



# Construcción Naval en Uruguay: Seguimiento de un modelo de gestión 2013



Construcción Naval en Uruguay:  
Seguimiento de un modelo de gestión  
2013

### **Autor**

Bach. Paula La Paz

### **Colaborador**

Bach. Marcelo Álvarez Leal

### **Coordinación técnica**

Dr. Ing. Jorge Freiría  
Director de proyecto, IMFIA

### **Fundación Julio Ricaldoni – Facultad de Ingeniería**

#### **Autoridades**

Dr. Ing. Héctor Cancela Bosi  
Decano Facultad de Ingeniería – Presidente Fundación Ricaldoni  
Ing. Julieta López  
Directora Ejecutiva Fundación Ricaldoni

#### **Corrección técnica**

Dr. Ing. Jorge Freiría

#### **Corrección de estilo**

Stella Forner

#### **Diseño de tapa**

Quasar Creativos

#### **Diseño de interior**

Quasar Creativos

# Índice

---

Prólogo · Fundación Julio Ricaldoni .....	7
Prólogo · Facultad de ingeniería .....	9
Introducción .....	11
1. Definiciones .....	12
2. Construcción Naval .....	16
3. Inicio de proceso de construcción .....	19
4. Desarrollo de la obra .....	22
5. Soldadura .....	30
6. Alistamiento .....	41
7. Control de calidad .....	46
8. Botadura .....	54







# Prólogo ·

## Fundación Julio Ricaldoni

---

En el marco del retorno de una Industria Naval prácticamente desaparecida a la actividad, la Dirección Nacional de Artesanías, Pequeñas y Medianas Empresas (Dinapyme) del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, iniciaron un programa de Mejora de la Calidad para su aplicación directa en esta área.

A fines de 2012 el MIEM y la Fundación Julio Ricaldoni (FJR) de la Facultad de Ingeniería, firmaron un convenio que supuso la transferencia tecnológica desde una empresa con capitales mayoritariamente extranjeros, que utiliza tecnología de punta, hacia el conjunto de las pymes nacionales del área industrial naval, con la participación activa de la academia. Su inclusión en este proceso respondió fundamentalmente a la necesidad de viabilizar la transferencia tecnológica y profundizar el conocimiento en un proyecto industrial naval innovador para nuestro país. Se buscó además capitalizar dicha transferencia en la matriz productiva uruguaya, para que esos conocimientos pudieran ser compartidos con otras empresas del sector, estimulando así la mejora de los procesos de producción.

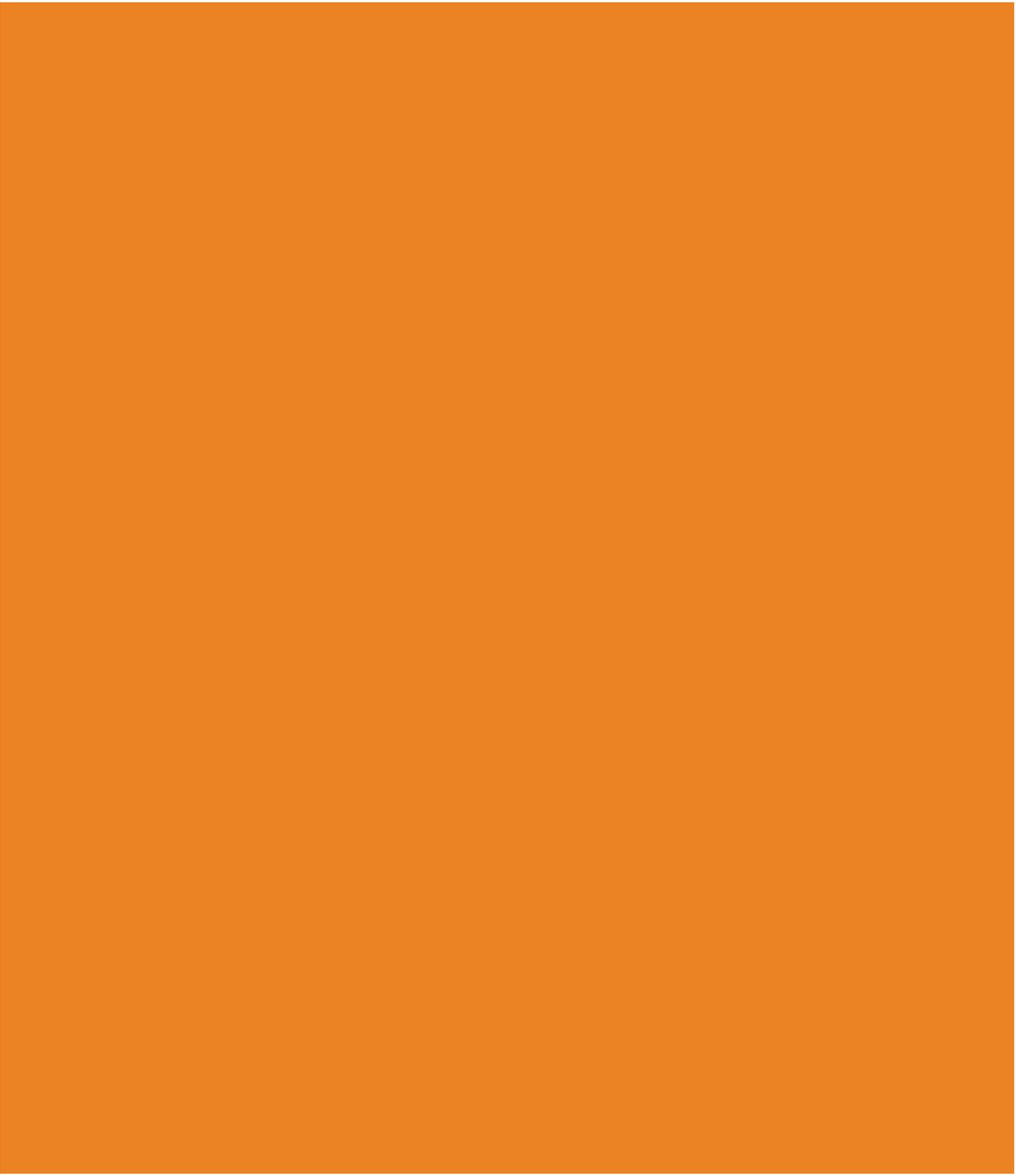
Por su parte, la participación de la FJR tuvo como principal objetivo la gestión y seguimiento del proyecto de transferencia que materializa el convenio. Sin embargo, el principal aporte realizado por la Fundación se encuentra en las etapas iniciales de articulación, facilitación y formulación del proyecto para viabilizar su desarrollo, así como en la promoción y divulgación de estas acciones en materia de apoyo al desarrollo productivo.

Este proyecto se enmarca en uno de los ejes estratégicos de la Fundación: el apoyo al desarrollo científico y tecnológico del país. En particular en lo referente a vincular y promover el acceso a las capacidades de I+D+i de la Facultad de Ingeniería en el sector productivo y en la promoción de la autonomía tecnológica de las organizaciones nacionales.

En una fase inicial, la puesta en marcha de este proyecto implicó la participación de dos estudiantes de ingeniería naval en el Astillero de la Armada del Servicio de Construcciones y Reparaciones de la Armada (SCRA) durante el proceso de construcción de una de las unidades construidas para el Proyecto Montes del Plata.

Como segunda etapa del proyecto, uno de los estudiantes trabajó directamente en las instalaciones de una pyme nacional, y la otra estudiante preparó el material que tienen en sus manos, junto al responsable técnico, Dr. Ing. Jorge Freiría. El objetivo de este trabajo fue registrar los conocimientos sistematizados durante la pasantía, y que éstos conformen una base de datos de libre acceso para el resto de las empresas uruguayas.

Ing. Julieta López  
Directora Ejecutiva  
Fundación Ricaldoni



# Prólogo ·

## Facultad de Ingeniería

---

No es necesario abundar en el ascendente recorrido de la Industria Naval en Uruguay a partir de las primeras barcasas construidas para la actual UPM en 2004, hasta llegar a estas últimas de Montes del Plata casi diez años después.

Donde sí es necesario poner el foco de atención, es en los procesos de transformación necesarios para hacer sostenible una demanda de construcción de más de 1000 toneladas anuales de acero procesado, habiendo partido de cero, con una perspectiva aún mayor cuando comience a funcionar el Acuerdo de Cooperación con Brasil para el suministro de bloques en régimen de Componente Nacional, o cuando las demandas de la industria offshore requieran una importante flota de embarcaciones auxiliares especializadas hoy inexistente.

Esos procesos de transformación a que hacíamos referencia, son fundamentalmente dos: la rápida incorporación de la Industria Naval a un nuevo estado del arte, con nuevas herramientas y procedimientos modernos y eficientes, y el aumento de los niveles de formación, tanto en calidad como en cantidad.

Con relación a la transformación de la Industria Naval, algunos pasos fueron dados al inicio del proceso, con la incorporación de tecnologías que permiten una mayor eficiencia en las labores, dentro del marco de los procesos de gestión de cada una de las empresas. Nuevas tecnologías y procedimientos han sido introducidos en esta última etapa por empresas internacionales que tienen un mayor desarrollo en el tiempo, con experiencia en el uso de tecnologías de última generación; se hace necesario que esa experiencia pueda ser recogida y difundida, no para copiar literalmente, sino para conocer los paradigmas actuales y transitar en ese mismo sentido.

Por otro lado, mirando desde el ángulo de la Academia, las curvas de oferta y demanda se han cruzado, nos hemos encontrado en poco tiempo con un déficit que necesariamente debemos apuntar a resolver en la forma más rápida posible, en el número de profesionales que debemos formar, pero también en el nivel que esos mismos paradigmas requieren.

Este programa genera acciones en ambas direcciones. Permite poner en conocimiento de la industria local algunos aspectos tecnológicos y de procedimiento que pueden ser novedosos, y a la vez acerca la formación académica a la realidad que les espera a los futuros profesionales, lo cual genera una fuerte vinculación con el área y su promoción dentro del colectivo, como lo demuestra la actitud de los estudiantes que participaron de la iniciativa y su efecto multiplicador identificado en el aumento de la matrícula.

Muchas cosas quedan por hacer. Los nuevos desafíos impondrán crecientes exigencias. Tenemos el pleno convencimiento que el camino trazado permitirá ayudar a resolverlas y proyectar hacia adelante el auspicioso futuro de la Industria Naval.

Dr. Jorge Freiria  
Ingeniero Naval  
Facultad de Ingeniería



# Introducción

---

El presente informe es sobre el procedimiento de construcción de una barcaza palera destinada al transporte de cargas secas, proyectada para operar en servicio fluvial en el Río Uruguay y Río de la Plata, desde el Puerto de M'Bopicuá hasta Punta Pereira.

La empresa Galictio Tiferey construyó tres barcasas idénticas para la empresa Montes del Plata; el presente informe se basará específicamente en la construcción de la tercera de éstas, bautizada con el nombre de Playa de las Cañas.

La barcaza tipo posee una sola bodega corrida sin tapas de escotilla, con soportes laterales para tener la posibilidad de transportar rolos de madera por encima de la cubierta y del nivel de la brazola.

Dispone de dos mamparos longitudinales estancos que conforman los tanques laterales (cofferdams) que junto con el doble fondo completan el doble casco.

El casco, de acero naval A36, es de construcción enteramente soldada, de estructura longitudinal en el doble fondo, en el forro exterior, mamparos longitudinales, cubiertas laterales y piques de proa y popa.

## Cada una de las tres barcasas tienen las siguientes medidas principales:

Eslora total	90,0 m
Manga	16,6 m
Puntal	5,7 m
Calado máximo	4,7 m
Francobordo mínimo	1,0 m
Desplazamiento	5.000 t
Altura de interior del doble fondo	700 mm
Clara de cuadernas	600 mm
Dimensiones de bodega	69,6 x 14,0 x 7,8 m
Volumen de bodega	7566 m <sup>3</sup>
Peso estimado de la barcaza vacía	1,173 t

# 1. Definiciones

A los efectos del mejor entendimiento de este material, se detallan algunas definiciones relacionadas con la construcción naval.

## 1.1. Barcaza

Se define barcaza a una embarcación de fondo plano, empleada para el transporte fluvial o marítimo de mercancías, sin propulsión propia, por lo que debe ser propulsada por otra embarcación, en este caso por un empujador.

La barcaza tiene parte del casco sumergido, lo que se llama obra viva o carena; a la parte que emerge se le denomina obra muerta.

