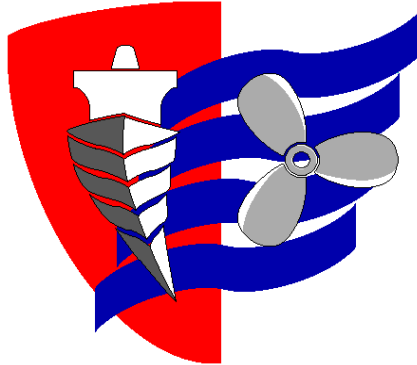


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**FORMULACIÓN COMPARADA SOBRE
LAS CURVAS HIDROSTÁTICAS DEL
BUQUE *LOS MOLINUCOS***

Compared formulation about the
hydrostatic curves of the ship *Los
Molinucos*

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Autor: Darío Sánchez de Movellán Costas

Director: José Iván Martínez García

Marzo -2016

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**FORMULACIÓN COMPARADA SOBRE
LAS CURVAS HIDROSTÁTICAS DEL
BUQUE *LOS MOLINUCOS***

Compared formulation about the
hydrostatic curves of the ship *Los
Molinucos*

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Marzo –2016

A toda la gente que me ha apoyado durante estos años de carrera y que me apoyarán en el futuro, mi familia, mis amigos y mi novia Raquel muchas gracias de corazón. Igualmente estaré eternamente agradecido al kárate y en especial a mi Sensei y gran amigo José Luis Ruiz Gallo, por cruzarse en mi vida y hacerme entender que todas las metas a las que aspire en la vida conllevarán detrás trabajo, sacrificios, tesón y valor. OSS.

ÍNDICE

RESUMEN	7
PALABRAS CLAVE	7
ABSTRACT	7
KEYWORDS	8
ANTECEDENTES	9
 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO	 10
1.1 DESCRIPCIÓN DEL BUQUE	18
1.1.1 DIMENSIONES PRINCIPALES	19
1.1.2 PESO MUERTO	19
1.1.3 ARQUEO BRUTO	20
1.1.4 CAPACIDADES	20
1.1.5 MAQUINARIA PROPULSORA Y AUXILIAR	20
1.1.6 VELOCIDAD, AUTONOMÍA Y CONSUMO	20
1.1.7 TRIPULACIÓN Y ACOMODACIONES	21
1.1.8 DISPOSICION GENERAL	22
1.1.9 REGLAS Y REGLAMENTOS	22
1.1.10 PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	23
 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	 24
2.1 MÉTODO DE INTEGRACIÓN APROXIMADA	25
2.1.1 MÉTODO DE LOS TRAPÉCIOS	25
2.1.2 SIMPSON	26
2.1.2.1 PRIMERA REGLA DE SIMPSON	26
2.1.2.2 REGLA 5, 8, -1	30
2.1.3 EXACTITUD DE LOS MÉTODOS APROXIMADOS DE INTERPOLACIÓN	33
2.1.3.1 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LOS TRAPÉCIOS Y SIMPSON	33
 CAPÍTULO III: DESARROLLO	 40
3.1 CURVAS HIDROSTÁTICAS	41
3.1.1 CARENAS RECTAS	41
3.1.2 OBTENCIÓN DE TABLAS HIDROSTÁTICAS A PARTIR DE LAS CURVAS	41
3.2 DETERMINACIÓN DEL CALADO EN CADA SECCIÓN DEL BUQUE	42

	CAPÍTULO IV: CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE UTILIZANDO LAS CURVAS HIDROSTÁTICAS	46
4.1	CÁLCULO DEL CALADO HIDROSTÁTICO Y DEL DESPLAZAMIENTO	47
	CAPÍTULO V: CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE UTILIZANDO CURVAS DE BONJEAN	49
5.1	CÁLCULO DEL VOLUMEN SUMERGIDO	50
5.2	CÁLCULO DEL VOLUMEN SUMERGIDO ENTRE LA SECCIÓN 0 Y LA SECCIÓN 20	50
5.3	CÁLCULO DEL VOLUMEN SUMERGIDO EN EL BULBO	52
5.4	CÁLCULO DEL VOLUMEN SUMERGIDO EN EL TIMÓN	54
5.5	CÁLCULO DEL VOLUMEN SUMERGIDO EN LA POPA	55
5.6	VOLUMEN TOTAL SUMERGIDO	57
	CAPÍTULO VI: CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE UTILIZANDO LA CARTILLA DE TRAZADO	58
6.1	CUERPO DE POPA	60
6.2	CUERPO CILÍNDRICO	61
6.3	CUERPO DE PROA	62
6.4	EJEMPLOS DE SEMIMANGAS	63
6.5	CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO	64
6.6	SUMATORIO TOTAL Y CÁLCULO FINAL	67
	CAPÍTULO VII: COMPARACIÓN DE RESULTADOS	68
	CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES	70
	GLOSARIO	72
	BIBLIOGRAFÍA	76

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado, titulado **“Formulación comparada sobre curvas hidrostáticas del buque *Los Molinucos*”** se ha desarrollado y centrado en el cálculo del desplazamiento de trazado de dicho barco utilizando 3 métodos distintos:

- Curvas de Bonjean.
- Cartilla de trazado.
- Curvas hidrostáticas y corrección de Nemoto.

Calcularemos tanto el área como el volumen sumergidos, para, finalmente, mediante Simpson y un proceso de formulación, obtener el desplazamiento de trazado.

Para llevarlo a cabo, nos hemos ayudado de los fondos de Astilleros del Atlántico S.A. depositados en el sótano de la E.T.S Náutica y de las herramientas informáticas Excel y Autocad.

PALABRAS CLAVE

Curvas hidrostáticas, calado, desplazamiento, curvas de Bonjean, cartilla de trazado, corrección por asiento, fórmula de Nemoto, integración por Simpson e integración con splines.

ABSTRACT

This Final Degree Project entitled **“Compared formulation about hydrostatic curves of the ship *LOS MOLINUCOS*”**, has been developed and focused on this ship moulded displacement calculation using 3 different methods:

- Bonjean's curves.
- Table of Offsets.
- Hydrostatic curves.

We will calculate the submerged area and volume, and, finally, we will obtain the molded displacement by Simpson and a formulation process.

To carry out it, we have used documents about Astilleros del Atlántico S.A.

deposited in Higher Technical School of Nautical basement.

KEYWORDS

Hydrostatic curves, draught, displacement, Bojean's curves, Table of Offsets, trim correction, Nemoto's formula, Simpson's rules and spline interpolation.

ANTECEDENTES

Archivo de Astilleros del Atlántico



Imagen del archivo.

Dado que en la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria se encuentra el Archivo de Astilleros del Atlántico S.A, este trabajo utiliza sus fondos para el estudio de la carena del plano número 209-210 perteneciente a la construcción del buque *Los Molinucos*.

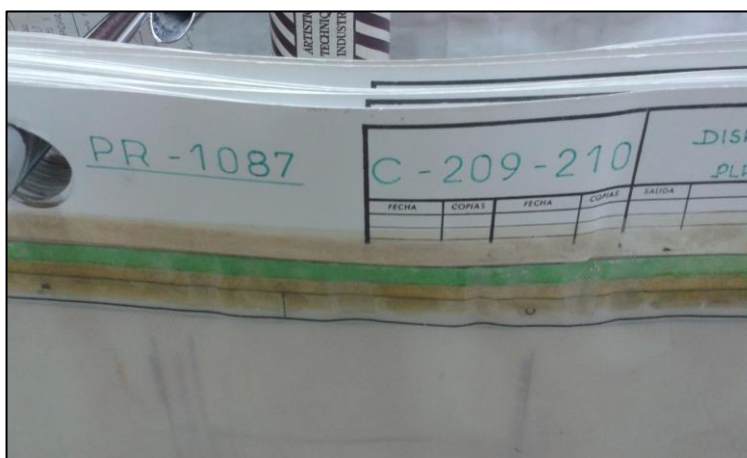


Planos de formas en tubos.

El archivo dispone de toda la documentación sobre la construcción de cada uno de los trescientos buques proyectados y realizados en las gradas del Astillero (proyectos completos de construcción, especificaciones, presupuestos, descripción de los buques, encargos y permisos, planos y fotografías).



Planos disponibles de la construcción del buque Los Molinucos.



Construcción 209-210, buque Los Molinucos.

Además se dispone de toda la información referida a las reparaciones efectuadas en el propio astillero, importantes colecciones de catálogos comerciales, libros y revistas sobre el sector de la ingeniería naval.

También hay que reseñar un importante apartado de planos y otros documentos gráficos relativos a la construcción de diferente maquinaria industrial.

De Talleres San Martín a Astilleros del Atlántico S.A

Los astilleros metálicos instalados en San Martín por López Dóriga, en 1878, son el precedente de los Astilleros del Atlántico, S.A.

Estos talleres destinados a trabajos de construcción y reparación naval en hierro se fueron ampliando su existencia a partir de 1880.

La primera construcción naval fue la del vapor de pasaje con casco metálico “Fernández y Gutiérrez.

En 1896 tras la muerte de Eduardo López- Dóriga, se constituye con sus herederos la sociedad, *Talleres de San Martín, Sociedad Anónima* dedicada a la fabricación de todo tipo de “construcciones metálicas, maquinaria, calderería y fundición“.

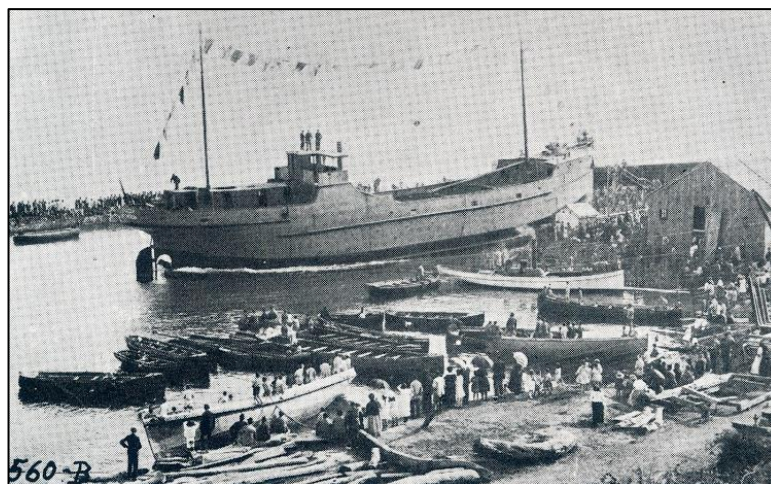
Esta sociedad se disuelve en 1913 y se adjudican los terrenos y edificios a Corcho que ya poseía acciones del capital social.

Entre los años 1886 y 1889 los talleres que Corcho tenía ubicados en Sotileza habían realizado también construcciones navales similares a las de los talleres San Martín de López-Dóriga. Construyeron entre otros una serie de gabarras de hierro para varios consignatarios de Santander y a finales de siglo se intensifican sus trabajos de reparaciones navales a flote: principalmente, en los buques de la Trasatlántica. Encargándose preferentemente de las instalaciones de las cocinas de cobre de los buques correos, especialidad propia de los talleres Corcho.

En 1915 se construye el primer barco en San Martín: un remolcador de 55 toneladas de arqueado y casco de acero encargado por el Junta de Obras del Puerto de Gijón.

En 1916 Corcho comenzó la construcción de seis pequeños vapores de casco de acero para los arsenales de la Armada española.

Entre 1914 y 1919, los astilleros de San Martín viven un auténtico auge dedicándose a las reparaciones navales y modificaciones de buques que la Primera Guerra Mundial demandaba. [6]



Botadura del buque Sotileza el 11 de septiembre de 1919.

En 1920 se les otorgaba la concesión del emplazamiento y ampliación de gradas en la playa de San Martín.

El primer vapor de carga de los astilleros es el "Sotileza", con 446 toneladas de Registro Bruto, 550 de peso muerto y 1.042 de desplazamiento. Medía 45,35 metros de eslora, 7,81 de manga, 3.4 de puntal.

A finales de 1955 la Compañía Trasatlántica modifica su razón social y financiera auspiciando y promoviendo numerosas construcciones navales de cargueros: el "Mirenchu", el "Mariángeles" y el "Mariloli" de Clemente Campos y Cia; el "San Floro", "Miguelín Pombo" y "Joselín" de J.M. Pombo Romero-Robledo. "Libra" y "Escorpión" para Proma, S.A. "Inmediatamente después vino a contratar la Marítima del Norte con una larga serie de *sierras*".



Construcción del mercante Mirenchu en las gradas de Gamazo.

A finales de 1961, Corcho Hijos, S.A. se divide. Los Talleres de construcción naval toman el nombre de “Basse Sambre-Corcho, S.A. (Corbasa), controlada por capital belga. Y la factoría de la Reyerta pasa a denominarse Corcho Sociedad Anónima.

La primera empresa del astillero mantuvo su línea de construcción naval de buques de carga con encargos de Marítima del Norte, frigoríficos para la “Pesquera Industrial Gallega” y “H.J. Velasco”; portacontenedores para Equimar, S.A. de Bilbao, pesqueros para el armador Daniel Ponce, pontones, etc.

