

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad en Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas,  
Oceanográficas y Recursos Naturales**

**“Guía y procedimiento para el control y  
aseguramiento de la calidad en la construcción de  
cascos de aluminio naval”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO NAVAL**

**Presentado por:**

**Gerardo Neptalí Mena Cáceres**

**Guayaquil – Ecuador**

**Año: 2013**

# AGRADECIMIENTO

A Dios por sus bendiciones, a mi familia por su apoyo y paciencia, a los Docentes que influyeron positivamente en mi desarrollo académico, y al Ing. Alejandro Chanabá por su tiempo y guía en ésta tesis.

# DEDICATORIA

A DIOS,

A MI FAMILIA

A MIS AMISTADES  
SINCERAS

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Bolivar Vaca Romo

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

Ing. Alejandro Chanabá Ruiz.

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Patrick Townsend Valencia

VOCAL PRINCIPAL

# DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Gerardo Neptalí Mena Cáceres



## **RESUMEN**

Siendo el Ecuador un país costero y teniendo una ubicación geográfica favorable para el desarrollo marítimo, debería tener un importante desarrollo en el ámbito de la construcción Naval; con la creación del CUERPO DE GUARDACOSTAS, se necesitó adquirir embarcaciones que satisfagan las necesidades del indicado campo y se adapten al medio, siendo así que se obtienen seis Unidades Clase U.T.B.

El presente trabajo de tesis pretende ser una guía de apoyo para estudiantes, egresados y recién graduados en cuanto a la construcción de embarcaciones de aluminio de cualquier tipo, este desarrollo no está encaminado a ser un manual de construcción como tal, sino el dar herramientas de conocimiento, para así poder examinar, predecir o determinar diversos problemas que se pueden presentar dentro de una construcción sea en serie o no de embarcaciones en aluminio y sus posibles soluciones.

El enfoque, dado a éste tema para su desarrollo, se basa en que las nuevas generaciones de estudiantes y profesionales se enfrentan al armado de un buque con los conocimientos teóricos impartidos en las aulas de la universidad; los cuales si bien son necesarios técnicamente, no suelen ser suficientes en el campo laboral, teniendo que, como en muchos casos, improvisar o dedicar tiempo esencial al aprendizaje inmediato en lo referente al armado de una embarcación, por ello se busca establecer herramientas que permitan al personal involucrado, sin mucha experiencia, en una construcción naval, a realizar juicios de valor y establecer soluciones viables, que permitan la mejora constructiva.

De tal forma que, en el primer capítulo se hará una breve introducción mostrando el porqué del presente trabajo, sus objetivos, se describirá al metal utilizado para su estudio (aluminio), sus ventajas, características generales, clasificación, codificación y un breve rasgo de características comparativas con otros materiales.

En el segundo capítulo se establecerá las consideraciones constructivas de un casco de aluminio naval, las herramientas y/o materiales empleados comúnmente en nuestro medio para tratamiento del aluminio y un sumario de las consideraciones que se debe tener tanto al momento de armar o construir una embarcación, como al de aplicar un procedimiento de soldadura.

Además se nombrará de forma breve las normas que se han empleado en la realización de éste tópico y en las que el constructor puede guiarse al momento de tratar con aluminio.

En el Tercer y último capítulo se nombrará y explicara las pruebas no destructivas, la doctrina basada en las normas ISO 9000, los problemas más comunes al construir en aluminio, casos puntuales que se ha experimentado en la construcción de ciertas embarcaciones y las debidas conclusiones y recomendaciones del caso.

## INDICE GENERAL

RESUMEN

SIMBOLOGÍA Y ABREVIACIONES

INTRODUCCION

CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1.    Objetivos.....	1
Objetivo General .....	1
Objetivos específicos .....	2
1.2.    Características del material para construcción: aluminio.....	3
1.2.1.    Generalidades.....	3
1.2.2.    Aleaciones no ferrosas.....	7
1.3.    Clasificación del aluminio.....	11
1.4.    Codificación del Aluminio.....	14
1.5.    Aplicaciones del aluminio.....	20
CAPITULO II: CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS DEL CASCO .....	28
2.1.    El Proyecto, consideraciones, planos de taller .....	29
2.1.1.    Normas y reglas aplicables.....	35
2.2.    Definiciones y conceptos .....	40
2.3.    Procesos eficientes de corte.....	41
2.4.    Adecuación de espacio y camas tecnológicas.....	46
2.5.    Proceso Constructivo.....	52
2.5.1.    Criterios al momento de construcción .....	55
2.6.    Procedimientos y consideraciones al momento de soldar .....	71
2.6.1.    Calificación de soldadores para aluminio .....	73
2.6.2.    Preparación del material base.....	79
2.6.3.    Características de soldadura del aluminio naval .....	83
CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD .....	85
3.1.    Doctrina de calidad basada en ISO 9000 .....	86

3.1.1. Procedimientos de control de calidad.....	87
3.2. Pruebas no destructivas .....	91
3.3. Problemas comunes .....	93
CONCLUSIONES .....	102
RECOMENDACIONES.....	106
ANEXOS .....	111
BIBLIOGRAFIA.....	121

## SIMBOLOGIA Y ABREVIACIONES

$\delta$	Elongación	Knt	Nudos
$\sigma$	Esfuerzo	Mg	Magnesio
ABS	American Bureau of Shipping	mm	Milímetro
		Mn	Manganesio
Al	Aluminio	Mo	Molibdénico
API	American Petroleum Institute	PQR	Procedure Qualification Records
ASTM	American Society for Testing Materials	Psi	Pound square inches
		Pulg	Pulgada
AWS	American Welding Society	Si	Silicio
BV	Bureau Veritas	Sn	Estaño
CAD	Computer Aided Design	WPS	Welding Procedure Specification
Cu	Cobre		
EPP	Equipo de Protección Personal	Zn	Zinc
IACS	International Association of Classification Societies		
ISO	International Organization for Standardization		

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.3.2 (a) Características generales de metales y aleaciones no ferrosas.....	8
Tabla 1.3.2 (b) Efecto de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio y aleaciones.....	9
Tabla 1.4.1 Sistema de designación para las aleaciones de aluminio.....	12
Tabla 1.4.2 Características de las aleaciones de Aluminio.....	13
Tabla 1.5.1 Clasificación por el estado .....	16
Tabla 1.6.1 Aplicaciones del aluminio dentro de la industria. ....	21
Tabla 2.5.1.1 Desalineamiento en juntas de planchas.....	69

## INDICE DE FIGURAS

Figura (a) Construcción en Aluminio	
Figura (b) Construcción en Aluminio	
Figura (c) Construcción en Aluminio	
Figura (d) Construcción en Aluminio	
Figura 2.3.1 Mesas de Corte .....	43
Figura 2.3.2 Distribución de piezas para cortes.....	44
Figura 2.3.3 Maquina de plasma portátil.....	45
Figura 2.3.4 (a) Cama Tecnológica para Construcciones invertidas.....	48
Figura 2.3.4 (b) Cama Tecnológica en Construcción Tradicional .....	48
Figura 2.3.5 Construcciones con puntos de apoyo .....	50
Figura 2.5.1.1 Trazado de líneas de Control.....	58
Figura 2.5.1.2 Reforzamiento estructural.....	68
Figura 2.5.1.3 Desplazamientos estructurales .....	70
Figura 3.3.1 Fisura en Cordones de Soldadura .....	96
Figura 3.3.2 Soldadura de perfiles-plancha. ....	100
Figura 3.4.1 Acuñamiento de embarcaciones de aluminio .....	109

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO A: Tabla 1.3.1.1 Propiedades físicas de los materiales a temperatura ambiente

ANEXO B: Posiciones de soldadura para calificación de procedimientos y soldadores

ANEXO C: PQR y WPS

ANEXO D: Tipos de juntas

ANEXO E: Pautas para elaboración de Manuales

## INTRODUCCIÓN

Si bien la construcción de embarcaciones data desde la época antigua (50,000 a 60,000 años atrás), no es sino hasta la época de la revolución industrial donde se pasa de la elaboración de buques de madera a metal, en ésta época del siglo XIX es donde comienza a verdaderamente desarrollarse la construcción metálica, luego de ello y con el desarrollo en la ciencia de los materiales y la metalurgia es que se da espacio a la utilización de diversos materiales, aleaciones y empleo de técnicas de soldeo.

**En nuestro país cuando se estableció el CUERPO DE GUARDACOSTAS DE LA ARMADA, el cual fue creado por el Mando de la Marina, en base a la demanda de patrullaje y que el control de la pesca debía ser llevado dentro de las funciones específicas en la Defensa Externa del país, se dotaron de unidades clase UTB.**

**De las seis Unidades Clase U.T.B., las dos primeras “Río Puyango” y “Río Mataje”, fueron construidas en Estados Unidos y se incorporaron a la Armada en Agosto de 1987; más tarde, construidas totalmente en los Astilleros Navales ecuatorianos (ASTINAVE), fueron la “Río Zarumilla” y**

**“Río Chone” entregadas el 11 de Marzo de 1988 y las “Río Daule” y “Río Babahoyo”, en Julio de ese mismo año <sup>[1]</sup>.**

Por lo que se puede decir que la construcción en base a aluminio comienza en nuestro país a partir de la década de los 80's, y se ha dado un aumento en los últimos años (aproximadamente desde el 2008) especialmente en la construcción de embarcaciones completamente de aluminio naval de hasta 36 m de eslora.

***Figura (a) Construcción en Aluminio***



**Fuente:** Personal, Construcción de 02 Yates en Aluminio-Astillero Maridueña, 2011

Tal es así que el aluminio ya no solamente es empleado en la construcción mixta (acero-aluminio); en buques que buscan aligerar peso en su

---

<sup>1</sup> Reseña histórica, Cuerpo de Guardacostas, Armada del Ecuador

superestructura o en embarcaciones deportivas, sino que se realizan construcciones totalmente de éste material: casco, superestructura, y sistemas auxiliares.

Desde el mencionado año hasta el presente se han construido cerca trece embarcaciones en aluminio; entre 02 astilleros del medio, siendo éstas embarcaciones de carácter interceptoras, patrullaje, guardacostas, de transporte y turismo, asumiendo así cada astillero el uso de técnicas, metodologías, y tecnología deferente, propias de cada constructor.

***Figura (b) Construcción en Aluminio***



**Fuente:** Personal, Construcción de 04 Lanchas Interceptoras, Proyecto CAE-ASTINAVE,  
2009-2010

**Figura (c) Construcción en Aluminio**



**Fuente:** Personal, Construcción de 04 Lanchas interceptoras, Proyecto COGUAR 1304-  
ASTINAVE, 2011

**Figura (d) Construcción en Aluminio**



**Fuente:** Personal, Construcción de Lancha Guarda Costa, Proyecto 2606 "Hercules"-  
ASTINAVE, 2012

A pesar de ello, y aun que en nuestro medio, existen profesionales ingenieros con gran experiencia laboral, las nuevas generaciones se enfrentan al armado de un buque con los conocimientos teóricos impartidos en las aulas de la universidad; los cuales si bien son necesarios técnicamente, no suelen ser suficiente en el campo laboral, teniendo que, como en muchos casos, improvisar o dedicar tiempo esencial al aprendizaje inmediato en lo referente al armado de una embarcación.

Si bien es cierto, los conocimientos teóricos dentro de cualquier profesión son importantes, resulta aun más interesante y productivo, el conocer por experiencias de otros, las posibles problemáticas con las cuales el futuro profesional puede o no enfrentarse en el campo laboral. Debe de mencionarse que los conceptos básico para la construcción de cualquier tipo de embarcación no cambian con el tiempo, caso que no ocurre con las técnicas y metodologías o forma de construcción, la cual es inherente de cada astillero o profesional, esto debido a que hoy en día se cuenta con herramientas, y métodos constructivos, los cuales van encaminados a la optimización de tiempo y recursos se han estos de talento humano o materia prima.

El presente trabajo previo a la obtención del título de pregrado, estará enfocado en dar a conocer parámetros y lineamientos para el control y

aseguramiento de la calidad en cuanto a la construcción de cascos de aluminio, las posibles problemáticas que pueden suscitarse en su ejecución, herramientas de examinación y soluciones viables que se pueden emplear en éste tipo de obras.

# **CAPITULO I: GENERALIDADES**

## **1.1. Objetivos**

### **Objetivo General**

Dar a conocer mediante el presente trabajo, las diferentes técnicas, metodologías que se puede emplear en la construcción naval, y las pautas que se debe tomar en cuenta en el proceso constructivo de un casco de aluminio para el aseguramiento de la calidad, así como las problemáticas que se pueden presentar y sus posibles soluciones.

### **Objetivos específicos**

- Fortalecer los conocimientos básicos y teóricos, a través de la identificación de problemas que pueden presentarse en la construcción de buques de aluminio.
  
- Enunciar algunos de los parámetros a considerar en la construcción de cascos y estructuras de aluminio naval.
  
- Identificar problemáticas constructivas, las cuales pueden ser de tipo predecibles.
  
- Establecer una pauta para la elaboración de guías, manuales o publicaciones acerca de los métodos y técnicas de la construcción en aluminio para el ámbito naval e industrial.
  
- Contribuir al conocimiento de herramientas, maquinarias, empleadas en la construcción de embarcaciones de aluminio.
  
- Dar a conocer técnicas de soldeo, y métodos de soldeo empleado en cascos de aluminio, y la utilidad de ellos en el ámbito naval

## **1.2. Características del material para construcción: aluminio**

### **1.2.1. Generalidades**

Dentro de la industria cualquiera que ella sea, se pueden y se ha experimentado la utilización de distintos materiales, sean esta metálicos o de tipo polímero. En la industria naval podemos mencionar que se emplean así mismo todo tipo de materiales, sean metálicos: ferrosos o no ferrosos, los no metálicos y materiales compuestos (composites).

Para conocer acerca del metal o material a emplear en cualquier tipo de industria, se hace indispensable nombrar ciertas características del material, siendo comúnmente las propiedades físicas, y mecánicas, dentro de cada una de ellas tenemos, para el caso de propiedades físicas:

- ✓ Color
- ✓ Densidad
- ✓ Conductividad eléctrica
- ✓ Conductividad térmica
- ✓ Reflectividad

- ✓ Resistencia a la corrosión
- ✓ Toxicidad
- ✓ Apariencia

Para las propiedades Mecánicas:

- ✓ Resistencia a la ruptura
- ✓ Resistencia a la Tensión
- ✓ Resistencia a la flexión
- ✓ Dureza
- ✓ Elongación
- ✓ Módulo de elasticidad
- ✓ Resistencia máxima a la tensión

Como el objetivo de estudio es el aluminio como metal de construcción es por ello la importancia de conocer levemente algunas propiedades físicas de estos materiales, los cuales algunos de ellos se muestran en el **ANEXO A: Tabla 1.3.1.1 Propiedades físicas de los materiales a temperatura ambiente**<sup>[2]</sup>.

---

<sup>2</sup> Manufactura, ingeniería y tecnología, Serope Kalpakjian, 4<sup>o</sup> edición, pág. 159

Debemos de mencionar que el aluminio constituye uno de los elementos metálicos no ferrosos más abundantes en la corteza terrestre después de sílice, obtenido principalmente de bauxita.

**“El metal fue descubierto en 1727, pero sólo se obtuvo en pequeñas cantidades hasta que fue reducido electrolíticamente en 1885”<sup>[2]</sup>.** El metal es magnético y muy reflectante, suave y dúctil en estado recocido, es fácilmente trabajado en frío a moderada fuerza. Es resistente a la corrosión en muchos ambientes debido a la presencia de una capa delgada de óxido de aluminio o calamita que se crea al contacto con el aire, esto y el hecho de que aleado con diferentes metales aumenta su resistencia mecánica, le permiten obtener diferentes aplicaciones dentro de la industria constructora.

**El aluminio Puro (99,99%) tiene una gravedad específica de 2,70 o una densidad de 0,097 lb/in<sup>3</sup> (2.685 kg/m<sup>3</sup>), un punto de fusión de 1.220 ° F (660 ° C), eléctricos y la conductividad térmica cerca de dos tercios del cobre, y un módulo de elasticidad de 9x10<sup>6</sup> lb/pulg<sup>2</sup> (62.000 MPa)<sup>[3]</sup>.**

### **Ciclo de vida del Aluminio**

---

<sup>3</sup> Material Handbook, Mc Graw-Hill

➤ *Extracción de la bauxita*

La extracción de la bauxita es el primer paso en la producción del aluminio.

➤ *Producción de la alúmina*

La alúmina, materia prima para la producción de aluminio primario, se extrae de la bauxita.