## 1.2. Dimensiones principales

Los buques tienen un plano de simetría longitudinal llamado crujía, que es uno de los planos básicos de referencia en la representación de la superficie de diseño.

Una representación de la sección media de un buque en general puede ser el siguiente:

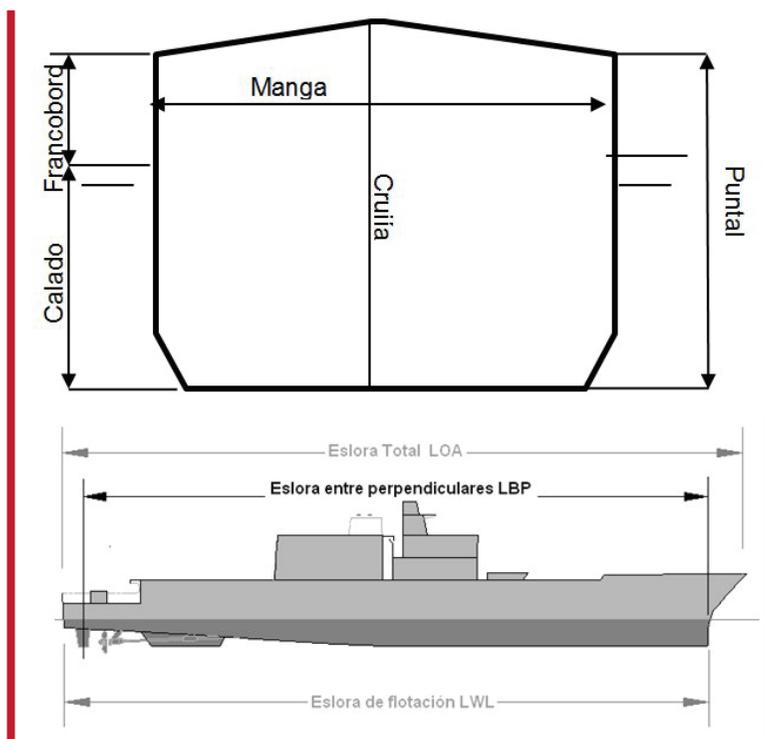


Fig. 1. Secciones transversal y longitudinal de un buque.

El corte longitudinal de un buque muestra la eslora, que en términos generales es la longitud del buque. Y se definen varias esloras, entre ellas: eslora máxima (medida longitudinal máxima entre la proa y la popa); eslora entre perpendiculares (distancia entre la perpendicular de popa, que se mide generalmente desde la mecha del timón); y perpendicular de popa (intersección entre la línea de flotación máxima y la roda).

En el sentido transversal las dimensiones preponderantes son la manga o ancho del casco, y el puntal o distancia vertical hasta la cubierta.

### 1.3. Francobordo

El Francobordo es la distancia entre la superficie del agua y la cubierta principal en la sección media del buque. Esta marca está ligada a la seguridad del buque, dependiendo de condiciones marítimas. Es por esto que para los buques mercantes debe establecerse un francobordo mínimo obligatorio para evitar que los armadores los carguen más de lo razonable, lo cual disminuye su seguridad.

### 1.4. Marcas de francobordo

La marca de Plimsoll o marca de francobordo se debe llevar en ambas bandas del buque y consiste en un círculo cruzado por un diámetro horizontal que indica el francobordo mínimo permitido.

Como las condiciones de navegación cambian dependiendo de los diferentes mares y un francobordo algo mayor o algo menor, se agrega una escala, llamada francobordos estacionales. Las marcas estacionales son: verano (V), invierno (I), invierno en el Atlántico Norte (IAN), trópico (T), dulce (D), y dulce en el trópico (DT).

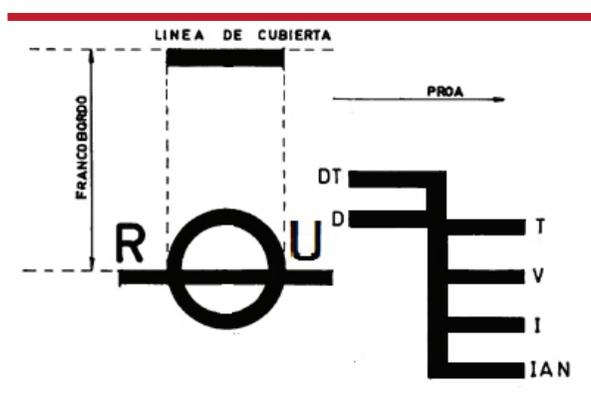


Fig. 2. Marca de Plimsoll.

Entonces el buque debe respetar rigurosamente la marca correspondiente al mar y época del año en la que navega, aplicando las prescripciones del Reglamento Internacional de Francobordo. La autoridad competente en nuestro país es la Prefectura Nacional, que se encarga de verificar el cumplimiento de esto.

Además de la marca de francobordo, los buques deben llevar a proa y a popa las escalas de calado, graduadas generalmente en pies a una banda y en decímetros en la otra.

## 1.5. Sociedades de Clasificación

Entre los siglos XVII y XVIII nacieron las Sociedades de Clasificación, debido a las necesidades del mercado asegurador marítimo que no tenía un registro de los buques ni una estadística de hundimientos, únicamente se basaban en entrevistas personales con capitanes y tripulantes sobre las cualidades náuticas de los barcos que ellos conocían.

En el año 1834 se estableció la primera Sociedad de Clasificación: Lloyd's Register of Shipping. En su consejo de administración se incluían grupos comerciantes, armadores y aseguradores, representando de esta manera al conjunto del sector del transporte marítimo.

En sus comienzos, su cometido era catalogar a los buques existentes, por lo que en el siglo XIX se comenzaron a establecer criterios para la forma de construcción de un buque y su mantenimiento para optimizar su estado de navegabilidad.

Debido a tragedias en el sector naval ocurridas en Francia en 1821, que originaron la quiebra de muchas compañías aseguradoras, se creó en 1828 la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas. Su objetivo principal era informar a los aseguradores las cualidades y los defectos de los barcos, para que pudieran efectuar una política adecuada de asunción de riesgos.

Por otro lado, en Estados Unidos en 1862 se creó la Sociedad de Clasificación ABS (American Bureau of Shipping), originariamente responsable de organizar los exámenes y emitir los diplomas a capitanes y oficiales de la flota mercante Americana. Posteriormente su papel se extendió para incluir inspecciones y registros de buques mercantes.

Las Sociedades de Clasificación en esa época tenían un gran éxito debido a que ofrecían beneficios económicos sustanciales para el mercado asegurador marítimo porque permitían un análisis más preciso del riesgo a asumir.

Las Sociedades de Clasificación fueron extendiendo gradualmente sus funciones hasta alcanzar la Certificación. Se instauró entonces el sistema de emisión de certificados y las reglas para el mantenimiento de la clase.

Estos certificados son los requeridos por el sector marítimo para verificar la situación actual del buque en sus relaciones comerciales.

En 1968 se creó la Asociación Internacional de las Sociedades de Clasificación (IACS) para establecer una comunicación constructiva con el sector asegurador que mejore la relación entre ambos, con el objetivo de conseguir mayor uniformidad entre las reglas desarrolladas por sus miembros, así como definir un grupo representativo que pudiera interactuar con otras organizaciones legisladoras, especialmente con la Organización Marítima Internacional (OMI).

Las Sociedades de Clasificación en la actualidad compiten para ofrecer sus servicios a los armadores, basándose en las cualificaciones de sus reglas, su capacidad para ponerlas en

práctica en forma eficaz y un buen criterio de inspección. Ofrecen servicios que tienen dos aspectos fundamentales: en primer lugar, la actualización permanente de las reglas, mostrando grandes cambios y avances en tecnología marítima. En segundo lugar, se basa en la aplicación práctica de las reglas de construcción y transporte marítimo, en tres fases: la primera está basada en la remisión de planos, para su inspección y aprobación; inspecciones durante la construcción, comprobando si los procedimientos de construcción están basados en los planos ya aprobados; y por último inspecciones periódicas para el mantenimiento de la clase.

Las Sociedades de Clasificación son organizaciones no gubernamentales o grupos de profesionales sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es promover la seguridad de la vida humana y propiedades, así como la protección del entorno natural marino.

Esto se consigue por la responsabilidad de las Sociedades de Clasificación para verificar que las embarcaciones y estructuras marinas cumplen con las reglas que la Sociedad ha establecido para el diseño y construcción, realizando un control periódico.

### Un proceso de clasificación incluye:

- El desarrollo de normas (reglas).
- Revisión del plan técnico y análisis de diseño.
- Visitas durante la construcción.
- Inspección de los materiales, equipos y maquinaria a utilizar.
- Aceptación por parte del Comité de Clasificación.
- Visitas periódicas posteriores para el mantenimiento de la clase.
- Encuesta de daños, reparaciones y modificaciones.

## 2. Construcción Naval

---

### 2.1. Materiales

Inicialmente, los buques eran construidos en su totalidad con madera, pero hacia 1830 comenzaron a construirse los primeros de ultramar en hierro, debido a que se tenía la necesidad de embarcaciones de mayor porte; en los buques construidos en madera, las uniones no soportaban los grandes esfuerzos de tracción y compresión.

Primero se utilizaron cuadernas y estructuras de hierro, pero paulatinamente este metal fue aumentando su participación: hacia 1850, el cincuenta por ciento de los cascos se construían en hierro.

Por 1880 se introdujo el acero al carbono para reemplazar al hierro y a la madera, y hacia 1930 casi cien por ciento del tonelaje mundial se construía en ese material.

### 2.2. Estructura naval

La estructura de un buque es compleja, ya que se debe tener en cuenta a la hora de su diseño los esfuerzos del mar, que son muy difíciles de estimar, y de cargas conocidas (peso de buque, carga, etcétera).

El conjunto de ambas fuerzas no están distribuidas uniformemente a lo largo de la eslora, lo que hace más difícil estudiar su comportamiento porque someten al buque a momentos flectores y fuerzas cortantes, variables en el tiempo y en cada sección transversal del casco. Esto indica que es necesario construir el buque con la rigidez y resistencia necesarias para soportar estos esfuerzos dinámicos.

Pero también se debe tener en cuenta que el peso del buque debe ser el más bajo posible. De esta forma, para unas dimensiones principales dadas se trata de que el peso de acero sea el menor posible, para que la carga a transportar sea la mayor posible. Una distribución óptima del material es una cuestión de máxima importancia en el diseño de los buques, porque además de aumentar la carga a transportar, disminuye los precios de material y mano de obra en su construcción.

La estructura de un buque en su forma general está constituida por amplias planchas reforzadas con una variedad de perfiles, quedando plasmada mediante una serie de planos básicos: cuaderna maestra, desarrollo del forro, perfil longitudinal, cubiertas y mamparos.

## Los pasos para la construcción de la cuaderna maestra en la fase de proyecto de un buque son:

- Establecer las tensiones admisibles (de acuerdo al material a usar), Estimar el momento flector máximo, con lo cual se puede determinar la manga, puntal y calado en la cuaderna maestra.
- Determinar el tipo de estructura (longitudinal, transversal, mixta), que dependerá del tipo de buque y sus dimensiones.
- Utilizando las reglas de alguna sociedad de clasificación, determinar los escantillones de todos los elementos que componen la cuaderna maestra.
- Por último hacer una revisión numérica para comprobar si con las estimaciones y cálculos realizados se obtienen menores o iguales tensiones admisibles; en caso de que esto no se cumpla se deben volver a realizar las estimaciones.

## En resumen, se debe hacer un diseño óptimo del casco del buque para que pueda cumplir con sus funciones, lo que es equivalente a establecer que:

- Cada miembro estructural debe tener una perfecta adaptación a su trabajo.
- Se debe tener el mínimo peso estructural para una resistencia especificada.
- Se debe contar con mano de obra calificada.
- Se debe asegurar accesibilidad a todos los miembros estructurales para inspecciones.
- Asegurar dimensiones mínimas de los miembros estructurales en las zonas de carga.
- Mantener una apariencia exterior agradable del casco y todos sus elementos estructurales.

Como fue dicho, las planchas de forro de un buque son soportadas por una red de vigas o perfiles que se disponen formando ángulos rectos entre sí, y que a su vez son soportados por "diafragmas rígidos" (mamparos, cubierta, fondo). Formando en su conjunto "unidades transversales" y "ensambles de casco".

Para el diseño del buque se deben tomar las medidas de todos los elementos estructurales y las distancias entre sí, para soportar los esfuerzos a los que está sometido.