En 1971 la empresa se encuentra endeudada y supuso el fin de Corbasa. Los Astilleros de San Martín surgieron de nuevo con el nombre de Astilleros



del Atlántico, S.A. con importante financiación cántabra: Jaime Pérez, de Pérez y Cia, S.A. relanza el astillero: el “Ángel “ y “Ave” para Naviera Astro; “Gabriela de Pérez y María de las Angustias “ para el grupo Pérez; “Galia “ y Termancia” para Euroflot; “Ibio e “Iruz” para Naviera Álvarez, y “Cabuerniga y Valdálga” para Naviera Saja, del grupo Correa; varios buques

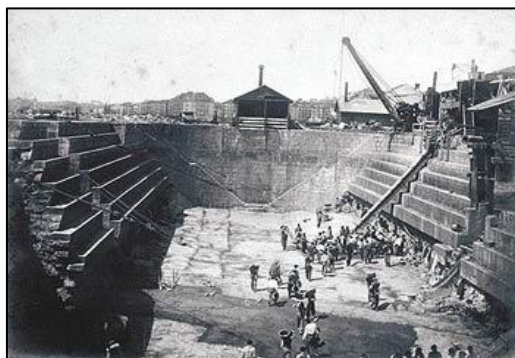
españoles para faenas auxiliares submarinas; “John L. Guidry”, “Asay D. Guidry”, “Saja”, “Cazorla”, “Circos”, “Somiedo”, “Benasque” y “Reres”; tres pesqueros factoría para Corea del Sur; doce pesqueros convencionales para armadores españoles; tres artefactos; varios portacontenedores para la exportación ,etc.

Entre 1984 y 1987 comienzan los primeros años de la reconversión del sector naval. Este período se caracterizó por una producción muy reducida debido a a la deprimida situación del mercado de buques mercantes y al bajo nivel de ayudas existentes en España en relación con otros países competidores. El Astillero termina cerrando sus puertas en 1988.

Historia del dique de Gamazo

La tradición marítima de Santander se remonta a más de dos milenios, constituyendo un puerto logístico para la formación de armadas y una modesta población de pescadores y comerciantes hasta que, a mediados del siglo XVIII se produce un incremento espectacular de la actividad mercantil. El origen de este relanzamiento económico será debido a un decidido apoyo de la Corona para canalizar el comercio de las lanas castellanas a través de su puerto. Es en esta época cuando se comienzan a elaborar proyectos de mejora y ampliación de los espacios portuarios, actividad que continuará a todo lo largo del siglo XIX. En la segunda mitad de este siglo se produce un notable incremento de las actividades portuarias, lo que ocasiona la necesidad de disponer de suficientes varaderos y talleres para el mantenimiento y reparación de buques. En este contexto surge la necesidad de disponer de un dique.

Un terreno ganado al mar entre la península de San Martín, las peñas de Dos Hermanas y la actual bocana de la dársena de Molnedo, junto a la parrilla del varadero. Es un dique seco de carena y orientación este-oeste.



Se comenzó a construir en el año 1884, terminándose de construir en 1908. El antedique se construyó en 1905 y en 1906 y 1907 el asiento y el barco puerta, realizándose en 1907 la verja modernista de cierre de hierro forjado. El carenero “parrilla” se construyó adosado a la banda sur del futuro dique y se finalizó en 1887. La casa de bombas daba alojamiento a una caldera de vapor de agua que alimentaba dos pequeñas máquinas para el achique. El tiro del hogar lo suministraba una alta chimenea de sección octogonal. En la cabecera del dique se situaría una grúa de vapor con caldera incorporada.

Esta construcción de la Junta de Obras del Puerto estuvo dando el servicio para el que estaba destinado durante ochenta años, en los que pasaron por

él cientos de barcos de todo tipo para reparaciones, inspecciones, labores de mantenimiento o construcciones.

Desguace de la draga de Gamazo



Imagen de una grúa realizando las labores del desguace de la draga.

El 18 de septiembre de 2012 dieron comienzo los trabajos de desguace de la draga Loreto que se encontraba atracada desde 1993 en el dique de Gamazo de Santander, que está declarado Bien de Interés Cultural (BIC) con categoría de Monumento desde el año 2001.

Lo anunció Autoridad Portuaria de Santander en marzo del mismo año.

La draga fue construida en Cádiz, concretamente en los astilleros Matagorda de la Sociedad Española de Construcción Naval en 1966, allí la equiparon expertos holandeses. Se trata de una draga fija, con 6 cables “al mar” de 40, 35 y 32 milímetros de diámetro, y equipada con gánguiles (para recibir, conducir y verter en alta mar el fango, la arena, la piedra, etc., que extrae la draga) que cargaban el fango que se extraía a través de unas tolvas.

En 1968 llegó a Santander para realizar las tareas de dragado de la bahía de Santander, trabajo que realizó hasta finales de 1992, siempre bajo la dirección de José María Bedia, quien fue su único capitán durante los 25 años de actividad.

Fue entonces, a finales de 1992, cuando se decidió dejarla atracada en el dique de Gamazo.

Gamazo en la actualidad

En junio de 2013 el Puerto de Santander sacaba a licitación las obras de rehabilitación del dique de Gamazo, que enlazarían el edificio del Centro de Alto Rendimiento de vela.

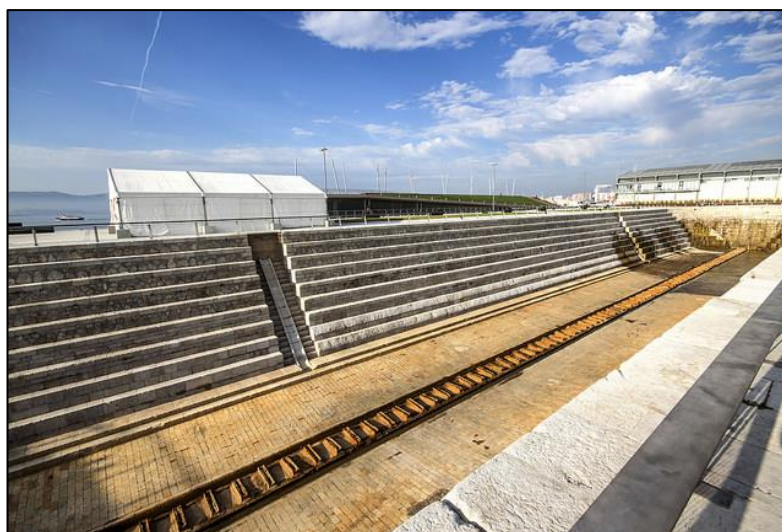


Imagen del dique de Gamazo una vez finalizadas las obras de remodelación.

La restauración, inaugurada el 3 de septiembre de 2014, está integrada por varios elementos de interés, como la Casa de las Bombas, ejemplo de la arquitectura industrial inglesa y en donde se encontraban las bombas que vaciaban el dique, así como los compresores, conservados en un bajo con techo de cristal que se destinará a museo y exposiciones. Otro elemento es el dique, sobre el que se ha realizado una intensa labor de limpieza en los escalones en forma de grada que lo conforma. Dicho vaso se encuentra vacío en la actualidad para contemplarlo en su integridad y para facilitar el visionado y la seguridad se ha rodeado de una barandilla. Además de una jardinera en la fachada este del Centro Especializado de Alto Rendimiento de Vela (CEAR) se ha instalado una malla de césped transitable en las zonas verdes, ya que se tiene previsto que en este lugar se coloquen embarcaciones que participan en el Mundial de Vela. [7]

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO.

Por medio de este Trabajo Fin de Grado, titulado “Formulación comparada sobre curvas hidrostáticas del buque *Los Molinucos*”, quiero desarrollar y definir, en base a mis conocimientos adquiridos y experiencia en teoría del buque, la comparación del cálculo del desplazamiento de trazado de un buque utilizando 3 métodos distintos para ello.

Para la realización del cálculo utilizaremos la el método de integración de Simpson y la corrección de Nemoto.

El primer método consta de la utilización de las curvas hidrostáticas del buque y es el método que se utiliza mundialmente para el transporte marítimo de mercancías.

Para el segundo método utilizaremos las curvas de Bonjean.

Finalmente, para el tercer método nos valdremos de la cartilla de trazado.

El cálculo del desplazamiento para los 3 casos debe realizarse de manera minuciosa y precisa, ya que el más mínimo fallo nos puede llevar a un cálculo erróneo del mismo.

1.1 Descripción del buque



El buque LOS MOLINUCOS es un buque cementero gemelo del GALIZANO, BERRIA y OYAMBRE. Fue diseñado, construido y posteriormente entregado (1981) por ASTILLEROS DEL ATLANTICO, S.A, en la localidad de Santander (España).

1.1.1 Dimensiones principales

- Eslora total aproximada.....106,50 mts
- Eslora entre perpendiculares.....97,15 mts
- Manga de trazado.....15,80 mts
- Puntal a la cubierta superior.....8,70 mts
- Calado de trazado.....6,70 mts
- Calado de escantillado.....7,00 mts
- Brusca trapezoidal en cubierta superior.....200 mm

1.1.2 Peso muerto

El peso en rosca del buque será el peso del mismo con todos sus equipos y alistamiento, incluyendo lastre fijo, piezas de respeto requeridas por la Sociedad de Clasificación, maquinaria en condición de trabajo, aceite lubricante en toda la maquinaria, pero no en los tanques de almacenaje, agua en los sistemas de tuberías en los espacios de máquinas, agua en los sistemas de agua dulce pero sin ningún ítem consumible o de peso variable, como son, líquidos en los tanques del doble fondo, tanques altos, tanques en almacenaje o reserva, o cualquier asignación para carga, almacenes, tripulación y sus efectos.

El buque deberá tener un peso muerto de 6000 toneladas al calado de máxima carga en agua de mar con una densidad específica de $1,025 \text{ t/m}^3$.

1.1.3 Arqueo bruto

Deberá tener un arqueo bruto (según reglamentación española) de aproximadamente 3300 TRB.

1.1.4 Capacidades

- Capacidad de combustible.....400m³
- Capacidad de A.D.....100m³
- Capacidad de lastre.....1750m³
- Capacidad total de tanques de cemento.....6000m³

1.1.5 Maquinaria propulsora y auxiliar

1. Motor principal:
 - Número de unidades.....1
 - Potencia máx continua (DINA-A 6270).....4400 BHP.aprox
2. Planta eléctrica:
 - Motor generador principal. N°.....4
 - Potencia máx. continua (DIN-A 6270).....
.....564 HP. a 1800rpm aprox. c/u.
 - Motor generador de emergencia y puerto. N°.....1
 - Potencia máx. continua (DINA-A 6270).....
.....160 HP. a 1800rpm aprox.

1.1.6 Velocidad, autonomía y consumo

La velocidad en pruebas al calado de máxima carga y al 85% de la potencia máxima continua del motor propulsor y a las revoluciones nominales, será aproximadamente de 13,5 nudos.

Para obtener la velocidad al calado que se indica, se efectuará la correlación que corresponda de acuerdo con las curvas del Canal de Experiencias a partir

de los datos obtenidos en la prueba de mar al calado de pruebas en lastre.
La autonomía del buque a plena carga y velocidad de 13,5 nudos será de unas 6000 millas.

El consumo del motor principal será aproximadamente de 155 grs/HP/hora, a la potencia máxima continua, con un margen del 5% y considerando un combustible con un poder calorífico inferior de 10000 Kcal/kg.

1.1.7 Tripulación y acomodaciones

1 Capitan.....	Cabina individual
1 1 ^{er} Oficial	“ “
1 2 ^o Oficial	“ “
1 3 ^{er} Oficial	“ “
1 Telegrafista	“ “
1 Sobrecargo	“ “
1 Enfermero	“ “
1 Contramaestre	“ “
3 Timoneles.....	Cabina doble
3 Mozos de cubierta	“ “
1 1 ^{er} Cocinero	“ “
1 2 ^o Cocinero	“ “
2 Camareros	“ “
1 Jefe de máquinas.....	Cabina individual
1 2 ^o Maquinista	“ “
1 3 ^{er} Maquinista	“ “
1 4 ^o Maquinista	“ “
1 Ayudante de máquinas	“ “
3 Engrasadores.....	Cabina doble
1 Mozo Máquinas	“ “
1 Electricista.....	Cabina individual
1 Operador de bombas.....	Cabina doble
1 2 ^o Electricista	“ “
2 Agregados	“ “
2 Agregados	“ “

Total:

- 14 Camarotes individuales.
- 10 Camarotes dobles.

1.1.8 Disposición General

El buque será de cubierta corrida, con una sola hélice, con proa de bulbo y popa de estampa.

La maquinaria propulsora estará colocada a popa.

El puente y las acomodaciones estarán 1/3 a popa.

El casco estará dividido por mamparos estancos en los siguientes compartimentos:

- Pique de proa.
- Tanque profundo y caja de cadenas.
- Bodegas n^{os} 1 y 2 Br. Y Er.
- Cámara de maquinaria de carga y descarga de cemento.
- Bodegas n^{os} 3 y 4 Br. Y Er.
- Tanques profundos de combustible.
- Cámara de máquinas.
- Pique de popa y servomotor.
- Tanques de agua dulce.

Los tanques de lastre se situarán en el doble fondo según se indica en la Disposición General.

1.1.9 Reglas y Reglamentos

El buque, incluido su equipo y su maquinaria propulsora, deberá constuirse bajo la supervisión de Lloyd's Register of Shipping para alcanzar la cota + 100 A1 + LMC "UMS" "CEMENT CARRIER".

El buque cumplirá asimismo con las siguientes reglas y reglamentos:

- Reglamento Español de Reconocimiento de Buques y Embarcaciones Mercantes (Aut. Españolas).

