

Universidad Nacional de Ingeniería

PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA
MECANICA Y ELECTRICA



Titulación Profesional Extraordinaria

Trabajo Profesional
Para optar el título de Ingeniero Mecánico

Gustavo Raúl Dávila Rosazza

LIMA - PERU

1 9 8 3

" LA SOLDADURA EN LA CONSTRUCCION DEL CASCO
DE UNA EMBARCACION . "

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO I DESCRIPCION DEL CASCO DE UNA EMBARCACION DE BAJO BORDO.

- 1.1 GENERALIDADES
- 1.2 MAMPAROS
- 1.3 CUBIERTAS
- 1.4 CUADERNAS
- 1.5 COMPARTIMIENTOS ESTRUCTURALES
- 1.6 ACCESORIOS DEL CASCO
- 1.7 SUPERESTRUCTURA

CAPITULO II PROCESO DE CONSTRUCCION DEL CASCO DE UNA EMBARCACION

- 2.1 PROCESO DE CONSTRUCCION
- 2.2 CONTROL DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION DEL ARCO.

CAPITULO III SOLDADURA DE LA CONSTRUCCION DEL CASCO

- 3.1 GENERALIDADES

CAPITULO IV INSPECCION DE LA SOLDADURA DEL CASCO

- 4.1 GENERALIDADES
- 4.2 FALLAS DE LAS JUNTAS SOLDADAS
- 4.3 METODOS DE INSPECCION DE LAS JUNTAS SOLDADAS
 - 4.3.1 INSPECCION RADIOGRAFICA
 - 4.3.2 INSPECCION ULTRASONICA.

INTRODUCCION

En este trabajo se pretende transmitir la experiencia recogida en la construcción de cascos metálicos, en astilleros nacionales. Concretamente en la aplicación e inspección de la soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido.

Este trabajo está dividido en cuatro partes. Un primer capítulo donde se describe el casco de una embarcación de bajo bordo, enumerando sus partes fundamentales. Un segundo capítulo donde se describe someramente el proceso de construcción del casco, además de los controles o inspecciones que se hacen a los insumos y al proceso de construcción del casco. Un tercer capítulo que trata de las generalidades, preparación y soldadura del casco. Un cuarto capítulo que trata de las fallas de la soldadura y métodos de inspección, tratando solamente el método de inspección radiográfica y el método de inspección por ultrasonido.

I.- DESCRIPCION DEL CASCO DE UNA EMBARCACION DE BAJO BORDO

1.1 La construcción de las embarcaciones de este tipo están reglamentadas por las Sociedades Clasificadoras y Aseguradoras especializadas.

El casco es de acero naval certificado, sus partes totalmente soldadas. El tipo de estructura puede ser longitudinal o transversal. Los cálculos de los módulos resistentes determinan planchas y refuerzos más resistentes en las zonas cercanas a la quilla y disminuyen de espesor a medida que se alejan de ella hasta llegar a la cubierta principal.

El casco consta de los siguientes elementos estructurales:

1.2 Mamparos.- El casco tiene mamparos transversales y longitudinales, estancos de agua, que se extienden desde el fondo de la embarcación hasta la cubierta principal. Están adecuadamente reforzadas y son los que delimitan los diferentes ambientes de la embarcación contribuyendo a la adecuada resistencia de la misma. La estanqueidad estructural de los mamparos es necesaria e indispensable, para permitir la flotabilidad y navegación de la embarcación en caso de avería del casco.

1.3 Cubiertas.- Son las plataformas lisas y continuas de la embarcación que van soldadas al casco y a los mamparos. Delimitanan la embarcación en varios niveles. Son de plancha de acero naval; los espesores de acuerdo a los esfuerzos estructurales.

rales de la embarcación; generalmente de mayor espesor en las zonas de unión con el casco (trancaniles):

Cubierta principal.- Sobre la cual tienen su base todos los equipos de pesca, además de la superestructura y los equipos de maniobra de pesca.

Cubierta de Superestructura.- Las cuales delimitan los ambientes de la caseta de acomodación de la tripulación y el puente de navegación.

1.4 Cuadernas.- Son los elementos estructurales que le dan rigidez a la embarcación a todo lo largo de esta. Están dispuestas a intervalos regulares formando un armazón o costillaje. Se le llama también costilla. La cuaderna está formada por varios elementos convenientemente soldados, cuyos nombres están de acuerdo con la posición que ocupan en las secciones transversales.

Al elemento superior de la cuaderna se le llama bao; al elemento inferior, varenga; al elemento lateral se le llama cuaderna.

1.5 Compartimientos Estructurales.- Son los diferentes ambientes y zonas que cumplen una función específica en el trabajo de la embarcación. Los ambientes mas característicos son:

Pique de colisión.- Ubicado en la proa, limitado por la proa y el primer mamparo estanco. Está sometido a altos esfuerzos por acción del oleaje del mar en travesía, por

lo que es completamente estanco y con alto módulo resistente.

- Sala de máquinas.- Ambientes de estructura sólida donde se ubican la maquinaria principal y auxiliares para los diferentes servicios de la embarcación. El diseño de este compartimiento tiene en cuenta el espacio suficiente para la correcta instalación de la maquinaria, además de los medios para permitir la adecuada ventilación (natural o forzada) de acuerdo a las exigencias de los fabricantes de los equipos a utilizar.

Túnel de bodegas.- Ubicado longitudinalmente en la parte central de la embarcación, es una continuación de la sala de máquinas, permite el tendido del eje de propulsión.

Bodegas.- Ambientes estancos que sirven para el almacenamiento del pescado y su conservación mediante un sistema de refrigeración del cual las bodegas forman parte.

Tanques para combustible, lubricante y agua.- En la mayoría de los casos ubicados en las partes más bajas de la embarcación, son zonas de fácil acceso que permiten el adecuado mantenimiento.

Pañol de gobierno.- Situado en la popa de la embarcación dentro de él se ubica la unidad de gobierno. Esta zona está sometida a esfuerzos combinados de vibración, impacto y compresión, por lo que su estructura debe ser compacta y rígida.

1.6 Accesorios del casco, escotillas y protección catódica.

Para proteger el planchage del casco, este lleva en la parte superior y alrededor un medio tubo de espesor adecuado llamado verruete que lo protege contra los golpes eventuales contra los muelles ú otras embarcaciones.

El ingreso a los diferentes ambientes se hace por las escotillas, las cuales son estancas al agua y de dimensiones de acuerdo a las necesidades del servicio.