A su vez se debe seleccionar el sistema de cuadernas transversales, longitudinales o mixtas. Si los paneles de planchas formados por vigas interceptantes longitudinales y transversales están dispuestos de modo tal que el lado largo está en la dirección proa-popa, se dice que el ensamble del casco está construido bajo el sistema longitudinal, en caso contrario está construido bajo el sistema transversal. Cuando las cuadernas corren en ambas direcciones y son igualmente espaciadas, se dice que el ensamble de casco está en el sistema mixto o celular.

La principal ventaja del sistema longitudinal es su habilidad para suministrar la rigidez requerida de las planchas de cubierta y fondo sin aumentar su peso; lo que equivale a decir que el sistema longitudinal da la misma rigidez que el sistema transversal, pero con menor espesor del material, produciendo economía de peso.

Esto no significa que siempre sea conveniente el tipo de sistema longitudinal; desde el punto de vista de las facilidades de erección de algunos buques, son más económicos cuando se construyen con sistema transversal y otras veces pasa lo contrario. Esto depende del tonelaje, números de cubiertas y mamparos, así como de la forma en la cual el buque es ensamblado en secciones prefabricadas.

La barcaza Playa de las Cañas y sus dos gemelas están construidas con el sistema longitudinal en el cuerpo cilíndrico (doble fondo, forro exterior, mamparos longitudinales, cubiertas laterales) y piques de proa y popa; y con el sistema transversal en las salas de máquinas. Esto fue posible debido a consideraciones de resistencia local o mayor facilidad de construcción.

### **2.3. Etapa previa a la construcción**

En la construcción naval, previo a la construcción, se tienen dos etapas bien definidas: ingeniería básica e ingeniería de detalle.

### **2.4. Ingeniería básica**

La ingeniería básica es el conjunto de documentos que definen inequívocamente el proyecto y el coste más favorable. Esta etapa del proyecto tiene por objeto definir sus líneas básicas, de manera que se suministre a la empresa encargada de la construcción la información necesaria para tomar la decisión de llevar adelante el proyecto.

Incluye los cálculos de resistencia, estabilidad, planos de línea, planos de arreglo general, manual de carga, planilla de porte bruto, plano de disposiciones general de tanques y sus capacidad, diseño, plan de seguridad y medioambiente, y estudio de riesgos.

### **2.5. Ingeniería de detalle**

La ingeniería de detalle es la fase en la que quedan definidos todos y cada uno de los subsistemas, componentes y partes que integran el proyecto, de tal manera que los documentos entregados son suficientes para llevar a cabo la construcción.

Los objetivos de esta fase son: suministrar toda la información y datos técnicos, detalles constructivos y condiciones en las que se debe hacer la construcción de la barcaza.

También incluye la definición, el cálculo y el dimensionado de las partes de cada componente, las consideraciones de que los elementos forman parte de un conjunto y de que éste debe ser óptimo, el estudio y cálculo de los elementos de unión y piezas auxiliares, de control y de montaje. También incluye el estudio del ensamble de los componentes para el armado de sub bloques y bloques optimizando el espacio disponible.

# 3. Inicio del proceso de construcción

---

## 3.1. Selección del lugar de construcción

Una vez que se tiene la ingeniería básica se debe seleccionar el lugar para y hacer una evaluación de los medios disponibles (puentes grúa, naves de construcción, gradas) para la construcción.

En el presente caso, ese lugar es el Astillero de la Armada (Punta de Lobos). Las naves tienen una superficie de trabajo de 806 metros cuadrados (nave 1) y de 666,5 metros cuadrados (nave 2).

La empresa cuenta con cinco puentes grúas, dos de cuarenta toneladas, y tres de dieciséis toneladas máximas de carga bruta.

En función de estos elementos se hace la evaluación para la planificación de construcción de la barcaza. Dependiendo de las grúas disponibles en cada lugar se sabe cuánto peso se puede mover; según el espacio disponible se puede armar las gradas de construcción; el tamaño de las naves da la cantidad máxima de sub bloques a construir en cada uno, cómo puede ser el flujo de material y dónde acopiarlo.

Entonces, teniendo en cuenta los medios disponibles, se está en condiciones de planificar las líneas de producción, optimizando el lugar disponible. Es por esto que la barcaza se dividió en cuatro bloques en proa y cuatro en popa, veinticuatro bloques en el cuerpo cilíndrico y cada bloque en dos sub bloques y ellos en previas de construcción.

También en esta etapa se definen los procesos de soldadura, los metros de soldadura a realizar y la cantidad de insumos que se necesitarán.

## 3.2. Plan de fabricación

Antes de comenzar la obra se realiza un plan de producción, que es un “calendario de producción”, con el objetivo de organizar el trabajo desde el comienzo al fin de la construcción, de forma de evitar sobrecargas o tener muy poca carga de los medios de producción. Así se utiliza la capacidad de producción eficientemente.

### 3.3. Gestión de calidad

En esta etapa del proyecto se realiza el plan de calidad de la obra, que incluye:

- Plan de seguridad y salud.
- Certificados ISO (muestra los Certificados ISO que posee la empresa, dados por Bureau Veritas).
- Organigrama de la empresa.
- Perfiles de los puestos de trabajo.
- Plan de fabricación.
- Objetivos generales de calidad.
- Procedimientos generales.
- Procedimientos funcionales.
- Procedimientos de soldadura.
- Planos contractuales.
- Criterios de inspección.

En el Plan de Calidad, en el anexo IV, se da el perfil y las funciones de los trabajadores asignados a cada tarea:

#### Jefe de producción

Es el encargado de planificar la producción y tiempos de construcción, así como llevar registro de los avances de obras e informes de planificación o modificación del programa.

Es el responsable de la contratación del personal necesario para la obra, así como de llevar la carga de trabajo y el número de personal destinado a cada tarea. Planificar, desarrollar, supervisar y controlar, con la ayuda de sus mandos, la obra encomendada.

Establecer y mantener la coordinación y enlaces necesarios con el gestor del contrato de la empresa Montes del Plata.

#### Responsable de calidad

Es el responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos y estándares de calidad, procedimientos e instrucción de trabajo aplicable a los trabajos en el astillero, mediante el control de los procesos, con ayuda de los mandos encomendados.

Es el responsable de inspeccionar y verificar los trabajos, asegurando que su calidad y acabado cumplan todos los requisitos del programa establecido, debiendo informar a la dirección sobre su calidad, haciendo inspecciones durante y después de terminados los trabajos.

Debe controlar y gestionar la realización de homologaciones del personal, así como presentar un listado del personal homologado.

## Responsable de prevención de riesgos laborales

Es responsable de gestionar, administrar, implementar y mejorar el Sistema de Prevención de Riesgos Laborales y especialmente de promover la cultura de la prevención de la obra, dando charlas de capacitación al personal de distintos tipos de trabajos. Se encarga de promover, desarrollar y vigilar la aplicación de la seguridad en los distintos centros de trabajos con ayuda del personal encomendado a la seguridad.

### Encargado

Depende del jefe de producción, entre sus funciones y responsabilidades se encuentra: planificar, desarrollar, supervisar y controlar con la ayuda de sus correspondientes mandos los trabajos a él encargados. Debe velar por el cumplimiento de costes, tiempos de trabajo así como la encomendación de los trabajos a personal calificado y su posterior valoración de rendimiento a petición de sus superiores.

### Jefe de equipo

Depende del encargado y entre sus funciones y responsabilidades se encuentran: supervisar y controlar un equipo de fabricación o montaje compuesto por varios operarios; organizar y distribuir el trabajo entre los miembros de su equipo, participando directamente en su ejecución. El jefe de producción debe garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad, procedimientos e instrucciones de trabajo aplicables.

### Profesionales de oficio de 1a y 2a

Dependen del jefe de equipo o encargado, realizan tareas de fabricación o montaje para las que se requieren conocimientos especializados de calderería, tubería, soldadura, ajuste y electricidad, entre otros. Realizan tareas con alto grado de dependencia de una forma manual, mediante el manejo de herramientas, utillaje y máquinas, garantizando la calidad de los trabajos encomendados.

El profesional de segunda debe tener la misma formación que el de primera, realizando trabajos de mediana complejidad.

### Profesionales de 3a y ayudantes

Realizan las tareas de fabricación o montaje de escasa complejidad para las que se requiere un nivel mínimo de conocimientos y experiencia.

En el anexo IX del Plan de Calidad aparecen los procedimientos de soldadura, y en cada uno de ellos se encuentra el Welding Procedure Specification (WPS) y el Procedure Qualification Record (PQR). Más adelante se detallará en qué consiste cada uno.

En el anexo X del Plan de Calidad aparecen los criterios de inspección, indicando los ensayos no destructivos a realizar, forma y aceptación de los resultados, dependientes de la norma ISO 5817:2003.

## 4. Desarrollo de la obra

---

En el momento que se encuentra realizada tanto la ingeniería básica como la de detalle y se tienen los insumos necesarios (acero, equipamiento de soldadura, etcétera) se está pronto para comenzar con la construcción.

La empresa tenía una estructura dividida en diferentes áreas para la organización del trabajo: Dirección, Administración, Prevención de Riesgos Laborales, Control de Calidad, Oficina Técnica y Pañol.

### 4.1. Administración

Las funciones principales de este sector eran realizar las compras de materiales necesarios para la obra (insumos para soldadura, papelería para la oficina, herramientas necesarias, entre otras), y pasar las horas trabajadas por el personal.

Lo que refiere a compras, se realizaba un pedido semanal con los materiales faltantes y se consideraba en conjunto el sector de producción, la oficina técnica y el pañol; el encargado del pañol debía pasar todos los días a administración el reporte del stock, para llevar un control de lo que se gastaba en la obra a diario y de lo que se debía comprar.

La funcionaria administrativa tenía una lista de proveedores, que dependiendo del material a comprar, dentro de las empresas de esa lista solicitaba presupuesto; una vez aceptado éste, se enviaba orden de compra.

Este sector no se encargaba de realizar los pagos a los proveedores (de eso se encargaba la oficina de contaduría que estaba fuera de la obra), pero sí se encargaban de realizar los pagos al personal que trabajaba en la obra.

Al llegar la mercadería a la obra se verificaba si el material entregado coincidía con el material solicitado y si los precios presupuestados coincidían con los facturados.

El material se repartía entre el pañol y la oficina; en ésta se guardaban los artículos de mayor valor o los que no eran de uso diario. Cada vez que un operario retiraba algún material, tanto del pañol como de la administración, debía dejar constancia de esto firmando en una planilla, para llevar mejor control de la utilización del material.

En el pañol se encontraba el reloj en el que tenía que marcar tarjeta el personal. La administrativa se encargaba todos los días de pasar a un pendrive el registro de las horas marcadas y las llevaba a una planilla para pasarla a la oficina de contaduría, que –como se dijo– realizaba los pagos. En esta planilla se diferenciaba las horas trabajadas en espacios confinados, las horas extra y las que normalmente tenía que hacer el personal.

Desde el comienzo hasta mediados de la obra, con ayuda del jefe de producción se realizó una planilla con los avances de la obra en cada sector: calderería, soldadura, pintura, electricidad, tubería, en la que se indicaban las horas trabajadas por toneladas.

## 4.2. Prevención

La empresa cuenta con un Plan de Seguridad y Salud Laboral, donde se indican las medidas de seguridad a tener en cuenta en diferentes tipos de labores: trabajo en altura, trabajo en espacios confinados, entre otros.

La persona responsable de Prevención de Riesgos Laborales se encarga de que el plan se cumpla y verifica la seguridad e higiene en la obra. Realiza visitas diarias para corroborar que todos los trabajadores estén con sus respectivos elementos de seguridad.

Este plan cuenta con charlas de capacitación al personal, enseñándoles a los trabajadores a manipular cargas y el correcto trabajo en altura, entre otros. Los controles diarios en obra constan de recorridos para controlar el correcto uso de los equipos de protección, cuidado del cableado, cantidad de gases en espacios confinados, limpieza y orden de la obra.

Un tema especial son los espacios confinados, aquí es donde el técnico prevencionista tenía mayor cuidado. Mediante uso de tarjetas controlaba a los operarios que se encuentran dentro de estos espacios y hacía mediciones de gases.

Cuando se hace ingreso de personal a obra, se le da una charla inductiva de prevención y se le brinda un librito de seguridad de la empresa junto con el equipo apropiado, y se le hace firmar que recibió el librito y la capacitación.