➤ *Producción de aluminio primario*

El aluminio primario se produce mediante electrólisis.

➤ *Semi-fabricación*

Conlleva diferentes procesos industriales: laminado, fundición y extrusión.

➤ *Producto manufacturado*

El aluminio se transforma en productos finales.

➤ *Fase de utilización*

Las principales salidas de los productos de aluminio son los productos para los sectores de transporte, construcción, envase y embalaje e ingeniería.

➤ *Reciclado*

Todo el aluminio de los productos que se recogen, se recicla y reutiliza en posteriores procesos de fabricación.

### **1.2.2. Aleaciones no ferrosas**

Los metales y aleaciones, suelen dividirse en dos categorías: ferrosas y no ferrosas, la primera dependiente netamente del hierro como principal elemento o constituyente, entre ellas se incluyen los aceros, aceros inoxidable y hierro fundido, mientras que las no ferrosas es donde interfieren distintos metales diferentes al hierro.

Como es de conocimiento el combinar o alear unos metales con otros se puede conseguir propiedades y características más apropiadas para el ámbito comercial, dependiendo del uso que se le quiera dar.

Si bien el aluminio no presenta un límite de resistencia a la fatiga bien definido, que su punto de fusión por ser bajo, por lo que no se comporta bien a elevadas temperaturas, y que las aleaciones de aluminio tienden a tener escasa dureza, lo que origina poca resistencia al desgaste, las aleaciones con éste material (aluminio) pueden llegar a ser 30 veces más

resistentes que el aluminio puro, y la importancia en la selección de trabajar con éste material radica en su relación resistencia a la tensión con respecto al peso, su resistencia a la corrosión frente a muchos productos químicos, su apariencia, maquinabilidad y facilidad de conformado, lo cual lo hace un material competitivo dentro de la industria naval, y metal mecánico.

En la *tabla 1.3.2 (a)* se muestran algunas de las características de los metales y aleaciones no ferrosas, con lo cual podemos establecer parámetros comparativos, que ayudan a dar un mejor criterio acerca del aluminio y aleaciones.

**Tabla 1.3.2 (a) Características generales de metales y aleaciones no ferrosas**

<b>Material</b>	<b>Características</b>
<b>Aleaciones no ferrosas</b>	Más cara que los aceros y plásticos; amplio rango de propiedades mecánicas, físicas y eléctricas; buena resistencia a la corrosión; aplicaciones a alta temperatura
<b>Aluminio</b>	Alta proporción de resistencia a peso; alta conductividad térmica y eléctrica; buena resistencia a la corrosión; buenas propiedades de manufactura
<b>Magnesio</b>	El metal más ligero; buena proporción resistencia a peso

<b>Cobre</b>	Alta conductividad térmica y eléctrica; buena resistencia a la corrosión; buenas propiedades de manufactura
<b>Super aleaciones</b>	Buena resistencia y resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas; pueden ser de base de hierro, cobalto y níquel
<b>Titano</b>	La más alta proporción de resistencia a peso de todos los metales; buena resistencia y resistencia a la corrosión a altas temperaturas
<b>Metales refractarios</b>	Molibdenu, niobio, tungsteno y tantalio; alta resistencia a altas temperaturas
<b>Metales preciosos</b>	Oro, plata y platino; en general buena resistencia a la corrosión

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, Serope Kalpakjian

Así como se ha visto en la tabla anterior algunas de las propiedades de los metales y aleaciones, podremos ver las propiedades mecánicas en la siguiente tabla:

**Tabla 1.3.2 (b) Efecto de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio y aleaciones**

Material	Resistencia a la tensión (psi)	$\sigma$ (psi)	$\delta$ (%)	$\sigma_{fa}$ $\sigma_{fp}$
<b>Aluminio puro recocido (99,999% Al)</b>	6500	2500	60	

<b>Aluminio puro comercial (recocido,99% Al)</b>	13000	5000	45	2,0
<b>Endurecido por solución sólida (1,2% Mn)</b>	16000	6000	35	2,4
<b>Aluminio puro trabajado en frío un 75%</b>	24000	22000	15	8,8
<b>Endurecido por dispersión (5%Mg)</b>	42000	22000	35	8,8
<b>Endurecido por envejecimiento (5,6% Zn-2,5% Mg)</b>	83000	73000	11	29,2

Fuente:La ciencia e ingeniería de los materiales, Donald Askeland

**Las aleaciones de aluminio están disponibles como productos de laminación, es decir, como productos en bruto presentados en varias formas mediante laminado, extrusión, estirado y forjado. Están disponible lingotes de aluminio para fundición, como aluminio en polvo para aplicaciones de metalurgia de polvos <sup>[4]</sup>.**

Hoy en día se han desarrollado técnicas para aleaciones de aluminio de tal forma que facilitan el trabajo en ellas, ya sea para ser sometidos a maquinados, formados, además que la tecnología en soldadura permite su soldadura fácilmente.

<sup>4</sup> Manufactura, ingeniería y tecnología, Serope Kalpakjian

### 1.3. Clasificación del aluminio

Las aplicaciones que se les puede dar o no al aluminio y sus aleaciones, dependerá claramente del porcentaje del material de aporte, pudiendo tener una gama de aleaciones de aluminio, para distintos trabajos a efectuar.

Para la clasificación del aluminio, la mayoría de autores concuerdan en que pueden subdividirse en dos grandes grupos: aleaciones para forja y aleaciones para fundición, de acuerdo con el método de fabricación. Dentro de cada grupo principal se tienen dos subdivisiones de sus aleaciones: (1) aleaciones tratables térmicamente y (2) aleaciones no tratables térmicamente, la diferencia entre éstas subdivisiones radica en la forma de endurecimiento de la aleación, las cuales pueden ser por envejecimiento, solución sólida, deformación o dispersión.

La clasificación de las aleaciones de aluminio se realiza mediante el sistema de enumeración (serie) la cual es especificada por la AAI (Aluminum Assosiation Inc), que se muestra en la **Tabla 1.4.1 Sistema de designación para aleaciones de aluminio:**

**Tabla 1.4.1 Sistema de designación para las aleaciones de aluminio**

<b>Aleaciones para forja</b>		
<b>Serie</b>	<b>Aleación</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>1xxx</b>	Aluminio comercialmente puro (>99%Al)	No envejecido
<b>2xxx</b>	Al-Cu	Endurecible por envejecimiento
<b>3xxx</b>	Al-Mo	No envejecido
<b>4xxx</b>	Al-Si y Al-Mg-Si	Endurecible por envejecimiento si hay magnesio presente
<b>5xxx</b>	Al-Mg	No envejecido
<b>6xxx</b>	Al-Mg-Si	Endurecible por envejecimiento
<b>7xxx</b>	Al-Mg-Zn	Endurecible por envejecimiento
<b>Aleaciones fundidas</b>		
<b>Serie</b>	<b>Aleación</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>1xxx</b>	Aluminio comercialmente puro	No envejecido
<b>2xxx</b>	Al-Cu	Endurecible por envejecimiento
<b>3xxx</b>	Al-Si-Cu o Al-Mg-Si	Algunas son endurecibles por envejecimiento
<b>4xxx</b>	Al-Si	No envejecido
<b>5xxx</b>	Al-Mg	No envejecido
<b>7xxx</b>	Al-Mg-Zn	Endurecible por envejecimiento
<b>8xxx</b>	Al-Sn	Endurecible por envejecimiento

Fuente: Materiales para Ingeniería, AAI

Una vez visto los tratamientos que pueden tener las diferentes series de aleaciones de aluminio en sus dos clasificaciones anteriormente mencionadas, se mostrará a continuación la *Tabla 1.4.2* las características generales de cada una de las series, en la cual se mencionan las características por serie de las aleaciones de aluminio:

**Tabla 1.4.2 Características de las aleaciones de Aluminio**

Serie	Características
<b>1xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia a la corrosión</li> <li>• No tóxico</li> <li>• Excelente acabado</li> <li>• Excelente maleabilidad</li> <li>• Alta conductividad eléctrica y térmica</li> <li>• Excelente reflectividad</li> </ul>
<b>2xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia mecánica</li> <li>• Alta resistencia a la corrosión</li> <li>• Buena maquinabilidad</li> </ul>
<b>3xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia mecánica</li> <li>• Alta resistencia a la corrosión</li> <li>• Buena maleabilidad</li> </ul>
<b>4xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia al calor</li> </ul>
<b>5xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia mecánica</li> <li>• Alta resistencia a la corrosión, especialmente al agua de mar</li> <li>• Muy buena soldabilidad</li> </ul>
<b>6xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia mecánica</li> <li>• Buena resistencia a la corrosión</li> <li>• Buena maquinabilidad</li> <li>• Buena soldabilidad</li> </ul>
<b>7xxx</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia mecánica</li> <li>• Buena maquinabilidad</li> </ul>

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, Serope Kalpakjian

Una vez que se conoce las propiedades generales de cada aleación o serie principal del aluminio y el metal de aporte, se puede establecer con mayor criterio cual es el aluminio más recomendable, no solo para el uso naval directamente, sino un aluminio estructural, el cual puede o no sustituir en ciertos casos al aluminio acostumbrado en nuestro medio.

#### 1.4. Codificación del Aluminio

Tal como se hace mención en el subcapítulo anterior, el aluminio se clasifica en dos grupos principales: para forja y para fundición, en cuales quiera de los casos, se tiene cuatro dígitos para establecer las características del material o aluminio que se va a emplear.

Es así que tenemos lo siguiente

Aleaciones de forja	Aleaciones de fundición
<b>XXXX</b>	<b>XXX.X</b>

Teniendo para ambos casos, que el primer dígito define el componente o material principal en la aleación (*ver Tabla 1.4.2 Características de las aleaciones de aluminio*). El segundo

dígito es referente al control de impurezas así tenemos lo siguiente:

➤ En la serie **1 x x x** :

**1 0 x x** No hay control

Los demás Control especial

➤ En las series **2 x x x** a **8 x x x**

**x 0 x x** Aleación original

**x 1 x x hasta x 8 x x x** Modificaciones Controladas

El tercer y cuarto dígito corresponde a Anotaciones especiales, es así que en la serie **1 x x x**, indica el porcentaje mínimo de Aluminio, sobre 99%. En las demás series, los dígitos no tienen un significado especial, usándose para identificar aleaciones diferentes (de marca) dentro de un mismo grupo.<sup>[5]</sup>

La siguiente parte en su nomenclatura o clasificación, hace referencia al estado del aluminio, así que tenemos<sup>[6]</sup>:

**F: Estado bruto.** Es el material tal como sale del proceso de fabricación.

<sup>5</sup> Tecnología del Aluminio, German Urdaneta H.

<sup>6</sup> Aluminio y sus aleaciones, Ing. Juan José Vega, Publicación Junio 2009

**O: Recocido.** Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo.

**H: Estado de Acritud.** Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.

**T: Tratamiento térmico.** Materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior.

**W: Solución tratada térmicamente.** Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural. Las designaciones de W y T solo se aplican a aleaciones de aluminio de forja o de fundición que sean termo tratable.

**Tabla 1.5.1 Clasificación por el estado**

<b>F</b>	Material extruído sin temple, sin ningún tratamiento posterior.
<b>O</b>	Recocido mediante tratamiento térmico.
<b>H</b>	Endurecido mediante tratamiento mecánico. (Por deformación)

---

**T ó W** Temple obtenido por  
tratamiento térmico con  
o sin tratamiento mecánico.

---

Así mismo para todos los estados; exceptuando el estado F (estado en bruto), existen diferentes grados de temple, recocido o endurecimiento, los cuales dependerán del tratamiento que se le dé a la aleación, el cual repercutirá en sus propiedades físicas y mecánicas.

- Comenzaremos con el estado T, para ello se dan diez (10) niveles diferentes, los cuales se definen como<sup>[4]</sup>:

- T1** Enfriado y envejecido naturalmente.
- T2** Recocido (solo productos fundidos)
- T3** Tratamiento en solución y luego trabajado en frío
- T4** Tratamiento en solución y envejecido naturalmente
- T5** Envejecimiento artificial
- T6** Tratamiento en solución y envejecido artificialmente
- T7** Tratamiento en solución y estabilizado
- T8** Tratamiento en solución, trabajado en frío y envejecido artificialmente
- T9** Tratamiento en solución, envejecido artificialmente y trabajado en frío

**T1 0** Enfriado, envejecido artificialmente y trabajado en frío.

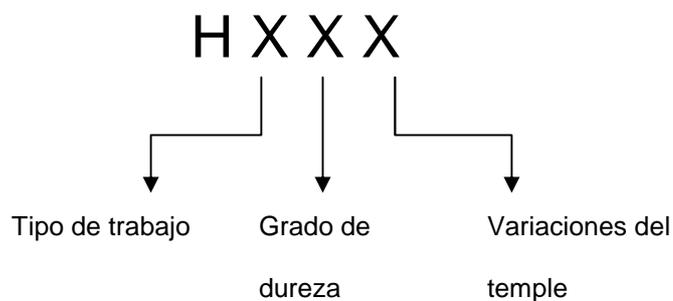
- Para el recocido, tenemos 04 (cuatro niveles), los cuales se definen de la siguiente forma<sup>[5]</sup>:

**01** Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.

**02** Sometido a tratamiento termomecánico.

**03** Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambrones y a las bandas de colada continua, que son sometidos a un tratamiento de difusión a alta temperatura.

- Para el estado H (acritud) existen diferentes niveles, tal es así que la nomenclatura para definir este estado y propiedades, se basa en la colocación de 03 (tres) dígitos, es decir H XXX, el primero indica el tipo de trabajo, el segundo el grado de dureza, y el tercero, variaciones del temple.



Para cada una de éstas cifra existe una numeración, la cual dentro de su cifrado nos da una categoría para cada estado, es así que<sup>[4]</sup>:

- Para el primer dígito:

**H 1 x x**      En frío, solamente

**H 2 x x**      En frío y parcialmente recocido

**H 3 x x**      En frío y estabilizado

- Para el segundo dígito:

**H x 1 x**      Un octavo de dureza

**H x 2 x**      Un cuarto de dureza

**H x 3 x**      Tres octavos de dureza

**H x 4 x**      Media dureza

**H x 5 x**      Cinco octavos de dureza

**H x 6 x**      Tres Cuartos de dureza

**H x 7 x**      Siete octavos de dureza

**H x 8 x**      Dureza total o duro

**H x 9 x**      Muy duro

- Para el tercer y último dígito:

**H x x 1**      Endurecido por debajo del temple exigido

<b>H x x 2</b>	Endurecido naturalmente, pero sin control de temple
<b>H x x 3</b>	Resistencia aceptable a corrosión por ranura
<b>H x x 4</b>	Producto grabado en la superficie, con un patrón.

Conociendo de ésta forma la codificación o nomenclatura con que es designado el aluminio, podremos establecer el alambre de soldadura, el posible procedimiento, las propiedades, características de la plancha o perfil a emplear en el ámbito naval, siendo las más utilizadas la de la serie 5000, por contener un porcentaje de magnesio al 3% tal como lo demandan las sociedades clasificadoras.

### **1.5. Aplicaciones del aluminio**

Una vez, que se ha detallado al aluminio, revisaremos unas cuantas aplicaciones de las series más comerciales, y el empleo en general que se le da a éste material.

El aluminio se emplea en diferentes industrias, tales como:

- ✓ Construcción

- ✓ Transporte terrestre
- ✓ Transporte aéreo
- ✓ Transporte Marítimo
- ✓ Agronomía
- ✓ Metal mecánica
- ✓ Electricidad/Energía/Minería

Dentro de cada una de estas industrias, el aluminio se puede emplear en diferentes formas, tal como veremos en la **Tabla 1.6.1 Aplicaciones del aluminio dentro de la industria.**

**Tabla 1.6.1 Aplicaciones del aluminio dentro de la industria.**

INDUSTRIA	APLICACIONES
<b>Transporte Terrestre</b>	Carrocerías, bastidores, tablones para pisos, radiadores, motores, casas rodantes, vehículos refrigerados, bicicletas, contenedores, remolques, etc
<b>Trans. Aéreo y Marítimo</b>	Estructuras y superestructuras de embarcaciones.
<b>Agronomía</b>	Techos y paredes de silos, comederos para granjas, sistemas de irrigación, tanques de almacenamiento, invernaderos, etc
<b>Construcción</b>	Ventanas, puertas, mamparas, enrejados, fachadas, estructuras, techados y placas para paredes, accesorios, casas pre fabricado, cámaras frigoríficas, pisos, barandas, rejas, señalización y carteles de publicidad.
<b>Minería / Energía / Electricidad</b>	Estructuras, soportes de techo, artesas de transporte de mineral, tuberías portacables, tuberías para conducción de líquidos y gases, luminarias y artefactos de iluminación

<b>Metal Mecánica</b>	Partes y piezas para máquinas, andamios, rejas, estructuras soldadas y reforzadas.
<b>Varios</b>	Remaches, pernos, tornillos, utensilios de cocina, disipadores de calor, escaleras, antenas, torres de comunicación, implementos para deportes, etc.

