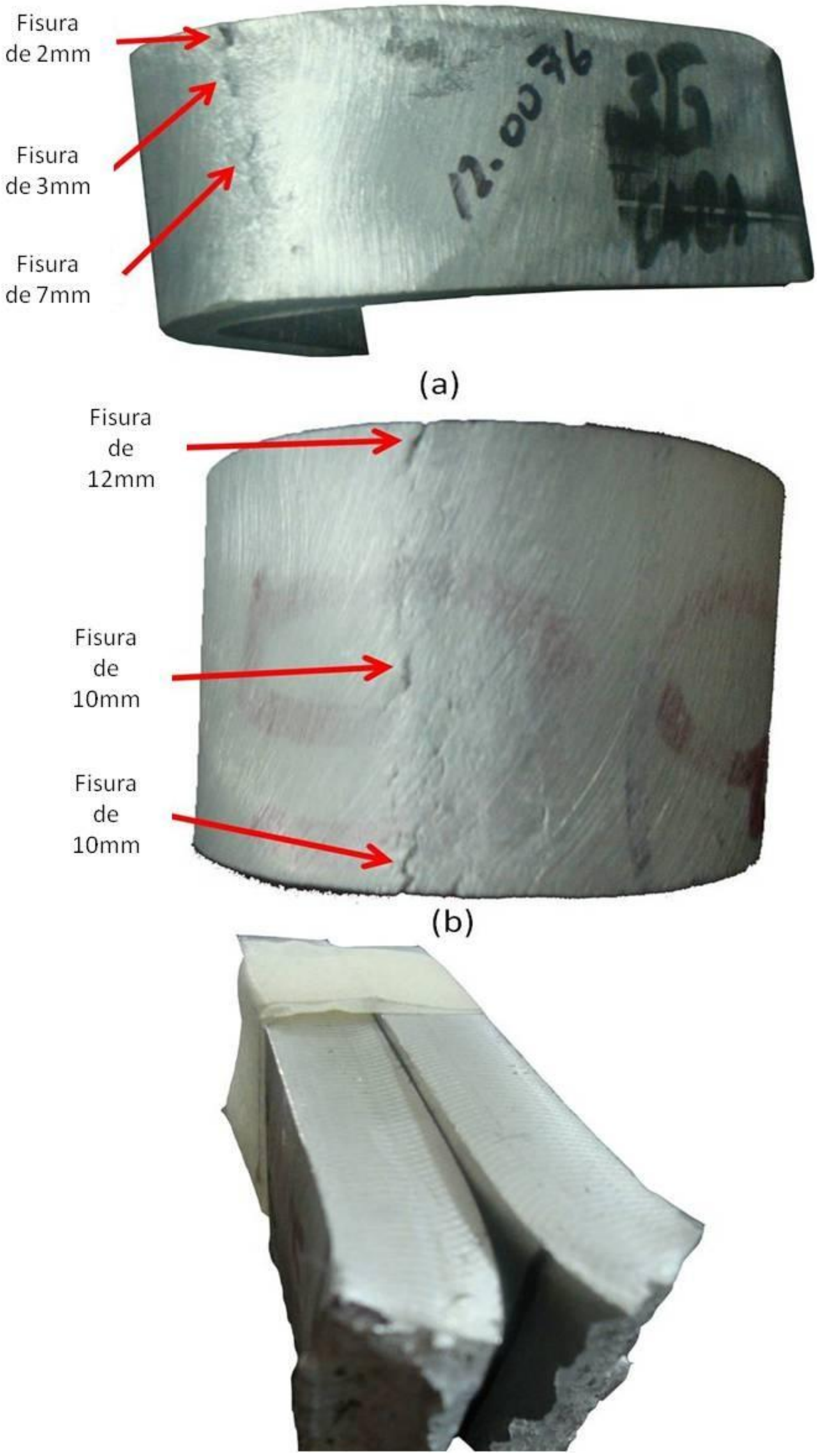

Fisura de 2mm
Fisura de 3mm
Fisura de 7mm
12.0076
(a)
Fisura de 12mm
Fisura de 10mm
Fisura de 10mm
(b)

Figura 2. 33.- **Especímenes con fisuras excesivas de: 12mm (a), 11mm (b) y fractura**

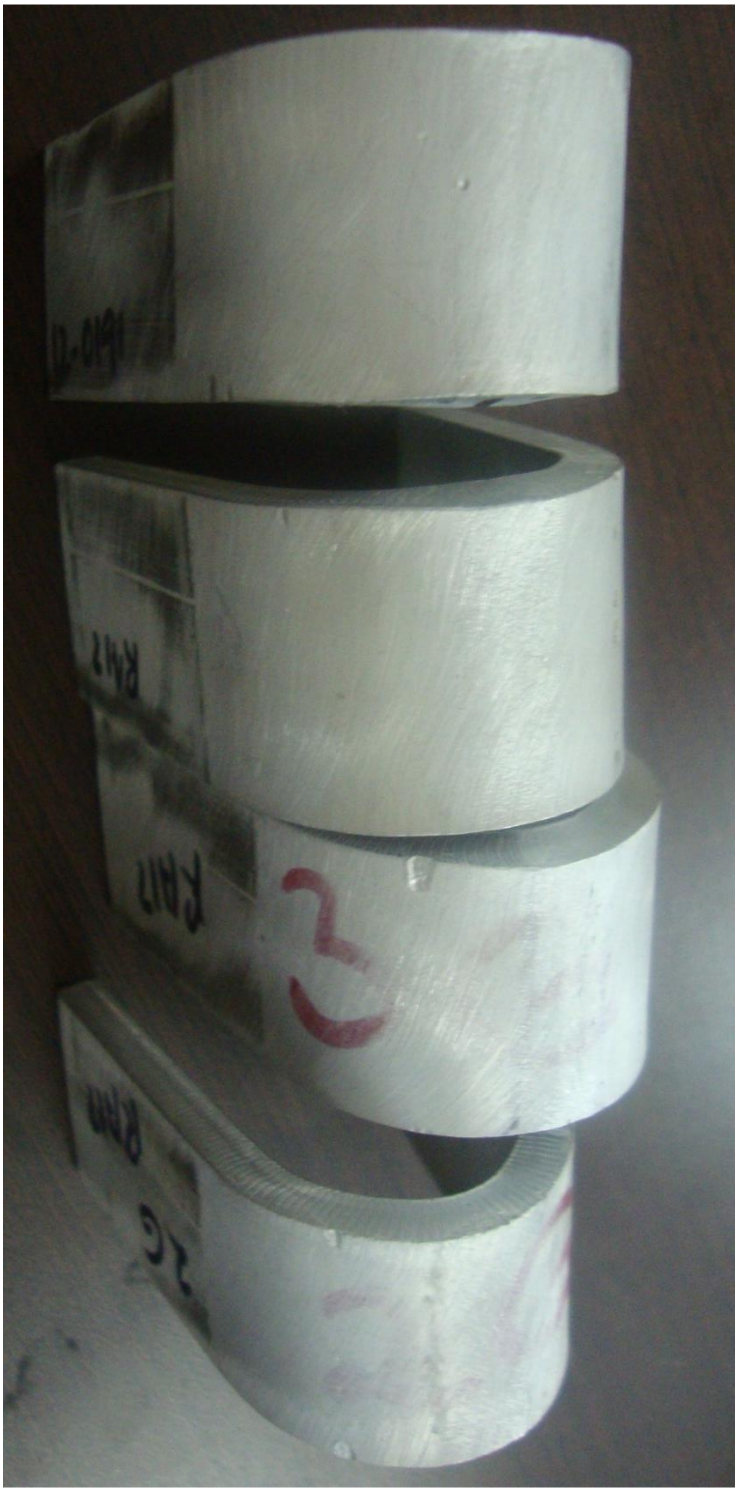

RA17
RA17
3
2G

Figura 2. 34.- Especímenes aprobados-ensayo de doblado

TABLA Nº XI

"RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO PARA PROBETAS DE 6MM DE ESPESOR"

		Resultado (mm)	
1G	Cara	Presenta discontinuidades:	0,5+0,5=1
		Presenta discontinuidades:	0,5+0,5=1
	Raíz	Presenta discontinuidades:	1+0,5=1,5
		Presenta discontinuidades:	2+0,5+0,5=3
2G	Cara	Presenta discontinuidades:	1+1+0,5=2,5
		Presenta discontinuidades:	0,5+0,5+0,5+1=2,5
	Raíz	Presenta discontinuidades:	0,5+0,5+0,5=1,5
		Presenta discontinuidades:	1+1,5=2,5
3G	Cara	Presenta discontinuidades:	1,5+0,5+0,5+0,5+1=4
		Presenta discontinuidades:	Fractura
	Raíz	Presenta discontinuidades:	1,5+1,5+1+1+1+0,5=6,5
		Presenta discontinuidades:	2,5+2,5+4=9

TABLA Nº XII

"RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO PARA PROBETAS DE 12MM DE ESPESOR"

Posición		Resultado (mm)	
2G	Cara	Presenta discontinuidades:	1+1=2
		Presenta discontinuidades:	‹1
	Raíz	Presenta discontinuidades:	1+1=2
		Presenta discontinuidades:	1
3G	Cara	Presenta discontinuidades:	1+1=2
		Presenta discontinuidades:	1,5+1+1=3,5
	Raíz	Presenta discontinuidades:	1+1=2
		Presenta discontinuidades:	1+1+1=3

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Es común que se realicen varias pruebas antes de obtener probetas que cumplan los criterios establecidos por las normas. En ciertos casos se debe a los parámetros escogidos en el pWPS o a la falta de habilidad o confianza del soldador. Para minimizar la posibilidad de falla se escogió al soldador con mayor experiencia en la empresa, quien contribuyó al ajuste de los parámetros de soldadura al realizar las pruebas. La cantidad de probetas utilizadas para el proceso de calificación de procedimientos se muestra la TABLA XIII.

3.1 Variaciones de los parámetros y condiciones de soldadura realizadas

Uno de los primeros problemas que se encontraron durante las pruebas fue la presencia de excesiva porosidad y mal aspecto de la soldadura. Estos defectos se produjeron por la falta de pureza del gas. El gas utilizado inicialmente tenía una pureza del 99.995%, la mínima requerida por la norma (28). Este gas fue luego reemplazado por un gas de Argón de 99.9995% de pureza.

TABLA Nº XIII

“MATERIAL UTILIZADO PARA LA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA”

Espesor	**Posición**	**Volumen por probeta (mm^3)**	**Cantidad**	**Volumen (mm^3)**
6mm (1/4")	1G	571500	3	1714500
	2G		5	2857500
	3G		6	3429000
Total de probetas:			**14**	
12mm (1/2")	2G	1143000	5	5715000
	3G		7	8001000
Total de probetas:			**12**	
Volumen total:				2E+7 mm^3
Volumen total:				0,02 m^3
Peso total:				57,7 kg

Otro parámetro que se ajustó fue el amperaje, que influye directamente en el calor aportado. Inicialmente se utilizaron amperajes entre 200 y 250 Amp, obteniendo como resultado franjas negras en los bordes del cordón de soldadura, dando indicios de calor excesivo. Este calor excesivo trajo como consecuencias poros, sopladuras, mordeduras y rechupe. La intensidad fue disminuida hasta llegar a la indicada en los WPS aprobados. En la TABLA Nº XIV se muestran los parámetros de soldadura registrados para cada probeta. Se puede observar que los voltajes y amperajes utilizados fueron muy similares en todas las probetas.

---

(28) AWS D1.2, Section 4.5, *Shielding Gas*

TABLA Nº XIV

“PARÁMETROS DE SOLDADURA PARA LAS PROBETAS APROBADAS”

Espesor de probeta	Posición	Corriente (Amp)	Voltaje (V)	Velocidad del alambre (mm/min)	Velocidad de avance (mm/min)
6mm	1G	180	24	7204	500
	2G	175	24	6576	395
	3G	180	22	6576	382
12mm	2G	180	23	10346	388
	3G	178	24	10346	373

La velocidad del alambre para las probetas de 12mm fue significativamente mayor que la velocidad para aquellas de 6mm. Esto se deriva de la cantidad de material que requiere ser depositado en ellas y depende del espesor de las placas. En las probetas de 6mm, a pesar de tener también un bisel de 60º, el espacio a rellenar es menor. Al soldar en las posiciones horizontal y vertical se deposita menos material que en plano ya que éste, al encontrarse en estado de fundición, puede caer y regarse por efectos de la gravedad. Al observar la TABLA XV se puede denotar que las velocidades de alambre recomendadas para consumibles de aluminio son mayores que para otros materiales. Al analizar esta tabla se puede comprobar que los parámetros utilizados durante las pruebas, incluyendo las corrientes y voltajes, se encuentran dentro de los rangos recomendados.

La velocidad de avance para las probetas de 12mm fue menor que en las probetas de 6mm ya que el espacio que se debe rellenar con el material de aporte y el calor necesario para la fundición es mucho mayor, debido al espesor de las mismas. Cuando la prueba se realizaba de forma muy lenta, se hallaban discontinuidades propias de aquellas con alto amperaje, ya que al avanzar lentamente el calor en cada sección de la probeta se acumulaba. Con velocidades altas, en cambio, se encontraban fallas propias de un bajo amperaje, ya que el calor aportado en cada sección de la probeta no alcanzaba su valor adecuado. Este es un parámetro que depende principalmente del soldador, ya que no se puede controlar que éste realice el trabajo a una velocidad y ritmo específico y constante, pero teniendo la referencia del tiempo en cada pase y sus resultados, el soldador podía ajustarse para aumentar o disminuir la velocidad en cada prueba. Una práctica que realizaba el soldador fue contar mentalmente los segundos tomados para la prueba, y con eso acostumbrarse a un ritmo adecuado. El voltaje, por otro lado, se mantuvo invariante desde un principio.

TABLA Nº XV

“PARÁMETROS RECOMENDADOS PARA CONSUMIBLES DE 1.2MM DE DIÁMETRO (29)”

Material	Electrodo	Velocidad de alambre (m/min)	Amperaje (Amp)	Voltaje (V)
Acero dulce	ER70S-6	2,3-15	120-380	18-35
Acero de baja aleación	ER80S-B2	2,7-12,4	120-350	20-33
Acero inoxidable o de alta aleación	ER308LSi	3,0-14,0	100-300	15-29
Aluminio	ER1100	6-13	140-260	20-29
Aluminio	ER5183	6-13	140-260	20-29
Aluminio	ER5356	6-13	140-260	20-29

---

(29) Fuente: ESAB AB, Welding Handbook, Consumables for manual and automatic welding, Eighth Edition, Göteborg, Sweden

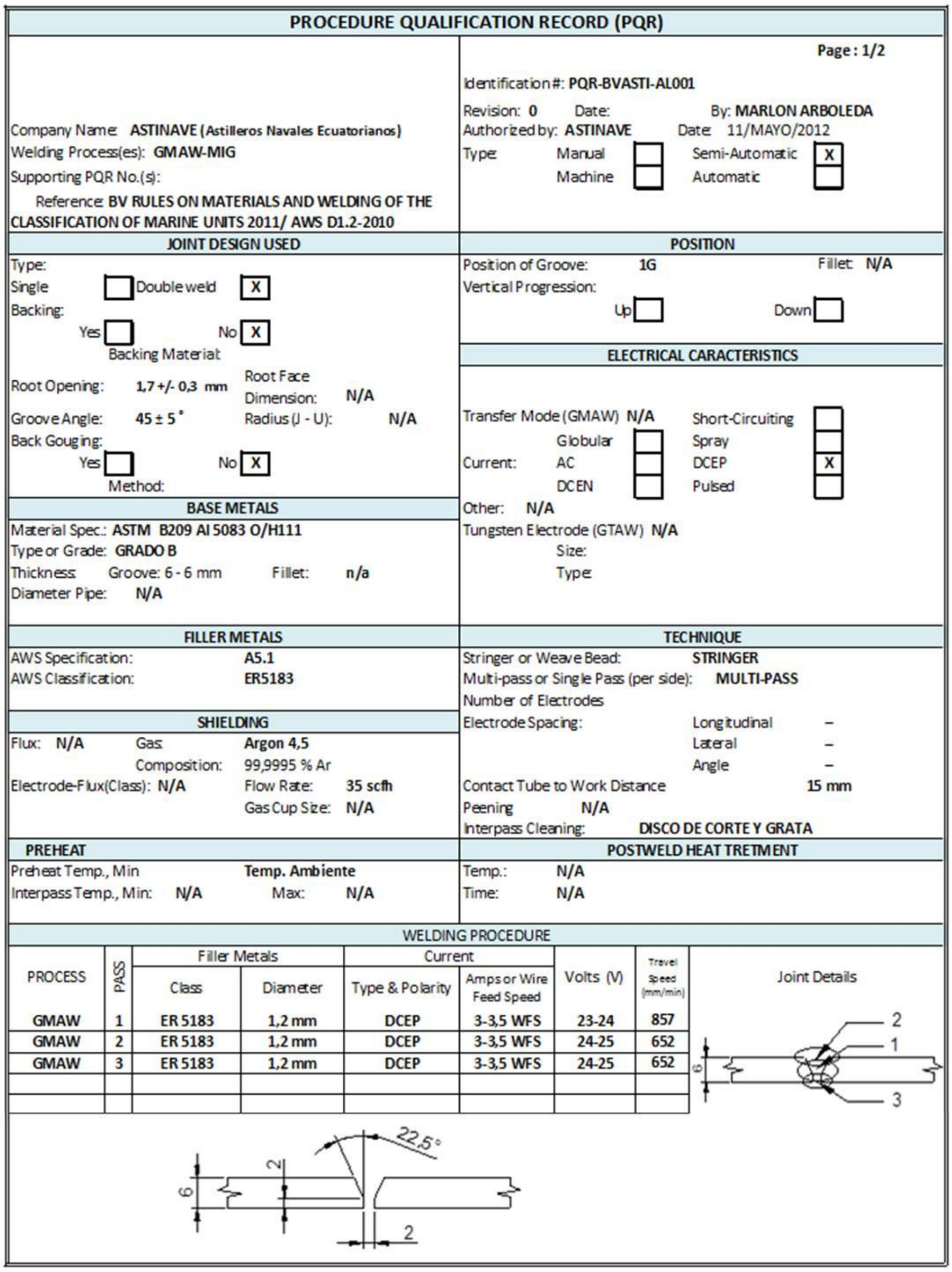
El área donde se realizaron las pruebas tuvo que ser adecuado para este trabajo. Inicialmente, se realizaban las pruebas en el taller mecánico de la empresa, cerca de las máquinas y equipos propios del lugar, incluyendo a los demás trabajadores de la empresa. Debido a las incrustaciones y discontinuidades halladas en la soldadura, se resolvió cambiar el lugar de las pruebas, en una sección aislada del taller. En esta área se permitía el ingreso solamente de los soldadores que realizarían las pruebas, el inspector de soldadura y el Jefe de Área. De esta forma se evitaba que los soldadores se distraigan por la presencia de sus compañeros observando la prueba.