En caso de encontrar repetidamente una falla o si ocurre algún accidente, se procede a dar charlas de seguridad explicativas acerca de cómo deben trabajar correctamente.

El técnico prevencionista debía encargarse de que todos los operarios tuvieran el carné de salud al día.

## 4.3. Producción y montaje

Una vez que se planificaron las líneas y procedimientos de construcción, se podía comenzar con ésta. Como se dijo, el astillero contaba con dos naves de construcción y dos gradas contiguas a cada uno, estando frente a la nave 1 la cama de construcción principal de la barcaza.

Se asignó un jefe de equipo en cada galpón, uno en cada grada de construcción y un jefe de equipo encargado de los soldadores. El funcionamiento en la construcción era similar en cada área de trabajo, a cada jefe de equipo se le entrega las indicaciones de trabajo mediante planos enviados por oficina técnica, quien se los entregaba a cada pareja de trabajo, formada por un calderero y un ayudante. Los soldadores realizaban determinadas soldaduras dependiendo de la categoría profesional de cada uno, ya que hay algunas que son más complejas (se detallan más adelante).

Al comienzo de cada semana, los jefes de equipos, el encargado, el jefe de producción y el responsable de calidad se reunían para planificar los trabajos y se medían en porcentajes los avances de cada bloque de la barcaza, se planteaban problemas y se buscaban soluciones o alternativas de construcción; era un método eficaz para llevar el control de avance de obra.

#### 4.4. Líneas de Montaje

La construcción se separaba en dos líneas de montaje. En la línea de montaje 1, constituida por la nave uno y la grada principal de montaje, se construían los bloques de fondo, proa y popa; en la línea de montaje 2, constituida por la nave dos y seis gradas contiguas, se construían los bloques de costado. Se detalla cada una de ellas.

##### Línea de Montaje 1

Como fue dicho, en la primera línea de montaje se construyeron los bloques de fondo, proa y popa.

Cada bloque de fondo se dividió en dos sub bloques exterior A e interior B.



Fig. 3. Sub bloque B.

El sub bloque B, correspondiente al fondo de bodega, se compone por tres chapas de 16 mm de espesor y en ellas soldadas nueve perfiles L de alas iguales, cuatro varengas, dos mamparos estancos transversales y dos longitudinales, uno con cinco entradas de hombre y uno estanco únicamente en el costado de estribor, que divide a los tanques de fondo.

Estos sub bloques se construyen dentro del galpón, según la siguiente secuencia: se colocan sobre la puerta de entrada los bloques que deberán montarse primero; siempre se monta primero el bloque de estribor y luego el de babor, porque la línea de crujía se encuentra sobre este primer lado; o sea, en el galpón estará el sub bloque que se colocará en estribor, luego el de babor, luego el sub bloque de estribor correspondiente al siguiente anillo, ya que entran tres sub bloques, y luego el de babor, así sucesivamente.

En el momento que se retira un sub bloque del galpón se comienza a construir otro sub bloque en el lugar que quedó vacío.

Cuando un sub bloque B queda armado se procede a pintar, para lo cual se saca del galpón y –tal como ya se expuso– se cubren con cintas las zonas donde se deberá soldar. Los sub bloques A se arman in situ.

El proceso de armado de los sub bloques de fondo A y B tiene una característica especial, ya que consta de tres chapas dispuesta de tal manera que la del medio tiene el biselado para lados diferentes. Por esto se deben soldar dos chapas y luego darlas vuelta para soldar la tercera chapa, dado que la altura de la grúa no es suficiente para voltear el panel completo.



Fig. 4. Construcción del sub bloque A en el lugar.

Luego de esto se le colocan los refuerzos estructurales (nueve perfiles L de alas iguales) y en el caso de los sub bloques A (forro exterior) también se le colocan los pantoques y cuando están terminados se pintan y se coloca el sub bloque del fondo de bodega sobre el sub bloque del forro exterior.



Fig. 5. Colocación de longitudinales.



Fig. 6. Armado de bloques.

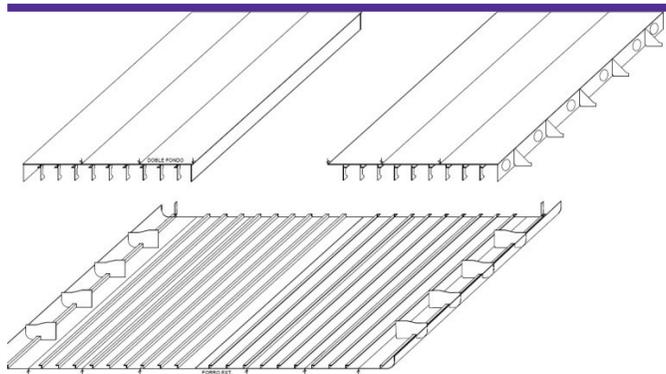


Fig. 7. Secuencia de montaje.

Cuando hay cuatro bloques de fondo armados y terminados (ya se colocaron las puntas de varengas y están soldadas) se puede proceder a colocar los bloques de costado.

Los bloques laterales entre sí se sueldan según el método paso de peregrino que es de la siguiente manera: para que no haya grandes deformaciones en el bloque, se comienza un metro debajo de la cubierta de francobordo, se sueldan hasta llegar a él, se baja dos metros y se suelda un metro ascendente, y así sucesivamente; de esta manera siempre se llega a una zona que no ha sufrido grandes deformaciones térmicas.

Además del montaje de los bloques de fondo y costado, en la primera línea también se construyen la popa y proa. Se montan las previas de los bloques de popa dentro del galpón y se llevan a su lugar de colocación o se estiban dentro de la barcaza ya construida para su posterior montaje.

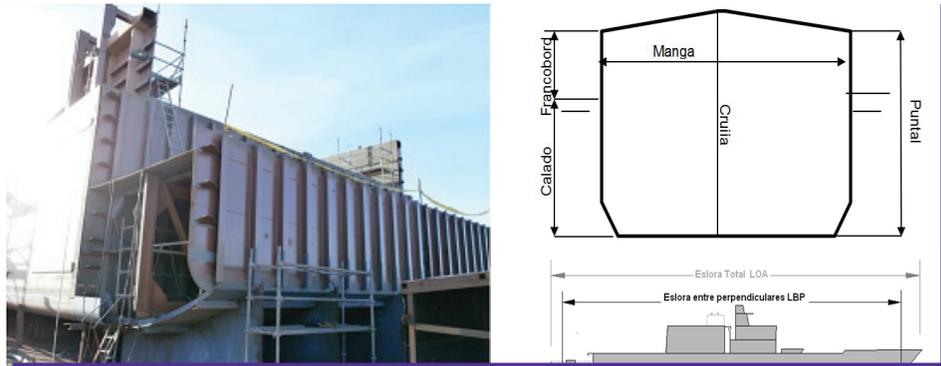


Fig. 8. Construcción de la popa.



Fig. 9. Construcción de la proa.

Es importante destacar que no son exactamente iguales todos los anillos, el primer y el sexto son diferentes a los demás y entre sí; cuentan con dos pozos de achique cada uno (pocetes) y con topes de empuje, y el sexto es más pequeño que los anteriores. La barcaza cuenta con simetría transversal: su eje de simetría pasa por la línea de crujía pero no longitudinalmente.

## Línea de Montaje 2

Esta línea de montaje cuenta con dos pórticos de dieciséis toneladas cada uno. Como ya se dijo, en esta línea se hacen los bloques de costado, cada uno de ellos se divide en dos sub bloques: uno corresponde al forro exterior B y otro a la bodega A.

El sub bloque B cuenta con tres chapas soldadas de 13 mm de espesor y soldadas a ellas en su lado interior nueve perfiles L de alas iguales, y en su lado exterior se suelda un botazo de 20 mm de espesor (refuerzos laterales) cuya función es dar mayor rigidez al área de contacto del buque con el muelle. En cada sub bloque B se colocan cuatro bases de los soportes laterales de la carga.



Fig. 10. Bloque de costado.

En los galpones se disponen los sub bloques B, por una cuestión de espacio, ya que son más pequeños que los otros; de esta manera se aprovecha el espacio techado, donde pueden colocarse cuatro para trabajar.

En las camas contiguas al galpón se montan los sub bloques A, ya que por la forma de la barcaza, serán más grandes que los mencionados. Los sub bloques A se componen de cuatro chapas de 11 mm de espesor y soldadas a ellas once perfiles L de alas iguales.

La forma de montaje y armado de ambos sub bloques es similar; para esto se disponen las chapas en las posiciones en que deben ser soldadas a tope según el bisel, ya hecho de fábrica.

Este proceso comienza haciendo el respaldo con una soldadura FCAW 220 A, para luego hacer la primera pasada con el arco sumergido a 350 A y 28 V; si es necesario se pueden hacer dos pasadas a 350 A. Después se dan vuelta las chapas ya unidas para soldar del otro lado. Para esto se limpia el respaldo de soldadura que se había hecho inicialmente, luego se hacen pasadas mediante el método de arco sumergido con una intensidad de corriente de 500 A y 34 V, porque se debe fundir el respaldo de soldadura.

Después que las chapas están soldadas se procede a colocar los refuerzos estructurales, ya que los bloques de costado recibirán una gran sollicitación tanto interior por las maderas como exterior por el agua.

Se colocan los perfiles L de alas iguales y en los sub bloques exteriores se colocan las cuadernas y los venteos (cada bloque debe llevar dos venteos). Cuando el sub bloque B está terminado de montar se lleva a la última cama de la línea de montaje para proceder a pintar, para lo que se coloca cinta papel en las zonas donde posteriormente se deberá soldar para unir los sub bloques.

Cuando esta tarea está concluida, se presentan los sub bloques para soldarlos y colocarles la base de los soportes laterales de la carga (estaqueiros).

Cuando el bloque está armado completamente, se termina de pintar y se lleva a la línea de montaje uno para su posterior montaje en grada. El movimiento del bloque terminado de una línea a otra se hace con un camión.



Fig. 11. Secuencia de montaje de bloques.

Se le llama OTS (Orden de Trabajo Suplementario) a los cambios que hay que realizar con respecto a los planes originales, porque en el avance del proyecto se encuentran detalles que se pueden mejorar, ya que los proyectos no son perfectos. Por ejemplo: se agregaron mamparos que dividen los tanques de lastre de popa y proa para escorar la barcaza con facilidad; hubo cambios en el sistema de amarre a puerto de las barcazas.

# 5. Soldadura

---

## 5.1. Física de la soldadura

La soldadura es la reunión de dos o más piezas metálicas por aplicación de calor, presión, o ambos, con o sin adición de metal de aporte, produciendo una unión localizada por medio de la fusión o recristalización a través de la interface.

En toda soldadura hay un metal base, el cual es lo que se desea unir; puede haber metal de aporte, el cual sirve de vínculo entre las partes que se desea unir.

**En todos los procesos los tres requerimientos básicos para obtener buenas soldaduras son:**

- Fuente de energía.
- Remoción de contaminantes superficiales.
- Protección de las zonas de altas temperaturas contra la oxidación y en general contra el aire y la humedad.

La fuente de calor debe transmitir suficiente energía con alta intensidad para lograr la fusión localizada de la junta. La función primaria de la fuente de calor es suministrar energía para fundir el metal. Por razones metalúrgicas se prefiere el mínimo de entrada de energía, lo que depende de la intensidad de la fuente.

**Las fuentes de importancia técnica incluyen:**

- Arcos.
- Haces de electrones.
- Haces de luz.
- Reacciones exotérmicas (oxigas).
- Resistencia electrónica

En la soldadura, la transferencia de calor ocurre en dos etapas: el calor es transferido desde la fuente a la superficie de la pieza, por conducción se transmite desde el área de contacto a las regiones más frías del metal.