-
- Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (1974).
 - Convenio Internacional de Líneas de Carga (1966).
 - Reglamento Internacional para prevenir los abordajes (1972). (Aut. Españolas).
 - Convenio 133 de la Organización Internacional del Trabajo, relativo al alojamiento de la tripulación a bordo (Aut. Españolas año 1970).
 - Convenio Internacional de Telecomunicación de 1960 y apéndices de 1974 (Aut. Españolas).
 - Reglas del Canal de Panamá y Suez.
 - Reglas vigentes en España a la firma del Contrato.

1.1.10 Pruebas hidrostáticas

Las pruebas se realizarán de acuerdo con los requerimientos de la Sociedad de Clasificación y con la asistencia del inspector del Armador y de la Sociedad de Clasificación.

Se realizarán pruebas de estanqueidad de forro y cubiertas con manguera a presión y antes de aplicar pintura alguna.

Todos los tanques del buque serán inspeccionados y repasados antes de realizar la prueba. Antes de aceptar las pruebas de tanques y cerrarlos, el representante del Armador tendrá la oportunidad de inspeccionarlos en el interior.

Se harán pruebas de estanqueidad de los cierres de escotillas con manguera a presión.

Los locales que estén expuestos a continuas salpicaduras y cuyos pisos están cubiertos con cemento o baldosines, tales como aseos, cocina, gambuza, etc, deben ser llenados con agua hasta la altura de la brazola antes de colocar el piso con el fin de asegurarse que no habrá fugas a otros compartimentos.

Todas las pruebas deberán realizarse después de haberse completado todos los trabajos que afecten a la estanqueidad y antes de colocar los pisos.

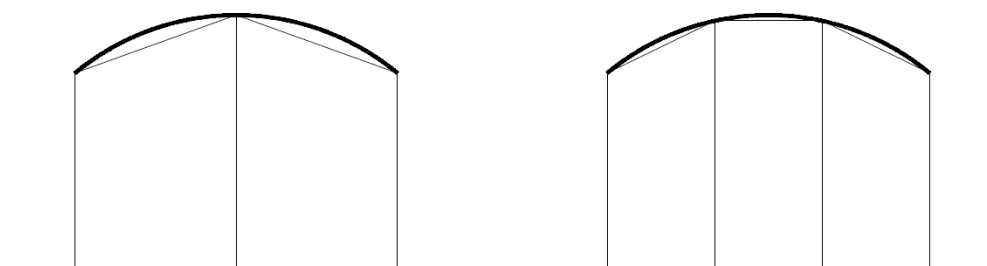
Todas las ventanas, portillos y puertas estancas serán probadas con mangueras con una presión no menor de 2 kg/cm². [4]

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

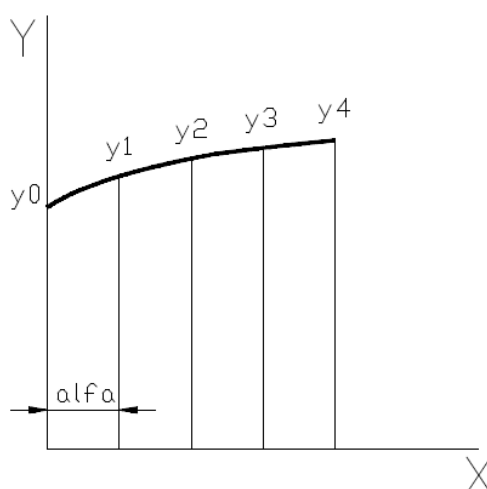
2.1 Métodos de integración aproximada

2.1.1 Método de los trapecios

El método más simple e intuitivo de integración aproximada es el método de los trapecios, en el que se sustituye la función o la curva por varias cuerdas que unen los extremos de las ordenadas (también se puede decir que se sustituye en cada tramo por un polinomio de primer grado). Es evidente que se conseguirá mayor precisión en la medida en que se tenga un número mayor de ordenadas y por consiguiente de cuerdas, pues la adaptación de las cuerdas a la función mejora, tal y como se puede ver en las figuras siguientes.



El procedimiento de cálculo consiste en hallar el área de los distintos trapecios entre ordenadas consecutivas y sumarlos todos. Aquí se parte de que la separación entre ordenadas consecutivas es siempre la misma, o sea, igual a α .



El trapecio entre y_0 e y_1 tendrá el área:

$$Área_0 = \alpha \times \frac{y_0 + y_1}{2}$$

y el siguiente trapecio:

$$Área_1 = \alpha \times \frac{y_1 + y_2}{2}$$

Y así sucesivamente, con lo que sacando factor común y arreglando los coeficientes queda:

$$Área_t = \alpha \times \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right)$$

Otro método es el de Simpson. Aquí en vez de cuerdas, se sustituye la función por un polinomio de segundo grado (función cuadrática). Al ser una curva suave su adaptación será mejor que en el método anterior. Puesto que se aplica una función de segundo grado, se puede integrar esta función y buscar un sistema para que partiendo de las ordenadas y del intervalo de separación, se pueda calcular el área.

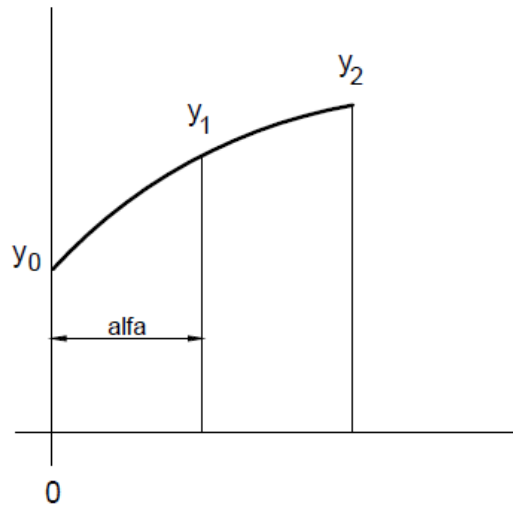
2.1.2 Simpson

En este método se sustituye la función por un polinomio de segundo grado (función cuadrática). Al ser una curva suave su adaptación será mejor que en el método anterior. Puesto que se aplica una función de segundo grado, se puede integrar esta función y buscar un sistema para que partiendo de las ordenadas y del intervalo de separación, se pueda calcular el área.

2.1.2.1 Primera regla de Simpson

La función es:

$$y = ax^2 + bx + c$$



Integrando para determinar el área:

$$\text{Área} = \int_0^{2\alpha} f(x) dx$$

$$\text{Área} = \int_0^{2\alpha} y dx$$

$$\text{Área} = \int_0^{2\alpha} (ax^2 + bx + c) dx$$

$$\text{Área} = \left[\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \right]_0^{2\alpha}$$

$$\text{Área} = \frac{a(2\alpha)^3}{3} + \frac{b(2\alpha)^2}{2} + c2\alpha$$

$$\text{Área} = \frac{8a\alpha^3}{3} + \frac{4b\alpha^2}{2} + 2c\alpha$$

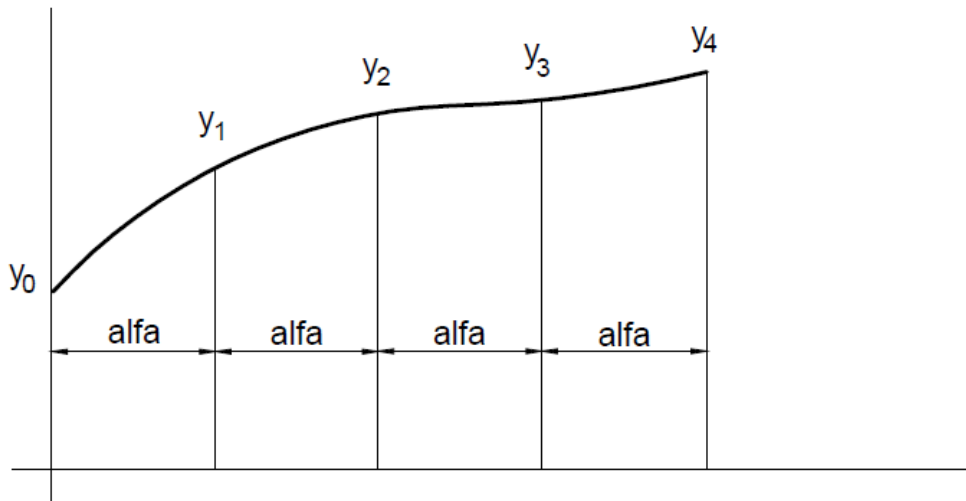
Sacando factor común $\alpha/3$:

$$\text{Área} = \frac{\alpha}{3} (8a\alpha^2 + 6b\alpha + 6c)$$

Se puede sustituir:

$$\text{Área} = \frac{\alpha}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

Ahora se pueden poner ordenadas de un área anexa:

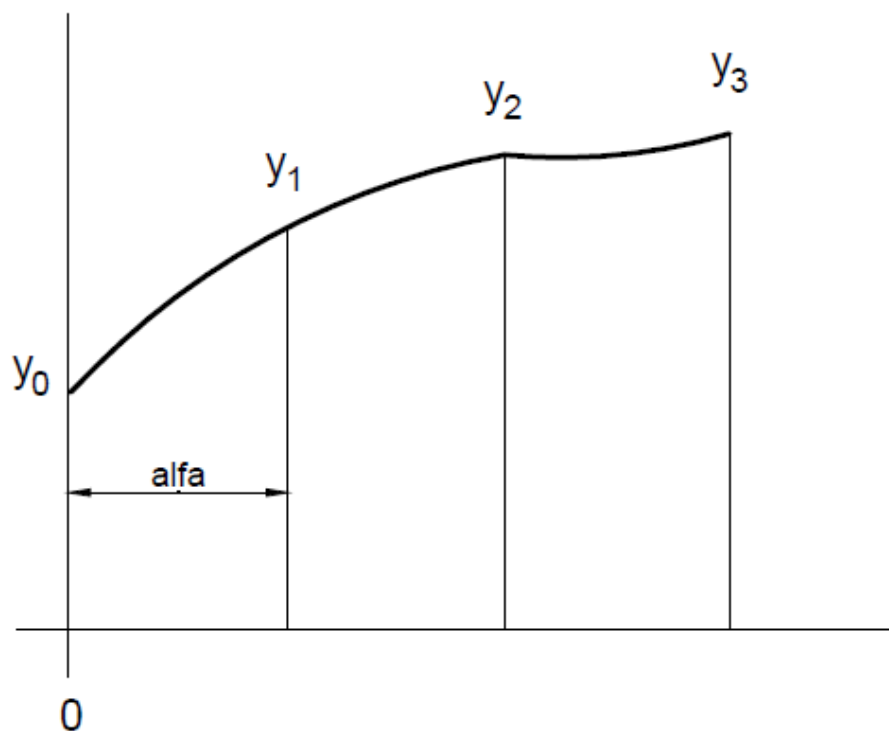


Si se aplica lo anterior a las ordenadas siguientes, al sumar todo se tiene:

$$\text{Área}_{TOTAL} = \frac{\alpha}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2) + \frac{\alpha}{3} (y_2 + 4y_3 + y_4)$$

$$\text{Área}_{TOTAL} = \frac{\alpha}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4)$$

En el caso de tener un número de intervalos múltiplo de 3, se podrá aplicar la segunda regla de Simpson, en la que se sustituye la curva por una parábola cúbica, tal y como se ve en el siguiente gráfico preparado para el caso inicial de cuatro ordenadas y tres intervalos iguales, necesarios para la función de tercer grado:



Procedimiento de una manera similar a la anterior:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$\text{Área} = \int_0^{3\alpha} y dx$$

$$\text{Área} = \left[\frac{ax^4}{4} + \frac{bx^3}{3} + \frac{cx^2}{2} + dx \right]_0^{3\alpha}$$

$$\text{Área} = \frac{a(3\alpha)^4}{4} + \frac{b(3\alpha)^3}{3} + \frac{c(3\alpha)^2}{2} + d3\alpha$$

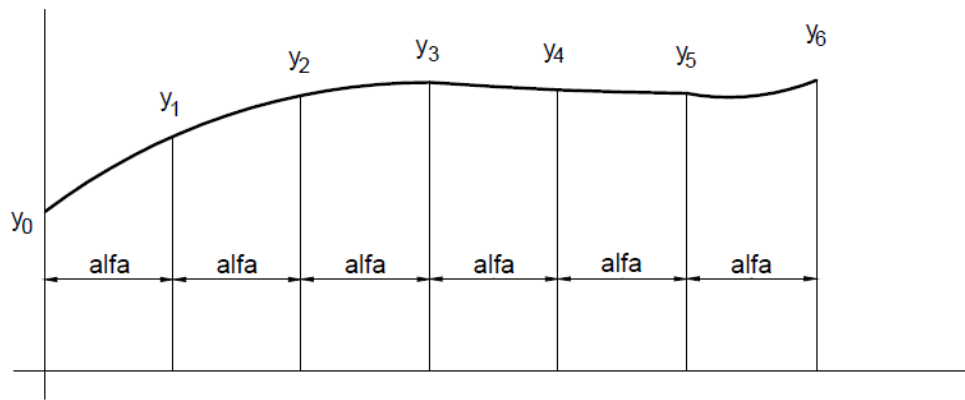
$$\text{Área} = \frac{81a\alpha^4}{4} + \frac{27b\alpha^3}{3} + \frac{9c\alpha^2}{2} + 3d\alpha$$

$$\text{Área} = \frac{3\alpha}{3} (54a\alpha^3 + 24b\alpha^2 + 12c\alpha + 8d)$$

Sustituyendo:

$$\text{Área} = \frac{3\alpha}{8} (y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3)$$

Poniendo ordenadas de un área anexa:

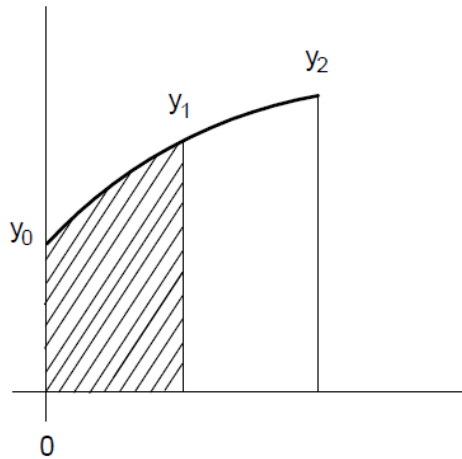


$$\text{Área}_{TOTAL} = \frac{3\alpha}{8} (y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3) + \frac{3\alpha}{8} (y_3 + 3y_4 + 3y_5 + y_6)$$

$$\text{Área}_{TOTAL} = \frac{3\alpha}{3} (y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 2y_3 + 3y_4 + 3y_5 + y_6)$$

2.1.2.2 Regla 5, 8, -1

Esta regla es una variante de la primera regla de Simpson, que sirve para calcular solamente una de las dos áreas, o bien la comprendida entre las ordenadas \$y_0\$ e \$y_1\$, o entre \$y_1\$ e \$y_2\$. En un principio, si sólo se toman dos ordenadas, no quedará más remedio que aplicar la regla de los trapecios, pues por sus extremos podrían pasar infinitas parábolas, pero al usar la tercera ordenada, aunque el área que ella está tocando no se cuente, se podrá definir una única parábola y así obtener la exactitud el método de Simpson, que es mayor que la del método de los trapecios.