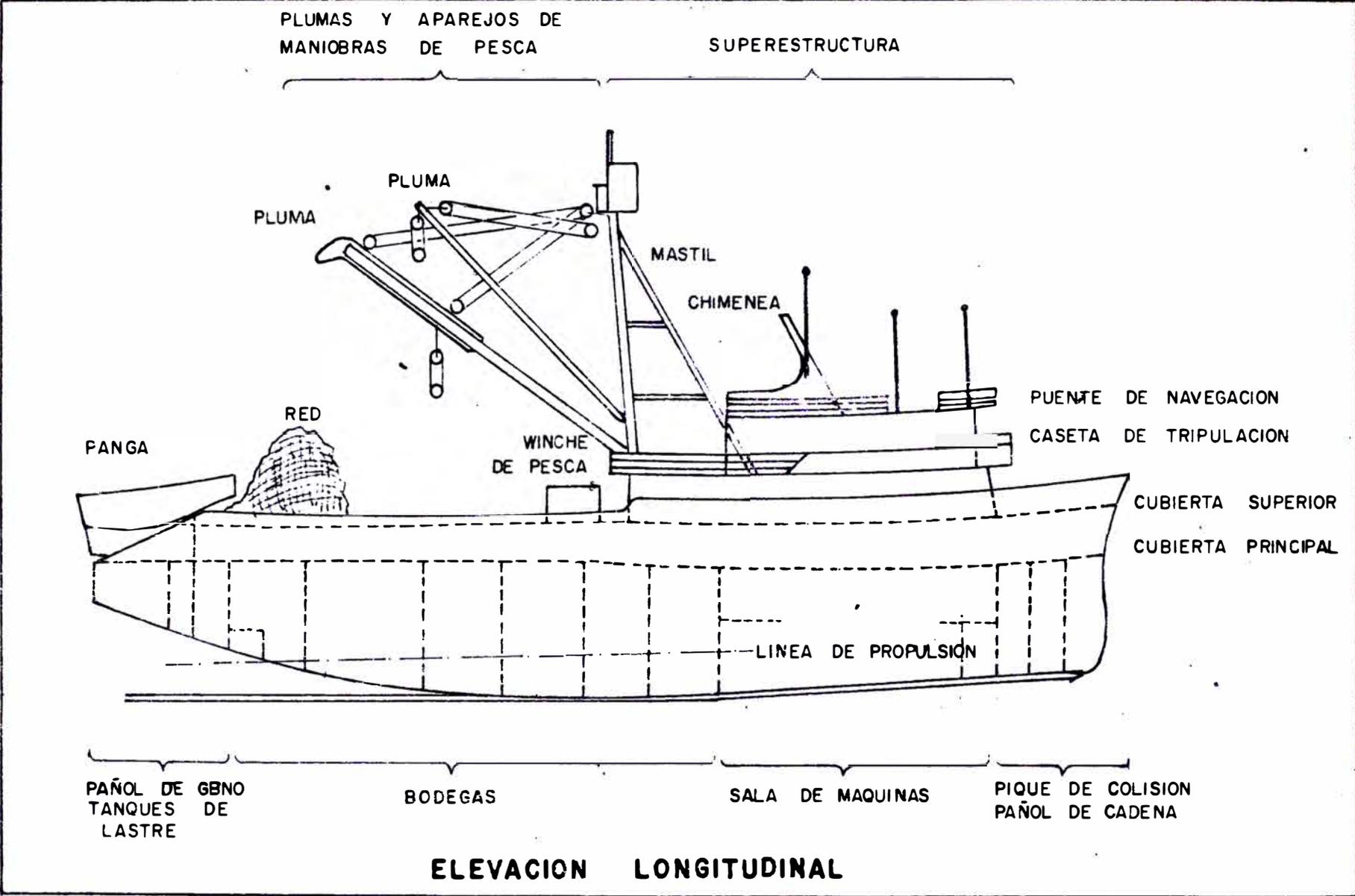
El casco lleva ánodos de zinc, soldados en la obra viva ó sumergida y en los apéndices del casco, a fin de protegerlo contra la corrosión por acción de las corrientes gálvanicas.

1.7 Superestructura.- Es el castillo estructural ubicado sobre la cu

bierta principal o de francobordo que permite disponer de un espacio protegido de la intemperie y dentro del cual generalmente van dispuestas la acomodación de la tripulación y los equipos de control de la embarcación, además de los equipos auxiliares de navegación y pesca.

Los ambientes característicos en la superestructura son:

- Dormitorios de la tripulación, servicios higiénicos, pañales, etc, en un primer nivel.
- Puente de mando, cuarto de cartas de navegación, cuarto de equipos de comunicaciones, camarote del capitán y jefe de máquinas.

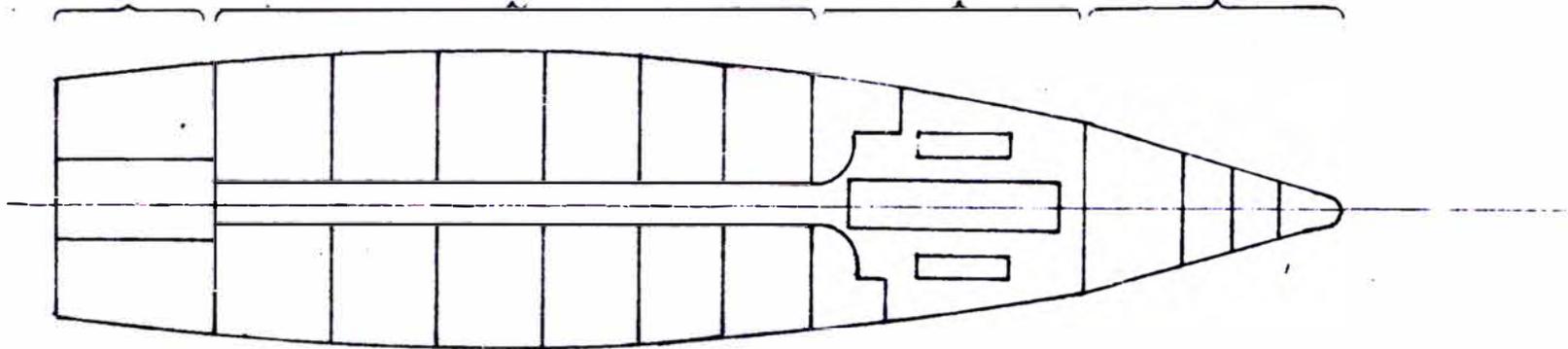


TANQUE DE
LASTRE Y
PAÑOL DE GBNO.