**En la soldadura por fusión los metales que desean unirse son calentados hasta su fusión, produciéndose la unión por solidificación; en el curso del ciclo de soldadura por fusión ocurren tres eventos:**

- El metal de aporte, en caso de que exista, y el metal base son fundidos y resolidificados, formando una conexión fundida.
- El efecto térmico de la soldadura somete al metal base adyacente a un gradiente térmico que va desde una temperatura superior a la del punto de fusión del metal, hasta la temperatura ambiente. La zona afectada por el calor del metal base, así como el metal base que se fundió y el metal aportado durante el proceso, se van enfriando hasta la temperatura ambiente.
- La zona afectada por el calor (ZAC, zona adyacente a la soldadura que sufrió transformaciones metalúrgicas por efecto de las temperaturas alcanzadas pero sin llegar a la fusión) tendrá una zona de crecimiento de grano adyacente a la del metal de soldadura donde la temperatura alcanzó valores en un rango que va de temperaturas cercanas a la fusión hasta bastante más que la temperatura crítica superior (austenización)–, y una zona de refinación de granos (donde la temperatura alcanzó valores de un rango que va desde apenas por encima de la temperatura crítica superior hasta la temperatura crítica inferior) adyacente al metal base no alterado.
- La solidificación del metal fundido y los cambios metalúrgicos de fase inducen fluencias plásticas y dejan tensiones residuales que pueden igualar la tensión de fluencia en magnitud, resultando distorsiones estructurales.

## **5.2. Procedimientos de soldadura**

Los procesos de soldadura más utilizados en la construcción naval son la soldadura por arco eléctrico. En este proceso el calor es producido por el arco eléctrico que se establece entre un electrodo, consumible o no, y el metal base, o entre dos electrodos que se aproximan al metal base. Un arco de soldadura puede ser considerado un conductor gaseoso que transforma la energía eléctrica en calor y que además cumple la función de remover óxidos superficiales.

**Los procedimientos utilizados en la construcción de la barcaza Playa de las Cañas fueron:**

- Soldadura al arco sumergido (SAW).
- Soldadura al arco metálico con gas protector (GMAW).
- Soldadura al arco con fundente interior (FCAW).
- Oxicorte (para cortar chapas).

### 5.2.1. Welding Procedure Specification (WPS)

En el WPS (Especificaciones del Procedimiento de Soldadura) se especifica el procedimiento de soldadura a desarrollar durante la obra. En él se describen las variables esenciales y no esenciales del procedimiento: diseño de junta, metal base, metal de aporte, posiciones, precalentamiento, gas protector, características eléctricas (voltaje, amperaje), técnicas (este punto debe especificar la técnica de soldadura a utilizar por el soldador, velocidad de aplicación, distancia entre el material y el electrodo; de igual manera, especificar el material que se utilizará para la limpieza del metal soldado, entre pases de soldadura).

La especificación detallada de los materiales, posiciones, temperaturas y tiempos a seguir descritas en el WPS serán la guía que deberán seguir los soldadores. Se hacen probetas y a estas distintos ensayos destructivos y no destructivos que determinan y avalan las propiedades mecánicas en la unión de los metales soldados, para el funcionamiento adecuado y permanente de las soldaduras.

### 5.2.2. Procedure of Quality Registration

El PQR (Registro de Calificación de Procedimiento) es el documento que respalda y valida el WPS. Contiene las variables reales de soldadura utilizadas en la prueba y los resultados del ensayo realizado sobre la soldadura para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura.

El PQR, por lo tanto, es el registro que documenta los resultados de soldar y ensayar las probetas. La concordancia de los datos descritos por la empresa en el WPS y la evaluación del procedimiento descrito en el PQR tiene como propósito garantizar la calidad del trabajo en el astillero.

### 5.2.3. Welding Procedure Qualification

Por otro lado está el WPQ (Calificación de Procedimientos de Soldador), que tiene como propósito determinar la habilidad del soldador, y lo califica. Tomando como referencia el WPS el soldador debe soldar determinada cantidad de probetas en donde se le harán diferentes ensayos destructivos y no destructivos.

Con estos tres documentos se da cierta confiabilidad de las soldaduras a realizar.

Se detallan los procedimientos nombrados:

## 5.3. Soldadura por arco sumergido

La soldadura por arco sumergido se utilizó para soldar a tope en posición plana en los ensambles con planchas planas tales como cubierta, mamparos, fondo y costado. A continuación se muestra una foto de la máquina de soldadura por arco sumergido que estaba en la empresa.



Fig. 12. Soldadura por arco sumergido.

La soldadura SAW fue creada en Estados Unidos en 1935 por la necesidad de aumentar la producción y mejorar la calidad en la industria de la construcción naval.

El arco sumergido tiene esta denominación porque el arco eléctrico y el metal fundido permanecen siempre cubiertos por una capa protectora de un fundente granulado (flux).

La siguiente imagen muestra un esquema de este procedimiento de soldadura.



Fig. 13. Esquema del proceso de soldadura de arco sumergido.

El arco no es visible durante la soldadura, el electrodo, el metal base y el flux son fundidos formando un arco eléctrico que formando una única pileta de fusión.

El rango de corrientes utilizadas en este proceso son entre 350 y 2000A y el de voltajes es ente 25 y 45V.

Se utilizaron, según WPS de la empresa, intensidades de corriente de 300A, 400A, 450A y 500A dependiendo del número de pasada, y los voltajes utilizados fueron 29V y 30V para 300A, 29V para 400A, 30V y 31V para 450A y 32V para 500A.

El metal solidificado forma un cordón y la parte fundida del flujo forma la escoria, creando una capa protectora que evita la contaminación del cordón y reduce la velocidad de enfriamiento.

Se deberá tener ciertos cuidados con el fundente: almacenarlo en envases cerrados, ambientes secos, para prevenir la absorción de humedad. Al alambre de soldadura se lo recubre con una pequeña capa de bronce con el fin de protegerlo de la oxidación y para mejorar el contacto eléctrico.

Este proceso de soldadura es de arco estable y suave, generando pocos humos, óptima penetración y está exento de salpicaduras, lo que resulta en cordones uniformes con excelente acabado.

Los factores a controlar y establecer antes de la soldadura son tipo y diámetro del electrodo, combinación alambre-flux, velocidad de soldadura, tipo de junta, distancia de la punta de contacto eléctrico a la pieza, contenido de humedad del fundente, corriente (afecta la tasa de fusión del alambre y la penetración del cordón, mayor corriente significa mayor penetración), voltaje (influye en la longitud del arco y anchura del cordón), cantidad de fundente (si es pequeña, resulta un cordón poroso, y si es excesiva impide la salida de gases deformando la pileta de fusión).

Al comenzar o al terminar la soldadura ocurren cambios de corriente y esto es perjudicial para la soldadura en sí, por lo cual es necesario colocar en ambos extremos de la unión a ser soldada apéndices, alargues en forma de planchuelas que continúen algo más la unión a soldar. En estos apéndices se deben incluir ranuras similares a la de los biselados de la unión a soldar. En caso de no aplicarse algún procedimiento que minimizara la distorsión o las tensiones residuales, cada pasada de soldadura debería iniciarse próxima al borde exterior del apéndice, de forma que las condiciones de soldadura estén estabilizadas cuando el cabezal alcance la unión a soldar. Luego, en algunos casos la pasada de soldadura es detenida antes de alcanzar el extremo opuesto de la unión y entonces la máquina es colocada sobre el apéndice opuesto y comienza la soldadura hasta el punto de detención anterior. En otros casos, la soldadura es continuada, sin detención, hasta que ha avanzado sobre el apéndice opuesto al final de la unión. No es conveniente que se detenga la soldadura en un cruce, ya que éstos son zonas altamente solicitadas.

Los defectos que pueden ocurrir en un cordón realizado bajo este procedimiento son:

### **Mordedura**

Este tipo de defecto puede ser ocasionado por exceso de voltaje, preparación incorrecta de juntas, corriente inadecuada, soldadura realizada excesivamente rápido.

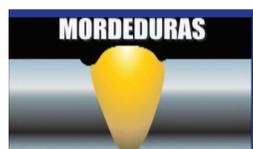


Fig. 14. Defecto de mordedura.

## Porosidad

Alta velocidad de avance y rápido enfriamiento de la soldadura, fundente húmedo o insuficiente, metal base contaminado o alambre oxidado.



Fig. 15. Defecto de porosidad.

## Inclusiones de escoria

Mala remoción de escoria entre pasadas sucesivas, amperaje/voltaje excesivo, fundente húmedo.



Fig. 16. Incrustaciones de escoria.

## Fisura

Pueden ocurrir en altas o bajas temperaturas:

- Fisuras de cráter.
- Fisuras en el margen y en la raíz: ocurren varias horas después de terminada la soldadura, y son debidas al H<sub>2</sub>. Su causa es la humedad del fundente.

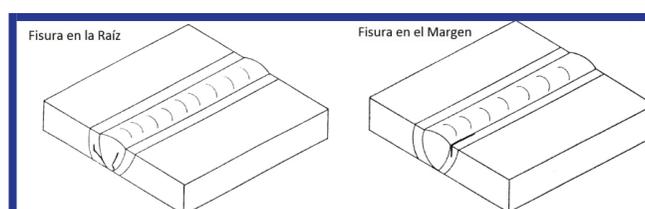


Fig. 17. Defectos de fisuras.

## Falta de fusión

Ocurre debido a soldadura excesivamente rápida, y en general en casos con baja energía de soldadura.

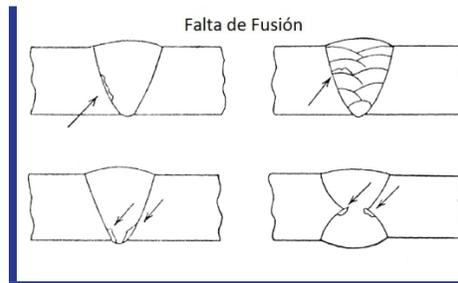


Fig. 18. Defectos de falta de fusión.

## Falta de penetración

Se produce por alineamiento defectuoso entre la máquina de soldar y la junta

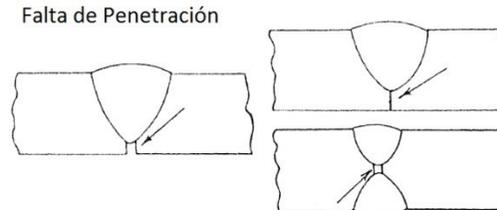


Fig. 19. Defecto de falta de penetración.

## 5.4. Soldadura Mig/Mag

La soldadura Mig/Mag es un proceso por el cual se establece un arco eléctrico entre un electrodo no recubierto, continuamente alimentado, y la pieza. La aportación de material se hace a través de este electrodo continuo, de pequeño diámetro, que procede de una bobina o carrete y se alimenta automáticamente, mediante un sistema de arrastre, a medida que se va fundiendo por el calor del arco eléctrico.

La pileta de fusión es protegida por un gas que puede ser activo (Mag) o inerte (Mig). Estos gases están a presión un poco mayor que la atmosférica y se obtienen a través de la boquilla que rodea el extremo del electrodo.

La función principal de los gases de protección es proteger el baño fundido de efectos perjudiciales de los componentes del aire, en especial del oxígeno. Pero, a su vez, estos gases facilitan la transferencia del metal al ionizarse para permitir el establecimiento del arco y la

columna de plasma. La naturaleza del gas es muy importante ya que influye en la cantidad de energía aportada, el tipo de transferencia, la penetración, la velocidad de soldeo, el aspecto del cordón y la probabilidad de mordeduras.

Antes de comenzar a soldar se debe limpiar el metal base, quedando libre de impurezas (grasas, aceites, tintas y humedad).



Fig. 20 - Proceso de soldadura MIG / MAG.

En este caso se utilizó una mezcla del 75% de Argón y 25% de CO<sub>2</sub>. Con doce botellas de gases agrupadas en racks alimentaban ocho máquinas de soldar mediante un dispositivo que tenía ocho salidas.



Fig. 21 - Rack de botellas de gases.

Los equipos de soldadura utilizados son de corriente continua y tensión constante, que proporciona un arco de voltaje prácticamente constante e independiente del amperaje del arco.

Las características del proceso dependen del tipo de transferencia metálica y éste depende de la combinación de parámetros tales como corriente, atmósfera protectora, voltaje, diámetro del alambre y extensión del electrodo. Hay cuatro tipos de transferencia principales:

## 5.5. Transferencia por cortocircuito

Se utiliza para la unión de chapas delgadas o fuera de la posición plana, esto es debido al bajo aporte de calor.

El electrodo hace contacto físico con el metal base, creando un cortocircuito eléctrico, o sea el extremo del alambre se funde formando una gota que se va alargando hasta que toca al metal base, en ese momento aumenta mucho la intensidad y como consecuencia las fuerzas axiales rompen el cuello de la gota y simultáneamente se reanuda el arco.

El extremo fundido del electrodo es atraído hacia el metal base por tensión superficial, sin requerir elevados voltajes ni amperajes. Variaciones en los parámetros de soldadura pueden crear excesivas salpicaduras y defectos de fabricación.

