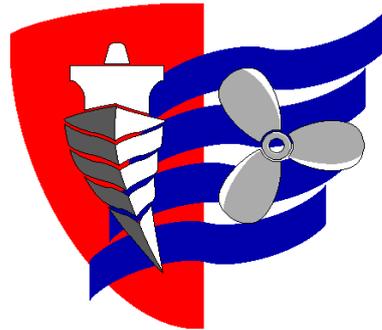


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



Trabajo Fin de Máster

**METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN
DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y
ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE.
APLICACIÓN PRÁCTICA AL
B/T GUANARTEME**

**Methodology for the Automation of Stability and Stress
Calculations for Tanker Vessel**

Application to M/T GUANARTEME

**Para acceder al Título de Máster Universitario en:
Ingeniería Náutica y Gestión Marítima**

Autor: Sergio G. Pérez Pérez
Director: Francisco José Correa Ruíz
septiembre-2020

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

Trabajo Fin de Máster

**METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN
DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y
ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE
APLICACIÓN PRÁCTICA AL
B/T GUANARTEME**

**Methodology for the Automation of Stability and Stress
Calculations for Tanker Vessel
Application to M/T GUANARTEME**

**Para acceder al Título de Máster Universitario en:
Ingeniería Náutica y Gestión Marítima**

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster, así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

Índice

Índice.....	I
Resumen y Palabras clave.....	II
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
II.- MEMORIA DESCRIPTIVA.	2
II.1.- Planteamiento del problema	2
II.1.1.- Planteamiento del problema	2
II.1.2.- Hipótesis de partida y de resultado.	2
II.2.- Herramientas de resolución	4
II.2.1.- Contenido general de los apartados de “Herramientas”	4
II.2.2.- Descripción del sistema objeto de estudio.	4
II.2.3.- Descripción del Contexto científico o técnico	17
II.2.4.- Otras herramientas	22
II.3.- Metodología	31
II.3.1.- Recolección de datos.	31
II.3.2.- Cálculos.....	38
III.- APLICACIÓN PRÁCTICA	57
III.1.- Recopilación de datos.....	57
III.1.1.- Tablas del buque.....	57
III.1.2.- Información y datos relativos al buque y a la carga.....	65
III.1.3.- Cálculos.....	74
III.1.4.- Representación de la información.	96
III.1.5.- Documentación.....	103
IV.- CONCLUSIONES.....	104
Referencias citadas.....	105
ANEXOS	106

Resumen y Palabras clave

Resumen

El presente trabajo de fin de master versa sobre la metodología para el desarrollo de una hoja de cálculo Excel que sea capaz de realizar de forma automática los cálculos de estabilidad y esfuerzos de un buque tanque teniendo en cuenta la normativa y las limitaciones a la que estos tipos de buques están sujetos. Por lo tanto, se llevará a cabo una descripción de la metodología utilizada para lograr tal fin.

Por otra parte, el programa será capaz de elaborar de forma autónoma, con los valores calculados, toda la documentación exigida por el sistema de gestión de la compañía en cuanto a operaciones de carga y descarga se refiere, aportándole al primer oficial responsable de tales operaciones una herramienta que le permita reducir considerablemente la carga de trabajo dedicada a la elaboración de dicha documentación.

La aplicación practica de la metodología propuesta se ha llevado a cabo tomando como ejemplo el B/T GUANARTEME, un buque petrolero dedicado a operaciones de suministro de combustible.

Palabras clave

Estabilidad, esfuerzos, calculador de carga, buque tanque, curvas de Bonjean

Abstract and Keywords

The following Master's thesis is about the methodology for the development of an Excel spreadsheet that is able of automatically performing the stability and stress calculations of a tanker taking into consideration the regulations and the limitations to which these types of vessels are subject. Therefore, a description of the methodology used to achieve it will be carried out.

On the other hand, the program will be able to create in an autonomously, with the calculated values, all the documentation required by the company's management system in term of loading and unloading operations, providing the Chief Officer responsible for such task a tool that allows to reduce considerably the workload used to preparing such documentation.

The practical application of the proposed methodology has been carried out taking as an example the M/T GUANARTEME

Keywords

Stability, stress, loading calculator, tanker vessel, Bonjean curves

I.- INTRODUCCIÓN

Tras la implantación de los sistemas de gestión en los buques, el aumento de documentación a bordo se ha incrementado considerablemente, más aún cuando el propio sistema de gestión de la compañía no está adaptado a la operativa del buque.

La necesidad de desarrollar un programa capaz de generar la documentación referente a las operaciones de carga del buque, viene motivada por lo descrito en el párrafo anterior, más aún, cuando nos referimos a un buque dedicado al suministro de combustible y al gran número de operaciones diarias que éste realiza y consecuentemente a la gran carga de elaboración de documentación vinculada a dichas operaciones.

Lo que se pretende lograr con el desarrollo del presente trabajo, es la elaboración de una metodología que nos permita crear un programa basado en Excel, capaz de realizar de manera automática los cálculos de estabilidad y esfuerzos de un buque tanque y que al mismo tiempo, también sea capaz de desarrollar toda la documentación referente a las operaciones de cargar y descarga exigida por el sistema de gestión de la compañía. Por lo tanto, la finalidad del programa es reducir considerablemente la carga de trabajo del primer oficial de cubierta en cuanto a la elaboración de documentación se refiere.

El presente trabajo utilizará para el desarrollo de la aplicación práctica de la metodología propuesta, al B/T GUANARTEME, propiedad de la naviera Distribuidora Marítima Petrogás S.L.U. y actualmente fletado por GALP, empresa portuguesa dedicada al refinado y suministro de hidrocarburos, para el suministro de combustible en los puertos portugueses de Lisboa, Setúbal y Sines.

Una vez obtenidos los valores finales de estabilidad y esfuerzos calculados por el programa desarrollado en Excel, éstos se compararán con los valores obtenidos a través del calculador de carga *NEREIDA* instalado a bordo y certificado por la Sociedad de Clasificación en la cuál está registrado nuestro buque, *Korean Register*.

II.- MEMORIA DESCRIPTIVA.

II.1.- Planteamiento del problema

II.1.1.- Planteamiento del problema

La gran carga de documentación existente actualmente en los buques debido a la implantación de sistemas de gestión no adaptados a la operativa del buque, hace que se busquen métodos alternativos para intentar minimizar dicho problema.

En lo referente a las operaciones de carga y descarga de un buque petrolero dedicado a operaciones de bunker y concretamente, a la documentación generada de las mismas, teniendo en cuenta el número elevado de operaciones diarias que se llevan a cabo, se hace primordial la búsqueda de un sistema que simplifique esta tarea al primer oficial.

Para ello se pretende crear una hoja Excel que, automáticamente se encargue de generar toda la documentación relativa a las operaciones del buque. Para realizar esta tarea, es necesario que dicha hoja sea capaz de calcular la estabilidad y los esfuerzos del barco para así poder reflejarlos por si misma en la documentación, sin necesidad que el primer oficial tenga que introducirlos de forma manual.

Éste último será el encargado de introducir los datos necesarios en la hoja Excel y de supervisar los resultados e información mostrada por la misma para comprobar que en todo momento se cumplen con los criterios mínimos de estabilidad y esfuerzos exigidos por normativa vigente.

II.1.2.- Hipótesis de partida y de resultado.

II.1.2.1.- Hipótesis de partida

- ✓ Las hojas de cálculo creadas, serán exclusivas para el buque “GUANARTEME”, el cuál es el barco objeto de estudio del presente trabajo.
- ✓ Atendiendo a lo anterior, dichas hojas de cálculo son de aplicación a buques tanque petroleros / petroquímicos que se dediquen al transporte de productos derivados del petróleo (F.O., Diesel, Gasolinas, Naftas, ...)
- ✓ Se deberá cumplir con los criterios de estabilidad y esfuerzos del buque recogidos en el manual de estabilidad.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



- ✓ Debemos tener acceso a las curvas hidrostáticas del buque y al plano de líneas.
- ✓ La documentación generada, se deberá ajustar al sistema de gestión de la propia naviera.

II.1.2.2.- Hipótesis de resultado

Se pretende crear:

- ✓ Una metodología para la elaboración de una hoja Excel capaz de elaborar de forma automática la documentación relativa a las operaciones de un buque petrolero.
- ✓ Dicha hoja deberá ser capaz de calcular la estabilidad y los esfuerzos del buque para que queden reflejados en la documentación sin necesidad de ser introducidos manualmente por el primer oficial de cubierta.
- ✓ Para la realización de los cálculos, el programa tendrá en cuenta la carga, el lastre y lo contenido en los tanques de servicio del buque.
- ✓ El Excel, será capaz de analizar los valores calculados y mostrar si éstos cumplen o no los criterios de estabilidad y esfuerzos permitidos, así como también indicará sus valores mínimos y/o máximos.
- ✓ Su objetivo es minimizar el tiempo empleado por el primer oficial de cubierta en la elaboración de la documentación relativa a las operaciones de carga y descarga del buque.

II.2.- Herramientas de resolución

II.2.1.- Contenido general de los apartados de “Herramientas”

El conocimiento de las herramientas citadas a continuación será fundamental debido al uso de las mismas en la metodología empleada para llevar a cabo la resolución del presente problema.

- ✓ Conocimientos básicos en la utilización del programa Excel.
- ✓ Conocimientos en la elaboración y utilización de las curvas de Bonjean.
- ✓ Conocimientos en la elaboración de flujogramas.
- ✓ Conocimientos básicos de integración numérica a través del método de los trapecios y Simpson.
- ✓ Conocimientos avanzados en la operativa de un buque petrolero.
- ✓ Conocimientos del cálculo de estabilidad y esfuerzos de un buque tanque.

II.2.2.- Descripción del sistema objeto de estudio.

II.2.2.1.- Operativa de un buque petrolero.

Para la descripción de este apartado se ha optado por la creación de un flujograma, basándonos en los conocimientos adquiridos en la asignatura cursado durante el Master, Sistemas Integrados de Gestión. El flujograma lo encontraremos en el apartado de los anexos.

II.2.2.2.- Cálculos de estabilidad y esfuerzos.

Estabilidad

La estabilidad la podemos definir como la propiedad de los buques para recuperar su posición inicial cuando éste la pierde por causas externas, como puede ser por efecto del viento o de la mar. Existen varios conceptos que influyen en el estudio de la estabilidad de un buque:

- Centro de gravedad de un buque (G). Podemos definir el centro de gravedad del buque como el punto donde se considera aplicado el vector resultante del peso y la carga total del buque. Las coordenadas del centro de gravedad del buque son:

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

KG: distancia desde la quilla.

⊗G: distancia desde la cuaderna maestra.

$L_C G$: distancia desde la línea de crujía.

El cálculo de la posición del centro de gravedad del buque en este trabajo se ha llevado a cabo mediante la aplicación del Teorema de Varignon o Teorema de los Momentos, que establece, que en un sistema de pesos, el momento de la resultante de un sistema de fuerzas con respecto a un punto es igual a la suma de los momentos individuales de las componentes con respecto a dicho punto.

- Centro de carena "C", lo podemos definir como el centro de gravedad del volumen sumergido, el punto en el cual se aplica la fuerza de empuje "E" o presión. El "C" varía de acuerdo a la forma de la parte sumergida, depende de la forma de la carena.

- Metacentro "M". Se considera metacentro a la intersección de las direcciones de los empujes que ejerce el agua sobre el casco cuando el buque se encuentra adrizado y hasta inclinaciones de 10° . Para dichas inclinaciones, el metacentro no varía su posición, estando situado en el plano de crujía.

Atendiendo a la posición del metacentro con respecto al centro de gravedad del buque del buque, podemos definir tres clases de equilibrios:

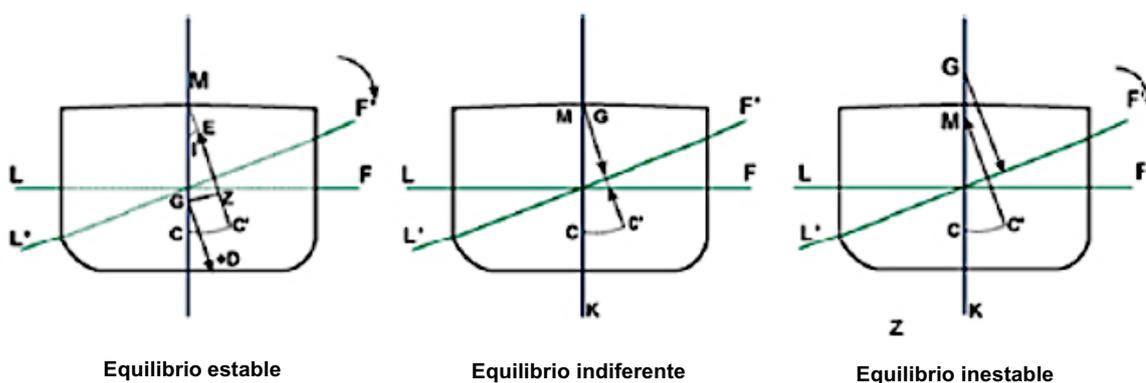


Ilustración 1. Clases de equilibrio. Fuente, Aulanáutica.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Equilibrio estable: En este caso, el metacentro inicial está situado por encima del centro de gravedad del buque, tal y como podemos observar en la figura anterior izquierda.

Suponemos el buque inicialmente adrizado que escora por una causa externa. En este caso,

$$KM > KG \quad GM(+)$$

Se forma un par adrizante que hace que el buque recupere su posición inicial de equilibrio cuando cesa la fuerza externa perturbadora.

Equilibrio inestable: El metacentro inicial está situado por debajo del centro de gravedad del buque, como se observa en la imagen derecha de la figura anterior.

El buque, que inicialmente se encuentra adrizado y en equilibrio, es apartado del mismo por una causa externa. En este caso,

$$KM < KG \quad GM(-)$$

Se origina un par escorante que hace que el buque aumente su escora. La OMI¹ prohíbe salir a navegar con una altura metacéntrica negativa, puesto que es una situación extremadamente peligrosa ya que el buque puede llegar a dar la vuelta.

Equilibrio indiferente: En este caso, el metacentro inicial coincide con el centro de gravedad del buque (imagen central, ilustración 1).

Como en los casos anteriores, el buque se encuentra inicialmente adrizado y en equilibrio, y debido a una causa externa escora. Tenemos entonces,

$$KM = KG \quad GM = 0$$

No hay par, ni adrizante ni escorante, por lo que el buque queda escorado. Sin embargo, y siguiendo el mismo razonamiento expuesto para el equilibrio inestable, al escorar el buque, aumenta el valor de la semimanga en flotación.

¹ OMI: Organización Marítima Internacional

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Curvas hidrostáticas (C.H.)

Todos los datos que vamos a necesitar para los diferentes tipos de cálculos que llevaremos a cabo en el proyecto en cuanto a estabilidad del buque, los obtendremos de las curvas hidrostáticas. En ellas se representan las características básicas que dependen de la geometría del buque. Éstas son unas gráficas, que también pueden estar tabuladas, que entrando con el calado medio del buque, obtendremos los diferentes valores expuestos a continuación:

- ∇ , volumen de carena, en m^3 .
- Δ , desplazamiento del buque en Tm, en agua salada, densidad 1,025.
- A_f , área de flotación en m^2
- A_{∞} , área de la cuaderna maestra en m^2
- $\otimes F$, posición longitudinal del centro de flotación en m.
- $\otimes C$, posición longitudinal del centro de carena en m.
- KC , posición vertical del centro de carena en m.
- KM o CM , altura del metacentro transversal sobre la quilla o radio metacéntrico transversal, respectivamente, en m.
- KM_L o CM_L , altura del metacentro longitudinal sobre la quilla o radio metacéntrico longitudinal, respectivamente, en m.
- T_c , toneladas por centímetro de inmersión en Tm/cm
- M_u , momento de asiento unitario en Tm*m/cm.
- K_b , coeficiente de afinamiento cúbico o de bloque.

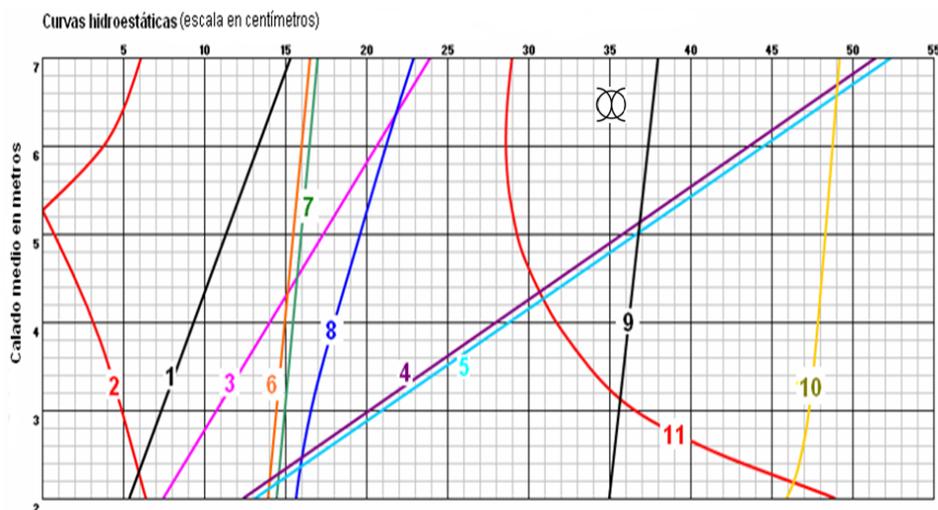


Ilustración 2. Curvas hidrostáticas. Fuente, Wikipedia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Los datos que proporcionan las C.H. se calculan a partir de los planos de formas, por lo que dependen de la geometría del buque que se trate. Las flotaciones para las que se obtiene la información son paralelas entre sí y el asiento de los calados suele ser cero puesto que, generalmente, éste es el valor del asiento de construcción en los buques mercantes.

También hay que tener en cuenta que los datos que se representan en las C.H. se calculan para el buque adrizado, es decir, sin escora.

Clasificación de la estabilidad.

Una vez definida la estabilidad del buque, podemos hacer una distinción inicial entre estabilidad estática y estabilidad dinámica.

La **estabilidad estática**, estudia la condición de equilibrio del buque resultante del par de fuerzas a que está sometido.

La **estabilidad dinámica**, estudia la condición de equilibrio de un buque, resultante del trabajo efectuado por el par de fuerzas a que está sometido.

Par de estabilidad estática transversal.

Suponemos un buque en equilibrio, flotando adrizado en la flotación FL . Debido a una causa externa, mar, viento,... el buque sufre una escora isocarena y pasa a flotar en la flotación $F'L'$

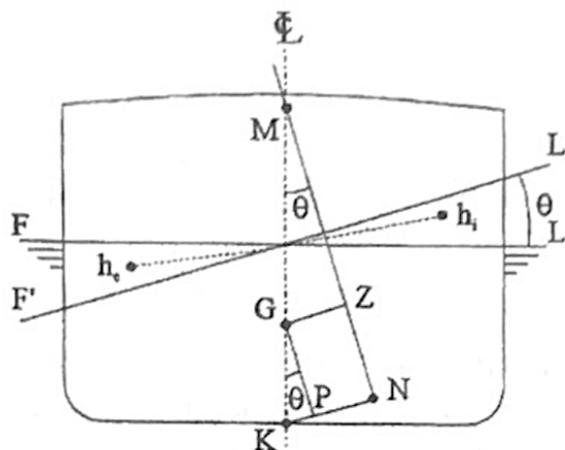


Ilustración 3. Par de estabilidad estática transversal. Fuente, apuntes estabilidad ULL

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Mientras el buque está en equilibrio, el desplazamiento y el empuje son iguales, y el centro de gravedad y el centro de carena están aplicados en la misma vertical o línea de empuje. Después de escorar, el centro de carena inicial C se traslada hasta C' siguiendo la curva “C”² proyección, mientras que el centro de gravedad G no varía su posición.

El desplazamiento aplicado en G y actuando perpendicularmente a la nueva flotación, junto con el empuje aplicado en C' crean un par de estabilidad estática transversal que adrizza el buque hasta que vuelve a su posición inicial de equilibrio.

El brazo del par de estabilidad estática transversal, GZ , que es perpendicular a la nueva línea de empuje, también se denomina brazo de adrizamiento o brazo adrizante.

El valor del momento del par de estabilidad estática transversal o momento de adrizamiento es igual a,

$$M = \Delta * GZ$$

El coeficiente o módulo de estabilidad es igual a,

$$\Delta * GM$$

Teniendo en cuenta lo observado en la figura anterior y tomando el triángulo rectángulo GZM , podemos deducir lo siguiente,

$$\text{sen}\theta = \frac{GZ}{GM}$$

$$GZ = GM * \text{sen}\theta$$

Por lo tanto, dentro de la estabilidad inicial, el momento adrizante es igual a,

$$M = \Delta * GM * \text{sen}\theta$$

² Es la curva que queda definida por las diferentes posiciones que toma C al efectuar el buque un giro de 360° sobre un mismo eje.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Fuera de los límites de la estabilidad inicial, para $\theta > 10^\circ$, no podemos utilizar las expresiones descritas anteriormente ya que desconocemos la posición del metacentro inicial.

Aplicando el método de las cuñas³ se obtienen los valores de KN^4 , datos que forman parte de la información del buque disponible a bordo. Así podemos obtener los valores de GZ .

El método de las cuñas depende del KG del buque, dato que varía con la condición de carga del buque, por lo que se suele fijar la posición del centro de gravedad del buque en la quilla, con lo que $KG=0$. Así se calculan los brazos GZ para los diferentes desplazamientos y escoras y se obtienen las curvas KN o curvas cruzadas de estabilidad.

Así, de la figura anterior podemos deducir que,

$$GZ = KN - KP$$

$$KP = KG * \text{sen}\theta$$

Por lo tanto,

$$GZ = KN - KG * \text{sen}\theta$$

Curva del par de estabilidad estática transversal.

Para una condición dada del buque, es decir, conociendo el desplazamiento, trazamos la curva donde representamos los distintos valores del brazo GZ para las diferentes escoras que puede tomar el buque.

Para la representación de la curva, necesitamos conocer los valores de KN para el desplazamiento en que se encuentra el buque, así como la altura de centro de gravedad del buque respecto a la quilla, KG . Con estos datos construimos una tabla, similar a la que encontramos a continuación, cuyos resultados trasladamos a un

³ En el movimiento de balance del buque, el volumen de la cuña de inmersión es igual al de la cuña de emersión.

⁴ Los valores de KN los obtendremos de las curvas cruzadas de estabilidad o curvas pantocarenas, entrando con el desplazamiento y para diferentes ángulos de escora.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

sistema de ordenadas, representando en el eje de abscisas la escora, en grados sexagesimales, y en el eje de ordenadas los brazos GZ , en m.

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
KN									
$KG * \text{sen}\theta$									
GZ									

Ilustración 4. Cálculo de los valores GZ . Fuente, Elaboración propia.

Una vez obtenidos los valores del brazo GZ , los representamos, obteniendo una curva similar a la de la figura siguiente.

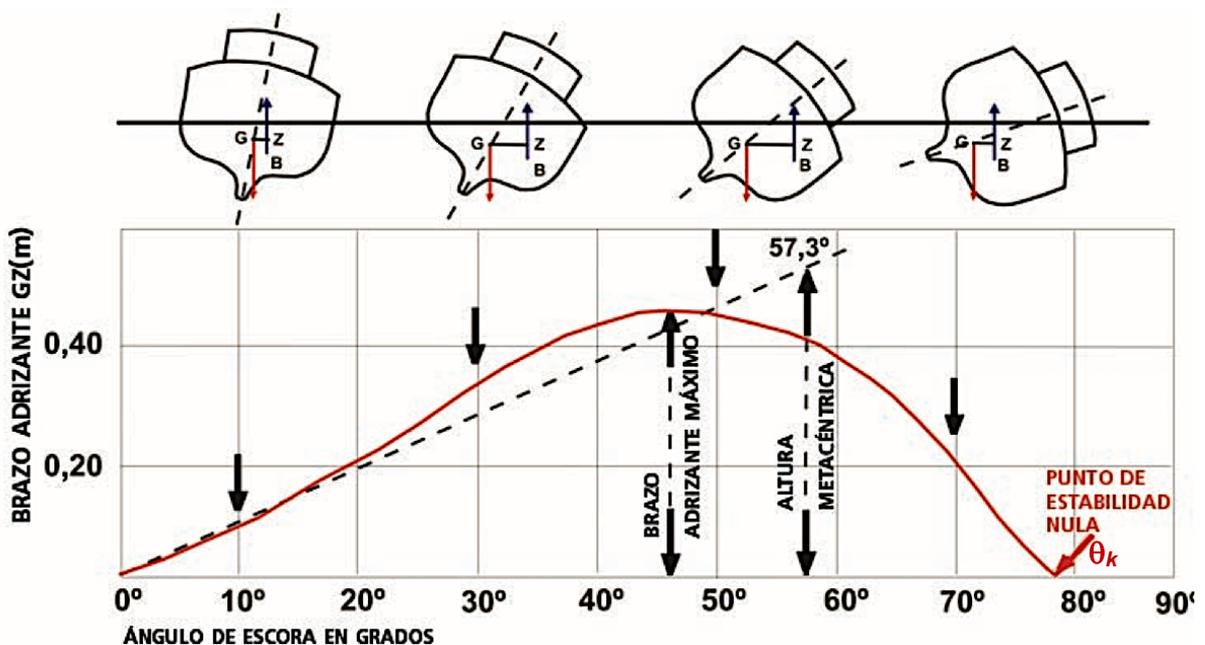


Ilustración 5. Curva GZ . Fuente, fao.org

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



La curva representada presenta una serie de características que comentamos a continuación:

- La curva parte del origen y va creciendo al aumentar la escora.
- En la estabilidad inicial, el aumento del brazo GZ es lineal según la expresión,
$$GZ = GM * \text{sen}\theta$$
- Para ángulos pequeños, se cumple que $\text{sen}\theta \approx \theta(\text{radianes})$. Por ello, podemos expresar el brazo GZ como,

$$GZ = GM * \theta(\text{radianes})$$

$$GZ = GM * \frac{\theta_r}{57,3}$$

$$\frac{GZ}{\theta_r} = \frac{GM}{57,3} = \text{constante}$$

$$\frac{dGZ}{d\theta_r} = \frac{GM}{57,3} = \text{tg}\alpha$$

Esto significa que $\text{tg}\alpha$ es la tangente de la curva de brazos GZ en el origen. Levantando una perpendicular en $57,3^\circ$ con una altura igual a GM , trazamos una recta. Hasta los 10° (estabilidad inicial) la curva es una recta que coincide con dicha tangente.

- El valor máximo del brazo GZ se encuentra entre 30° y 40° de escora.
- A partir de dicho valor, la curva decrece.
- El ángulo en el que $GZ=0$, en el que el equilibrio es indiferente, se denomina ángulo límite de estabilidad o ángulo crítico de estabilidad, θ_k .

Estabilidad dinámica

Llamamos estabilidad dinámica, al trabajo que hay que efectuar para llevar al buque, desde su posición de equilibrio θ , a una inclinación isocarena cualquiera θ_1 .

Debemos suponer que este movimiento de giro se haga lo suficientemente lento, para que las velocidades angulares inicial y final del buque, así como las resistencias pasivas, mar y viento sean nula, y que además, el eje de inclinación transversal sea constante. Suponiendo las anteriores condiciones, el trabajo motor, o trabajo del par

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

o pares escorantes, será constantemente igual al trabajo resistente del par de estabilidad.

Para calcular el valor de la estabilidad dinámica partiendo de la posición de equilibrio, $\theta=0$, para una inclinación cualquiera θ sumaremos los trabajos resistentes realizados por el par de estabilidad en cada instante del giro. Este trabajo para una inclinación $d\theta$, será igual,

$$d_T = \Delta * GZ * d\theta$$

y para una inclinación finita, θ , el trabajo total será,

$$T = \int_0^{\theta} \Delta * GZ * d\theta$$

Si observamos la gráfica de la curva GZ (figura anterior), podemos observar que la expresión que nos da el área bajo la curva de estabilidad estática transversal es,

$$A = \int_0^{\theta_k} \Delta * GZ * d\theta = T$$

De lo descrito anteriormente, podemos establecer que el área bajo la curva de estabilidad estática, es decir, la integral de la curva de estabilidad estática, nos da el valor de la estabilidad dinámica.