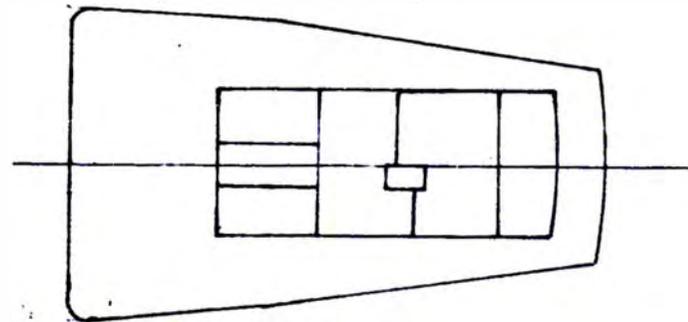
BODEGAS
TUNEL DE BODEGAS

SALA DE
MAQUINAS

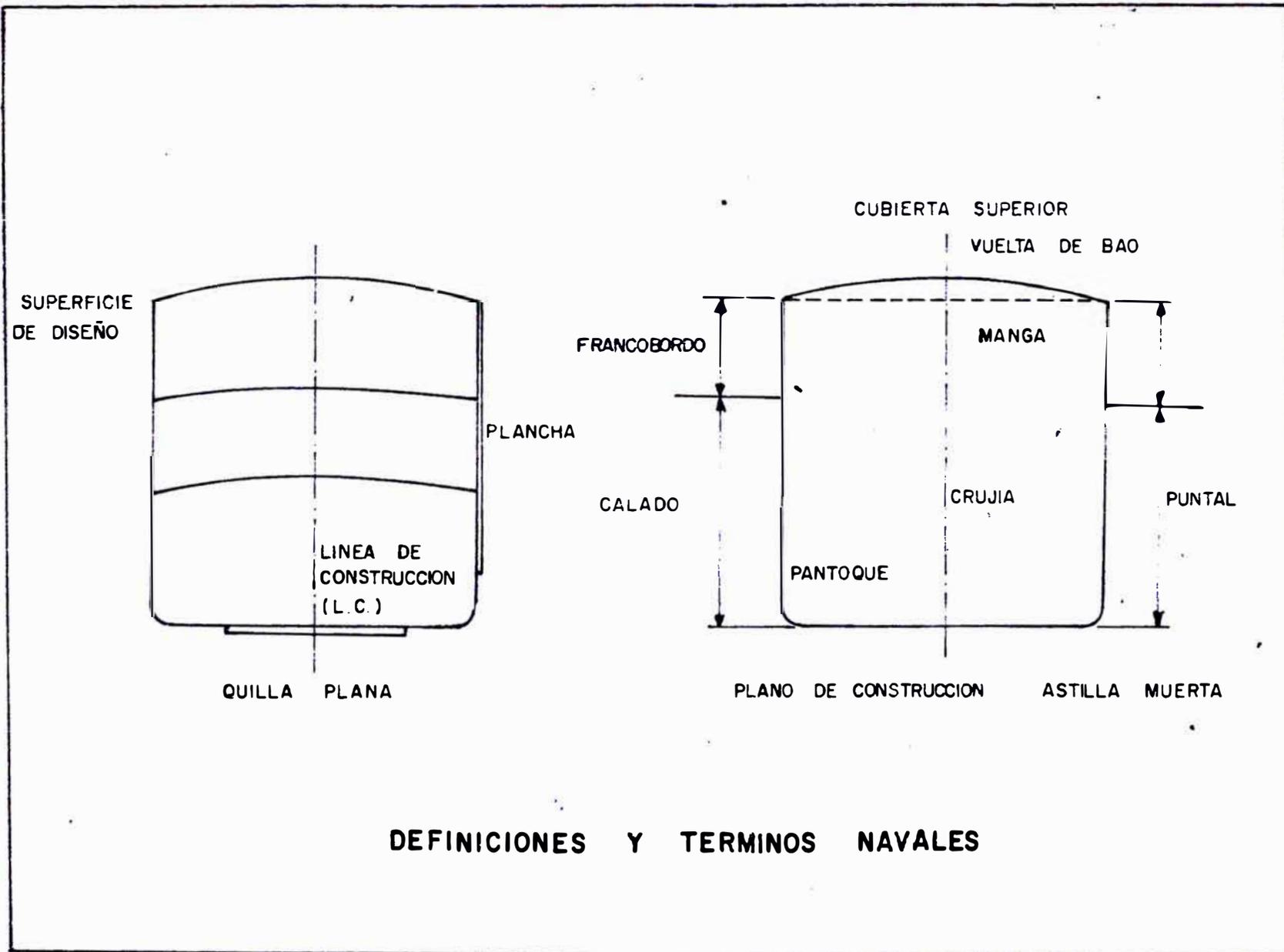
PIQUE DE COLISION
PAÑOL DE CADENAS
TANQUES COMBUSTIBLE



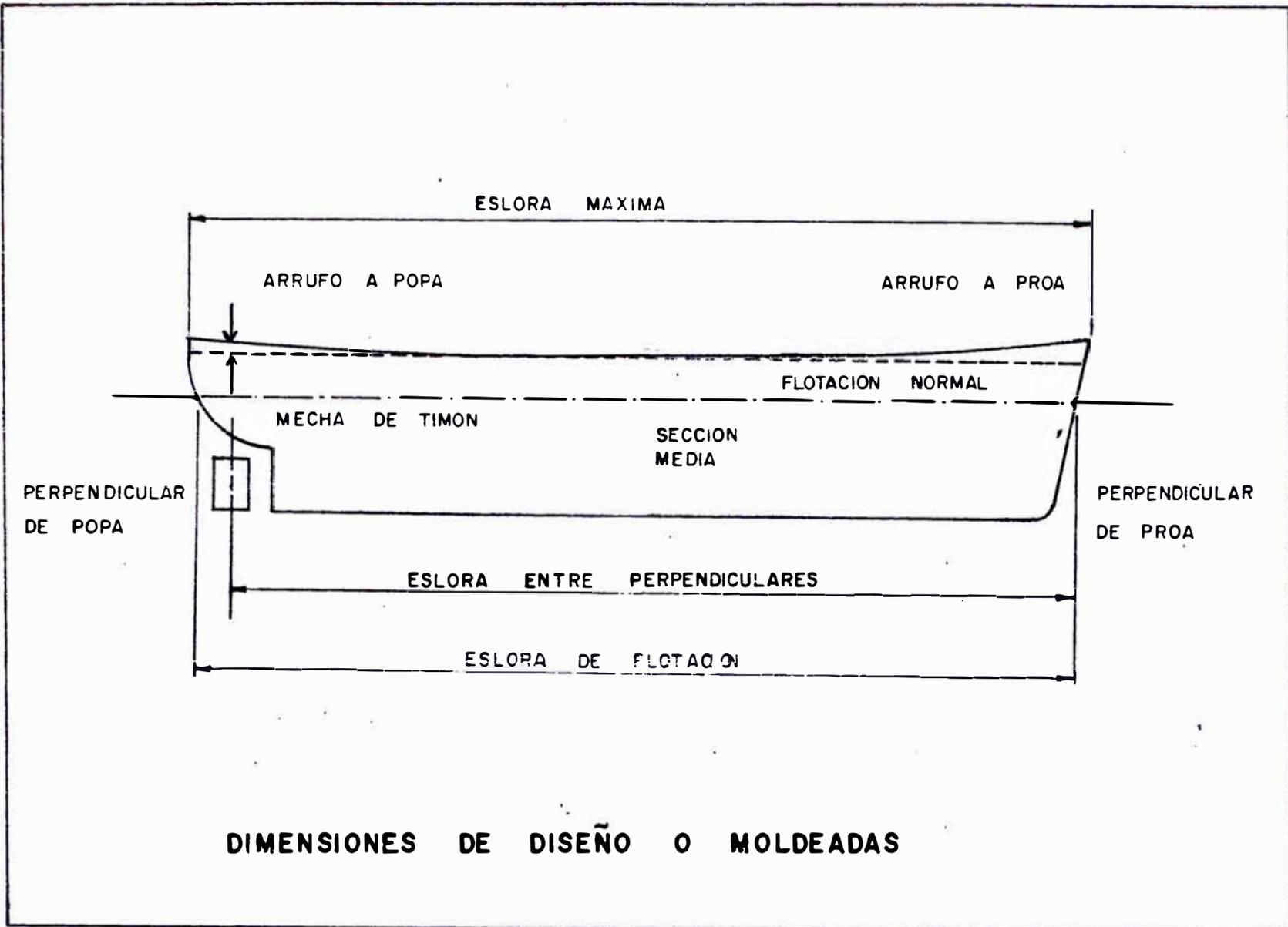
VISTA DE PLANTA BAJO CUBIERTA PRINCIPAL

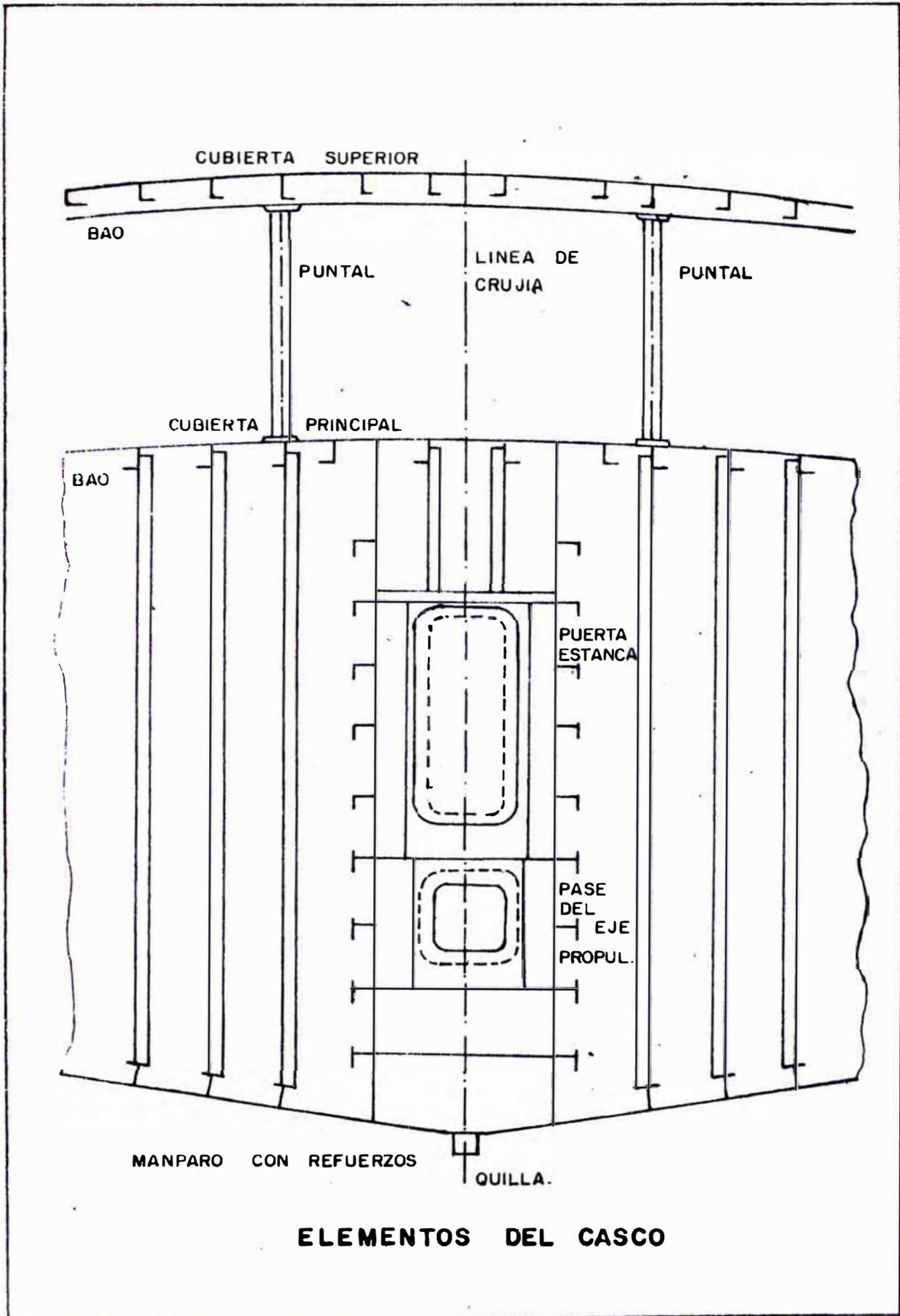


VISTA DE PLANTA DEL PUENTE DE NAVEGACION

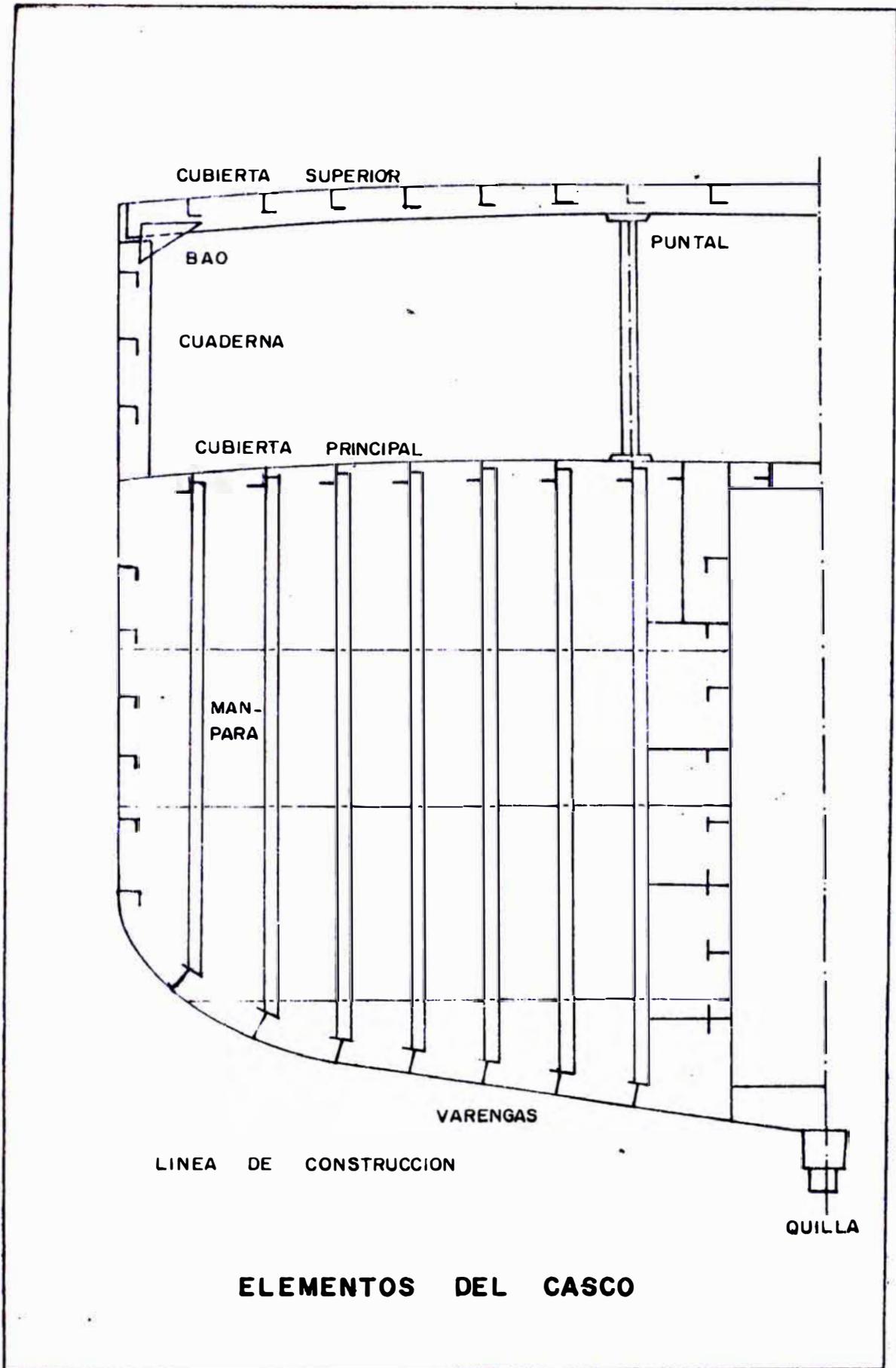


DEFINICIONES Y TERMINOS NAVALES





ELEMENTOS DEL CASCO



II. PROCESO DE CONSTRUCCION DEL CASCO DE UNA EMBARCACION

2.1 Generalmente los ~~diseños~~ diseños de las embarcaciones son aprobados por las Sociedades Clasificadoras, que son entidades que alquilan sus servicios para constatar que los trabajos ejecutados cumplan con los requisitos de construcción; para lo cual se envían los inspectores navales.

A grandes rasgos, el proceso de fabricación de una embarcación atunera es el siguiente: después de ser aprobados los planos y diseños se procede a la compra de los materiales, de los cuales el Dpto. de Control de Calidad certifica su buen estado. A continuación se confeccionan las plantillas para construir los elementos estructurales y el casco del barco, este trabajo lo realiza el Taller de Galibos. Con dichas plantillas el taller de confección de Partes y el taller de Armado y Soldadura construyen la estructura del barco. Posteriormente el taller de Armado y Soldadura se encarga de la erección del casco del barco.