---

# **CAPITULO II: CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS DEL CASCO**

En éste capítulo se enfoca en dar herramientas de conocimiento y aplicación de normas constructivas, combinadas con ciertas experiencias en construcciones de cascos de aluminio, enumerándose pautas desde el inicio del proyecto, tanto en la construcción como en parte de diseño, hasta llegar al final del mismo.

## **2.1. El Proyecto, consideraciones, planos de taller**

Al momento de pretender aplicar aluminio para la construcción de embarcaciones, se debe hacer como en cualquier proyecto, desde la etapa de diseño, teniendo en cuenta especificaciones técnicas, costos, materiales, planos estructurales, planos constructivos, procedimientos de soldadura, en fin un sin número de actividades propias del desarrollo constructivo de una embarcación, sea cual sea las dimensiones de ella, ya que de los resultados minuciosos y estudiados en ésta etapa, depende el desarrollo completo del proyecto o construcción de una embarcación, hasta su finalización.

El hincapié que se pretende dar en éste punto, aunque pueda volverse repetitivo en nuestro medio, es debido a que la etapa constructiva o de armado, está enlazada directamente con la etapa de diseño; los detalles constructivos, observaciones de parte del diseñador, los cuidados y sugerencias que se dan a los encargados de ejecutar la obra, son sumamente importantes, ya que entre más minucioso sea el trabajo en ésta etapa del proyecto, menores llegarán a ser los errores que se cometan en la etapa constructiva, y subjetividades que se den a entendimiento y libre juicio de los constructores.

Dentro del desarrollo del proyecto, está el abarcamiento de todas las especificaciones generales, básicas y concretas sea de un diseño parcial o total de una embarcación. Como es de conocimiento, cualquier proyecto en toda industria, se tiene diferentes etapas que componen al desarrollo de un proyecto dentro de la llamada espiral de diseño, el mismo que parte desde los conceptos generales hasta llegar a la etapa final del proyecto, en el cual se han desarrollado y mejorado cada uno de los sistemas y etapas del proyecto.

En esta sección se nombrará a tres clases (etapas) de proyectos: conceptual, contractual, y de ejecución; teniéndose en cuenta que no solamente existen estas clases de proyectos o etapas de proyectos, y aclarando que la clasificación o determinación de los diferentes proyectos y sus etapas, depende netamente de los autores de las diferentes obras literarias o de investigación.

Para el desarrollo total y completo de un proyecto, de acuerdo a especificaciones establecidas en base a las exigencias del cliente o armador, y las ofrecidas por el astillero, las cuales al final siempre se tiene que llegar a un mutuo acuerdo, los proyectistas y personal involucrado en ello, deberá de basarse en herramientas de diseño, tener en cuenta la capacidad técnica y tecnológica de construcción del

astillero, la metodología de construcción, la capacidad en cuanto a logística (compras, transporte, indumentarias de seguridad).

### **El proyecto conceptual**

El proyecto conceptual, en palabras que concreten su gran significado, es aquella parte del proyecto en que se tiene o conoce información básica del mismo.

En ésta etapa del proyecto se requiere un conocimiento global de la embarcación, el entendimiento de éste, es por decirlo “vago” (aunque mal dicho), entre algunos puntos de conocimientos básicos se podría tener:

- Forma de la embarcación
- Distribución general
- Capacidad de carga, pasajeros, tripulantes
- Objetivo del proyecto
- Dimensiones principales
- Material de construcción (opcional)

En ésta etapa pese a que el conocimiento es global, se tiene que tener en cuenta que es parte de la ingeniería previa, es aquella que muestra al cliente la venta de la embarcación, es con la cual se puede decir, que se realiza el marketing o muestreo del producto final.

### **Proyecto Contractual**

En ésta fase, el conocimiento del proyecto o embarcación deberá ser mucho mayor al anterior, debiéndose haber aplicado la conocida espiral de diseño a la fase anterior y ha ésta, cuantas veces sea necesario, para que el contrato sea lo más cercano posible a la realidad de ejecución, en ésta fase se puede incluir los siguientes puntos:

- Capacidad de tanques
- Sistemas auxiliares: sistema de combustible, agua dulce, enfriamiento, sanitario, escape, etc
- Distribución general (mejorada), con compartición de espacios más reales y acordes a las medidas reales de la embarcación.
- Sistema eléctrico, electrónico y navegación
- Material de construcción
- Reglamentación, norma, leyes aplicables a la construcción

- Planificación de tiempos de ejecución de obra, incluyendo protocolos de prueba
- Escantillonado final de la embarcación
- Sistema de propulsión
- Velocidad a máxima carga
- Equipamiento total de la embarcación; en cuanto a maquinaria
- Tipo de aislamiento a emplear, en las diferentes secciones de la embarcación
- Autonomía de la embarcación
- Sistema de amarre y fondeo
- Protección catódica, plan de pintura
- Alcances del Astillero en cuanto a dotación, entrenamiento a tripulantes, pruebas.
- Forma, lugar de entrega
- Tiempo de entrega, cobro de multas

Como se mencionó anteriormente al llegar a ésta etapa el diseño, las especificaciones técnicas que se tengan documentadas, realizadas por el departamento de ingeniería o de diseño; o de cualquier personal encargado de ello, deberá de estar completamente seguro de su finalización, ya que de esa etapa de diseño bien detallada, dependerá el éxito de la obra.

En éste punto la empresa o contratista (astillero) deberá estar listo para firmar un contrato con el contratante (armador) de tal forma que sea beneficioso y satisfactorio para ambas partes.

### **Proyecto de Ejecución**

En ésta fase; que a juicio personal, es la final, tanto el personal de diseño como los encargados de ejecutar la obra, tendrán el conocimiento suficiente, en cuanto a la información del proyecto. Ésta etapa es la que se debe de considerar como la etapa de detalles, en ella se dan a conocer de manera específica todos los materiales a emplear, tales como:

- Formas de anclaje de protección catódica
- Texturas o rugosidad de planchas para aplicación de plan de pintura
- Clase o tipo de escotillas
- Detalles de montaje de escotillas, escalas, escaleras, puertas cubichete de maquina
- Método de aislación de combinación de materiales Aluminio-Acero
- Ensamblaje de tuberías, formas de conexiones
- Detalles de soldadura: juntas, proceso, procedimiento

- Detalles de bases de equipos y ubicación de cada uno de ellos
- Detalles de montaje de sistema propulsor: alineación de túneles, arbotantes, limeras, palas, etc
- Maquinado de túneles, bocines
- Detalles estructurales típicos
- Seguros de cadena, palas

En sí, todo aquello que intervenga directamente en el área de producción o ejecución, ya que de ésta clase de preparación de diseño dependerá la reducción de errores o posibles omisiones de la parte constructora, ésta etapa o fase de trabajo no es de relevancia para la firma de contratos, pero si para su construcción.

### **2.1.1. Normas y reglas aplicables.**

Conociendo que existen normas y reglamentaciones diversas; no solo en el ámbito naval sino industrial, el constructor o astillero deberá en primer lugar, definir bajo que parámetros de realización se ejecutará la construcción de una embarcación, sea de carácter internacional, nacional o inherente del astillero. Tal es así que podemos encontrar buques con clasificación internacional, acreditado por alguna casa clasificadora

perteneciente a la IACS, los cuales pueden ser certificados en su totalidad (casco, estructura, sistemas auxiliares, propulsión, sistema eléctrico, maquinaria, accesorios, etc) incluido el procedimiento constructivo, así como también existen embarcaciones clasificadas parcialmente (solo casco) y no clasificadas, es por ello que es importante el astillero defina el alcance de una certificación (en caso de darse) o calificación interna.

Cabe mencionar que aunque las embarcaciones se construyen bajo normas apegadas a las que dicte la contratista o exija el armador, toda embarcación a construir se basa en una norma o regla, que se la certifique o no, es una cuestión aparte del trabajo de ingeniería que debe de realizarse. La aplicación de alguna regla es más que nada para así poder tener una base comparativa para diseño, sean estructurales o constructivos, en el momento de una inspección o revisión, los cuales ayudan incluso al aseguramiento de la calidad final del producto.

En ésta sección se dará a conocer algunas de las normas y reglas, en cuanto a la construcción con aluminio naval, que pueden servir de base guía para los involucrados en la

realización de una obra, no se detallará la norma en su totalidad, sino que se describirá brevemente en qué puede ser empleada.

Para lo relacionado con el diseño estructural o escantillonado de una embarcación de aluminio, el personal diseñador o estructurista, deberá de recoger la información necesaria que se apegue a los objetivos del proyecto o a la cual la embarcación esté destinada, por consiguiente en cuestiones de construcción de aluminio es mejor coger una regla o norma existente, entre ellas tenemos las de las diferentes casas clasificadoras conocidas como: ABS, Lloyd's, Germanischer, BV, cada una con cierto grado de complejidad al momento de realizar cálculos estructurales.

Una norma aplicable a embarcaciones de aluminio es la ISO 12115, referente al cálculo de escantillonado de embarcaciones de aluminio, es una norma rápida y de fácil uso, la utilidad de ella podría encaminarse cuando las embarcaciones son de desplazamiento o de semi planeo, en cuanto a las embarcaciones de planeo existen normas como la de COST GUARD de Estados Unidos, las cuales son para lanchas

rápidas. Cabe recalcar que el uso de normas no debe eximir el trabajo del diseñador por lo menos en lo referente a embarcaciones de planeo o mayores a 28 Knt, en las cuales el centro de gravedad, formas, y distribución de quipos, juega un papel de suma importancia, al mismo tiempo que se si se trata de propulsión con jet o water jet, deberá de realizarse los cálculos respectivos, para así tomar las medidas necesarias; en cuanto al diseño, si los resultados que arroja los cálculos mediante normas son los más acertados, sino deberá no de cambiarse de norma, sino ver la forma de satisfacerla de manera que se apegue a la realidad del proyecto.

En la parte administrativa, como parte del control de calidad se debe citar a las *Normas ISO*, que para el caso en particular de ésta tesis será la *ISO 9001*, la cual es dedicada al control de calidad y aseguramiento de la misma sea cualquiera su aplicación, en subcapítulos posteriores se dará a conocer ciertos formatos y las bases para el cumplimiento de la aplicación de ésta norma.

En cuestiones de producción u operación se establecerá a la norma *AWS*, las cuales son especializadas en soldadura, para los puntos que denotan cuestiones de producción se hará base

en la norma mencionada, la cual nos da pautas de limpieza y preparación de material, así también de temperaturas permitidas para soldeo, en ella se podrán apreciar las debidas recomendaciones y metodologías para la inspección visual y pruebas no destructivas, otra norma dependiente de lo que es el material es la ASTM para especificaciones de materiales, normas API, ASME para lo concerniente a tuberías.

Cabe recalcar que cada supervisor o ingeniero a cargo, debe de encargarse del registro total de la obra o tener en consideración la especificaciones de tratado, soldeo, o montaje recomendados por el personal diseñador, el cual es el responsable de proveer toda la información necesaria para el armado del buque, y la del supervisor, de ejecutar lo planteado, sin que ello signifique no proporcionar las debidas advertencias o juicios que a su experiencia pueda ocasionar o no, el seguir los lineamientos planteados.

## 2.2. Definiciones y conceptos

**Metal base.**- metal a ser soldado o cortado

**Electrodo.**-material de aporte, el cual contiene un revestimiento el mismo que crea una atmosfera de protección al aplicar la soldadura sobre el metal.

**Alambre solido.**- material de aporte, de diferentes grosores, los cuales se emplean dependiendo de la posición, espesor de material, y procedimiento a emplear

**MIG.**- Metal Inert Gas

**TIG.**- Tunsten Inert Gas

**Aleaciones.**- adición de elementos, tanto metálicos como no metálicos, a un metal base con el fin de mejorar sus propiedades en el aspecto deseado.

**Cama tecnológica.**- estructura metálica, previamente diseñada para la construcción sea de embarcaciones o parte de ellas.

**Plasma.**- elevación la temperatura del material a cortar de forma localizada por encima de los 30.000 ° C, llevando el gas utilizado hasta el cuarto estado de la materia, el plasma.

**Oxicorte.**- indica la operación de seccionamiento o corte del acero por medio de un soplete alimentado por un gas combustible y oxígeno.

**Consumibles.-** como la palabra así lo indica, son materiales que sufren degradación o gasto por uso dentro de una construcción cualquiera

**Norma.-** Una norma es una regla que debe ser respetada y que permite ajustar ciertas conductas o actividades

**Regla.-** son normativas o preceptos que deben respetarse. Lo habitual es que las reglas surjan por un acuerdo o convenio y que, una vez instauradas, sean de cumplimiento obligatorio

**Recocido.-** es un tratamiento térmico que consiste en calentar el metal a una temperatura adecuada, el cual se mantiene por un cierto tiempo, con la finalidad de alterar las propiedades mecánicas del metal.

### 2.3. Procesos eficientes de corte

Para poder definir un proceso eficiente de corte, es necesario, primero dar el concepto independiente de eficiencia: “**Capacidad de lograr los objetivos y metas programadas con los recursos disponibles en un tiempo predeterminado**”<sup>[7]</sup>.

---

<sup>7</sup> Diccionario Oceano

Dentro de los cortes para aluminio, se puede catalogar en dos grupos: manuales y automáticos; independientemente del método a emplearse las dos, cada una de forma distinta, necesita hasta cierto punto la exactitud del ser humano.

De la eficiencia de un proceso de corte, dependerá la exactitud de piezas, la precisión de un montaje, e incluso la eficiencia y eficacia que se tendrá dentro de un proyecto de construcción naval. Ya que en la actualidad el Sistema CAD, se puede diseñar piezas con total exactitud que puede ser controlada desde la fabricación antes del montaje.

En lo referente a un proceso automático, se puede citar los ya conocidos pantógrafos o mesas de corte; lo cual se la puede observar en la **Figura 2.3.1 Mesas de Corte**, en ellos se realiza de forma computarizada los cortes de cualquier pieza en una plancha, teniendo como resultado final un corte generalmente limpio y con la mayor precisión posible, no obstante cabe mencionar que la exactitud del corte está directamente relacionada con el trabajo del encargado de diseñar los corte. Con este proceso no solo se minimiza tiempo de corte en sitio, sino que existe un ahorro de material de suma consideración, ya que por tratarse de cortes sobre planchas, el

diseñador o persona encargada de ello, deberá realizar una distribución eficiente para el ahorro de material, así disminuyendo los costos de producción.

**Figura 2.3.1 Mesas de Corte**

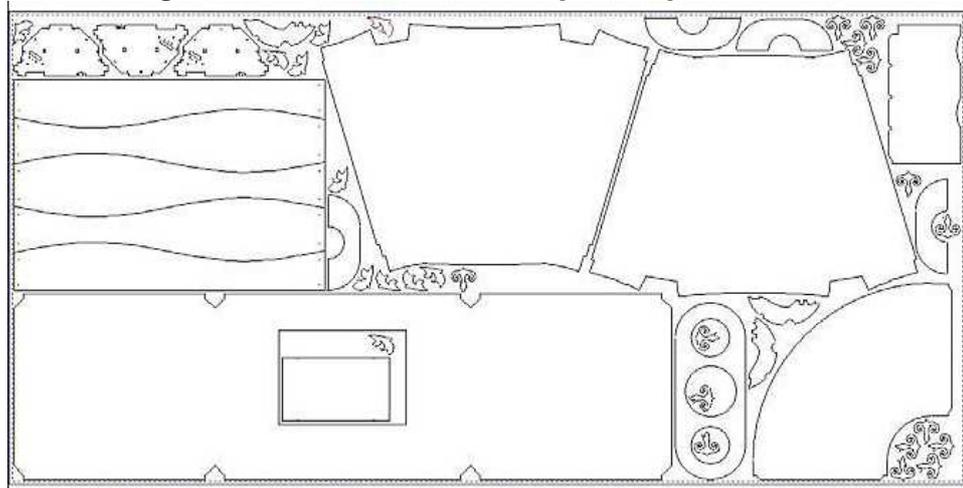


**Fuente:** Personal, Construcción Proyecto 2606-ASTINAVE

Al emplear un pantógrafo para el corte de piezas, se debe de maximizar los espacios, que se pretende utilizar una plancha, eso quiere decir que como persona encargada del diseño estructural, distribución de planchaje, se debe contar con la suficiente información de la embarcación, ya que el uso de un pantógrafo no solo demanda trabajo de diseño, sino de ejecución y de consumo de material (plancha, oxígeno, acetileno), además que si la maquinaria lo permite,

se pueden realizar diversos trazos como líneas de agua o referencias, cuadernas, etc, que faciliten el montaje de una pieza en la embarcación, ello como se menciono anteriormente, dependerá de un nivel alto de preparación del proyecto, del conocimiento total de embarcación y de facilidades de la industria donde se ejecute la obra.