Para resolver dicha integral, lo haremos por medio de métodos aproximados debido a que no conocemos $y = f(x)$. Estos métodos serán descritos en el apartado de “otras herramientas”.

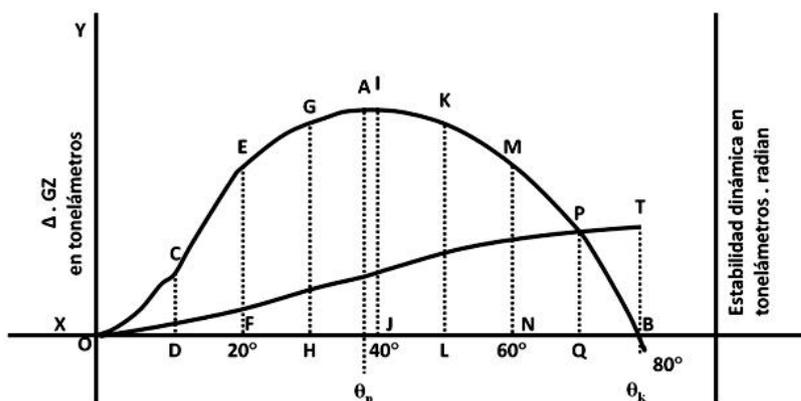


Ilustración 6. Curva estabilidad dinámica. Fuente, Estabilidadbuque.blogspot.com

Esfuerzos.

El buque a flote está sometido a fuerzas verticales debidas a la gravedad, que dependen de la distribución de los pesos. También está sometido a fuerzas de reacción hidrostática, empujes, que dependen de la forma de la carena y del estado de la mar, en aguas tranquilas o entre olas. La distribución de fuerzas variará de forma constante. La diferencia entre las fuerzas verticales hacia arriba o hacia abajo se denominan cargas netas.

Para entender lo referente a este apartado, es necesario definir el significado de los siguientes términos:

-. Carga: Es el término que se usa para indicar la fuerza o peso que actúa sobre un cuerpo, sometiendo la estructura de éste a una condición de esfuerzo, que tiende a producir cambios de forma en el mismo. Se mide en Toneladas x metro.

-. Esfuerzo: Es el efecto de la carga sobre el cuerpo, es decir, la carga de trabajo de su estructura. Equivale a la medida de resistencia de un material, a las fuerzas que tienden a producir su deformación. Se expresa en Kg/mm².

-. Esfuerzo cortante: Se trata del esfuerzo de dos fuerzas actuando en sentido paralelo y direcciones opuestas. En construcción naval, se conoce como “Esfuerzo cortante” a la suma algebraica de todas las fuerzas que actúan a un lado del buque (como viga) y que serán iguales a la del otro, pero actuando en dirección opuesta.

-. Flexión: Se experimentan esfuerzos de flexión cuando una pieza está sometida a cargas o fuerzas que se ejercen en sentido transversal. Bajo la acción de estas cargas, la pieza se deforma.

El cálculo teórico de las fuerzas que actúan sobre el buque es similar al cálculo de una viga hueca de sección transversal simétrica. Por lo tanto solo se tendrán en cuenta a efectos de cálculo de resistencia aquellos elementos longitudinales continuos a lo largo de la eslora o en la mayor parte de éstas.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Curva de pesos

La curva de pesos, nos muestra gráficamente la distribución longitudinal de los pesos a lo largo de la eslora del buque. Sobre una línea base, representamos la eslora del buque y la dividimos en secciones de igual ordenada. Una vez calculado el valor de las ordenadas en las distintas secciones, obtendremos los puntos para poder dibujar la curva de pesos.

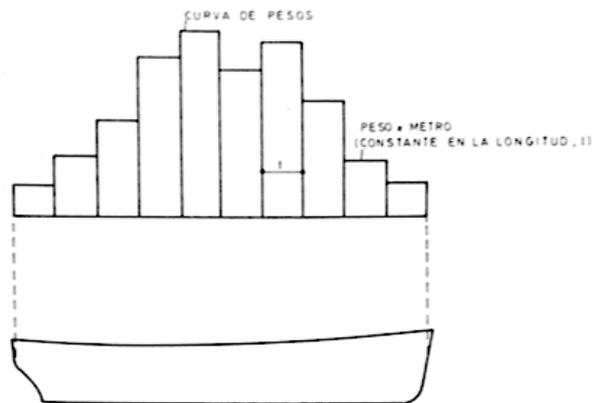


Ilustración 7. Curva de pesos. Fuente, Bonilla De La Corte.

Curva de empujes.

La curva de empujes refleja la distribución longitudinal de los empujes en toneladas por metro. Se calcula por medio de las curvas de Bonjean, explicadas a continuación en el apartado de “otras herramientas”, y nos permiten calcular el área sumergida de las diferentes secciones en las que está dividido el buque. Ya que conocemos la distancia de separación entre las citadas secciones, obtenemos el volumen, que multiplicado por la densidad del fluido en el que flota el buque, en nuestro caso agua de mar, obtendremos el empuje. Se representa gráficamente de forma similar a la curva de pesos.

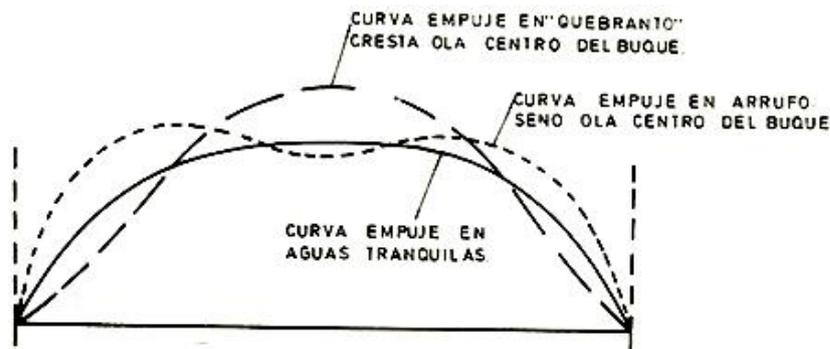


Ilustración 8. Curva de empujes. Fuente, estabilidaddelbuque.blogspot.com

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Para trazar la curva de empujes del buque en olas, se superpone dicha ola sobre las curvas de Bonjean, y tras ajustar para que el peso sea igual al empuje, es decir, $P=E$, se calcula el nuevo reparto del empuje con las curvas a través del procedimiento descrito anteriormente.

Curva de carga.

La curva de carga nos muestra la diferencia entre el peso y el empuje en las diferentes secciones de trazado en las que dividimos la eslora del buque. Ésta se representa en Toneladas por metro de igual manera que los pesos y el empuje.

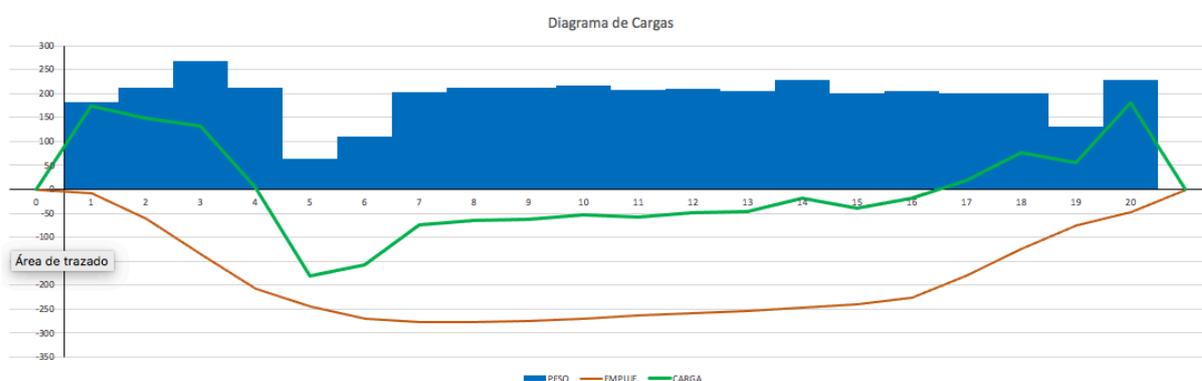


Ilustración 9. Curva de pesos, empujes y cargas. Fuente, elaboración propia.

Curva de esfuerzo cortante y momento flector.

Los esfuerzos cortantes y momentos flectores se calculan a partir de la curva de cargas, ya que el esfuerzo cortante en cualquier sección, es igual al área bajo la curva de carga desde uno de los extremos, a la sección considerada. Y por otro lado tenemos que el momento flector de una sección es igual al área bajo la curva de esfuerzos cortantes del mismo extremo a dicha sección. Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente podemos definir que la curva de esfuerzos cortantes es la integral de primer orden de la curva de cargas, mientras que la curva de momentos flectores es la integral de primer orden de la curva de esfuerzos cortantes y la integral de segundo orden de la curva de cargas.

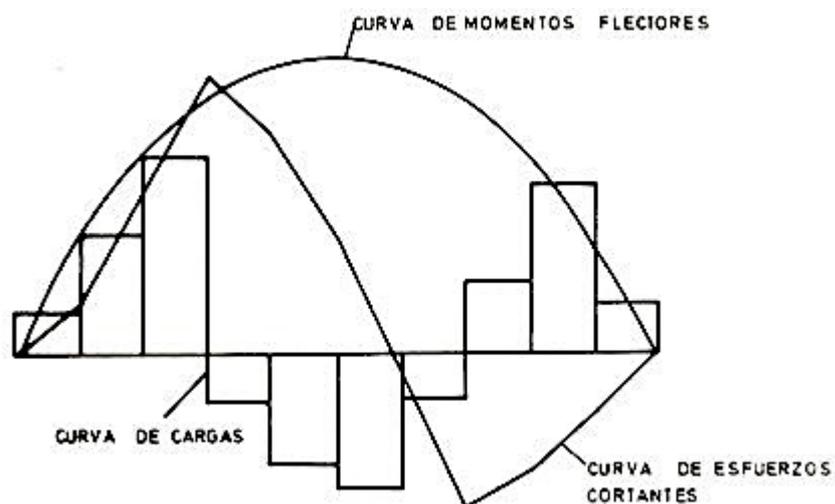


Ilustración 10. Curva de cargas, esfuerzos cortantes y momentos flectores.
Fuente, estabilidaddelbuque2.blogspot.com

II.2.3.- Descripción del Contexto científico o técnico

El presente trabajo está fundamentado sobre los conocimientos adquiridos durante la realización del “*Master en Ingeniería Náutica y Transporte Marítimo*” de la Universidad de Cantabria, concretamente está desarrollado motivándose en las siguientes asignaturas citadas a continuación:

II.2.3.1.- “*Sistemas Integrados de Gestión aplicados a la manipulación y estiba de la carga, al control del funcionamiento del buque y al cuidado de personas a bordo*”.

De la asignatura “*Sistemas Integrados de Gestión aplicados a la manipulación y estiba de la carga, al control del funcionamiento del buque y al cuidado de personas a bordo*” se obtienen todos los conocimientos necesarios para llevar a cabo los cálculos de estabilidad y esfuerzos del buque necesarios para afrontar la resolución del proyecto propuesto.

II.2.3.2.- “*Formación Investigadora*”.

A través de la asignatura “*Formación Investigadora*” se han obtenido los conocimientos sobre el funcionamiento del programa Excel. A continuación se detallan los conocimientos más relevantes adquiridos y aplicados en la resolución del proyecto.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Edición de fórmulas.

“Excel interpreta que el contenido de una celda es una fórmula cuando comienza por el signo =. Por ello, nos da acceso a la lista de funciones en cuanto se teclea dicho símbolo en una celda vacía.” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

“En la lista de funciones puede localizarse y consultarse la sintaxis de las diferentes funciones.” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

“Podrás emplear cualquier función una vez que conozcas dicha sintaxis. Basta con escribir el nombre de la función, seguido por sus argumentos entre paréntesis y separados por “;” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

“Para terminar de construir una fórmula debes recurrir a los operadores. Los operadores permiten conectar unas funciones con otras, y a éstas con otros de argumentos.” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

Validación de datos.

“Algunas veces, resulta útil que el contenido de una celda se limite a unas pocas opciones.” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

“Seleccionemos las celdas cuyo contenido se desea limitar. En la pestaña “DATOS” aparece el grupo de comandos “Validación de datos”. Se accede al menú correspondiente y se sustituye la opción por defecto por la opción “LISTA.” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

“La LISTA de datos válidos la compondrán los elementos incluidos en el cuadro “Origen”. Lo más fácil es introducir los datos válidos separados por “;”. En nuestro caso, N;S. (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

“Con ello, cuando se seleccionen estas celdas aparecerá una lista de opciones, impidiéndose la introducción de valores no deseados.” (Sánchez Díaz De La Campa, Formación Investigadora Tema I, 2018).

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Función “SI” y función “SI” anidada.

“La función SI es una de las funciones más populares de Excel y le permite realizar comparaciones lógicas entre un valor y un resultado que espera. Por esto, una instrucción SI puede tener dos resultados. El primer resultado es si la comparación es Verdadera y el segundo si la comparación es Falsa.” (Soporte Office, 2020)

Por ejemplo, =SI(C2="Sí",1,2) dice: SI(C2 = Sí, entonces devolver un 1, en caso contrario devolver un 2)

La función SI anidada nos permitirá resolver cualquier situación en las que necesitemos evaluar más de una prueba lógica y ejecutar más de dos acciones.

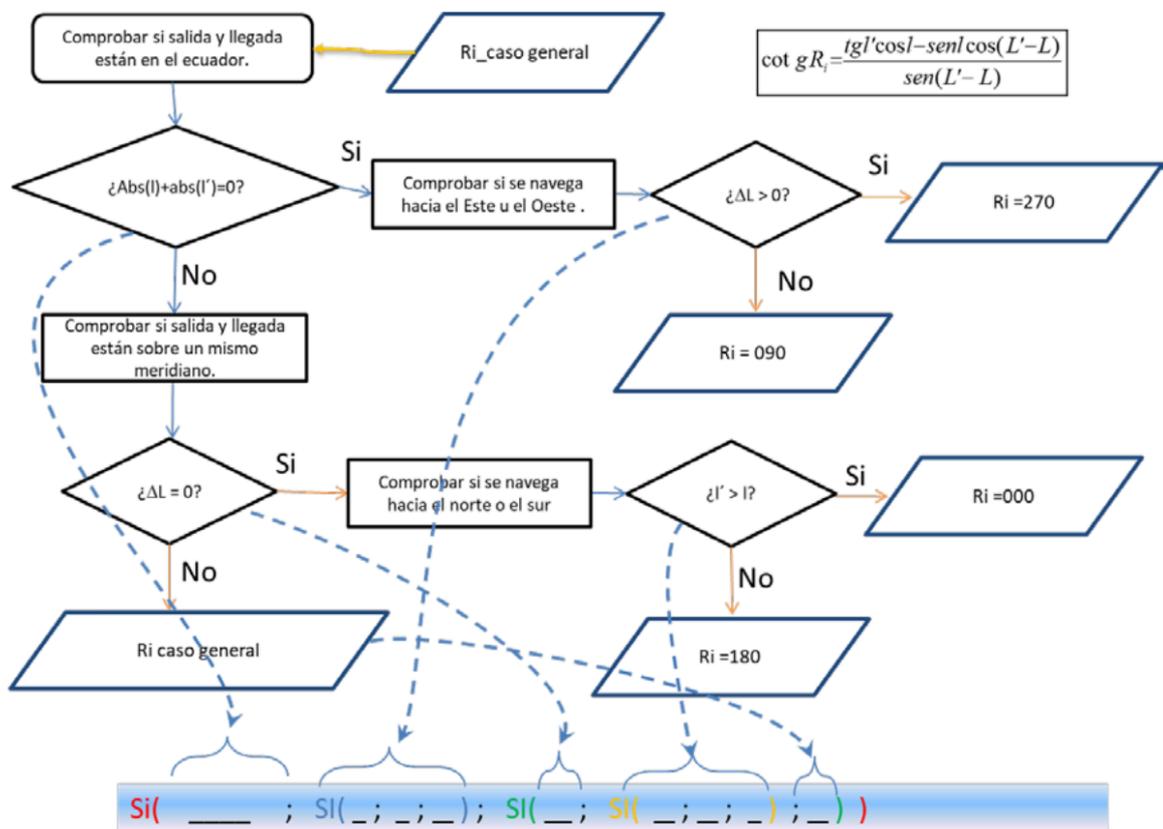


Ilustración 11. Flujograma con diamantes de decisión concatenados para ejemplificar la función SI anidada. Fuente, Sánchez Díaz De La Campa.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Función BUSCAR

La función BUSCAR de Excel nos permite buscar un valor dentro de un rango de celdas y como resultado nos devolverá el valor correspondiente del rango de resultados que determinemos.

La función BUSCAR tiene dos formas de sintaxis: la forma vectorial y la forma matricial.

La forma que emplearemos para el desarrollo de este trabajo será la vectorial, la cuál busca en un rango de una fila o una columna (vector) un valor y devuelve un valor desde la misma posición en un segundo rango de una columna o una fila.

Función REDONDEAR.MENOS

La función REDONDEAR.MENOS se encarga de redondear el número de decimales hacia abajo, es decir, en dirección hacia cero.

La sintaxis de la función REDONDEAR.MENOS consta de los siguientes argumentos:

- Número (obligatorio). Cualquier número real que se desee redondear hacia abajo.
- Núm_decimales (obligatorio). El número de dígitos al que se desea redondear hacia abajo.

II.2.3.3.- “Sistemas Integrados de Gestión”

Por medio de la asignatura “Sistemas Integrados de Gestión” se han adquirido los conocimientos necesarios en la elaboración e interpretación de los diagramas de flujo o flujogramas elaborados en el presente proyecto.

Diagrama de flujo o Flujograma.

Los flujogramas o diagramas de flujo son útiles para describir los procesos que han de ceñirse a un procedimiento. Los diagramas de flujos son meras herramientas gráficas que permiten representar de forma ordenada las secuencias de tareas que componen un proceso. La representación ordenada de las tareas hace aflorar con frecuencia las incongruencias de la descripción verbal y puede, por tanto, conducir a un mejor conocimiento del funcionamiento del proceso. (Sánchez Díaz De La Campa, Apuntes Sistemas Integrados de Gestión, 2018)

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Reglas de diagramación.

Cada tarea de un proceso se representa como un rectángulo. Como excepción, la primera y última tarea se representan mediante rectángulos con las esquinas redondeadas. (Sánchez Díaz De La Campa, Apuntes Sistemas Integrados de Gestión, 2018)

Las entradas y salidas se representan mediante paralelogramos romboides. Dentro del romboide, en negrilla y subrayado, se indica el origen del que procede la entrada o el destino al que se dirige la salida. Los orígenes/destinos pueden ser procesos o elementos externos a la organización. (Sánchez Díaz De La Campa, Apuntes Sistemas Integrados de Gestión, 2018)

Las tareas se ordenan siguiendo la secuencia en la que acontecen. Se emplean conectores azules para indicar esta secuencia o flujo de tareas. Los conectores marrones señalan la presencia de entradas y salidas. (Sánchez Díaz De La Campa, Apuntes Sistemas Integrados de Gestión, 2018)

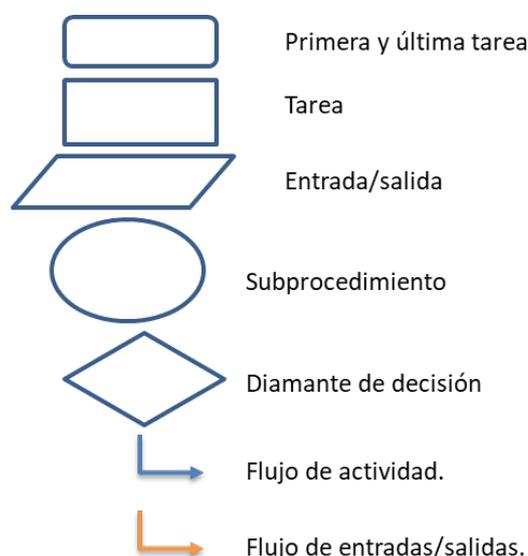


Ilustración 12. Elementos de un flujograma.
Fuente, Sánchez Díaz De La Campa

Diamante de decisión: Una figura con forma de diamante que plantea una pregunta y señala, según la respuesta, una o varias secuencias alternativas. Los diamantes de decisión se emplean para diagramar la toma de decisiones. .(Sánchez Díaz De La Campa, Apuntes Sistemas Integrados de Gestión, 2018)

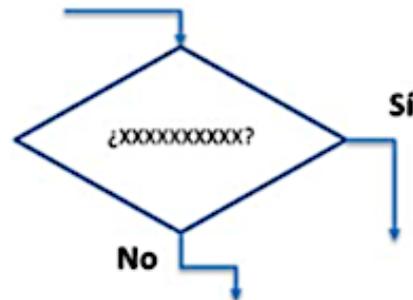


Ilustración 13. Diamante de decisión.
Fuente, Sánchez Díaz De La Campa.

II.2.4.- Otras herramientas

II.2.4.1.- Métodos de integración numérica aproximada.

En los cálculos de flotabilidad y estabilidad del buque, intervienen una serie de curvas que dependen de las formas que adquiere el buque para las distintas flotaciones dadas y cuadernas. Dichas curvas, vienen expresadas a través de integrales definidas en función de las semimangas dada la simetría del buque respecto al plano diametral.

Los métodos numéricos que se describen a continuación para el cálculo de integrales definidas, se basan en la aproximación de sustituir la integral definida por la suma de un número finito de valores de la función a integrar, multiplicados por unos determinados factores numéricos:

$$\int_a^b f(x)dx = \sum_1^n a_i f(x)$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

La hipótesis en la que se basan los métodos de aproximación, consiste en aceptar que la función a integrar puede ser sustituida por una función ya conocida con el suficiente grado de aproximación y con la condición de que tome los mismos valores para determinados valores de la variable, es decir, que pase por los mismos puntos.

A continuación se describirán los métodos de aproximación utilizados para calcular el área de las diferentes cuadernas de trazado para las flotaciones dadas en el plano de formas y las semimangas correspondientes reflejadas en la cartilla de trazado:

Regla de los Trapecios.

Si se desea calcular la integral definida de la función $y=f(x)$ entre los límites X_1 y X_2 , es decir, el área del polígono curvilínea LPON, tal como refleja la figura siguiente, se sustituye el tramo de la curva PO cuya ecuación es desconocida, por una recta que tenga la misma ordenada para X_1 y X_2 , por lo que el cálculo del área queda reducido al área de un trapecio.

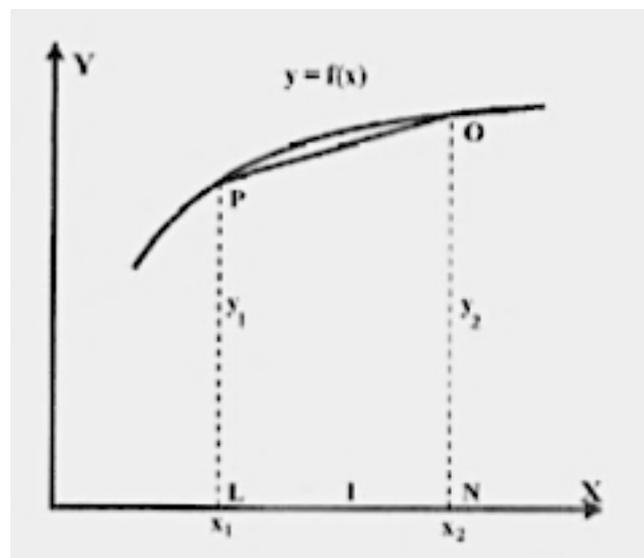


Ilustración 14. Método de los Trapecios. Autor, Iván Armenteros Rodríguez.

$$A = \int_{x_1}^{x_2} y \, d(x) = \frac{l}{2} (y_1 + y_2)$$

En el caso de estar la curva definida por un mayor número de ordenadas, se aplicaría la regla a cada uno de los tramos de dos ordenadas, con se obtendríamos:

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

$$A = \int_{x_1}^{x_2} y \, d(x) = \frac{l}{2}(y_1 + 2y_2 + 2y_3 + \dots + 2y_{n-2} + 2y_{n-1} + 2y_n)$$

Al emplear un mayor número de ordenadas, obtendremos una mayor aproximación.

Primera Regla de Simpson.

Este método se emplea para calcular la integral definida de la función $y=f(x)$ entre los límites x_1 y x_3 , tal y como se muestra a continuación, se sustituye en ese tramo la función desconocida por una parábola de segundo grado de ecuación:

$$y = a_0 + a_1 * x + a_2 * x^2$$

$$\int_{x_1}^{x_3} y * dx = \int_{x_1}^{x_3} (a_0 + a_1 * x + a_2 * x^2) dx$$

$$\int_0^{2h} (a_0 + a_1 * x + a_2 * x^2) dx = \left[a_0 * x + a_1 * \frac{x^2}{2} + a_2 * \frac{x^3}{3} \right]_0^{2h}$$

$$= 2 * a_0 * h + a_1 * \frac{4 * h^2}{2} + a_2 * \frac{8 * h^3}{3}$$

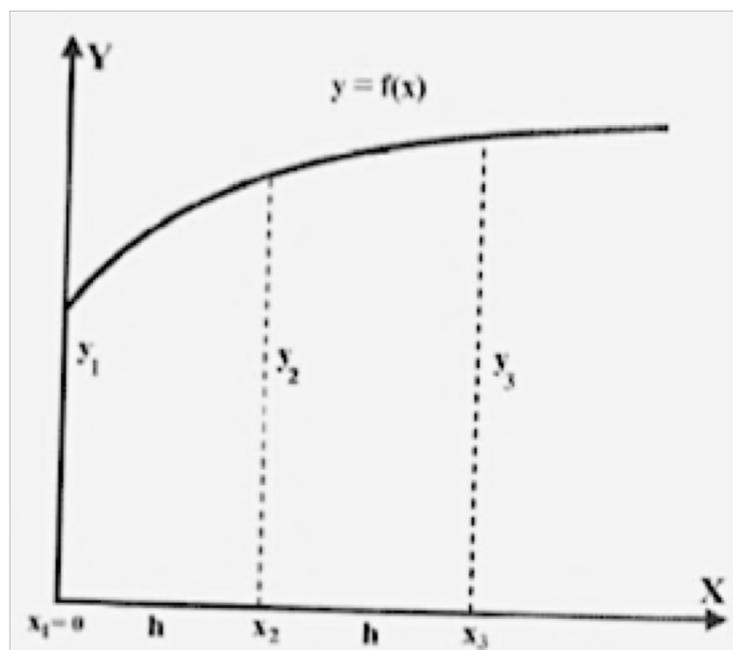


Ilustración 15. Primera Regla de Simpson. Fuente, Iván Armenteros Rodríguez.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

De dicha función se conocen tres puntos que deberán de satisfacer la parábola que la sustituye, de donde se obtienen los valores de a_0 , a_1 , a_2 .

$$(x=0, y=y_1) \quad y_1 = a_0$$

$$(x=h, y=y_2) \quad y_2 = a_0 + a_1h + a_2h^2$$

$$(x=2h, y=y_3) \quad y_3 = a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2$$

Resolviendo este sistema tenemos:

$$a_1 = \frac{2y_2 - 1,5y_1 - 0,5y_3}{h}$$

$$a_2 = \frac{y_3 + y_1 - 2y_2}{2h^2}$$

$$a_0 = y_1$$

Sustituyendo en la expresión de la integral:

$$\int_{x_1}^{x_3} y * dx = \int_0^{2h} (a_0 + a_1 * x + a_2 * x^2) * dx = \left[a_0 * x + a_1 * \frac{x^2}{2} + a_2 * \frac{x^3}{3} \right]_0^{2h}$$

$$= 2 * a_0 * h + a_1 * \frac{4 * h^2}{2} + a_2 * \frac{8 * h^3}{3} =$$

$$\int_{x_1}^{x_3} y * dx = \frac{h}{3} (y_1 + 4 * y_2 + y_3)$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

A continuación veamos como podemos hacer extensivo estos resultados a casos de más de tres ordenadas, tal y como se muestra a continuación:

$$\int_a^c y * dx = \frac{h}{3}(y_1 + 4 * y_2 + y_3)$$

$$\int_c^e y * dx = \frac{h}{3}(y_3 + 4 * y_4 + y_5)$$

$$\int_m^o y * dx = \frac{h}{3}(y_{11} + 4 * y_{12} + y_{13})$$

Por lo que teniendo en cuenta lo anterior, la integral definida o área total será:

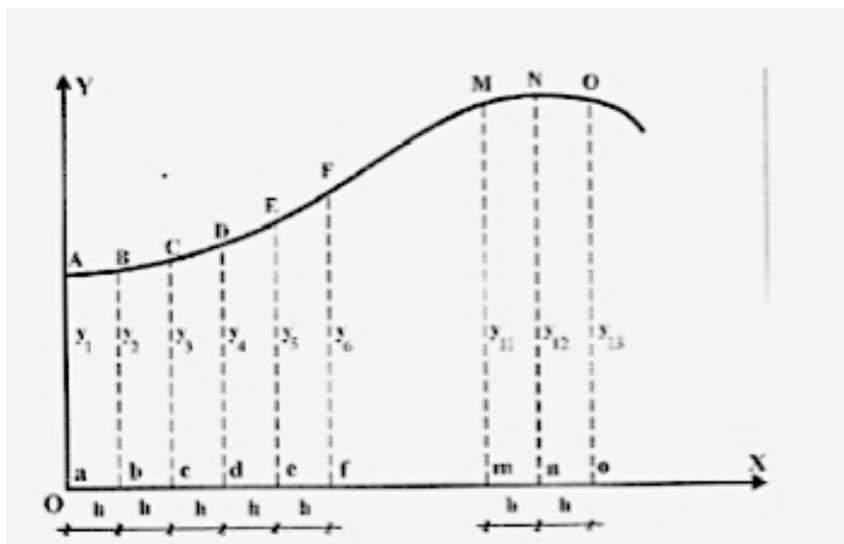


Ilustración 16. Ejemplificación Primera Regla de Simpson. Autor, Iván Armenteros Rodríguez

$$\int_{x1}^{x3} y * dx = \frac{h}{3}(y_1 + 4 * y_2 + 2 * y_3 + 4 * y_4 + 2 * y_5 + \dots + 2 * y_{11} + 4 * y_{12} + y_{13})$$

NOTA: La primera regla de Simpson solamente se puede emplear si disponemos de un número impar de ordenadas equiespaciadas.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Empleo de ordenadas semi-espaciadas.