La función es la siguiente:

$$y = ax^2 + bx + c$$

Integrando la función para calcular el área rayada:

$$\text{Área} = \int_0^{\alpha} f(x) dx$$

$$\text{Área} = \alpha \left(\frac{a\alpha^2}{3} + \frac{b\alpha}{2} + c\alpha \right)$$

$$\text{Área} = \int_0^{\alpha} y dx$$

$$y_0 = ax_0^2 + bx_0 + c$$

$$\text{Área} = \int_0^{\alpha} (ax^2 + bx + c) dx$$

$$y_0 = a \times 0 + b \times 0 + c$$

$$\text{Área} = \left[\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \right]_0^{\alpha}$$

$$y_0 = c$$

$$\text{Área} = \frac{a(\alpha)^3}{3} + \frac{b(\alpha)^2}{2} + c\alpha$$

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c$$

$$y_1 = a\alpha^2 + b\alpha + c$$

$$\text{Área} = \frac{a\alpha^3}{3} + \frac{b\alpha^2}{2} + c\alpha$$

$$y_2 = ax_2^2 + bx_2 + c$$

$$y_2 = a(2\alpha)^2 + b2\alpha + c$$

$$y_2 = 4a\alpha^2 + 2b\alpha + c$$

Tomando una serie de veces cada incógnita de la columna derecha se podrán igualar los resultados de ambas columnas, y así encontrar los coeficientes pedidos. Se trata de obtener lo que hay en el paréntesis de la primera.

$$\text{Área} = \alpha(py_0 + qy_1 + ry_2)$$

$$\begin{array}{rcl} p \cdot y_0 & = & p \cdot c \\ q \cdot y_1 & = & q \cdot a \cdot \alpha^2 + q \cdot b \cdot \alpha + q \cdot c \\ r \cdot y_2 & = & r \cdot 4 \cdot a \cdot \alpha^2 + r \cdot 2 \cdot b \cdot \alpha + r \cdot c \\ \hline () & = & a \cdot \alpha^2/3 + b \cdot \alpha/2 + c \end{array}$$

Sumando e igualando verticalmente; al tratarse de una identidad:

$$\begin{array}{rclclcl} 0 & + & q \cdot a \cdot \alpha^2 & + & r \cdot 4 \cdot b \cdot \alpha^2 & = & a \cdot \alpha^2/3 \\ 0 & + & q \cdot b \cdot \alpha & + & r \cdot 2 \cdot b \cdot \alpha & = & b \cdot \alpha/2 \\ p \cdot c & + & q \cdot c & + & r \cdot c & = & c \end{array}$$

Simplificando:

$$\begin{array}{rclclcl} 0 & + & q & + & 4r & = & 1/3 \\ 0 & + & q & + & 2r & = & 1/2 \\ p & + & q & + & r & = & 1 \end{array}$$

Que resulta en un sistema de ecuaciones lineales (tres ecuaciones y tres incógnitas) que se resuelve algebraicamente de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 1/2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Finalmente, se obtienen los coeficientes que forman la regla tercera de Simpson:

$$\text{Área} = \alpha \left(\frac{a\alpha^2}{3} + \frac{b\alpha}{2} + c \right) = \alpha \left(\frac{5y_0}{12} + \frac{2y_1}{3} - \frac{y_2}{12} \right)$$

$$\text{Área} = \frac{\alpha}{12} (5y_0 + 8y_1 - y_2)$$

[1]

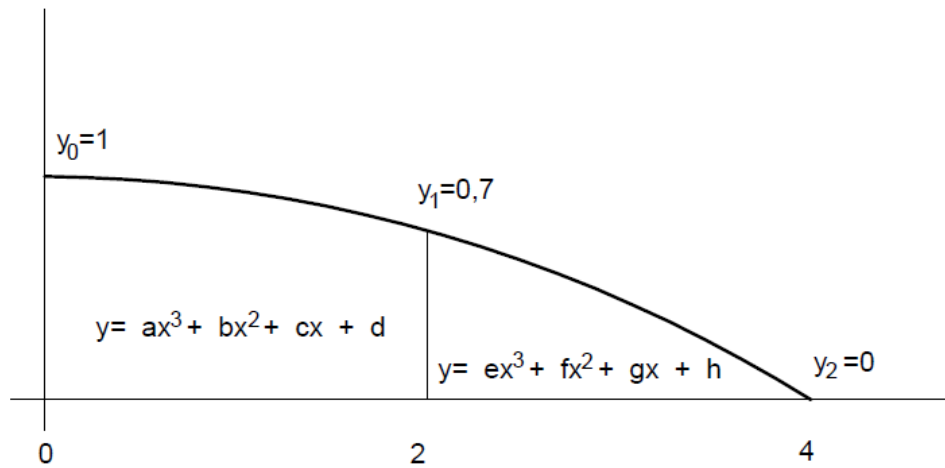
2.1.3 Exactitud de los métodos aproximados de integración

A continuación se detalla el porcentaje de exactitud, o mejor dicho, el porcentaje de error de los métodos de Simpson y de los trapecios. Para ambos se aplicará un alfa de 1 y de 2.

2.1.3.1 Comparación método de los trapecios y Simpson.

Cuanto mayor sea el grado de subdivisión: mayor será la exactitud de estos métodos. Existen métodos más exactos, tales como el método de Gauss, el de Tchebycheff y el de Newton-Cotes, pero no tienen la facilidad de aplicación que pueden tener los de Simpson o el de los “Trapecios”.

Para una embarcación que fue proyectada con splines (polinomios a trozos) de grado 3 (trazadores cúbicos) con condición natural en los extremos. Calcular el error que se comete al aplicar el método de Simpson y el método de los “Trapecios” para la división de la eslora mostrada en la figura y para una mayor división.



Para cada porción de la línea de agua se establece una ecuación cúbica. La línea de agua tiene continuidad y la transición de un polinomio al siguiente se hace de tal manera, que la pendiente y la curvatura son iguales en el punto de unión. Se conocen los puntos, pues se conoce la eslora a la que está cada sección y la semimanga en la flotación, con lo que se pueden escribir dos ecuaciones, pero no se conocen sus coeficientes. Para poder determinarlos será necesario escribir 8 ecuaciones y así obtener los valores de a, b, c, d, e, f, g y h.

Ecuaciones:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$y = ex^3 + fx^2 + gx + h$$

De la primera ecuación se puede escribir:

$$1 = a \times 0^3 + b \times 0^2 + c \times 0 + d$$

$$d = 1$$

$$0,7 = a \times 2^3 + b \times 2^2 + c \times 2 + d$$

$$0,7 = 8a + 4b + 2c + d$$

De la segunda ecuación se puede escribir:

$$0,7 = e \times 2^3 + f \times 2^2 + g \times 2 + h$$

$$0,7 = 8e + 4f + 2g + h$$

$$0 = e \times 4^3 + f \times 4^2 + g \times 2 + h$$

$$0 = 64e + 16f + 4g + h$$

Igualando las primeras derivadas en el punto común:

$$y' = 3ax^2 + 2bx + c$$

$$y' = 3ex^2 + 2fx + g$$

$$3ax^2 + 2bx + c = 3ex^2 + 2fx + g$$

$$12a + 4b + c - 12e - 4f - g = 0$$

Igualando las segundas derivadas en el punto común:

$$y'' = 6ax + 2b$$

$$y'' = 6ex + 2f$$

$$6a \times 2 + 2b = 6e \times 2 + 2f$$

$$6a + b - 6e - f = 0$$

Las dos ecuaciones restantes se pueden escribir sabiendo que se trata de splines naturales, que se generan dando una curvatura nula en los puntos inicial y final (popa y proa), con lo que las segundas derivadas en esos puntos serán iguales a cero.

$$0 = 6a \times 0 + 2b$$

$$b = 0$$

$$0 = 6e \times 4 + 2f$$

$$12e + f = 0$$

Con estas 8 ecuaciones se pueden obtener todos los coeficientes. La solución viene dada por:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 4 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 4 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 64 & 16 & 4 & 1 \\ 12 & 4 & 1 & 0 & -12 & -4 & -1 & 0 \\ 6 & 1 & 0 & 0 & -6 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 12 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Las soluciones son:

$$a = -0,0125$$

$$b = 0$$

$$c = -0,1$$

$$d = 1$$

$$e = 0,0125$$

$$f = -0,15$$

$$g = 0,2$$

$$h = 0,8$$

Al integrar matemáticamente se obtienen los siguientes resultados, correspondientes a la flotación completa:

$$S_F = 5m^2$$

$$M_x S_F / 2 = 0,95552m^3$$

$$M_y = 7,3m^3$$

$$I_x = 1,04978m^4$$

$$I_y = 15,413m^4$$

Seguidamente se calcula lo anterior, pero por el método de Simpson ($\alpha=2$):

	y	CS	f sup	n	f M _y	y ₂	f M _x	n ²	f l _y	y ³	f l _x
Y ₀	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Y ₁	0,7	4	2,8	1	2,8	0,49	1,96	1	2,8	0,343	1,372
Y ₂	0	1	0	2	0	0	0	4	0	0	0
Σ=			3,8		2,8		2,96		2,8		2,372

Con los datos obtenidos en la tabla anterior y aplicando las fórmulas ya vistas, resulta:

$$S_F = 2 \frac{\alpha}{3} \sum = 5,06m^2 \rightarrow 1,33\%$$

$$M_x S_F / 2 = \frac{\alpha}{6} \sum = 0,986m^3 \rightarrow 3,26\%$$

$$M_y = 2 \frac{\alpha^2}{3} \sum = 7,46m^3 \rightarrow 1,82\%$$

$$I_x = 2 \frac{\alpha}{9} \sum = 1,0542m^4 \rightarrow 0,42\%$$

$$I_y = 2 \frac{\alpha^3}{3} \sum = 14,93m^4 \rightarrow -3,11\%$$

El porcentaje indica el error para $\alpha = 2$ usando el método de Simpson. Los porcentajes se han calculado con la siguiente fórmula:

$$Error = \frac{\text{valor obtenido} - \text{valor exacto}}{\text{valor exacto}} \times 100$$

Aplicando el método de los "Trapecios" ($\alpha=2$):

	y	CT	f sup	n	f M _y	y ₂	f M _x	n ²	f l _y	y ³	f l _x
Y ₀	1	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0	1	0,5
Y ₁	0,7	1	0,7	1	0,7	0,49	0,49	1	0,7	0,343	0,343
Y ₂	0	0,5	0	2	0	0	0	4	0	0	0
Σ=			1,2		0,7		0,99		0,7		0,843

$$S_F = 2\alpha \sum = 4,8m^2 \rightarrow -4\%$$

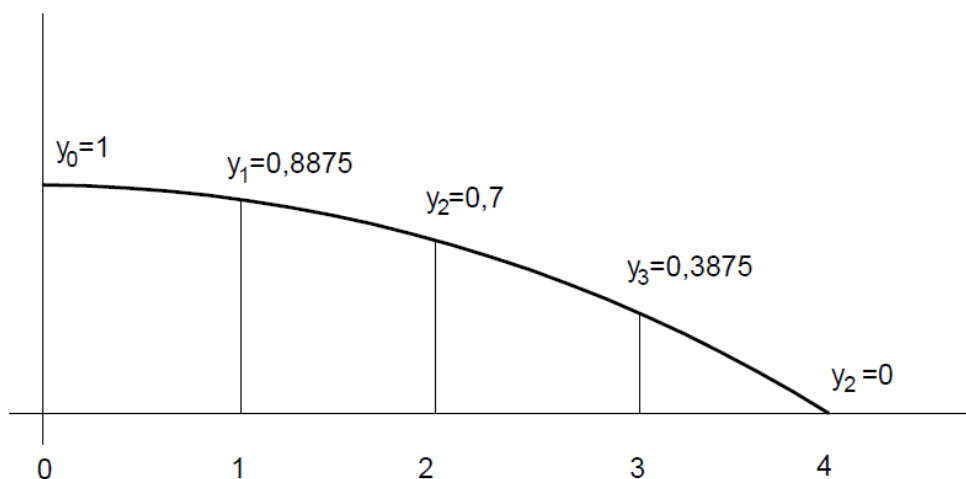
$$M_x S_F / 2 = \frac{1}{2} \sum = 0,99m^3 \rightarrow 3,61\%$$

$$M_y = 2\alpha^2 \sum = 5,6m^3 \rightarrow -23,64\%$$

$$I_x = \frac{2}{3} \alpha \sum = 1,124m^4 \rightarrow 7,07\%$$

$$I_y = 2\alpha^3 \sum = 11,2m^4 \rightarrow -27,34\%$$

Como se puede apreciar, el método de Simpson da mejores resultados. Ahora se va a subdividir la eslora, y puesto que se conocen los coeficientes de los polinomios de las ecuaciones de la línea de agua, se obtienen los valores intermedios que se muestran en la siguiente figura.