**Figura 2.3.2 Distribución de piezas para cortes**



**Fuente:** Personal

Al hablar de proceso manual, mencionaremos las herramientas comúnmente utilizadas en nuestro medio, para el corte de aluminio existen las máquinas de plasma, las cuales utilizan aire a presión, la operación de ésta máquina así como de las restantes, debe de realizarse con el personal adecuado que haya usado anteriormente o haya sido instruido en ello, ya que por tratarse de equipos regulables,

depende de exactamente eso, la regulación de la máquina para los distintos trabajos de corte.

***Figura 2.3.3 Máquina de plasma portátil***



**Fuente:** Maquinas Miller

Ésta máquina de plasma es la más eficiente de corte, cuando se lo realiza en sitio u obra, ya que la es sumamente rápida y además precisa, dependiendo una vez más de la destreza del ejecutor, al emplear éste tipo de corte hay que tener absoluto cuidado con los parámetros de seguridad de la máquina como del operario, el empleo de fuentes seguras de electricidad, la colocación apropiada de la tierra, el control de espesores a cortar, el uso de EPP en los operarios, fuente segura de aire comprimido con respectivas control de presión, etc. Forman parte del correcto uso de un sistema eficiente de corte.

Por último se nombrará como parte de corte manual a la utilización de herramientas como las diferentes cierras, entre las que podemos nombrar: cierra circular, cierra recíproca, y la caladora, cada una puede ser empleadas de formas distintas, dependiendo de los grosores de la piezas a cortar, la accesibilidad del lugar, la dificultad del corte, y la destreza del obrero, el empleo de todas éstas herramientas demanda el correcto uso de EPP en los trabajadores, ya que cada una con diferentes características, presentan cierto grado de riesgo, es por ello el énfasis, en que todas y cada una de éstas herramientas de corte debe ser empleada con el máximo cuidado posible y por personas; que si es posible, lo hayan realizado antes.

#### **2.4. Adecuación de espacio y camas tecnológicas**

Una adecuación de espacios es idónea en cualquier tipo de construcción, pero las características del material a emplear deben ser tomadas en cuenta al momento de efectuarla.

De tal forma que si en una construcción en acero el viento y una humedad relativamente alta no es muy influyente en un proceso de soldadura con electrodo revestido, pues en el aluminio tiene un comportamiento distinto. Si bien es cierto se utiliza el proceso MIG,

TIG, o MIG PULSADO para procesos de suelda en aluminio; los cuales usan gas de protección, se han presentado casos de fallas en cordones de soldadura por la presencia de vientos y humedad. Lo que nos lleva a dar un gran hincapié a éste punto de adecuación de espacios, el cual no solamente se refiere a un ordenamiento del área de trabajo, sino tratar la disminución de corrientes de aires considerables. Debido a esto por lo general la construcción en aluminio se realiza dentro de un taller o dentro de un cerramiento tal, que permita una circulación de aire adecuada, por normas de seguridad del trabajador.

En la ejecución de la obra, suele hacerse las llamadas camas tecnológicas, las cuales dependen de la metodología de construcción a emplear, sea cuales quiera de ella, sería costoso si el armado de una cama se realiza de perfiles estructurales de aluminio (generalmente utilizando ángulos), por lo que se realiza de perfiles de acero, ello se muestra en la **Figura 2.3.4 (a) Cama Tecnológica**.

**Figura 2.3.4 (a) Cama Tecnológica para Construcciones invertidas**



**Fuente:** Personal, Construcción Proyecto COGUAR 1304-ASTINAVE

**Figura 2.3.4 (b) Cama Tecnológica en Construcción Tradicional**



**Fuente:** Personal, Construcción Proyecto ANAELI-ASTINAVE

Por tratarse de la combinación acero-aluminio, se imposibilita el aseguramiento de un buque de aluminio en una cama tecnológica de acero, por lo que se emplean las barras bimetálicas, las cuales no son más que la combinación mixta en barra de aluminio y acero, teniendo así la posibilidad de aseguramiento de la estructura de la embarcación, para poder realizar o evitar deformaciones debe tenerse en consideración la colocación de suficientes puntos de apoyo o aseguramiento de la estructura a armar, dicha cantidad dependerá de las dimensiones principales de la embarcación y principalmente del criterio del constructor.

Por otro lado, existen astilleros que no realizan esta clase de construcción de camas tecnológicas, sino que utilizan puntos de apoyos de acuerdo a los estructurales de la embarcación, cuyos puntos tienen la forma de la cuaderna, lo cual se puede evidenciar en la **Figura 2.3.5 Construcciones con puntos de apoyo.**

**Figura 2.3.5 Construcciones con puntos de apoyo**



**Fuente:** Personal, Construcción de Yates de Aluminio-Astillero Maridueña

El hecho de armar una cama tecnológica como se realiza en *ASTINAVE*, da lugar a facilitar la construcción de un barco cualquiera que se ha su dimensión, una cama tecnológica puede construirse con el objetivo que la embarcación pueda ser construida de manera invertida **Figura 2.3.4 (a)** (quilla sobre cabeza) o desde la quilla, o ser empleada para la construcción de partes complejas como el caso de un costado en la sección de proa de cualquier embarcación lo que se puede observar en la **Figura 2.3.4 (b)**.

Por experiencia se ha comprobado que la construcción de cascos de aluminio de forma invertida, en cuestiones de soldadura llega a tener

mejores resultados, ya que empleando esta metodología la mayoría de soldadura se realiza en posición 1G, 3G, se vuelve un poco cómoda al tener un lugar plano para asentamiento o posición del soldador.

Como se mencionó anteriormente los métodos, y técnicas empleadas en la construcción de embarcaciones, dependerá netamente de la tecnología, maquinaria, mano de obra calificada, o poder adquisitivo del astillero, ya que por ejemplo si no se cuenta con la maquinaria para realizar una construcción de casco invertido, se deberá de realizarlo normalmente, ya que esto permitirá la NO utilización o contratación de grúas, tal es así que la misma embarcación tiene diferentes técnicas de construcción.

Al tener la construcción de camas tecnológicas se debe de tomar en cuenta que cada pieza o parte es un mundo, por lo cual deberá de calcularse, en caso de ser necesario, el centro de gravedad y peso de la pieza, si es que necesita ser movida, ello conlleva a un trabajo de ingeniería de reforzamiento tecnológico. Si una embarcación cualquiera, no fue concebida para construcción invertida o en partes, es muy seguro que los planos constructivos o de diseño no contemplen el reforzamiento que éstas necesiten para su izaje, además que hay que considerar los radios de giros, ya que no solo del

peso dependerá la capacidad de grúa, sino que muchas veces no se pueden mover (con grúas de ciertas capacidades) volúmenes muy grandes de trabajo.

## **2.5. Proceso Constructivo**

En ésta sección, haremos mención a las consideraciones constructivas del casco, que va desde los inicios de tratamiento de metal, hasta los puntos finales en la construcción del casco de la embarcación.

Las técnicas o metodologías que se nombrarán, más allá de ser o no tomadas en cuenta en la construcción de cascos, son recomendaciones las cuales se basan en experiencias o partes teóricas que muchas veces son olvidadas u omitidas por todos aquellos que construyen, cuestiones que con el paso del tiempo se vuelven regulables y pasarán a ser costumbres en el armado de un buque cualquiera.

El proceso constructivo, dependerá no solo de la tecnología, sino el nivel de especialización y experiencia tanto del personal de obra, como de los que la dirigen, podemos dividir a la construcción de total

de un buque tomando en cuenta algunas técnicas, metodologías de construcción o armado de embarcaciones, a continuación se nombrará algunas de ellas, con sus características más sobresalientes:

### **Construcción “tradicional”**

La llamaremos “tradicional” a aquellas embarcaciones que son construidas comenzando desde el montaje de la quilla, como principal herramienta de armado estructural.

Éste tipo de construcción es la más habitual para embarcaciones de mayor dimensión, ya que por lo general facilita un trazado bajo de la línea base, la cual es tomada en referencia para las diversas alturas a considerar para cotas de la embarcación, en ella los estructurales y planchaje de fondo son los primeros elementos en montaje, ya que por ser construida de ésta manera el barco tomará forma desde el fondo.

Empleando éste método la visualización tanto de los obreros como la del supervisor o ingeniero a cargo se hace más fácil, la realización de éste tipo de construcción facilita la movilización o traslado de una embarcación terminada y se omiten ciertos pasos

### **Construcción por bloques**

Aquí se define al buque por secciones, dependiendo de la envergadura del mismo, pueden existir tantas secciones o bloques tanto como el diseñador o proyectista lo defina, de ello se partirá para la preparación de materiales, piezas en la construcción, empleando este método los tiempos de ejecución disminuyen notablemente. Pudiéndose incluso montar en partes los sistemas auxiliares y partes eléctricas, para su posterior ensamble

### **Construcción por partes**

En éste sistema se puede decir, que la construcción de la embarcación se realiza con diferentes grupos o formando talleres, es decir que la construcción de mamparos o piezas planas se realiza de forma independiente a las diferentes actividades de armado de un buque, así mismo podríamos construir independientemente, sobrequillas, perfiles estructurales, tanques, etc.

### 2.5.1. Criterios al momento de construcción

En cualquier construcción que se realice, con cualquier método que el proyectista, diseñador, o ejecutor desee emplear, se debe tener ciertas consideraciones para minimizar los errores o correcciones futuras, con los cuales los estudiantes, egresados sin mucha experiencia en la construcción naval, puede usar de pautas, a continuación se describirán ciertos puntos esenciales.

Al construir una embarcación, como se ha mencionado anteriormente, se debe de pensar en el global o las necesidades más relevantes, para de acuerdo a ello, planificar las actividades futuras con la finalidad de dar avance y continuidad de la obra, por ésta razón tenemos:

- ✓ Como primer punto podemos mencionar el ordenamiento de piezas o estructuras, lo cual facilitará el armado, pudiendo separarse por sección: de sección media a proa y popa.
- ✓ Dado que hoy en día la construcción naval, exige además de profesionales en diferentes áreas, tecnología necesaria para optimizar tiempos; dada ésta circunstancia, los astilleros competitivos hacen uso de las mesas de corte o pantógrafos, con ello el preparado y corte de material es de

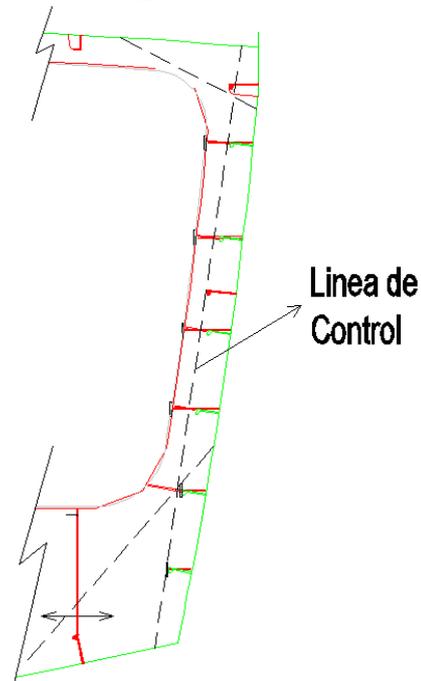
mayor rapidez. Una vez que el corte de elementos está realizado, es necesario el control dimensional de las misma, es decir la comprobación de medidas, ya que al introducir calor y de acuerdo a la secuencia de cortes, pueden existir ciertas deformaciones o distorsiones, o en el peor de los casos, se pueden cometer errores de corte por introducción fallida de datos, lo cual en éste caso es error del programador o diseñador, más que de la parte de producción en sí.

- ✓ Antes de empezar el armado de la embarcación, si se está o no trabajando con casas clasificadoras, es recomendable realizar la llamada trazabilidad, sea de materiales y de soldadura, éste punto y desarrollo un poco más amplio, para saber el objetivo de realizar una trazabilidad, se llevara a cabo en el siguiente capítulo.
- ✓ Es recomendable, dar ciertas sugerencias, de lo que es permitido o no hacer técnicamente en la construcción de un buque, ya que muchas veces los trabajadores cometen ciertos errores en el corte o ajuste de un elemento estructural, en las cuales sean cordones de soldadura que quedan muy cercanos, cruces de cordones de soldadura, e incluso se comete el error de colocar lanas o las llamadas

chirlatas, para completar un espacio, el cual no fue controlado desde el inicio.

- ✓ Como se menciona en puntos anteriores es necesario la adecuación de espacios, y más aun tratándose de trabajos con aluminio, además de la limpieza del metal debe hacerse de forma segura y eficaz, de tal forma que se asegure una limpieza como tal.
- ✓ Recordar que como en todo proceso en que se utilice calor; tal como soldadura o corte, existen ciertas deformaciones, las cuales deben de poder controlarse en la medida de lo posible, en el caso del aluminio (incluso acero) podemos realizar una simple pero eficaz estrategia, que es la de realizar el trazado de líneas de control, al menos en cuadernas, en la **Figura 2.5.1.1 Trazado de líneas de control**, se muestra a que se refiere el realizarlo, la utilidad de dibujar esta línea es para determinar la contracción por soldadura en piezas de aluminio.

**Figura 2.5.1.1 Trazado de líneas de Control**



**Fuente:** Personal

- ✓ El siguiente punto, es acerca del trazado de líneas de referencia, esto debe de realizarse antes de efectuar un procedimiento de soldadura, por ejemplo líneas de agua, esto muestra su utilidad al momento de una nivelación transversal y longitudinal, además la facilidad cuando la embarcación tiene pantoque redondo, y no china, ya que al no existir puntos de quiebre visibles entre fondo y costado, si no se toman correctos niveles de referencia, la

embarcación puede no salir correctamente nivelada de forma transversal.

- ✓ Antes de realizar el montaje de cuadernas y estructurales, el ejecutor debe de analizar el acortar tiempos de construcción, mediante el prefabricado de piezas, o secciones, por ejemplo, una base de máquinas es recomendable la construcción total en una cama a parte, ya que esto permite el control de niveles de una base de máquinas, la cual a futuro para montaje y alineación de motores principales juega un papel de relevancia, ya que de ella depende el correcto alineamiento y montaje de túneles, toberas, arbotantes, limeras, es por ello que la construcción de una sección como bases de maquinas es recomendable, estructuralmente realizarlo como un ente independiente de la construcción total de la embarcación, pudiéndose realizar de forma invertida, fuera de cualquiera que sea la característica o método de construcción.
- ✓ Luego de ejecutar un procedimiento de soldadura, el siguiente paso es la verificación de deformaciones, antes de realizar el montaje de cualquier elemento estructural. Para ello, se puede realizar mediante la revisión con una piola, colocando ésta sobre la línea trazada antes de emplear un

procedimiento de soldadura, la deformación se mostrará cuando exista diferencia entre el punto final e inicial del trazado y la "ruta" de la piola, existiendo ese daño, deberá de tomarse las medidas necesarias para corregirlo. Además aunque esté de más mencionarlo, se debe de realizar las debidas revisiones de medidas de acuerdo al plano, realizando con diagonales y alturas en diferentes posiciones.

- ✓ Así mismo antes de realizar el montaje de estructuras armadas, se deben de examinar las herramientas de trabajo a ser empleadas, por el ejemplo la comprobación de los tan conocidos niveles de "burbuja", escuadras y demás instrumentos, los cuales por motivos de uso, pueden descalibrarse, y por ende alterar los resultados.

Por ejemplo una forma muy simple de revisar si un nivel de burbuja está debidamente calibrado, es volteando de forma horizontal y verificar que la marcación sea la misma que al inicio, y luego rotarlo y realizar la misma verificación.