Hasta el momento, hemos considerado siempre intervalos iguales de valor h , pero puede suceder que en zonas del buque de extrema curvatura como pueden ser la proa y la popa, con el fin de ajustar al máximo la curva parabólica a la curva real, nos interese disminuir el espacio entre ordenadas.

En estas zonas, con el objetivo de definir con mayor grado de exactitud la carena, se recurre al empleo de ordenadas situadas a la mitad de la separación entre secciones transversales e incluso, espaciadas un cuarto de distancia.

Como ejemplo, en la curva representada a continuación, se han definido en los extremos ordenadas dispuestas a la mitad y a la cuarta parte del espaciado.

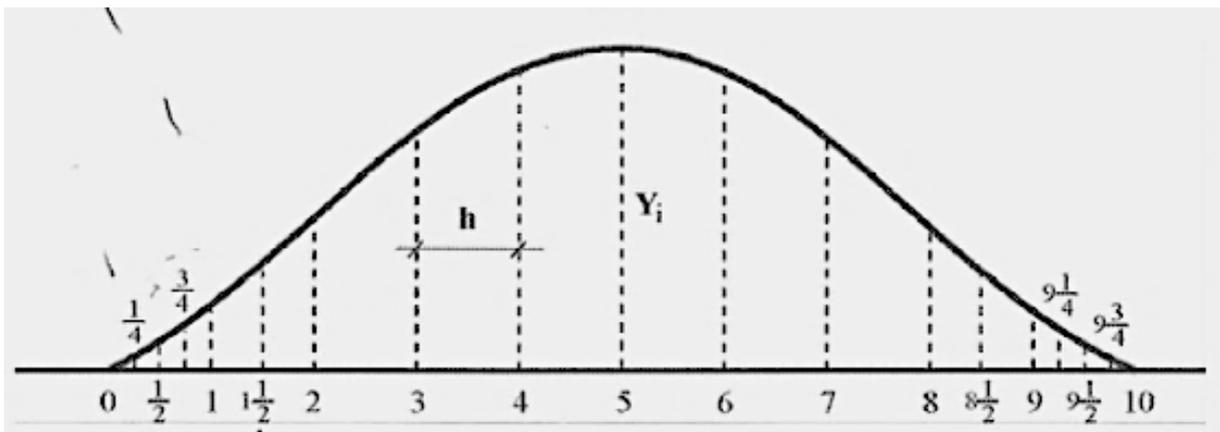


Ilustración 17. Ordenadas semi-espaciadas. Fuente, Iván Armenteros Rodríguez

Aplicando la primera regla de Simpson en tramos definidos por un número impar de coordenadas equiespaciadas tenemos:

$$\int_0^1 y * dx = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_{\frac{1}{4}} + 2y_{\frac{1}{2}} + 4y_{\frac{3}{4}} + y_1)$$

$$\int_1^2 y * dx = \frac{h}{3} (y_1 + 4y_{1\frac{1}{2}} + y_2)$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



$$\int_2^8 y * dx = \frac{h}{3}(y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + 2y_6 + 4y_7 + y_8)$$

$$\int_8^9 y * dx = \frac{\frac{h}{2}}{3}(y_8 + 4y_{8\frac{1}{2}} + y_9)$$

$$\int_9^{10} y * dx = \frac{\frac{h}{4}}{3}(y_9 + 4y_{9\frac{1}{4}} + 2y_{9\frac{1}{2}} + 4y_{9\frac{3}{4}} + y_{10})$$

$$\int_0^{10} y * dx = \frac{h}{3}(0,25y_0 + y_{\frac{1}{4}} + 0,5y_{\frac{1}{2}} + y_{\frac{3}{4}} + 0,75y_1 + 2y_{1\frac{1}{2}} + 1,5y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + 2y_6 + 4y_7 + 1,5y_8 + 2y_{8\frac{1}{2}} + 0,75y_9 + y_{9\frac{1}{4}} + 0,5y_{9\frac{1}{2}} + y_{9\frac{3}{4}} + 0,25y_{10})$$

Por tanto, para cada espacio intermedio en particular, pueden calcularse los coeficientes correspondientes de la regla que se pretende aplicar, en este caso en particular, la primera regla de Simpson.

II.2.4.2.- Curvas de Bonjean

En este tipo de curvas se representan dos funciones: el área de cada sección de trazado (A_s) y el momento de cada una de estas áreas (M_k) para los distintos calados en dichas secciones.

En la figura siguiente, W2L2 es una semi-sección de trazado de un buque. El área de la sección completa desde la línea base hasta la flotación W2L2 se obtiene mediante la integración de la función semimangas:

$$A_s = 2 \int_0^T y \, dx$$

Donde,

T = Calado

y = valor de la semimanga

Las áreas correspondientes a los diferentes calados se representan gráficamente llevando en el eje vertical el calado, y en el eje horizontal el área de la sección, tal como se representa en la figura siguiente:

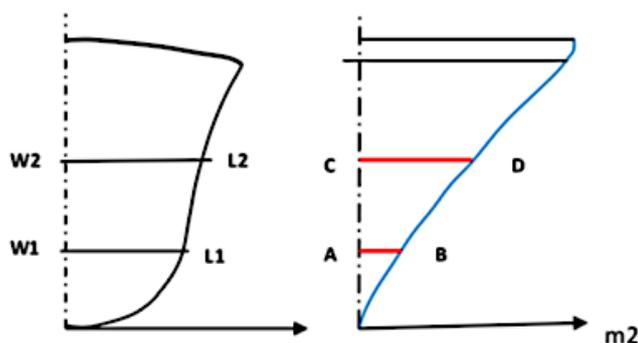


Ilustración 18. Semimangas y Curva de Bonjean. Fuente, Boris L. Guerrero B.

Todas las curvas de áreas de secciones de las diferentes cuadernas de trazado se agrupan en un diagrama común denominado Curvas de Bonjean. El diagrama de dichas curvas puede ser representado de dos formas; en forma de abanico, con el origen y el eje de calados común o separando las secciones.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

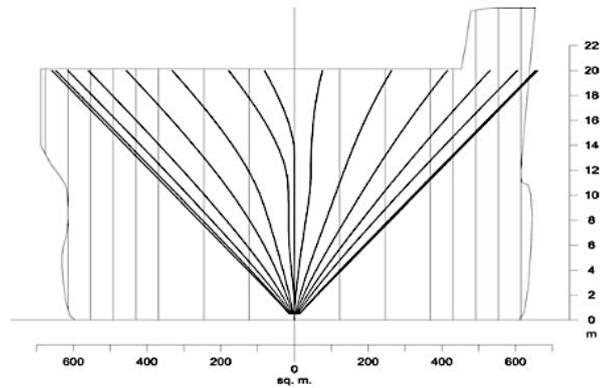


Ilustración 19. Curvas de Bonjean en abanico. Fuente, Zobair Ibn Awal, PhD

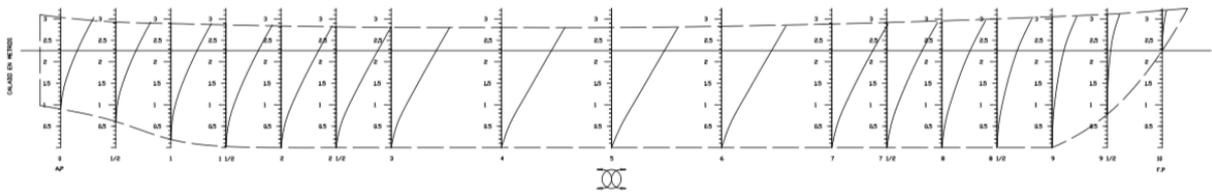


Ilustración 20. Curvas de Bonjean por secciones. Fuente, Nicolás Cortéz G.

Las curvas de Bonjean las utilizaremos en el presente trabajo para calcular con precisión la distribución longitudinal del empuje, en toneladas por metro, de las diferentes secciones de trazado.

II.3.- Metodología

En este apartado se llevará a cabo una descripción de los pasos a seguir para la elaboración del programa de cálculo de estabilidad y esfuerzos del “B/T GUANARTEME”. Dicho programa también podrá ser adaptado a cualquier buque tanque. Para ello, sería necesario modificar las tablas y características propias del buque para el cuál se pretenda realizar dicho cálculo.

La programación del cálculo se ha realizado utilizando la herramienta ofimática de Microsoft Excel.

II.3.1.- Recolección de datos.

La primera parte del proceso será la búsqueda y recolección de todos los datos necesarios que deberemos introducir en el Excel para realizar el cálculo. Éstos se describen a continuación:

- Datos del buque. (Ship particulars)
- Tablas hidrostáticas del buque.
- Tablas KN.
- Sondas de tanques.
- Tablas de GM máximo para los diferentes calados.
- Características de los tanques.
- Distribución de pesos del buque en rosca.
- Plano de capacidad de tanques.
- Curvas de Bonjean.

Para éstas últimas, en el caso que no estén disponibles en el buque, a lo largo del presente capítulo se procederá a explicar el método para su trazado partiendo de las semimangas del buque obtenidas a partir de la cartilla de trazado.

Esta parte pues se trata de un proceso muy laborioso ya que por lo general, estos documentos se encuentran en el buque en formato papel y deberemos de transformarlos en formato digital para proceder a introducirlos en la hoja Excel. Dicha tarea se realizará mediante OCR⁵.

⁵ OCR: Optical Character Recognition, una expresión en lengua inglesa que puede traducirse como Reconocimiento Óptico de Caracteres. El OCR posibilita que, al pasar un texto por un cierto

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

II.3.1.1.- Transferencia de datos al Excel.

El método para transferir todos los datos necesarios al Excel será mediante la transferencia de los mismos a diferentes “hojas Excel”. Dichas “hojas” se describen a continuación.

Hoja “TABLAS”

La hoja “Tablas” contendrá toda la información tabulada correspondiente a las curvas hidrostáticas y las curvas KN, así como también un programa de interpolación a través del cual se podrán obtener los datos hidrostáticos correspondientes para cualquier desplazamiento.

Tablas hidrostáticas.

En esta hoja se tabularán todos los datos de las curvas hidrostáticas del buque para los diferentes calados medios. Estos datos se obtienen del manual de estabilidad del buque. Los podemos observar en la siguiente ilustración.

Tcalado	DISP t	DW	LCB	VCB	LCF TM	KMT Th	MCT tT/CTM	TPC h _r /CW	CB	WSA
2,120	1914,454	0,244	46,063	1,105	46,060	8,158	45,236	9,677	0,723	1179,634

Ilustración 21. Datos curvas hidrostáticos. Fuente, elaboración propia.

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
DW	deadweight	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
VCB	vertical center of buoyancy	m
LCF	long, centre of flotation	m
KMT	transv, metac, height	m
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m ²

Ilustración 22. Significado de las siglas y unidades de los datos hidrostáticos. Fuente, elaboración propia.

dispositivo, el sistema reconozca los caracteres como parte de un alfabeto. De este modo, el documento escaneado puede ser editado con un procesador de textos, ya que no se almacena como una ima

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Tablas de valores KN

Estos datos los obtendremos del manual de estabilidad del buque y nos muestran los valores de las curvas KN para los diferentes ángulos de escora y un desplazamiento determinado.

	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	1,136	1,057	0,991	0,933	0,884	0,840	0,802	0,769	0,739	0,713	0,689	0,668	0,649
10,00	2,200	2,063	1,944	1,840	1,749	1,669	1,597	1,534	1,477	1,426	1,380	1,339	1,302
15,00	3,016	2,885	2,764	2,651	2,545	2,446	2,355	2,272	2,197	2,128	2,066	2,009	1,957
20,00	3,574	3,461	3,356	3,259	3,167	3,081	2,999	2,922	2,849	2,780	2,714	2,652	2,594
25,00	3,988	3,891	3,802	3,719	3,642	3,570	3,502	3,437	3,377	3,319	3,264	3,213	3,163
30,00	4,304	4,226	4,153	4,085	4,023	3,964	3,909	3,858	3,810	3,765	3,722	3,682	3,644
35,00	4,546	4,488	4,434	4,383	4,336	4,292	4,252	4,214	4,179	4,146	4,116	4,088	4,062
40,00	4,727	4,692	4,659	4,628	4,598	4,571	4,546	4,523	4,502	4,483	4,466	4,451	4,438
45,00	4,856	4,847	4,837	4,828	4,818	4,810	4,803	4,797	4,792	4,786	4,777	4,765	4,751
50,00	4,950	4,965	4,980	4,994	5,008	5,019	5,024	5,024	5,019	5,010	4,999	4,985	4,969
55,00	5,022	5,063	5,100	5,128	5,146	5,156	5,160	5,158	5,153	5,144	5,134	5,123	5,111
60,00	5,082	5,129	5,162	5,186	5,201	5,211	5,216	5,218	5,217	5,214	5,209	5,204	5,198
70,00	5,026	5,064	5,096	5,124	5,146	5,165	5,179	5,189	5,197	5,201	5,203	5,202	5,200
80,00	4,810	4,841	4,867	4,888	4,906	4,921	4,933	4,942	4,949	4,955	4,958	4,960	4,961

Ilustración 23. Tabla de valores KN. Fuente, elaboración propia.

Programa de interpolación.

Tanto para los datos hidrostáticos, como para los valores de las curvas KN, deberemos crear un programa que sea capaz de interpolar los datos y calcularnos el valor de los diferentes datos para un desplazamiento dado u obtenido.

Pare ello, partiendo del desplazamiento obtenido de la hoja “cuadro de momentos”, que describiremos mas adelante, y mediante la función =BUSCAR, el programa buscará el calado medio correspondiente al desplazamiento, o en su defecto, el calado medio más próximo inferior, que se mostrará en una celda, y el calado medio más próximo superior, mostrado en otra celda. Mediante la misma función =BUSCAR, el programa encontrará los valores de los datos hidrostáticos correspondientes a cada uno de los calados encontrados. Por medio de los dos valores obtenidos para cada dato, se llevará a cabo una interpolación para calcular el valor final correspondiente al desplazamiento obtenido. Se muestra un ejemplo de esto a continuación.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



T calado	DISP	DW	LCB	VCB	LCF	KMT	MCT	TPC	CB	WSA
5,61	5466,122	3551,912	45,093	2,922	41,708	5,917	64,375	11,105	0,745	1886,539
5,61	5464,332	3550,122	45,094	2,921	41,710	5,917	64,354	11,104	0,745	1886,173
5,62	5475,492	3561,282	45,087	2,927	41,697	5,919	64,486	11,112	0,745	1888,458

Ilustración 24. Programa de interpolación. Fuente, elaboración propia.

La fórmula que se introducirá para llevar a cabo esta operación de interpolación será la siguiente:

$$DW_{final} = DW_1 + ((DISP_{final} - DISP_1) * (DW_2 - DW_1) / (DISP_2 - DISP_1))$$

Esta operación se realizará todos los datos hidrostáticos de la tabla, es decir, para el *DW*, *LCB*, *VCB*, *LCF*, *KMT*, *MCT*, *TPC*, *CB*, *WSA*.

El mismo procedimiento lo utilizaremos para crear el programa de interpolación de los valores de las tablas KN, así como también de las tablas de la hoja "CARACTERÍSTICAS DE TANQUES", descrita mas adelante.

Hoja "SONDAS TANQUES"

En esta hoja estarán tabulados todos los vacíos de los tanques de carga del buque. y su volumen correspondiente en metros cúbicos. Estos datos serán tomados de las tablas de vacíos del buque.

VACÍO TANQUES	V1B	V1E	V2B	V2E	V3B	V3E	V4B	V4E	V5B	V5E	V6B	V6E	V7B	V7E
105	319.726	316.722	317.282	318.028	301.244	302.600	313.331	311.465	311.871	313.569	286.903	286.378	287.748	287.736
106	319.218	316.196	316.860	317.579	300.871	302.257	312.843	310.978	311.389	313.104	286.488	285.959	287.354	287.316
107	318.691	315.648	316.414	317.108	300.475	301.895	312.353	310.491	310.903	312.622	286.054	285.526	286.939	286.877
108	318.142	315.079	315.940	316.611	300.058	301.506	311.863	310.004	310.416	312.134	285.608	285.085	286.502	286.420
109	317.574	314.490	315.444	316.114	299.618	301.098	311.373	309.517	309.930	311.644	285.161	284.638	286.046	285.953
110	316.986	313.887	314.947	315.611	299.161	300.670	310.883	309.030	309.444	311.155	284.713	284.191	285.579	285.483

Ilustración 25. Tabla vacío tanques de carga. Fuente, elaboración propia.

Hoja "GM TABLE"

En esta hoja se recogen los valores máximos del *GM*, obtenidos del manual de estabilidad del buque, correspondientes a cada calado. Dichos valores nos servirán para comprobar, una vez realizado el cálculo del *GM*, si éste, cumple con el valor máximo permitido correspondiente al calado medio.

En la presente hoja también se creará un programa de interpolación para calcular aquellos valores correspondientes al calado medio que no estén tabulados. Para ello, se seguirá la misma metodología explicada anteriormente en el apartado "Programa de interpolación", partiendo del calado medio obtenido de la hoja "Tablas". Mediante

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

la función =BUSCAR, el programa buscará el calado medio más próximo inferior y mas próximo superior así como su GM_{max} correspondiente como se observa en la ilustración 27. Una vez encontrado los valores, el programa realizará la interpolación.

Calado	GM max
1,180	8,501
1,200	8,305
1,220	8,108

Ilustración 26. GM máx. Fuente, elaboración propia.

T.Calado	GM max
5,612	0,395
5,600	0,389
5,620	0,4

Ilustración 27. Interpolación GM max. Fuente, elaboración propia.

$$GM_{max_{final}} = GM_1 + (((Cm_{final} - Cm_1) * (GM_2 - GM_1)) / (Cm_2 - Cm_1))$$

Hoja "CARACTERÍSTICAS TANQUES"

En la presente hoja debemos de registrar todos los datos referentes a las características de los tanques, es decir, los valores de la posición del centro de gravedad tanto vertical (VCG o KG), longitudinal (LCG), transversal (TCG) y el momento de superficies libres (Msl) para cada condición de carga de los mismos, desde el tanque vacío, hasta el 100% de su capacidad. Para ello, se creará una tabla correspondiente a cada uno de los tanques donde se recogerán los valores descritos anteriormente para cada condición de carga de cada uno de los tanques. Además en dicha tabla también vendrá reflejado el volumen correspondiente a cada condición de carga, que nos servirá como referencia para que, a través de una tabla de interpolación similar a la descrita en el apartado anterior, el Excel calcule los valores de los diferentes centros de gravedad y el Msl correspondiente a la condición de carga establecida.

Los valores descritos en el presente apartado los encontraremos en el manual de estabilidad del buque tabulados o reflejados en una gráfica.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

FORE PEAK					
%	Vol	LCG	TCG	VCG	Msl
0	0,000	88,050	0,000	3,925	0,000
5	5,790	86,837	0,000	0,438	5,570
10	11,570	87,051	-0,001	0,678	8,450
15	17,360	87,149	-0,001	0,885	10,280

Ilustración 28. Tabla características de tanques. Fuente, elaboración propia

Hoja “DISTRIBUCIÓN DE PESOS”

Otros datos importantes para poder calcular los esfuerzos del buque es la distribución de pesos a lo largo de la eslora del buque, tanto la distribución de pesos del buque en rosca, como la distribución de la carga, el lastre y los tanques de servicios.

Para realizar esta tarea, crearemos un programa que sea capaz de calcular los pesos en cada sección de trazado del buque. En cada una de ellas, vamos a tener unos pesos fijos, aquellos correspondientes a los elementos estructurales del buque y otros pesos que variarán en función de la carga, el lastre y los tanques de servicio.

Para ello, situaremos a lo largo de toda la eslora los elementos estructurales y los tanques del buque. Esta información estará disponible en el manual de estabilidad del buque y en el plano de capacidades de los tanques del mismo.

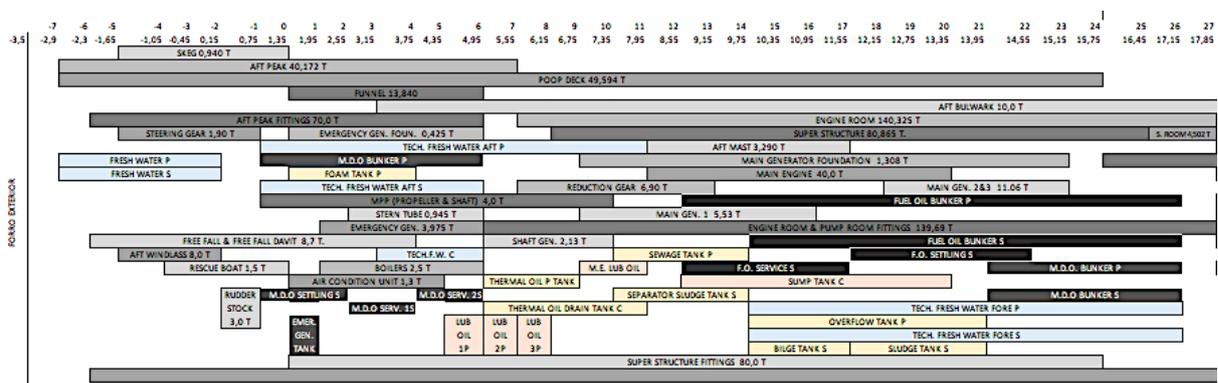


Ilustración 29. Ejemplo distribución de pesos. Fuente, elaboración propia.

Una vez tengamos la distribución de pesos, y partiendo de unas tablas previamente creadas a través de las cuales obtengamos las toneladas por metro para cada uno de los tanques y para cada uno de los elementos estructurales, crearemos una tabla por cada sección de trazado establecida, en la que calcularemos el peso que afecta a cada una de estas secciones. La carga contenida en cada uno de los tanques será obtenida de la hoja “CONDICIÓN TANQUES” que expondremos mas adelante, y que

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

estará vinculada a la presente hoja para que ésta sea automáticamente actualizable. Un ejemplo de las tablas descritas anteriormente podemos observar a continuación.

ITEM	Weight (T)	Long.(m)	T/m
SKEG	0,964	2,700	0,357
AFT PEAK	40,172	7,790	5,157
POOP DECK	49,594	19,200	2,583
FUNNEL	13,840	3,700	3,741
AFT BULWARK	10,000	21,400	0,467
ENGINE ROOM	140,325	12,700	11,049

Ilustración 31. Elementos estructurales. Fuente, elaboración propia.

TANQUES CARGA			
Nº TANQUE	CARGA (T)	ESLORA (m)	T/m
CT1P	255,812	11,90	21,497
CT1S	253,086	11,90	21,268
CT2P	259,178	9,10	28,481
CT2S	259,622	9,10	28,530
CT3P	238,334	7,70	30,952
CT3S	239,584	7,70	31,115
CT4P	195,964	8,40	23,329
CT4S	194,775	8,40	23,188
CT5P	239,054	8,40	28,459
CT5S	240,331	8,40	28,611
CT6P	219,932	7,70	28,563
CT6S	219,467	7,70	28,502
CT7P	109,176	8,40	12,997
CT7S	110,101	8,40	13,107

Ilustración 32. Tanques de carga. Fuente, elaboración propia.

SECCIONES	DESCRIPCIÓN	LONGITUD PESO	PESOS		Σ PESOS
			T/m	TOTAL	
18	DECK FITTINGS	4,40	0,935	4,114	103,273
	CARGO AREA FIT	1,95	1,047	2,042	
	LNG. CORRUGA	0,95	0,853	0,810	
	FORE BULWARK	4,40	0,494	2,174	
	CATWALK	1,95	0,25	0,485	
	CHAIN	0,95	8,33	7,917	
	FORE PEAK FITT	4,40	4,94	21,724	
	FOREPEAK & FO	4,40	9,79	43,082	
	FORE WINDLAS	1,80	4,39	7,873	
	BOW THRUSTER	1,20	3,75	4,500	
	CT1P	0,20	21,497	4,299	
	CT1S	0,20	21,268	4,254	
	L1P	1,20	0,000	0,000	
	L1S	1,20	0,000	0,000	
TRIM	3,20	0,000	0,000		

Ilustración 33. Distribución de pesos sección. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Se establecerá un método para comprobar que la distribución de pesos realizada, se ha hecho correctamente. El método es muy sencillo y consiste en que la sumatoria de los pesos de las diferentes secciones en la que se ha dividido el buque, tiene que ser igual al desplazamiento calculado en la hoja “*CUADRO DE MOMENTOS*” que será definida a lo largo del presente capítulo. Por lo tanto tenemos que:

$$\sum TOTAL PESOS = DESPLAZAMIENTO$$

Hoja “INFORMACIÓN”

Se trata de una hoja que refleja las características principales del buque, así como también podrá reflejar datos correspondientes al flete, a la carga, datos referentes al medio ambiente, etc. Estos datos servirán de referencia a otras hojas que precisen de éstos para poder realizar algún calculo o reflejar la misma información contenida.

II.3.2.- Cálculos.

En los apartados que se describirán a continuación, se llevarán a cabo todos los cálculos relacionadas con las operaciones, la estabilidad y los esfuerzos del buque.

II.3.2.1.- Cálculo relativos a las operaciones, la estabilidad y esfuerzos del buque.

Hoja “PLAN DE CARGA”

La citada hoja, es una de las principales del presente trabajo y en ella se introducirán los datos referentes a la carga y al lastrado del buque.

En dicha hoja se deberán introducir los datos referentes a los productos a cargar, es decir, el tipo de producto y los tanques a cargar, el vacío al que se cargaran dichos tanques, la temperatura y la densidad del producto. Con todos estos datos, el Excel se encargará de calcular a través de la hoja “*CÁLC LIQ*” la cantidad total a cargar de cada producto en metros cúbicos y en toneladas. Dichos cálculos se describirán en el apartado referido a la citada hoja.