Otro factor importante para obtener el mejor desempeño de los soldadores fue el horario para la realización de las pruebas. Se encontró que cuando se las realizaban en un horario cercano a la hora de almuerzo o de salida, se encontraba una mayor cantidad de fallas en las probetas, ya que el soldador se desconcentraba por el hambre o el deseo de terminar su jornada y regresar a su hogar. Se registraron mayores velocidades de avance, además de probetas inadecuadamente preparadas en cuanto al pulido y el bisel. Por estas razones, el horario de pruebas se dividió en 2 jornadas: en la mañana, de 08H30 a 11H00, y en la tarde, de

13H30 a 16H00. Luego de este cambio, los soldadores se mostraron con una mejor actitud al realizar las pruebas y se obtuvieron mejores resultados.

3.2 Aprobación de la calificación de los procedimientos de soldadura

Una vez que se comprobó que las probetas cumplían los criterios de aceptación, se procedió a elaborar los documentos necesarios para el proceso de calificación. Los pWPS utilizados para esas probetas fueron presentados ante el inspector y fijados como los parámetros de soldadura a utilizar durante la construcción del casco de la lancha, por lo que se utilizaron como los WPS para el proceso de calificación de cada probeta realizada. Tomando como base estos documentos, se procedió a elaborar los PQR. En estos documentos se especifican los detalles de los procedimientos de soldadura entre los que se pueden destacar: técnica de soldadura y limpieza entre pases, características del material base y de aporte, diseño de la junta, espesores de las placas, parámetros de soldadura, y resultados de los ensayos. En estos documentos también se proporcionan 2 esquemas de la juntas con sus medidas y señalización de pases a realizar respectivos.



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Page : 1/2

Identification #: **PQR-BVASTI-AL001**
Revision: **0** Date: By: **MARLON ARBOLEDA**
Authorized by: **ASTINAVE** Date: 11/MAYO/2012
Type: Manual ☐ Semi-Automatic ☒
Machine ☐ Automatic ☐

Company Name: **ASTINAVE (Astilleros Navales Ecuatorianos)**
Welding Process(es): **GMAW-MIG**
Supporting PQR No.(s):
Reference: **BV RULES ON MATERIALS AND WELDING OF THE CLASSIFICATION OF MARINE UNITS 2011/ AWS D1.2-2010**

JOINT DESIGN USED

Type:
Single ☐ Double weld ☒
Backing:
Yes ☐ No ☒
Backing Material:
Root Opening: **1,7 +/- 0,3 mm** Root Face Dimension: **N/A**
Groove Angle: **45 ± 5°** Radius (J - U): **N/A**
Back Gouging:
Yes ☐ No ☒
Method:

POSITION

Position of Groove: **1G** Fillet: **N/A**
Vertical Progression:
Up ☐ Down ☐

ELECTRICAL CARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) **N/A** Short-Circuiting ☐
Globular ☐ Spray ☐
Current: AC ☐ DCEP ☒
DCEN ☐ Pulsed ☐
Other: **N/A**
Tungsten Electrode (GTAW) **N/A**
Size:
Type:

BASE METALS

Material Spec.: **ASTM B209 Al 5083 O/H111**
Type or Grade: **GRADO B**
Thickness: Groove: 6 - 6 mm Fillet: **n/a**
Diameter Pipe: **N/A**

FILLER METALS

AWS Specification: **A5.1**
AWS Classification: **ER5183**

SHIELDING

Flux: **N/A** Gas: **Argon 4,5**
Composition: 99,9995 % Ar
Electrode-Flux(Class): **N/A** Flow Rate: **35 scfh**
Gas Cup Size: **N/A**

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: **STRINGER**
Multi-pass or Single Pass (per side): **MULTI-PASS**
Number of Electrodes
Electrode Spacing: Longitudinal –
Lateral –
Angle –
Contact Tube to Work Distance **15 mm**
Peening **N/A**
Interpass Cleaning: **DISCO DE CORTE Y GRATA**

PREHEAT

Preheat Temp., Min **Temp. Ambiente**
Interpass Temp., Min: **N/A** Max: **N/A**

POSTWELD HEAT TRETMENT

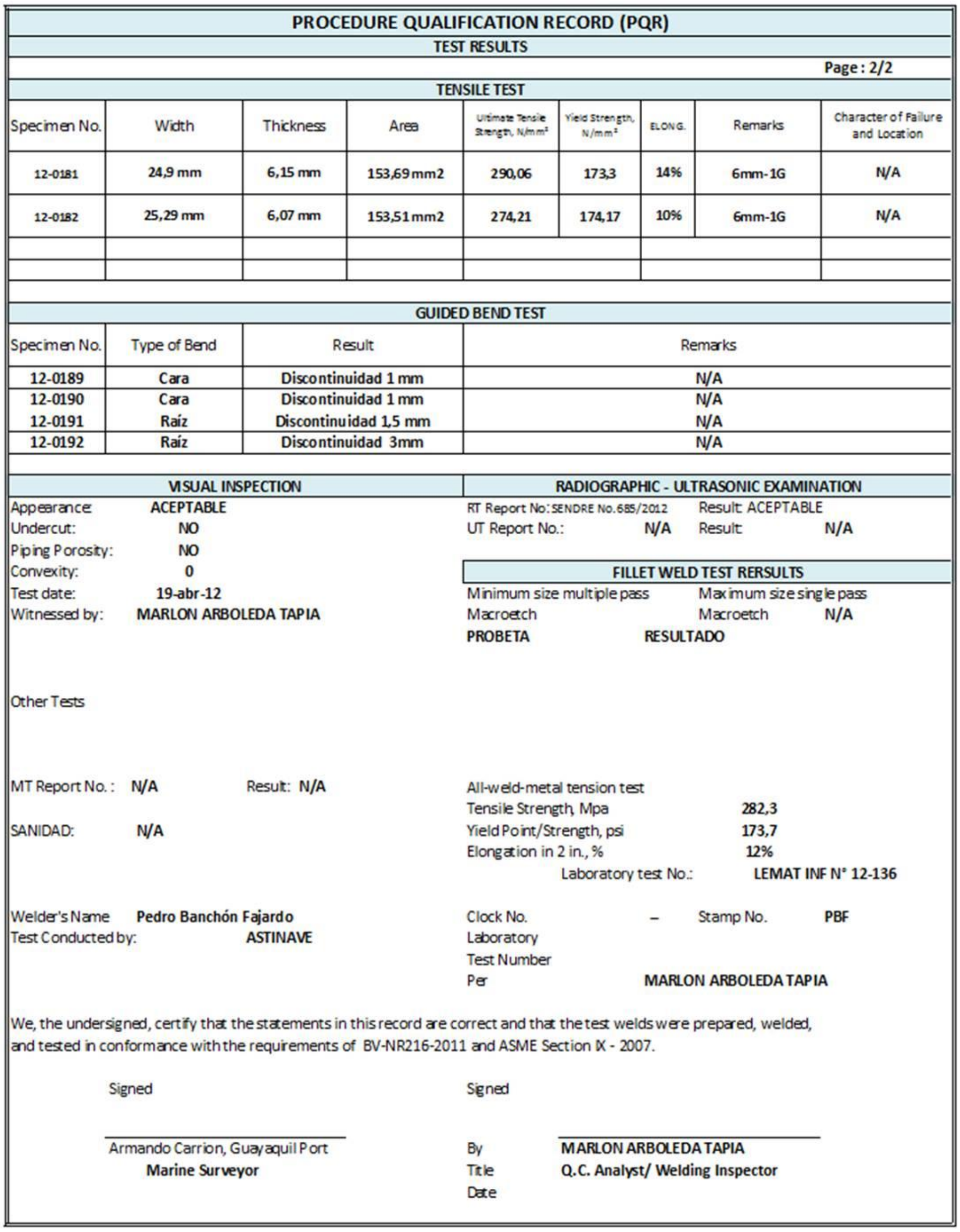
Temp.: **N/A**
Time: **N/A**

WELDING PROCEDURE

PROCESS	PASS	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)
		Class	Diameter	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed		
GMAW	**1**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3-3,5 WFS**	**23-24**	**857**
GMAW	**2**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3-3,5 WFS**	**24-25**	**652**
GMAW	**3**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3-3,5 WFS**	**24-25**	**652**

Joint Details

Figura 3. 1.- PQR para probeta de 6mm/ 1G (pg1)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

TEST RESULTS

Page : 2/2

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Strength, N/mm²	Yield Strength, N/mm²	ELONG.	Remarks	Character of Failure and Location
12-0181	24,9 mm	6,15 mm	153,69 mm2	290,06	173,3	14%	6mm-1G	N/A
12-0182	25,29 mm	6,07 mm	153,51 mm2	274,21	174,17	10%	6mm-1G	N/A

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
12-0189	Cara	Discontinuidad 1 mm	N/A
12-0190	Cara	Discontinuidad 1 mm	N/A
12-0191	Raíz	Discontinuidad 1,5 mm	N/A
12-0192	Raíz	Discontinuidad 3mm	N/A

VISUAL INSPECTION

Appearance:	**ACEPTABLE**
Undercut:	**NO**
Piping Porosity:	**NO**
Convexity:	**0**
Test date:	**19-abr-12**
Witnessed by:	**MARLON ARBOLEDA TAPIA**

RADIOGRAPHIC - ULTRASONIC EXAMINATION

RT Report No:	SENDRE No. 685/2012	Result:	ACEPTABLE
UT Report No.:	N/A	Result:	N/A

FILLET WELD TEST RERSULTS

Minimum size multiple pass		Maximum size single pass	
Macroetch		Macroetch	N/A
PROBETA	**RESULTADO**		

Other Tests

MT Report No. : **N/A** Result: **N/A**

SANIDAD: **N/A**

All-weld-metal tension test

Tensile Strength, Mpa	**282,3**
Yield Point/Strength, psi	**173,7**
Elongation in 2 in., %	**12%**
Laboratory test No.:	**LEMAT INF N° 12-136**

Welder's Name **Pedro Banchón Fajardo**
Test Conducted by: **ASTINAVE**

Clock No. – Stamp No. **PBF**
Laboratory
Test Number
Per **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of BV-NR216-2011 and ASME Section IX - 2007.

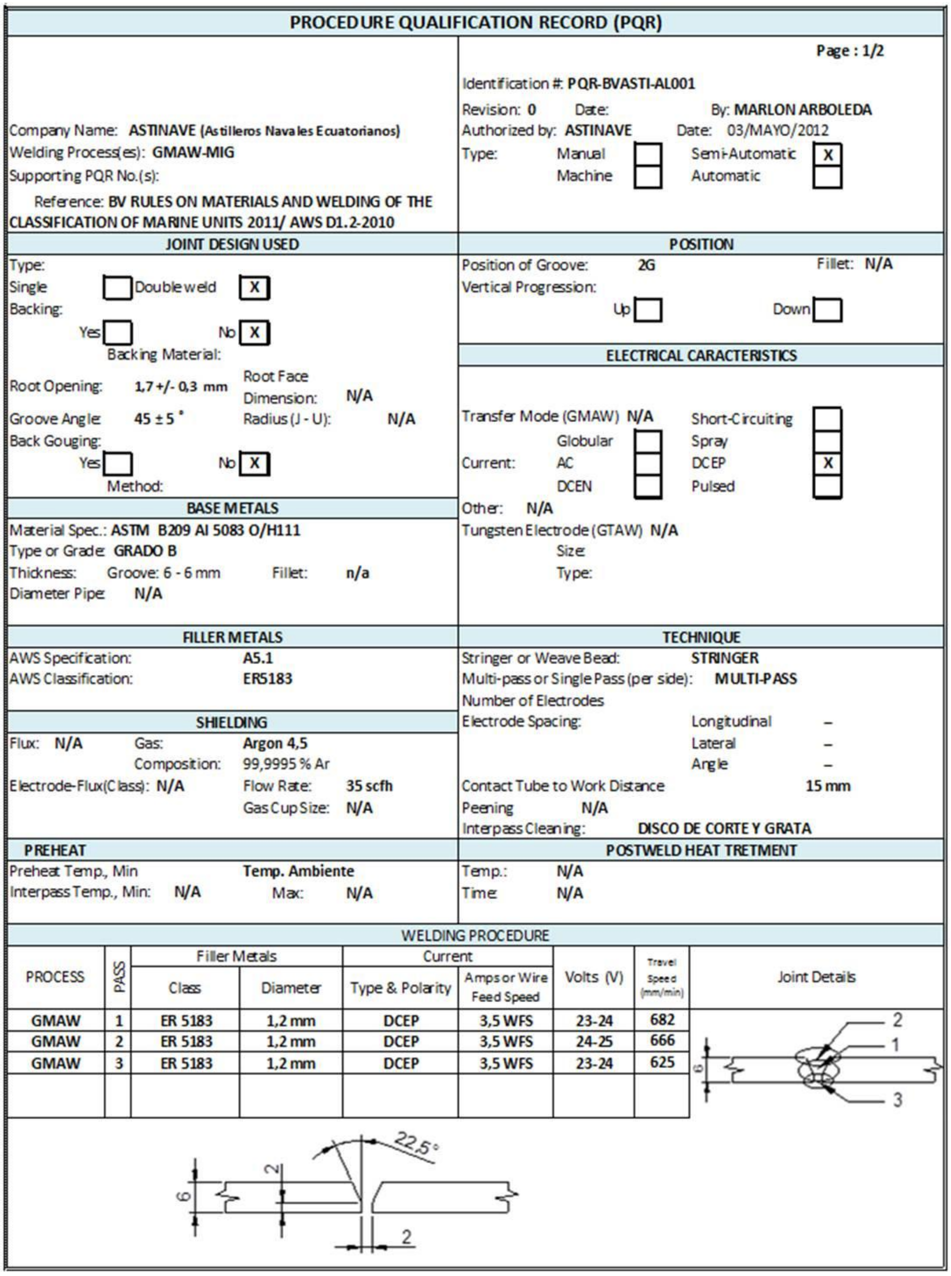
Signed

Armando Carrion, Guayaquil Port
Marine Surveyor

Signed

By **MARLON ARBOLEDA TAPIA**
Title **Q.C. Analyst/ Welding Inspector**
Date

Figura 3. 2.- PQR para probeta de 6mm/ 1G (pg2)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Page : 1/2

Identification #: **PQR-BVASTI-AL001**
Revision: **0** Date: By: **MARLON ARBOLEDA**
Authorized by: **ASTINAVE** Date: 03/MAYO/2012
Type: Manual ☐ Semi-Automatic ☒
Machine ☐ Automatic ☐

Company Name: **ASTINAVE (Astilleros Navales Ecuatorianos)**
Welding Process(es): **GMAW-MIG**
Supporting PQR No.(s):
Reference: **BV RULES ON MATERIALS AND WELDING OF THE CLASSIFICATION OF MARINE UNITS 2011/ AWS D1.2-2010**

JOINT DESIGN USED

Type:
Single ☐ Double weld ☒
Backing:
Yes ☐ No ☒
Backing Material:
Root Opening: **1,7 +/- 0,3 mm** Root Face Dimension: **N/A**
Groove Angle: **45 ± 5 °** Radius (J - U): **N/A**
Back Gouging:
Yes ☐ No ☒
Method:

POSITION

Position of Groove: **2G** Fillet: **N/A**
Vertical Progression:
Up ☐ Down ☐

ELECTRICAL CARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) **N/A** Short-Circuiting ☐
Globular ☐ Spray ☐
Current: AC ☐ DCEP ☒
DCEN ☐ Pulsed ☐
Other: **N/A**
Tungsten Electrode (GTAW) **N/A**
Size:
Type:

BASE METALS

Material Spec.: **ASTM B209 Al 5083 O/H111**
Type or Grade: **GRADO B**
Thickness: Groove: 6 - 6 mm Fillet: **n/a**
Diameter Pipe: **N/A**

FILLER METALS

AWS Specification: **A5.1**
AWS Classification: **ER5183**

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: **STRINGER**
Multi-pass or Single Pass (per side): **MULTI-PASS**
Number of Electrodes
Electrode Spacing: Longitudinal –
Lateral –
Angle –
Contact Tube to Work Distance **15 mm**
Peening **N/A**
Interpass Cleaning: **DISCO DE CORTE Y GRATA**

SHIELDING

Flux: **N/A** Gas: **Argon 4,5**
Composition: 99,9995 % Ar
Electrode-Flux (Class): **N/A** Flow Rate: **35 scfh**
Gas Cup Size: **N/A**

PREHEAT

Preheat Temp., Min **Temp. Ambiente**
Interpass Temp., Min: **N/A** Max: **N/A**

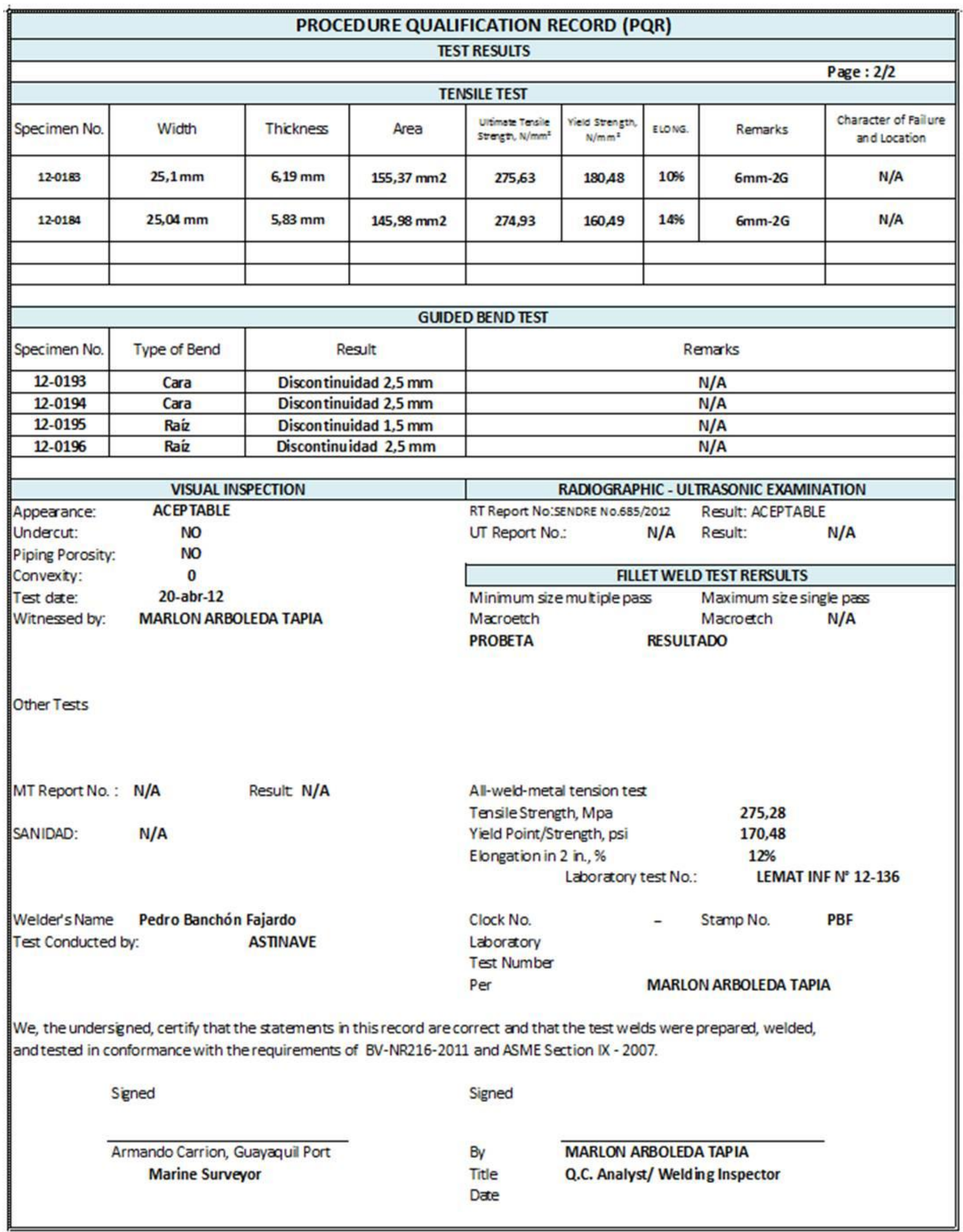
POSTWELD HEAT TRETMENT

Temp.: **N/A**
Time: **N/A**

WELDING PROCEDURE

PROCESS	PASS	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Joint Details
		Class	Diameter	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			
GMAW	**1**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3,5 WFS**	**23-24**	**682**	
GMAW	**2**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3,5 WFS**	**24-25**	**666**	
GMAW	**3**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3,5 WFS**	**23-24**	**625**	

Figura 3. 3.- PQR para probeta de 6mm/ 2G (pg1)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

TEST RESULTS

Page : 2/2

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Strength, N/mm²	Yield Strength, N/mm²	ELONG.	Remarks	Character of Failure and Location
12-0183	25,1 mm	6,19 mm	155,37 mm2	275,63	180,48	10%	6mm-2G	N/A
12-0184	25,04 mm	5,83 mm	145,98 mm2	274,93	160,49	14%	6mm-2G	N/A

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
12-0193	Cara	Discontinuidad 2,5 mm	N/A
12-0194	Cara	Discontinuidad 2,5 mm	N/A
12-0195	Raíz	Discontinuidad 1,5 mm	N/A
12-0196	Raíz	Discontinuidad 2,5 mm	N/A

VISUAL INSPECTION

Appearance: **ACEPTABLE**
Undercut: **NO**
Piping Porosity: **NO**
Convexity: **0**
Test date: **20-abr-12**
Witnessed by: **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

RADIOGRAPHIC - ULTRASONIC EXAMINATION

RT Report No:SENDRE No.685/2012 Result: ACEPTABLE
UT Report No.: **N/A** Result: **N/A**

FILLET WELD TEST RERSULTS

Minimum size multiple pass Maximum size single pass
Macroetch Macroetch **N/A**
PROBETA **RESULTADO**

Other Tests

MT Report No. : **N/A** Result: **N/A**

SANIDAD: **N/A**

All-weld-metal tension test
Tensile Strength, Mpa **275,28**
Yield Point/Strength, psi **170,48**
Elongation in 2 in., % **12%**
Laboratory test No.: **LEMAT INF N° 12-136**

Welder's Name **Pedro Banchón Fajardo**
Test Conducted by: **ASTINAVE**

Clock No. – Stamp No. **PBF**
Laboratory
Test Number
Per **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of BV-NR216-2011 and ASME Section IX - 2007.

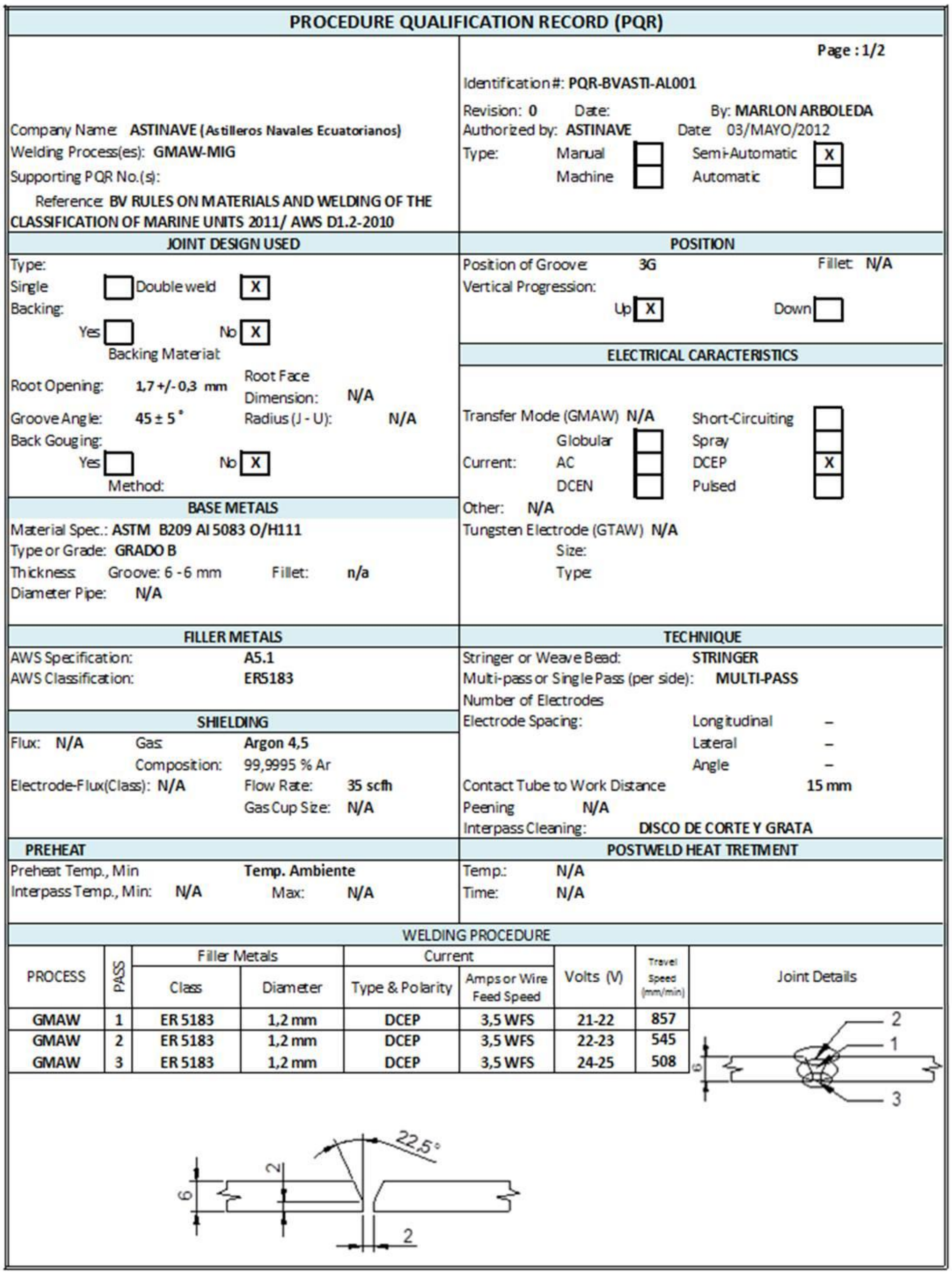
Signed

Armando Carrion, Guayaquil Port
Marine Surveyor

Signed

By **MARLON ARBOLEDA TAPIA**
Title **Q.C. Analyst/ Welding Inspector**
Date

Figura 3. 4.- PQR para probeta de 6mm/ 2G (pg2)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Page : 1/2

Identification #: **PQR-BVASTI-AL001**
Revision: **0** Date: By: **MARLON ARBOLEDA**
Authorized by: **ASTINAVE** Date 03/MAYO/2012
Type: Manual ☐ Semi-Automatic ☒
Machine ☐ Automatic ☐

Company Name **ASTINAVE (Astilleros Navales Ecuatorianos)**
Welding Process(es): **GMAW-MIG**
Supporting PQR No.(s):
Reference **BV RULES ON MATERIALS AND WELDING OF THE CLASSIFICATION OF MARINE UNITS 2011/ AWS D1.2-2010**

JOINT DESIGN USED

Type:
Single ☐ Double weld ☒
Backing:
Yes ☐ No ☒
Backing Material:
Root Opening: **1,7 +/- 0,3 mm** Root Face Dimension: **N/A**
Groove Angle: **45 ± 5 °** Radius (J - U): **N/A**
Back Gouging:
Yes ☐ No ☒
Method:

POSITION

Position of Groove **3G** Fillet **N/A**
Vertical Progression:
Up ☒ Down ☐

ELECTRICAL CARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) **N/A** Globular ☐ Short-Circuiting ☐ Spray ☐
Current: AC ☐ DCEP ☒
DCEN ☐ Pulsed ☐
Other: **N/A**
Tungsten Electrode (GTAW) **N/A**
Size:
Type

BASE METALS

Material Spec.: **ASTM B209 Al 5083 O/H111**
Type or Grade: **GRADO B**
Thickness Groove: 6 - 6 mm Fillet: **n/a**
Diameter Pipe: **N/A**

FILLER METALS

AWS Specification: **A5.1**
AWS Classification: **ER5183**

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: **STRINGER**
Multi-pass or Single Pass (per side): **MULTI-PASS**
Number of Electrodes
Electrode Spacing: Longitudinal –
Lateral –
Angle –
Contact Tube to Work Distance **15 mm**
Peening **N/A**
Interpass Cleaning: **DISCO DE CORTE Y GRATA**

SHIELDING

Flux: **N/A** Gas **Argon 4,5**
Composition: 99,9995 % Ar
Electrode-Flux(Class): **N/A** Flow Rate: **35 scfh**
Gas Cup Size: **N/A**

PREHEAT

Preheat Temp., Min **Temp. Ambiente**
Interpass Temp., Min: **N/A** Max: **N/A**

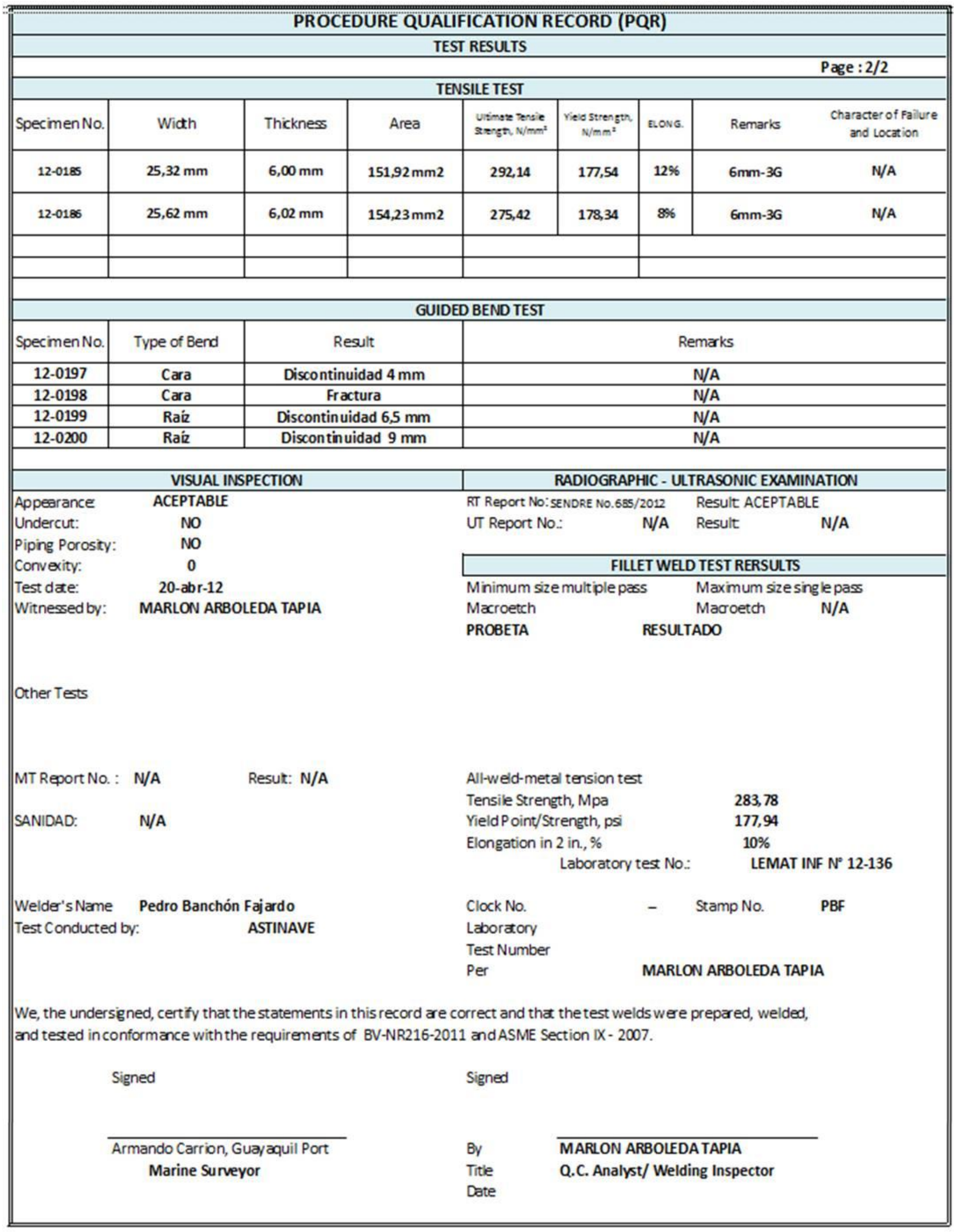
POSTWELD HEAT TRETMENT

Temp.: **N/A**
Time: **N/A**

WELDING PROCEDURE

PROCESS	PASS	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Joint Details
		Class	Diameter	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			
GMAW	1	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3,5 WFS**	**21-22**	**857**	
GMAW	2	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3,5 WFS**	**22-23**	**545**	
GMAW	3	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**3,5 WFS**	**24-25**	**508**	

Figura 3. 5.- PQR para probeta de 6mm/ 3G (pg1)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

TEST RESULTS

Page : 2/2

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Strength, N/mm²	Yield Strength, N/mm²	ELONG.	Remarks	Character of Failure and Location
12-0185	25,32 mm	6,00 mm	151,92 mm2	292,14	177,54	12%	6mm-3G	N/A
12-0186	25,62 mm	6,02 mm	154,23 mm2	275,42	178,34	8%	6mm-3G	N/A

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
12-0197	Cara	Discontinuidad 4 mm	N/A
12-0198	Cara	Fractura	N/A
12-0199	Raíz	Discontinuidad 6,5 mm	N/A
12-0200	Raíz	Discontinuidad 9 mm	N/A

VISUAL INSPECTION

Appearance: **ACEPTABLE**
Undercut: **NO**
Piping Porosity: **NO**
Convexity: **0**
Test date: **20-abr-12**
Witnessed by: **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

RADIOGRAPHIC - ULTRASONIC EXAMINATION

RT Report No: SENDRE No. 685/2012 Result: ACEPTABLE
UT Report No.: **N/A** Result: **N/A**

FILLET WELD TEST RERSULTS

Minimum size multiple pass Maximum size single pass
Macroetch Macroetch **N/A**
PROBETA **RESULTADO**

Other Tests

MT Report No. : **N/A** Result: **N/A**

SANIDAD: **N/A**

All-weld-metal tension test
Tensile Strength, Mpa **283,78**
Yield Point/Strength, psi **177,94**
Elongation in 2 in., % **10%**
Laboratory test No.: **LEMAT INF N° 12-136**

Welder's Name **Pedro Banchón Fajardo**
Test Conducted by: **ASTINAVE**

Clock No. – Stamp No. **PBF**
Laboratory
Test Number
Per **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of BV-NR216-2011 and ASME Section IX - 2007.