Se utilizan voltajes de entre 16 y 22 V y amperajes de 50 -150 A. Debido a su relativa baja penetración, este procedimiento no es generalmente aplicable a soldaduras estructurales de espesores mayores a ¼".

## 5.6. Transferencia metálica por spray

Normalmente protegida con un mínimo de 80% de argón, el metal se transfiere a través del arco en la forma de pequeñas gotas dirigidas axialmente; el arco es muy estable.

Se utilizan voltajes en un rango de entre 24 y 40 V y una corriente entre 150 y 500A. Esta técnica por spray ofrece lo que buscan los operadores: calidad en la soldadura y eficiencia en la deposición del metal. Este modo se caracteriza por elevada densidad de corriente.

## 5.7. Transferencia por arco pulsante

En esta técnica la fuente de poder suministra dos niveles de corriente: un nivel estable de fondo, demasiado bajo como para producir cualquier transferencia de metal pero suficiente para mantener el arco estable; y una corriente pulsante, de elevada amplitud, para transferencia de metal, que puede ser regulada independientemente del aporte de calor mediante el ajuste de los parámetros del pulso (nivel, forma y frecuencia).

La corriente media puede ser reducida apreciablemente, produciéndose una transferencia de metal por spray durante los pulsos de elevada amplitud. Es utilizada para aplicaciones donde no se pueden tolerar grandes aportes térmicos. Puede ser usado para soldaduras en toda posición y es particularmente ventajoso cuando se unen planchas finas de acero, aluminio y aleaciones de cobre.

## 5.8. Transferencia metálica globular

Este tipo de transferencia aparece en una franja de corriente de entre 70 y 255 A y aproximadamente 20 y 35V, es usualmente protegida con CO<sub>2</sub>, el metal fundido en el extremo del electrodo, cuando es transferido a través del arco hacia la pileta de metal fundido, forma glóbulos irregulares comparativamente grandes, resultando en un cordón de apariencia áspera, rugosa, ondeada y con salpicaduras. El perfil transversal de la soldadura exhibe una penetración extremadamente profunda.

**Algunos defectos que se pueden encontrar en este tipo de procedimiento de soldadura son:**

- **Porosidad:** es causada por gas retenido en la soldadura. Si la protección de gas no es adecuada, se disolverán gases atmosféricos dando porosidad.
  - **Inclusiones:** Puede quedar atrapado el oxígeno del metal base o el captado en la soldadura bajo condiciones deficientes de protección, formando óxidos en la pileta.  
Falta de fusión: puede ocurrir en transferencia por cortocircuito, aparece en spray a bajas corrientes.
  - **Falta de penetración:** puede ocurrir en transferencia por cortocircuito.  
Mordedura, superposición: errores del soldador.
  - **Fisura interlaminar:** ocurre en soldaduras con alto grado de restricción.
- Condiciones ambientales y de protección individual:**
- No se puede soldar en presencia de viento (altera la protección de la pileta).
  - El local debe tener buena ventilación.
  - Se deben retirar recipientes que contengan solventes que puedan descomponerse en gases tóxicos bajo la acción de la radiación ultravioleta.
  - El soldador deberá usar guantes, botas, ropa de protección, vidrio con filtro adecuado.

## Respaldo de soldaduras

Muchas uniones planas, horizontales y verticales, que fueron soldadas por los procedimientos anteriores, utilizaron dos tipos de respaldo para las soldaduras: respaldo cerámico y respaldo de soldadura (FCAW).

El respaldo cerámico consiste en una pieza cerámica que sirve para sostener el baño e impedir que se descuelgue, ayuda a moldear el baño por su cara posterior. Este respaldo es una cinta que contiene trozos cerámicos (que dan flexibilidad al respaldo) que se pega con cinta adhesiva en la cara opuesta a la que se va a soldar e indica el lugar por donde se debe hacer la pasada (línea roja).

En el caso de necesitar un respaldo cerámico de mayor longitud al proveído, se quitan dos trozos de una punta y se unen con otro para evitar el desfasaje del cordón.

Cuando se tiene una forma que no es recta, como es en las cesáreas, se cortan de a uno para colocar en forma curva dependiendo del radio de curvatura.

El proceso de soldadura FCAW es muy similar a la soldadura GMAW, salvo que el alambre es hueco y en su interior posee fundente. Los alambres tubulares están constituidos por un tubo exterior de acero de una composición química determinada, en cuyo interior se coloca un flux, que al fundirse por la acción del arco eléctrico deposita un metal fundido protegido por una fina capa de escoria. Se utilizó este procedimiento con un diámetro de alambre de 1,2 mm, 200A y 27V.

## 5.9. Oxicorte

Oxicorte es un proceso en que la separación o remoción del metal se debe a la reacción química del oxígeno con el metal a temperatura elevada. Este método se utiliza para cortar metal excedente para después poder soldar perfectamente dos chapas.

# 6. Alistamiento

---

## 6.1. Sistema eléctrico

La barcaza cuenta con el sistema eléctrico de interconexión al sistema eléctrico del empujador en la cubierta de popa. La línea general es llevada al tablero general situado en la sala de bombas de popa.

### 6.1.1 El tablero general

Está compuesto por un interruptor general, el circuito tanto de fuerza como de mando de las bombas de achique y los interruptores de protección de los tableros del cabrestante del ancla, alumbrado de sala de bombas, alumbrado de pañol y tablero de batería y luces de navegación. Durante la navegación, estarán siempre energizadas y preparadas, tanto bombas de lastre y achique como cabrestante de amarre y fondeo del pique de proa y las iluminaciones interiores.

Al terminar con los trabajos de calderería y pintura, se comienza con el armado del sistema eléctrico. Éste se realiza de popa a proa, ya que, por lo ya expuesto, el tablero general se encuentra en la popa. Se comienza colocando los tubos de acero inoxidable de 30, 40 y 50 mm por ambos costados, donde seguidamente se enhebran los cables navales recubiertos por goma, hacia la sala de bombas de proa, cabrestante, pañol y luces de navegación.

### 6.1.2. Tablero del cabrestante del ancla

Se sitúa en el pañol de proa, donde se ubican los circuitos de fuerza y de maniobra del cabrestante y del freno.

Se dispone de un panel de operaciones y señalización situado en la cubierta de proa, junto al cabrestante, que permite operarlo.

El cabrestante del ancla está compuesto por un motor de accionamiento y uno de freno.



Fig. 22. Cabrestante.

El accionamiento de los motores se realiza mediante el sistema de pulsadores (ya nombrado) desde un panel situado en la cubierta de proa. En el mismo panel de mando se incluirán las diferentes señales de maniobra y emergencia del cabrestante (piloto de temperatura, sobrecarga, emergencia).  $P=30\text{kW}$ ,  $U=400\text{V}$ , protección interruptores de  $3\times 60\text{A}$ .

### 6.1.3. Tablero de alumbrado de sala de bombas

Se sitúa en la sala de bombas y en él se ubica el interruptor de encendido y apagado de la iluminación de la sala y la iluminación de emergencia. Entre los dispositivos que componen el sistema eléctrico están las bombas, dos grandes ubicadas en popa y una chica ubicada en sala de bombas de proa de achique de la sala de bombas.

### 6.1.4. Tablero de baterías y luces de navegación

Se sitúa en la sala de bombas, y en él se alojan las baterías y los paneles de mando y señalización de las luces de navegación.

## 6.2. Sistema de achique y lastre

El sistema de achique y lastre se compone específicamente de tres bombas centrífugas autocebantes, dos en popa de  $15\text{KW}$ ,  $400\text{V}$ ,  $50\text{Hz}$ , caudal  $45\text{ m}^3/\text{h}$  y altura  $40\text{ m}$  y una auxiliar en proa de  $4\text{KW}$ ,  $400\text{V}$ ,  $50\text{Hz}$ , caudal  $45\text{ m}^3/\text{h}$  y altura  $12\text{ m}$ ; válvulas de retención, válvulas esclusas y tubería de  $3''$  y  $4''$  que conecta a la sala de bombas de popa con la sala de bombas de proa por el costado de estribor.

Para llenar los tanques de lastre se toma agua del río por la entrada de mar en el costado estribor en popa; el agua es bombeada hacia los tanques de lastre y de proa y popa convenientemente. Para su vaciado la descarga se realiza por el costado de babor en popa.



Fig. 23. Toma de mar.

La barcaza cuenta con cuatro pozos de achique en el cuerpo cilíndrico, dos en el piso de bodega del primer anillo y dos en el sexto anillo de medidas  $700 \times 1300 \times 450\text{ mm}$  (ancho, largo y altura), tapados con una rejilla, y en el fondo del pocete se une con una cañería donde se hace el achique de éstos.

El agua de la bodega se deposita allí y mediante el sistema de bombeo es expulsada hacia el exterior de la barcaza por el costado babor en popa.



Fig. 24. Pocete de evacuación de agua en bodega.

La caja de cadenas cuenta con un piso intermedio de planchas agujereadas que dejan pasar el agua y el barro que arrastra la cadena cuando entra. Debajo de éste está el fondo estanco, donde se extrae el agua y barro mediante el sistema de achique de la barcaza; igual que en los anteriores, la descarga es en babor.

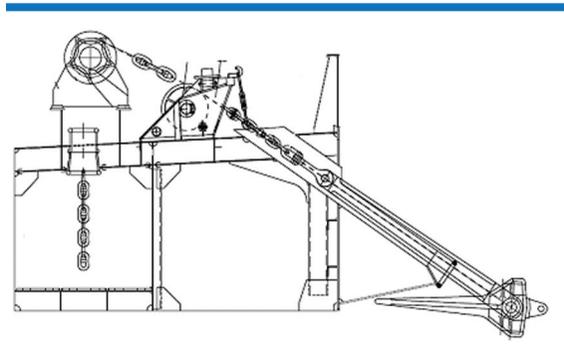


Fig. 25 - Caja de Cadenas

## 6.3. Pintura

### 6.3.1. Preparación y aplicación

El procedimiento de preparación de superficies y aplicación de pintura durante el proceso de construcción se lleva a cabo una vez finalizados los trabajos de soldadura y los trabajos de calderería de la zona a tratar.

La pintura se aplica de la siguiente forma: primero se prepara el acero, que debe tener un determinado nivel y grado de imperfecciones para obtener un buen comportamiento del sistema de pintura, son los trabajos previos a la preparación de superficies; en el interior se hace una preparación mecánica grado ISO-St.3, de zonas dañadas, quemaduras y uniones; y en el exterior se hace un chorreado al grado ISO-Sa 2 ½ de zonas dañadas, quemaduras y uniones.

Se deben proteger los elementos que corran riesgos de dañarse durante el proceso de pintado; se protegen frente a daños mecánicos, entrada de agua, abrasivos y polvo. Se deben proteger adecuadamente los elementos que no vayan pintados (porque llevan otro color o que por proximidad corran riesgo de que se pinten); la protección se retirará cuando la pintura esté seca.

Antes de que sea aplicada la pintura se debe remover todo tipo de suciedad mediante hidrolimpieza de alta presión (presión mínima 200 kg/m<sup>2</sup>). Las grasas y los aceites son eliminados con desengrasante y aclarado con agua dulce.

Antes de comenzar la aplicación de pintura, deben corroborarse las condiciones climáticas y se miden tantas veces como se considere necesario. La humedad relativa no debe ser superior al 85% y la temperatura del acero debe estar como mínimo a 3°C por encima del punto de rocío.

Todos los esquemas de pintura deben ser aplicados según las fichas técnicas del fabricante suministrador de la pintura (Jotun). En ellas están detalladas la proporción de la mezcla, disolvente compatible, espesor recomendado y vida de la mezcla.

### 6.3.2. Esquema de pintura

#### Obra viva

Se hacen dos capas de Epoxi Mastic, con espesor de película seca de 125 micras por mano, color negro mate. Se aplica a la chapa del fondo, pantoque y parte del costado, hasta calado máximo, incluyendo piques de proa y popa.

#### Obra muerta

Se dan dos capas de antióxido sintético alquílico al cromato de zinc, con un espesor de película seca de 35 micras por mano. Se aplica a la chapa de cubierta, brazola y parte del costado a partir de la línea de calado máximo, parte de arriba en los costados, incluyendo piques de proa y popa.

#### Pintura de acabado

Dos capas de esmalte sintético alquílico, con un espesor de película seca de 35 micras por mano. Aplica a la chapa de cubierta, brazola y parte del costado a partir de la línea de calado máximo, parte de arriba en los costados, incluyendo piques de proa y popa.