La hoja también contendrá el desarrollo del plan de carga, es decir, los pasos establecidos por el primer oficial de cubierta que deberá llevar a cabo el oficial de guardia encargado de las operaciones de carga y lastre. Ésta descripción se verá reflejada de forma automática en el plan de carga ya que las celdas se vincularán a la

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

hoja “PLAN CARGA IMP.”, la cuál elabora de manera automática la versión para imprimir del citado plan.

Para tener una visión rápida de información esencial, la presente hoja estará vinculada con aquellas otras hojas encargadas de realizar el cálculo de los calados, de la escora y el asiento, así como también se vinculará a la hoja encargada de realizar los cálculos de cantidades finales cargadas. Esto nos permitirá conocer al instante la cantidad total de carga acorde a los vacíos indicados para cada uno de los productos seleccionados, tanto en toneladas, como en metros cúbicos, así como los calados finales, el asiento y la escora, es decir, la condición final del buque para la carga dada.

A continuación se muestra un ejemplo de los descrito anteriormente.

CALADOS FINALES				
POPA	MEDIO	PROA	ASIENTO	ESCORA
6,21	5,57	4,94	1,3	0,59

Ilustración 34. Cuadro calados finales. Fuente, elaboración propia

PRODUCTO	KGS AIRE	LITROS A TEMP	TEMP MEDIA
RMG 380 VLS	2.339.885	2.493.049	55,0
DMA	698.088	813.767	18,0
TOTAL	3.037.973	3.306.816	

Ilustración 35. Cuadro cantidades finales. Fuente, elaboración propia

Hoja “CONDICIÓN TANQUES”

Esta hoja estará formada por diversas tablas que recogerán las capacidades de todos los tanques del buque: tanques de carga, tanques de lastre, tanques de combustible, tanques de aceite, tanques de agua y demás tanques que disponga el buque, y en ellas se deberán introducir de forma manual, la densidad y el peso en toneladas del producto que contengan.

Dichas tablas estarán formadas por siete columnas que contendrán los datos que a modo de ejemplo se muestran en la siguiente ilustración.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

TANQUES VARIOS						
	Volumen máximo	Porcentaje %	Volumen	Densidad	Peso	Total Varios
THERMAL OIL TANK	6,881	96,89	6,667	0,9	6	32,500
SEPARATOR SLUDGE TANK S	5,292	94,48	5,000	1	5	
BILGE TANK S	1,613	92,99	1,500	1	1,5	
THERMAL OIL DRAIN TANK C	4,2	92,59	3,889	0,9	3,5	
SEWAGE TANK P	5,292	94,48	5,000	1	5	
OVERFLOW TANK P	5,212	95,93	5,000	1	5	
SLUDGE TANK S	3,099	96,81	3,000	1	3	
FOAM TANK P	4,994	87,61	4,375	0,8	3,5	

Ilustración 36. Tabla tanques varios. Fuente, elaboración propia.

Como podemos observar en la ilustración anterior, la primera columna contendrá el nombre del tanque al que hacen referencia los datos recogidos en las columnas siguientes. La siguiente columna nos indicará el volumen total del tanque, es decir, la capacidad de éste al 100% que nos servirá como referencia y que será utilizado por la tercera columna para calcular el porcentaje de llenado acorde al volumen calculado por el Excel a partir de los datos de peso y densidad recogidos en las siguientes columnas e introducidos por nosotros de forma manual.

Para realizar el cálculo del volumen a partir de la masa y la densidad, el Excel utiliza la siguiente fórmula:

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$V = volumen$

$m = masa$

$\delta = densidad$

Y finalmente, la última columna contendría una sumatoria del peso total de los tanques.

La presente hoja estará vinculada a la hoja “DISTRIBUCIÓN DE PESOS”, ya que ésta última tomará los valores de los pesos de los tanques para llevar a cabo la distribución de pesos del buque.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Hoja “CUADRO DE MOMENTOS”

Se trata de una hoja cuya finalidad es el cálculo de la posición de los diferentes centros de gravedad del buque (KG , TCG , LCG) que se llevará a cabo mediante la aplicación del *Teorema de Varignon*, que establece, que en un sistema de pesos, el momento de la resultante de un sistema de fuerzas con respecto a un punto es igual a la suma de los momentos individuales de las componentes con respecto a dicho punto.

Por tanto, en la presente hoja se calcularán los momentos individuales de cada uno de los tanques del buque, así como también contemplará los momentos específicos establecidos para cada buque, recogidos en el manual de estabilidad.

Para llevar a cabo el cálculo de los momentos, la presente “*Hoja*” estará vinculada con la hoja “*CARACTERÍSTICAS DE TANQUES*” de donde obtendrá los valores de los diferentes centros de gravedad de cada uno de los tanques, que, multiplicado por el peso de cada uno de ellos, obtendremos el resultado de cada uno de los momentos tanto verticales (KG), como transversales (TCG) y longitudinales (LCG).

Para facilitar dicha tarea, se podrá crear una tabla similar a la que encontraremos a modo de ejemplo a continuación.

<i>Descrip.</i>	<i>Peso</i>	<i>KG</i>	<i>Mv</i>	<i>LCG</i>	<i>MI</i>	<i>TCG</i>	<i>Mt</i>
D_i	5.518	6,5	35.867	36,4	200.855,2	0,021	115,9
TN°4	-250	0,80	-200	63,5	-15.875	-1,3	-325
TN°6	-100	1,45	-145	15,6	-1.560	3,22	322
D_f	5.258		35.522		184.824,2		112,9

Ilustración 37. Tabla para el cálculo de momentos. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Para calcular la posición final de cada uno de los centros de gravedad, y utilizando los datos del ejemplo anterior, tendremos que:

$$KG_f = \frac{\sum Mv}{D_f} = \frac{35.522}{5.258} = 6,76 \text{ m}$$

$$LCG_f = \frac{\sum Ml}{D_f} = \frac{184.824,2}{5.258} = 35,15 \text{ m}$$

$$TCG_f = \frac{\sum Mt}{D_f} = \frac{112,9}{5.258} = 0,021 \text{ m}$$

Otro dato importante que calcularemos en esta hoja es la corrección por superficies libres. Para ello, necesitamos obtener del manual de estabilidad del buque, el “Momento de superficies libres (Msl)” para cada una de las condiciones de carga de cada uno de los tanques.

$$Csl = \frac{\sum FSM}{D_f}$$

Hoja “CÁLCULOS”

En esta hoja realizaremos los cálculos de los calados finales del buque, así como también el ángulo de escora. Para ello utilizaremos las siguientes fórmulas:

Calados finales:

$$Trim = \frac{\Delta x (LCB - LCG)}{MCT}$$

$$Taft = \frac{LCF x Trim}{lpp} + cm$$

$$Tfwd = Taft - Trim$$

Escora:

$$\tan\theta = \frac{TCG}{GM}$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Todos los datos necesario para sustituir en la fórmula, los encontraremos tabulados en la tablas hidrostáticas, es decir, en la hoja “*TABLAS*”:

- *LCB (X_c)*: Posición longitudinal del centro de carena.
- *LCF*: Posición longitudinal del centro de flotación.
- *MCT*: Momento unitario.
- *C_m*: calado medio para un desplazamiento dado.
- *KM*: Distancia vertical del metacentro transversal, a la línea base o quilla.

Para el cálculo del *GM*:

$$GM = KM - KG$$

En la hoja “*MOMENTOS*” ya habremos calculado el centro de gravedad transversal (*TCG*) y el centro de gravedad vertical (*KG*), datos también necesarios para realizar el cálculo acorde a las fórmulas descritas.

Todas estas celdas que contienen los datos expuestos anteriormente irán vinculadas a la presente hoja para que el Excel realice los cálculos de manera automática.

Hoja “*ESTABILIDAD*”

Se trata de una de las partes fundamentales del presente trabajo, ya que en ella se van a mostrar y calcular todos los datos relacionados con la estabilidad del buque. En esta hoja calcularemos la estabilidad estática y dinámica del buque, así como también se mostraran datos calculados en otras hojas relacionados con dicha estabilidad. Por lo tanto tendremos una visión general de todos los parámetros de estabilidad del buque.

Estabilidad Estática.

Para realizar el cálculo de la estabilidad estática, o lo que es lo mismo, del brazo del par de estabilidad, *GZ*, expresado en la siguiente ecuación;

$$GZ = KN - KG \operatorname{sen}\theta$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Realizaremos la siguiente tabla:

θ	KN	KG	$\text{sen}\theta$	$KG \text{ sen}\theta$	GZ

Ilustración 38. Tabla para el cálculo de la estabilidad estática. Fuente, elaboración propia.

Todos los valores necesarios para realizar el cálculo de GZ , los obtendremos de la hoja “*TABLAS*” y de la hoja “*MOMENTOS*”

Estabilidad Dinámica.

Podemos establecer según lo desarrollado en la descripción del sistema objeto de estudio, apartado de estabilidad que, el área bajo la curva de estabilidad estática, es decir, la integral de la curva de estabilidad estática, nos da el valor de la estabilidad dinámica, por lo que para realizar el cálculo de la estabilidad dinámica utilizaremos métodos aproximados de integración, también desarrollados el en apartado de herramientas.

Para ello, crearemos en la hoja Excel un cuadro similar al que podemos encontrar a continuación.

θ	GZ	$S = \text{semisuma } GZ$	Dinámica Parcial $S \times \text{rad}$	Dinámica Total

Ilustración 39. Tabla cálculo estabilidad dinámica. Fuente, elaboración propia

En el cálculo de la Dinámica parcial, multiplicaremos S por la diferencia de los grados de las diferentes escoras expresados en radianes, es decir, si tuviéramos una diferencia de 10° , entonces multiplicaríamos $S \times 0,174533$.

Una vez calculada tanto la estabilidad estática como dinámica por medio de las tablas descritas anteriormente, crearemos una gráfica que represente los valores de GZ para

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



cada uno de los ángulos de escora y otra gráfica que represente los valores de la estabilidad dinámica para los mismos ángulos.

Como comentamos anteriormente, para tener una visión completa de todos los datos de estabilidad, vincularemos con esta hoja todos los datos relativos a la estabilidad del buque calculados en otras hojas, como pueden ser los valores de los centros de gravedad, los calados, la altura metacéntrica, radio metacéntrico, etc.

Hoja “CÁLCULO LIQUIDACIÓN”

Será la hoja encargada de calcular a través de los vacíos introducidos en la hoja “*PLAN DE CARGA*” el volumen cargado en metros cúbicos y el peso en toneladas.

Esta operación la llevaremos a cabo mediante la creación de una tabla que contenga los datos que se muestran a continuación:

TANQUE	PRODUCTO	VACIOS	VOL. NETO	TEMP	DENS. V	DENS. A	FACTOR V.	LT NETOS	KILOS VACIO	KILOS AIRE
TS1B	RMG 380 VLS	185	271.685	55	0,9660	0,9649	0,9716	263.969	254.994	254.703
TS1E	RMG 380 VLS	185	268.783	55	0,9660	0,9649	0,9716	261.150	252.270	251.983

Ilustración 40. Tabla cálculo liquidación. Fuente, elaboración propia

La primera columna contendrá la descripción del tanque al que hace referencia. Esta tarea la realizará el programa de forma automática ya que vincularemos esta columna a la hoja “*PLAN DE CARGA*”, concretamente a la columna en la que se enumeran los tanques.

La segunda columna mostrará el tipo de producto a cargar en el tanque correspondiente, que al igual que la primera columna, estará vinculada a la hoja “*PLAN DE CARGA*” de la que tomará la descripción del correspondiente producto. Así como también tomará de la misma hoja los valores de la tercera columna correspondientes al vacío de los tanques. Con este último valor y aplicando la función “BUSCAR” aplicada a la hoja “*SONDAS TANQUES*”, el Excel reflejará el volumen neto correspondiente al vacío dado.

Los datos reflejados en las dos siguientes columnas, es decir, la columna de la temperatura (TEMP) y de la densidad al vacío (DENS. V), también serán tomados, mediante la vinculación de las celdas, de la hoja “*PLAN DE CARGA*”. Para calcular la densidad al aire, simplemente a la densidad al vacío le restaremos $0,0011 \text{ g/cm}^3$ y el nuevo valor obtenido se reflejará en la siguiente columna (DENS.A).

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

El cálculo del factor de corrección de volumen por temperatura (VCF) se realizará en otra hoja independiente a la actual que explicaremos en el siguiente apartado, por lo que los valores correspondientes al VCF serán obtenidos de la hoja correspondiente, que estará vinculada con la presente hoja para mostrar el valor en la columna correspondiente. Una vez obtenido este valor, en la siguiente columna se multiplicaría por el volumen neto y el resultado es el volumen en litros corregido por temperatura.

Finalmente, multiplicando el valor de los litros netos, por la densidad al vacío y por la densidad al aire, obtendríamos el valor de los kilos al vacío y de los kilos al aire respectivamente.

Hoja “CÁLCULO VCF”

Acorde a lo comentado en el apartado anterior, en ésta hoja se realizará el cálculo del factor de corrección del volumen por temperatura, VCF de sus siglas en inglés (Volume correction factor). Este cálculo se realizará siguiendo los pasos establecido en las tablas ASTM⁶. Para ello crearemos una tabla para cada uno de los tanques de carga del buque la cuál estará compuesta por los datos que se muestran y desarrollan a continuación.

DENSIDAD	K	L	C
770,5	346,4228	0,4383	0,00082496
787,5	2680,3206	-0,0033631	-0,0004908
839,5	594,5418	0	0,00063713
1075	186,9696	0,4862	0,00070368
tanque 1Er			
186,9696	0,00070368	E	0,97162941
4,862		F	0,9716
TANQUE 1ER			
DENSIDAD DATO	0,966		DEN*1000 966
TEMPERATURA	55		TEMP-15 40

Ilustración 41. Tabla para el cálculo del VCF. Fuente, elaboración propia.

En la columna “DENSIDAD”, se muestran los valores de la densidad que se usarán como valor de referencia para la ejecución del cálculo, es decir, si el valor de la

⁶ ASTM: American Society for Testing and Materials.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



densidad de nuestro producto es igual o inferior al valor 770,5 el Excel tomará los valores de “K”, “L”, “C” correspondiente a dicho valor y así sucesivamente con cada valor de referencia reflejado en la columna “DENSIDAD”. Para realizar esta operación, haremos uso de la función “SI”. A continuación podemos observar la función “SI” anidada creada con los datos de la tabla anterior:

= SI(J11 ≤ 770,5; 346,4228; SI(J11 ≤ 787,5; 2680,3206; SI(J11 ≤ 839,5; 594,5418; SI(J11 ≤ 1075; 186,9696; 0))))

Esta misma función la crearemos tanto para los datos de la columna “K”, como para los de la columna “L” y “C”. Los valores calculados por la función se reflejarán en su celda correspondiente. En nuestro ejemplo, los valores reflejados en la celda amarilla son los correspondientes a los datos de la columna “K”, los de la celda roja corresponden a los datos de la columna “L” y por último, los de la celda verde corresponden a los datos de la columna “C”. Los valores de las columnas “K” y “L” son valores ya preestablecidos para la densidades correspondientes, mientras que los valores de la columna “C”, será el resultado del siguiente cálculo:

$$C = \frac{K}{(Den * 1000)^2} + \frac{L}{Den * 1000}$$

El valor de la celda “E” (exponencial), lo calcularemos por medio de la fórmula que se expresa a continuación:

$$E = C * TEMP - 15 * (1 + 0,8 * C * TEMP - 15)$$

Para entender mejor el cálculo sustituiremos en la fórmula anterior los valores de la tabla expuesta anteriormente a modo de ejemplo.

$$E = 0,00078368 * 40 * (1 + 0,8 * 0,00078368 * 40) = 0,97162941$$

Y por último, para calcular el valor del VCF, aplicamos la fórmula que se muestra a continuación:

$$F(VCF) = ENTERO(E * 10000 + 0,5)/10000$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Hoja “CÁLCULO DE ÁREAS”

La finalidad de esta hoja es calcular el valor del área correspondiente a las diferentes cuadernas de trazado para las distintas líneas de agua.

La curva de área de una sección transversal de trazado, representa el área de la sección transversal para los distintos calados en dicha sección.

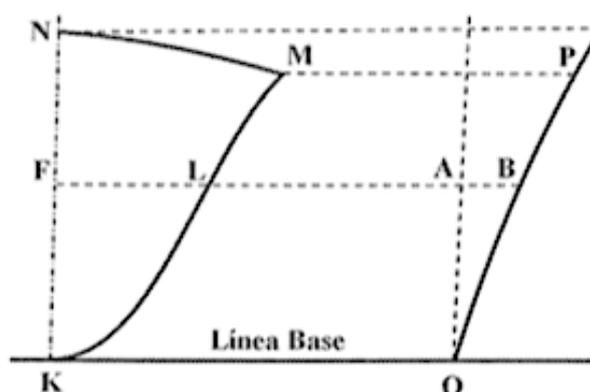


Ilustración 42. Curva de áreas sección transversal. Fuente, Iván Armenteros Rodríguez.

En la ilustración anterior podemos observar como KLMN es una semisección de trazado de un buque. El área de la sección completa desde la línea base hasta una flotación FL se obtiene mediante la integración de la función semimangas:

$$A_{KFL} = \int_0^T 2 * y dz$$

Para calcular el valor de las áreas de cada una de las cuadernas de trazado para las distintas líneas de agua, utilizaremos el método de integración aproximado de los trapecios explicado en el apartado “Herramientas”.

Hoja “BONJEAN”

En esta hoja tabularemos las áreas correspondiente a cada una de las cuadernas de trazado o secciones para cualquier flotación del buque con el objetivo de, a través de la ecuación general de la recta, calcular el empuje existente en cada una de las citadas secciones.

Como bien nos indica el título de la hoja, esta información la obtendremos de las curvas de Bojean.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Para obtener el calado en cada una de las diferentes secciones del buque, usaremos la ecuación general de la recta dados dos puntos:

$$y = mx + b$$

Una vez calculado el calado para cada una de las secciones y a través de la función de Excel =BUSCAR, obtendremos el área correspondiente a dicha flotación, que multiplicada por la longitud de dicha sección y por la densidad del fluido en el que flota el buque, nos dará como resultado el valor del empuje de cada una de las secciones.

Hoja "CALCULO ESFUERZOS"

El cálculo parte de los datos de pesos y empujes que ya hemos calculado en las hojas correspondientes anteriormente explicadas, para cada una de las secciones en las que hemos dividido el buque. El peso menos el empuje nos da como resultado el valor de la carga. Para ayudarnos y clarificar el cálculo, nos ayudaremos de una tabla como la que se muestra a continuación.

Número de sección	Pesos Tm/m	Empujes Tm/m	Cargas Tm/m
0			
½			
1			
1½			
2			
2½			
3			
...

Ilustración 43. Tabla para el cálculo del empuje, Fuente, Joan Olivella Puig.

A continuación calcularemos los esfuerzos cortantes. Para ello multiplicaremos las cargas calculadas anteriormente por la eslora de las secciones, que deberá ser constante. Este producto representa el esfuerzo cortante parcial de la rebanada para la sección que la limita. La acumulación de los esfuerzos parciales dará como resultado el valor del esfuerzo cortante de cada una de las secciones. En el caso que el valor de la última sección no sea cero, se procederá a la corrección de dicho error, siempre que este sea aceptable, mediante la aplicación de la siguiente función:

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

$$\Delta(ec) = \frac{\Delta(EC)}{E} * dpp$$

Donde:

- $\Delta(ec)$ = incremento a sumar o restar en cada sección acorde al signo obtenido.
- $\Delta(EC)$ = valor del esfuerzo cortante obtenido en proa pero con signo contrario.
- E = eslora
- dpp = distancia desde popa a la sección para la que se calcule.

Número de sección	Carga Tm/m	Carga x intervalo Tm/m x m	Esfuerzos cortantes Tm	Correc- ción Tm	EC corregido Tm
0		0	0	0	0
½					
1					
1½					
2					
2½					
3					
...

Ilustración 42. Tabla para el cálculo de los esfuerzos cortantes. Fuente, Joan Olivella Puig

El cálculo de los momentos flectores se realizará mediante el método de integración aproximada de los trapecios, por ello, debemos calcular el esfuerzo cortante medio, que multiplicado por la longitud de la sección nos dará como resultado el momento flector de la rebanada para su sección límite. El acumulado de estos parciales dará el momento flector de cada una de las secciones. Si fuera necesario, se aplicará el mismo método de corrección usado en los esfuerzos cortantes.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Núm. de sección	Esfuerzos cortantes Tm	Esfuerzo cortante medio	EC x int. Tm x m	Momentos flectores Tm x m	Correción Tm x m	MF corregido Tm x m
0	0		0	0	0	0
½						
1						
1½						
2						
2½						
3						
...

Ilustración 43. Tabla para el cálculo de los momentos flectores. Fuente, Joan Olivella Puig

Para realizar el cálculo teórico del momento flector máximo en aguas libres, en primer lugar debemos calcular los momentos flectores en aguas libres en arrufo y quebranto, para ello utilizaremos las fórmulas siguientes:

$$M_{HVA} = 110 F_M n C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3}$$

$$M_{HVQ} = 190 F_M n C L^2 B C_B 10^{-3}$$

Donde:

- M_{HVA} = Momento flector aguas libres Arrufo
- M_{HVQ} = Momento flector aguas libres Quebranto
- F_M = Factor de distribución. Ver a continuación ilustración 44.
- n = Coeficiente de navegación. Ver a continuación ilustración 45.
- C = Parámetro de ola.
 - $C = (118 - 0,36 L) \frac{L}{1000}$ para buques $65m \leq L < 90m$
 - $C = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5}$ para buques $90m \leq L < 300m$
 - $C = 10,75$ para buques $300m \leq L \leq 350m$
 - $C = 10,75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{1,5}$ para buques $L \geq 350m$
- L = Eslora
- B = Manga
- C_B = Coeficiente de bloque

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Una vez obtenido los valores de los momentos flectores en aguas libres en arrufo y quebranto, para calcular el valor máximo del momento flector en aguas libres, utilizaremos el valor del momento flector máximo obtenido para aguas tranquilas junto con los valores obtenidos para aguas libres y sustituiremos en la siguiente fórmula.

$$M_{FALA} = M_{FAT} + M_{HVA}$$

$$M_{FALQ} = M_{FAT} + M_{HVQ}$$

Donde:

- M_{FALA} = Máximo momento flector aguas libres Arrufo.
- M_{FALQ} = Máximo momento flector aguas libres Quebranto.
- M_{FAT} = Máximo momento flector aguas tranquilas.

EL mayor valor obtenido de las fórmulas anteriores será el máximo momento flector en aguas libres.

A continuación se muestran las tablas para el cálculo de los factores de distribución y el coeficiente de navegación utilizados en el cálculo del momento flector en aguas libres.

Hull transverse section location	Distribution factor F_M
$0 \leq x < 0,4 L$	$2,5 \frac{x}{L}$
$0,4 L \leq x \leq 0,65 L$	1
$0,65 L < x \leq L$	$2,86 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$

Ilustración 44. Cálculo factor de distribución. Fuente, Bureau Veritas

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Navigation notation	Navigation coefficient n	Navigation coefficient n ₁
Unrestricted navigation	1,00	1,00
Summer zone	0,90	0,95
Tropical zone	0,80	0,90
Coastal area	0,80	0,90
Sheltered area	0,65	0,80

Ilustración 45. Coeficientes de navegación. Fuente, Bureau Veritas

Para realizar el cálculo teórico del esfuerzo cortante máximo en aguas libres, en primer lugar debemos calcular los esfuerzos cortantes correspondientes a cada sección en aguas libres. Para ello utilizaremos la fórmula que se muestra a continuación:

$$Q_{HV} = 30 F_Q n C L B (C_B + 0,7) 10^{-2}$$

Donde:

- Q_{HV} = Esfuerzo cortante aguas libres
- F_Q = Factor de distribución para esfuerzos cortantes. Ver ilustración 46.

Hull transverse section location	Distribution factor F_Q	
	Positive wave shear force	Negative wave shear force
$0 \leq x < 0,2 L$	$4,6A \frac{x}{L}$	$-4,6 \frac{x}{L}$
$0,2 L \leq x \leq 0,3 L$	$0,92 A$	$-0,92$
$0,3 L < x < 0,4 L$	$(9,2A - 7) \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) + 0,7$	$-2,2 \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) - 0,7$
$0,4 L \leq x \leq 0,6 L$	$0,7$	$-0,7$
$0,6 L < x < 0,7 L$	$3 \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) + 0,7$	$-(10A - 7) \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) - 0,7$
$0,7 L \leq x \leq 0,85 L$	1	$-A$
$0,85 L < x \leq L$	$6,67 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$	$-6,67A \left(1 - \frac{x}{L}\right)$

Note 1:
 $A = \frac{190C_B}{110(C_B + 0,7)}$

Ilustración 46. Tabla factor distribución FQ. Fuente, Bureau Veritas.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Para comprender mejor la tabla anterior sobre el cálculo del factor de distribución para la obtención de los esfuerzos cortantes en aguas libres, obsérvese la gráfica que se muestra a continuación.

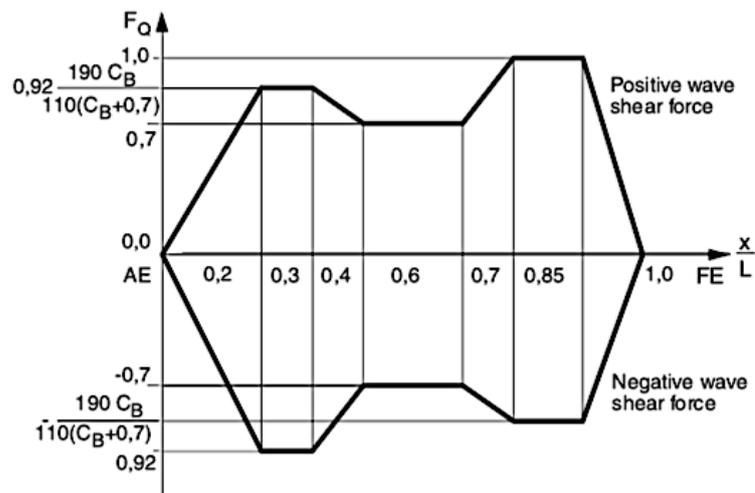


Ilustración 47. Gráfico F_Q . Fuente, Bureau Veritas.

Hoja "Esfuerzos"

En la presente hoja se mostrarán todos los resultados obtenidos relacionados con los esfuerzos del buque calculados en la hoja "CALCULO ESFUERZOS". Además, en esta hoja se representarán las gráficas de pesos, empujes y cargas junto con las gráficas de momentos flectores y esfuerzos cortantes del buque. Todos estos datos recopilados en una misma hoja, nos dará una visión directa de todo lo relativo al cálculo de esfuerzos.

Los datos a mostrar en la hoja actual serán los siguientes:

- ✓ Valores máximos y mínimos de los momentos flectores y esfuerzos cortantes tanto en condición de puerto como en aguas libres.
- ✓ Valores máximo y mínimos de los momentos flectores en las diferentes cuadernas de referencia acorde al manual de estabilidad.
- ✓ Valores máximos y mínimos de los esfuerzos cortantes en las diferente cuadernas de referencia acorde al manual de estabilidad.
- ✓ Gráfica de pesos, empujes y cargas.
- ✓ Gráfica de momentos flectores en condición de puerto, máximos y mínimos.
- ✓ Gráfica de esfuerzos cortantes en condición de puerto, máximos y mínimos.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Para tener una visión aún más intuitiva sobre la condición del buque, aplicaremos el formato condicional a las celdas que muestren los valores máximos y mínimos, mostrando un “tic” verde cuando los parámetros entren dentro de los valores admisibles y un “tic” rojo cuando dichos valores estén fuera de los valores admisibles.

VALORES MÁXIMOS							
CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	Max. Valor	Max. Permitido	Porcentage %	X. POS.	CUADERNA	CORRECTO
NAVEGACIÓN	ESFUERZO CORTANTE	1392,85	2499,00	55,74	13,2	20,00	✔
NAVEGACIÓN	MOMENTO FLECTOR	8329,62	11213,00	74,29	26,4	39,00	✔
PUERTO	ESFUERZO CORTANTE	1294,80	2499,00	51,81	13,2	20,00	✔
PUERTO	MOMENTO FLECTOR	2781,09	23445,00	11,86	26,4	39,00	✔

Ilustración 48. Tabla valores max MF y EC. Fuente, elaboración propia.