Durante el proceso de fabricación el Dpto. de Control de Calidad interviene; desde que los planos son revisados y aprobados, en la recepción de materiales en el mismo proceso de fabricación hasta que finalmente es probado y entregado el barco.

2.2 Para el control de la calidad durante el proceso de fabricación del casco se confeccionan varios formatos auxiliares los

sumales son:

Formato A.- Lista programada de actividades e inspecciones para la construcción del casco.

- Formato B.- Lista de Control de Insumos del casco.

Formato C.- Lista de Inspecciones durante el proceso de erección del casco.

Formato D.- Lista de clasificación de defectos en el proceso de erección del casco.

2.2.1 Formato A.- Lista programada de actividades e inspecciones para la construcción del casco.

- 1.- Colocación de calzos
- 2.- Inspección de colocación de calzos
- 3.- Colocación de quilla
- 4.- Inspección de colocación de quilla
- 5.- Colocación de cuadernas
- 6.- Inspección de colocación de cuadernas
- 7.- Colocación de mamparos
- 8.- Inspección de colocación de mamparos
- 9.- Colocación del codaste y módulo de popa
- 10.- Inspección de colocación del codaste y módulo de popa.
- 11.- Colocación del módulo de proa
- 12.- Inspección de colocación del módulo de proa
- 13.- Colocación de escotillas, puertas, estancas, lumbreras.
- 14.- Inspección de colocación de escotillas, puertas estancas, lumbreras.
- 15.- Inspección de la soldadura.