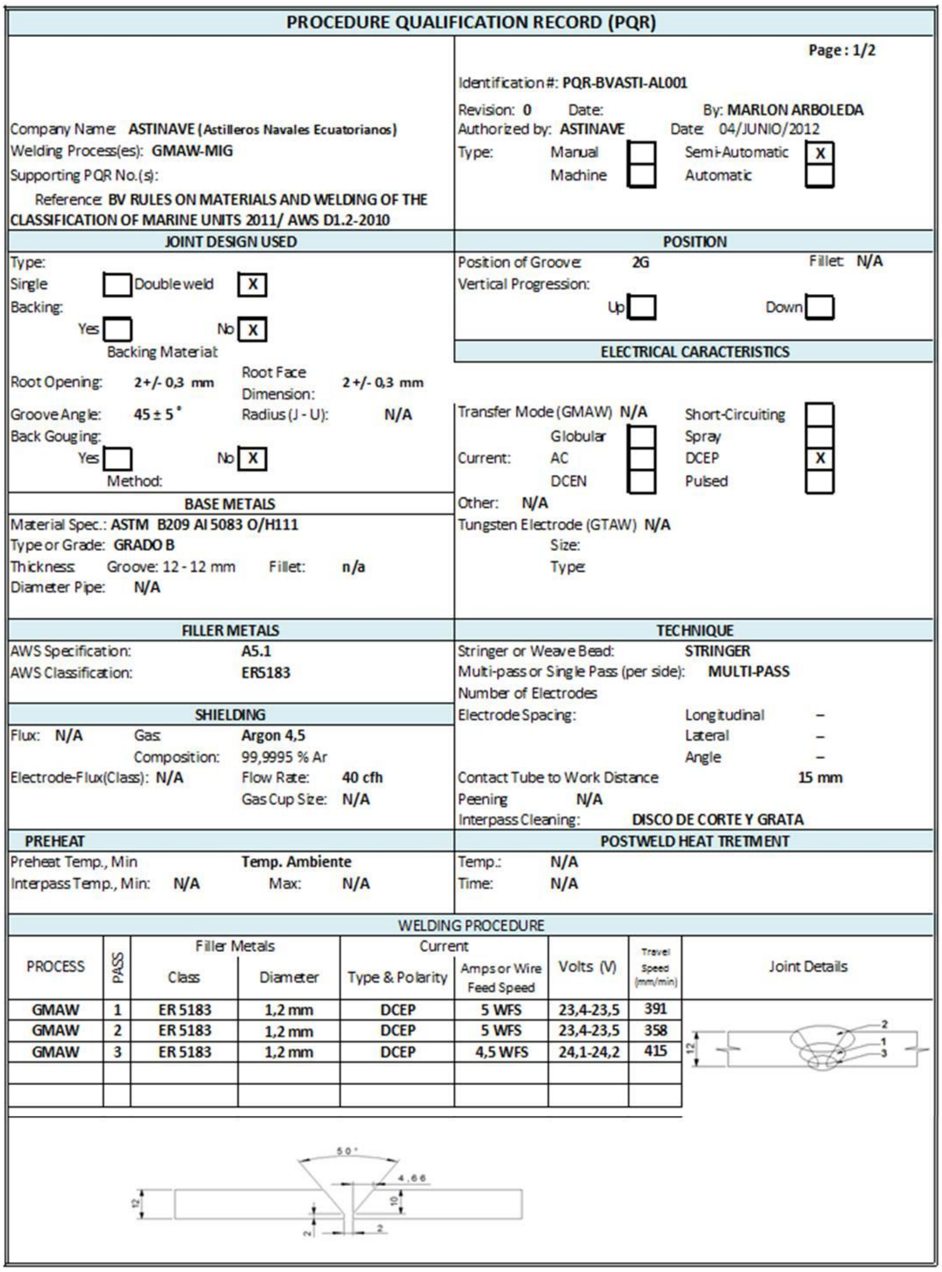
Signed

Armando Carrion, Guayaquil Port
Marine Surveyor

Signed

By **MARLON ARBOLEDA TAPIA**
Title **Q.C. Analyst/ Welding Inspector**
Date

Figura 3. 6.- PQR para probeta de 6mm/ 3G (pg2)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Page : 1/2

Identification #: **PQR-BVASTI-AL001**
Revision: **0** Date: By: **MARLON ARBOLEDA**
Authorized by: **ASTINAVE** Date: 04/JUNIO/2012
Type: Manual ☐ Semi-Automatic ☒
Machine ☐ Automatic ☐

Company Name: **ASTINAVE (Astilleros Navales Ecuatorianos)**
Welding Process(es): **GMAW-MIG**
Supporting PQR No.(s):
Reference: **BV RULES ON MATERIALS AND WELDING OF THE CLASSIFICATION OF MARINE UNITS 2011/ AWS D1.2-2010**

JOINT DESIGN USED

Type:
Single ☐ Double weld ☒
Backing:
Yes ☐ No ☒
Backing Material:
Root Opening: **2+/- 0,3 mm** Root Face Dimension: **2 +/- 0,3 mm**
Groove Angle: **45 ± 5 °** Radius (J - U): **N/A**
Back Gouging:
Yes ☐ No ☒
Method:

POSITION

Position of Groove: **2G** Fillet: **N/A**
Vertical Progression:
Up ☐ Down ☐

ELECTRICAL CARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) **N/A**
Short-Circuiting ☐
Globular ☐ Spray ☐
Current: AC ☐ DCEP ☒
DCEN ☐ Pulsed ☐
Other: **N/A**
Tungsten Electrode (GTAW) **N/A**
Size:
Type:

BASE METALS

Material Spec.: **ASTM B209 Al 5083 O/H111**
Type or Grade: **GRADO B**
Thickness: Groove: 12 - 12 mm Fillet: **n/a**
Diameter Pipe: **N/A**

FILLER METALS

AWS Specification: **A5.1**
AWS Classification: **ER5183**

SHIELDING

Flux: **N/A** Gas: **Argon 4,5**
Composition: 99,9995 % Ar
Electrode-Flux(Class): **N/A** Flow Rate: **40 cfh**
Gas Cup Size: **N/A**

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: **STRINGER**
Multi-pass or Single Pass (per side): **MULTI-PASS**
Number of Electrodes
Electrode Spacing: Longitudinal –
Lateral –
Angle –
Contact Tube to Work Distance **15 mm**
Peening **N/A**
Interpass Cleaning: **DISCO DE CORTE Y GRATA**

PREHEAT

Preheat Temp., Min **Temp. Ambiente**
Interpass Temp., Min: **N/A** Max: **N/A**

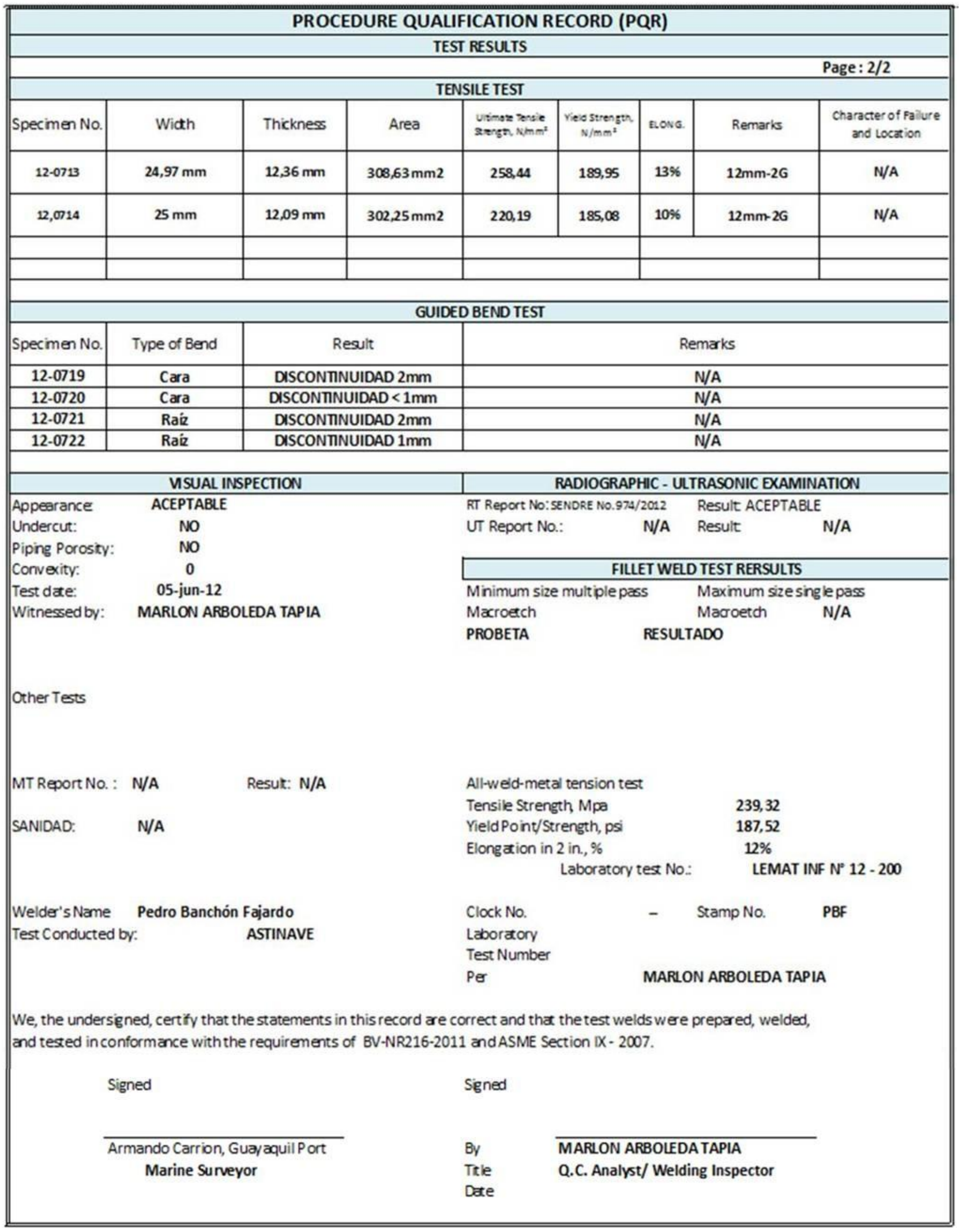
POSTWELD HEAT TRETMENT

Temp.: **N/A**
Time: **N/A**

WELDING PROCEDURE

PROCESS	PASS	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Joint Details
		Class	Diameter	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			
GMAW	**1**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**5 WFS**	**23,4-23,5**	**391**	
GMAW	**2**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**5 WFS**	**23,4-23,5**	**358**	
GMAW	**3**	**ER 5183**	**1,2 mm**	**DCEP**	**4,5 WFS**	**24,1-24,2**	**415**	

Figura 3. 7.- PQR para probeta de 12mm/ 2G (pg1)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

TEST RESULTS

Page : 2/2

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Strength, N/mm²	Yield Strength, N/mm²	ELONG.	Remarks	Character of Failure and Location
12-0713	24,97 mm	12,36 mm	308,63mm2	258,44	189,95	13%	12mm-2G	N/A
12,0714	25 mm	12,09 mm	302,25mm2	220,19	185,08	10%	12mm-2G	N/A

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
12-0719	Cara	DISCONTINUIDAD 2mm	N/A
12-0720	Cara	DISCONTINUIDAD < 1mm	N/A
12-0721	Raíz	DISCONTINUIDAD 2mm	N/A
12-0722	Raíz	DISCONTINUIDAD 1mm	N/A

VISUAL INSPECTION

Appearance: **ACEPTABLE**
Undercut: **NO**
Piping Porosity: **NO**
Convexity: **0**
Test date: **05-jun-12**
Witnessed by: **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

RADIOGRAPHIC - ULTRASONIC EXAMINATION

RT Report No: SENDRE No.974/2012 Result: ACEPTABLE
UT Report No.: **N/A** Result: **N/A**

FILLET WELD TEST RERSULTS

Minimum size multiple pass Maximum size single pass
Macroetch Macroetch **N/A**
PROBETA **RESULTADO**

Other Tests

MT Report No. : **N/A** Result: **N/A**

SANIDAD: **N/A**

All-weld-metal tension test
Tensile Strength, Mpa **239,32**
Yield Point/Strength, psi **187,52**
Elongation in 2 in., % **12%**
Laboratory test No.: **LEMAT INF Nº 12 - 200**

Welder's Name **Pedro Banchón Fajardo**
Test Conducted by: **ASTINAVE**

Clock No. **–** Stamp No. **PBF**
Laboratory
Test Number
Per **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of BV-NR216-2011 and ASME Section IX - 2007.