II.3.2.2.- Hojas referentes a la documentación.

A continuación se llevará a cabo una descripción de la elaboración de las hojas relacionadas con la documentación del buque referente a las operaciones. El objetivo principal es que el Excel elabora estas hojas de manera automática, utilizando todos los datos y valores calculados en todas las hojas descritas anteriormente.

Hoja “PORTADA”

Mostrará un croquis de los espacios de carga del buque en el que se mostrará la previsión de carga en cada uno de los tanques, tanto cantidades como producto a cargar, además de los calados de llegada y de salida del puerto donde se van a llevar a cabo las operaciones.

Para mostrar los datos descritos anteriormente, la presente hoja irá vinculada a la hoja “*CÁLCULO LIQUIDACIÓN*” de donde obtendrá el tipo de carga y las cantidades a cargar y también irá vinculada a la hoja “*ESTABILIDAD*” de donde obtendrá los calados finales.

Hoja “LIQUIDACIÓN IMP.”

Es uno de los documentos más importantes relativos a la documentación de la carga, en él se reflejan los tanques que van a ser cargados, los productos a cargar, las densidades de los productos a cargar, las cantidades en toneladas y en metros cúbicos, etc. Para obtener toda esta información, la presente hoja deberá estar vinculada con la hoja “*CÁLCULO LIQUIDACIÓN*” donde, como hemos explicado en el apartado correspondiente, se realizarán todos los cálculos referentes a la liquidación.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



La presente hoja se ajustará al formato de presentación que establezca el sistema de gestión de cada compañía.

Hoja "PLAN CARGA IMP."

Se encargará de elaborar de manera automática el plan de carga desarrollado por el primer oficial del buque para llevar a cabo las operaciones, ya sean de carga o de descarga. En él, se mostrarán todos los detalles relativos a la carga, es decir:

- ✓ Datos relativos al puerto de carga.
- ✓ Características de la carga.
- ✓ Croquis de los tanques a ser cargados o descargados.
- ✓ Vacíos finales de los tanques.
- ✓ Planificación de las operaciones.
- ✓ Control ambiental en puerto.
- ✓ Riesgos de la carga.
- ✓ EPIS a usar durante las operaciones por el personal implicado en éstas.
- ✓ Calados del buque
- ✓ Observaciones relativas a las operaciones.
- ✓ Todo aquella información que se desee reflejar en el plan de carga.

Tener en cuenta que toda la documentación que hemos descrito anteriormente deberá ajustarse a lo establecido por cada sistema de gestión de cada compañía, por lo que la información mostrada en los anteriores apartados deberá ajustarse a lo establecido en el citado sistema de gestión.

Todos los datos reflejados en el plan de carga, serán datos obtenidos por el programa de las hojas descritas anteriormente, por lo que la actualización del mismo se realizará de manera automática.

III.- APLICACIÓN PRÁCTICA

Durante el presente apartado se aplicará al buque “GUANARTEME” todo lo expuesto anteriormente, por lo que crearemos en Excel un programa capaz de calcular la estabilidad del buque, los esfuerzos y toda la documentación relativa a la carga.

El buque “GUANARTEME” es un buque tanque petrolero, dedicado a realizar operaciones de suministro en Portugal. Está expuesto a una gran carga de trabajo debido a la densidad de tráfico existente en los puertos donde presta sus servicios. Esto implica la realización de un gran número de operaciones diarias, por lo que será de gran utilidad cualquier herramienta cuyo objetivo sea minimizar la carga de trabajo del personal de a bordo.

A continuación se aplicará la metodología propuesta al B/T GUANARTEME.

III.1.- Recopilación de datos.

Como primer paso, vamos a crear todas aquellas hojas cuyo objetivo sea la recopilación de datos.

III.1.1.- Tablas del buque.

III.1.1.1.- Tablas hidrostáticas y tablas KN.

Crearemos una hoja en la que introduciremos los valores de las tablas hidrostáticas y de las tablas KN que obtendremos del manual de estabilidad del buque. Esta tarea la podremos llevar a cabo mediante la herramienta OCR explicada anteriormente.

Tcalado	DISP	DW	LCB	VCB	LCF	KMT	MCT	TPC	CB	WSA
	t				TM	Th	tT/CTM	h _c /CFW		
2,120	1914,454	0,244	46,063	1,105	46,060	8,158	45,236	9,677	0,723	1179,634
2,130	1924,183	9,973	46,063	1,110	46,059	8,131	45,254	9,679	0,724	1181,441
2,140	1933,914	19,704	46,063	1,115	46,057	8,103	45,271	9,681	0,724	1183,248
2,150	1943,646	29,436	46,063	1,120	46,056	8,076	45,289	9,682	0,724	1185,056
2,160	1953,380	39,170	46,063	1,125	46,055	8,050	45,306	9,684	0,724	1186,863

Ilustración 49. Tablas hidrostáticas Buque GUANARTEME. Fuente, Manual Estabilidad

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	1000	1100	1200	1300	1400	1500
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	1,136	1,057	0,991	0,933	0,884	0,840
10,00	2,200	2,063	1,944	1,840	1,749	1,669
15,00	3,016	2,885	2,764	2,651	2,545	2,446
20,00	3,574	3,461	3,356	3,259	3,167	3,081
25,00	3,988	3,891	3,802	3,719	3,642	3,570
30,00	4,304	4,226	4,153	4,085	4,023	3,964

Ilustración 50. Tablas KN buque GUANARTEME. Fuente, Manual Estabilidad

Para facilitar la lectura de los datos, hemos añadido una tabla con la definición de los encabezados de los datos hidrostáticos y sus unidades.

T	draught, moulded	m
DISP	total displacement	t
DW	deadweight	t
LCB	longitudinal centre of buoyancy	m
VCB	vertical center of buoyancy	m
LCF	long, centre of flotation	m
KMT	transv, metac, height	m
MCT	moment to change trim	tm/cm
TPC	change of displacement/change of draught	t/cm
CB	block coefficient	
WSA	wetted surface area	m ²

Ilustración 51. Definición datos hidrostáticos. Fuente, elaboración propia.

Para calcular tanto los valores de las tablas hidrostáticas como de las tablas KN, necesitaremos entrar con el desplazamiento del buque, para obtener los datos exactos para el desplazamiento dado, hemos creado una tabla de interpolación de datos similar a la del ejemplo que se muestra a continuación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2					TABLAS HIDROSTATICAS BUQUE trim=0							
3												
4		T calado	DISP	DW	LCB	VCB	LCF	KMT	MCT	TPC	CB	WSA
5		5,4	5494,465	3580,255	45,074	2,936	41,690	5,923	64,633	11,122	0,745	1891,959
6		5,63	5486,661	3572,451	45,081	2,932	41,685	5,922	64,619	11,120	0,745	1890,745
7		5,64	5498,160	3583,950	45,071	2,938	41,693	5,923	64,640	11,123	0,745	1892,534

Ilustración 52. Tabla interpolación tablas hidrostáticas. Fuente, elaboración propia

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

El desplazamiento el Excel lo tomará de la hoja “*CUADRO DE MOMENTOS*” y a partir de éste, haciendo uso de la tabla de interpolación obtendrá el resto de valores.

Haciendo uso de la función “=BUSCAR” obtendremos el valor correspondiente al desplazamiento obtenido. Es muy difícil que dicho valor coincida exactamente con los valores mostrado en la tabla por lo que el Excel buscará el valor más próximo superior e inferior e interpolará acorde a la formula indicada a continuación:

$$= B6 + ((\$C\$5 - \$C\$6) * (B7 - B6)/(\$C\$7 - \$C\$6))$$

Esta operación la aplicaremos a todos los datos de las tablas para obtener el valor correspondiente. Para los valores de las tablas KN, aplicaremos el mismo procedimiento para todos los ángulos de escora, desde 5º hasta 80º.

III.1.1.2.- Tabla de vacíos (ULLAGES)

Se creará una hoja de donde se obtendrán los volúmenes de cada tanque acorde al vacío indicado, para ello deberemos de introducir las tablas de vacíos de todos los tanques de carga del buque. Esta tarea también podemos llevarla a cabo mediante la herramienta OCR.

VACÍO TANQUES	V1B	V1E	V2B	V2E
105	319.726	316.722	317.282	318.028
106	319.218	316.196	316.860	317.579
107	318.691	315.648	316.414	317.108
108	318.142	315.079	315.940	316.611
109	317.574	314.490	315.444	316.114
110	316.986	313.887	314.947	315.611
111	316.384	313.278	314.447	315.109

Ilustración 53. Tabla de vacíos GUANARTEME. Fuente, elaboración propia.

III.1.1.3.- Tabla GM máx.

Esta tabla la obtendremos del manual de estabilidad del buque, y nos va a indicar si el valor obtenido del GM es válido acorde al calado del buque. Al igual que con las anteriores tabla de información del buque, esta tabla podemos transferirla al Excel mediante la herramienta OCL.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Para calcular exactamente el valor del GM máx. para el calado correspondiente, en la presente hoja también crearemos una tabla de interpolación similar a la de la hoja de “TABLAS HIDROSTÁTICAS”.

T.Calado	GM max
5,637	0,409
5,620	0,4
5,640	0,411

Ilustración 54. Tabla interpolación.
Fuente, elaboración propia.

Calado	GM max
1,180	8,501
1,200	8,305
1,220	8,108

Ilustración 55. Tabla GM max. Fuente,
Manual estabilidad Guanarteme

Para la descripción de la elaboración de la tabla de interpolación, cogeremos los datos de la ilustración 54.

El valor del calado real del buques es 5,637 m. Al no existir un valor similar en la tabla de GM máx., tendremos que interpolar para calcular el valor del GM máx. para dicho calado.

Mediante la ecuación =BUSCAR, buscaremos en la tabla de GM máx. el valor del calado mas próximo tanto superior como inferior. Una vez obtenido estos valores y nuevamente utilizando la ecuación =BUSCAR, buscaremos el valor de GM correspondiente a estos calados. A partir de éstos valores, aplicaremos la fórmula de interpolación descrita en el apartado “TABLAS HIDROSTÁTICAS”

III.1.1.4.- Características de tanques.

En esta hoja, tendremos que introducir los datos referentes a los centros de gravedad de todos los tanques del buque, por lo tanto, introduciremos los valores del centro de gravedad vertical (KG), del centro de gravedad longitudinal (LCG) y del centro de gravedad transversal (TCG), junto con los vales del momento de superficies libres (MSL) para cada condición de carga del tanque. Durante la aplicación práctica, hemos reflejado los valores desde 0% hasta 100% en intervalos del 5% como se puede observar en la ilustración siguiente. Debido a esto, hemos creado una tabla de interpolación similar a la explicada en apartados anteriores para obtener el valor exactos de los centros de gravedad correspondiente al volumen en carga en cada tanque.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

TANQUE CARGA 1 ESTRIBOR						
%	Vol	LCG	TCG	VCG (KG)	Msl	
0	0,000	74,200	3,293	4,472	0,000	
5	16,020	72,859	1,606	1,472	43,690	
10	32,040	72,847	1,662	1,686	48,200	
15	48,070	72,843	1,700	1,896	53,250	
20	64,090	72,841	1,735	2,101	58,450	
25	80,110	72,841	1,768	2,301	63,790	
30	96,130	72,842	1,799	2,497	69,320	
35	112,150	72,844	1,830	2,688	75,310	
40	128,180	72,851	1,861	2,875	81,600	
45	144,200	72,860	1,892	3,058	88,100	
50	160,220	72,870	1,923	3,237	94,820	
55	176,240	72,884	1,954	3,412	101,940	
60	192,260	72,899	1,985	3,584	109,420	
65	208,290	72,916	2,016	3,751	117,240	
70	224,310	72,934	2,046	3,915	125,290	
75	240,330	72,952	2,077	4,076	133,600	
80	256,350	72,971	2,107	4,234	142,530	
85	272,370	72,989	2,137	4,388	151,690	
90	288,400	73,007	2,167	4,540	161,090	
95	304,420	73,024	2,197	4,689	170,710	
98	314,030	73,035	2,215	4,778	0,000	
100	320,062	73,042	2,227	4,835	0,000	

Ilustración 56. Tabla características de tanques. Fuente, elaboración propia.

INTERPOLACIÓN 1 ER				
Vol	LCG	TCG	VCG	Msl
260,852	72,976	2,115	4,277	145,104
256,350	72,971	2,107	4,234	142,530
272,370	72,989	2,137	4,388	151,690

Ilustración 57. Tabla interpolación. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

III.1.1.5.- Distribución de pesos.

La presente hoja consta fundamentalmente de tres partes, la primera es una representación de la distribución a lo largo de toda la eslora del buque de todos los elementos estructurales y tanques del barco.

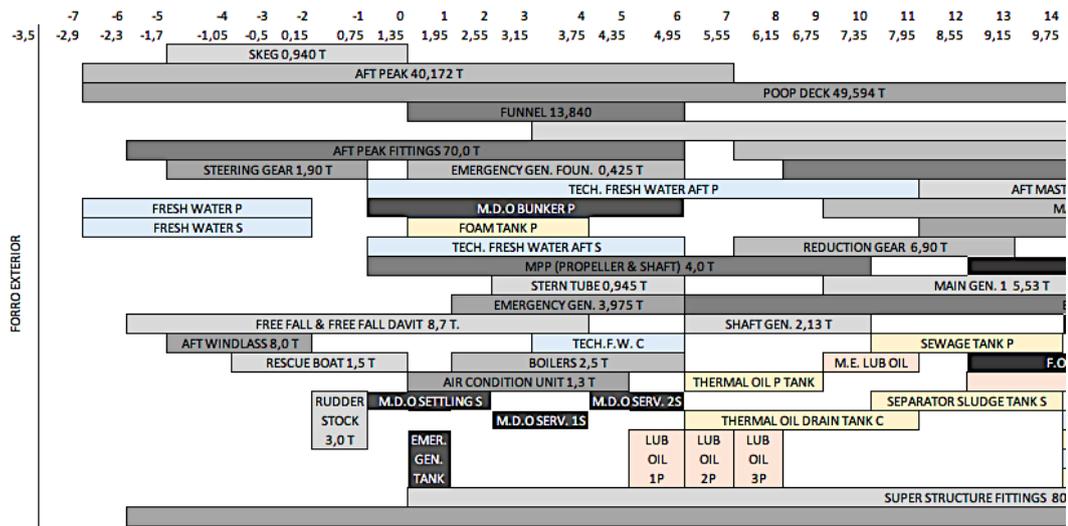


Ilustración 58. Distribución de tanques. Fuente, elaboración propia.

Como se puede observar en la ilustración anterior, se realiza una distribución de los elementos estructurales y tanques a lo largo de toda la eslora con el objetivo de poder calcular el peso correspondiente a los elementos y tanques correspondientes a cada sección. Para facilitar esta tarea, también se muestra en la representación la distancia a la perpendicular de popa y el número de cuaderna.

Por otro lado, dentro de la misma hoja, crearemos una tabla en la que se van a recoger los datos referentes a los elementos estructurales por un lado y por otro, los datos correspondientes a los tanques del buque. A continuación se muestro un ejemplo de lo anterior.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

ITEM	Weight (T)	Long.(m)	T/m
SKEG	0,964	2,700	0,357
AFT PEAK	40,172	7,790	5,157
POOP DECK	49,594	19,200	2,583
FUNNEL	13,840	3,700	3,741
AFT BULWARK	10,000	21,400	0,467
ENGINE ROOM	140,325	12,700	11,049
SAMPLE ROOM	4,502	1,300	3,463
SUPERSTRUCTURE	80,865	10,300	7,851
AFT MAST	3,290	3,800	0,866
BLOCK 1	73,674	7,650	9,631
BLOCK 2	80,363	7,750	10,369
BLOCK 3	94,270	7,900	11,933
BLOCK 4	83,190	7,700	10,804
BLOCK 5	77,469	7,700	10,061
BLOCK 6	83,728	7,700	10,874

Ilustración 59. Tabla elementos estructurales. Elaboración propia.

Como podemos observar, esta tabla contendrá el valor del peso del elemento estructural, su longitud y su peso por unidad de longitud. Todos estos datos serán introducidos de forma manual, obtenidos del manual de estabilidad del buque. Tener en consideración que en la ilustración anterior solo se muestran a modo de ejemplo cierto número de elementos estructurales, debiendo introducir en la tabla todos los elementos estructurales del buque.

TANQUES CARGA			
Nº TANQUE	CARGA (T)	ESLORA (m)	T/m
CT1P	254,703	11,90	21,404
CT1S	251,983	11,90	21,175
CT2P	260,115	9,10	28,584
CT2S	260,565	9,10	28,634
CT3P	236,337	7,70	30,693
CT3S	237,580	7,70	30,855
CT4P	195,047	8,40	23,220
CT4S	193,862	8,40	23,079
CT5P	239,966	8,40	28,567
CT5S	241,247	8,40	28,720
CT6P	220,771	7,70	28,672
CT6S	220,305	7,70	28,611
CT7P	128,189	8,40	15,261
CT7S	127,953	8,40	15,233

Ilustración 60. Tabla tanques. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Por otro lado, tendremos que crear otras tablas que contengan los mismos valores que la tabla anterior, pero esta vez, referida a todos los tanques del buque como se muestra en la ilustración 60. El peso o carga de cada tanque se obtendrá de la hoja “CONDICIÓN DE TANQUES” la cuál será desarrollada más adelante.

Con todos los datos citados anteriormente, ya podremos calcular el peso correspondiente a cada sección o cuaderna de trazado del buque, para ello, en la mismo hoja, crearemos una tabla para cada una de las secciones la cuál será similar a la que se muestra a continuación.

SECCIONES	DESCRIPCIÓN	LONGITUD PESO	PESOS		Σ PESOS
			T/m	TOTAL	
2	DECK FITTINGS	4,40	0,935	4,114	
	SUPERSTRUCTURE	4,40	5,556	24,444	
	ENGINE ROOM & P	4,40	10,947	48,169	
	MAIN GENERATOR	1,87	1,413	2,634	
	MAIN GENERATOR	4,40	0,156	0,685	
	MAIN ENGINE	4,40	6,999	30,796	
	MAIN GENERATOR	0,83	4,104	3,406	
	REDUCTION GEAR	0,03	1,952	0,049	
	ENGINE ROOM	4,40	11,049	48,617	
	POOP DECK	4,40	2,583	11,365	
	SUPERSTRUCTURE	4,40	7,85	34,544	
	AFT MAST	2,95	0,87	2,554	
	AFT BULWARK	4,40	0,467	2,056	
	SEWAGE	0,20	2,083	0,417	
	OVERFLOW	4,20	1,190	5,000	
	TECH. FW F P	4,20	1,892	7,946	
	F.O. P	4,40	1,16	5,116	
	SUMP	3,80	0,73	2,771	
	F.O. SERVICE	2,00	3,33	6,667	
	F.O. SETTLING	2,40	3,33	8,000	
F.O. S	4,20	1,351	5,676		
TECH FW F S	4,20	1,89	7,946		
SEP. SLUDGE S	0,20	2,08	0,417		
BILGE	1,80	0,833	1,500		
SLUDGES	2,40	1,250	3,000	267,889	

Ilustración 61. Tabla de pesos por sección. Fuente, elaboración propia.

En esta tabla se recogerán todos aquellos elementos estructurales y tanques pertenecientes a cada una de las secciones, por lo que tendremos que crear una tabla para cada una de ellas.

La columna sección, enumera simplemente las distintas secciones en la que hemos dividido el buque. Para simplificar el cálculo final de cargas, se recomienda dividir el buque en las mismas secciones en las que viene dividido en el plano de líneas de agua

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



del mismo, así coincidirá el cálculo de pesos con el cálculo de empujes, explicado más adelante.

La segunda columna incluirá la descripción del elemento o tanque al que corresponden los valores de las siguientes columnas. Esta columna estará vinculada a la tabla de elementos estructurales y a las tablas de tanques por lo que será un dato obtenido automáticamente sin necesidad de introducirlo manualmente, solo tendremos que vincular a la celda correspondiente.

La columna “*LONGITUD PESO*” hace referencia a la longitud que ocupa el elemento o tanque dentro de la sección. Este dato deberá ser introducido manualmente y se obtendrá de la distribución de pesos. A modo explicativo, si tenemos un elemento que se encuentra presente a lo largo de toda la sección, la longitud del peso será de 4,4 metros, longitud de la sección, en el caso contrario, se especificará la longitud correspondiente.

La siguiente columna, reflejará las T/m de cada elemento o cada tanque. Este dato ya ha sido calculados en las tablas mostradas anteriormente, por lo que solo tendríamos que vincularlo a su celda correspondiente. Éste dato, multiplicado por el valor de la longitud del peso, nos dará como resultado el peso del elemento o tanque correspondiente a la sección. El sumatorio de los pesos de todos los elementos y tanques correspondientes a cada sección nos dará el peso final de cada sección.

Y por último, a modo de comprobación, en una celda, sumaremos mediante la función =*SUMA*, todos los pesos correspondientes a cada una de las secciones. Este peso obtenido será el desplazamiento final del buque, que tiene que ser igual al desplazamiento obtenido en el “*CUADROS DE MOMENTOS*”. En el caso de que este dato no coincidiera, tendríamos que revisar el cálculo debido a que existiría algún error.

III.1.2.- Información y datos relativos al buque y a la carga.

III.1.2.1.- Información.

Una vez introducido en el Excel todos los datos necesarios para poder realizar los cálculos de estabilidad y esfuerzos, crearemos una hoja que contendrá toda la información relativa al buque, a la carga y todos aquellos datos que consideremos necesarios contemplar. En nuestro caso, a parte de toda la información del buque y

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

de la carga prevista, también hemos reflejado datos relacionados con la seguridad y el medio ambiente.

GENERAL	
NOMBRE BUQUE	B/T GUANARTEME
CAPITAN:	SERGIO PÉREZ PÉREZ
MATRÍCULA	SANTA CRUZ DE TENERIFE
IMO	9280134
DISTINTIVO DE LLAMADA	ECFV
CLASS	KOREAN REGISTER OF SHIPPING

Ilustración 62. Tabla Información General. Fuente, elaboración propia.

DIMENSIONES	
ESLORA TOTAL	96,910
ESLORA (PERPENDICULARES)	88,769
MANGA DE TRAZADO	14,200
PUNTAL	7,650
CALADO MAX.	6,200
ARQUEO BRUTO	2815 GT
ARQUEO NETO	1183 NT
PESO MUERTO	4222 DWT
DESPLAZAMIENTO	6136 T

Ilustración 63. Tabla Dimensiones. Fuente, elaboración propia.

INFORMACIÓN GENERAL DE LA CARGA		
NOMBRE PRIMER OFICIAL	ILONA ANANYEVA ANANYEVA	
NOMBRE BOMBERO	XXXXXX	
CLIENTE	GALP	
VIAJE NUMERO:	009/2020	
FECHA:	18-ene.-20	
LLEGADA / SALIDA:	LLEGADA	
PUERTO:	TENERIFE	
TERMINAL:	TGLS POSTO 6	
MÁXIMA PRESIÓN ADMITIDA POR LA TERMINAL	7,0	
TIPO DE CARGA	RMG 380 VLS	
	DMA	
NÚMERO IMO o U.N.	RMG 380 VLS	3082
	DMA	1202
TIPO DE OPERACIÓN	DESCARGA	
OPERACIONES DE LASTRE	LASTRE	

Ilustración 64. Tabla Información General de la Carga. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

OPERACIONES AMBIENTALES EN PUERTO	
DESCARGA DE RESIDUOS DE TANQUES CARGA / AGUA LASTRE CONTAMINADA	SI
ENTREGA RESIDUOS OLEOSOS SENTINAS	NO
ENTREGA DE BASURAS	NO
TOMA DE COMBUSTIBLE	SI
AGUA POTABLE	SI
LIMPIEZA EFECTUADA A LOS TANQUES DE CARGA	SI
PRÓXIMO PROGRAMA DE LIMPIEZA DE TANQUES	SI

Ilustración 65. Tabla Operaciones Ambientales. Fuente, elaboración propia

CALADOS A LA LLEGADA		
POPA	MEDIO	PROA
5,3	4,4	3,5

Ilustración 66. Tabla Calados de Llegada. Fuente, elaboración propia.

Toda la información contenida en las tablas estará vinculada a aquellas hojas en las que fuera preciso incorporar cualquiera de estos datos, tanto para mostrar la información, como para realizar un cálculo.

III.1.2.2.- Plan de carga.

Se creará una hoja que contemple todo lo relacionado con las operaciones del buque. En esta hoja es donde se introducirán los vacíos a los que se cargarán caga uno de los tanques de carga, así como también se introducirán los porcentajes a los que se lastrarán o deslastrarán los tanques de lastre.

Crearemos otro apartado en el que se desarrollarán todas las operaciones a realizar durante las operaciones. Esta descripción en la que aparecerá en la versión imprimible del plan de carga, la cuál se desarrollará más adelante, en el apartado de documentación.

Además, la presente hoja estará vinculada con la hoja cálculos, para mostrar la cantidad de producto a cargar o descargar acorde a los vacíos seleccionados y el calado final.

Para introducir el tipo de carga y los tanques a cargar, dibujaremos en la hoja Excel un croquis de los tanques del buque y a través de una celda desplegable seleccionaremos el producto a cargar en cada tanque.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	TS1E	TS2E	TL3E	TL4E	TL5E	TL6E	TL7E
	RMG 380 VLS	RMG 380 VLS	DMA	RMG 380 VLS	RMG 380 VLS	RMG 380 VLS	DMA
	TS1B	TS2B	DMA L3B	TL4B	TL5B	TL6B	TL7B
	RMG 380 VLS	RMG 380 VLS	DMA	RMG 380 VLS	RMG 380 VLS	RMG 380 VLS	DMA

Ilustración 67. Croquis del buque con los productos a cargar. Fuente, elaboración propia.

Las celdas donde se reflejan los productos a cargar, estarán vinculadas a las celdas de la tabla que se muestra a continuación, donde introduciremos de manera manual, el vacío, la temperatura y la densidad de cada producto.

TANQUES	PRODUCTO	CARGA		
		VACÍO	TEMP	DENSIDAD
TS1B	RMG 380 VLS	185	55	0,9660
TS1E	RMG 380 VLS	185	55	0,9660
TS2B	RMG 380 VLS	185	55	0,9660
TS2E	RMG 380 VLS	185	55	0,9660
TL3B	DMA	160	18	0,8600
TL3E	DMA	160	18	0,8600
TL4B	RMG 380 VLS	320	55	0,9660
TL4E	RMG 380 VLS	320	55	0,9660
TL5B	RMG 380 VLS	220	55	0,9660
TL5E	RMG 380 VLS	220	55	0,9660
TL6B	RMG 380 VLS	220	55	0,9660
TL6E	RMG 380 VLS	220	55	0,9660
TL7B	DMA	400	18	0,8600
TL7E	DMA	400	18	0,8600

Ilustración 68. Tabla de vacíos, densidad y temperatura. Fuente, elaboración propia.

Estos datos servirán para poder calcular la cantidad total de producto a cargar. Todas las celdas estarán vinculadas a la hoja “CÁLCULO LIQUIDACIÓN”, que desarrollaremos más adelante y en la que se van a realizar todos los cálculos relativos a la carga.

En otra tabla, mostrada a continuación, introduciremos los valores en tanto por ciento del volumen de los tanques de lastre.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

LASTRE		
TANQUE	VOLUMEN	%
PEAK	0,000	
TRIM	0,000	
L1B	0,000	
L1E	0,000	
L2C	0,000	
L3B	145,023	98
L3E	145,798	94,3
L4C	0,000	
L5B	0,000	
L5E	0,000	
L6C	0,000	
L7B	0,000	
L7E	0,000	

Ilustración 69. Tabla tanques de lastre. Fuente, elaboración propia.