Se resuelve por el método de Simpson en la siguiente tabla, obteniéndose los siguientes porcentajes de error ($\alpha=1$):

	y	CS	f sup	n	f My	y ₂	f M _x	n ²	f I _y	y ³	f I _x
Y ₀	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Y ₁	0,8875	4	3,55	1	3,55	0,788	3,151	1	3,55	0,699	2,796
Y ₂	0,7	2	1,4	2	2,8	0,49	0,98	4	5,6	0,343	0,686
Y ₃	0,3875	4	1,55	3	4,65	0,150	0,601	9	13,95	0,058	0,233
Y ₄	0	1	0	4	0	0	0	16	0	0	0
Σ=			7,5		11		5,731		23,1		4,715

$$S_F = 5m^2 \rightarrow 0,00\%$$

$$\frac{M_x S_F}{2} = 0,95521m^3 \rightarrow -0,03\%$$

$$M_y = 7,3m^3 \rightarrow 0,00\%$$

$$I_x = 1,04776m^4 \rightarrow -0,19\%$$

$$I_y = 15,4m^4 \rightarrow -0,09\%$$

Se resuelve por el método de los “Trapecios” ($\alpha=1$):

	y	CS	f sup	n	f M _y	y ₂	f M _x	n ²	f I _y	y ³	f I _x
Y ₀	1	0,5	0,5	0	0	1	0,5	0	0	1	0,5
Y ₁	0,8875	1	0,888	1	0,888	0,788	0,788	1	0,888	0,699	0,699
Y ₂	0,75	1	0,750	2	1,5	0,563	0,563	4	3	0,422	0,422
Y ₃	0,3875	1	0,388	3	1,163	0,150	0,150	9	3,488	0,058	0,058
Y ₄	0	0,5	0	4	0	0	0	16	0	0	0
Σ=			2,525		3,55		2,000		7,375		1,679

Los datos de la tabla anterior dan los siguientes porcentajes de error:

$$S_F = 5,05m^2 \rightarrow 1,00\%$$

$$\frac{M_x S_F}{2} = 1,00016m^3 \rightarrow 4,67\%$$

$$M_y = 7,1m^3 \rightarrow -3,18\%$$

$$I_x = 1,11940m^4 \rightarrow 6,63\%$$

$$I_y = 14,75m^4 \rightarrow -4,30\%$$

Comparación de errores:

	Simpson α=2	Trapecios α=2	Simpson α=1	Trapecios α=1
S _F	1,33%	-4,00%	0,00%	1,00%
M _x	3,26%	3,61%	-0,03%	4,67%
M _y	1,82%	-23,64%	0,00%	-3,18%
I _x	0,42%	7,07%	-0,19%	6,63%
I _y	-3,11%	-27,34%	-0,09%	-4,30%

Conclusión:

El método de Simpson es más exacto, y con un adecuado nivel de subdivisión, es decir, para un α pequeño con relación a la eslora, su precisión es muy aceptable. En los buques se emplean 21 ordenadas y algunas intermedias en los finos de proa y popa, lo cual garantiza la adecuada exactitud del método. [1]

CAPÍTULO III. DESARROLLO

3.1 Curvas hidrostáticas

3.1.1 Carenas rectas

Hasta hace pocos años, la información sobre las hidrostáticas del buque se suministraba únicamente en papel y, además en lo referente a los valores de desplazamiento, coordenadas del centro de carena y de la flotación, etc., estaba impresa en planos y contenían una serie de curvas donde el argumento era el calado. Cuando el primer oficial necesitaba un dato, tenía que ir al plano. Lo mismo ocurría con los datos de estabilidad, tales como curvas cruzadas, brazos GZ supuestos, momentos escorantes máximos, máximo valor de KG, etc.

Hoy en día, el uso de ordenadores está completamente extendido y los buques pueden tener programas informáticos específicos adaptados al barco, que resuelvan todas las necesidades en cuanto a cálculos de estabilidad y calados del buque.

Aunque poco extendidos, existe una serie de programas informáticos que se pueden adaptar fácilmente a cualquier barco. También existe una herramienta tremendamente versátil, que es la hoja de cálculo. El único requisito inicial para poder generar una hoja de cálculo, que al menos resuelva los problemas básicos, es que los datos hidrostáticos estén disponibles en un archivo informático, y que estos tengan la debida exactitud y precisión.

3.1.2 Obtención de tablas hidrostáticas a partir de las curvas

En primer lugar, hace falta obtener los datos de la curva $\otimes F$ en el plano. No son necesarios muchos puntos pero sí es importante que la lectura se haga con mucho cuidado. Los puntos a escoger son estos: punto inicial y final, puntos de máxima curvatura, puntos relativamente próximos a estos, puntos de inflexión y también los próximos a estos. En el caso de querer trabajar con una curva de momentos volumétricos, será interesante hacerlo a trozos, siendo el primero hasta el máximo momento volumétrico y el otro desde éste hasta el final, y también serían argumentos la pendiente inicial y la final.

Según el tipo de interpolación es posible que interese conocer la pendiente inicial y final de la curva. Hay que tener cuidado de no tomarla directamente de ella, pues los datos suelen estar a escala.

En este problema se va a trabajar con splines cúbicos de una manera elaborada, en cuanto a que se va a emplear una herramienta informática de las varias disponibles. La herramienta es el complemento de interpolación para Microsoft Excel: Interpolación.xla, pero también se puede usar el programa informático Matlab u otros similares.

Los datos de partida son:

CALADO (m)	$\otimes F$ (m)
0	-0,725
1	-0,692
2	-0,689
3	-0,714
4	-0,795
5	0,875
6	0,705
7	0,57

A continuación se escriben estos datos en una hoja de cálculo Excel y se instala el complemento de interpolación. Para instalarlo, primero hay que descargarlo desde la página del autor y a continuación hay que descomprimirlo, tal y como se indica en las instrucciones. En la versión de Excel 2010 hay que ir a Herramientas / Complementos / Examinar, y a continuación hay que buscar el archivo Interpolación.xla. la seguridad de Macros debe bajarse al nivel medio en: Herramientas / Opciones / Seguridad / Seguridad de Macros. En las versiones modernas de Excel hay que ir a Archivo / Opciones / Complementos / y pinchar en Administrar Complementos de Excel / → Ir. Del mismo modo, hay que habilitar el uso de Macros, entonces hay que ir a: Archivos / Opciones / Centro de Confianza y configurar habilitando todas las Macros, aunque esto puede ser peligroso (por otras que sean dañinas).

Creamos una columna en Excel con los calados de centímetro en centímetro (de 0 a 7 metros). Al lado de esta columna creamos otra para los valores de cf. Y en la primera celda ponemos la siguiente fórmula: CERCHA(F6;\$C\$5:\$D\$12) y copia hasta emparejar completamente la columna con los calados buscados.

El resultado será una tabla con una interpolación.

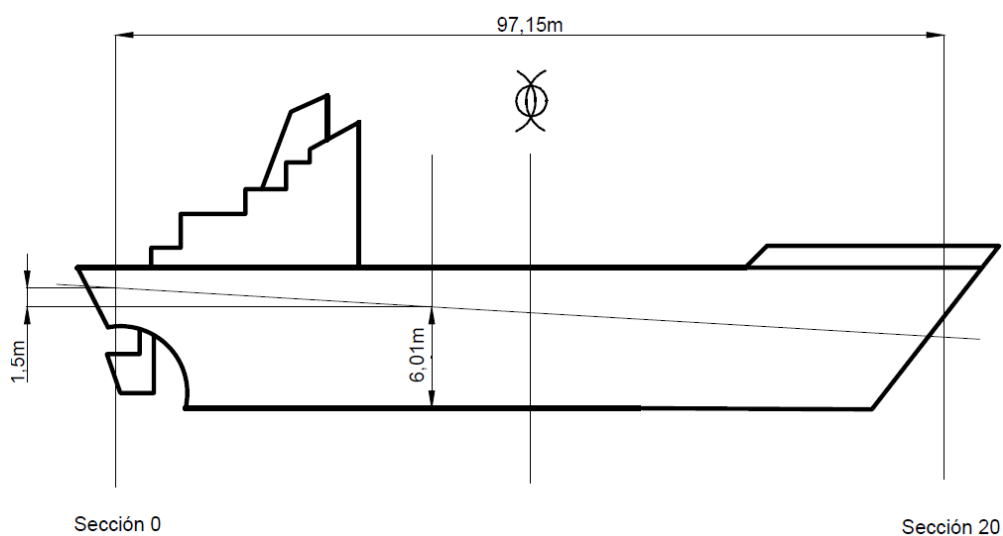
=CERCHA(F6;\$C\$5:\$D\$12)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4			CALADOS	XF				
5			0	-0,725		Calado	XF	
6			1	-0,692		0	-0,725	
7			2	-0,689		0,01	-0,72448333	
8			3	-0,714		0,02	-0,72396678	
9			4	-0,795		0,03	-0,72345045	
10			5	0,875		0,04	-0,72293445	
11			6	0,705		0,05	-0,72241891	
12			7	0,57		0,06	-0,72190392	
13						0,07	-0,72138961	
14						0,08	-0,72087608	
15						0,09	-0,72036344	
16						0,1	-0,71985182	
17						0,11	-0,71934131	
18						0,12	-0,71883204	
19						0,13	-0,71832411	
20						0,14	-0,71781764	
21						0,15	-0,71731273	
22						0,16	-0,71680951	
23						0,17	-0,71630807	
24						0,18	-0,71580854	
25						0,19	-0,71531103	
26						0,2	-0,71481565	
27						0,21	-0,71432225	

[1]

3.2 Determinación del calado en cada sección del buque

El buque presenta un asiento de 1,5m apopante y calado en F de 6,01m. Para calcular el calado en cada sección previamente debemos de calcular el calado en la sección 0 y posteriormente la separación entre cada sección.



Esquema del calado y asiento del buque.

Calculo del calado en la sección 0

$$\otimes F = \frac{19,45\text{cm} \times 0,10\text{m}}{1\text{cm}}$$

$$\otimes F = 1,945\text{m}$$

$$App = \frac{A(\frac{E_{pp}}{2} - \otimes F)}{E_{pp}}$$

$$App = \frac{1,5\text{m}(\frac{97,15\text{m}}{2} - 1,945\text{m})}{97,15\text{m}}$$

$$App = 0,72\text{m}$$

$$Cs0 = Ch + App$$

$$Cs0 = 6 + 0,72 = 6,72\text{m}$$

Cálculo de la separación entre secciones:

$$Separación = \frac{\frac{E_{PP}}{20} \times Asiento}{E_{PP}}$$

$$Separación = \frac{\frac{97,15}{20} \times 1,5}{97,15}$$

$$Separación = 0,075\text{m}$$

Cálculo del calado en cada sección

Este cálculo es muy sencillo. Al calado máximo le restaremos progresivamente su correspondiente número de sección multiplicado por la separación entre secciones (0,075).

$$CALADO_{SECCIÓN} = Cal_{MAX} - (Núm_{SECCIÓN} \times Sep.)$$

$$Cs1 = 6,72 - (1 \times 0,075) = 6,645m$$

$$Cs2 = 6,72 - (2 \times 0,075) = 6,57m$$

$$Cs3 = 6,72 - (3 \times 0,075) = 6,495m$$

$$Cs4 = 6,72 - (4 \times 0,075) = 6,420m$$

$$Cs5 = 6,72 - (5 \times 0,075) = 6,345m$$

$$Cs6 = 6,72 - (6 \times 0,075) = 6,270m$$

$$Cs7 = 6,72 - (7 \times 0,075) = 6,195m$$

$$Cs8 = 6,72 - (8 \times 0,075) = 6,120m$$

$$Cs9 = 6,72 - (9 \times 0,075) = 6,045m$$

$$Cs10 = 6,72 - (10 \times 0,075) = 5,970m$$

$$Cs11 = 6,72 - (11 \times 0,075) = 5,895m$$

$$Cs12 = 6,72 - (12 \times 0,075) = 5,820m$$

$$Cs13 = 6,72 - (13 \times 0,075) = 5,745m$$

$$Cs14 = 6,72 - (14 \times 0,075) = 5,670m$$

$$Cs15 = 6,72 - (15 \times 0,075) = 5,595m$$

$$Cs16 = 6,72 - (16 \times 0,075) = 5,520m$$

$$Cs17 = 6,72 - (17 \times 0,075) = 5,445m$$

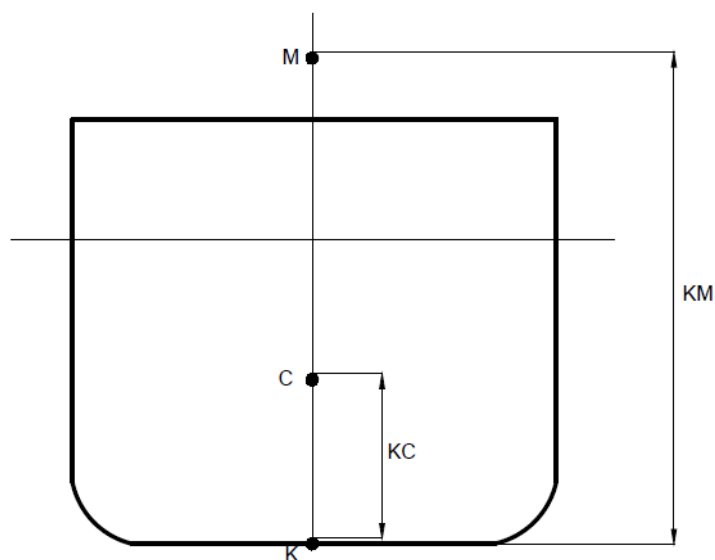
$$Cs18 = 6,72 - (18 \times 0,075) = 5,370m$$

$$Cs19 = 6,72 - (19 \times 0,075) = 5,295m$$

$$Cs20 = 6,72 - (20 \times 0,075) = 5,220m$$

CAPÍTULO IV. CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE UTILIZANDO LAS CURVAS HIDROSTÁTICAS

En la siguiente figura podemos observar KM y KC.