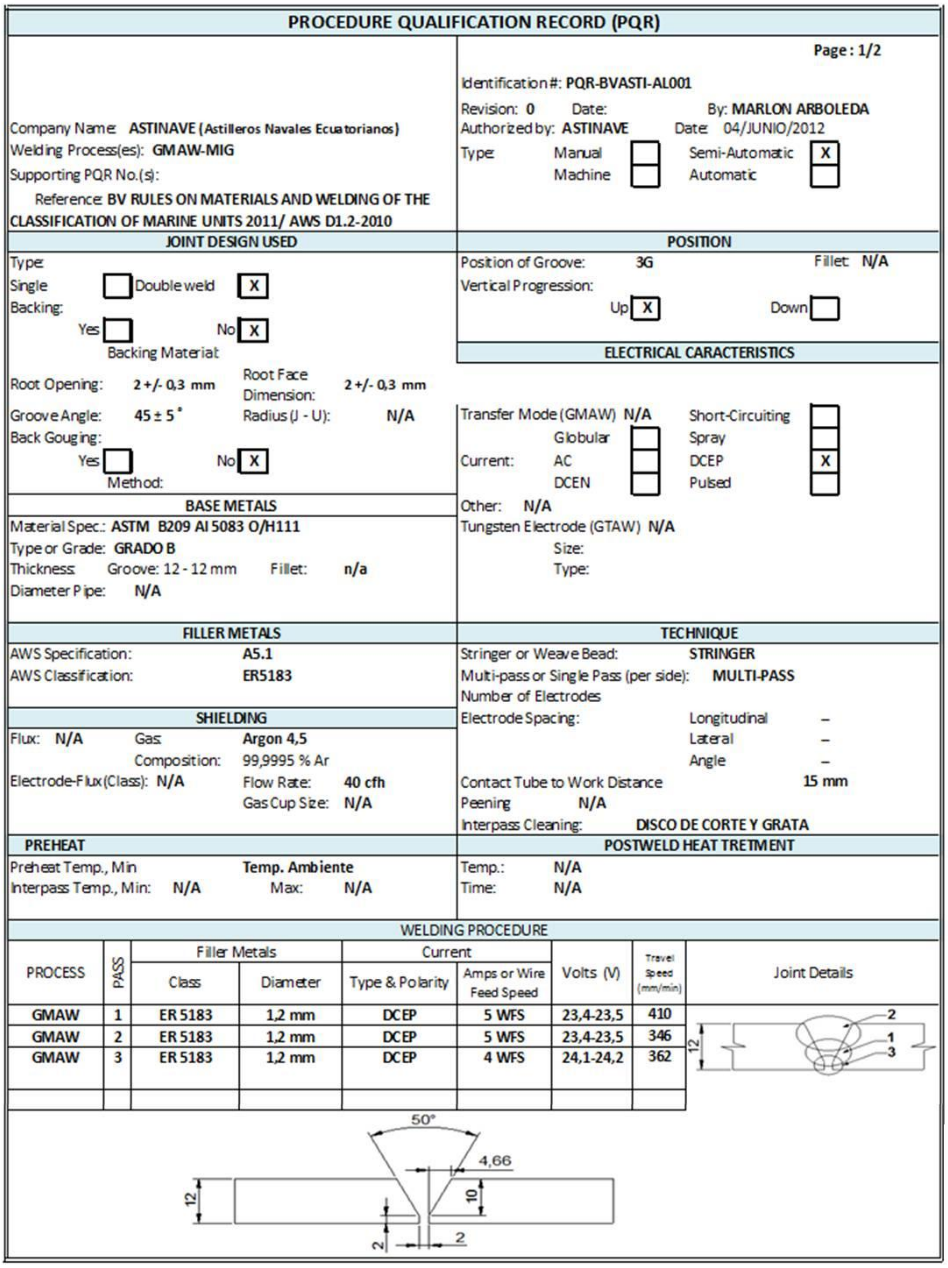
Signed

Armando Carrion, Guayaquil Port
Marine Surveyor

Signed

By **MARLON ARBOLEDA TAPIA**
Title **Q.C. Analyst/ Welding Inspector**
Date

Figura 3. 8.- PQR para probeta de 12mm/ 2G (pg2)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Page : 1/2

Identification #: PQR-BVASTI-AL001
Revision: 0 Date: By: MARLON ARBOLEDA
Authorized by: ASTINAVE Date: 04/JUNIO/2012
Type: Manual ☐ Semi-Automatic ☒
Machine ☐ Automatic ☐

Company Name: ASTINAVE (Astilleros Navales Ecuatorianos)
Welding Process(es): GMAW-MIG
Supporting PQR No.(s):
Reference: BV RULES ON MATERIALS AND WELDING OF THE CLASSIFICATION OF MARINE UNITS 2011/ AWS D1.2-2010

JOINT DESIGN USED

Type:
Single ☐ Double weld ☒
Backing:
Yes ☐ No ☒
Backing Material:
Root Opening: 2 +/- 0,3 mm Root Face Dimension: 2 +/- 0,3 mm
Groove Angle: 45 ± 5 ° Radius (J - U): N/A
Back Gouging:
Yes ☐ No ☒
Method:

POSITION

Position of Groove: 3G Fillet: N/A
Vertical Progression:
Up ☒ Down ☐

ELECTRICAL CARACTERISTICS

Transfer Mode (GMAW) N/A Short-Circuiting ☐
Globular ☐ Spray ☐
Current: AC ☐ DCEP ☒
DCEN ☐ Pulsed ☐
Other: N/A
Tungsten Electrode (GTAW) N/A
Size:
Type:

BASE METALS

Material Spec.: ASTM B209 Al 5083 O/H111
Type or Grade: GRADO B
Thickness: Groove: 12 - 12 mm Fillet: n/a
Diameter Pipe: N/A

FILLER METALS

AWS Specification: A5.1
AWS Classification: ER5183

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead: STRINGER
Multi-pass or Single Pass (per side): MULTI-PASS
Number of Electrodes
Electrode Spacing: Longitudinal –
Lateral –
Angle –
Contact Tube to Work Distance 15 mm
Peening N/A
Interpass Cleaning: DISCO DE CORTE Y GRATA

SHIELDING

Flux: N/A Gas: Argon 4,5
Composition: 99,9995 % Ar
Electrode-Flux (Class): N/A Flow Rate: 40 cfh
Gas Cup Size: N/A

PREHEAT

Preheat Temp., Min Temp. Ambiente
Interpass Temp., Min: N/A Max: N/A

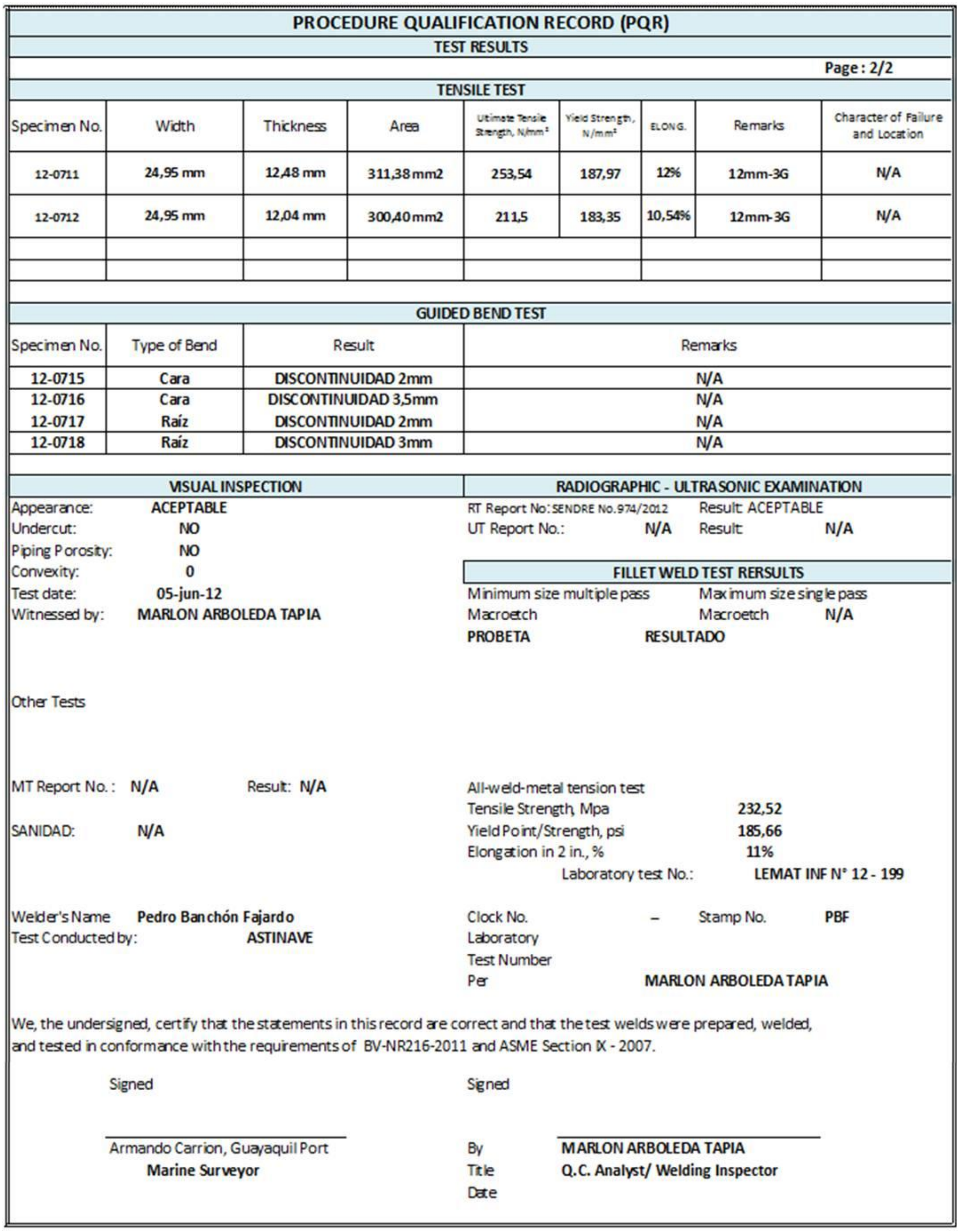
POSTWELD HEAT TRETMENT

Temp.: N/A
Time: N/A

WELDING PROCEDURE

PROCESS	PASS	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Joint Details
		Class	Diameter	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			
GMAW	1	ER 5183	1,2 mm	DCEP	5 WFS	23,4-23,5	410	
GMAW	2	ER 5183	1,2 mm	DCEP	5 WFS	23,4-23,5	346	
GMAW	3	ER 5183	1,2 mm	DCEP	4 WFS	24,1-24,2	362	

Figura 3. 9.- PQR para probeta de 12mm/ 3G (pg2)



PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

TEST RESULTS

Page : 2/2

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Strength, N/mm²	Yield Strength, N/mm²	ELONG.	Remarks	Character of Failure and Location
12-0711	24,95 mm	12,48 mm	311,38 mm2	253,54	187,97	12%	12mm-3G	N/A
12-0712	24,95 mm	12,04 mm	300,40 mm2	211,5	183,35	10,54%	12mm-3G	N/A

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
12-0715	Cara	DISCONTINUIDAD 2mm	N/A
12-0716	Cara	DISCONTINUIDAD 3,5mm	N/A
12-0717	Raíz	DISCONTINUIDAD 2mm	N/A
12-0718	Raíz	DISCONTINUIDAD 3mm	N/A

VISUAL INSPECTION

Appearance: **ACEPTABLE**
Undercut: **NO**
Piping Porosity: **NO**
Convexity: **0**
Test date: **05-jun-12**
Witnessed by: **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

RADIOGRAPHIC - ULTRASONIC EXAMINATION

RT Report No: SENDRE No.974/2012 Result: ACEPTABLE
UT Report No.: **N/A** Result: **N/A**

FILLET WELD TEST RERSULTS

Minimum size multiple pass Maximum size single pass
Macroetch Macroetch **N/A**
PROBETA **RESULTADO**

Other Tests

MT Report No. : **N/A** Result: **N/A**

SANIDAD: **N/A**

All-weld-metal tension test
Tensile Strength, Mpa **232,52**
Yield Point/Strength, psi **185,66**
Elongation in 2 in., % **11%**
Laboratory test No.: **LEMAT INF N° 12 - 199**

Welder's Name **Pedro Banchón Fajardo**
Test Conducted by: **ASTINAVE**

Clock No. – Stamp No. **PBF**
Laboratory
Test Number
Per **MARLON ARBOLEDA TAPIA**

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of BV-NR216-2011 and ASME Section IX - 2007.

Signed
Armando Carrion, Guayaquil Port
Marine Surveyor

Signed
By **MARLON ARBOLEDA TAPIA**
Title **Q.C. Analyst/ Welding Inspector**
Date

Figura 3. 10.- PQR para probeta de 12mm/ 3G (pg2)

3.3 Aprobación de los certificados de calificación de los procedimientos

Luego de elaborar los PQR respectivos, éstos son entregados al inspector de la empresa calificadora junto a los certificados de calidad del material base y de aporte, los resultados de los ensayos, además de los planos de los detalles de soldadura del proyecto. El inspector, luego de revisar los documentos entregados, procede a aprobarlos y registrar la calificación de los procedimientos de soldadura realizados. A partir del momento que el inspector aprueba los procedimientos se podrá empezar a trabajar en el proyecto con aquellos soldadores que cuenten con calificación. En caso de que sea necesario, se deberá llevar a cabo un proceso de calificación de soldadores para los procedimientos aprobados, de acuerdo a lo establecido en la norma AWS D1.2 y las guías de la empresa calificadora BV NR 216 y BV NR 476.

3.4 Capacitación y calificación de soldadores

Una vez aprobados los procedimientos de soldadura se procedió a calificar a los soldadores que trabajarán en el proyecto, asegurando así que se cumplan los procedimientos y que el personal que de trabajo posea la habilidad para soldar correctamente. A diferencia de la calificación de procedimientos, para que un soldador sea calificado para las posiciones en plano, horizontal y vertical ascendente, puede realizar las pruebas en la posición de mayor exigencia, vertical ascendente, convalidando así a las demás. Las pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones que aquellas para la calificación de procedimientos, registrando los parámetros de soldadura durante la prueba (amperaje y voltaje) con excepción del tiempo. Los ensayos destructivos y no destructivos realizados en las probetas fueron los mismos que se llevaron a cabo para los procedimientos.

Debido a la novedad del material a soldar, la cantidad de soldadores con experiencia para este proyecto fue muy baja. Inicialmente se realizaron pruebas a 30 soldadores de la empresa, de los cuales solamente 6 aprobaron. Se realizaron pruebas tanto para soldadores propios de la empresa como ajenos a ella, incluso algunos llegaron de otras ciudades y provincias del país. Debido a la necesidad de tener un equipo de 40 soldadores y la falta de éstos, se optó por realizar un curso de soldadura en aluminio para 67 soldadores (propios y ajenos a la empresa). Este curso se llevó a cabo en una empresa especialista en ésta área. Luego de terminar el curso, los soldadores realizaron nuevamente las pruebas y 40 de ellos aprobaron la calificación para la posición 3G en 6mm. Se emplearon más de 400 probetas de 6mm para la realización de las pruebas que, a pesar de ser un costo significativo para la empresa, fue necesario para cumplir el objetivo y los criterios de calidad. En cuanto a la calificación de soldadores en 12mm, se decidió que el soldador que realizó las pruebas para la calificación de procedimientos realice todo el trabajo de soldadura de la quilla, ya que él fue calificado automáticamente al realizar las pruebas para calificar los procedimientos.

El proceso de calificación de procedimientos y soldadores tomó alrededor de 3 meses debido a las fallas recurrentes halladas en la soldadura y demoras en cuanto a la aprobación administrativa de las pruebas, equipos y materiales solicitados. Esto ejerció una mayor presión sobre el equipo de trabajo del proyecto, ya que sin la calificación no se podía empezar a soldar la lancha y el tiempo estimado para terminar la construcción superaría la fecha de entrega. Para contrarrestar esto, se llegó a un acuerdo con el inspector de que una vez que las probetas para la calificación de procedimientos hayan aprobado los ensayos, el soldador que realizó las pruebas podía empezar a trabajar en la lancha, aunque los documentos oficiales de la calificación no hayan sido entregados. De la misma forma, a medida que los soldadores iban aprobando los ensayos, éstos fueron integrándose al equipo de trabajo. La Figura 3.11 muestra una imagen de la lancha luego de haber terminado su construcción, durante una inspección visual de la soldadura del casco armado.

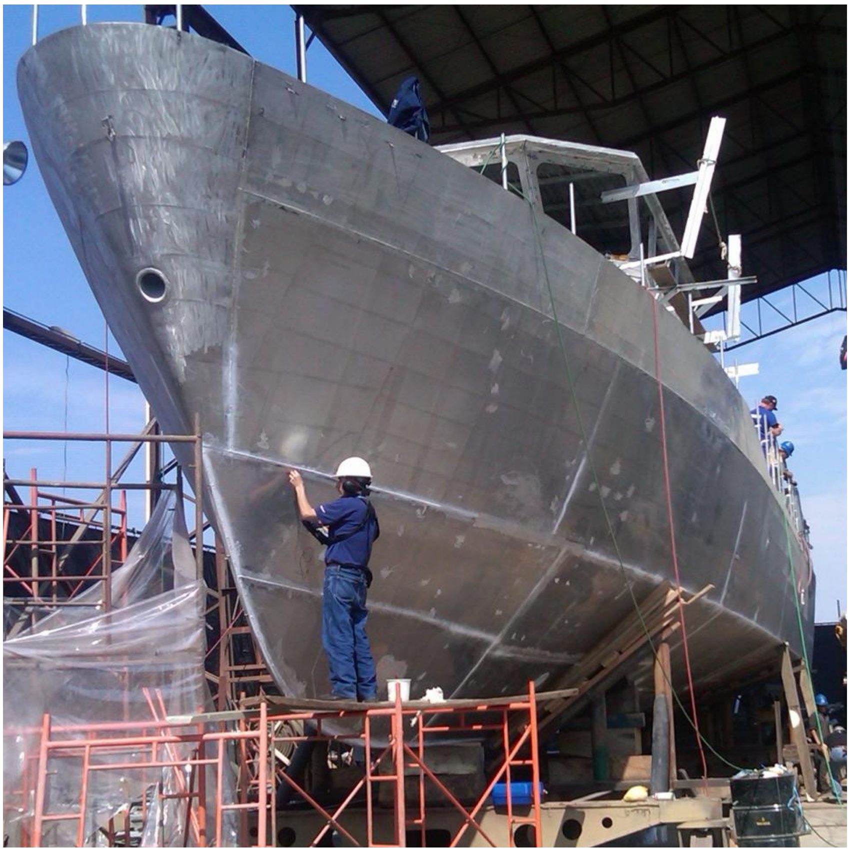


Figura 3. 11.- Lancha completamente armada

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

1. Se aprobaron los procedimientos de soldadura, WPS, de acuerdo a la guía *BV NR 216 Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units,* y la norma *AWS D1.2 Structural Welding Code-Aluminum,* para juntas a tope en espesores de 6mm y 12mm, que certifican todas las juntas de soldadura del casco del barco con proceso GMAW.

2. La velocidad de avance promedio para las probetas de 6mm fue de 671mm/min, siendo casi el doble que la velocidad de avance promedio para las probetas de 12mm, que fue de 380mm/min, sugiriendo una posible relación entre ésta y el espesor de las probetas.

3. La corriente promedio utilizada para las probetas de 6mm de espesor fue de 179 Amp, lo cual se encuentra dentro del rango sugerido para el tipo de alambre utilizado en este espesor de probeta. Este valor es similar a la corriente promedio para las probetas de 12mm, que fue de 178 Amp, lo cual se encuentra dentro del rango sugerido para el diámetro del alambre utilizado, pero es menor al sugerido para este espesor. En todo caso, mostró resultados óptimo.