Para calcular el volumen del tanque acorde al porcentaje introducido, en la columna volumen se calculará dicho volumen para el porcentaje introducido. Para ello tendremos que introducir la siguiente ecuación:

$$= (S3 * 'CONDICION TANQUES'!L10)/100$$

Donde:

- S3 = porcentaje introducido
- *CONDICION TANQUES'!L10* = Volumen total del tanque obtenido de la hoja "CONDICIÓN DE TANQUES"

Una vez introducidos los valores descritos anteriormente, procederemos a desarrollar el plan de carga. Ésta tarea la realizaremos en una celda que estará vinculada con la versión imprimible del plan de carga, por lo que todo lo descrito en estas celdas aparecerá reflejado en éste. A continuación se puede observar el ejemplo de los descrito anteriormente.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA:

1. Cargaremos RMG 380 VLS: 2.332 T alinado por el colector de ESTRIBOR en los siguientes tanques TS1B/E - TS2B/E - TL4B/E - TL5B/E - TL6B/E hasta los vacíos indicados

DESCRIPCIÓN OPERACIONES DE LASTRE:

1. Deslastraremos teniendo en cuenta el orden establecido los siguientes tanques: L2C, L4C, L6C, L1B/E, L5B/E. Utilizaremos los tanques L3B/E para corregir la escora.

OBSERVACIONES:

COMPROBAR CALADOS VISUALES FINALES AL FINALIZAR LAS OPERACIONES DE CARGA
AL FINALIZAR LA CARGA, ALINEAR LA CALEFACCION EN LOS TANQUES CARGADOS DE F.O.

Ilustración 70. Desarrollo de las operaciones. Fuente, elaboración propia.

Además, se crearán dos tablas en las que se mostrará información relativa a las cantidades de carga y a los calados finales con el objetivo de poder ver al instante la condición final del buque en cuanto a carga y calados respectivamente. Estos datos los obtendremos de las hojas donde se realicen los cálculos mediante la vinculación de las celdas.

PRODUCTO	KGS AIRE	LITROS A TEMP	TEMP MEDIA
RMG 380 VLS	2.338.564	2.494.481	55,0
DMA	730.059	852.125	18,0
TOTAL	3.068.623	3.346.606	

Ilustración 71. Tabla de cantidades finales. Fuente, elaboración propia.

CALADOS FINALES				
POPA	MEDIO	PROA	ASIENTO	ESCORA
6,30	5,59	4,89	1,4	0,00

Ilustración 72. Tabla calados finales. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



III.1.2.3.- Condición de tanques.

Crearemos una hoja en la cuál, por medio de la creación de tablas, una para cada grupo de tanques. En la aplicación práctica, en dicha hoja hemos creado siete tablas:

- ✓ Tanques de carga.
- ✓ Tanques de lastre.
- ✓ Tanques F.O.
- ✓ Tanques D.O.
- ✓ Tanques Lub Oil.
- ✓ Tanques Fresh Water.
- ✓ Tanques Varios.

Estas tablas nos servirán para introducir manualmente el peso o el volumen de cada uno de los tanques, es decir, la capacidad a la que se encuentra el tanque. Dichas tablas constarán de siete columnas, cada uno de las cuales contendrá la siguiente información:

- Descripción del tanque: Esta columna hará referencia al tanque, es decir, reflejará la descripción de este.
- Volumen máximo: nos indicará la capacidad total de cada tanque.
- Porcentaje: Nos indicará el porcentaje, acorde al volumen o peso introducido por nosotros, al cuál está lleno el tanque, se obtendrá automáticamente introduciendo la fórmula siguiente:

$$\% = \frac{\text{Volumen Introducido} * 100}{\text{Volumen máximo del tanque}}$$

Mediante la aplicación del formato condicional, la celda se pondrá en verde si el tanque está al 95% o menos, en ámbar si está entre el 95% y el 98% y en rojo si está al 98% o por encima de éste.

- A continuación, en otra columna se calculará automáticamente el volumen correspondiente al peso introducido. Para ello tendremos que aplicar la siguiente formula:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}}$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

- En otra columna introduciremos la densidad del producto contenido en el tanque ya que a través de ésta calcularemos el peso o el volumen según corresponda, acorde a la formula anterior.
- Peso: se introducirá el peso del producto contenido en cada tanque en toneladas.
- Total: mediante la función =SUMA, nos indicará el peso total de los productos contenidos en cada tabla.

A continuación se muestra una tabla a modo de ejemplo.

COMBUSTIBLE DIESEL						
	Volumen máximo	Porcentaje %	Volumen de diesel	Densidad	Peso de diesel	Total diesel
M.D.O. BUNKER TANK P	14,704	80,01	11,765	0,85	10	41,500
M.D.O. BUNKER TANK S	11,972	93,36	11,176	0,85	9,5	
M.D.O. BUNKER TANK P	14,636	80,38	11,765	0,85	10	
M.D.O. SERVICE TANK AFT 1S	4,407	93,43	4,118	0,85	3,5	
M.D.O. SERVICE TANK FORE 2S	5,264	89,40	4,706	0,85	4	
M.D.O. SETTLING TANK S	4,994	94,23	4,706	0,85	4	
EMERGENCY GENERATOR TANK P	0,749	78,54	0,588	0,85	0,5	

Ilustración 73. Tabla de pesos y volúmenes. Fuente, elaboración propia.

Indicar que seguiremos el mismo procedimiento con cada una de las tablas excepto con las siguientes:

Tabla tanques de carga.

Contendrá los mismos datos que la tabla anterior pero con la diferencia de que los pesos se actualizarán de forma automática ya que las celdas que indican dicho peso, estarán vinculados con las celdas correspondientes de la hoja "CALC. LIQUIDACIÓN". En el caso de que alguno de los tanques esté vacío, tanto en la columna de volumen, como en la de pesos aparecerá el valor "0". Esto lo conseguiremos mediante el uso de la función =SI

$$= SI('CALC.LIQ.'!C2 = ""; 0; ('CALC.LIQ.'!K2/1000))$$

Esta fórmula la utilizaremos en cada una de las celdas correspondientes a cada tanque, tanto en la columna "volumen" como en la columna "peso"

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

CARGA						Total Carga
	Volumen máximo	Porcentaje %	Volumen	Densidad	Peso	
CARGO TANK 1 P	322,290	84,30	271,685	0,966	254,703	3068,623
CARGO TANK 1 S	320,062	83,98	268,783	0,966	251,983	
CARGO TANK 2 P	319,453	86,85	277,458	0,966	260,115	
CARGO TANK 2 S	320,956	86,60	277,937	0,966	260,565	
CARGO TANK 3 P	302,936	91,06	275,853	0,86	236,337	
CARGO TANK 3 S	303,941	91,24	277,303	0,86	237,580	
CARGO TANK 4 P	317,424	65,54	208,051	0,966	195,047	
CARGO TANK 4 S	315,700	65,50	206,787	0,966	193,862	
CARGO TANK 5 P	315,044	81,25	255,965	0,966	239,966	
CARGO TANK 5 S	316,647	81,27	257,332	0,966	241,247	
CARGO TANK 6 P	289,841	81,25	235,490	0,966	220,771	
CARGO TANK 6 S	289,401	81,20	234,993	0,966	220,305	
CARGO TANK 7 P	290,159	51,57	149,622	0,86	128,189	
CARGO TANK 7 S	290,731	51,37	149,347	0,86	127,953	

Ilustración 74. Tabla tanques de carga. Fuente, elaboración propia.

Tabla tanques de lastres

Al igual que en la tabla para los tanques de carga, los datos de peso y volumen se reflejarán automáticamente, pero con la diferencia que, la celdas de la columna volumen, estarán vinculadas a la hoja "PLAN DE CARGA" de donde tomará los valores del volumen de cada tanque. Con dicho volumen y con la densidad calculará el peso automáticamente a través de la fórmula expresada anteriormente. La densidad también será actualizada automáticamente ya que las celdas correspondientes a ésta, estarán vinculadas a una celda donde se introducirá la densidad del agua correspondiente a la flotación del buque. Esta tabla se muestra a continuación.

DENSIDAD AGUA DE MAR					
Introducir densidad agua de mar:	1,025	Zona navegación:	Verano		
LASTRE					
	Volumen máximo	Porcentaje %	Volumen de lastre	Densidad	Peso
FORE PEAK TANK	115,794	0,00	0,000		
TRIM TANK	73,997	0,00	0,000		
BALLAST TANK 1P	215,396	0,00	0,000		
BALLAST TANK 1S	201,804	0,00	0,000		
BALLAST TANK 2C	265,706	0,00	0,000		
BALLAST TANK 3P	147,983	98,00	145,023		
BALLAST TANK 3S	154,611	94,30	145,798	1,025	149,443
BALLAST TANK 4C	276,353	0,00	0,000	1,025	0,000
BALLAST TANK 5P	141,396	0,00	0,000	1,025	0,000
BALLAST TANK 5S	135,346	0,00	0,000	1,025	0,000
BALLAST TANK 6C	244,763	0,00	0,000	1,025	0,000
BALLAST TANK 7P	110,76	0,00	0,000	1,025	0,000
BALLAST TANK 7S	116,304	0,00	0,000	1,025	0,000
					298,092

Ilustración 75. Tabla lastre y tabla densidad y zona de navegación. Fuente, elaboración propia.

Además en la tabla anterior también podremos seleccionar la zona de navegación. Esto lo conseguiremos creando una celda desplegable donde se muestren todas las zonas de navegación.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

III.1.3.- Cálculos.

Las hojas que se van a describir en el presente capítulo, están destinadas a realizar los cálculos necesarios para poder obtener los resultados de estabilidad y esfuerzos del buque.

III.1.3.1.- Cuadro de momentos.

Como hemos comentado en capítulos anteriores, el cálculo de los centros de gravedad del buque los calcularemos aplicando el “*Teorema de Varignon*”, que establece que en un sistema de pesos, el momento de la resultante de un sistema de fuerzas con respecto a un punto es igual a la suma de los momentos individuales de las componentes con respecto a dicho punto.

Para ello construiremos una tabla que se encargará de realizar el cálculo a través de los valores introducidos. Indicar que todos los valores contenidos en la tabla son actualizados de manera automática por el Excel, utilizando los valores introducidos en otras hojas. En la página siguiente podemos encontrar el cuadro de momentos realizado para el buque GUANARTEME.

Además del cuadro, crearemos una tabla donde se calculará, los valores finales del *KG*, *LCG* y *TCG*. Para calcular estos valores, simplemente debemos sumar el total de cada uno de los momentos y dividirlo entre el desplazamiento como se muestra en la página 41. Para ello creamos una tabla como la que se muestra a continuación.

KGf=	4,780
LCGf=	43,422
TCGf=	0,000

Ilustración 76. Cálculo coordenadas finales *CDG*. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



DESCRIPCIÓN	VCG (KG)	Mtos. Verticales	LCG	Mtos. Longitudinal	TCG	Mtos. Transversal	MSL	cs/D	Densidad De la carga	VOLUMEN+(MASA/DENSIDAD)	MASA cargada
BUQUE ROSCA	6,555	12547,847	36,421	69717,442	0,021	40,198			1,000	1914,210	1914,210
TRIPULACIÓN	12,740	10,702	8,550	7,182	0,000	0,000			1,000	0,840	0,840
PAÑOL CABOS	8,390	8,390	82,650	82,650	-3,160	-3,160			1,000	1,000	1,000
PROVISIONES	8,530	2,559	0,975	0,293	-3,825	-1,148			1,000	0,300	0,300
TALLER REPUESTOS	8,575	8,575	1,275	1,275	1,710	1,710			1,000	1,000	1,000
AGUA DULCE	TECHNICAL FRESH WATER TANK P	3,151	25,211	4,278	34,204	0,000	0,347	0,000	1,000	8,000	8,000
	FRESH WATER TANK S	6,870	82,436	-0,858	-10,292	2,928	35,116	7,737	0,001	1,000	12,000
	FRESH WATER TANK P	6,870	82,436	-0,858	-10,292	-2,928	-35,116	7,737	0,001	1,000	12,000
	TECHNICAL FRESH WATER TANK FORE P	3,294	46,117	13,955	195,375	-4,593	-64,295	2,893	0,001	1,000	14,000
	TECHNICAL FRESH WATER TANK FORE S	3,294	46,117	13,955	195,375	4,593	64,295	2,893	0,001	1,000	14,000
	TECHNICAL FRESH WATER TANK AFT P	6,264	106,492	4,590	77,352	-4,751	-80,767	0,000	0,000	1,000	17,000
TECHNICAL FRESH WATER TANK AFT S	6,306	59,910	2,967	28,187	4,437	42,152	0,207	0,000	1,000	9,500	
LASTRE	FORE PEAK TANK	3,925	0,000	88,050	0,000	0,000	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	TRIM TANK	4,005	0,000	82,800	0,000	0,000	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 1P	3,925	0,000	74,350	0,000	-3,371	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 1S	3,925	0,000	74,350	0,000	3,669	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 2C	3,855	0,000	63,400	0,000	-0,017	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 3P	2,411	358,355	54,614	8118,312	-4,950	-735,755	0,012	0,000	1,025	145,023
	BALLAST TANK 3S	2,108	315,073	54,617	8162,135	4,667	697,402	1,520	0,000	1,025	149,443
	BALLAST TANK 4C	3,855	0,000	45,850	0,000	0,000	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 5P	3,855	0,000	37,450	0,000	-3,390	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 5S	3,855	0,000	37,450	0,000	3,697	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 6C	3,855	0,000	29,400	0,000	-0,012	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 7P	3,855	0,000	21,700	0,000	-3,688	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	BALLAST TANK 7S	3,855	0,000	21,700	0,000	3,396	0,000	0,000	1,025	0,000	0,000
	CARGA	CARGO TANK 1 P	4,283	1091,002	72,976	18587,081	-2,117	-539,276	145,858	0,027	0,966
CARGO TANK 1 S		4,277	1077,801	72,976	18398,726	2,115	533,053	145,104	0,026	0,966	260,852
CARGO TANK 2 P		4,088	1063,457	63,505	16518,695	-2,861	-744,238	136,910	0,025	0,966	269,270
CARGO TANK 2 S		4,081	1063,495	63,505	16547,221	2,861	745,517	137,740	0,025	0,966	269,736
CARGO TANK 3 P		4,262	1007,259	54,407	12858,387	-2,905	-686,593	115,200	0,021	0,880	274,810
CARGO TANK 3 S		4,267	1013,860	54,407	12926,015	2,905	690,212	115,590	0,021	0,880	276,256
CARGO TANK 4 P		3,381	659,359	46,179	9007,075	-2,903	-566,221	133,870	0,024	0,966	201,912
CARGO TANK 4 S		3,387	656,529	46,179	8952,353	2,903	562,781	133,960	0,024	0,966	200,685
CARGO TANK 5 P		3,880	931,068	37,779	9065,676	-2,905	-697,101	134,840	0,025	0,966	248,412
CARGO TANK 5 S		3,975	958,908	37,779	9114,070	2,905	700,823	135,520	0,025	0,966	249,738
CARGO TANK 6 P		3,879	856,441	29,733	6564,239	-2,905	-641,285	124,900	0,023	0,966	228,541
CARGO TANK 6 S		3,880	854,764	29,733	6550,385	2,905	639,929	124,900	0,023	0,966	228,059
CARGO TANK 7 P		3,127	400,849	22,013	2821,788	-2,679	-343,478	110,172	0,020	0,880	149,057
CARGO TANK 7 S		3,121	399,328	22,014	2816,750	2,679	342,749	110,314	0,020	0,880	148,783

Ilustración 77. Cuadro de momentos. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Como podemos observar en el cuadro anterior, la primera columna muestra una descripción del tanque al que hacen referencia los datos de la correspondiente fila.

Los datos de la columna “VCG (KG)”, “LCG”, “TCG” y “MSL” son obtenidos por el Excel de la hoja “CARAC. TANQUES”, ya que previamente hemos vinculado las celdas correspondientes. Para obtener el valor de cada momento, simplemente en las columnas “Mtos...” tendremos que multiplicar la masa carga en cada tanque (columna “Masa cargada”) por la distancia del CDG correspondiente. Para calcular la corrección por superficies libres, columna “csi/D” tendremos:

$$csi/D = \frac{MSL}{D}$$

Los datos de las columnas “Masa cargada”, “Volumen” y “Densidad de la Carga” procederán de la hoja “CONDICIÓN TANQUES”, ya que las celdas estarán vinculadas.

Una vez obtenido los valores desarrollados anteriormente, solo nos queda obtener la sumatoria total de cada uno de los momentos y de la corrección por superficies libre, para ello utilizaremos la función =SUMA y sumaremos toda la columna correspondiente.

Mtos. Verticales	LCG	Mtos. Longitudinal	TCG	Mtos. Transversal	MSL	csi/D	Densidad De la carga	VOLUMEN=(MASA/DENSIDAD)	MASA cargada
21,103	8,533	42,666	2,548	12,741	3,926	0,001	1,000	5,000	5,000
1,123	10,763	16,144	1,756	2,634	0,363	0,000	1,000	1,500	1,500
1,708	6,512	22,792	0,001	0,004	0,760	0,000	0,900	3,150	3,500
21,103	8,533	42,666	-2,548	-12,741	3,926	0,001	1,000	5,000	5,000
3,478	12,298	61,490	-1,801	-9,003	1,423	0,000	1,000	5,000	5,000
2,061	12,878	38,634	1,953	5,858	0,520	0,000	1,000	3,000	3,000
48,750	2,700	9,450	-1,125	-3,938	0,070	0,000	0,800	2,800	3,500
26261,75		238581,43		0,27		0,347			5494,465

Ilustración 78. Sumatorio cuadro de momentos. Fuente, elaboración propia.

III.1.3.2.- Cálculos Estabilidad

Una vez calculado el desplazamiento del buque y los valores de los centros de gravedad, crearemos una hoja en la que realizaremos los cálculos relacionados con la estabilidad del buque y los calados.

Para ello en la presente hoja hemos creado una tabla en la que se muestra la siguiente información.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4		LCG	43,422	TRIM	1,404
5		LCB	45,074		m
6		DISP	5494,465	TAFT	6,296
7		MCT	64,633		m
8		LCF	41,690	T FWD	4,892
9		lpp	88,769		m
		calado	5,637		

Ilustración 79. Tabla cálculo de calados. Fuente, elaboración propia.

Los datos de la columna de la derecha de la figura anterior, serán obtenidos de:

- ✓ *LCG*: Se obtendrá de la hoja “CUADRO DE MOMENTO” es el valor del centro de gravedad longitudinal.
- ✓ *LCB*: Se obtendrá de las tablas hidrostáticas, acorde al desplazamiento calculado.
- ✓ *DISP*: Lo obtendremos de la hoja “CUADRO DE MOMENTO”
- ✓ *MCT*: Al igual que el *LCB*, se obtendrá de las tablas hidrostáticas en base al desplazamiento del buque.
- ✓ *LCF*: Tablas hidrostáticas.
- ✓ *Lpp*: Estará reflejado en la hoja “INFORMACIÓN”, por lo que el dato se tomará de dicha hoja.
- ✓ *Calado*: Será el calado medio dado acorde al desplazamiento del buque obtenido de las tablas hidrostáticas.

Todas las celdas anteriores estarán vinculadas a las celdas originales de cada uno de los datos, haciendo que la actualización de los mismos sea automática.

Una vez obtenidos los valores anteriores, procederemos a calcular el asiento final, y a partir de este obtendremos los calados finales a proa y a popa. Datos reflejados en la columna de la derecha de la ilustración 79.

Para calcular el *trim*, en la celda correspondiente introduciremos la siguiente fórmula.

$$Trim = \frac{\Delta x (LCB - LCG)}{MCT}$$

Que en nuestra hoja Excel sería:

$$Trim = ((C4 - C3) * C5) / (C6 * 100)$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Una vez obtenido el asiento, calcularemos el calado a popa.

$$C_{pp} = \frac{LCF \times Trim}{l_{pp}} + C_m$$

En nuestro caso,

$$C_{pp} = (C7 * E3)/C8 + C9$$

Y por último el calado a proa

$$C_{pr} = C_{pp} - Trim$$

$$C_{pr} = E5 - E3$$

Para calcular la escora, necesitaremos conocer el valor del *GM*. Para calcular dicho valor, crearemos una tabla como la que se muestra a continuación.

	G	H
1		
2		
3	KM	5,923
4	KG	4,780
5	GM	1,143
6	csl	0,347
7	KGc	5,126
8	GMc	0,796
9		
10	escora	0,00

Ilustración 80. Tabla cálculo GM y escora. Fuente, elaboración propia.

Los datos de la tabla anterior los obtendremos de:

- ✓ *KM*: Se obtiene de las tablas hidrostáticas acorde al desplazamiento dado.
- ✓ *KG*: Lo obtendremos de la hoja "CUADRO DE MOMENTOS"
- ✓ *GM*: $KM - KG$, en nuestra caso sería $H3 - H4$
- ✓ *Csl*: Lo obtendremos de la hoja "CUADRO DE MOMENTOS"
- ✓ *KGc*: se trata del $KG + Csl$ o lo que sería en nuestro caso $H4 + H6$
- ✓ *GMc*: restamos la *Csl* al *GM* por lo que nos quedaría $H5 - H6$
- ✓ *Escora*: Utilizaremos la fórmula descrita en el apartado de metodología

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

$$\tan \theta = \frac{TCG}{GM}$$

De la fórmula anterior, el valor TCG lo obtenemos de la hoja "CUADRO DE MOMENTOS", por lo que la fórmula en el Excel nos quedaría,

$$= GRADOS(ATAN('CUADRO DE MOMENTOS'!D74/H5))$$

Además en esta misma hoja, calcularemos el calado medio máximo acorde al desplazamiento para las diferentes zonas de navegación.

	A	B	C	D	E
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Seleccionar zona de navegación	Seleccionar
Dulce Trópico	6,46
Trópico	6,33
Dulce	6,33
Verano	6,20
Invierno	6,07
Atlántico Norte Invierno	6,02

Ilustración 81. Tabla para el cálculo del C_m máximo acorde a la zona de navegación. Fuente, elaboración propia.

$$\text{Dulce Trópico} = Cm(\text{Trópico}) + \frac{Cm(\text{verano})}{48} = D14 + (D16/48)$$

$$\text{Trópico} = Cm(\text{verano}) + \frac{Cm(\text{verano})}{48} = D16 + (D16/48)$$

$$\text{Trópico} = Cm(\text{verano}) + \frac{Cm(\text{verano})}{48} = D16 + (D16/48)$$

$$\text{Agua dulce} = Cm(\text{verano}) + \left(\frac{Disp}{40 * TPC}\right) = D16 + ((TABLAS!C420/(40 * TABLAS!J420) * 0,01))$$

Verano = Tablas hidrostáticas o tabla información del buque.

$$\text{Invierno} = Cm(\text{verano}) - \frac{Cm(\text{verano})}{48} = D16 - (D16/48)$$

$$\text{Atlántico Norte Invierno} = Cm(\text{verano}) - 0,051 = D16 - 0,051$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



III.1.3.3.- Cálculo liquidación.

La liquidación es el documento que refleja las cantidades finales cargadas por el buque, dependiendo de la terminal o del país en el cuál se están llevando a cabo, las unidades en las que expresaremos las cantidades variarán. En nuestro caso expresaremos las cantidades en toneladas (T) y en metros cúbicos (m³) tanto a 15°C como a temperatura. Para obtener tales valores, crearemos una tabla como la que se muestra a continuación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	TANQUE	PRODUCTO	VACIOS	VOL. NETO	TEMP	DENS. V	DENS. A	VCF	LT NETOS	KILOS VACIO	KILOS AIRE
2	TS1B	RMG 380 VLS	185	271.685	55	0,9660	0,9649	0,9716	263.969	254.994	254.703
3	TS1E	RMG 380 VLS	185	268.783	55	0,9660	0,9649	0,9716	261.150	252.270	251.983
4	TS2B	RMG 380 VLS	185	277.458	55	0,9660	0,9649	0,9716	269.578	260.412	260.115
5	TS2E	RMG 380 VLS	185	277.937	55	0,9660	0,9649	0,9716	270.044	260.862	260.565
6	TL3B	DMA	160	275.853	18	0,8600	0,8589	0,9975	275.163	236.640	236.337
7	TL3E	DMA	160	277.303	18	0,8600	0,8589	0,9975	276.610	237.884	237.580
8	TL4B	RMG 380 VLS	320	208.051	55	0,9660	0,9649	0,9716	202.142	195.269	195.047
9	TL4E	RMG 380 VLS	320	206.787	55	0,9660	0,9649	0,9716	200.914	194.083	193.862
10	TL5B	RMG 380 VLS	220	255.965	55	0,9660	0,9649	0,9716	248.696	240.239	239.966
11	TL5E	RMG 380 VLS	220	257.332	55	0,9660	0,9649	0,9716	250.024	241.522	241.247
12	TL6B	RMG 380 VLS	220	235.490	55	0,9660	0,9649	0,9716	228.802	221.022	220.771
13	TL6E	RMG 380 VLS	220	234.993	55	0,9660	0,9649	0,9716	228.319	220.556	220.305
14	TL7B	DMA	400	149.622	18	0,8600	0,8589	0,9975	149.248	128.353	128.189
15	TL7E	DMA	400	149.347	18	0,8600	0,8589	0,9975	148.974	128.117	127.953

Ilustración 82. Tabla para el cálculo de la liquidación. Fuente, elaboración propia.

Las tres primeras columnas de la tabla (“TANQUE”, “PRODUCTO”, “VACÍOS”) junto con la columna de temperaturas “TEMP” y densidad al vacío “DENS.V” serán obtenidas de la hoja “PLAN DE CARGA”, donde previamente ya nosotros hemos introducido estos datos de forma manual, por lo que estas celdas estarán vinculadas a las citadas.

Para calcular el volumen neto acorde al vacío indicado, utilizaremos la función =BUSCAR. Utilizando dicha función, el Excel buscará el vacío indicado en la hoja “VACÍOS” y mostrará el valor del volumen correspondiente a dicho vacío para el tanque indicado. A modo de ejemplo se muestra la fórmula a continuación.

$$= \text{BUSCAR}(C2; \text{VACÍOS!} \$A\$2: \$A\$649; \text{VACÍOS!} B\$2: B\$649)$$

En la que:

- C2 = Vacío indicado para el tanque uno babor (TS1B).
- VACÍOS! \$A\$2: \$A\$649 = Columna donde se encuentran todos los vacíos TS1B

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



- $VACÍOS!B\$2:B\649 = Columna donde se encuentra la capacidad en (m^3) del tanque acorde al vacío.

Para el cálculo de la densidad al aire, simplemente tenemos que restar 0,0011 a la densidad al vacío. Para que esta operación se realice de forma automática, aplicaremos la siguiente fórmula en la celda correspondiente.

$$=SI('PLAN CARGA'!O3 = 0; "";'CALC.LIQ.'!F2 - 0,0011)$$

Tener en consideración que en todas las celdas de la tabla que estamos usando como ejemplo, se hará uso de la función =SI con el objetivo de que si algún tanque no se va a cargar, el Excel no muestre “0” por defecto si no mantenga la celda en blanco.

Para el cálculo de los valores de la columna “VCF”, factor de corrección de volumen por temperatura, se creará una hoja nueva donde se efectuará el cálculo de dicho factor. Este cálculo se desarrollará en el siguiente apartado.

Una vez obtenido el VCF, ya podremos calcular los litros netos a 15° multiplicando el VOL NETO por el VCF. Siguiendo el ejemplo de la tabla nos quedaría.

$$= H2 * D2$$

Para el cálculo de los kilos al vacío y de los kilos al aire, multiplicaríamos los litros netos por la densidad al vacío y por la densidad al aire respectivamente. Siguiendo el ejemplo tendremos.

$$KILOS VACÍO = SI(C2 =; 0; ENTERO(I2 * F2))$$

$$KILOS AIRE = SI(C2 = ""; 0; ENTERO(I2 * G2))$$

Como se puede observar, se hace uso de la función =ENTERO para que Excel en la celda solo muestre el valor del número entero, es decir, no muestre los decimales.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

III.1.3.4.- Cálculo VCF.

Para calcular el valor de corrección de volumen por temperatura, crearemos una tabla similar a la que se describe a continuación. Tener en cuenta que esta tabla se deberá crear para cada uno de las tanques.

	A	B	C	D	E
1	DENSIDAD	K	L	C	
2	770,5	346,4228	0,4383	0,00082496	
3	787,5	2680,3206	-0,0033631	-0,0004908	
4	839,5	594,5418	0	0,00063713	
5	1075	186,9696	0,4862	0,00070368	
6					
7	tanque 1br				
8	186,9696	0,00070368	E	0,97162941	
9	4,862		F	0,9716	
10	TANQUE 1BR				
11	DENSIDAD DATO	0,966		DEN*1000	966
12	TEMPERATURA	55		TEMP-15	40

Ilustración 83. Tabla cálculo VCF. Fuente, elaboración propia.