2.2.2 Formato B.- Lista de control de insumos del casco

Insumo	Ensayo	Prueba
1.- Plancha de acero naval de diferentes espesores de 1/8", á 1"	Tracción plegado P.N.D	Prueba fotura a 1800 Ultrasonido
2.- Elementos estructurales, vigas, canales, tees, de diferentes dimensiones	Tracción plegado inspección	rotura a 1800 visual
3.- Escobillas, puertas-estancas y lumbreras	dimensión estanqueidad	reglas graduadas y aire a presión.
4.- Soldadura	tracción plegado	rotura a 1200

* No se hace los ensayos si tiene certificado.

2.2.3 Formato C.- Lista de inspecciones durante el proceso de erección del casco.

1.- Inspección de colocación de calzos	puntos y cotas	medición y verificación	planos
2.- Inspección de colocación de quilla	puntos, cotas y verticalidad.	medición y verificación	planos
3.- Inspección de colocación de cuadernas y mamparos	verticalidad y perpendicularidad.	medición y verificación.	planos
4.- Inspección de colocación del codaste, módulo de proa y popa.	puntos y cotas	medición y verificación.	planos
5.- Inspección de colocación de escotillas y puertas estancas.	Hermeticidad de piezas de jebe	lavasa y aire a presión	según especificaciones técnicas.

- | | |
|--|--|
| 6.- Inspección de soldadura | penetración verifica según
porosidad ción vi- normas
uniformi- sual y ra- técnicas
dad, soca diografías
vaciones, ultrasonido.
grietas. |
| 7.- Inspección de tanques
y mamparos estancos | hermetici lavasa y 3PSI de
dad de la aire a presión
soldadura presión de aire |

Formato D.- Listas de clasificación de defectos en el pro-
ceso de trasado de planchas:

Defectos mayores:

- 1.- Error de las medidas por defecto
- 2.- Selección no adecuada del mate-
rial sobre la cual se traza (plan-
chas deterioradas o picadas.)
- 3.- Error en el corte a pesar de un
buen trazado.

Defectos menores

- 1.- Error en, las medidas por exceso.

2.2.4 Formato D.- Lista de clasificación de defectos en el
proceso de erección del casco.

Defectos críticos:

- | | |
|--|---|
| 1.- Calzos mal ubicados | Se debe seguir rigurosamente
las indicaciones del plano
de erección. |
| 2.- Verticalidad imperfec-
ta de la quilla | la forma aerodinámica del -
barco exige la verticalidad
de la quilla. |
| 3.- Falla en la ubicación
de las cotas que esta-
blecen la posición
exacta de la quilla | la exacta posición de las -
cotas de la quilla influye
en la forma definitiva del
casco. |

- 4.- Verticalidad imperfecta de mamparos y cuadernas; transversalidad de la línea de crujía. determina en forma perfecta la línea del casco.
- 5.- Inexacta posición del codaste, para el tendido de la línea de propulsión. la posición del codaste es determinante para la exacta posición de la línea de propulsión.

Defectos mayores:

- 1.- Inexacta posición de los refuerzos de los mamparos y cuadernas, forros y cubiertas. la adecuada instalación de refuerzos permite una buena soldadura y mejora la visión estética de los mismos.
- 2.- Ausencia de agujeros de alivio en la unión de refuerzos con el casco. son importantes porque disminuyen la fatiga del material cuando el barco navega, se detectan durante la prueba con aire a presión.

Defectos menores:

- 1.- Aristas y filos vivos en los elementos estructurales. pueden esmerilarse para que la aplicación de la pintura tenga mas duración y por allí no empiece la corrosión.
- 2.- Inexacta colocación de cartelas de refuerzo sin agujeros de alivio.

Formato D.- Lista de clasificación de defectos en el proceso de armado.

Defectos críticos:

- 1.- Apuntalar las planchas sin la separación necesaria entre los bordes para la penetración de la soldadura. La reparación depende del espesor de la plancha y del electrodo a usarse
- 2.- No seguir la secuencia lógica especificada en el armado de mamparos y cuadernas. Se debe seguir las indicaciones de los planos

Defectos mayores:

- 1.- Bordes mal preparados, sin el respectivo bisel para el soldado. el bisel es necesario para el depósito del metal de aporte o soldadura.

Defectos menores:

- 1.- que existan rebabas de soldadura en las planchas a armar. las planchas antes de armar se deben ser limpiadas con piquetas o esmeriladas.

III. SOLDADURA EN LA CONSTRUCCION DEL CASCO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Construcción del casco

En la soldadura de la construcción del casco se aplican los procedimientos y metales de aportación que permitan ejecutar soldaduras que tengan la resistencia y tenacidad comparables a la del metal base.

Los planos que se someten para la aprobación indican claramente la amplitud hasta que se propone utilizar la soldadura en las zonas principales de la estructura. Se indican en los planos de detalle: el proceso de soldadura, metal de aporte y diseño de las uniones. Por otro lado los constructores navales tienen un procedimiento planificado a seguirse en el montaje y soldadura de los elementos ^{estructurales} importantes (ver Cap. 2)

El personal de soldadores debe ser calificado y experimentado en los procesos de soldadura.

3.1.2 Preparación para la soldadura

La preparación de los bordes debe ser precisa y uniforme y las partes que hayan de soldarse se ajustarán de

acuerdo a normas establecidas (ver cap. 2).

Se debe proveer durante la operación de la soldadura medios para mantener las partes que hayan de soldarse en posición y alineación correctas. Los puentes ú -- otros medios utilizados para este fin se dispondrán de tal forma que permitan la expansión y contracción durante la soldadura.

Todas las superficies que hayan de soldarse deben estar ausentes de humedad, grasa, óxido excesivo o pintura. Se debe eliminar la escoria no solamente de los bordes que deban soldarse, sino también de cada pasada antes de la colocación de las pesadas subsiguientes.

Cuando sea necesario, se deben emplear suplementos soldados para el comienzo y terminación de la soldadura, se deben hacer de tal manera que la posibilidad de altas concentraciones de esfuerzos y la formación de grietas en los metales de base y aporte sea el mínimo.

3.1.3 Soldadura de producción

Se deben tomar las precauciones adecuadas para asegurarse que toda la soldadura se ejecute bajo condiciones de protección contra los efectos nocivos de humedad, viento o frío severo.

La soldadura se debe planificar de manera que progrese simétricamente y la contracción en ambos lados de la estructura quede compensada.

En la soldadura de penetración completa se debe emplear el calefateado, esmerilado, achaflanado por arco u otros métodos adecuados en la raíz o cara inferior de la soldadura para obtener el metal sano antes de la aplicación de los cordones subsiguientes.

4. INSPECCION DE LA SOLDADURA DEL CASCO

4.1 La ejecución de una soldadura requiere no solamente conocer los procedimientos adecuados, sino también inspeccionar las juntas soldadas.

El soldador debe saber juzgar una junta de soldadura, reconocer sus defectos o fallas y así mismo las causas y las soluciones. La inspección puede ejecutarse durante el proceso de soldadura y una vez efectuada la junta.

La inspección de juntas soldadas en emplazamiento importantes se realizan preferentemente por métodos establecidos de ensayos no destructivos, tales como: radiográficos, ultrasonicos, o la inspección con partículas magnéticas o tintes penetrantes.