#### Interior de tanques

Se dan dos capas de antióxido sintético alquílico al cromato de zinc, con un espesor de película seca de 35 micras por mano. Aplica a la chapa de interior de cofferdam, doble fondo y piques de proa y popa.

## Interior de bodega

Se da una capa de antióxido Epoxy-Poliamida con espesor de película seca de 80 micras. Una capa para el cavado del interior de las bodegas de Epoxi Mastic, con un espesor de película seca de 250 micras, color gris.

Al finalizar se hacen inspecciones. Finalizado el chorreado o cepillado, se presentan a la inspección y una vez aprobado se comienza la aplicación de pintura.

Finalizado el proceso de pintado se realiza una inspección final para verificar que los espesores de película seca estén de acuerdo a la especificación indicada para cada zona. Todos los equipos e instrumentos utilizados para la realización de inspecciones deberán estar previamente calibrados.

# 7. Control de calidad

---

Los controles de calidad los llevaba a cabo la encargada de éstos. Ella tenía la función de hacer inspecciones diarias, controlando antes, durante y después de realizados los procedimientos de construcción, si se hacían según indicaciones aprobadas; controlaba las soldaduras, mediante inspección visual. Era quien recibía al inspector (Surveyor) del RINA (Sociedad de Clasificación) y armaba toda la documentación para entregar una vez finalizada la obra; se comunicaba con la empresa tercerizada que hacía los ensayos no destructivos –radiografía, ultrasonido y líquidos penetrantes– y recibía toda la documentación de las pruebas neumáticas y las pruebas al sistema eléctrico.

Al comenzar la obra se establece por contrato determinado número de ensayos no destructivos, se fijan los lugares correspondientes a la barcaza y el RINA los aprueba. Pero a medida que la obra avanza surgen situaciones en las que se determina realizar uno u otro tipo de ensayo que por su naturaleza es más conveniente en determinada situación.

Principalmente se usaron cuatro métodos para inspeccionar las soldaduras: inspección visual a todas las soldaduras, radiografía industrial, ultrasonido, pruebas neumáticas a todos los tanques y líquidos penetrantes.

## 7.1. Inspección visual

El método de inspección visual es una técnica de ensayo no destructivo de inspección superficial. Sólo se comprueba la integridad superficial de un material y se detectan discontinuidades que están abiertas a la superficie.

Este método consiste en la observación detallada de un cuerpo en condiciones específicas, efectuadas a ojo desnudo o con ayuda de un elemento auxiliar, para mejorar la capacidad de percepción del sentido de la vista o acceder a un lugar de interés.

Este ensayo es el primer paso de cualquier evaluación. Permite determinar la cantidad, tamaño, forma, distribución de los defectos, acabado superficial, características de color, reflectividad, entre otros. Es el ensayo no destructivo más importante y que se aplicó a todas las soldaduras.

El procedimiento por el que se efectúa es el siguiente, se ilumina el objeto a inspeccionar y se inspecciona por ojo desnudo o medios auxiliares, que pueden ser:

**Lupas:** aumentos por lo general de 5X y 10X como máximo; se utilizan para aumentar la agudeza visual, tienen bajo costo y abarcan una gran área de inspección.

**Endoscopios:** permiten la observación del interior de una parte componente sin desarmar el equipo, posibilitan la transmisión de imágenes; permiten aumentar o disminuir la imagen. Existen dos tipos: rígidos y flexibles.

**Espejos:** se utilizan para mejorar el ángulo de observación y llegar a lugares inaccesibles.

Como se dijo, la inspección visual es el primer método que se utiliza para cualquier evaluación, ya que se conoce en detalle el material a trabajar. A su vez se conocen las fisuras más grandes que se presentan, se puede aplicar en cualquier proceso de fabricación o durante las operaciones de mantenimiento. Es el método más barato, ya que únicamente se necesita el buen sentido de la vista y accesorios relativamente poco costosos. Pero este método obviamente también tiene limitaciones, una de ellas es que depende del operario.

## 7.2. Radiografía industrial

La radiografía industrial es un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

Este método se basa en la interacción entre la materia y la radiación electromagnética X. Cuando se expone a este tipo de radiación un cuerpo, éste las absorbe de forma proporcional a su densidad, espesor y configuración.

La radiación atraviesa al material y se constituye la imagen radiante del objeto, que contiene toda la información, acompañada de un ruido (constituido por la radiación dispersa que se origina en el proceso de atenuación de la radiación primaria en el material). La imagen radiante es detectada por la película radiográfica, de la que una vez procesada se obtiene la imagen radiográfica conformada por plata metálica reducida durante el revelado en función de los centros sensibilizados. Las discontinuidades aparecerán en un tono gris o negro y se verán por transparencia. El operario calificado que evalúe el ensayo deberá tener en cuenta la distancia, ángulo y plano de proyección, ya que se pasa de un objeto volumétrico a uno planar.

### Las ventajas del ensayo no destructivo de radiografía industrial son:

- Se obtiene un registro permanente de la inspección.
- Se obtiene una imagen visual del interior del material.
- Es un excelente medio de registro de inspección.

### Desventajas:

- La pieza de inspección deberá tener acceso por los dos lados.
- Se debe tener muchas protecciones de seguridad.
- Se requiere personal altamente calificado y con experiencia.

Antes de comenzar la obra se realizó un Plan de Soldadura (Welding Plan), que es donde aparecen todas las radiografías que se harán por contrato, realizado por ingeniería de detalle y aprobado por la Sociedad de Clasificación RINA.

Las soldaduras encontradas en este mapa son que van a estar más comprometidas, ya sea porque se encuentran en determinado lugar crítico en la barcaza o porque están sometidas a grandes esfuerzos.

Se realizó radiografía a todos los cruces de soldadura por la unión de bloques de fondo exterior, a los cruces de pantoque con chapas de costado, entre otras.

Para realizar la inspección, los dos lados del material a inspeccionar deberán estar libres de irregularidades que pueden enmascarar o interferir con la interpretación.

Es importante aclarar que la película correspondiente a cada radiografía tiene que estar marcada adecuadamente para que se pueda identificar la zona de la radiografía. Por ejemplo, se identificaron de la siguiente forma 5/07.11BR08.12ER/2 (2-3): el número de adelante indica el lugar donde se efectúa, 5 significaba que era de piso de bodega el cruce de los bloques 7 y 11 de babor con el 8 y 12 de estribor, el número 2 era el de radiografía que se hacía y (2-3) la dirección de babor a estribor, podía ser (0-1) que indicaba que se hizo de proa a popa.

Después de la radiografía, la visualización e interpretación debe ser en un área que esté limpia, tranquila y con iluminación de fondo tenue. La pantalla de visión deberá estar limpia y libre de manchas o marcas, la luz de visualización deberá proporcionar suficiente intensidad para ver el resultado con claridad; luego, la empresa responsable procede a la realización del informe que debe enviar a la encargada de calidad, quien, con el negatoscopio, vuelve a ver las radiografías para localizar el defecto para su reparación. Los informes estaban realizados bajo la norma UNI EN 1435, la cual indica cuando una discontinuidad es defecto.

En caso de considerarse la soldadura defectuosa, se debía proceder a su reparación, deshaciéndola y volviendo a soldarla un soldador diferente al que la realizó por primera vez, dependiendo de la naturaleza del defecto; para luego volver a realizar otra radiografía para descartar posibles defectos.

A continuación se muestran imágenes con discontinuidades que se pueden encontrar en soldaduras:

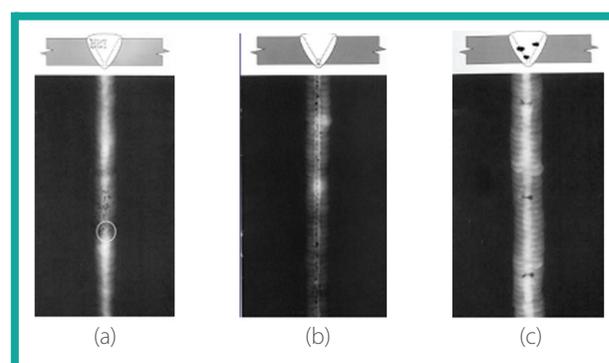


Fig. 26. (a) Porosidad alineada. (b) Porosidad alineada. (c) Inclusiones de escoria.

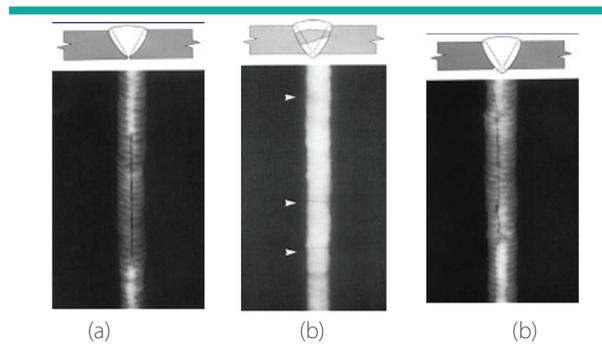


Fig. 27. (a) Falta de penetración. (b) Fisuras transversales. (c) Socavación de raíz.

### 7.3. Ultrasonido

Ultrasonido es una técnica de ensayo no destructivo confiable y rápida, que mide espesores y encuentra discontinuidades en la superficie, subsuperficie e interior del material a ensayar (dependiendo del palpador utilizado), pudiendo ser del tipo planar o volumétricos. El método consiste en utilizar ondas ultrasónicas en el rango de 0.1Mhz a 50Mhz, que penetrarán en metales, líquidos y muchos otros materiales a velocidades de varios miles de metros por segundo.

Se deberá emplear un acoplante (aceite, grasas o glicerina) con el objetivo de que el sonido pueda transmitirse del transductor a la pieza de trabajo sin que existan grandes pérdidas de energía en la interface acústica conformada por el espacio de aire entre el material a examinar y el palpador.

Las ondas de ultrasonido son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico dentro del palpador (transductor), éste tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente y por el efecto piezoeléctrico, el transductor vibra a altas frecuencias ocasionando las ondas ultrasónicas y estas ondas son transmitidas al material que se desea ensayar. Cuando el haz sónico alcanza la frontera del material se refleja, y el sonido reflejado es recibido por otro (o por el mismo) elemento piezoeléctrico y mediante un equipamiento (dependiendo el tipo) se puede ver un perfil acústico de la pieza.

Si el material no tiene defectos, se obtendrá una onda constante en su intensidad y posición. Pero si el material presenta discontinuidades, entonces la onda se reflejará, se atenuará o se dispersará, dando como resultado una disminución en la amplitud de la señal de la pared o la aparición de indicaciones antes de lo esperado. La persona calificada que esté realizando el ensayo deberá interpretar estas señales y podrá saber la localización, tamaño y tipo de discontinuidad encontrada. Entonces se debe evaluar si corresponde a una discontinuidad o a un defecto.

En el caso de medición de espesores, el equipo mide el tiempo que demora la onda en llegar hasta el otro extremo del material y volver. Teniendo la velocidad con la que viaja la onda en determinado material y el tiempo, el equipo calcula el espesor del material que se esté ensayando.

En este proceso, como se dijo, pueden encontrarse discontinuidades tanto superficiales, subsuperficiales como internas. El equipamiento es portátil y fácil de transportar. El operario debe tener gran experiencia, ya que el análisis es muy difícil y el equipamiento es muy costoso.

Los ensayos de ultrasonido se realizaron por pedido del gestor de Montes del Plata, quien por algún motivo los consideraba necesarios. Por ejemplo uno de los ensayos fue solicitado porque una raíz de soldadura había quedado un tiempo relativamente largo sin terminar, soportando grandes esfuerzos. En este caso se realizaron cuatro metros de ultrasonido divididos en cuatro ensayos de lado a lado de la soldadura, de un metro cada uno.

#### 7.4. Líquidos penetrantes

Líquidos penetrantes es una técnica de ensayos no destructivos precisa, simple y fácil de interpretar, empleada en materiales no porosos para buscar discontinuidades en la superficie o abierta a ella.

**Esta técnica se basa en la aplicación a la superficie a examinar de un líquido coloreado o fluorescente que penetra en las discontinuidades del material debido a tres fenómenos:**

- Mojabilidad o ángulo de contacto entre el líquido y el sólido. Por mojabilidad se entiende a la propiedad de un líquido de expandirse adhiriéndose a la superficie de un sólido. Ésta depende de la interacción del líquido con la fase sólida y gaseosa en la que se encuentra.
- La mojabilidad está estrechamente ligada a la tensión superficial, y está determinada por el ángulo de contacto con la superficie.
- Tensión superficial: forma de cohesión de las moléculas de la superficie del líquido en función de la cual, a igual volumen, asume la forma correspondiente a la mínima superficie compatible con el vínculo externo.
- Viscosidad: es la resistencia interna del fluido al desplazamiento.