Para la determinación del desplazamiento de trazado del buque nos hemos valido de las curvas hidrostáticas del mismo, haciendo especial hincapié en el volumen de trazado, en la curva de $\otimes F$ (abscisa centro de flotación), en x_C (abscisa centro de carena), momento unitario, KC (ordenada centro de carena), radio metacéntrico y las ordenadas del metacentro.

4.1 Cálculo del calado hidrostático y del desplazamiento

$$Cm (Sección 10) = 5,97m$$

Atendiendo al plano de curvas hidrostáticas observamos que el $\otimes F$ está a 19cm hacia popa.

Aplicando la escala correspondiente (1cm de plano = 0,1m de $\otimes F$) obtenemos que $\otimes F = 1,9m$.

$$1^a C^{on} por asiento = \frac{A \times \otimes F}{E_{pp}} = \frac{1,5 \times 1,9}{97,15} = 0,029m$$

$$1\% E_{pp} = 0,9715m$$

$$A > 1\% E_{pp} = 1,5 > 0,9715m$$

$$C_m + 0,5 = 6,47m \rightarrow M_u = 91,7 \text{ t} \times m/cm$$

$$C_m - 0,5 = 5,47m \rightarrow M_u = 77,3 \text{ t} \times m/cm$$

$$\lambda M_u = 91,7 - 77,3 = 14,4$$

$$2^a C^{on}_{por asiento(Nemoto)} = \frac{\lambda M_u \times A^2}{2 \times T cm^{-1} \times E_{pp}}$$

$$2^a C^{on}_{por asiento} = \frac{14,4 \times 1,5^2}{2 \times 13,3 \times 97,15} = 0,025m$$

$$C_h = C_m + 1^a C^{on} + 2^a C^{on}$$

$$C_h = 5,97 + 0,029 + 0,013 = 6,01m$$

$$C_h = 6,01m \rightarrow 70,5cm \text{ en Curvas hidrostáticas}$$

$$1cm \rightarrow 100tm$$

$\Delta_{TRAZADO} = 7050 \text{ toneladas}$

CAPÍTULO V. CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE UTILIZANDO CURVAS DE BONJEAN

Para la realización de este cálculo utilizaremos las curvas de Bonjean del buque. En ellas mediremos la distancia de cada curva respecto a su eje central para calcular el área sumergida en cada sección del propio buque y posteriormente calcular el volumen y desplazamiento.

Análogamente utilizaremos la herramienta informática Microsoft Office Excel para realizar la interpolación correspondiente y obtener una tabla de superficies correspondientes a cada centímetro de calado. Esto será posible gracias a la función CERCHA, la cual realiza el proceso de interpolación basándose en una matriz inicial de calados y superficies previamente medidas. Una vez obtenidas todas las tablas necesarias, aplicaremos a cada superficie su correspondiente coeficiente de Simpson y obtendremos la función volumen para cada superficie. Una vez calculado el volumen sumergido para cada parte del barco (utilizando su correspondiente sumatorio y separación (α)), procederemos a la suma total de ello y lo multiplicaremos por la densidad del agua de mar para obtener el desplazamiento de trazado.

5.1 Cálculo del volumen sumergido

Todas las medidas inicialmente serán presentadas en metros, previamente aplicada la correspondiente escala (1/50). Finalmente aplicaremos el coeficiente de Simpson y con el correspondiente proceso de formulación obtendremos el volumen sumergido.

5.2 Cálculo del volumen sumergido entre la sección 0 y la sección 20

SECCIONES	SUPERFICIE (m ²)	COEF. SIMPSON	FUNCIÓN VOLUMEN (m ³)
0	5,7	1	5,7
0,5	10,1	4	40,4
1	21,382	1	21,382

$$\sum FUN.VOLUMEN = 67,482m^3$$

$$\alpha = 2,42875$$

$$V_{S_0-S_1} = \left(\frac{\alpha}{3}\right) \times \sum FUN.VOLUMEN$$

$$V_{S_0-S_1} = \left(\frac{2,42875}{3}\right) \times 67,482$$

$$V_{S_0-S_1} = 54,632 \text{ m}^3$$

SECCIONES	SUPERFICIE (m ²)	COEF.SIMPSON	FUNCIÓN VOLUMEN (m ³)
1	21,382	1	21,382
2	43,26	4	173,04
3	63,816	2	127,632
4	79,528	4	318,112
5	90,049	2	180,098
6	94,822	4	379,288
7	95,919	2	191,838
8	95,626	4	382,504
9	95,287	2	190,574
10	94,102	4	376,408
11	92,917	2	185,834
12	91,732	4	366,928
13	89,858	2	179,716
14	87,833	4	351,332
15	82,236	2	164,472
16	71,656	4	286,624
17	56,917	2	113,834
18	36,541	4	146,164
19	17,952	1	17,952

$$\sum FUN.VOLUMEN = 4153,732 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 4,8575$$

$$V_{S_1-S_{19}} = \left(\frac{\alpha}{3}\right) \times \sum FUN.VOLUMEN$$

$$V_{S_1-S_{19}} = \left(\frac{4,8575}{3}\right) \times 4153,732$$

$$V_{S_1-S_{19}} = 6725,584 \text{ m}^3$$

SECCIONES	SUPERFICIE (M2)	COEF. SIMPSON	FUNCIÓN VOLUMEN (m3)
19	17,952	1	17,952
19,5	13	4	52
20	9,133	1	9,133

$$\sum FUN.VOLUMEN = 79,085 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 2,42875$$

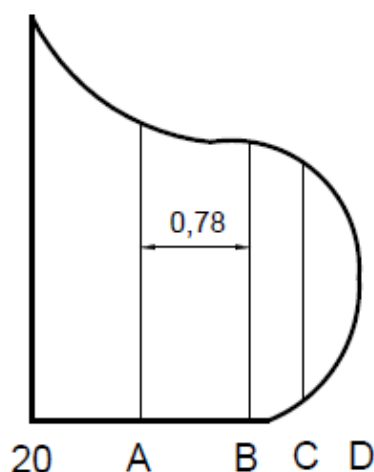
$$V_{S_{19}-S_{20}} = \left(\frac{\alpha}{3}\right) \times \sum FUN.VOLUMEN$$

$$V_{S_{19}-S_{20}} = \left(\frac{2,42875}{3}\right) \times 79,085$$

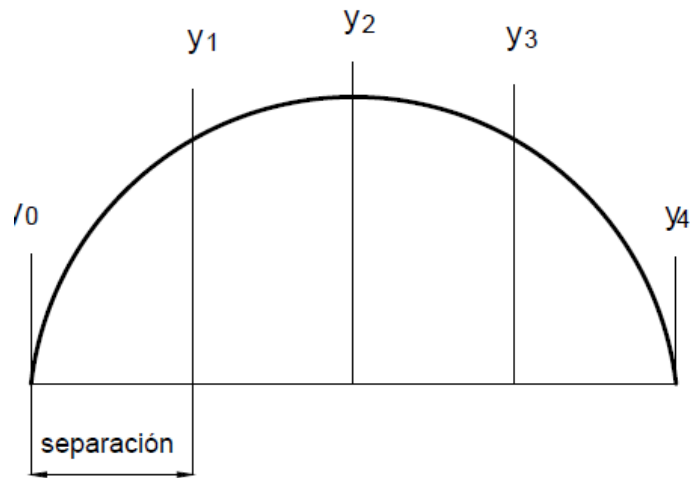
$$V_{S_{19}-S_{20}} = 64,025 \text{ m}^3$$

5.3 Cálculo del volumen sumergido en el bulbo

El bulbo del buque LOS MOLINUCOS está compuesto por 5 secciones, que van desde la sección 20 hasta la sección D. La separación entre las secciones 20, A y B es de 0,78m, mientras que la separación entre las secciones B, C y D es concretamente la mitad, 0,39m, respectivamente.



Cálculo de superficies



$$S_{20} = \frac{\alpha}{3} (1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 1y_4)$$

$$\frac{S_{20}}{2} = \frac{(1,21)}{3} (1 \times 0 + 4 \times 0,96 + 2 \times 1,36 + 4 \times 1,21 + 1 \times 0)$$

$$S_{20} = 9,20m^2$$

$$S_A = \frac{\beta}{3} (1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 1y_4)$$

$$\frac{S_A}{2} = \frac{(0,913)}{3} (1 \times 0 + 4 \times 1,13 + 2 \times 1,25 + 4 \times 1,06 + 1 \times 0)$$

$$S_A = 6,85m^2$$

$$S_B = \frac{\gamma}{3} (1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 1y_4)$$

$$\frac{S_B}{2} = \frac{(0,65)}{3} (1 \times 0 + 4 \times 0,9 + 2 \times 1 + 4 \times 0,85 + 1 \times 0)$$

$$S_B = 3,9m^2$$

$$S_C = \frac{\delta}{3}(1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 1y_4)$$

$$\frac{S_C}{2} = \frac{(0,48)}{3}(1 \times 0 + 4 \times 0,675 + 2 \times 0,73 + 4 \times 0,61 + 1 \times 0)$$

$$S_C = 2,11m^2$$

$$S_D = 0m^2$$

$$V_{BULBO} = \frac{0,78}{3} \left(1S_{20} + 4S_A + \frac{3}{2}S_B + 2S_C + \frac{1}{2}S_D \right)$$

$$V_{BULBO} = \frac{0,78}{3} \left(1 \times 9,2 + 4 \times 6,85 + \frac{3}{2} \times 3,9 + 2 \times 2,11 + \frac{1}{2} \times 0 \right)$$

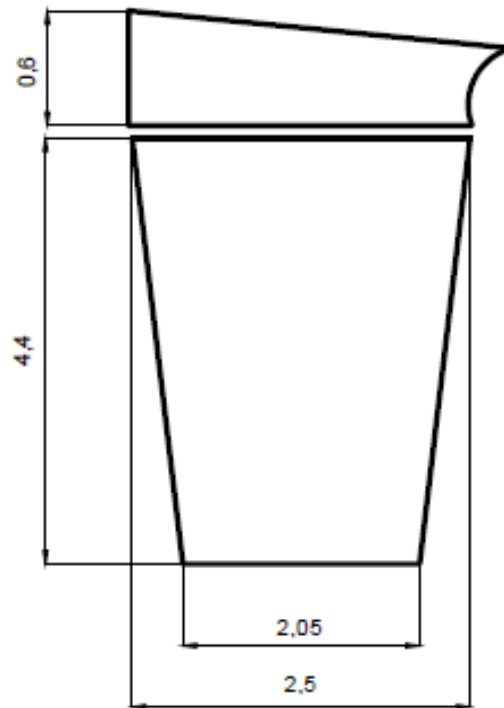
$$V_{BULBO} = \frac{0,78}{3} \left(1 \times 9,2 + 4 \times 6,85 + \frac{3}{2} \times 3,9 + 2 \times 2,11 + \frac{1}{2} \times 0 \right)$$

$$V_{BULBO} = \frac{0,78}{3}(46,67)$$

$$V_{BULBO} = 12,13m^3$$

5.4 Cálculo del volumen sumergido en el timón

El cálculo del volumen del timón ha sido muy sencillo, ya que se hallaba calculado en los planos de construcción con todo tipo de detalle.