4.2 Fallas de las juntas soldadas y métodos de inspección. Podemos clasificar en 2 grupos las fallas o defectos de las soldaduras:

Fallas	Métodos de inspección
A- Fallas o defectos dimensionales	Inspeccion visual y medición.
1- preparación incorrecta de la junta	" " "
2- Medida incorrecta de la soldadura.	" " "

- 3- perfil de la soldadura inspección visual y medición
- 4- deformaciones " " "

B- Discontinuidad en la estructura soldada

- 1- porosidad Rayos X-Pruebas mecánicas y metalográficas
- 2- inclusiones no metálicas " " " "
- 3- falta de fusión " " " "
- 4- penetración incompleta " " " "
- 5- socavación Rayos X Inspección visual
- 6- rajaduras " " "
- 7- defectos de superficie Inspección visual.

Todas estas fallas se consideran teniendo en cuenta que no son atribuibles: a los metales o aleaciones a soldar que deben poseer la calidad para obtener buenas soldaduras; al diseño de la junta que debe permitir obtener soldaduras sujetas a pruebas; y a los electrodos que deben haber sido correctamente determinados.

4.2.1 A- Fallas ó defectos dimensionales

Los defectos o fallas de la soldadura, relacionados con las dimensiones del trabajo son causados por:

1- Preparación incorrecta de la junta

Los cambios de las dimensiones dadas en el plano, para la preparación de la junta, pueden causar defectos o fallas en la estructura de la junta. El soldador debe respetar las indicaciones dadas en los planos para la preparación de la junta ya que -

estas indicaciones están basadas en las necesidades del diseño y en el espesor y tamaño de las piezas a soldar.

2- Medida incorrecta de la junta de soldadura

El respeto a las dimensiones de la junta son importantes para obtener buenos resultados ya que estas, están determinadas en función de la resistencia que la soldadura debe poseer; así por ejemplo, la medida de una soldadura de filete se expresa en base al menor cateto del triángulo de la sección transversal de la soldadura y en soldaduras tope, sus dimensiones dependen del espesor de la plancha.

3- Perfil de la soldadura

El perfil o sección transversal de la soldadura tiene efecto considerable en el comportamiento de la soldadura en trabajo; así un exceso de soldadura, como también un cordón excesivamente convexo, afecta la distribución de esfuerzos cuando se aplica una carga; de igual modo el esfuerzo de los cordones concavos es menor, especialmente en las soldaduras de filete.

4- Deformación

La operación de soldadura incluye la aplicación de calor y fusión del metal en secciones localizadas de la junta, este calor se traduce en esfuerzos térmicos

de expansión y contracción que persisten después del enfriamiento y que tienden a causar la deformación.

Estos esfuerzos pueden reducirse usando soportes rígidos, seleccionando la secuencia de los pasos a seguir en la soldadura, martillando la junta para eliminar mecánicamente los esfuerzos, sometiendo a la pieza a un calentamiento de eliminación de tensiones y posterior enfriamiento lento.

4.2.2 B- Discontinuidad en la estructura de la soldadura

Los defectos que ocasionen discontinuidad en la estructura de la soldadura no constituyen propiamente cambios metalográficos del metal aportado o del metal base, sino son fallas ocasionadas por la falta de metal o fallas de fusión. Estos defectos son:

1- Porosidad:

son propiamente vacíos producidos por el material sólido formados por la inclusión de gases resultantes de reacciones químicas. La porosidad puede ser controlada limpiando correctamente la pieza, evitando el exceso de corriente, acortando el arco, usando electrodos apropiados y exentos de humedad, empleando movimientos adecuados, etc.

La porosidad puede ser clasificada como porosidad uniformemente dispersa, porosidad agrupada y porosidad lineal, según la distribución de las mismas.

2- Inclusiones no metálicas

Se consideran como tales las escorias, óxidos y otras materias que se encuentren como inclusiones de forma regular e irregular en la soldadura. Se producen durante la deposición y la solidificación del metal, ya por reacciones químicas o por inclusiones de compuestos no metálicos poco solubles en el metal fundido.

Normalmente la escoria proveniente del revestimiento es la forma mas usual de inclusión, ya que es forzada a depositarse debido a la agitación producida por el arco y, algunas veces, esta misma escoria se adelanta al arco, siendo cubierta por el metal fundido.

Son causas de inclusiones: la rápida solidificación del metal fundido, que no permite flotar las materias extrañas; el lento movimiento y el avance del electrodo; la mala eliminación de la escoria de cordones anteriores; el metal sucio, etc.

3- Falta de fusión .

Cuando el metal base o pase anterior de soldadura no se ha llevado a la temperatura de fusión adecuada antes del nuevo pase de la soldadura, puede ocurrir una falta de fusión entre la soldadura y el metal base o entre dos pasadas de soldadura.

Esta falla puede ocurrir por una velocidad de avance

muy rápida, un amperaje muy bajo, una mala preparación de las planchas, un diámetro inapropiado del electrodo o la presencia de materiales extraños en la junta.

4- Penetración imperfecta

Se produce cuando no hay una fusión completa entre el metal base de la raíz y la soldadura que se deposita. Esta falla puede ocurrir al no darse a la raíz la temperatura adecuada de fusión, ya por estrechez indebida de la junta o por emplear un electrodo mayor de lo necesario, que no permite que el efecto del arco llegue hasta la raíz.

El bajo amperaje o la excesiva velocidad de trabajo pueden también ser factores que determinen la penetración incompleta, así como también la preparación defectuosa de las piezas.

5- Socavación

Es una depresión continua a lo largo de los bordes laterales del cordón o de la última capa de soldadura, entre esta y el metal base, causada por la fusión del metal base.

Es ocasionada por excesivo amperaje, por el largo e inadecuado del arco y algunas veces por el soplo magnético.

6- Rajaduras

Una rajadura en la junta soldada es ocasionada por esfuerzos localizados, que en ciertos puntos exceden a la resistencia máxima del material, pudiendo presentarse al terminarse la soldadura o bien cuando esta está sujeta a ciertas cargas de trabajo.

Una causa de las rajaduras puede encontrarse en fallas de penetración o fusión, en la calidad del metal, en los esfuerzos ocurridos por contracción o dilatación, enfriamientos bruscos, etc. Las rajaduras pueden presentarse en el centro o transversalmente al cordón, en los crateres y algunas veces en el metal base.

7- Defectos de superficie

Superficialmente pueden presentarse huecos, irregularidades en el ancho del cordón, altura variable del mismo, salpicaduras y fallas que aunque no pueden clasificarse como defectos graves pero si nos dan una idea de la habilidad del soldador.

4.3 Métodos de inspección. Aplicación de ensayos no destructivos.

La aplicación de estas técnicas se usan durante la construcción del casco, como también en las reparaciones con el objeto de controlar el estado de las diversas juntas soldadas de la embarcación.

Estas pruebas tienen la finalidad de detectar las fallas de las juntas soldadas sin destruirlas, y alcanzar resultados inmediatos.

4.3.1 Inspección radiográfica

La radiografía industrial es el método no destructivo más empleado en la construcción de cascos; esta prueba deja un documento susceptible a ser examinado por técnicos en soldadura e inspectores de las sociedades clasificadoras. Estas pruebas se aplican a zonas de mayor responsabilidad en el barco; tales como pantoque, codaste, cubierta.

Las compañías clasificadoras exigen una inspección radiográfica en diferentes zonas del casco; por ejemplo la compañía Lloyd's Register of Shipping para embarcaciones atuneras de 169' de eslora entre perpendiculares exige:

- 4 radiografías en la costura de unión del módulo de proa
- 4 radiografías en las tracas del casco de sala de máquinas.
- 8 radiografías en las tracas del casco de bodegas
- 2 radiografías en las tracas del casco de tanques de proa.
- 6 radiografías de las tracas del codaste
- radiografías en intersecciones de costura del injerto de plancha practicado en cubierta superior en el lugar del wenche principal (entre 6-8 radiografías).