4. El voltaje para todas las probetas se mantuvo en un rango entre 23 y 24 voltios, lo cual se encuentra dentro del sugerido para el diámetro de alambre utilizado, pero es bajo para las probetas de 12mm de espesor. Aun así, con este voltaje se obtuvieron resultados aptos para la calificación.

5. La velocidad del alambre para las probetas de 12mm fue de 10346mm/min, que corresponde a casi el doble que la velocidad del alambre para las probetas de 6mm, que fue de 6780mm/min. La razón de esto es que se necesita un mayor aporte de material en la unión entre placas. Ambos valores se encuentran dentro del rango recomendado para consumibles de aluminio.

6. Las probetas de 6mm presentaron menores esfuerzos de fluencia pero mayores esfuerzos de rotura que las probetas de 12mm. La elongación promedio fue de 11,4% para las de 6mm y 12mm. En todo caso, todas ellas cumplen la norma AWS D1.2 y la guía BV NR216, empleadas para calificar los procedimientos.

7. Los resultados de los ensayos de doblado muestran discontinuidades individuales entre 0.5mm y 2.5mm, todas menores a los 3mm, como lo exige la norma. En cuanto a las discontinuidades acumuladas, todos muestran acumulaciones menores a 6.5mm, cumpliendo la exigencia de la norma que sean éstas menores a 7.5mm.

Se recomienda lo siguiente:

1. Asignar durante las pruebas a trabajadores que realicen la preparación de las probetas, tales como cortado, pulido y armado, para agilizar el trabajo y reducir el tiempo utilizado para las pruebas.

2. Desarrollar prácticas de laboratorio de soldadura para conocer el comportamiento del aluminio en diferentes procesos.

3. Realizar el estudio del proceso de calificación para el resto de juntas de la embarcación, como las tuberías soldadas mediante el proceso GTAW, y comparar el comportamiento del aluminio para cada proceso.

4. Realizar un estudio similar para diferentes espesores de placa para determinar la relación existente con los parámetros de soldadura y los resultados de los ensayos.

APÉNDICES

APÉNDICE A: PLANOS ESQUEMÁTICOS

APÉNDICE B: CERTIFICADOS DE CALIDAD

APÉNDICE C: RESULTADOS Y REPORTES DE ENSAYOS MECÁNICOS

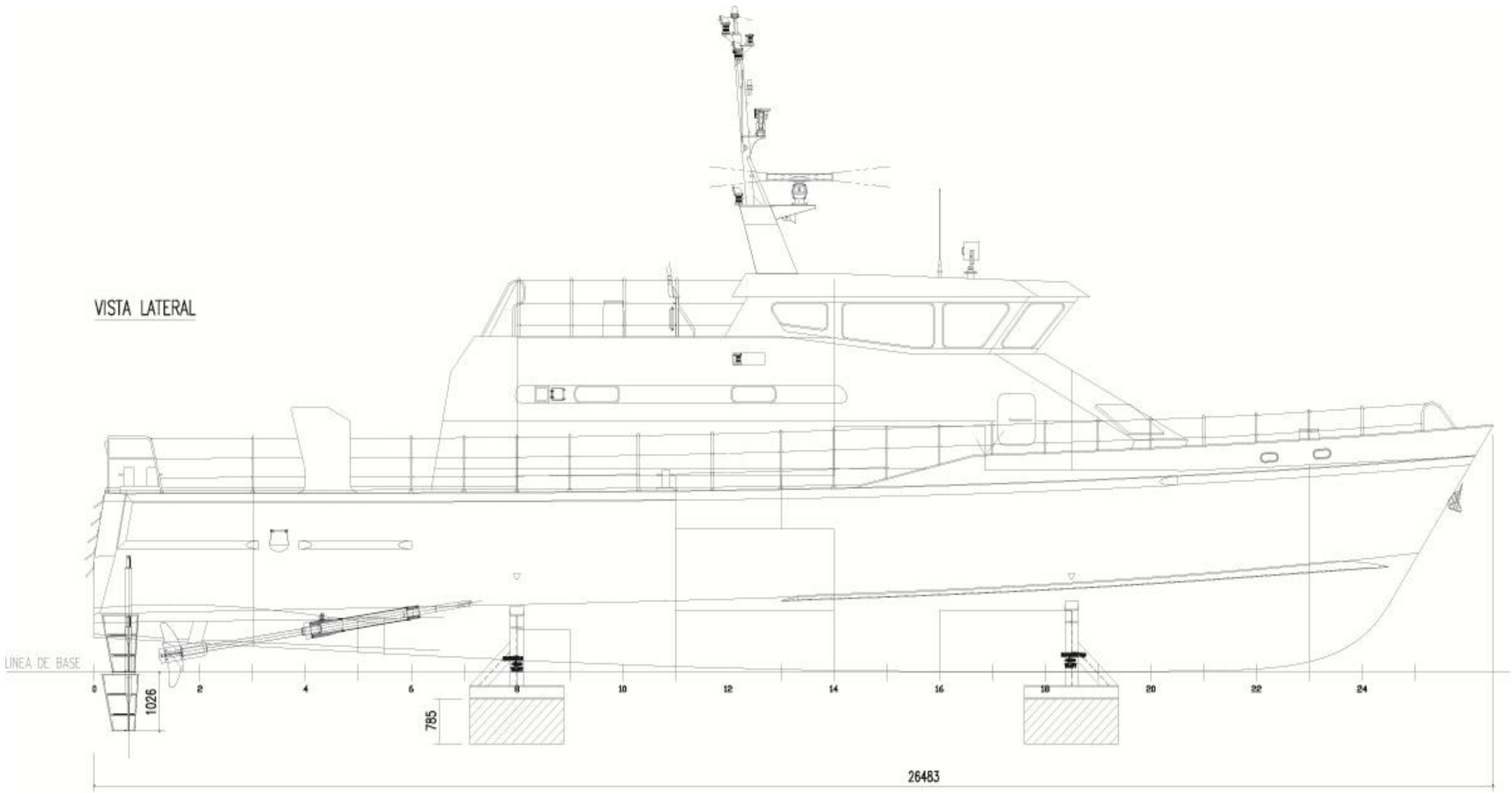
APÉNDICE D: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALEACIONES DE ALUMINIO

APÉNDICE E: GUÍA DE LABORATORIO, “EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS EN ALUMINIO MEDIANTE LA NORMA AWS D1.2 Y LA GUÍA BV NR 216”

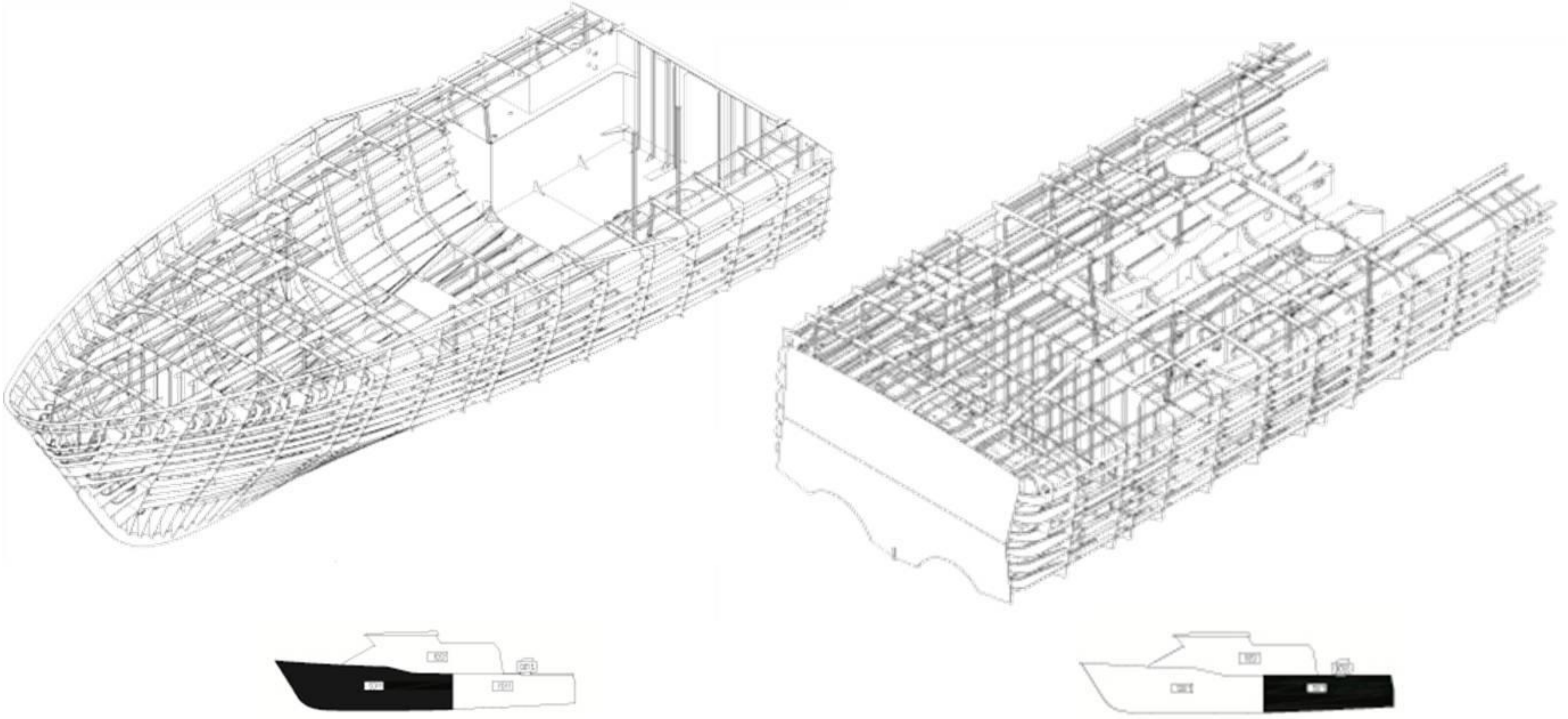
APÉNDICE A

PLANOS ESQUEMÁTICOS

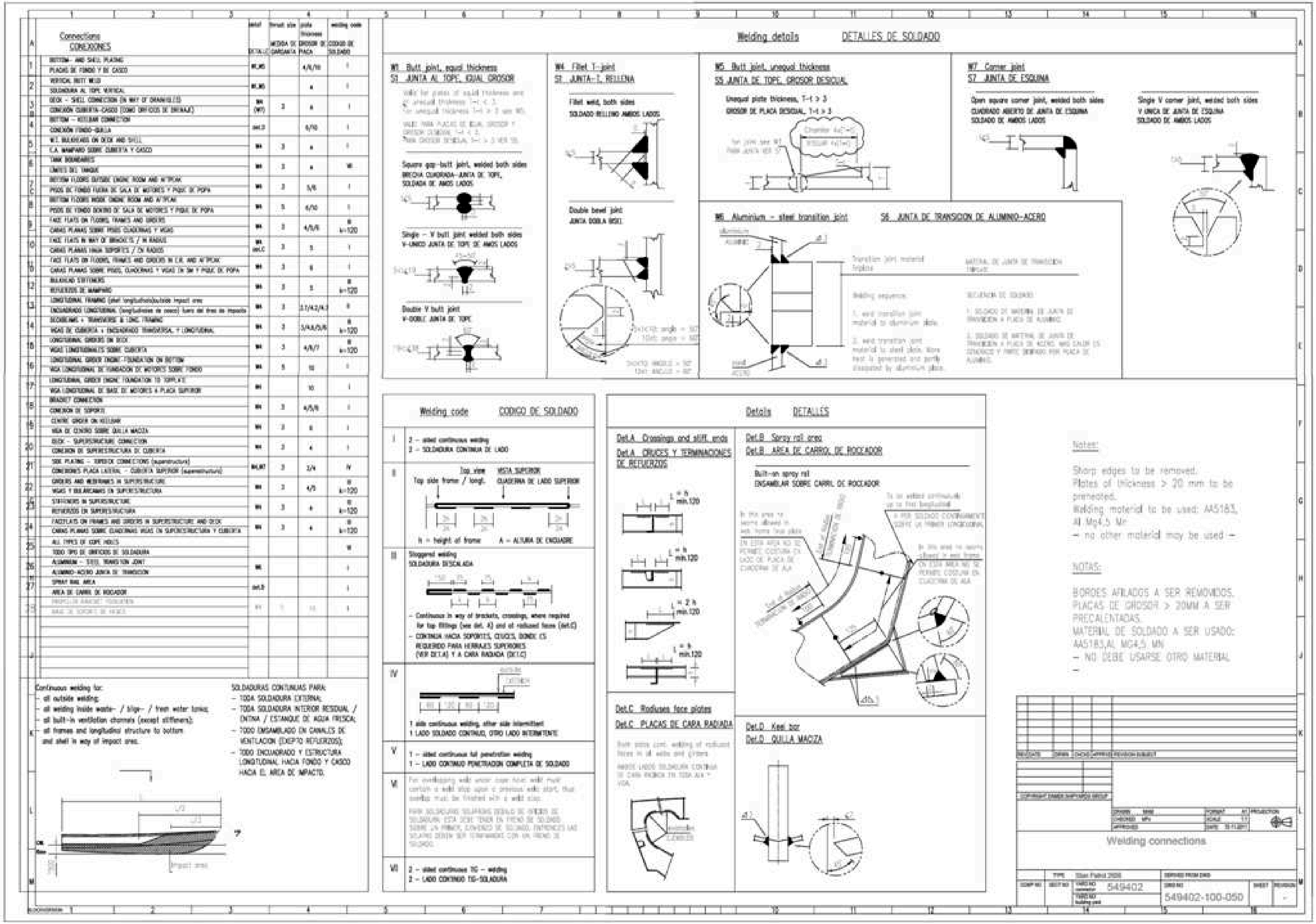
ESQUEMA DE LA LANCHA


VISTA LATERAL
LINEA DE BASE
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
1026
785
26483

PLANO ISOMÉTRICO DEL CASCO DE LANCHA



CONEXIONES DE SOLDADURA


Connections
CONEXIONES
detail
throat size
plate thickness
welding code
MEDIDA DE GARGANTA
GROSOR DE PLACA
CODIGO DE SOLDADO
BOTTOM- AND SHELL PLATING
PLACAS DE FONDO Y DE CASCO
VERTICAL BUTT WELD
SOLDADURA AL TOPE VERTICAL
DECK - SHELL CONNECTION (IN WAY OF DRAINHOLES)
CONEXIÓN CUBIERTA-CASCO (COMO ORIFICIOS DE DRENAJE)
BOTTOM - KEELBAR CONNECTION
CONEXIÓN FONDO-QUILLA
W.T. BULKHEADS ON DECK AND SHELL
C.A. MAMPARO SOBRE CUBIERTA Y CASCO
TANK BOUNDARIES
LÍMITES DEL TANQUE
BOTTOM FLOORS OUTSIDE ENGINE ROOM AND AFTPEAK
PISOS DE FONDO FUERA DE SALA DE MOTORES Y PIQUE DE POPA
BOTTOM FLOORS INSIDE ENGINE ROOM AND AFTPEAK
PISOS DE FONDO DENTRO DE SALA DE MOTORES Y PIQUE DE POPA
FACE FLATS ON FLOORS, FRAMES AND GIRDERS
CARAS PLANAS SOBRE PISOS CUADERNAS Y VIGAS
FACE FLATS IN WAY OF BRACKETS / IN RADIUS
CARAS PLANAS HACIA SOPORTES / EN RADIOS
BULKHEAD STIFFENERS
REFUERZOS DE MAMPARO
LONGITUDINAL FRAMING
ENCUADRADO LONGITUDINAL
DECKBEAMS + TRANSVERSE & LONG. FRAMING
VIGAS DE CUBIERTA + ENCUADRADO TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL
LONGITUDINAL GIRDERS ON DECK
VIGAS LONGITUDINALES SOBRE CUBIERTA
BRACKET CONNECTION
CONEXION DE SOPORTE
CENTRE GIRDER ON KEELBAR
VIGA DE CENTRO SOBRE QUILLA MACIZA
DECK - SUPERSTRUCTURE CONNECTION
CONEXION DE SUPERESTRUCTURA DE CUBIERTA
GIRDERS AND WEBFRAMES IN SUPERSTRUCTURE
STIFFENERS IN SUPERSTRUCTURE
REFUERZOS EN SUPERESTRUCTURA
ALL TYPES OF COPE HOLES
TODO TIPO DE ORIFICIOS DE SOLDADURA
ALUMINIUM - STEEL TRANSITION JOINT
ALUMINIO-ACERO JUNTA DE TRANSICION
SPRAY RAIL AREA
AREA DE CARRIL DE ROCIADOR
Continuous welding for:
- all outside welding;
- all welding inside waste- / bilge- / fresh water tanks;
- all built-in ventilation channels (except stiffeners);
- all frames and longitudinal structure to bottom and shell in way of impact area.
SOLDADURAS CONTINUAS PARA:
- TODA SOLDADURA EXTERNA;
- TODA SOLDADURA INTERIOR RESIDUAL / ENTINA / ESTANQUE DE AGUA FRESCA;
- TODO ENSAMBLADO EN CANALES DE VENTILACION (EXEPTO REFUERZOS);
- TODO ENCUADRADO Y ESTRUCTURA LONGITUDINAL HACIA FONDO Y CASCO HACIA EL ÁREA DE IMPACTO.
Impact area
Welding details
DETALLES DE SOLDADO
W1 Butt joint, equal thickness
S1 JUNTA AL TOPE, IGUAL GROSOR
Square gap-butt joint, welded both sides
BRECHA CUADRADA-JUNTA DE TOPE, SOLDADA DE AMBOS LADOS
Single - V butt joint welded both sides
V-UNICO JUNTA DE TOPE DE AMBOS LADOS
Double V butt joint
V-DOBLE JUNTA DE TOPE
W4 Fillet T-joint
S1 JUNTA-T, RELLENA
Fillet weld, both sides
SOLDADO-RELLENO AMBOS LADOS
Double bevel joint
JUNTA DOBLA BISEL
W5 Butt joint, unequal thickness
S5 JUNTA DE TOPE, GROSOR DESIGUAL
Unequal plate thickness, T-t > 3
GROSOR DE PLACA DESIGUAL, T-t > 3
W7 Corner joint
S7 JUNTA DE ESQUINA
Open square corner joint, welded both sides
CUADRADO ABIERTO DE JUNTA DE ESQUINA SOLDADO DE AMBOS LADOS
Single V corner joint, welded both sides
V UNICA DE JUNTA DE ESQUINA SOLDADO DE AMBOS LADOS
W6 Aluminium - steel transition joint
S6 JUNTA DE TRANSICION DE ALUMINIO-ACERO
Welding code
CODIGO DE SOLDADO
2 - sided continuous welding
2 - SOLDADURA CONTINUA DE LADO
Top view
VISTA SUPERIOR
h = height of frame
A = ALTURA DE ENCUADRE
Staggered welding
SOLDADURA ESCALADA
1 side continuous welding, other side intermittent
1 LADO SOLDADO CONTINUO, OTRO LADO INTERMITENTE
1 - sided continuous full penetration welding
1 - LADO CONTINUO PENETRACION COMPLETA DE SOLDADO
2 - sided continuous TIG - welding
2 - LADO CONTINUO TIG-SOLDADURA
Details
DETALLES
Det.A Crossings and stiff. ends
Det.A CRUCES Y TERMINACIONES DE REFUERZOS
Det.B Spray rail area
Det.B AREA DE CARRIL DE ROCIADOR
Built-on spray rail
ENSAMBLAR SOBRE CARRIL DE ROCIADOR
Det.C Radiuses face plates
Det.C PLACAS DE CARA RADIADA
Det.D Keel bar
Det.D QUILLA MACIZA
Notes:
Sharp edges to be removed.
Plates of thickness > 20 mm to be preheated.
Welding material to be used: AA5183, Al Mg4,5 Mn
- no other material may be used -
NOTAS:
BORDES AFILADOS A SER REMOVIDOS.
PLACAS DE GROSOR > 20MM A SER PRECALENTADAS.
MATERIAL DE SOLDADO A SER USADO: AA5183,AL MG4,5 MN
- NO DEBE USARSE OTRO MATERIAL
Welding connections
Stan Patrol 2606
549402
549402-100-050