$$AREA_{TIMON} = 11,38 \, m^2$$

$$ANCHURA \, MEDIA_{TIMON} = 0,66m$$

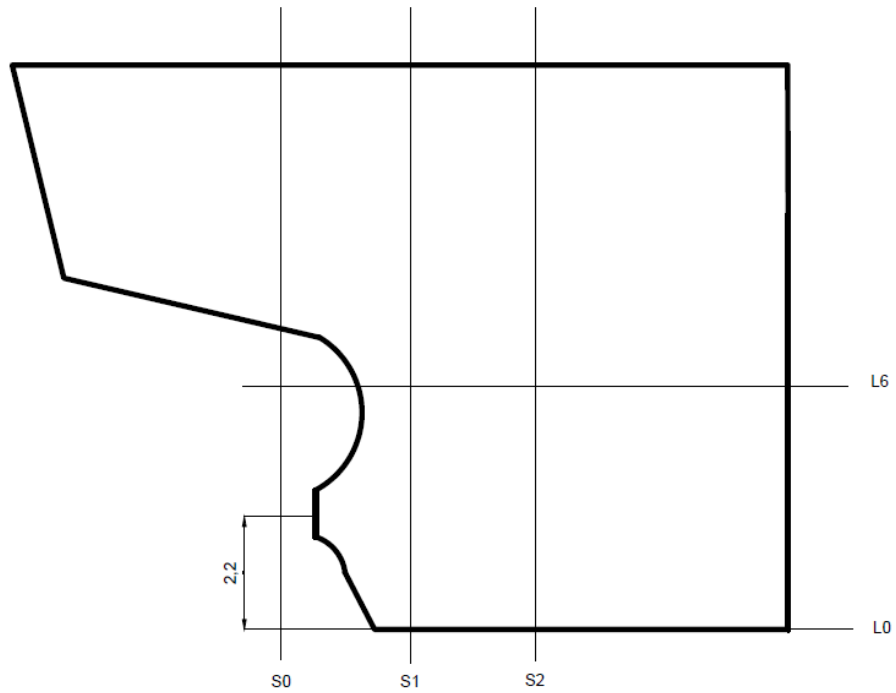
$$VOL_{TIMON} = AREA \times PROFUNDIDAD$$

$$VOLUMEN_{TIMON} = 7,5 \, m^3$$

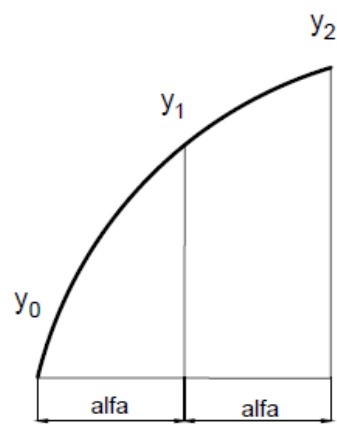
5.5 Cálculo del volumen sumergido en la popa

En el siguiente esquema podemos observar la estructura de la popa y la diferencia entre secciones.

Además, como se puede observar,



Cálculo de superficies



$$\frac{S_0}{2} = \frac{0,6625}{3} (1 \times 0 + 4 \times 2,42 + 1 \times 3,78)$$

$$S_0 = \frac{1,325}{3} (9,68 + 3,78)$$

$$S_0 = 5,95 \text{ m}^2$$

$$\frac{S_{-1/2}}{2} = \frac{0,4}{3} (1 \times 0 + 4 \times 1,9 + 1 \times 2,95)$$

$$S_{-1/2} = 2,81m^2$$

$$\frac{S_{estampa}}{2} = \frac{0,35}{3} (1 \times 0 + 4 \times 1,45 + 1 \times 1,93)$$

$$S_{ESTAMPA} = 1,80m^2$$

$$V_{POPA} = \frac{2,10}{3} (1 \times S_{ESTAMPA} + 4 \times S_{INTERMEDIA} + 1 \times S_0)$$

$$V_{POPA} = \frac{2,10}{3} (1 \times 1,80 + 4 \times 2,81 + 1 \times 5,95)$$

$$V_{POPA} = 13,293m^3$$

5.6 Volumen total sumergido

$$Vol_{POPA-S_0} = 13,293m^3$$

$$Vol_{S_0-S_1} = 54,632m^3$$

$$Vol_{S_1-S_{19}} = 6725,584m^3$$

$$Vol_{S_{19}-S_{20}} = 64,025m^3$$

$$Vol_{BULBO} = 12,13m^3$$

$$Vol_{HÉLICE} = 0,50m^3$$

$$Vol_{TIMÓN} = 7,5m^3$$

$$Vol_{TOTAL} = 6877,664m^3$$

$$DESPLAZAMIENTO_{TOTAL} = Vol_{TOTAL} \times 1,025$$

$$\Delta_{TRAZADO} = 7049,605 \text{ toneladas}$$

CAPÍTULO VI. CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO

UTILIZANDO LA CARTILLA DE TRAZADO

Breve introducción

La cartilla de trazado se define como conjunto de valores numéricos, ordenados, representando las dimensiones necesarias para definir las formas de un barco o alguna de sus partes.

En la cartilla de trazado se deben mostrar las dimensiones principales del buque, indicando la eslora, manga, puntal, calado de proyecto, las características de trazado, como la separación entre líneas de agua, entre cuadernas, entre longitudinales, y si tiene asiento, su valor.

El forro se define por medio de las semimangas, distancias de los puntos del mismo al diametral, obtenidos estos puntos por el cruce de dos series de líneas, por ejemplo las líneas de agua y secciones o secciones transversales y longitudinales. Se debe indicar si las distancias son fuera miembros o fuera forros.

Los perfiles de proa y popa se definen mediante croquis acotados o por puntos dando su posición longitudinal y altura.

La línea de quilla en el caso de no coincidir con la línea base, se define igual que los perfiles de proa o popa.

Los codillos, intersecciones de las cubiertas con el costado, en general las vagras de doble curvatura, se definen por las semimangas y alturas de sus puntos obtenidos como intersección de los planos de las secciones transversales.

Se pueden definir las alturas de los puntos de intersección de los longitudinales con las cuadernas. Se pueden definir las brascas de las cubiertas. [10]

Cartillas de trazado

A continuación se muestran detalladamente las cartillas de trazado del buque *Los Molinucos*, las cuales han sido minuciosamente calculadas al milímetro.

Se muestran el cuerpo cilíndrico del buque, el cuerpo de popa y el cuerpo de proa.

6.1 Cuerpo de popa

Pie de cuaderna	0,000 m					79	215	512	1481	2719	3950	5159	6117	6678
LA 0,25	0,279 m					221	611	1099	2346	3733	5102	6225	6936	7387
LA 0,5	0,558 m					311	784	1351	2734	4212	5575	6639	7269	7634
LA 1	1,117 m					457	1018	1686	3235	4826	6235	7181	7649	7843
LA 1,5	1,675 m					552	1182	1948	3664	5307	6688	7525	7837	7900
LA 2	2,233 m				325	621	1330	2206	4084	5750	7033	7728	7900	7900
LA 2,5	2,792 m					690	1537	2506	4501	6154	7309	7833	7900	7900
LA 3	3,350 m					788	1797	2866	4935	6538	7519	7870	7900	7900
LA 3,5	3,908 m					985	2171	3349	5408	6881	7663	7884	7900	7900
LA 4	4,467 m					1497	2880	4056	5930	7206	7781	7900	7900	7900
LA 4,5	5,025 m				936	2598	3857	4886	6444	7470	7848	7900	7900	7900
LA 5	5,583 m			845	2423	3733	4738	5600	6891	7667	7888	7900	7900	7900
LA 5,5	6,142 m		699	2522	3664	4641	5484	6209	7242	7801	7900	7900	7900	7900
LA 6	6,700 m	1714	2581	3621	4531	5338	6069	6688	7502	7876	7900	7900	7900	7900
LA 7	7,817 m	3465	4074	4878	5615	6266	6836	7289	7791	7900	7900	7900	7900	7900
LA 8	8,933 m	4383	4943	5601	6227	6800	7267	7604	7890	7900	7900	7900	7900	7900
LA 9	10,050 m	4949	5467	6068	6619	7102	7476	7758	7900	7900	7900	7900	7900	7900
		Est	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8

6.2 Cuerpo cilíndrico

Pie de cuaderna	0,000 m	6901	6901	6901	6901
LA 0,25	0,279 m	7586	7586	7586	7586
LA 0,5	0,558 m	7793	7793	7793	7793
LA 1	1,117 m	7900	7900	7900	7900
LA 1,5	1,675 m	7900	7900	7900	7900
LA 2	2,233 m	7900	7900	7900	7900
LA 2,5	2,792 m	7900	7900	7900	7900
LA 3	3,350 m	7900	7900	7900	7900
LA 3,5	3,908 m	7900	7900	7900	7900
LA 4	4,467 m	7900	7900	7900	7900
LA 4,5	5,025 m	7900	7900	7900	7900
LA 5	5,583 m	7900	7900	7900	7900
LA 5,5	6,142 m	7900	7900	7900	7900
LA 6	6,700 m	7900	7900	7900	7900
LA 7	7,817 m	7900	7900	7900	7900
LA 8	8,933 m	7900	7900	7900	7900
LA 9	10,050 m	7900	7900	7900	7900
		9	10	11	12

6.3 Cuerpo de proa

Pie de cuaderna.	0,000 m	6747	6217	5161	3782	2185	852	640	211					
LA 0,25	0,279 m	7409	6954	6048	4748	3241	1848	1267	802	357				
LA 0,5	0,558 m	7648	7277	6422	5222	3723	2246	1594	1083	682				
LA 1	1,117 m	7845	7630	6913	5833	4393	2740	2027	1487	1125	802	524		
LA 1,5	1,675 m	7896	7783	7230	6231	4858	3089	2287	1732	1403	1131	995	611	
LA 2	2,233 m	7900	7854	7445	6534	5220	3357	2457	1868	1554	1308	1196	912	626
LA 2,5	2,792 m	7900	7880	7585	6777	5516	3578	2557	1919	1600	1359	1249	991	745
LA 3	3,350 m	7900	7892	7681	6976	5764	3763	2634	1913	1568	1300	1178	881	561
LA 3,5	3,908 m	7900	7900	7738	7129	5977	3940	2723	1875	1458	1147	965	355	
LA 4	4,467 m	7900	7900	7789	7250	6166	4127	2854	1854	1269	847	374		
LA 4,5	5,025 m	7900	7900	7825	7358	6341	4332	3032	1913	1038	382			
LA 5	5,583 m	7900	7900	7847	7449	6511	4553	3258	2053	963				
LA 5,5	6,142 m	7900	7900	7862	7535	6680	4797	3534	2271	1046				
LA 6	6,700 m	7900	7900	7882	7620	6856	5063	3843	2559	1265				
LA 7	7,817 m	7900	7900	7900	7760	7183	5652	4533	3274	1921	473			
LA 8	8,933 m	7900	7900	7900	7870	7488	6294	5358	4226	2807	1215			
LA 9	10,050 m	7900	7900	7900	7900	7783	7013	6278	5240	3841	2137			
		13	14	15	16	17	18	18,5	19	19,5	20	a	b	c

6.4 Ejemplos de semimangas

Para abreviar, se mostrarán sólo 3 secciones. Para las secciones más a popa (secciones Estampa-8 inclusive) escogeremos la sección 0, para las partes correspondientes al cuerpo cilíndrico (9-12 inclusive) escogeremos la sección 9 y, finalmente, para las secciones más a proa (secciones 13-c inclusive) escogeremos la sección 20.

Sección 0

Calado en la sección = 6,72m

Calado	Semimanga
5,374	0
5,58333333	0,845
6,14166667	2,522
6,7	3,621
7,81666667	4,878
8,93333333	5,601
10,05	6,068

$$\text{Área} = 5,748m^2$$

Sección 9

Calado en la sección = 6,045m

Calado	Semimanga
0	6,901
0,27916667	7,586
0,55833333	7,793
1,11666667	7,9
1,675	7,9
2,23333333	7,9
2,79166667	7,9
3,35	7,9
3,90833333	7,9
4,46666667	7,9
5,025	7,9
5,58333333	7,9
6,14166667	7,9
6,7	7,9
7,81666667	7,9
8,93333333	7,9
10,05	7,9

$$\text{Área} = 95,015m^2$$

Sección 20

Calado en la sección = 5,22m

Calado	Semimanga
0,644	0
1,11666667	0,802
1,675	1,131
2,23333333	1,308
2,79166667	1,359
3,35	1,3
3,90833333	1,147
4,46666667	0,847
5,025	0,382
5,477	0

$$\text{Área} = 9,211m^2$$

6.5 Cálculo del desplazamiento

A popa del timón

Secciones	Sup	C.S	F. vol
S. estampa	1,8	1	1,8
S. intermedia	2,81	4	11,24
S. 0	5,74862946	1	5,74862946

$$\sum F. vol = 18,788m^3$$

$$\alpha = 2,1$$

$$Volumen = \frac{\alpha}{3} \times \sum F. vol$$

$$Volumen = 13,152m^3$$

De sección 0 a sección 1

Secciones	Sup	C.S	F.Vol
S 0	5,74862946	1	5,74862946
S 0,5	10,1453133	4	40,5812531
S 1	15,8808982	1	15,8808982