El criterio de aceptación de las soldaduras radiografiadas se hace según las normas del Instituto Internacional de Soldadura, según estas, pueden tener un cali

ficativo de 1 hasta 5, partiendo desde radiografías de soldaduras buenas hasta malas. También a cada número de calificación se le asigne un color

- Soldadura perfecta	1	negro
- " buena	2	azul
- " regular	3	verde
- " mala	4	marrón
- " muy mala	5	rojo

El criterio de aceptación o rechazo es el siguiente:

- se acepta como buena una soldadura, cuando tiene una calificación de 1 a 2 (negro o azul).

cuando tiene un calificativo de 3 (verde) hay que analizar la parte a donde corresponda esta radiografía antes de concluir con un resultado. Si esta zona está sometida a elevadas tensiones se rechaza y se reparará dicha zona si no fuera de responsabilidad se aceptará como buena la soldadura.

Se rechazarán todas las radiografías de soldaduras - que tengan calificativos de 4 a 5 (marrón y rojo) y se reparan dichas zonas.

Uno de los sistemas de evaluación de la calidad de la soldadura consiste en considerar como radiografías buenas las que tienen calificativos de 1 a 2; regulares las que tienen 3 y malas las que tienen calificativos de 4 a 5; según estos patrones el Instituto Internacional de Soldadura considera como soldadura normal una zona radiografiada cuando se obtienen:

- Soldaduras buenas 70%
- Soldaduras regulares 20%
- Soldaduras malas 10%

La persona responsable de la evaluación de las radiografías de las soldaduras indicará el tipo de falla y la calificación correspondiente, para que oportunamente se tomen las medidas correctivas y así mejorar la calidad de la soldadura.

Para una mejor evaluación de la calidad de la soldadura es necesario que el número de radiografías esté en función de la longitud soldada.

En las zonas sometidas a grandes cambios de temperatura el número de radiografías se aumenta en 10%

Las radiografías se deben tomar cuando se termine el trabajo de soldadura en la zona a evaluar, para que las muestras sean representativas.

La inspección radiográfica se hará mas rigurosa cada vez que, haya un cambio de electrodo, un cambio de métodos o cambios en los equipos.

En base a las consideraciones anteriores se concluye - que el número de radiografías no es predecible y depende del volumen de trabajo, de la calidad de ejecución - observada o de la realización de cambios en métodos, materiales de aporte o equipos de soldadura.

4.3.2. Inspección por ultrasonido

Con este método de inspección se obtienen resultados inmediatos, estando en ventaja con respecto a la inspección radiográfica. Para este método de inspección se requiere de personal calificado en el manejo de equipos de ultrasonido y en la interpretación de los oscilogramas obtenidos en la pantalla del equipo.

Entre otras aplicaciones, el método por ultrasonido en un astillero se usa: para la inspección de la soldadura en general, para la inspección de piezas fundidas, para la calibración de cascos y demás elementos estructurales de un barco en construcción o reparación.

Este método puede reemplazar parcial o totalmente a la inspección radiográfica, pero tiene la desventaja de que no deja ningún documento para un análisis posterior.

Las exigencias principales para la aceptación de este método por parte de las compañías clasificadoras son:

Cada zona de inspección no será menor que 1250 mm
- El número de zonas a inspeccionar estará dado por la misma expresión que determina el número de radiografías.

- las zonas de inspección son las mismas que las indicadas en el método radiográfico.

El criterio de aceptación o rechazo se establece: calibrando el equipo sobre una unión soldada especial (patrón); que es del mismo material y espesor del que se va a inspeccionar; además este patrón tiene fallas hechas intencionalmente para lograr la calibración del equipo. Cuando el haz ultrasonico del palpador incida sobre la falla del patrón, se debe poner el equipo a una sensibilidad que permita obtener un eco en el oscilograma de $3/5$ de la altura de la pantalla. Una vez calibrado el equipo se procede a la inspección de la junta soldada teniendo en cuenta el siguiente criterio:

Si en el oscilograma se levantan ecos de $3/5$ ó mas de altura, se acepta la soldadura.

- Si en el oscilograma se levantan ecos entre $1/5$ y $3/5$ de altura, se rechaza y se repara la soldadura.

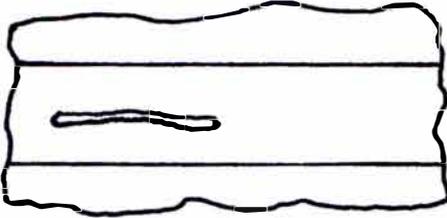
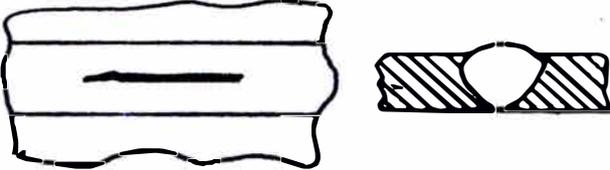
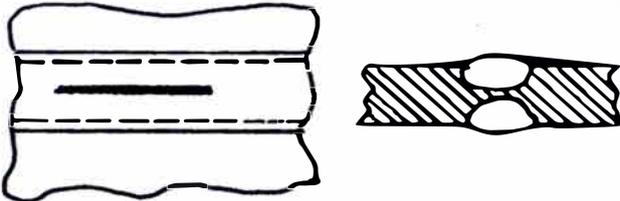
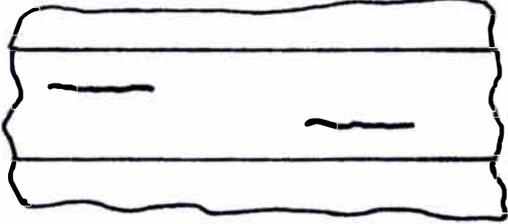
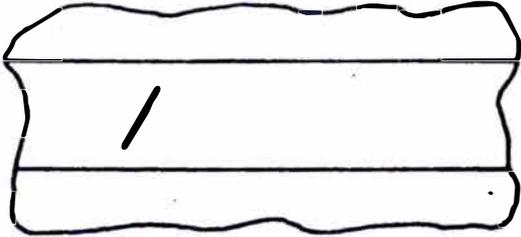
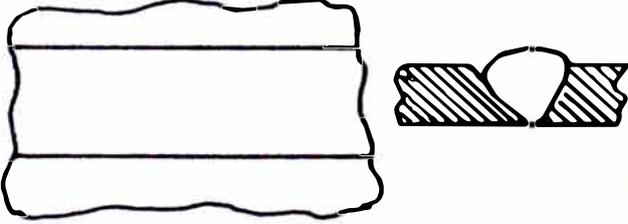
También el ultrasonido sirve para la calibración de planchas de las embarcaciones, previa a la reparación, principalmente para las planchas del casco y cubiertas.

Para obtener resultados satisfactorios de una ca-

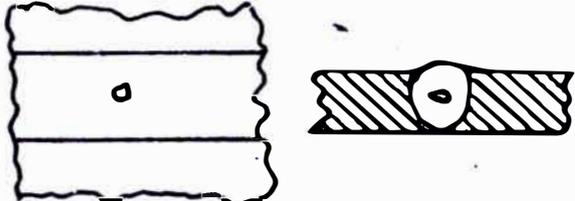
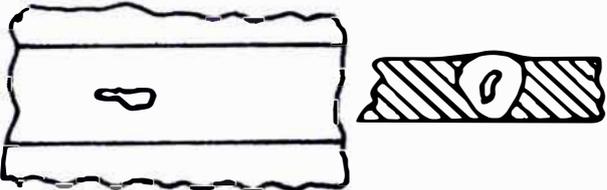
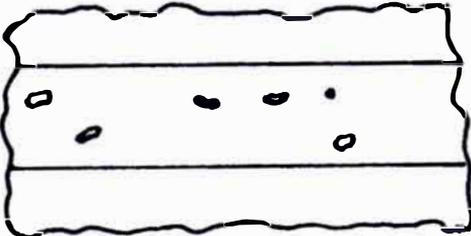
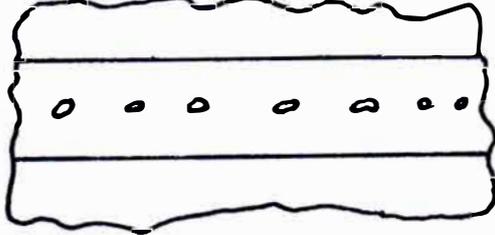
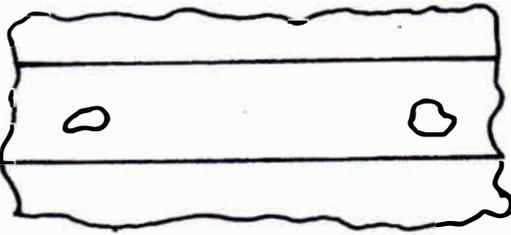
libración se debe preparar las planchas de modo que presenten una superficie lisa en los puntos de calibración. Si la plancha presenta picaduras se debe esmerilar esta hasta que las picaduras desaparezcan.