En la columna densidad anotaremos los valores de referencia de la densidad de manera similar a la que se muestra en el ejemplo. A las densidades comprendidas entre estos valores, les corresponderá los valores que se encuentren en la misma fila que el valor de referencia. A modo de ejemplo, si uno de nuestros productos posee una densidad en vacío $\leq 770,5$, los valores de “K”, “L” y “C”, serán los correspondientes a la fila donde se encuentra tal densidad de referencia.

Los valores de “K” y “L” son constantes para cada una de las densidades de referencia, mientras que los valores de “C” los calcularemos acorde a la siguiente fórmula:

$$= (B2/(E11 * E11)) + (C2/E11)$$

Donde:

- B2 = Constante “K”
- E11 = Densidad vacío en Kg/m³
- C2 = Constante “L”

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Para calcular el valor que corresponde de las constantes “K” y “C” para la densidad de cada producto haremos uso de la función =SI. Aplicaremos las fórmulas que se describen a continuación:

$$K = SI(E11 \leq 770,5; 3464228/10000; SI(E11 \leq 787,5; 26803206/10000; SI(E11 \leq 839,5; 5945418/10000; SI(E11 \leq 1075; 1869696/10000; 0))))$$

$$L = SI(E11 \leq 770,5; 4383/10000; SI(E11 \leq 787,5; 336312/100000000; SI(E11 \leq 839,5; 0; SI(E11 \leq 1075; 4862/1000; 0))))$$

$$C = SI(E11 \leq 770,5; D2; SI(E11 \leq 787,5; D3; SI(E11 \leq 839,5; D4; SI(E11 \leq 1075; D5; 0))))$$

Una vez obtenidos los valores correspondientes a la densidad de “K”, “L” y “C”, ya podemos proceder a calcular el VCF utilizando la siguiente fórmula:

$$VCF(E) = EXP\left(\frac{C * Den(kg/m^3)}{1 + 0,8 * C * (TEMP - 15^{\circ})}\right)$$

Quedando la fórmula en nuestra tabla como:

$$= EXP(-D7 * E12 * (1 + 0,8 * D7 * E12))$$

Redondeando el resultado al tercer decimal mediante la función =ENTERO

$$= ENTERO(D8 * 10000 + 0,5)/10000$$

Una vez obtenido el VCF ya podremos utilizarlo en el calculo de la liquidación para obtener el volumen corregido por temperatura.

III.1.3.5.- Cálculo de áreas.

Debido a que en el manual de estabilidad de nuestro buque, no se encuentran las curvas de Bonjean, para poder calcular el empuje en las diferentes cuadernas de trazado o secciones hemos tenido que calcular las áreas de dichas secciones a partir de las semimangas dadas en la cartilla de trazado.

Para el cálculo de dichas áreas, acorde a lo descrito en el apartado de metodología, integraremos las semimangas para obtener el área correspondiente a cada línea de agua en cada cuaderna de trazado. En el presente trabajo dicha integración la hemos realizado siguiendo el método de Simpson explicado en el apartado metodología. Las áreas obtenidas se muestran en la siguiente ilustración.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Nº CUADERNA TRAZADO	ÁREA DE LAS LÍNEAS DE AGUA																
	Nº LÍNEA DE AGUA																
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
0										0,2444	2,1061	5,5426	9,7031	14,6809	20,1230	25,8751	32,8871
0,5		0,0295	0,2360	0,5448	0,7519	0,8087	0,8087	0,8087	1,2215	2,7280	4,9033	9,1510	14,2316	19,8522	25,8241	32,0402	38,4182
1	0,3427	0,9996	1,7828	2,6223	3,4603	4,2622	5,0425	5,9862	7,5503	10,2195	14,1730	19,1874	24,8584	30,9611	37,3374	43,8902	50,5640
1,5	0,6915	1,8965	3,2641	4,7015	6,1683	7,6678	9,2718	11,2484	13,9583	17,6961	22,4986	28,1248	34,2609	40,7343	47,4145	54,2220	61,1085
2	1,0925	2,9738	5,0966	7,3394	9,6717	12,1218	14,7906	17,9190	21,7410	26,4208	31,9368	38,0264	44,4979	51,2216	58,0916	65,0445	72,0448
2,5	1,5764	4,2353	7,2257	10,4053	13,7484	17,2888	21,1125	25,3729	30,1988	35,6614	41,6819	48,1164	54,8246	61,7080	68,6848	75,7095	82,7604
3	2,1109	5,5901	9,4873	13,6363	18,0008	22,5956	27,4666	32,6896	38,3242	44,3861	50,8072	57,5024	64,3804	71,3674	78,4059	85,4687	92,5444
3,5	2,6491	6,9102	11,6466	16,6580	21,8886	27,3332	33,0100	38,9520	45,1780	51,6743	58,3888	65,2723	72,2646	79,3151	86,3899	93,4759	100,5682
4	3,1654	8,1203	13,5545	19,2491	25,1404	31,2139	37,4727	43,9235	50,5583	57,3509	64,2649	71,2710	78,3302	85,4142	92,5102	99,6084	106,7075
5	4,0503	10,0219	16,3531	22,8904	29,5786	36,3864	43,2920	50,2693	57,2970	64,3592	71,4426	78,5372	85,6351	92,7343	99,8341	106,9341	114,0341
6	4,6232	11,1752	17,9681	24,8947	31,9063	38,9660	46,0491	53,1415	60,2381	67,3369	74,4361	81,5359	88,6357	95,7357	102,8357	109,9357	117,0357
7	4,9219	11,7677	18,7719	25,8403	32,9335	40,0320	47,1318	54,2318	61,3318	68,4318	75,5318	82,6318	89,7318	96,8318	103,9318	111,0318	118,1318
8	5,0356	12,0089	19,0932	26,1923	33,2923	40,3923	47,4923	54,5923	61,6923	68,7923	75,8923	82,9923	90,0923	97,1923	104,2923	111,3923	118,4923
9	5,0728	12,0906	19,1884	26,2884	33,3884	40,4884	47,5884	54,6884	61,7884	68,8884	75,9884	83,0884	90,1884	97,2884	104,3884	111,4884	118,5884
10	5,0798	12,1059	19,2049	26,3049	33,4049	40,5049	47,6049	54,7049	61,8049	68,9049	76,0049	83,1049	90,2049	97,3049	104,4049	111,5049	118,6049
11	5,0737	12,0933	19,1893	26,2893	33,3893	40,4893	47,5893	54,6893	61,7893	68,8893	75,9893	83,0893	90,1893	97,2893	104,3893	111,4893	118,5893
12	5,0423	12,0321	19,1141	26,2110	33,3107	40,4107	47,5107	54,6107	61,7107	68,8107	75,9107	83,0107	90,1107	97,2107	104,3107	111,4107	118,5107
13	4,9566	11,8766	18,9296	26,0183	33,1164	40,2163	47,3163	54,4163	61,5163	68,6163	75,7163	82,8163	89,9163	97,0163	104,1163	111,2163	118,3163
14	4,7642	11,5412	18,5242	25,5809	32,6659	39,7579	46,8542	53,9522	61,0513	68,1509	75,2505	82,3503	89,4502	96,5501	103,6501	110,7501	117,8501
15	4,3447	10,6973	17,3761	24,2065	31,1151	38,0634	45,0401	52,0413	59,0639	66,1049	73,1610	80,2300	87,3099	94,3991	101,4954	108,5954	115,6954
16	3,5416	8,9229	14,7250	20,7553	26,9252	33,1821	39,5038	45,8859	52,3316	58,8460	65,4370	72,1135	78,8878	85,7686	92,7613	99,8455	106,9455
16,5	3,0611	7,7516	12,8254	18,1029	23,5058	28,9957	34,5638	40,2205	45,9821	51,8669	57,8950	64,0852	70,4644	77,0592	83,8946	90,9400	98,0369
17	2,5562	6,4984	10,7629	15,1899	19,7089	24,2859	28,9204	33,6405	38,4848	43,4992	48,7378	54,2498	60,0795	66,2684	72,8549	79,7960	86,8453
17,5	2,0518	5,2648	8,7384	12,3334	15,9906	19,6765	23,3870	27,1509	31,0178	35,0593	39,3782	44,0606	49,1905	54,8282	61,0235	67,7197	74,5897
18	1,5896	4,1438	6,9110	9,7654	12,6553	15,5449	18,4195	21,2956	24,2215	27,2823	30,6232	34,3809	38,6849	43,6157	49,2323	55,4740	61,9575
18,5	1,2035	3,1981	5,3821	7,6376	9,9131	12,1649	14,3611	16,4894	18,5802	20,7173	23,0813	25,8650	29,2495	33,3305	38,1659	43,7052	49,5759
19	0,9005	2,4487	4,1773	5,9775	7,7983	9,5925	11,3154	12,9195	14,3917	15,7811	17,2738	19,1099	21,5252	24,6356	28,5029	33,1048	38,1522
19,5	0,6714	1,8859	3,2799	4,7567	6,2691	7,7715	9,2152	10,5289	11,6515	12,5685	13,4099	14,4241	15,8780	17,9173	20,6215	23,9839	27,8612
20	0,4534	1,3893	2,5290	3,7781	5,0874	6,4059	7,6766	8,8114	9,7231	10,3453	10,5964	10,5964	10,8349	11,5666	12,8189	14,5901	16,8463

Ilustración 84. Tabla de áreas. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Una vez obtenidas las áreas, ya podemos proceder a la elaboración de las curvas de Bonjean. Para conseguir una escala que nos permitiese trabajar con facilidad, se han dividido las áreas obtenidas entre diez.

En el presente trabajo se han dibujado las curvas de Bonjean haciendo uso del programa AutoCAD. Éstas las podremos encontrar en el anexo 1.

III.1.3.6.- Cálculo del empuje.

Para el cálculo del empuje correspondiente a cada sección, hemos tabulado las curvas de Bonjean, es decir, hemos elaborado una tabla que recoge el área correspondiente de cada una de las secciones para cada una de las flotaciones.

SECCIÓN 4		
Calado	Área/10	Área
0,1	0,0633	0,633
0,2	0,1266	1,266
0,3	0,1899	1,899
0,4	0,2532	2,532
0,5	0,3165	3,165
0,6	0,4156	4,156
0,7	0,5147	5,147
0,8	0,6138	6,138
0,9	0,7129	7,129
1	0,812	8,12
1,1	0,9207	9,207
1,2	1,0294	10,294
1,3	1,1381	11,381
1,4	1,2468	12,468
1,5	1,3555	13,555

Ilustración 85. Área de la sección 4 para las distintas flotaciones.
Fuente, elaboración propia.

En la ilustración 85 podemos observar un ejemplo de lo desarrollado en el párrafo anterior. Tener en cuenta que la tabla recoge los datos para todas las secciones y para cada una de las flotaciones, desde 0,1 hasta 8,0 metros.

Una vez tabulados todos los valores, el siguiente paso es saber el calado correspondiente a cada una de las secciones. Este dato lo calcularemos mediante la ecuación general de la recta. Para ello crearemos una tabla como la que se muestra a continuación.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	S	T
1		
2		
3	4	
4	CALADO	ÁREA
5	6,01	71,4122
6	6,00	71,271
7	6,10	72,683
8	322,069	

Ilustración 86. Cálculo de empuje por secciones.
Fuente, elaboración propia.

Como se puede observar, la celda “S5” muestra el calado correspondiente en este caso a la cuaderna de trazado 4, para calcular este valor, como dijimos anteriormente, usaremos la ecuación general de la recta $y = mx + b$, donde,

y = Calado correspondiente a la cuaderna de trazado.

$$m = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{Lpp - 0}{C_{pp} - C_{pr}} = \text{mediana}$$

x = Distancia desde la perpendicular de popa hasta la cuaderna de trazado correspondiente.

$$b = Y_1 = C_{pp}$$

Atendiendo a esto, la fórmula en nuestro Excel para calcular el calado en cada cuaderna de trazado será la siguiente,

$$= \text{REDONDEAR.MENOS}(\$B\$7 * 17,6 + \$B\$5; 2)$$

Donde,

$\$B\7 = mediana

$\$B\5 = Calado en popa (C_{pp})

Como se puede observar en la fórmula anterior, usamos la función $=\text{REDONDEAR.MENOS}$ para que el Excel redondee a dos decimales, que es lo habitual cuando se da el valor de un calado.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Una vez obtenido el calado para cada una de las secciones o cuadernas de trazado, solo nos queda calcular el área correspondiente al calado obtenido, para ello mediante la función =*BUSCAR* buscaremos en la tabla de áreas (ilustración 85) el valor correspondiente. Es difícil que el calado obtenido coincida exactamente con los valores reflejados en las tablas por lo que interpolaremos utilizando el mismo método que hemos estado utilizando hasta ahora, por lo que nos quedaría, utilizando el ejemplo mostrado en la ilustración 85, la siguiente función.

$$\text{Celda } S6 = \text{BUSCAR}(S5; Z12: Z91; Z12: Z91)$$

$$\text{Celda } S7 = \text{BUSCAR}(S5; Z12: Z91; Z13: Z91)$$

Las funciones expresadas anteriormente nos permitirán buscar el valor más próximo a nuestro calado, tanto el inferior como el superior.

Las celdas *T6* y *T7* nos devolverá el valor del área para dichos calados. Utilizaremos la siguiente función.

$$\text{Celda } T6 = \text{BUSCAR}(S6; Z12: Z91; AB12: AB91)$$

$$\text{Celda } T7 = \text{BUSCAR}(S7; Z12: Z91; AB12: AB91)$$

Con los datos obtenidos, para calcular el área correspondiente al calado de la cuaderna de trazado, interpolaremos de la siguiente manera,

$$\text{Celda } T5 = \text{SI}(S5 = S6; T6; \text{SI}(S5 = S7; T7; T6 + ((S5 - S6) * (T7 - T6)) / (S7 - S6)))$$

Utilizamos la función =*SI* para que, en el caso que el valor del calado obtenido sea igual que uno de los valores contenidos en la tabla, el Excel muestre directamente el valor del área correspondiente a dicho calado sin interpolar.

Una vez obtenida el área, yo podremos calcular el empuje, multiplicando ésta por la longitud de la sección y por la densidad del líquido en el cuál flota el buque, en este caso agua de mar. Nos quedaría la función del cálculo del empuje de la siguiente manera.

$$\text{Celda } S8 = (T5 * 4,4) * 'CONDICION TANQUES'! \$L\$5$$

'CONDICION TANQUES'! \$L\$5 = densidad seleccionada en la hoja "CONDICIÓN TANQUES", por lo que la densidad se actualizará automáticamente.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Tener en cuenta que las operaciones realizadas debemos de aplicarlas a cada una de las secciones en que hemos dividido el buque a lo largo de toda su eslora.

III.1.3.7.- Cálculo de esfuerzos.

En este apartado se describirán todas las operaciones realizadas para calcular los esfuerzo del buque

En primer lugar, tendremos que calcular la carga correspondiente a cada sección, para ello elaboraremos una tabla, que contendrá el peso y el empuje de cada una de las secciones.

	A	B	C	D	E	F	G
2							
3	SECCIÓN	0	1	2	3	4	5
4	INTERVALO (m)	0	4,4000	4,4000	4,4000	4,4000	4,4000
5	PESO (Tm/m)	0	181,0722	211,442	267,889	226,639	197,999
6	EMPUJE (Tm/m)	0	44,5326	117,5737	202,2609	280,9150	322,0690
8	CARGA (Tm/m)	0	136,5396	93,8680	65,6281	-54,2759	-124,0700

Ilustración 87. Tabla para el cálculo de la carga. Fuente, elaboración propia.

Por lo tanto, en la tabla vamos a introducir los datos referentes al intervalo (longitud de cada una de las secciones), el peso y el empuje de cada sección. Los datos del peso y el empuje serán tomados por el Excel automáticamente de la hoja de “DISTRIBUCIÓN DE PESOS” y “BONJEAN” respectivamente, por lo que se actualizaran de forma automática en la presente hoja.

Con los valores del peso y el empuje, procedemos a calcular la carga de cada una de las secciones. Ésta será igual a:

$$Carga = Peso - Empuje$$

El siguiente paso será crear la tabla que nos permita calcular los esfuerzos cortantes y los momentos flectores Para ello seguiremos el procedimiento explicado en el apartado metodología. Aplicando éste, hemos obtenido la siguiente tabla de valores:

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
10		ESLORA	CARGA x INTERVALO	ESFUERZO CORTANTE	CORRECCIÓN	E.C. FINAL	E.C. MEDIO	MOMENTO FLECTOR	CORRECCION	M.F. FINAL
11		0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12		4,4	734,5060	734,5060	0,7837	735,2896	1615,9131	1615,9131	861,7261	2477,6392
13		8,8	593,6702	1328,1761	1,5673	1329,7435	4537,9006	6153,8137	1723,4523	7877,2660
14		13,2	499,9265	1828,1026	2,3510	1830,4536	6943,8133	13097,6270	2585,1784	15682,8054
15		17,6	-78,9419	1749,1607	3,1346	1752,2954	7869,9794	20967,6064	3446,9045	24414,5109
16		22	-901,1346	848,0262	3,9183	851,9445	5713,8112	26681,4175	4308,6306	30990,0481
17		26,4	-815,6305	32,3957	4,7020	37,0977	1936,9281	28618,3456	5170,3568	33788,7024
18		30,8	-450,5049	-418,1092	5,4856	-412,6236	-848,5697	27769,7759	6032,0829	33801,8588
19		35,2	-304,3334	-722,4426	6,2693	-716,1733	-2509,2139	25260,5619	6893,8090	32154,3709
20		39,6	62,7957	-659,6469	7,0529	-652,5939	-3040,5968	22219,9651	7755,5351	29975,5003
21		44	-14,3503	-673,9972	7,8366	-666,1606	-2934,0170	19285,9481	8617,2613	27903,2093
22		48,4	-137,5752	-811,5724	8,6203	-802,9522	-3268,2532	16017,6948	9478,9874	25496,6822
23		52,8	-171,6398	-983,2122	9,4039	-973,8083	-3948,5262	12069,1687	10340,7135	22409,8822
24		57,2	-370,2389	-1353,4511	10,1876	-1343,2635	-5140,6593	6928,5094	11202,4396	18130,9490
25		61,6	120,3519	-1233,0992	10,9712	-1222,1280	-5690,4108	1238,0986	12064,1658	13302,2644
26		66	166,6412	-1066,4581	11,7549	-1054,7032	-5059,0260	-3820,9274	12925,8919	9104,9645
27		70,4	73,3161	-993,1419	12,5386	-980,6034	-4531,1200	-8352,0474	13787,6180	5435,5706
28		74,8	164,7549	-828,3871	13,3222	-815,0648	-4007,3638	-12359,4112	14649,3442	2289,9330
29		79,2	456,8622	-371,5248	14,1059	-357,4189	-2639,8062	-14999,2173	15511,0703	511,8529
30		83,6	57,0999	-314,4249	14,8895	-299,5353	-1509,0894	-16508,3067	16372,7964	-135,5103
31		88	298,7517	-15,6732	15,6732	0,0000	-726,2158	-17234,5225	17234,5225	0,0000

Ilustración 88. Tabla esfuerzos cortantes y momentos flectores. Fuente, elaboración propia.

Tomando como ejemplo la fila 13 de la ilustración 88, tenemos que la columna “Carga x intervalo” es igual a la carga obtenida en la tabla mostrada en la ilustración 87 por la longitud del intervalo, obteniendo así los esfuerzos cortantes parciales. La función que quedaría asignada a la celda C13 sería la siguiente,

$$\text{Celda C13} = 4,4 * D8$$

Para el cálculo de los esfuerzos cortantes finales, siendo estos el acumulado de los esfuerzos cortantes parciales, simplemente tendríamos que ir sumando los esfuerzos cortantes parciales al acumulado, quedando,

$$\text{Celda D13} = D12 + C13$$

En el caso que en la última sección el resultado no fuera cero y fuera necesario aplicar la corrección, según lo descrito en el apartado de la metodología, ésta será calculada en la columna “E” y aplicando la fórmula en el ejemplo de la ilustración 88 nos quedaría,

$$\text{Celda E13} = (-(\$D\$31)/88) * A13$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

Esta corrección aplicada al esfuerzo cortante, nos da el valor final de los esfuerzos cortantes.

$$\text{Celda } F13 = D13 + E13$$

A partir de los esfuerzos cortantes obtenidos, podremos calcular el valor de los momentos flectores. Para ello necesitamos calcular el esfuerzo cortante medio, columna “G” de la ilustración 88. Siguiendo con nuestro ejemplo, la función nos quedaría:

$$\text{Celda } G13 = ((D13 + D12)/2) * 4,4$$

El esfuerzo cortante medio, multiplicado por la longitud de la sección nos daría como resultado el valor del momento flector de la rebanada para la sección límite, por lo que el acumulado de los momentos flectores parciales corresponde al valor del momento flector en cada una de las diferentes secciones.

$$\text{Celda } H13 = H12 + G13$$

De la misma manera que con los esfuerzos cortantes, en el caso que el resultado de la última sección no fuera cero, debemos aplicar la corrección,

$$\text{Celda } I13 = (-(\$H\$31)/88) * A13$$

que sumada al valor del momento flector obtenido, nos da como resultado el valor final de dicho momento flector.

$$\text{Celda } J13 = H13 + I13$$

A continuación, crearemos una tabla en la cuál vamos a reflejar los momentos flectores y esfuerzos cortantes mínimos y máximos obtenidos y la cuaderna en la cuál se aplican. Para esto, utilizaremos la función =BUSCAR.

	S	T	U	V
27	E.C. MAX	E.C. MIN	M.F. MAX	M.F. MIN
28	1830,4536	-1343,2635	4225,2323	-16,9387905
29	X.POS (m)	X.POS (m)	X.POS (m)	X.POS (m)
30	13,2	57,2	30,8	83,6

Ilustración 89. Tabla M.F. y E.C. máx. y min. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

La función introducida en Excel (celda S28, ilustración 89) para que éste encuentre el valor del esfuerzo cortante máximo en la tabla donde hemos calculado tales datos (ilustración 88), es la siguiente:

$$= SI(ABS(MIN(\$F\$11:\$F\$31)) > ABS(MAX(\$F\$11:\$F\$31)); MIN(\$F\$11:\$F\$31); MAX(\$F\$11:\$F\$31))$$

Para la obtención del momento flector máximo, introduciremos la misma ecuación, pero haciendo referencia a la columna donde fueron calculado éstos (columna J11:J31, ilustración 88).

Una vez obtenido los esfuerzos cortantes y los momentos flectores para puerto, calcularemos los momentos flectores y esfuerzos cortantes máximos para la condición de aguas libres.

Siguiendo los procedimientos desarrollados en la metodología, para realizar el cálculo del momento flector máximo crearemos una tabla en nuestra hoja Excel similar a la que encontramos a continuación.

	T	U	V
15		kN*m	Tn*m
16	MHVA=	-61121,9828	-6230,57928
17	MHVQ=	54431,0579	5548,52782
18	MFALA=	-19672,4534	-2005,3469
19	MFALQ=	95880,5872	9773,7602

Ilustración 90. Tabla momento flector aguas libres. Fuente, elaboración propia.

En primer lugar calcularemos el valor del momento flector en aguas libres en arrufo y en quebranto por medio de la ecuación definida para ello.

$$MHV_{Arrufo} = 110 F_M n C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3}$$

$$MHV_{Quebranto} = 190 F_M n C L^2 B C_B 10^{-3}$$

Quedando en nuestra hoja Excel,

$$Celda U16 = (110 * 1 * 2,89 * (96,8^2) * 14,2 * (TABLAS!K5 + 0,7) * (10^{\wedge} - 3)) * -1$$

$$Celda U17 = 190 * 1 * 2,89 * (96,8^2) * 14,2 * TABLAS!K5 * (10^{\wedge} - 3)$$

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

La obtención del factor de navegación (n) y del factor de distribución (F_M) lo calcularemos acorde a lo establecido en el apartado correspondiente de la metodología.

El resultado obtenido de estas formulas viene expresado en kN^*m por lo que lo pasaremos a Tm^*m dividiendo entre 9,81 (celdas V16 y V17 ilustración 90).

Para hallar el valor del momento flector máximo, simplemente tenemos que sumarle los valores obtenidos mediante la fórmulas anteriores al valor obtenido en la tabla de máximos y mínimos (ilustración 89). El resultado será en Tm^*m , lo pasaremos a kN^*m multiplicando por 9,81.

El siguiente paso sería calcular el valor máximo de los esfuerzos cortantes en aguas abiertas, para ello crearemos una tabla como la que se muestra a continuación.

	T	U	V
20			
21		kN*m	Tn*m
22	QHV+=	961,958626	98,0589833
23	QA+=	18918,7085	1928,5126
24	QHV=-	-1738,14069	-177,1805
25	QA=-	-14915,5561	-1520,4440

Ilustración 91. Tabla E.C. máx. Fuente, elaboración propia.

Calcularemos el esfuerzo cortante máximo tanto positivo, como negativo utilizando la fórmula establecida en la metodología para ello.

$$Q_{HV} = 30 F_Q n C L B (C_B + 0,7) 10^{-2}$$

Esta fórmula, aplicada a nuestra hoja Excel quedaría,

$$Celda U22 = 30 * T12 * 2,89 * 88 * 14,2 * (TABLAS! K5 + 0,7) * (10^{\wedge} - 2)$$

$$Celda U24 = 30 * V12 * 2,89 * 88 * 14,2 * (TABLAS! K7 + 0,7) * (10^{-2})$$

Donde,

T12 =Valor correspondiente al factor FQ+

V12 =Valor correspondiente al factor FQ-

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	S	T	U	V
11				
12	FQ+=	0,61446681	FQ-=	-1,11026581
13				

Ilustración 92. Factor FQ acorde POS. E.C. Fuente, elaboración propia.

$$F_{Q+} = \text{BUSCAR}(S30; L11: L31; M11: M31)$$

$$F_{Q-} = \text{BUSCAR}(T30; L11: L31; N11: N31)$$

Siendo,

S30 = posición del esfuerzo cortante máx. (ilustración 89).

T30 = posición del esfuerzo cortante min. (ilustración 89).

El resto de datos se muestran en la ilustración siguiente.

Por lo tanto, acorde a lo expuesto anteriormente, necesitaremos crear una tabla (ilustración 93) donde se calcule el factor F_Q correspondiente a cada una de las secciones del buque y dependiendo de la posición del esfuerzo cortante máximo y mínimo, seleccionaremos mediante la función =BUSCAR el factor F_Q correspondiente a dicha sección y el cuál aplicaremos a la fórmula.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

	L	M	N
9			
10	ESLORA	FACTOR "FQ"	
11	0,0000	0,0000	0,0000
12	4,4000	0,2048	-0,2048
13	8,8000	0,4096	-0,4096
14	13,2000	0,6145	-0,6145
15	17,6000	0,8193	-0,9200
16	22,0000	0,8789	-1,0300
17	26,4000	0,8193	-0,9200
18	30,8000	0,7596	-0,8100
19	35,2000	0,7000	-0,7000
20	39,6000	0,7000	-0,7000
21	44,0000	0,7000	-0,7000
22	48,4000	0,7000	-0,7000
23	52,8000	0,7000	-0,7000
24	57,2000	0,8500	-1,1103
25	61,6000	1,0000	-0,8905
26	66,0000	1,0000	-0,8905
27	70,4000	1,0000	-0,8905
28	74,8000	1,0000	-0,8905
29	79,2000	0,6670	-0,5940
30	83,6000	0,3335	-0,2970
31	88,0000	0,0000	0,0000

Ilustración 93. Tabla factor FQ. Fuente, elaboración propia.

Para calcular el factor F_Q correspondiente a cada una de las secciones del buque, acorde a lo dispuesto en la tabla correspondiente (ilustración 46) necesitaremos calcular otro dato (A) mediante la siguiente ecuación.

$$A = \frac{190 C_B}{110(C_B + 0,7)}$$

Aplicando la ecuación anterior a nuestra hoja Excel,

$$A = (190 * TABLAS!K5)/(110 * (TABLAS!K5 + 0,7))$$

Donde,

$TABLAS!$K$5 = C_b$ obtenido de las tablas hidrostáticas.