APÉNDICE B

CERTIFICADOS DE CALIDAD

AGA

RESULTADOS DE ANALISIS
GASES ESPECIALES

LOTE # 12041304

FECHA: 13-04-2012 **CILINDRO # 44438**

PRODUCTO SOLICITADO: ARGON AP GRADO 4. 5

COMPONENTE	CONCENTRACION
ARGON	99, 995%

El producto contenido, fue analizado y se encuentra con la siguiente composición:

COMPONENTE	CONCENTRACION
Ar	99, 995 %
Impurezas (ppm)	
H20	< 3,0
O2	6,8

La presión es de 200 bar

Tonny Illescas Ch.
SUPERVISOR
GASES ESPECIALES

ESTIMADO CLIENTE SI DESEA MAS INFORMACIÓN SOBRE ESTE PRODUCTO LLAMENOS EN GUAYAQUIL AL TELF.2-101060

LNT/LNM AlMg 4.5Mn

Aluminium wire

Classification

AWS A5.10-99 : ER5183
ISO 18273-01 : Al 5183

General description

Solid wire for welding of high strength aluminium alloys and low temperature applications (-196°C)

Shielding gases (acc. EN 439)

GTAW	I1	Inert gas Ar (100%)
GMAW	I1	Inert gas Ar (100%)
	I3	Inert gas Ar+ >0-95% He

Approvals

	ABS	BV	DNV	GL	LR	TÜV
GTAW						+
GMAW	WC	WC	5183	S AlMg4.5Mn	+ *	+

Chemical composition (w%), typical, wire / rod

Al	Mn	Si	Ti	Mg	Zn	Cr	Fe	Cu
bal.	0.65	0.09	0.02	5	0.03	0.06	0.14	0.02

Mechanical properties, typical

	Process	Shielding gas	Condition	0.2% Proof strength (N/mm^2)	Tensile strength (N/mm^2)	Elongation (%)
Typical values	GTAW	I1	AW	150	290	25
	GMAW	I1	AW	150	290	25

Physical properties

Melting range	568 - 638°C
Density	approximately 2400 kg/m3

Materials to be welded

Material	Code	Type	W.Nr.	Int.Reg.Nr.	Int.Cast.Nr.
Aluminium-wrought alloys	DIN 1725-1	Al Mg 3	3.3535	5754	
		Al Mg 4.5 Mn	3.3547	5083	
		Al Mg 5	3.3555	6082	
		Al Mg Si 1			
Aluminium cast alloys	DIN 1725-2	G-Al Mg 3	3.3541		
		G-Al Mg 3 Si	3.3241		512.0
		G-Al Mg 5	3.3561		B 535.0
		G-Al Mg 5 Si	3.3261		

Packaging

	Sizes (mm)	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0
Process	Unit							
GTAW	5 kg tube				X	X	X	X
GMAW	7 kg spool B300	X	X	X				

Other sizes and packaging on request

Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.2

Prüfzeugnis Nr.0000321192/ 002
Seite 1 / 1

Hydro Aluminium Rolled Products

HYDRO

Werk GV

Hydro Aluminium Rolled Products GmbH Aluminiumstrasse 1, D 41515 Grevenbroich

Aluland B.V.
High Grade Aluminium Products
Postfach 51 54
3295 ZH 'S GRAVENDEEL
NIEDERLANDE

Packlisten-Nr./Position	135574660 000010
Auftrags-Nr./ Pos. /	448152/ 000010/ 109910
Kundenbestell-Nr.	108206 09.09.2011
Material-Nr.	85847742
Legierung	5083
Zustand	H111
Abmessungen (D x B x L)	5,000 x 2000,00 x 12000,00 mm

Prüfgrundlage

Breiten,-Längen und Diagonaldifferenzen werden mit kalibriertem Maßband gemessen.

Produktbeschreibung

5083 O/H111 5X2000X12000MM (K)
ALUMINIUMBLECHE
WARMGEWALZT, NACH EN 485.2+3 / EN 573.3
5083 O, GEM. ASME SB209
ABNAHME NACH LR EMEA
ZEUGNISERSTELLUNG NACH DIN EN 10204 UND AD W6/1

Chargen Rückverfolgung

Packstück-Nr.	Gusscharge	Band-Nr.	Gewicht	Stückzahl
4481521001	1002282782011	8248801000	1.907 [KG]	6

Prüfergebnisse

Band-Nr.	Mechanische Eigenschaften quer (A/M/E)									
	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50 %							
min max	126	275 350	16							
8248801000	164 169 161	298 302 299	22 21 23							

Chemische Zusammensetzung (Gew.%) der Gusscharge(n)

Gusscharge	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Zn %	Ti %		
min.	-	-	-	0.40	4.0	0.05	-	-		
max.	0.40	0.40	0.10	1.0	4.9	0.25	0.25	0.15		
100228278 2011	0.12	0.28	0.03	0.49	4.4	0.07	0.01	0.02		

We hereby certify that the material has been made by an approved process and satisfactorily tested in accordance with the Rules of Lloyd's Register.

Cert.No.: LR/ANT1100943

MT
Antwerp Office
Lloyd's Register EMEA
Lloyd's Register
29.09.20

QM System zertifiziert nach ISO/TS 16949
DIN EN ISO 14001 und DIN EN ISO 9001
Es wird bestätigt, dass die Lieferung geprüft wurde und den Vereinbarungen bei Bestellannahme entspricht.
Das Zeugnis wurde maschinell erstellt.

H.-P.

QS GV

Abnahmebeauftragter	H. Woelfen
Zeichen	H.-P.W.
Hersteller	Aluminium Norf GmbH
Ausstellungsort:	Grevenbroich 23.09.2011

APÉNDICE C

RESULTADOS Y REPORTES DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales
LEMAT

INFORME DE ENSAYO

Edición 3

Hoja: 1 de 11
Nº Informe: 12-136

Fecha de emisión: 03/05/2012
Número de Orden: OT-303-12

DATOS GENERALES DEL CLIENTE

Nombre: ASTILLEROS NAVALES ECUATORIANOS ASTINAVE
Dirección: VACAS GALINDO Y VIVERO
Teléfono: 2594560
Correo joe_sgl@hotmail.com;espinozan
Fax: N/C
Persona de Contacto: Ing. Jose Gonzalez I.

DATOS DE LA MUESTRA

Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
12-0181	6MM-1G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0182	6MM-1G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0183	6MM-2G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0184	6MM-2G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0185	6MM-3G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0186	6MM-3G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0187	12MM-3G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0188	12MM-3G	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0189	1G-cara-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0190	1G-cara-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012

Hoja: 2 de 11
Nº Informe: 12-136

Fecha de emisión: 03/05/2012
Número de Orden: OT-303-12

DATOS DE LA MUESTRA

Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
12-0191	1G-raiz-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0192	1G-raiz-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0193	2G-cara-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0194	2G-cara-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0195	2G-raiz-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0196	2G-raiz-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0197	3G-cara-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0198	3G-cara-6MM	25/04/2012	Cliente ■ Otros ☐	OK	28/04/2012

Hoja: 3 de 11
Nº Informe: 12-136

Fecha de emisión: 03/05/2012
Número de Orden: OT-303-12

DATOS DE LA MUESTRA

Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
12-0199	3G-raiz-6MM	25/04/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0200	3G-raiz-6MM	25/04/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0201	3G-12MM-cara	25/04/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0202	3G-12MM-cara	25/04/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0203	3G-12MM-raiz	25/04/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	28/04/2012
12-0204	3G-12MM-raiz	25/04/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	28/04/2012

Laboratorio de Ensayos
Metrológicos y de
Materiales
LEMAT

INFORME DE ENSAYO

Edición 3

Hoja:	4 de 11	**Fecha de emisión:**	03/05/2012
Nº Informe:	12-136	**Número de Orden:**	OT-303-12

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS HR216-2011*
MATERIAL:	*ALUMINIO AL 5083*
PROCEDIMIENTO:	*GMAW (6mm)*
INFORMACIÓN ADICIONAL	*POSICIÓN 1G*

CÓDIGO DE PROBETA	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm²)	DESIGNACIÓN PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO (N/mm²)	ESFUERZO FLUENCIA* (N/mm²)	ELONGACIÓN DESPUÉS DE LA ROTURA (%)
12-0181	24,99	6,15	153,69	6MM-1G	290,06	173,30	14,00
12-0182	25,29	6,07	153,51	6MM-1G	274,21	174,17	10,00

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.
La rotura de las probetas ocurrió dentro de la soldadura.
**El esfuerzo de fluencia fue calculado a partir del 0,2% de elongación*

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS HR216-2011*
MATERIAL:	*ALUMINIO AL 5083*
PROCEDIMIENTO:	*GMAW (6mm)*
INFORMACIÓN ADICIONAL	*POSICIÓN 2G*

CÓDIGO DE PROBETA	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm²)	DESIGNACIÓN PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO (N/mm²)	ESFUERZO FLUENCIA* (N/mm²)	ELONGACIÓN DESPUÉS DE LA ROTURA (%)
12-0183	25,1	6,19	155,37	6MM-2G	275,63	180,48	10,00
12-0184	25,04	5,83	145,98	6MM-2G	274,93	160,49	14,00

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.
La rotura de las probetas ocurrió dentro de la soldadura.
**El esfuerzo de fluencia fue calculado a partir del 0,2% de elongación*

Hoja:	8 de 11	**Fecha de emisión:**	03/05/2012
Nº Informe:	12-136	**Número de Orden:**	OT-303-12

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS HR216-2011*
MATERIAL:	*ALUMINIO AL 5083*
PROCEDIMIENTO:	*GMAW (6mm)*
INFORMACIÓN ADICIONAL	*POSICIÓN 3G*

CÓDIGO DE PROBETA	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm²)	DESIGNACIÓN PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO (N/mm²)	ESFUERZO FLUENCIA* (N/mm²)	ELONGACIÓN DESPUÉS DE LA ROTURA (%)
12-0185	25,32	6,00	151,92	6MM-3G	292,14	177,54	12,00
12-0186	25,62	6,02	154,23	6MM-3G	275,42	178,34	8,00

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.
La rotura de las probetas ocurrió dentro de la soldadura.
**El esfuerzo de fluencia fue calculado a partir del 0,2% de elongación*

Hoja: 5 de 11
Nº Informe: 12-136
Fecha de emisión: 03/05/2012
Número de Orden: OT-303-12

INFORME DE RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLADO

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS HR216-2011*
MATERIAL:	*ALUMINIO AL 5083*
PROCEDIMIENTO:	*GMAW*
ANCHO PROBETA:	*30 mm*
ESPESOR PROBETA:	*6,0 mm*
DIÁMETRO MANDRIL:	*26.6 mm*
ÁNGULO DOBLADO:	*180 º*
CONDICIÓN:	*OK*
INFORMACIÓN ADICIONAL:	*POSICIÓN 1G*

PROBETA	*POSICIÓN*	***RESULTADO***
12-0189	CARA	Presenta discontinuidades: 0,5+0,5 = 1 mm
12-0190	CARA	Presenta discontinuidades: 0,5+0,5 = 1 mm
12-0191	RAÍZ	Presenta discontinuidades: 1,0+0,5 = 1,5 mm
12-0192	RAÍZ	Presenta discontinuidades: 2+0,5+0,5 = 3 mm

OBSERVACIONES:

- Las probetas ensayadas y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Hoja:	7 de 11	**Fecha de emisión:**	03/05/2012
Nº Informe:	12-136	**Número de Orden:**	OT-303-12

INFORME DE RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLADO

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS HR216-2011*
MATERIAL:	*ALUMINO AL 5083*
PROCEDIMIENTO:	*GMAW*
ANCHO PROBETA:	*30 mm*
ESPESOR PROBETA:	*6 mm*
DIÁMETRO MANDRIL:	*26.6 mm*
ÁNGULO DOBLADO:	*180 º*
CONDICIÓN:	*OK*
INFORMACIÓN ADICIONAL:	*POSICIÓN 2G*

PROBETA	*POSICIÓN*	*RESULTADO*
12-0193	CARA	Presenta discontinuidades: 1+1+0,5 = 2.5 mm
12-0194	CARA	Presenta discontinuidades: 0,5+0,5+0,5+1 = 2,5 mm
12-0195	RAÍZ	Presenta discontinuidades: 0,5+0,5+0,5 = 1,5 mm
12-0196	RAÍZ	Presenta discontinuidades: 1+1,5 = 2,5 mm

OBSERVACIONES:

- Las probetas ensayadas y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Hoja: 9 de 11
Nº Informe: 12-136
Fecha de emisión: 03/05/2012
Número de Orden: OT-303-12

INFORME DE RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLADO

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS HR216-2011*
MATERIAL:	*ALUMINIO AL 5083*
PROCEDIMIENTO:	*GMAW*
ANCHO PROBETA:	*30 mm*
ESPESOR PROBETA:	*6 mm*
DIÁMETRO MANDRIL:	*26.6 mm*
ÁNGULO DOBLADO:	*180 °*
CONDICIÓN:	*OK*
INFORMACIÓN ADICIONAL:	*POSICIÓN 3G*

PROBETA	*POSICIÓN*	*RESULTADO*
12-0197	CARA	Presenta dicontinuidades: 1,5+0,5+0,5+0,5+1 = 4 mm
12-0198	CARA	Probeta fracturada en la soldadura
12-0199	RAÍZ	Presenta dicontinuidades: 1,5+1,5+1+1+1+0,5 = 6,5 mm
12-0200	RAÍZ	Presenta discontinuidades: 2,5+2,5+4 = 9 mm

OBSERVACIONES:

- Las probetas ensayadas y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Laboratorio de Ensayos
Metrológicos y de
Materiales
LEMAT

INFORME DE ENSAYO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

FIMCP
Edición: 4

Hoja: 1 de 3
Nº Informe: 12-200
Fecha de emisión: 13/06/2012
Número de Orden: OT-349-12

DATOS GENERALES DEL CLIENTE					
Nombre:	ASTINAVE E.P.				
Dirección:	VACAS GALINDO S/N Y VIVERO - 5 DE JUNIO				
Teléfono:	2594560	**Correo**	marboledt@gmail.com	**Fax:**	N/C
Persona de Contacto:		Ing. Marlon Arboleda Tapia			

DATOS DE LA MUESTRA					
Código de Muestra	**Descripción de la muestra**	**Fecha de Recepción**	**Muestreo realizado por**	**Condiciones de la muestra**	**Fecha de Ensayo**
12-0713	2G- T1- 12mm	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0714	2G- T1- 12mm	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0719	2G- 1 -12mm doblado de cara	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0720	2G- 1 -12mm doblado de cara	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0721	2G- 2 -12mm doblado de raíz	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0722	2G- 2 -12mm doblado de raíz	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012

Laboratorio de Ensayos
Metrológicos y de
Materiales
LEMAT

INFORME DE ENSAYO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

FIMCP
Edición: 4

Hoja: 1 de 3
Nº Informe: 12-199

Fecha de emisión: 13/06/2012
Número de Orden: OT-349-12

DATOS GENERALES DEL CLIENTE				
Nombre:	ASTINAVE E.P.			
Dirección:	VACAS GALINDO S/N Y VIVERO - 5 DE JUNIO			
Teléfono:	2594560	**Correo** marboledt@gmail.com	**Fax:**	N/C
Persona de Contacto:		Ing. Marlon Arboleda Tapia		

DATOS DE LA MUESTRA					
Código de Muestra	**Descripción de la muestra**	**Fecha de Recepción**	**Muestreo realizado por**	**Condiciones de la muestra**	**Fecha de Ensayo**
12-0711	3G- T1- 12mm	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0712	3G- T2- 12mm	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0715	3G- 1- 12mm doblado de cara	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0716	3G- 1- 12mm doblado de cara	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0717	3G- 2- 12mm doblado de raíz	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012
12-0718	3G- 2- 12mm doblado de raíz	11/06/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	12/06/2012

Hoja:	2 de 3	**Fecha de emisión:**	13/06/2012
Nº Informe:	12-199	**Número de Orden:**	OT-349-12

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS*
MATERIAL:	*ALUMINIO*
PROCEDIMIENTO:	*MIG*

PROBETA	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm²)	DESIGNACIÓN PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO (N/mm²)	ESFUERZO FLUENCIA (N/mm²)	ELONGACIÓN LUEGO DE LA ROTURA (%)
12-0711	24,95	12,48	311,38	3G- T1- 12mm	253,54	187,97	12,12
12-0712	24,95	12,04	300,40	3G- T2- 12mm	211,50	183,35	10,54

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.
La rotura de las probetas ocurrió dentro de la soldadura.
El esfuerzo de fluencia fue calculado a partir del 0,2% de elongación.