- ✓ Luego de realizar o por lo menos estar seguros de los pasos anteriores, debemos de ahora asegurar las planchas de aluminio a la cama tecnológica previamente elaborada, para ello hay que tener en cuenta la ubicación de las

cuadernas y además de ello, el sentido de ejecución del procedimiento de soldadura, para así tratar de minimizar al máximo las deformaciones por calentamiento del material. La sujeción es recomendable realizarlo, en el sentido de las cuadernas y a un 25% de la separación entre cuadernas de ellas hacia ambos lados. Añadiendo a ello, sujeciones intermedias en sentido longitudinal, y en juntas de plancha.

- ✓ La construcción y avances del proyecto dependerá no solamente de la mano de obra, sino de la debida planificación de actividades, es por ello, que si se puede construir piezas de tipo tridimensional, es recomendable hacerlo, ya que esto disminuirá el tiempo de realizarlo "in situ". La planificación de actividades es siempre un punto clave para así disminuir la llamada ruta crítica del proyecto, es así que el constructor debe enfocarse al tratar de abrir la mayor cantidad de talleres, los cuales a la larga servirán para futuras construcciones en las que, se puede tomar como referencia e incluso establecer criterios y patrones de construcción, de tal forma que quede registrado, esto ayudará grandemente al control de calidad en la construcción.

Al establecer actividades o inicio de actividades es necesario determinar cuáles y cuántas de ellas, marcarán o implican el poder realizar actividades futuras. En construcciones de carácter invertido es necesario primero el armado de cubierta con la totalidad o por lo menos la mayoría su elementos estructurales, después el montaje de mamparos completamente soldados, luego las cuadernas, quilla y longitudinales, pudiendo cambiarse el orden de los dos últimos estructurales. Además que en la construcción invertida, se debe de considerar al volteo de la embarcación como punto crítico o hito a cumplir, para así poder continuar con trabajos subsiguientes, como propulsión, sistemas auxiliares, sistema eléctrico, etc.

En cambio en una construcción de carácter tradicional, los elementos principales son: el montaje de la quilla, planchas de fondo, estructurales de fondo, cuadernas o secciones y cubierta al final.

- ✓ En el montaje de cuadernas y mamparos; a pesar que en la construcción de la cama tecnológica se debieron haber verificado la nivelación, altura, y forma de cubierta (en caso de que la embarcación sea construida invertida), es

necesario la confirmación de la nivelación transversal de cuadernas y mamparos, en este punto podemos mencionar la importancia del trazado de líneas de referencia antes mencionado. Si no se cuenta con ello, una herramienta o método son casi infalibles, la cual es el empleo de nivel de agua mediante una manguera. Lo que si debemos tomar en cuenta es que el llenado de la manguera debe ser sin burbuja alguna en el trayecto, y sobre todo no debe de ser pisada ni estrangulada a lo largo de la trayectoria. Otra herramienta ha emplear puede ser el uso de laser, un teodolito, o incluso existen niveles de burbuja con laser incluido, la cuestión es saber utilizar cada una de las herramientas posibles, el saber emplearlas, y más que nada saber cuánta exactitud, aproximaciones o desviaciones permisibles podemos tener, sea ésta por experiencia adquirida de los técnicos, obreros, departamento de calidad (en caso de que exista), o normas aplicables.

- ✓ Una vez realizado la nivelación de tipo transversal, ahora deberá de comprobarse longitudinalmente, ya que se han visto casos en el que el montaje de cuadernas resulta un mal posicionamiento longitudinal, para ello es bueno recordar que las cuadernas y mamparos deben ser

montados totalmente verticales, en ángulo recto con respecto a la línea base, por ello también deberá realizar la misma nivelación que de la forma transversal. Una forma fácil y que tiende a no fallar (dependiendo de la rigurosidad en toma de medidas) es la del uso de “plomo” o “plomada” tomando medidas en la parte superior e inferior, sea de mamparos o cuadernas, tomando medidas en esos puntos y verificando su igualdad. Cabe recalcar que para que éste método sea efectivo, las cuadernas y mamparos deberán estar totalmente rectos, sin deformaciones en esos puntos o por lo menos con deformaciones mínimas, porque de ello dependerá su posicionamiento.

- ✓ Para el montaje de cualquier estructura, plana o bidimensional, y tridimensional, es necesario emplear con ciertos estructurales de carácter tecnológico, tales como ángulos, tubos, vigas tipo C, esto debido a la maleabilidad del aluminio, lo cual si no se la hace, puede resultar en deformaciones graves de formas, e incluso partidura o fisura del material. Por ello el izaje y montaje debe de realizarse de forma segura y con la mayor previsión de daños posibles, recordando que no es lo mismo el acero que el aluminio.

- ✓ Como sabemos, el aluminio como metal, es un material ligero, ello facilita el movimiento, izaje y montaje de estructuras, por lo que al realizar una construcción con casco volteado, entonces el montaje de quilla, podemos hacerlo ya sea por partes, soldados en bloques o finalmente soldada totalmente.

Si la primera opción es la escogida, la soldadura de juntas de quilla se realizara de forma vertical, teniendo que elegir a los soldadores de mayor experiencia o que cuenten con una excelente credibilidad y referencia para efectuar esta soldadura, ya que no todo el personal está debidamente capacitado para ello.

En tanto en la segunda opción, la soldadura se realiza de forma que la mayoría de operario puede soldar, la cual es de forma plana, teniéndose como resultado solamente una o dos juntas a tope para soldadura vertical, esto dependiendo de la eslora del buque. Para la última opción; de las tres mencionadas anteriormente, la soldadura total de la quilla, es decir, la roda sección de proa, media y popa (si es que se la ha dividido en esas secciones)

generalmente se podría emplear cuando la embarcación es de hasta 18 m de eslora, esto debido a que la maniobra de montaje de quilla, se dificultaría un poco, debido a su largo. Cualquiera que se aplique, se debe recordar que ésta soldadura es una de las más importantes, debido a que la quilla; como es de conocimiento, constituye la columna vertebral del barco.

- ✓ Cuando se decide por parte del proyectista, jefe de proyecto o diseñador, que por cuestiones de optimización de tiempo para la ejecución de obra, se debe de armar construcciones de bloques tridimensionales, es necesario que el ejecutor, tenga al alcance de sus manos toda la información necesaria y suficiente para poder ejecutar la obra, esto depende netamente del equipo de diseño, departamento de diseño o ingeniería (si hubiese en el astillero). Además que el constructor debe tomar en cuenta las medidas necesarias para que el ensamble sea correcto, por ejemplo es común confeccionar el peack de proa de buque como ente independiente; si ese es el caso, podemos empezar tomando como referencia las medidas donde comienza de construcción del peack en la roda, ya que ello marca un punto de inicio importante, puesto que el corte de quilla y su

junta definirán si la separación correcta de cuadernas, entre el peack de proa por construir, con la sección anterior del buque, la cual puede o no estar ya elaborada. Luego de realizar estas marcaciones lo siguiente es montar el mamparo de colisión en la roda (para ello deberá estar debidamente armado y soldado), el siguiente paso es montar los estructurales que forman el peack, de dando así paso a la soldadura total de ellos, para finalmente montar el planchaje. En caso de que sea necesaria aunque alargaría el proceso de construcción, es la fabricación de camas con la forma del peack; algo que no se recomienda por las curvaturas de las planchas en esta sección, lo que si se debe de fabricar es una mesa o cama recta, en el cual se asiente el mamparo de colisión y la construcción se realice de forma vertical, para así tener apoyo seguro de la sección.

### **Deformaciones y desviaciones**

Como se mencionó anteriormente, y además es de conocimiento general, siempre en cualquier metal existen deformaciones, o desviaciones, por cuestiones de la aplicación

de soldadura, o por el caso de uso de oxicortes (para el caso de acero), es por ello, que siendo el aluminio un metal flexible, para minimizar deformaciones; que resulta un verdadero problema al momento de montaje y alineación de cuadernas, se debe de colocar reforzamientos adicionales, tal y como se muestra en la **Figura 2.5.1.2 Reforzamiento estructural**, realizándose ésta tarea en cualquier material metálico.

**Figura 2.5.1.2 Reforzamiento estructural**



**Fuente:** Personal, Construcciones de Aluminio-ASTINAVE

Dentro de las deformaciones, por regla y en cualquier casa clasificadora el surveyor y personal involucrado en la construcción, tiene el pleno conocimiento; como se menciona

anteriormente, de las posibles deformaciones, las cuales tienen un cierto rango aceptable dentro de la construcción de embarcaciones de aluminio, a continuación la **Tabla 2.5.1 Desalineamiento en juntas de planchas en soldadura a tope**

**Tabla 2.5.1.1 Desalineamiento en juntas de planchas**

<b>Espesor de plancha</b>	<b>Desviacion Permisible</b>
Menores a 9.5 mm (0.375 in)	1.5 mm (0.0625 in)
Entre 9.5mm (0.375 in) y 19 mm (0.75 in)	3 mm (0.125 in)
Entre 19 mm(0.75 in) y 38 mm (1.5 in)	5 mm (0.1875 in)
Mayores a 38 mm (1.5 in)	6 mm (0.25 in)

**FUENTE** :Rules for Materials and Welding: Aluminum, ABS 2009

Además al realizarse ensamblajes de piezas estructurales, es normal un desplazamiento o desalineación, el cual deberá ser reducido al máximo, para conocer los parámetros permisibles en éste punto, se puede valer de los mencionados en la table anterior, teniendo además de ello las siguientes salvedades<sup>[8]</sup>:

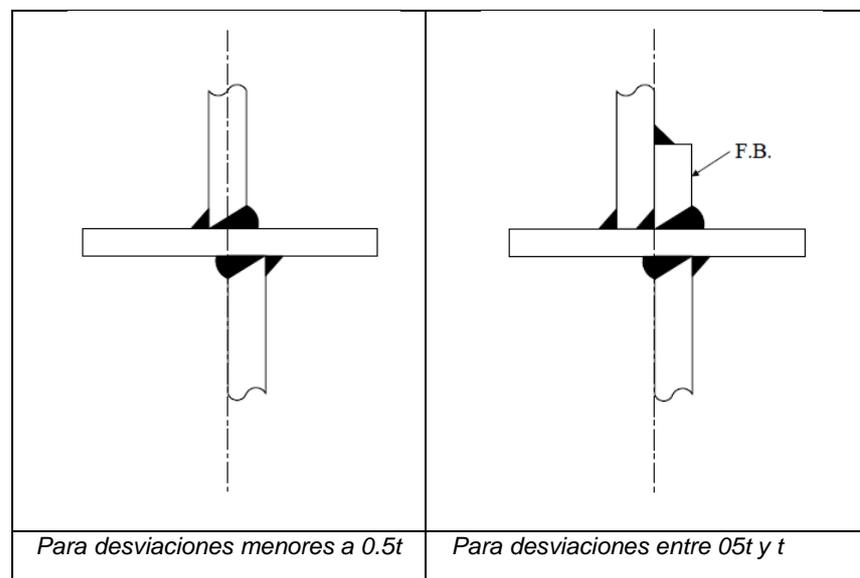
- Para desalineaciones que exceden la tabla anterior y sean menor a 0.50t, la estructura puede ser fijado mediante el uso de soldaduras de penetración profunda (full penetration).

<sup>8</sup> ABS, sección de aluminio, Octubre 2008

- Para desalineaciones que exceden  $0.50t$  pero sean menores a  $1.0t$  la estructura se puede fijar mediante la alineación de platinas o "Flat Bar (FB)".
- Desajustes mayores a  $1.0t$  deberán ser corregidos hasta llegar al menos a las condiciones antes mencionadas, y en mejor de los casos al correcto posicionamiento.

A continuación en el **Figura 2.5.1.3 Desplazamientos estructurales** se puede observar a los puntos antes referidos, pudiendose entender con mayor facilidad, lo que la norma predender o quiere dar a conocer.

**Figura 2.5.1.3 Desplazamientos estructurales**



**FUENTE:** Reglas para clasificación ABS, sección aluminio

## 2.6. Procedimientos y consideraciones al momento de soldar

En éste subcapítulo, antes de empezar cada uno de sus puntos a tratar, nombraremos ciertos puntos teóricos, o principios; los cuales es son conocidos, pero que siempre es bueno recordar.

Para soldar aluminio se emplean procesos GMAW, de entre los cuales el proceso MIG, y TIG, son empleados, dependiendo de lo que se requiera soldar, en un procedimiento de soldadura de aluminio, como tal debemos de recordar que estos procesos se caracterizan por tener gas de protección como el argón, helio o combinación de ellos.

Otro punto es la clasificación que se les da a cada una de las posiciones de soldadura, entre las cuales tenemos las siguientes:

Para soldadura de chapas o planchas:

- a) 1G, es referente a la posición más básica de soldeo, que es en sentido plano
- b) 2G, cuando se realiza en posición horizontal
- c) 3G, la soldadura se ejecuta de forma vertical
- d) 4G, una de las posiciones que es preferible realizar en procesos MIG, es la sobre cabeza.

Las posiciones nombradas anteriormente, son las más comunes, la clasificación o forma de separación de cada una de las posiciones de soldeo se las puede encontrar en normas como la AWS, y otras organizaciones, que se encargan de la estandarización de nomenclaturas o reglas para soldeo, además se debe de mencionar que la clasificación de posiciones depende de no solamente de ello (posiciones) sino el tipo de junta a ejecutar y estructural a soldar, por ejemplo sería un groso error hablar en soldadura de tuberías como clasificación 3G, ya que ésta no existe.

Por otro lado, se tiene los tipos de juntas, y tipo de soldadura, teniendo que hacer distinción en ellos, ya que una el tipo de soldadura dependerá de la clase de juntas, o viceversa dependiendo del procedimiento, forma de montaje, posición, y sobre todo del diseñador, el cual tiene la obligación de dar las características de la soldadura a cumplir, la misma que debe ser examinada por el departamento de calidad (en caso de que exista), aprobada por éste mismo ente, o casa clasificadora ( en caso de ser clasificada), y deberá ser estudiada por el personal a cargo de dirigir o ejecutar la obra, es decir por el departamento de construcción.

Para éste caso en particular, del desarrollo de ésta tesis, no es fundamental el desarrollo extendido de lo mencionado, sino dar pautas de recordatorio y conocimientos, es por ello, que no se hará un estudio minucioso de soldadura, para un mejor entendimiento se puede revisar el ***ANEXO B: Posiciones de soldadura para calificación de procedimientos y soldadores.***

### **2.6.1. Calificación de soldadores para aluminio**

Dentro de las construcciones en aluminio, existe un problema en la rama de soldadura de aluminio y más aún de embarcaciones, es debido a que el problema radica en la poca existencia de soldadores especializados en aluminio, teniendo en cuenta que en nuestro medio la soldadura cumple un papel de gran importancia ya que como sabemos, las embarcaciones están sometidas a cargas de características dinámicas.

Hasta la actualidad se podría decir que, ASTINAVE, es la única empresa del ámbito de Construcción Naval que cuenta con una planta de al menos 23 soldadores con calificación o certificación internacional como es de BV. Aunque una certificación de soldadores puede no garantizar la aplicación de soldadura en

un 100% es la más idónea, ésta es una carta de presentación de que la calidad de soldadura al ser aplicada es de mejor y mayor calidad que en cualquier otro astillero, y demuestra la preocupación de un ASTILLERO en particular, en dar ese “plus” en el mejoramiento continuo del personal.

Por otro lado hay que considerar que no solamente se trata de la calificación de soldadores, mediante una casa clasificadora, sino que hay personal dentro de la industria naval; la cual esta en constante movimiento. La cual practica ésta soldadura de aluminio, lo más recomendable sería realizar las pruebas necesarias a ese personal, que aunque no se certifique verdaderamente, éste se encuentre debidamente calificado por la empresa, con todas las medidas que respalde esa calificación.

Para realizar una calificación, se debe de de tratar de hacer que se realicen bajo ciertos parámetros controlables, los cuales se pueda dar seguimiento, para que la calificación sea lo más acertada posible, en pocas palabras se debe de realizar en lo que denominaremos “ambiente de laboratorio”, aunque en muchos de los casos por la magnitud de la construcción naval,

los astilleros no puedan ofrecer dichas condiciones, que por cierto, es un desmérito para el astillero, pero no es causa de fallas en la aplicación de procedimientos de soldadura, recalcando así, que la calidad de un trabajo y del resultado del mismo, es responsabilidad de todos.