Esta técnica se utilizó para las soldaduras del cabrestante del ancla bajo la norma de referencia UNI EN571-1: 1998 y los criterios de aceptación bajo la norma UNI EN 1289:2003.

#### 7.5. Pruebas neumáticas a tanques

La prueba neumática se realiza a todos los tanques con la supervisión en la mayoría de ellos del inspector del RINA. El objetivo de las pruebas neumáticas es la comprobación de la estanqueidad estructural en tanques y espacios vacíos y estructurales. Verificar que los elementos probados satisfacen los requisitos exigidos, asegurando y certificando la ausencia de pérdidas estructurales en uniones soldadas bajo una sobrepresión estática.

Se tuvo en cuenta en el momento de la realización de las pruebas que los tanques estaban en adecuado estado de limpieza y con ausencia total de líquidos.

Antes del montaje de los medios técnicos necesarios para la realización de la prueba, se realiza una inspección visual detallada del interior y exterior del tanque, centrándose principalmente en las uniones soldadas. Luego se montó el equipo de llenado de tanque y de control de presión, manómetro con válvula de seguridad, con rango de escala del orden de las presiones de prueba y columna de agua para prueba hidráulica.

Se inicia el llenado de aire del espacio a probar hasta alcanzar la presión de prueba.

En el momento que está todo preparado para realizar la prueba, se inicia ésta, dando presión de aire hasta alcanzar una presión máxima de manteniéndola en este nivel un tiempo mínimo de medio hora. En los valores de la presión en la prueba se permitió una variación de +/- 5% durante el tiempo indicado.

Después de dar presión se aplicó agua jabonosa en todas las soldaduras en esquinas de contorno de los tanques. Durante este tiempo se realizó una inspección visual de la zona aplicada con agua jabonosa para comprobar la ausencia de pérdidas en los accesorios del tanque o en uniones soldadas.

## 7.6. Control dimensional

Un control que se debe hacer a cada bloque que constituye la barcaza es el dimensional, que es la relación entre las medidas indicadas en los planos y las medidas reales de la barcaza. Esto a su vez debía estar aprobado por la Sociedad de Clasificación.

## 7.7. Pruebas de bombas

La prueba de bombas se realiza con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento del sistema de achique de los tanques de lastre de proa y popa. Este sistema está compuesto por un sistema de tubería y éste por tres bombas centrífugas, dos en popa y una auxiliar en proa, que por medio de un sistema adecuado de válvulas y tuberías permitirá el vaciado y llenado de los tanques de lastre. Las bombas son accionadas en parada y arranque desde el tablero eléctrico de comando ubicado en sala de bombas.

**Antes de la realización de las pruebas de bombas se debió hacer una revisión de:**

- Si el montaje de las bombas está conforme a los planos de servicio lastre en última revisión.
- Que se hayan comprobado las tolerancias en los polines del montaje de bombas.
- Que se haya realizado el apriete según indicaciones del fabricante de las bombas.
- Que se haya realizado la inspección visual sobre los componentes montados.
- Que se haya comprobado el caudal sin presión y rango de valores según indicaciones del fabricante.
- Que se haya comprobado caudal con presión de trabajo según indicaciones del fabricante.
- Que se hayan realizado las líneas según diámetro de succión y descarga indicadas.

## 7.8. Pruebas del sistema eléctrico

### 7.8.1. Cabrestante ancla

La prueba del cabrestante del ancla se realiza con el objetivo de comprobar su buen funcionamiento, verificando tanto la parte eléctrica como que el ancla baja sin problemas. En esto último hubo problemas, ya que el grillete no pasaba por el tubo del escoben, por lo que se cortó la parte superior del tubo del escoben para lograr que el ancla bajara sin ningún tipo de problemas.



Fig. 28. Pruebas del ancla; (a) falla; (b) reparación.

Para el sistema eléctrico se tuvo que comprobar antes de verificar su buen comportamiento lo siguiente:

- Que se haya realizado instalación según esquema definido en plano en última revisión.
- Que se haya realizado la inspección visual a la instalación y resto de componentes.
- Que se haya verificado que los componentes se ajustan a las dimensiones y calidades definidas.
- Comprobación de calibres en alojamientos en conductores, neutro y de protección.
- Existencia en todos los tomacorrientes conexión de conductores de protección en bornes puesta a tierra.
- Operación eficaz de maniobra y protección y comprobación de correcta ejecución de uniones.

### 7.8.2. Alumbrado sala de bombas/pañol

La iluminación tanto en la sala de bombas como en el pañol de proa consta de dos puntos de iluminación y uno de iluminación de emergencia.  $U=24V$  C.C. Protección interruptores de  $2 \times 10A$ .

### 7.8.3. Pruebas de luces de navegación

Para las luces de navegación, se cuenta con accesorios autoalimentados mediante baterías de 12 V, con sus correspondientes colores según lo establecido en "luces y marcas" de acuerdo al reglamento para prevenir abordajes de la reglamentación del acuerdo de transporte fluvial por hidrovía Paraguay-Panamá.

En la sala de bombas se alojan las baterías y los paneles de mando y señalización de las luces de navegación.

**El sistema de baterías permite el funcionamiento temporal de las luces de navegación una vez que la barcaza se desengancha del remolcador.**

- Luz de costado babor 60W
- Luz de costado estribor 60W
- Luz todo horizonte proa 60W
- Luz todo horizonte popa 60W
- Luz de alcance 60W
- Resistencia de aislación de la instalación eléctrica:  $1M\Omega$
- Puesta de masa de equipos eléctricos:  $100m\Omega$

### 7.8.4. Prueba de tubería de lastre

"Todo el sistema de cañerías será probado a una presión de una vez y media la presión de trabajo conforme a las indicaciones de los planos correspondientes al servicio". Antes de llevar a cabo la prueba de las tuberías se tiene que verificar que el montaje de los tubos se hizo conforme a planos, que se realizó una inspección visual a las soldaduras, que se haya comprobado los soportes según planos de montaje, que las tuberías estén libres de elementos en su interior, que se haya comprobado que el accionamiento de las válvulas es el correcto.

Valores de la prueba: Presión de trabajo de servicio de lastre:  $7 \text{ kg/cm}^2$ , Presión de prueba:  $10 \text{ kg/cm}^2$ , tiempo de prueba: 30 min.

## 8. Botadura

La botadura se realizó el día 9 de julio de 2014, con la ayuda de dos remolcadores, gatos hidráulicos y cuatro carros ubicados dos en proa y dos en popa. Los dos carros de popa se situaron a 22,2 m de la cuaderna 0 y los dos de proa a 70,2 m de la misma cuaderna.



Fig. 29. Botadura.

Cada carro está diseñado para soportar 500 toneladas e incorporan un sistema hidráulico que modifica la inclinación de la parte alta del carro de forma tal que la carga se reparte de forma homogénea sobre el carro, transmitiéndola a la grada mediante las treinta y dos ruedas que lo componen.

Previo a la botadura se debe realizar una exhaustiva limpieza de las guías por las cuales van a deslizar los carros de botadura, ya que por el tamaño y peso que soportan son muy susceptibles a cualquier desperfecto de ellas.

La guía por la cual se realiza la botadura tiene tres tramos, los dos primeros tramos de 108 m de longitud, compuesto por un tramo inicial con pendiente de 1%, seguida por un tramo de transición, y el tercer tramo de 65 m con una pendiente del 7%.

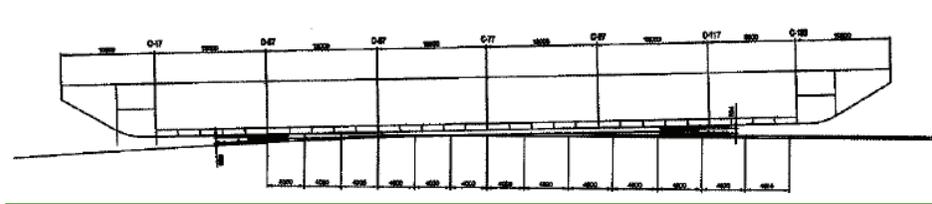


Fig. 30 - Perfil de la Grada de Varada

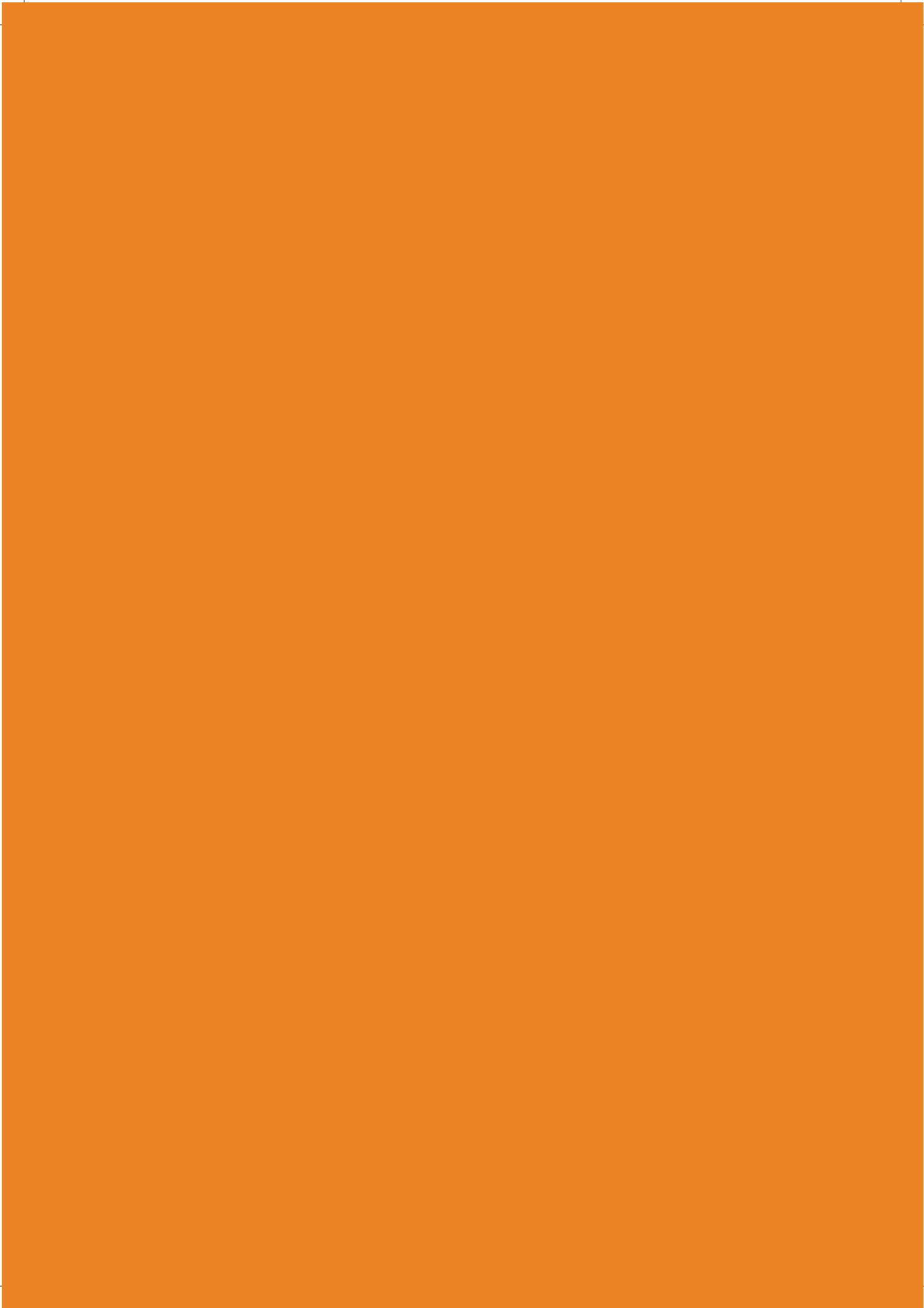
Después de contratiempos menores, se logró la botadura y la barcaza finalmente en el agua.



Fig. 31. Barcaza en el agua.



Fig. 32. Traslado a muelle de armamento.



[ISBN:978-9974-0-1780-1]