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS*
MATERIAL:	*ALUMINIO*
PROCEDIMIENTO:	*MIG*

PROBETA	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm²)	DESIGNACIÓN PROBETA	ESFUERZO MÁXIMO (N/mm²)	ESFUERZO FLUENCIA (N/mm²)	ELONGACIÓN LUEGO DE LA ROTURA (%)
12-0713	24,97	12,36	308,63	2G- T1- 12mm	258,44	189,85	13,24
12-0714	25,00	12,09	302,25	2G- T1- 12mm	220,19	185,08	10,00

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.
La rotura de las probetas ocurrió dentro de la soldadura.
El esfuerzo de fluencia fue calculado a partir del 0,2% de elongación.

Hoja:	3 de 3	**Fecha de emisión:**	13/06/2012
Nº Informe:	12-200	**Número de Orden:**	OT-349-12

INFORME DE RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLADO

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS*
MATERIAL:	*ALUMINIO*
PROCEDIMIENTO:	*MIG*
ANCHO PROBETA:	*30 mm*
ESPESOR PROBETA:	*12 mm*
DIÁMETRO MANDRIL:	*38 mm*
ÁNGULO DOBLADO:	*180 °*
CONDICIÓN:	*OK*
INFORMACIÓN ADICIONAL:	*Ninguna*

PROBETA	*POSICIÓN*	*RESULTADO*
12-0719	CARA	Presenta discontinuidades de 1+1 = 2 mm
12-0720	CARA	Presenta discontinuidades < 1mm
12-0721	RAÍZ	Presenta discontinuidades de 1+1 = 2 mm
12-0722	RAÍZ	Presenta discontinuidad de 1 mm

OBSERVACIONES:

- *Las probetas ensayadas y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.*

Perugachi Rodrigo

Ing. Carlos Parra M.
Director Técnico (e)

LEMAT
Laboratorio de Ensayos
Metrológicos y de Materiales

Ing. Rodrigo Perugachi B.
Director del laboratorio (e)

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohibe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Hoja:	3 de 3	**Fecha de emisión:**	13/06/2012
Nº Informe:	12-199	**Número de Orden:**	OT-349-12

INFORME DE RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLADO

NORMA DE REFERENCIA:	*BUREAU VERITAS*
MATERIAL:	*ALUMINIO*
PROCEDIMIENTO:	*MIG*
ANCHO PROBETA:	*30 mm*
ESPESOR PROBETA:	*12 mm*
DIÁMETRO MANDRIL:	*38 mm*
ÁNGULO DOBLADO:	*180 °*
CONDICIÓN:	*OK*
INFORMACIÓN ADICIONAL:	*Ninguna*

PROBETA	***POSICIÓN***	***RESULTADO***
12-0715	CARA	Presenta discontinuidades de 1+1 = 2 mm
12-0716	CARA	Presenta discontinuidades de 1,5+1+1 = 3,5 mm
12-0717	RAÍZ	Presenta discontinuidades de 1+1 = 2 mm
12-0718	RAÍZ	Presenta discontinuidades de 1,+1+1 = 3 mm

OBSERVACIONES:

- Las probetas ensayadas y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Ing. Carlos Parra M.
Director Técnico (e)

Ing. Rodrigo Perugachi B.
Director del laboratorio (e)

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohibe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

APÉNDICE D

“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALEACIONES DE ALUMINIO (30)”

Aleación	%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otras (%)	
										unidad	total
5754	Min	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-
	Max	0,4	0,4	0,1	0,5	3,6	0,3	0,20	0,15	0,05	0,15
5154A	Min	-	-	-	-	3,1	-	-	-	-	-
	Max	0,5	0,5	0,1	0,5	3,9	0,25	0,20	0,20	0,05	0,15
5086	Min	-	-	-	0,2	3,5	0,05	-	-	-	-
	Max	0,4	0,5	0,1	0,7	4,5	0,25	0,25	0,15	0,05	0,15
5083	Min	-	-	-	0,4	4,0	0,05	-	-	-	-
	Max	0,4	0,4	0,1	0,1	4,9	0,25	0,25	0,15	0,05	0,15

---

(30) Fuente: Alcoa European Mill Products Inc.

APÉNDICE E

GUÍA DE LABORATORIO

“EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS EN ALUMINIO MEDIANTE LA NORMA AWS D1.2 Y LA GUÍA BV NR 216”

Objetivos:

- Evaluar la presencia de discontinuidades en uniones soldadas por medio de ensayos destructivos y no destructivos.
- Realizar la Inspección Visual y el ensayo de Tintas Penetrantes en la probeta, y evaluar los resultados mediante el uso de normas y guías.
- Determinar el cumplimiento de los criterios de aceptación para las probetas ensayadas mediante los requerimientos establecidos en las normas y guías necesarias.

Marco teórico:

En un mundo cada vez más globalizado, la normalización es un tema que ya no es aplicado solamente por empresas multinacionales como un factor adicional, sino que se está convirtiendo en un requisito cada vez más exigido a nivel mundial. Actualmente existen varias entidades calificadores que otorgan un certificado de haber cumplido todas las normas y exigencias necesarias, luego de haber fiscalizado todo el proceso de construcción.

El aluminio es un metal cada vez más utilizado en construcciones en general debido a las propiedades mecánicas que proporcionan las aleaciones actuales, manteniendo un peso significativamente más bajo que el acero u otros metales. Posee una resistencia mayor a la fibra de vidrio y no tiene problemas de ósmosis, fisuración o corrosión. Siendo éste un material más ligero y conductor que el acero y otros metales, requiere mucho más cuidado y precisión al momento de soldar. El aluminio es sensible a las fluctuaciones de calor y propenso a deformarse al momento de aplicarle calor, por esta razón se debe calentar la pieza antes de trabajar y asegurarse que ésta se enfríe lentamente para evitar que se fragilice.

Una soldadura de calidad es aquella que cumple con los requisitos correspondientes a la estructura o proyecto, vinculada al cumplimiento de normas técnicas. Una norma establece los parámetros de soldadura necesarios para obtener buenos resultados, además de los límites de aceptación de las discontinuidades que pueden existir en un cordón. Es común trabajar con más de una norma, tomando en cuenta siempre los criterios más rigurosos entre ellas. Para calificar procedimientos de soldadura o soldadores se deben realizar pruebas de soldadura, que consisten en probetas soldadas y el registro de los parámetros, como corriente y voltaje, al momento de realizarlas. Una vez realizadas las pruebas, se procede a realizar varios ensayos destructivos y no destructivos a las probetas, de acuerdo a lo especificado en las normas o guías seleccionadas. Una vez comprobado que las probetas se encuentran dentro de los límites de aceptación de las normas, se procede a aprobar los procedimientos y soldadores que participarán en la obra.

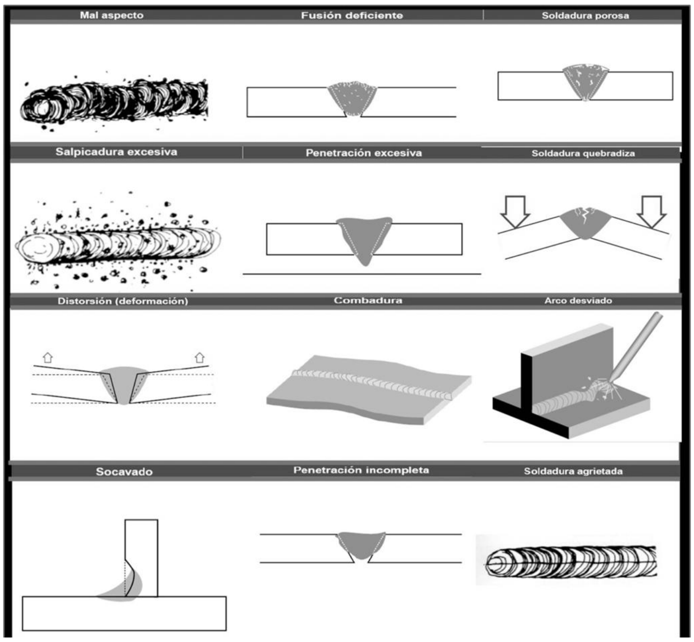

Mal aspecto
Fusión deficiente
Soldadura porosa
Salpicadura excesiva
Penetración excesiva
Soldadura quebradiza
Distorsión (deformación)
Combadura
Arco desviado
Socavado
Penetración incompleta
Soldadura agrietada

Figura 1.- Defectos comunes de soldadura

Materiales y equipos:

- Probetas soldadas de aluminio de 6mm y 12mm de espesor.
- Especímenes ensayados por medio de tracción.
- Especímenes ensayados por medio de doblado de raíz y cara.
- Removedor a base de solvente, SKC-S, clase 2
- Penetrante SKL-SP2, tipo II, método C
- Revelador SKD-S2 tipo II

- Trapo seco o papel toalla
- Placas radiográficas
- Calibrador universal o calibrador de soldadura AWS

Normas empleadas:

[1] ASTM International. (04 de 1999). E 1417-99, *Standard Practice for Liquid Penetration Examination*. West Conshocken, Pennsylvania, United States.

[2] AWS D1.2/D1.2M:2003. (2003). *Structural Welding Code-Aluminum.* Miami.

[3] BUREAU VERITAS. (2011). *Rule Note NR 216 DT R05 E, Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units.* París.

[4] BUREAU VERITAS. (2001). *Rule Note NR 476 DTM R00 E, APPROVAL TESTING of WELDERS.* París.

[5] ASTM E 1648-95, *Standard reference radiographs for examination of aluminum fusión welds.*

[6] ASTM E94 - 04(2010) *Standard Guide for Radiographic Examination*

Desarrollo experimental:

Inspección visual

1. Buscar en la probeta la presencia de salpicaduras, mal aspecto y orificios. Si existen poros localizados o agrupados, medir el diámetro y la distancia entre ellos.
2. Medir con el calibrador la altura del cordón de soldadura de la probeta para determinar si existe sobremonta excesiva. Si existen mordeduras, medir su profundidad con el calibrador.
3. Comparar los resultados con los criterios de aceptación establecidos en las secciones 5.14 y 3.6 de la norma AWS D1.2.

Tintas penetrantes

1. Limpiar la probeta con el removedor aplicando el líquido directamente sobre la superficie de la misma y frotando con el trapo o papel toalla hasta que quede libre de grasa, suciedad o pintura. Este paso debe repetirse las veces que sea necesario. Dejar secar el solvente sobre la probeta unos minutos hasta que se evapore.
2. Una vez que la superficie se encuentra limpia y seca, se procede a la aplicación del penetrante por medio de rociado directamente en la

superficie a ensayar. Esto debe realizarse de manera uniforme, a 15cm de la superficie. Para soldadura de aluminio, se recomienda dejar actuar al penetrante por un tiempo aproximado de 30 minutos.

3. Remover el exceso de penetrante en la superficie frotándola con un trapo o papel toalla que no desprenda hilachas, repitiendo esta operación hasta remover la mayor cantidad de penetrante. El penetrante restante se debe limpiar frotando suavemente un trapo o papel toalla humedecido con el limpiador de solvente, hasta que la superficie quede limpia, para luego dejarlo secar unos minutos.
4. Aplicar el revelador a lo largo del cordón de soldadura cubriendo completa y uniformemente la superficie deseada. Dejar actuar de 10 a 15 minutos, hasta observar que el revelador se comienza a teñir de manchas rojas.
5. Evaluar las indicaciones obtenidas con el criterio de establecidos en las secciones 5.14 y 3.6 de la norma AWS D1.2.

Radiografía

1. Colocar la placa radiográfica frente a una fuente de luz lo suficientemente intensa como para observar claramente la imagen en la placa.
2. Observar la presencia de secciones oscuras dentro del área de la pieza y determinar qué tipo de discontinuidad cada una representa.
3. Comparar los resultados con la Parte D de la norma AWS D1.2. Revisar adicionalmente la norma ASTM E 94, que ofrece una guía para la inspección por radiografía y la ASTM E 1648-95 una referencia especial para soldadura en aluminio.

Ensayo de tracción

1. Observar el área seccional de los especímenes de doblado y determinar la presencia de porosidades o falta de fusión entre el material base y el de aporte.
2. Comparar los resultados del ensayo con lo establecido en la TABLA 3.2 de la norma AWS D1.2 y la sección 6.14 de la guía BV NR 216.

Ensayo de doblado

1. Medir las fisuras halladas en el área doblada del espécimen y calcular la suma de las longitudes existentes.
2. Comparar el resultado con el criterio de aceptación especificado en la Sección 3.8 de la norma AWS D1.2.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ALCOA Inc. (2012). NAUTICAL, Diseñado para aplicaciones marítimas. Geneva, Switzerland.

[2] ANSI/AWS A5.10-92 An American National Standard. (15 de 12 de 2002). Specification for Bare Aluminumand Aluminum Alloy Welding Electrodes and Rods. Miami, Florida, United States of America.

[3] ASTM International. (04 de 1999). E 1417-99, Standard Practice for Liquid Penetration Examination. West Conshocken, Pennsylvania, United States.

[4] AWS D1.2/D1.2M:2003. (2003). *Structural Welding Code-Aluminum.* Miami.

[5] BUREAU VERITAS. (2011). *Rule Note NR 216 DT R05 E, Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units.* París.

[6] BUREAU VERITAS. (2001). *Rule Note NR 476 DTM R00 E, APPROVAL TESTING of WELDERS.* París.

[7] Damen Shipyards Group . (2011). *DAMEN*. Recuperado el 25 de 04 de 2011, de http://www.damen.nl/en/markets/stan-patrol

[8] Equipo MedInterránea. (12 de 1997). *TINET*. Recuperado el 01 de 07 de 2012, de http://www.tinet.cat/mediterranea/html/castella/pesca/barcos/barcos1/barco1.htm

[9] F. Rodríguez, M. B. (2004). *Densidad normal de la madera de las principales especies forestales de Castilla y León.* Soria.

[10] Garcinuño, L. (18 de 10 de 2010). *SOLDADURAS FORO*. Recuperado el 13 de 05 de 2012, de http://soldaduras.foroactivo.com/t17-soldadura-de-aluminio-con-mig-convencional#19

[11] Riesco, G. H. (2012). *MANUAL DEL SOLDADOR.* Madrid: CESOL.

Rodríguez, P. C. (2001). *MANUAL DE SOLDADURA.* Buenos Aires: ALSINA.

[12] Salimer. (2005). Maderas para el mar. Valencia, España.

[13] Thorntoon, J. R. (2001). CONSTRUCCION Y REPARACION DE BUQUES Y EMBARCACIONES DE RECREO. En *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO* (págs. 92.1-92.16). España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

[14] V., I. O. (10 de 2010). GUIA DE ESTUDIO DEL CURSO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END). Guayaquil, Guayas, Ecuador.

[15] Welding Design and Fabrication. (03 de 2011). *Buenas Tareas.* Recuperado el 04 de 06 de 2011, de Guía para soldar aluminio: http://www.buenastareas.com/ensayos/Gu%C3%ADa-Para-Soldar-Aluminio/1659838.html