Al realizar el o los procedimientos para calificaciones de soldadores, la persona encargada de ejecutar dicha calificación, debe de tener en cuenta entre muchas de las consideraciones posibles, al menos las siguientes recomendaciones:

- Garantizar el llamado ambiente de laboratorio, para realizar las pruebas.
- El material de aporte sea el adecuado, de acuerdo a la serie de aluminio a emplear.
- El grosor del alambre o electrodo, sea el adecuado para soldar los grosores de placa a ensayar.
- El grosor de las placas, sea el suficiente y necesario para calificar los procedimientos y al soldador.
- Las diferentes posiciones al que el trabajador va a estar sometido, y más aun debe tener noción de de la forma o

tecnología de construcción que se va a dar dentro de la ejecución del proyecto

- Que la maquinaria y la tecnología de soldadura sea la adecuada.
- Considerar que la ejecución o planteamiento de secuencia de soldadura, tipo de proceso de soldeo, se han factible realizarla.
- Conocer las pruebas o ensayos destructivos y no destructivos, que se deben de practicar una vez realizadas las pruebas
- Saber los parámetros o enunciados en la regla de la casa clasificadora (en caso de que la embarcación sea certificada) o la norma que se va a aplicar para calificar al soldador

Los puntos mencionados, son de régimen general los cuales se deberá de aplicar en la calificación de soldadores y procedimientos, los conocidos PQR y WPS, por lo tanto ésta definición deberá ser recordada antes de pretender realizar una clasificación, en el **ANEXO C**, se da ejemplos de PQR y WPS.

Entre otras consideraciones está, el conocer dentro de las pruebas de soldadura, las medidas que por norma debe cumplir la placa a la cual se le va a aplicar las diferentes pruebas destructivas y no destructivas, para las dimensiones de placa para pre calificación de WPS, las dimensiones de placas, las cuales deberá tener al menos las medidas mínimas de 400x250 mm (largo x ancho).

Luego de registrar debidamente el procedimiento de soldadura para la calificación de soldadores, soldadura, o procedimientos, el encargado de ello, deberá de programar la realización de pruebas destructivas a las probetas, debiéndose de cumplir los parámetros que se aplican de acuerdo a una casa clasificadora (en caso de ser aplicable) o la norma a emplear, dentro de algunas pautas antes de realizar ésta práctica (ensayos no destructivos), tenemos como recomendaciones lo siguiente:

- ✓ Establecer las dimensiones de placas para planchas y tuberías
- ✓ Determinar según la norma la cantidad de probetas que se puede obtener de una muestra o placa.
- ✓ Las clases de pruebas que se va a realizar.

Como siguiente punto se mostrará a continuación, a que se refiere cada uno de los ítems anteriores

En esta sección se dará a conocer algunos parámetros para soldadura y pruebas, éstas y algunas otras consideraciones; las cuales se adquiere con la experiencia propia, los enunciados que mande la norma o regla aplicable, deben de conocerse y considerarse, no solamente por parte del encargado de calidad, o del personal que esté a cargo de la calificación de un procedimiento, sino por el ejecutor de la obra, para que así, en caso de presentarse alguna novedad, ésta pueda ser resuelta de manera satisfactorio, tanto para el astillero; que garantiza la calidad del producto final, como de la contratista o armador de la embarcación o embarcaciones.

Por último es también necesario en la construcción de embarcaciones con aluminio, que no solamente se califique al personal dentro del proceso MIG, sino también en TIG, ya que existen elementos que se deberán soldar aplicando ésta última técnica, especialmente si se requiere en espesores finos menores a 4mm, esto debido a que con una buena aplicación de éste proceso de soldadura TIG, se logrará dar una mayor

calidad y mejor presentación al final de la aplicación de soldadura.

### **2.6.2. Preparación del material base**

En la construcción de buques de cualquier tipo, existen distinción del personal dentro de la clasificación de obreros del astillero, es decir, hay personas especializadas en el armado, otros en soldadura (depende de la categorización y clasificación de cada soldador) ya sea para soldadura de acero, bronce, tuberías y materiales especiales, como así también personal el cual hace la preparación del metal base para su futuro uso. Si bien es cierto no existe una preparación suficiente del personal en cargo de la preparación del material, es prescindible que el supervisor, o ingeniero a cargo sepa a qué se enfrenta y con la debida sustentación técnica o bajo norma, haga realizar dicha labor.

Mencionado lo anterior, comenzaremos con la preparación del material incluso antes de ser alistado para la soldadura, es decir, a lo que haremos referencia es no solamente a la preparación de biseles más comunes, incluso teniendo en

cuenta la junta de diferentes espesores, sino a como debe ser tratado el aluminio antes de ésa preparación, así tenemos las siguientes recomendaciones:

- Como primer punto, tenemos lo que podríamos llamar, limpieza de carácter químico, el cual es la aplicación de desengrasantes, en caso de que sea necesario, o decapantes.
- Eliminar mediante aire a presión cualquier clase de impurezas de carácter físico, ya que cualquier agente externo, ajeno al aluminio alterará los resultados finales de un proceso de soldadura
- Como es de conocimiento, el aluminio posee una delgada película de protección, ésta físicamente es brillante llamada calamina, la cual debe de ser eliminada mediante tratamiento mecánico. Para ello en el mercado local se encuentran los llamados discos de lamina, los cuales vienen en diferentes granos (los cuales deben de usarse de acuerdo al trabajo que se vaya a realizar), se puede realizar fácilmente éste tipo de trabajo.

Como se menciona anteriormente, ahora enumeraremos algunas de las consideraciones antes de soldar, o una vez preparado el metal, por lo menos con los pasos anteriores, a continuación algunas sugerencias:

a) Para juntas de planchas para soldadura a tope:

- Para espesores menores o igual a 5 mm, no es necesario realización de bisel, ni separación entre ellas, si acaso solamente la separación del alambre a emplear (1.2 mm)
- Para espesores mayores entre 5 y 10 mm, realización de bisel V simple, con separación de 2 mm
- Para espesores mayores a 12 mm, se realiza el bisel en V doble, con separación entre talón de 2 mm
- Otro punto que se debe de tener en cuenta, cuando la soldadura es a tope, es la transición de espesores de planchas, debiéndose de realizar la preparación del material de mayor grosor, debiéndose de realizar el bisel adecuado. Teniendo en cuenta que es diferente si las indicaciones del Dto. De ingeniería así lo demanda, pudiéndose realizar una soldadura a filete.

b) Para juntas de planchas para soldadura a filete:

- En caso de que las juntas sean menores a 5mm, podrá realizarse sin preparación alguna de biseles
- Para espesores mayores a 5mm la realización de bisel es en V doble (referente al alma de la estructura), teniendo como talón 2 mm y separación entre alma y ala de 2 mm.
- Otra opción es la realización de un bisel simple, de forma que la soldadura sea totalmente penetrante, debiéndose de encontrar en el lado anverso la raíz del cordón de soldadura ejecutado, el talón podrá ser entre 2 a 3 mm en espesores de hasta 10 mm, y hasta 5 mm de talón para espesores entre 1/2 y 3/4 de pulg.

Cabe mencionar, que éstas son recomendaciones basadas en construcciones de aluminio, las cuales puede cambiar de acuerdo a la norma y regla que se esté aplicando, los puntos anteriores funcionan como genéricos y conocimientos generales en caso de no aplicar una regla específica en si, para visualización grafica de lo mencionado se puede revisar el ***ANEXO D:Tipos de Juntas.***

### **2.6.3. Características de soldadura del aluminio naval**

Para el desarrollo de ésta sección, es siempre noble el hacer recordar que, para que exista una correcta presentación, fusión del aluminio, es decir una correcta ejecución de soldadura de aluminio, se debe de conservar el mayor de los cuidados, que no solo son los expuestos en puntos anteriores sino, los que por experiencia los soldadores, armadores, ingenieros o supervisores puedan tener, debido a su recurrencia en la construcción de embarcaciones de aluminio.

Debemos de saber, que el aluminio por cuestiones de composición química al ser soldado, tiende a tener porosidades, las cuales siempre se presentan, la cuestión es la cantidad y forma de presentación durante la examinación de cordones de soldadura. De forma visual la soldadura debe de ser (como en todos los casos) con superficie homogénea, debido al proceso de soldadura que se emplea; el cual es MIG, debido a su protección con gas, sea éste argón, helio o su combinación, se debe recordar que no existe escoria al finalizar la soldadura, que por lo general se tiende a presentar fallas al inicio y fin de un tramo o cordón de soldadura; se puede apreciar una sobre monta excesiva, poca apreciación del cordón de soldadura

(hundimiento), fisuras e incluso grietas, es por ello, que se debe prestar suficiente atención en éstas zonas.

# **CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD**

En éste capítulo se hablará de la doctrina de la ISO 9000, se dará pautas para realizar un control de calidad, que si bien puede no ser el único método, pues otorgará a las personas de interés en la construcción a llevar una forma, cualquiera que ésta sea, de tener un registro eficiente que se garantice el correcto empleo de herramientas, y procedimientos en la construcción de embarcaciones.

### **3.1. Doctrina de calidad basada en ISO 9000**

Durante el desarrollo del presente trabajo de tesis se ha enlistado; en el capítulo anterior, algunas pautas claves, las cuales sirven de puntos de control para la realización de cualquier embarcación, es mediante éste control y pautas de lo referente a los conceptos de calidad, que se puede asegurar un correcto desarrollo del proyecto, teniendo como resultado el aseguramiento de la calidad en la construcción de embarcaciones. Cabe recalcar que la actual tesis no pretende ser una guía constructiva como tal, sino ayudar al cumplimiento de parámetros en construcciones de aluminio, ésta sección se comenzará con los conceptos, definiciones y más que nada dar a entender el objetivo de calidad, basada en la norma ISO 9000 como base de principal argumento, ya que es la encargada de la Gestión de la Calidad, revisaremos los puntos más importantes de la ISO 9001, e ISO 9004, además, aunque el presente trabajo no tiene como objetivo enfocarse en el DISEÑO de embarcaciones de aluminio, se tratará en puntos breves acerca de la norma ISO 12215-3:2003 con la que se pueden basar los diseñadores, además de criterios de control de calidad de ciertas reglas referentes al aluminio.

Para establecer si la realización de un proceso constructivo o cualquier proceso, está debidamente ejecutado, se debe de recordar los

principios de las normas de calidad, y la base teórica de la implementación de un sistema de calidad, es por ello que en ésta sección se comenzará definiendo, esos principios y parámetros basados en la norma ISO 9000:2000, y en la norma ISO 9001:2005.

Como se menciona, todo proceso debe tener un manual de procedimientos, dentro de las normas de Gestión de la Calidad, es por ello que todo Astillero o Varadero, por pequeño o grande que sea, es recomendable la realización de manuales, éste punto y ciertas guías de lo que debería llevar un manual, se dan en el **ANEXO E**.

### **3.1.1. Procedimientos de control de calidad**

Lo primero es mencionar que la calidad puede estar basada en tres pilares: la metrología, el control de calidad como tal, y la normalización.

Tal como se estableció en el punto anterior, para poder ejecutar uno o varios procedimientos de control de calidad se hace necesario el registro de actividades, y además de eso, si se es más riguroso (tal como demandan las normas), los constructores deberían de EJECUTAR un procedimiento

previamente escrito, examinado, comprobado y aprobado, para que así el resultado o producto final tenga las rigurosidades del aseguramiento de la calidad.

A continuación se darán puntos para el control de la calidad en la construcción de embarcaciones, cabe recalcar que son aplicables, pero de ninguna forma quiere decir que deben ser el fiel cumplimiento de las mismas, ya que como se menciona, son pautas:

- Llevar una libreta o forma de registro escrito, que sea de forma personal, ésta es la forma más sencilla de realizar un registro.
- Además del registro escrito, también se debe de llevar un registro fotográfico que avale el trabajo realizado.
- Se debe de planificar actividades semanales, de tal forma que al ir desarrollando el global, se llegará a una planificación diaria, la cual permitirá establecer el fiel cumplimiento o no de las metas establecidas
- Si bien muchas de las veces, los ingenieros a cargo o los supervisores de obra, no tienen el tiempo suficiente para examinar los planos constructivos, se hace imperioso que

se tenga el conocimiento suficiente y necesario para realizar algún trabajo establecido.

- En caso de trabajar con una clasificadora, deberá de verificarse si los planos constructivos, son los definitivamente aprobados, última revisión o versión, o si en ellos existe alguna remarca de clase, hay que recordar que cada plano aprobado por una casa clasificadora, se presenta debidamente aprobado con sello.
- Al ir desarrollando la obra, existirán ciertas dudas en la parte constructiva, pudiéndose dar el caso de falta de información en planos, notas constructivas, o incluso planos que no se den a entender correctamente, todo esto deberá de anotarse, en forma de observaciones o novedades surgidas en la construcción.
- El control de materiales, también es un ítem importante, y aunque no es común que los supervisores a cargo de una obra, lleven el inventario de una bodega, es siempre recomendable el que alguna persona realice la debida anotación de entrada, y suministro de materiales repartidos a lo largo de la construcción, ya que esto está directamente relacionado con la economía del proyecto y el control que se tiene en materiales.

- En caso de realizar alguna clase de prueba, sea de material o soldadura, el debido registro tanto de parámetros de pruebas, como de involucrados en ellas deberá de hacerse, teniendo las debidas firmas de responsabilidad
- Si existieren dudas o modificaciones de acuerdo a las medidas o puntos de referencia, éstas deberán ser correctamente anotadas en formatos, para que quede en registro, y así la otra sección del buque (en caso de construcción por partes o bloques) pueda tomarse las consideraciones del caso.
- El realizar formatos que permitan la recopilación de datos, dependerá netamente, del plan de calidad aplicada por la empresa, o del departamento de calidad a cargo de desarrollarlas, en caso de no existir un plan de calidad global o un departamento de calidad a cargo de ello, el supervisor a cargo puede tomar ese rol, de tal forma de crear formatos propios, los cuales deberán ser fácilmente manejables.
- La toma de espesores de planchas, claros entre juntas de planchas, en sí la toma de cualquier medida, deberá ser registrada, en formatos independientes, de forma que, en caso de no coincidir con planos, ésta sirva de evidencia.

Todo proyecto constructivo, de diseño, debe de tener un proceso de control a lo largo de su ejecución, y una etapa de evaluación, puesto que, al final en las pruebas con el cliente, se garantice que la embarcación funcione correctamente de forma satisfactoria, cabe mencionar que se llamará etapa de evaluación en aquella de pruebas internas, propias de la cada astillero y el proceso de control, es aquel que se ha venido nombrando a lo largo del desarrollo de este temario, la estructuración de fechas, pasos o lineamientos a seguir, son responsabilidades de cada departamento en coordinación entre ellos (calidad y producción).

### **3.2. Pruebas no destructivas**

Las pruebas no destructivas, como el propio nombre lo indica, son aquellas pruebas o ensayos realizadas a la construcción, sin producirse una destrucción de la misma o cambios de tipo físico, químico y mecánicos al metal. Cada una de las pruebas tendrá diferentes procedimientos de hacerlo, dependiendo del objetivo de la misma, además que cada una con cierta rigurosidad técnica, en los cuales los ejecutores deberán de saber interpretar cada uno de los resultados, así como la forma de hacerlo.

Existen algunas pruebas no destructivas, comúnmente conocidas a nivel de industria naval de la soldadura, las cuales son:

- Prueba de tinta.- Uso de tintas penetrantes para comprobar poros pasantes.
- Prueba de ultrasonido.- Mediante el envío de ondas, se verifica porosidad, fisuras, falta de fusión del material de aporte con el base
- Prueba de radiografía.- La más usada en el medio naval, mediante rayos gamma, dependiendo de grosores y material, se puede verificar de forma visible y de placas, las discontinuidades y fallas de soldaduras presente en un sector anteriormente localizado
- Inspección visual.- La inspección visual, es dependiente del sujeto que lo realiza, y la norma el cual se basa.

Otras pruebas o ensayos no destructivos, los cuales solamente van a ser nombrados, para conocimiento general, son los siguientes:

- Partículas magnéticas
- Termografía
- Corriente inducida

Cada una de las anteriores pruebas debe ser ejecutada por diferentes personas debidamente acreditadas para ello, pudiendo ser la excepción el primer caso mencionado, ya que para ello solamente se necesita conocer el uso respectivo de las mismas.