El número de puntos que se pueden tomar en una plancha, depende del tamaño de la misma, pero no debe ser menor de dos. Cuando hay una diferencia mayor que el 20% entre una y otra lectura, se calibrará mas puntos alrededor del menor con la finalidad de demarcar la zona defectuosa.

Según las compañías clasificadoras el mayor desgaste permisible está entre 20 - 25% del espesor inicial, cuando el desgaste sea superior a este valor, se tendrá que cambiar la plancha o en su defecto se colocará una sobreplancha.

SIMBOLO	ESQUEMA	NOMBRE
Bb		INCRUSTACION DE ESCORIA LINEAL
C		FALTA DE FUSION
D		FALTA DE PENETRACION
Eo		GRIETA LONGITUDINAL
Eb		GRIETA TRANSVERSAL
F		SOCAVACION

TIPO DE IRREGULARIDADES INTERNAS EN SOLDADURAS

SIMBOLO	ESQUEMA	NOMBRE
Aa		PORO
Ab		POROSIDAD TUBULAR
An		POROSIDAD DESPARRAMADA
Ak		POROSIDAD LINEAL
Da		INCRUSTACION DE ESCORIA

CONCLUSIONES

- Las Sociedades Clasificadoras clasifican las embarcaciones de acuerdo a las calificaciones obtenidas,atendiendo a la calidad del material,de las instalaciones de los astilleros y del personal que interviene en la construcción.
- El tipo de acero naval certificado posee buenas características de elasticidad,soldabilidad y resistencia a los esfuerzos.
- El cálculo de los módulos resistentes se hacen para los diferentes elementos estructurales,empleando fórmulas y coeficientes experimentales ampliamente comprobados por la experiencia de ingenieros y técnicos navales.
- El principio de diseño del casco se basa en las uniones de los diferentes elementos estructurales del mismo para conformar una viga flotante,la cual durante una travesía rigurosa está sometida a dos posiciones altamente desfavorables. La primera en quebranto ó "HOGGING",cuando el casco está sobre la cresta de una ola,en la cual el fondo del casco está sometido a compresión y la cubierta del casco a tracción;la segunda posición en arrufo ó "SAGGING",cuando el casco está entre la cresta de dos olas,en la cual el fondo del casco está sometido a tracción y la cubierta a compresión ; por lo que el casco está diseñado para tolerar dichos esfuerzos de fatiga.
- Tambien en el diseño de la embarcación se debe tener en cuenta el esfuerzo contra el oleaje que soporta la proa de la embarcación en una travesía rigurosa,por lo que esta zona se diseña adecuadamente reforzada.
- Otro factor a tener presente es la vibración que produce el motor principal y la propulsión para diseñar la cimentación del motor y

los descansos de la propulsión.

- La cuaderna de la parte media del casco generalmente se conoce con el nombre de cuaderna maestra, la cual es la costilla de mayor módulo resistente.
- El casco posee una protección anódica contra la corrosión, estos ánodos de zinc tienen la función de sacrificio en beneficio del casco que es de acero, cuando se establecen las corrientes galvánicas debido a las condiciones ambientales y a la diferencia de materiales entre el casco y el ánodo.
- La construcción de un barco es un trabajo planificado, racionalizado y debidamente controlado. Es necesario por eso contar con elementos auxiliares que permitan controlar el proceso de construcción efectuar las inspecciones cuando sean pertinentes, controlar los insumos o materiales u además tener una lista de clasificación de defectos que se presentan durante la construcción y sus formas de solución.
- El tipo de soldadura que se aplica en la industria naval es el electrodo celulósico para soldar acero dulce de penetración profunda (clase AWS E-6011) y el electrodo rutílico para soldar acero dulce de penetración mediana (clase AWS E-6013), ambos son para toda posición y para corriente alterna ó continua, el primero es de polaridad invertida y el segundo de polaridad directa.
Sus características físicas son: resistencia a la tracción entre 45-54 Kg/mm², límite de fluencia entre 39-49 Kg/mm² y una elongación en 5 cm entre 22-30%.
- Tan importante como depositar el electrodo de aporte es preparar la soldadura adecuadamente y tomar las precauciones necesarias para evitar deformaciones debido al calor generado cuando se aporta la soldadura.
- Se debe elegir el espesor del cordón de soldadura en base a la resistencia de la soldadura y al espesor de la plancha a soldar.

- La concavidad ó convexidad del cordón de soldadura afecta la distribución de esfuerzos cuando se aplica una carga.
- Hay diversas formas de controlar la deformación que ocasionan la aplicación de la soldadura y que hay que tener presente. También los procedimientos para eliminar tensiones producidas - por el enfriamiento rápido de la soldadura.
- Para evitar la porosidad se debe controlar la limpieza, la corriente eléctrica, la distancia del arco y usar electrodos en buen estado.
- Para evitar las inclusiones no metálica tales como escorias, exidos, se debe de mover adecuadamente el electrodos y observar si la escoria se deposita y es cubierta por el metal fundido. Una de las causas principales de este defecte es la rápida selificación del metal fundido, por lo que hay que evitar enfriamiento - rápido de la soldadura y así permitir flotar la escoria.
- La falta de fusión se controla principalmente seleccionando adecuadamente el valor de la corriente y evitando un avance muy rápido del electrodo, preparando bien las juntas y controlando la ausencia de materias extrañas.
- La penetración imperfecta se controla escogiendo la corriente adecuada, la distancia debida entre juntas y el diámetro correcto del electrodo.
- La socavación se controla principalmente evitando alto amperaje - causante de la fusión del metal adyacente al cordón de soldadura, y evitando de producir el sople magnético durante la aplicación de la soldadura.
- Las rajaduras se controlan evitando soldar con cargas excesivas y controlando la dilatación y contracción bruscas.
- Para una mejor estimación de la calidad de la soldadura es necesario que el número de radiografías esté en función de la lengitud - soldada.

- Es necesario tomar radiograficas en juntas de manparos de bodegas cuando esta son refrigeradas, porque estas, están sometidas a - grandes cambios de temperatura.
- No solo debe radiografiarse las soldaduras del casco, sine las partes prefabricadas en los talleres, estas se harán en muestras tomadas aleatoriamente.
- Los equipos de ultrasonido son delicados y deben de ser cuidadosamente manejados, protegidos del calor excesivo cuando se hacen - las mediciones ó calibraciones, para de esta manera obtener las - mediciones de acuerdo a los patrones de calibración.
- La calibración de planchas del casco con el método de ultrasonido se hace en forma rápida y confiable.
- Para que las mediciones se tomen correctamente con el equipo del ultrasonido, las zonas o puntos a medir deben estar esmeriladas.

BIBLIOGRAFIA

- Normas de la Compañía Clasificadora American Bureau of Shipping.
- Elementos de Arquitectura Naval de Antonio Mandelli (Ed. Alsina 1960).
- Manual de Soldadura de Electrodo Cerlikom.
- Boletines Técnicos de Soldadura de Electrodo Cerlikom.
- Trabajos de los Metales; Ensayo, Protección y Soldadura de Ricardo García-Pelayo Alonso (Ed. Aguilar 1960).