$$\sum F.vol = 62,21m^3$$

$$\alpha = 2,428$$

$$Volumen = \frac{\alpha}{3} \times \sum F.vol$$

$$Volumen = 50,364m^3$$

De sección 1 a sección 20

Secciones	Sup	C.S	F.Vol
S 1	21,2583089	0,5	10,6291544
S 1,5	32,3487202	2	64,6974404
S 2	43,3446462	1,5	65,0169693
S 3	63,6452665	4	254,581066
S 4	79,7151307	2	159,430261
S 5	90,0098958	4	360,039583
S 6	94,8639286	2	189,727857
S 7	96,0392149	4	384,15686
S 8	95,8382996	2	191,676599
S 9	95,0158634	4	380,063453
S 10	93,8308634	2	187,661727
S 11	92,6458633	4	370,583453
S 12	91,4608633	2	182,921727
S 13	89,9515406	4	359,806162
S 14	87,6202639	2	175,240528
S 15	82,0713833	4	328,285533
S 16	71,7852298	2	143,57046
S 17	56,8614478	4	227,445791
S 18	36,1366583	1,5	54,2049874
S 18,5	25,4477561	2	50,8955122
S 19	17,7041611	1	17,7041611
S 19,5	12,9942921	2	25,9885843
S 20	9,21117123	0,5	4,60558561

$$\sum F. vol = 4188,933m^3$$

$$\alpha = 4,8575$$

$$Volumen = \frac{\alpha}{3} \times \sum F. vol$$

$$Volumen = 6782,581m^3$$

A proa de la perpendicular de proa

Secciones	Sup	C.S	F. vol
S20	9,21117123	1	9,21117123
Sa	7,22413364	4	28,8965346
Sb	4,24689011	1,5	6,37033517
Sc	2,11863362	2	4,23726724
Sd	0	0,5	0

$$\sum F. vol = 48,715m^3$$

$$\alpha = 0,766$$

$$Volumen = \frac{\alpha}{3} \times \sum F. vol$$

$$Volumen = 12,449m^3$$

6.6 Sumatorio total y cálculo final

Partes del buque	Volúmenes (m ³)
A popa del timón	13,15
De S0 a S1	50,36
Henchimiento popa	5,82
Timón	7,50
Hélice	0,50
De S1 a S20	6782,58
A proa de Ppr	12,45

$$\sum Volúmenes = 6872,36m^3$$

$$Desplazamiento = \sum Volúmenes \times 1,025$$

$$\Delta_{TRAZADO} = 7044,17 \text{ toneladas}$$

CAPÍTULO VII: COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en toneladas para cada uno de los 3 métodos son los siguientes:

Curvas hidrostáticas:

$$\Delta_{TRAZADO} = 7050,000 \text{ toneladas}$$

Curvas de Bonjean:

$$\Delta_{TRAZADO} = 7049,605 \text{ toneladas}$$

Cartilla de trazado:

$$\Delta_{TRAZADO} = 7044,170 \text{ toneladas}$$

$$2^a C^{on}(Nemoto) = \frac{50 \times \lambda M_u \times A^2}{E_{PP}}$$

$$2^a C^{on}(Nemoto) = 16,67 \text{ toneladas}$$

$$Diferencia = \Delta_{CART.TRAZADO} - \Delta_{CALADO 6m} = 7044,2 - 7033,3$$

$$Diferencia = 10,88 \text{ toneladas}$$

$$2^a C^{on} - Dif = 16,67t - 10,88t = 5,79 \text{ toneladas}$$

$$Error \text{ Absoluto en la corrección de Nemoto} = 5,79 \text{ toneladas}$$

$$Error = \frac{|Valor\ correcto - Valor\ por\ curvas\ hidrostáticas|}{Valor\ correcto} \times 100$$

$$Error = \frac{|7044,17 - 7050|}{7044,17} \times 100 = 0,0826\%$$

Podemos observar que el cálculo ha sido satisfactorio, ya que el hemos obtenido 3 resultados muy similares. Únicamente hemos cometido un **error de 0,0826%** y puede deberse al estado de los planos o a la digitalización de los mismos.

Δ tras la 1ª Corrección :

$$C_m = 5,97m$$

$$C = C_m + 1^a C^{on} = 5,97 + 0,029 = 6m$$

$$C = 6m \rightarrow \Delta = 7033,3 toneladas$$

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES.

Conclusiones

Primera: podemos observar que el cálculo ha sido satisfactorio, ya que el hemos obtenido 3 resultados muy similares. Únicamente hemos cometido un error de 0,0826% y puede deberse al estado de los planos o a la digitalización de los mismos.

Segunda: la fórmula de Nemoto da un resultado aceptable pues, en el caso de no aplicarse habría una diferencia de aproximadamente 11 toneladas en el desplazamiento.

Tercera: la 2ª corrección por asiento (Nemoto) es de aplicación interesante, porque el error que se comete al tenerla en cuenta es menor que el que se tendría al no aplicarla.

Cuarta: el cálculo más exacto corresponde al efectuado con la cartilla de trazado al usarse semimangas al milímetro. Además, de existir una mayor subdivisión (secciones -1/2, 1/2, 1,5, 18,5 y 19,5) que no se usan en las curvas de Bonjean.

Quinta: los fondos de Astilleros del Atlántico S.A disponibles en la E.T.S. Náutica de Santander son una fuente de información y documentación muy interesantes para el estudio de la construcción naval y materias afines y una herramienta docente de primera magnitud.

Sexta: sería muy interesante una digitalización de los fondos del archivo de Astilleros del Atlántico S.A, ya que se hace necesario un acceso a través de internet a dichos fondos.

Séptima: la precisión y la exactitud de los datos de los buques de la grada de Astilleros del Atlántico S.A proporcionada en sus planos y documentos es la adecuada.

Glosario

Asiento: es la diferencia entre los calados de popa y proa. Es positivo cuando el calado de popa es mayor que el de proa.

Botadura: lanzamiento de un buque de la grada o carro al agua.

Calado: es la dimensión vertical correspondiente a la parte sumergida del buque.

Codaste: pieza vertical que se une a la quilla, por el talón o zapata del codaste; por su parte superior se afirma a la varenga dragante o peto; cerrando el buque por esta zona de arriba abajo. En su parte intermedia lleva el “Vano de la hélice”. Exteriormente el codaste se continúa con la bovedilla, después el abanico y estampa. Finalmente la parte de popa de la superestructura de toldilla, forma el coronamiento de popa, que es la amurada en esta zona del buque.

Corrección Nemoto: al calcular el desplazamiento corregido se obtiene un valor, pero el Ingeniero Nemoto, encontró que si se utilizan las curvas de Bonjean para determinar el desplazamiento del buque, siempre que había un asiento aparecía una diferencia, siendo el desplazamiento calculado por las curvas de Bonjean mayor que el obtenido en las hidrostáticas con el calado medio.

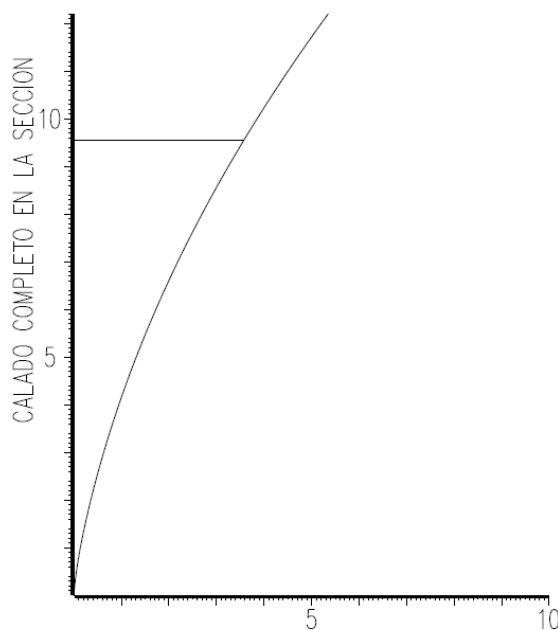
La razón de esta diferencia viene dada por las formas irregulares del buque en los finos de proa y popa.

Aplicando una serie de ecuaciones según el método de Taylor's, e integrando en función de la eslora del buque encontró la diferencia del desplazamiento, que se obtiene mediante la aplicación de la siguiente fórmula que lleva su nombre.

Curvas de Bonjean: se utilizan para calcular el desplazamiento cuando se requiere una mayor aproximación al dato real en aquellos casos en que el asiento del buque difiera del asiento con el que han sido construidas las

curvas hidrostáticas.

Sobre el plano longitudinal del buque se sitúan un número de cuadernas o secciones transversales a intervalos comunes. Junto a cada cuaderna está la curva de áreas de su sección a diferentes calados y la curva de momentos longitudinales de estas áreas con respecto a la cuaderna maestra.



Curvas hidrostáticas: son una serie de curvas que miden magnitudes tales como el desplazamiento, el centro de flotación, el metacentro transversal, etc. en referencia al calado.

Desplazamiento: en cualquier situación el desplazamiento es el volumen de carena por la densidad del fluido.

Desplazamiento en máxima carga: volumen de carena hasta la flotación de verano por la densidad del fluido, o también desplazamiento en rosca más peso muerto.

Desplazamiento en rosca: volumen hasta la flotación en rosca por la densidad del fluido, o también peso del casco, maquinaria y equipo del buque sin agua, aceites, combustible, tripulación ni efectos, pero con fluidos en los circuitos y calderas.

Eslora entre perpendiculares: coincide con la eslora de trazado. Ésta es la eslora más importante en los estudios de Teoría del Buque y durante este curso es prácticamente la única eslora que se usará.

Estampa: también se llama espejo o escudo, es la fachada de popa plana del casco a partir de la bovedilla; cuando es redondeada se llama abanico. Después la fachada de popa se continúa con el coronamiento, que es lo mismo que lo anterior solo que pertenece a la superestructura de toldilla.

Forro: conjunto de planchas que formando una superficie metálica estanca, cubren la estructura interna o esqueleto del casco del buque.

Gálibo: plantilla de la que se sirve el herrero de ribera para fabricar la pieza adecuada.

Obra muerta: parte del buque que nunca está sumergida.

Obra viva: superficie del buque por debajo de una flotación.

Perpendicular de popa, media y proa: son las líneas pertenecientes al plano diametral, perpendiculares a la línea base que pasan por el eje del timón, que corta a la roda en la flotación y la intermedia a éstas, respectivamente.

Peso muerto: es la suma de los siguientes elementos que hacen que el buque cale hasta la flotación de verano y que muestra la capacidad de transporte en peso de un buque:

- La carga.
- Combustibles, agua y aceites en tanques.
- Víveres, tripulación y sus efectos.
- Pasaje.

Puntal: es la dimensión vertical de un buque.

QUILLA: Elemento estructural longitudinal básico del casco del buque, que modernamente forma a la vez la traca central del fondo del mismo. En su parte interna la estructura de la quilla, sirve de apoyo a las varengas y cuadernas.

- *Quilla de llanta o barra*, formada por un perfil de llanta o barra de canto, a cuyos lados o caras se unen las faldillas de las tracas de aparaduras; este tipo se usa en barcos de poco tonelaje.
- *Quilla de cajón*, es la formada por dos vagras laterales o quillas verticales, la traca de quilla del fondo o traca central (más estrecha y de más espesor que el resto de las tracas del fondo), y por encima para cerrar el "cajón" la sobrequilla, o traca central de la "tapa del doble fondo".

Tonelaje de arqueo: indica la capacidad en volumen de un buque. Hay que distinguir:

- **Tonelaje bruto:** es la capacidad en metros cúbicos o volumen de todos los espacios del buque.
- **Tonelaje neto:** que se obtiene descontando del bruto cierto volumen de acuerdo con los reglamentos. [2] [13] [14]

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] José Iván Martínez García. *PROBLEMAS DE TEORÍA DEL BUQUE ESTÁTICA*. La Coruña: Cartamar, 2015.
- [2] José Iván Martínez García. *Buque tipo “E”*. Santander: Universidad de Cantabria, 2012.
- [3] Astilleros del Atlántico S.A. *LIBRO DE ESTABILIDAD C-209 “LOS MOLINUCOS”*. Santander: Astilleros del Atlántico S.A, 1978.
- [4] Astilleros del Atlántico S.A. *ESPECIFICACIÓN C-209 “LOS MOLINUCOS”*. Santander: Astilleros del Atlántico S.A, 1978.
- [5] Astilleros del Atlántico S.A. *PLANOS C-209 “LOS MOLINUCOS”*. Santander: Astilleros del Atlántico S.A, 1978.
- [6] E.T.S. Náutica. *BREVE RECORRIDO HISTÓRICO DEL ASTILLERO DEL ATLÁNTICO*. Santander: 2013. [Consulta: 12 febrero 2016]. Disponible en <http://web.unican.es/centros/nautica/Paginas/Archivo-del-Astillero-del-Atlantico.aspx>.
- [7] Carlos Macho. *El nuevo Gamazo abre como “símbolo del carácter cosmopolita de Cantabria”*. Santander: El DIARIO MONTAÑES, 2014. [Consulta: 14 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.eldiariomontanes.es/santander/201409/03/ciudad-estrena-renovado-dique-20140903134729.html>
- [8] José Antonio Alaez Zazurca. *Teoría del Buque I*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid
- [9] Joan Olivella Puig. *Teoría del Buque. Estabilidad, varada e inundación*. Edicions UPC, 1996.

-
- [10] Cesáreo Díaz Fernández. *Teoría del Buque*. 1969.
- [11] A group of... *Salvage Engineer's Handbook, vol I. U.S Navy*, 1992.
- [12] Joan Olivella Puig. *Teoría del Buque. Flotabilidad y Estabilidad*. Edicions UPC, 1995.
- [13] Gonzalo Pérez. *Teoría del Buque. Máquinas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid.
- [14] Carlos David Verdes Jove. *Manual de Teoría del Buque*. Cartamar, 2013.