### **3.3. Problemas comunes**

En cualquier construcción de carácter industrial, se pueden encontrar problemas constructivos, estos problemas pueden darse por diferentes motivos, entre algunos de ellos tenemos:

- Factores Climáticos
- Factor humano
- Utilización de materiales inadecuados
- Técnicas de construcción inadecuadas

Los problemas constructivos, en gran mayoría son reparables, algunos aceptables; dentro de las normas, pero siempre constituyen un desmerito y atraso en las construcciones, se comenzará tratando de explicar a que se refiere cada uno de los puntos anteriormente enumerados, pudiendo tener más o menor clasificación que los mencionados, dependiendo del ente y persona constructora, es así que tenemos:

- En cuanto a los factores climáticos, entre estos factores afectantes tenemos: climas lluviosos, presencia de vientos considerados “fuertes” (en nuestro medio), clima frío, presencia de humedad relativa alta, debido a que el aluminio, por ser soldado con un proceso con gas de protección, y la propia composición química del aluminio (visto en el capítulo I), todos estos factores inciden directamente en la calidad de soldadura.
- A la utilización de materiales inadecuados, se hace referencia en que en algunos casos, se emplea material considerado consumible para el tratamiento del aluminio, por ejemplo para realizar biseles, en la preparación del metal para aplicación de procedimiento de soldadura es común ver el empleo de discos de pulir para acero inoxidable e incluso, en el peor de los casos discos de desbaste para hierro, se debe de conocer que la utilización de ciertos materiales para el tratamiento de aluminio, generan incrustaciones en el metal, estas incrustaciones y residuos de materiales ajenos a la composición estructural del aluminio, degradan una vez más, la calidad y efectividad de la aplicación de un procedimiento de soldadura.
- Dentro del factor humano, el cual es el más complejo de todos los factores, radica no solamente en la falta de preparación, calificación o certificación de soldador; sino en lo más perjudicial

para cualquier crecimiento industrial, lo cual es lo social, la falta de una examinación regular, el desconocimiento en el ambiente psicológico e intrafamiliar, es la causa de un decrecimiento a nivel educacional de todo trabajadores, ésta incidencia no es por ningún motivo controlable por un supervisor, y menos por la empresa, pero llega a ser un punto crucial, cuando decae la productividad de una actividad centrada en una persona con problemas, ésta clase de factores son poco considerados por el personal a cargo, que si bien debe de cumplir una meta diaria, semanal o mensual, no toman en cuenta el llamado factor humano.

- En las técnicas inadecuadas de construcción, es de participación mutua entre la parte obrera y los encargados, esto trae consigo problemas constructivos en sí, por ejemplo desalineaciones en montaje de túneles, arbotantes, trae consigo problemas directos de vibración, o que se decida anticipadamente que los túneles se han maquinados antes de ser montados en la embarcación; caso que muy poco se da, desalineaciones estructurales fuera de rangos permitidos, y por último el calentamiento excesivo para poder doblar y dar formas a las planchas de aluminio, son casos que en ningún lado están exentos de realizarlo, esto es debido a la costumbre de la parte ejecutora al trabajo en aceros, errores que

son comúnmente cometidos tanto por el personal ejecutor como por la parte supervisora.

Una vez visto ciertos factores que inciden en la construcción, sombraremos algunos problemas comunes en las construcciones de aluminio, entre ellas tenemos:

- Deformación de planchas
- Porosidades en cordones de soldadura
- Mala presentación visual de cordones de soldadura
- Presencia de fisuras en cordones de soldadura

***Figura 3.3.1 Fisura en Cordones de Soldadura***



**Fuente:** Personal, Prueba en calificación de soldadura-ASTINAVE

- Fisura en bases de aluminio fundido
- Escoramiento, asentamiento, encabuzamiento, de las embarcaciones de aluminio
- Falta de aislamiento en la utilización de diferentes metales
- Fallas en aterrizamiento eléctrico

Si bien no existe una sola forma de corregir ciertos desaciertos, y problemas presentados en una construcción, a continuación se dará unas pautas que se pueden o no aplicar, dependiendo del grado de conocimiento o de la investigación; en caso de que exista, por parte de cada supervisor o encargado de obra, entre estas recomendaciones tenemos:

- ✓ Evitar las deformaciones, especialmente antes de aplicar un procedimiento de soldadura, puesto que al ser aplicado la soldadura, por las características del aluminio, éste se calienta y se enfría rápidamente, ocasionando mayores deformaciones que las ya existentes, pese a que la mayoría de deformaciones son corregibles, no es recomendable tener deformaciones en el casco ya que es visible, y al tratar de corregirlas someteríamos al metal a mayor calor del ya depositado, con lo que se pueden alterar las

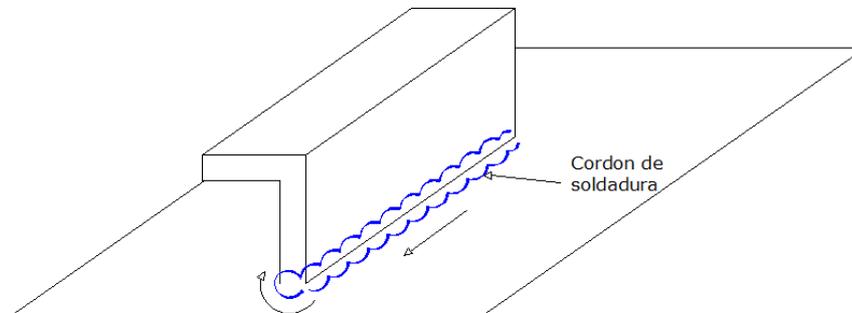
propiedades mecánicas, en casos aislados provocando fisuras en la plancha.

- ✓ Para corregir una deformación en plancha o perfil, es necesario no tomar las medidas o ejecutarlo como que fuese acero, es decir NO someter a calor mediante equipos de oxicorte al aluminio, sino realizar los trabajos en frío, recordando las características del aluminio y su facilidad al trabajo en temperaturas normales de nuestro medio.
- ✓ Como se menciona en el capítulo anterior, cualquier procedimiento de soldadura aplicado al aluminio, va a tener como resultado porosidades, la cuestión aquí es minimizarla para no sobrepasar el permisible según la norma que estemos aplicando, es difícil que en un cordón de soldadura no se presente porosidades, por lo que algunas medidas serían las de evitar fuertes corrientes de aire, no soldar en lluvia, en ambiente húmedos. Si es necesario soldar en la noche, donde la temperatura del aluminio es “baja” se puede calentar el material al tacto, como para “secar” cualquier humedad o para dar un pre calentamiento en la plancha, ésta no deberá sobrepasar los 30°C, antes de soldar examinar que la manguera para el argón este sin falla alguna, en lo posible que sea nueva, por cuestiones de garantizar el uso exclusivo del argón, evidenciar que el argón no tenga humedad, esto se puede realizar abriendo

la botella de argón frente a un vidrio, si tiene humedad este se evidenciará en el mismo; esto por lo general no se realiza debido a que las industria tienen sus standares de fabricación y embotellamiento, y es raro que el producto salga con fallas, es raro pero no imposible, puesto que se ha tenido que evidenciar esto a los abastecedores del producto y que eliminen esa serie sacada al mercado

- ✓ Si existieran cordones de soldadura con fisuras, lo mejor es eliminar completamente el cordón en al menos 3 pulg. a cada extremo del mismo, y volver a soldar, si es necesario realizarlo con respaldo, pudiendo ser de cerámica o acero inoxidable.
- ✓ Una recomendación válida para los soldadores, es que terminen (en la extensión de la palabra) los cordones de soldadura, por ejemplo en un perfil soldado con plancha es recomendable completar la soldadura hasta el final y si es posible rodearla, esto podemos ver la en la **Figura 3.3.2 Soldadura de perfiles-plancha.**

**Figura 3.3.2 Soldadura de perfiles-plancha.**



- ✓ Cuando por necesidades del armador, o cuestiones de diseño, se deba de soldar una base de aluminio fundido, lo cual es mas común son los evidenciados en propulsión hidro jet, primero es recomendable leer las indicaciones del fabricante, en el cual por lo general de los procedimientos de soldadura, sino es así se deberá de realizar un procedimiento adecuado, pudiendo hacerse tipo peregrino de extremo a extremo (o lado contrario), con longitudes máximas de 75 a 100 mm, calentando la base; la cual es de aluminio fundido de 50 a 60°C, no menor a ello, siendo debidamente monitoreada con un pirómetro.
- ✓ Al igual que en toda embarcación se debe de tener mucho cuidado en la distribución de pesos, y la añadidura del mismo, puesto que en embarcaciones pequeñas, destinadas a ser rápidas (minimo 30 Knts), la posición del centro de gravedad es de gran importancia

para el planeo de la lancha, y no estimar debidamente el peso y su distribución, ha ocasionado y podría ocasionar pérdidas considerables de velocidad.

# Conclusiones

1. Como primer punto tenemos que el aluminio considerado como naval, para la construcción de casco, que cumple las especificaciones y estándares, es la serie 5xxx (cinco mil), en cualquiera de sus combinaciones, entre los más utilizados en el mercado se encuentran la serie 5086 o 5083 con temple H111-H112-H116, y a nivel de estructura interna, por ejemplo pilares adicionales, bases de equipos, estibas, se puede fácilmente emplear de la serie 6xxx (seis mil), que es estructural interno, el cual va a estar en menor contacto directo con un ambiente salino.

2. Pese al auge de la construcción actual de embarcaciones de aluminio, los astilleros no cuentan con un recurso humano calificado suficiente para realizar construcciones de mayor envergadura.
  
3. El desconocimiento en cuanto al trato, preparación y cuidado que debe de recibir el aluminio, se da por gran parte del personal involucrado en construcciones, quedando éstos conocimientos en el personal que tiene experiencia con este metal, siendo insuficiente para la demanda constructiva, teniéndose que “aprender” en cada nueva construcción, a veces improvisado personal carente de conocimientos navales y más con esta clase de metal.
  
4. Los problemas en cuanto a la soldadura, más allá de la responsabilidad de personal a cargo, y de los propios soldadores, radica en una falta de control de la calidad, tratamiento y cualidades del aluminio, siendo que el control de calidad debe estar presente en todo el proceso de construcción, desde su concepción, con una planificación propia, el tratamiento al aluminio

debe de realizarse específicamente con materiales consumibles específicos para ésta clase de trabajos.

5. Si bien las bases teóricas con necesarias, debe existir una educación concordante con el desarrollo naval e industrial del País, que parte desde las propias universidades, ya que las técnicas descritas anteriormente, son en su mayoría muy poco conocidas, y el rol que desempeña la industria, pasa a ser de gran importancia para el desarrollo académico.
6. Toda industria, debe de tener una política clara de calidad, con normativas debidamente estructuradas, y que sigan los lineamientos de mejora continua, he ahí donde las nuevas generaciones de egresados e ingenieros debe de apuntar, al control y aseguramiento de la calidad de un producto, bien y servicio.
7. De mi experiencia en el medio naval, alguno de los astilleros que construyen empleando en aluminio en los buques no tiene

debidamente estructurado una guía o norma que rija las nuevas construcciones de embarcaciones como tal, y tan solo una de ellas; ASTINAVE EP, tiene normativas de ejecución de trabajos en lo referente a carenamientos, inspecciones y comprobaciones de una obra determinada.

# Recomendaciones

1. No existen escuelas de soldaduras especiales, y siendo que el aluminio naval debe de considerarse de ésta forma, es necesario que dentro de universidades, centros de estudios técnicos, y en las mismas empresas dedicadas a las construcciones de navíos, se destine tiempo, espacio e infraestructura para ésta clase de prácticas de soldadura, con las debidas normas y reglamentaciones, haciéndose seguimiento al personal involucrado, para no tener las llamadas fugas de personal.
2. Si bien el acero sigue siendo una fuente inagotable para construcciones navales, mediante ésta tesis podemos darnos cuenta que el aluminio ha tenido un auge para la construcción

estos últimos años, por lo cual hace imperante el estudio e investigación continua de nuevos materiales, ya que las técnicas y metalurgia son cambiantes a nivel mundial, y el país no puede no puede permitir el desconocimiento absoluto de ello.

3. Además de las consideraciones anteriores, como recomendación constructiva, existe un punto esencial a tratar que es, el considerar las construcciones con casco invertido, la ejecución, montaje y soldadura que se realiza se vuelve más funcional y eficiente al momento de ejecutarlo, ésta forma de construcción está totalmente comprobada que ayuda a la disminución considerable de tiempo, ya que depende netamente del armado inicial de una cubierta, sin necesidad de establecer el montaje de quilla con herramienta principal.
  
4. Por otro lado, la investigación en el ámbito de la soldadura debe de ser reforzada, el comportamiento del metal frente a la aplicación de la soldadura, ayudará a futuros ingenieros a tomar decisiones acertadas para evitar o disminuir las deformaciones, pudiéndose construir camas tecnológicas para soldadura, las

cuales se las construye de tal forma, que una vez aplicado el procedimiento de soldadura, al ser soldado la estructura de la cama armada, ésta tome la forma o rectitud que debe mantener durante su ensamble o montaje.

5. Pese a que las construcciones de embarcaciones de embarcaciones en base a aluminio ha aumentado estos últimos años, no existen datos estadísticos que permita, establecer tiempos reales de ejecución de obras, teniéndose que sacrificar tiempo y consumos de HH, es por ello que debe de hacerse lo llamado estudio de trabajo, lo cual tendría como resultado final la mejora continua en la construcción, no solamente de tipo naval sino a nivel industrial.
  
6. En nuestro medio es común la forma de acuñar una embarcación, dependiendo de su eslora y manga, sin importar el material del cual esté fabricado, lo cual no es siempre lo optimo, en el caso de aluminio es recomendable el cubrir con una sola pieza (unida) de madera toda la parte de casco o estructura del barco a asentar, ya que si se colocar las tradicionales cuñas, directas al casco, éstas

podrían deformar al mismo, debido al ajuste que debe de tener la embarcación con respecto a la cama de varamiento, para ello se puede observar la **Figura 3.4.1 Acuñaamiento de embarcaciones de aluminio.**

**Figura 3.4.1 Acuñaamiento de embarcaciones de aluminio**



**Fuente:** Personal, Construcción Lancha de aluminio, Proyecto 2606, ASTINAVE-

2012

7. Toda actividad de producción debe estar debidamente relacionada con la calidad, y a su vez deben ser independientes entre ellas, la calidad debe de controlarse en producción, pero no puede ser la misma persona de producción, el que tenga el dictamen de calidad.

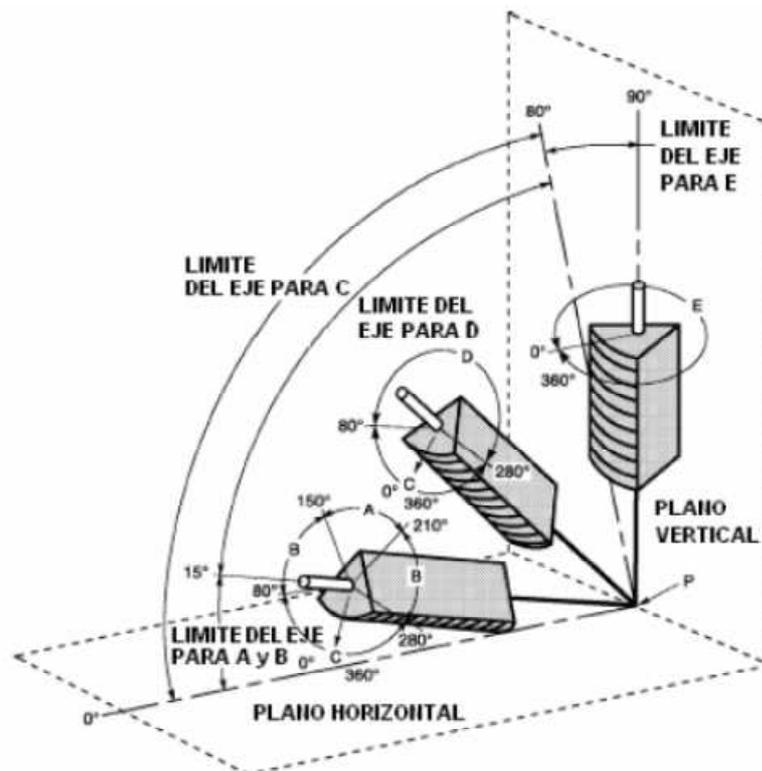


**ANEXO A: Tabla 1.3.1.1 Propiedades físicas de los materiales a temperatura ambiente**

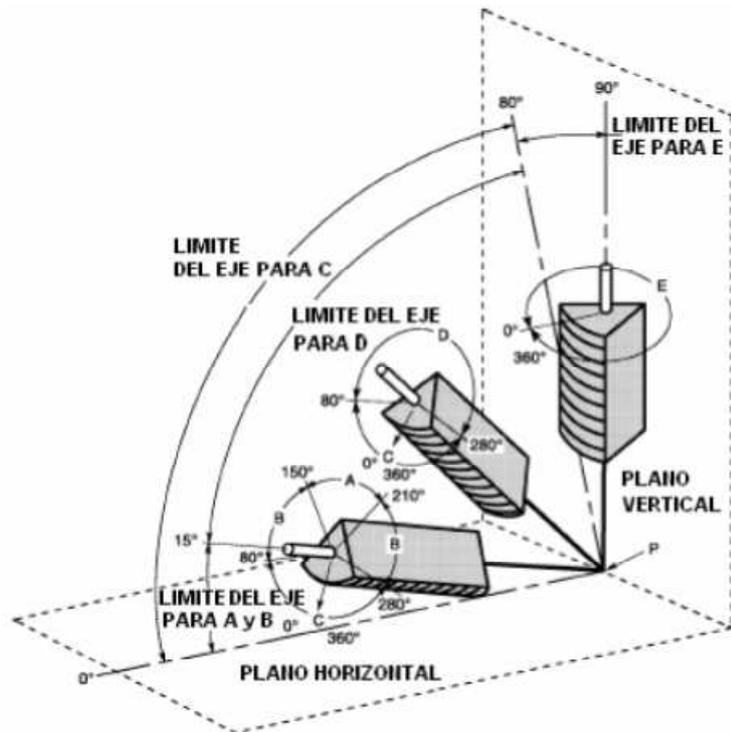
<b>Metal</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Punto de fusión (°C)</b>	<b>Calor Específico (J/kg K)</b>	<b>Conductividad Térmica (W/m K)</b>
<b>Aluminio</b>	2700	660	900	222
<b>Aleaciones de aluminio</b>	2630-2820	476-654	880-920	121-239
<b>Berilio</b>	1854	1278	1884	146
<b>Colombie (niobio)</b>	8580	2468	272	52
<b>Cobre</b>	8970	1082	385	393
<b>Aleaciones de cobre</b>	7470-8940	885-1260	377-435	29-234
<b>Hierro</b>	7860	1537	460	74
<b>Aceros</b>	6920-9130	1371-1532	448-502	15-52
<b>Plomo</b>	11350	327	130	35
<b>Aleaciones de plomo</b>	8850-11350	182-326	126-188	24-46
<b>Magnesio</b>	1745	650	1025	154
<b>Aleaciones de magnesio</b>	177-1780	610-621	1046	75-138
<b>Aleaciones de molibdeno</b>	10210	2610	276	142
<b>Níquel</b>	8910	1453	440	92
<b>Aleaciones de níquel</b>	7750-8850	1110-1454	381-544	12-63
<b>Aleaciones de tantalio</b>	16600	2996	142	54
<b>Titanio</b>	4510	1668	519	17
<b>Aleaciones de titanio</b>	4430-4700	1549-1649	502-544	8-12
<b>Tungsteno</b>	19299	3410	138	166
<b>Zinc</b>	7140	419	385	113
<b>Aleaciones de Zinc</b>	6640-7200	386-525	402	105-113

## ANEXO B: Posiciones de soldadura para calificación de procedimientos y soldadores

Tabulación de posiciones de soldadura de ranura			
Posición	Diagrama de referencia	Inclinación del eje	Rotación de cara
<b>Plana</b>	A	0 a 15°	150° a 210°
<b>Horizontal</b>	B	0 a 15°	80° a 150° 210° a 280°
<b>Sobre cabeza</b>	C	0 a 80°	0 a 80° 280° a 360°
<b>Vertical</b>	D	15° a 80°	80° a 280°
	E	80° a 90°	0 a 360°



Tabulación de posiciones de soldadura de Filete			
Posición	Diagrama de referencia	Inclinación del eje	Rotación de cara
Plana	A	0 a 15°	150° a 210°
Horizontal	B	0 a 15°	125° a 150° 210° a 235°
Sobre cabeza	C	0 a 80°	0 a 125° 235° a 360°
Vertical	D	15° a 80°	125° a 235°
	E	80° a 90°	0 a 360°



**Fuente:** American Welding Society, Pag. 146-147, Código de Soldaduras en Estructuras de Acero

## ANEXO C: PQR y WPS

**WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes**   
**PREQUALIFIED \_\_\_\_\_ QUALIFIED BY TESTING \_\_\_\_\_**  
**or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes**

Company Name \_\_\_\_\_  
 Welding Process(es) \_\_\_\_\_  
 Supporting PQR No.(s) \_\_\_\_\_

Identification # \_\_\_\_\_  
 Revision \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_ By \_\_\_\_\_  
 Authorized by \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_  
 Type—Manual  Semiautomatic   
 Machine  Automatic

**JOINT DESIGN USED**

Type:  
 Single  Double Weld   
 Backing: Yes  No   
 Backing Material: \_\_\_\_\_  
 Root Opening \_\_\_\_\_ Root Face Dimension \_\_\_\_\_  
 Groove Angle: \_\_\_\_\_ Radius (J-U) \_\_\_\_\_  
 Back Gouging: Yes  No  Method \_\_\_\_\_

**BASE METALS**

Material Spec. \_\_\_\_\_  
 Type or Grade \_\_\_\_\_  
 Thickness: Groove \_\_\_\_\_ Fillet \_\_\_\_\_  
 Diameter (Pipe) \_\_\_\_\_

**FILLER METALS**

AWS Specification \_\_\_\_\_  
 AWS Classification \_\_\_\_\_

**SHIELDING**

Flux \_\_\_\_\_ Gas \_\_\_\_\_  
 Composition \_\_\_\_\_  
 Electrode-Flux (Class) \_\_\_\_\_ Flow Rate \_\_\_\_\_  
 Gas Cup Size \_\_\_\_\_

**PREHEAT**

Preheat Temp., Min. \_\_\_\_\_  
 Interpass Temp., Min. \_\_\_\_\_ Max. \_\_\_\_\_

**POSITION**

Position of Groove: \_\_\_\_\_ Fillet: \_\_\_\_\_  
 Vertical Progression: Up  Down

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting   
 Globular  Spray   
 Current: AC  DCEP  DCEN  Pulsed   
 Power Source: CC  CV   
 Other \_\_\_\_\_  
 Tungsten Electrode (GTAW)  
 Size: \_\_\_\_\_  
 Type: \_\_\_\_\_

**TECHNIQUE**

Stringer or Weave Bead: \_\_\_\_\_  
 Multi-pass or Single Pass (per side) \_\_\_\_\_  
 Number of Electrodes \_\_\_\_\_  
 Electrode Spacing Longitudinal \_\_\_\_\_  
 Lateral \_\_\_\_\_  
 Angle \_\_\_\_\_  
 Contact Tube to Work Distance \_\_\_\_\_  
 Peening \_\_\_\_\_  
 Interpass Cleaning: \_\_\_\_\_

**POSTWELD HEAT TREATMENT**

Temp. \_\_\_\_\_  
 Time \_\_\_\_\_

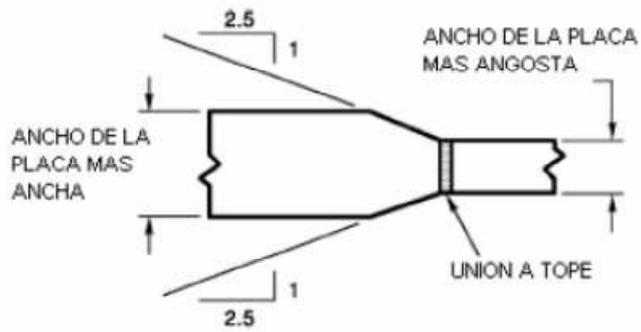
**WELDING PROCEDURE**

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

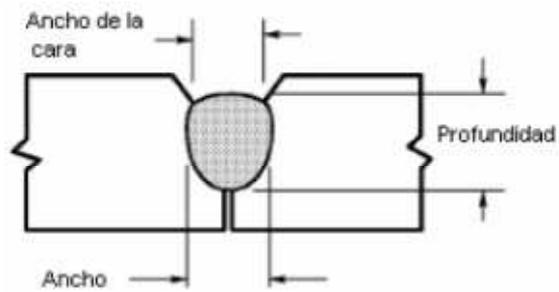


## ANEXO D: Tipos de juntas

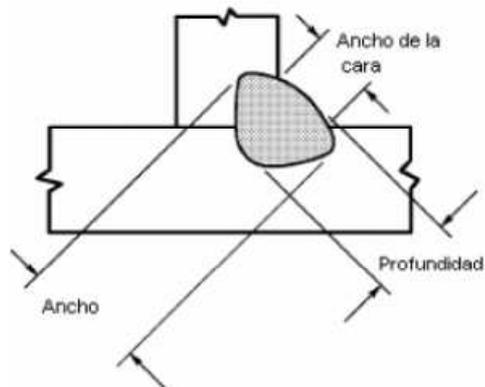
### a) Transición de espesores



### b) Junta a Tope



### c) Junta de Filete



Fuente: American Welding Society

## **ANEXO E: Pautas para elaboración de Manuales**

Para el establecimiento de pautas, de lo que debe de llevar un manual de calidad, los siguientes puntos son directamente tomados de la ISO 10013:1995, por lo que se recomienda la lectura completa de la misma para mayor entendimiento, puesto que es descrito a continuación es un extracto de la norma mencionada.

### **Propósitos de los manuales de calidad.**

Los manuales de calidad pueden ser desarrollados y usados por una organización para los propósitos que incluyen, pero no se limitan a los siguientes:

- a) Comunicar la política de calidad de la organización, procedimientos y requerimientos;
- b) Describir e implementar un sistema de calidad efectivo;
- c) Proveer un mejor control de las prácticas y facilitar las actividades de aseguramiento;
- d) Suministrar las bases documentadas para auditar el sistema de calidad;
- e) Proveer la continuidad del sistema de calidad y sus requerimientos durante circunstancias cambiantes;
- f) Capacitar al personal en los requerimientos del sistema de calidad y métodos de cumplimiento;
- g) Presentar el sistema de calidad para propósitos externos,
- h) Demostrar que el sistema de calidad cumple con los requerimientos de calidad en situaciones contractuales.

### **Estructura y formato.**

Aunque no hay una estructura o formatos requeridos para un manual de calidad, éste deberá transmitir en forma exacta, completa y concisa, la política de calidad, los objetivos y los procedimientos documentados que rigen la organización (ver capítulo 6). Uno de los métodos para asegurar que el contenido del manual está adecuadamente cubierto y ubicado, sería el de enlazar las secciones del manual a los elementos de la norma del sistema de calidad establecido. Otros enfoques, por ejemplo el de estructurar el manual para que refleje la naturaleza de la organización, son igualmente aceptables.

### **Origen de un manual de calidad.**

Un manual de calidad puede:

- a) ser una compilación directa de los procedimientos documentados del sistema de calidad;
- b) ser un grupo o sección de los procedimientos documentados del sistema de calidad;
- c) ser una serie de procedimientos documentados para instalaciones o aplicaciones específicas;
- d) abarcar más de un documento o nivel;
- e) tener un núcleo común y los apéndices del caso;
- f) ser un único documento o varios;
- g) tener otros orígenes posibles, según las necesidades organizacionales

El cuerpo competente debe iniciar las siguientes acciones según sean aplicables:

- a) establecer y enumerar las políticas del sistema de calidad, los objetivos y los procedimientos documentados existentes que sean aplicables, o elaborar planes para los mismos;
- b) decidir cuáles elementos del sistema de calidad se aplican, de acuerdo con la norma del sistema de calidad seleccionada;

- c) obtener datos acerca del sistema y las prácticas de calidad existentes, por medios tales como cuestionarios y entrevistas;
- d) solicitar y obtener documentación adicional o referencias de las unidades operacionales;
- e) determinar la estructura y el formato del manual proyectado;
- f) clasificar los documentos existentes de acuerdo con la estructura y el formato proyectados;
- g) usar cualquier otro método conveniente a la organización, para completar el borrador del manual de calidad.

## **QUE INCLUIR DENTRO DE UN MANUAL DE CALIDAD**

### **Contenido general.**

Un manual de calidad deberá contener lo siguiente:

- a) título, alcance y campo de aplicación;
- b) cuadro de contenidos;
- c) introducción acerca de la organización concerniente y del manual en sí;
- d) política de calidad y objetivos de la organización;
- e) descripción de la estructura organizacional, cargos y responsabilidades;
- f) descripción de los elementos del sistema de calidad y referencia a sus procedimientos documentados;
- g) sección de definiciones, si es apropiado;
- h) guía para el manual de calidad, si es apropiado;
- i) apéndice para datos de apoyo, si es apropiado.

Nota: El orden de los contenidos del manual de calidad puede ser cambiado de acuerdo con las necesidades del usuario.

### **Definiciones.**

Si se considera necesaria una sección de definiciones en el manual, usualmente ésta se ubica inmediatamente después de la sección de "El alcance y campo de aplicación". Si bien se recomienda que, cuando sea práctico se utilicen definiciones y términos normalizados que estén referenciados en documentos reconocidos de terminología de calidad o en diccionarios de uso general, esta sección de un manual de calidad deberá contener las definiciones de los términos y conceptos utilizados en el manual de calidad.

Se deberá prestar especial atención a las palabras que tengan un significado diferente para diferentes personas o un significado específico para sectores específicos de las organizaciones. Las definiciones deberán permitir una comprensión completa, uniforme y sin ambigüedades de los contenidos del manual de calidad. Es recomendable hacer referencia a conceptos, terminología, definiciones y normas.

### **Guía para el manual de calidad.**

Podrá considerarse incluir una sección o índice que provea referencias cruzadas de un tema y sus palabras clave con la sección o números de página correspondientes. Puede usarse cualquier guía rápida para ubicar "el qué y en dónde, dentro del manual de calidad".

Una guía puede también proporcionar una descripción de la organización del manual de calidad y un resumen de cada una de sus secciones. Los lectores a quienes únicamente les interesen ciertas partes del manual de calidad, deberán tener la posibilidad de identificar, con la ayuda de esta sección, las partes del manual que puedan contener la información que están buscando.

### **Apéndice para información de apoyo**

Se puede incluir un apéndice que contenga datos de apoyo para el manual.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Groover Mikell P., FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA: MATERIALES, PROCESOS Y SISTEMAS, Prentice Hall, Primera edición.
2. Kalpakjian Serope, MANUFACTURA, INGENIERIA Y TECNOLOGÍA, , Pearson Educación, 4ta Edicion, México, 2002, pag 157, 158,159, 160
3. APUNTE DE CIENCIA DE LOS MATERIALES II, Instituto Politecnico Nacional, Mexico, Enero 2008, pag 6,7,15
4. Bucella Jorge María, APUNTES DE PROCESOS PRODUCTIVOS II, , Universidad Nacional de Cuyo, Escuela Superior de Comercio "Martín Zapata", Mendoza, junio 2004, pag 10-12, 15, 37-40
5. Totten Gorge E. & MacKenzie D. Scott, HANDBOOK OF ALUMINUM-PHYSICAL METALLURGY AND PROCESS, Volume 1, Marcel Dekker Inc, 2003, pag 33,34,36,277
6. Brady-Henry George S. & R. Clauser-John A. Vaccari, MATERIAL HANDBOOK, , Prentice Hall, 5ta Edicion, pag 49-59

7. Gonzalez López Primitivo B., TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL, Universidad de Coruña, Servicio de Publicaciones, Marzo 2000
8. Naval Construction Force, Alexandria, WELDING MATERIALS HANDBOOK, , Virginia-USA, Julio 1992, pag 1-18, 4-9
9. Gene Mathers, THE WELDING OF ALUMINUM AND ITS ALLOYS, Woodhead Publusing Limited, Cambridge England, 2002, pag 51-56, 97, 116-135, 181, 189, 205.
10. MANUAL DE CONCEPTOS BASICOS DE SOLDADURA Y CORTE, Compañía INFRA
11. American Welding Society, WELDING INSPECTIONS HANDBOOK, 3ra Edicion, 2000
12. AWS B1.2, BASE METAL GROUPING FOR WELDING PROCEDURE AND PERFORMANCE QUALIFICATION, 2009
13. AWS D1.1 WPS-PQR, American Welding Society, 2008
14. ABS, REGLAS PARA LA CONSTRUCCION Y CLASIFICACION DE EMBARCACIONES DE ALUMINIO, Octubre 2008, Parte 2.
15. Norma Internacional ISO 9000:2005, SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD-FUNDAMENTOS Y VOCABULARIO.
16. Norma Internacional ISO 9001:2000, SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD-REQUISITOS.
17. Norma Internacional ISO 9004:2009, SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD-DIRECTRICES PARA LA MEJORA DE DESEMPEÑO.
18. Norma Internacional ISO 10013:1995, LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE MANUALES DE CALIDAD.