	U	V
9		
10	A=	0,89053161

Ilustración 94. Cálculo factor "A". Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

III.1.4.- Representación de la información.

En los siguientes apartados elaboraremos las hojas donde se van a mostrar todos los valores de estabilidad y esfuerzos calculados. Serán las hojas que nos proporcionen toda la información relativa a la estabilidad y esfuerzos del buque.

III.1.4.1.- Estabilidad.

En esta hoja se mostraran todos los datos referentes a la estabilidad del buque como son la estabilidad estática y la estabilidad dinámica.

Para ello hemos creado una tabla como las que podemos observar a continuación.

CONDICIONES FINALES ESTABILIDAD M/T GUANA										
θ	KN	KGc	Sen θ	KG Sen θ	GZ	Minimo Rahola (m)		GGv * sen θ	GZc	
0	0	0	0	0	0			0	0	
10	1,015	5,160	0,174	0,896	0,119			0,048	0,071	
20	2,066	5,160	0,342	1,765	0,301	0,140	CUMPLE	0,094	0,207	
30	3,105	5,160	0,500	2,580	0,525	0,200	CUMPLE	0,138	0,387	
40	3,941	5,160	0,643	3,317	0,624	0,200	CUMPLE	0,177	0,447	
60	4,835	5,160	0,866	4,469	0,366			0,238	0,128	
80	4,836	5,160	0,985	5,082	-0,246			0,271	-0,517	

Ilustración 95. Tabla estabilidad estática. Fuente, elaboración propia.

Los datos de la columna *KN* son obtenidos de las tablas *KN* acorde al desplazamiento del buque. Para mostrar dichos datos en esta hoja, simplemente vincularemos la celda con la celda correspondiente de la hoja "TABLAS" acorde al valor del ángulo.

En la columna *KGc* se mostrará el valor del centro de gravedad vertical corregido por superficies libre. Este valor será obtenido por el Excel de la hoja "CALCULOS".

La columna *SEN θ* calculará el seno del ángulo como su propio nombre indica, para ello introduciremos en la celda la siguiente función,

$$\text{Celda N7} = \text{SENO}(K7 * 3,141621/180)$$

Esta operación la realizaremos para cada uno de los ángulos mostrados en la tabla de la ilustración 95.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE



Una vez obtenido el seno del ángulo, lo multiplicaremos por el valor de KG (columna $KG \text{ sen } \theta$). Finalmente, para calcular el valor de GZ ,

$$GZ = KN - KG \sin \theta$$

Esta función, aplicada en nuestra hoja Excel quedaría de la siguiente manera,

$$\text{Celda P7} = L7 - O7$$

Para comprobar a simple vista que los datos de estabilidad estática obtenidos están dentro de los parámetros establecidos por Rahola, incluiremos dichos valores en la tabla y mediante el uso del formato condicional en Excel, se mostrará en una celda si cumplimos o no con éstos, mostrándose la celda en verde y con la palabra "CUMPLE" si cumplimos o mostrándose la celda en roja y la palabra "NO CUMPLE" en el caso de estar por debajo de éstos. Ver ilustración 95.

Para el cálculo del valor de GZ corregido por superficies libres, tendremos que crear otra columna en la tabla (ilustración 95) en la cuál calcularemos la corrección a aplicar al GZ , que será igual a,

$$GZc = GZ - GGv * \sin \theta$$

Atendiendo a la expresión anterior, en la columna $GGv * \sin \theta$ se mostrará el resultado de dicha operación para cada uno de los ángulos mostrados en la tabla y en la columna GZc se mostrará el valor del citado GZc , quedando en nuestra hoja Excel como se muestra a continuación.

$$\text{Celda S7} = \$E\$33 * N7$$

$$\text{Celda T7} = P7 - S7$$

Una vez obtenidos los valores de GZ y GZc , crearemos una gráfica donde se muestren dichos valores. Además, incluiremos en la misma gráfica los límites fijados por Rahola con el objetivo de visualizar los resultados y ver gráficamente si cumplimos o no.

A continuación podemos observar la gráfica correspondiente a la estabilidad estática calculada.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

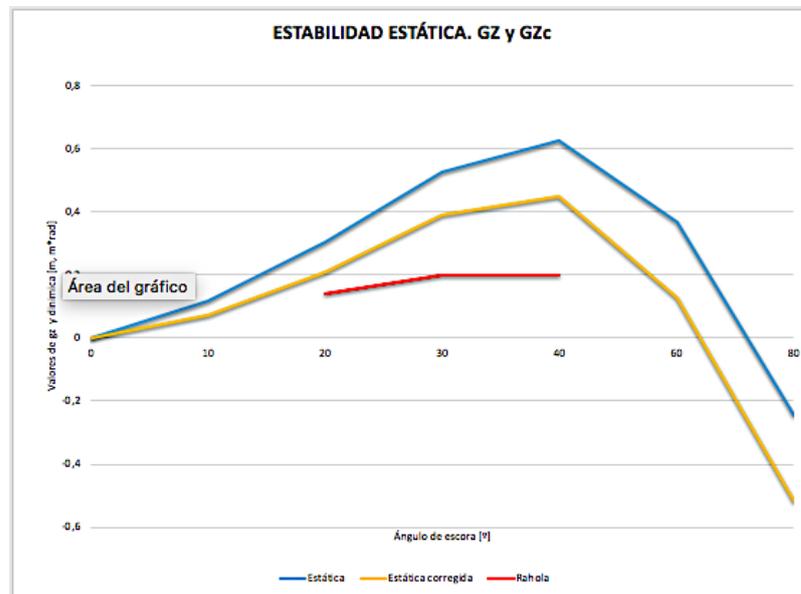


Ilustración 96. Estabilidad estática. Fuente, elaboración propia.

El mismo procedimiento que el desarrollado anteriormente lo aplicaremos para el cálculo de la estabilidad dinámica. Tener en cuenta que la curva de estabilidad dinámica, es la integral de la curva de estabilidad estática, por lo que integraremos ésta utilizando el método de los trapecios.

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1	ME										
5	θ	GZ	S=Semisuma de GZ	Dinámica parcial S x dif en rad	Dinámica total	Minimio Rahola (m * rad)		GZc	S=Semisuma de GZ	Dinámica parcial S x dif en rad	Dinámica total
6	0				0,000						0,000
7	10	0,119	0,059	0,010	0,010			0,071	0,036	0,006	0,006
8	20	0,301	0,210	0,037	0,047			0,207	0,139	0,024	0,030
9	30	0,525	0,413	0,072	0,119	0,055	CUMPLE	0,387	0,297	0,052	0,082
10	40	0,624	0,574	0,100	0,219	0,090	CUMPLE	0,447	0,417	0,073	0,155
11	60	0,366	0,495	0,173	0,392			0,128	0,287	0,100	0,255
12	80	-0,246	0,060	0,021	0,413			-0,517	-0,195	-0,068	0,187

Ilustración 96. tabla estabilidad dinámica. Fuente, elaboración propia.

Una vez obtenidos los datos de la estabilidad dinámica, crearemos la gráfica que los representa para observar gráficamente los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

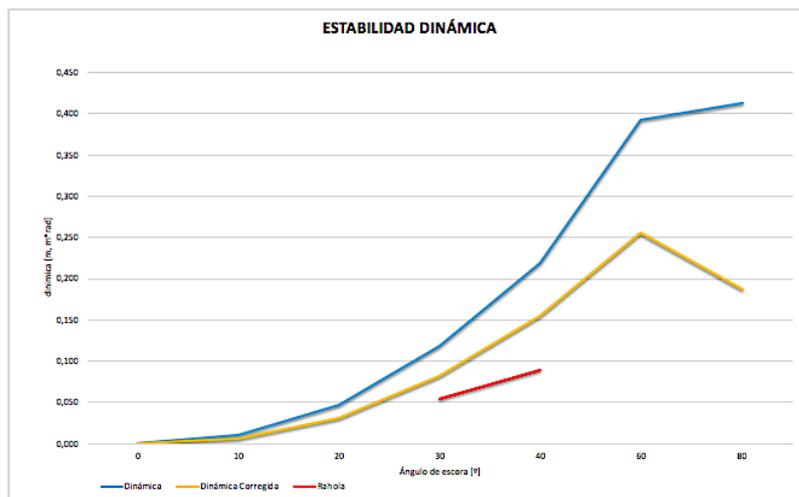


Ilustración 97. Estabilidad dinámica. Fuente, elaboración propia.

En la misma hoja también mostraremos los datos referentes a calados, estabilidad del buque, desplazamiento e inmersión de la hélice, agrupando así todos los datos más interesantes calculados en las hojas desarrolladas anteriormente. A continuación se muestra un ejemplo de los datos comentados.

CALADOS		
Cm	4,78 m	✓
Cpm	4,77 m	✓
Cpp	5,43 m	
Cpr	4,10 m	
A	1,33 m	
Escora	0,06	Br
Calado máximo por zona	6,20 m	
Zona de Navegación	Verano	

Ilustración 98. Calados finales del buque. Fuente, elaboración propia.

En la tabla anterior, se muestran todos los datos referentes a los calados y por medio del formato condicional, configuraremos la celda para que no muestre un “tic” verde si estamos cumpliendo con el calado máximo permitido para la zona de navegación seleccionada, o por el contrario aparecerá un “tic” rojo si no cumplimos.

Por otro lado, crearemos otro cuadro donde se mostraran los datos de estabilidad. A continuación podemos ver un ejemplo de esto.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

DATOS ESTABILIDAD		Limite
XG	44,052 m	
LCG	-0,001 m	
KG	4,885 m	
KGc	5,160 m	
GZ max	0,624 T m	
Ángulo escora para Gz max	40 °	25°
Área bajo la curva GZ 0°-30°	0,119 m*rad	0,055
Área bajo la curva GZ 0°-40°	0,219 m*rad	0,090
Área bajo la curva GZ entre 30°-40°	0,100 m*rad	0,030

Ilustración 99. Datos estabilidad. Fuente, elaboración propia.

En este cuadro, se representarán los valores de los centros de gravedad (KG, TCG, LCG), el valor del GZ máximo calculado, el ángulo de escora para el GZ máximo, su límite y si cumplimos con éste y los valores del área bajo la curva GZ así como sus valores mínimos también y sus límites. Todos éstos valores ya los tenemos previamente calculados, simplemente tendremos que vincular la celda con la correspondiente y aplicar el formato condicional de la misma manera que lo hicimos con los calados. Esto nos permitirá de una manera visual y rápida, determinar si la condición de carga aplicada cumple con los criterios de estabilidad exigidos por el propio manual de estabilidad y por los convenios aplicables.

Además de los datos expuestos anteriormente, también mostraremos en la misma hoja los que se muestran en la siguiente ilustración.

ESTABILIDAD INTACTA		Limite
Altura metacéntrica inicial (GMO)	0,913 m	
Corrección superficies libres	0,275 m	
Altura metacéntrica corregida (GMc)	0,638 m	0,154
Desplazamiento	4569,194 T	6125,214
Inmersión de la hélice	158,3 %	25%

Ilustración 100. Datos hoja estabilidad. Fuente, elaboración propia.

Para la elaboración de esta última tabla, hemos seguido el mismo procedimiento que para las tablas anteriores, vincular las celdas y aplicar formato condicional.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

III.1.4.2.- Esfuerzos.

En la presente hoja se mostrarán todos los datos referentes a los esfuerzos del buque que hemos calculado en la hoja “CÁLCULO ESFUERZOS”. El procedimiento que hemos seguido para ello es similar al de la hoja “ESTABILIDAD”. Se han vinculado las celdas con aquellas donde se han llevado a cabo los cálculos y se ha aplicado formato condicional para que Excel nos muestre si cumplimos o no con los esfuerzos permitidos.

El resultado de esto, lo podemos ver a continuación.

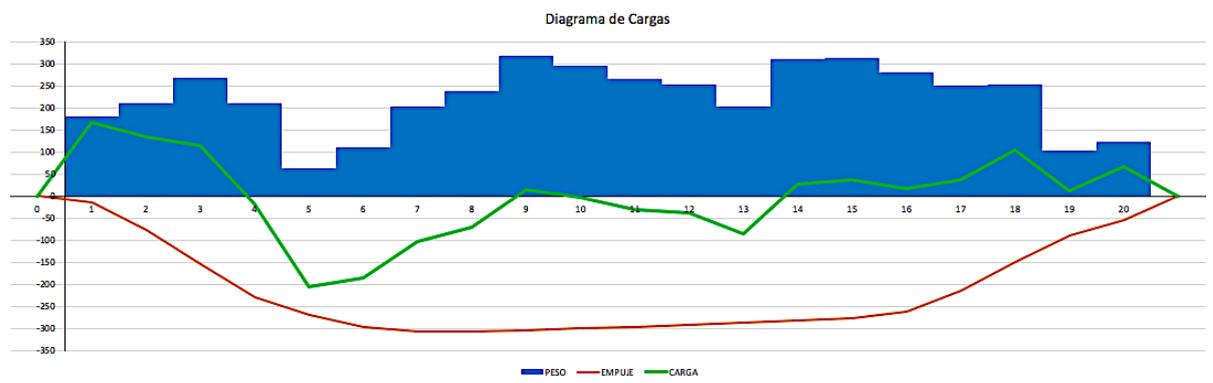


Ilustración 101. Diagrama de cargas. Fuente, elaboración propia.

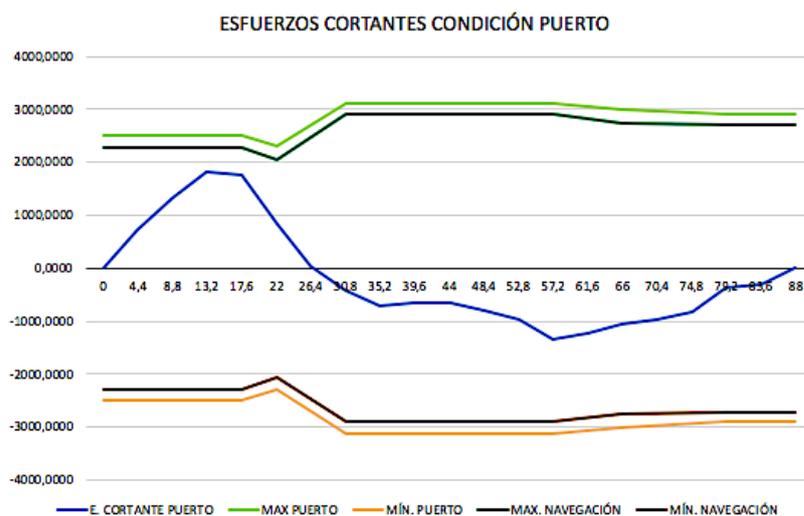


Ilustración 102. Diagrama esfuerzos cortantes. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

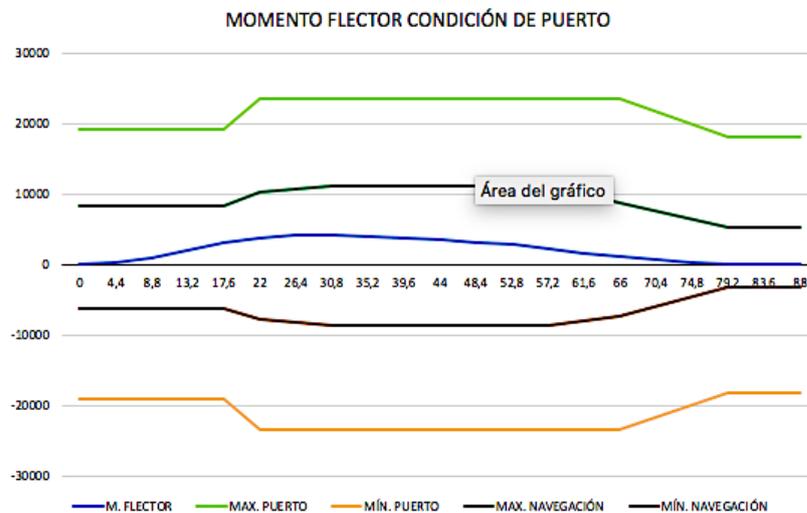


Ilustración 103. Diagrama momentos flectores. Fuente, elaboración propia.

Para elaborar los diagramas representados en las ilustraciones anteriores, hemos utilizado los datos obtenidos en la hoja “*CALCULO DE ESFUERZOS*” y los hemos representado gráficamente. Los valores que representan los máximos y mínimos vienen establecidos en el manual de estabilidad del buque.

A parte del diagrama de cargas, momentos flectores y esfuerzos cortantes, en la presente hoja también se muestran los datos de los esfuerzos cortantes y momentos flectores así como sus valores máximos y mínimos y si estos últimos entran dentro de los valores máximos y mínimos permitidos. Todos estos datos son representado en las tablas que se muestran a continuación.

VALORES MÁXIMOS							
CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	Max. Valor	Max. Permitido	Porcentage %	X. POS.	CUADERNA	CORRECTO
NAVEGACIÓN	ESFUERZO CORTANTE	1928,51	2499,00	77,17	13,2	20,00	✓
NAVEGACIÓN	MOMENTO FLECTOR	9773,76	11213,00	87,16	30,8	46,00	✓
PUERTO	ESFUERZO CORTANTE	1830,45	2499,00	73,25	13,2	20,00	✓
PUERTO	MOMENTO FLECTOR	4225,23	23445,00	18,02	30,8	46,00	✓

Ilustración 104. Valores máximos MF y EC. Fuente, elaboración propia.

VALORES MÍNIMOS							
CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	Min. Valor	Min. Permitido	Porcentage %	X. POS.	CUADERNA	CORRECTO
NAVEGACIÓN	ESFUERZO CORTANTE	-1520,44	-2283,00	66,60	57,2	83,00	✓
NAVEGACIÓN	MOMENTO FLECTOR	-2005,35	-8665,00	23,14	83,6	122,00	✓
PUERTO	ESFUERZO CORTANTE	-1343,26	-2499,00	53,75	57,2	83,00	✓
PUERTO	MOMENTO FLECTOR	-16,94	-23445,00	0,07	83,6	122,00	✓

Ilustración 105. Valores mínimos MF y EC. Fuente, elaboración propia.

METODOLOGÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE ESTABILIDAD Y ESFUERZOS DE UN BUQUE TANQUE

CUADERNA	X Pos. (m)	PUERTO		NAVEGACIÓN		ESFUERZOS CORTANTES	PORCENTAGE %	CORRECTO
		Valores Máximo Esfuerzo Cortante (T)	Valores Minimos Esfuerzo Cortante (T)	Valores Máximo Esfuerzo Cortante (T)	Valores Minimos Esfuerzo Cortante (T)			
25	17,60	2499,00	-2499,00	2283,00	-2283,00	1752,30	76,75	✓
37	22,00	2295,00	-2295,00	2049,00	-2049,00	851,94	41,58	✓
48	30,80	3111,00	-3111,00	2905,00	-2905,00	-412,62	14,20	✓
60	39,60	3111,00	-3111,00	2905,00	-2905,00	-652,59	22,46	✓
72	48,40	3111,00	-3111,00	2905,00	-2905,00	-802,95	27,64	✓
84	57,20	3111,00	-3111,00	2905,00	-2905,00	-1343,26	46,24	✓
97	66,00	3009,00	-3009,00	2742,00	-2742,00	-1054,70	38,46	✓
115	79,20	2907,00	-2907,00	2722,00	-2722,00	-357,42	13,13	✓

Ilustración 106. Tabla esfuerzos cortantes. Fuente, elaboración propia.

CUADERNA	X Pos. (m)	PUERTO		NAVEGACIÓN		MOMENTOS FLECTORES	PORCENTAGE %	CORRECTO
		Quebranto Max. Tn*m	Arrufo Mín. Tn*m	Quebranto Max. Tn*m	Arrufo Mín. Tn*m			
25	17,60	19115,00	-19115,00	8359,00	-6116,00	3051,81	36,51	✓
37	22,00	23445,00	-23445,00	10194,00	-7645,00	3873,76	38,00	✓
48	30,80	23445,00	-23445,00	11213,00	-8665,00	4225,23	37,68	✓
60	39,60	23445,00	-23445,00	11213,00	-8665,00	3746,94	33,42	✓
72	48,40	23445,00	-23445,00	11213,00	-8665,00	3187,09	28,42	✓
84	57,20	23445,00	-23445,00	11213,00	-8665,00	2266,37	20,21	✓
97	66,00	23445,00	-23445,00	8665,00	-7339,00	1138,12	13,13	✓
115	79,20	18145,00	-18145,00	5199,00	-3262,00	63,98	1,23	✓

Ilustración 107. Tabla momentos flectores. Fuente, elaboración propia.

III.1.5.- Documentación.

Otra parte importante del trabajo es la creación de la documentación requerida por el sistema de gestión de la empresa en cuanto a operaciones se refiere. Por lo tanto la elaboración de dicha documentación por parte del Excel de forma automática es otro de los objetivos principales del presente documento. Para ello hemos creado tres hojas, en una de ellas se desarrollará el plan de carga, otra mostrará la liquidación de la carga y la última un resumen de las cantidades y la distribución de la carga.

Para cada una de estas hojas hemos creado una plantilla que se ajuste a lo exigido por nuestro sistema de gestión y por medio de la vinculación de celdas en Excel, estas plantillas se actualizarán de manera automática con los valores finales obtenidos de los hojas donde se han llevado a cabo los cálculos. En los anexos podemos ver un ejemplo del plan de carga, de la liquidación y de la hoja resumen.

IV.- CONCLUSIONES.

Una vez finalizada la creación del calculador de carga planteado en el presente trabajo y después de realizar las comprobaciones necesarias para asegurarnos que los datos obtenidos son fiables y coinciden con los datos generados por el calculador de carga del buque, aprobado y certificado anualmente por la sociedad de clasificación del buque GUANARTEME (KR), podemos afirmar que supone una herramienta de gran utilidad para el primer oficial de cubierta ya que consigue agilizar los cálculos permitiendo estudiar todas las condiciones posibles de distribución de la carga y sus resultados de estabilidad y esfuerzos finales con tan solo introducir los vacíos y sondas de los tanques del buque. Y por otro lado es una herramienta capaz de generar de manera automática la documentación, referente a las operaciones, exigida por el sistema de gestión de la compañía, lo que supone una gran disminución de la carga de trabajo, más aún teniendo en cuenta la operativa del buque y el número de operaciones diarias que se llevan a cabo.

Se podría incluir en futuras actualizaciones procedimientos para que el programa sea capaz de calcular la estabilidad en avería y el empuje que experimenta el buque sobre la ola, y con esto calcular los esfuerzos para aguas abiertas.

Referencias citadas

ADMARIN, Designers Consultants Contractors (2004) *Stability information & Longitudinal strength bookle M/T GUANARTEME*. Estambul: ADMARIN.

Armenteros Rodríguez I. (2011). *Cálculo de botadura gabarra 4000 TPM*. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Cartagena.

Bonilla de la Corte, A. (1994) *Teoría del buque*. Cádiz: San José.

Bonilla de la Corte, A. (1984) *Construcción naval y servicios*. Cádiz: San José.

Bureau Veritas (2020) *Rules for the Classification of Steel Ships: Part B – Hull an Stability*. [Online] Disponible en <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr467-rules-classification-steel-ships> [10 julio 2020]

Correa Ruíz, FJ (2018) *Apuntes de la asignatura SIG Aplicados a la Manipulación y Estiba de la Carga, al Control del Funcionamiento del Buque y al Cuidado de las Personas a Bordo*. Documento inédito. Santander: Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria.

International Association of Classification Societies (2020) *Recommendations on Loading Instruments No.48*. [Online] Disponible en <http://www.iascs.org.uk/download/1986> [23 julio 2020]

IMO (1998). *MSC/Circ.854 Guidelines for shipboard loading and stability computer programs*. [Online] Disponible en <http://docs.yasinskiy.net/books/imo-msc-circ/854.pdf> [26 junio 2020]

IMO (1998) *MSC/Circ. 891 Guidelines for the on-board use and application of computers*. [Online] Disponible en https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_1786_14/1/ [26 junio 2020]

Microsoft Corporation (2020). *Centro de ayuda de Excel*. [Online] Disponible en <https://support.office.com/es-es/excel>. [20 marzo 2020]

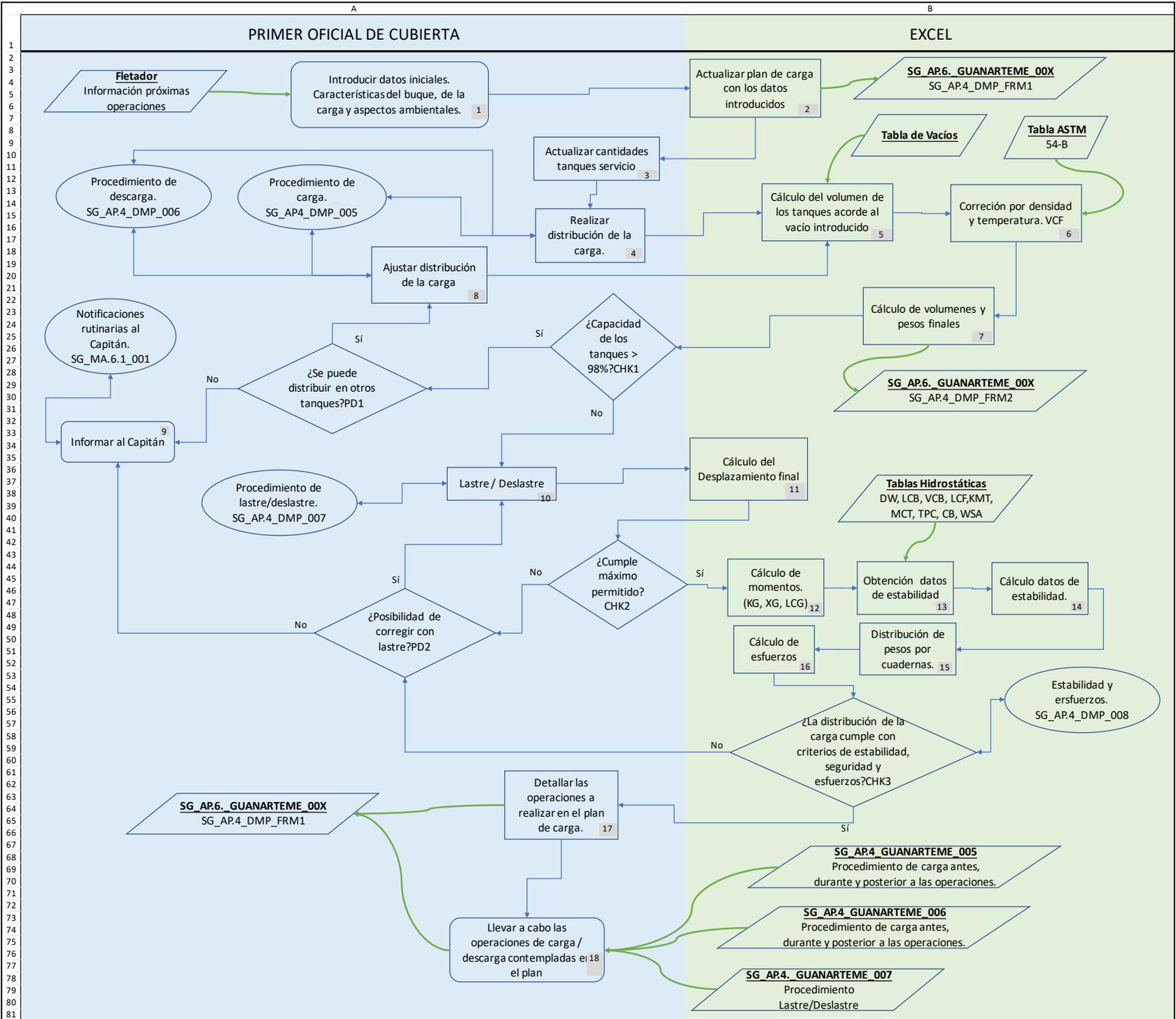
Puig, Joan Olivella (2006). *Teoría del buque: Ola trocoidal, movimientos y esfuerzos*. Barcelona: Ediciones UPC.

Puig, Joan Olivella (1994). *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*. Barcelona: Ediciones UPC.

Sánchez Díaz De La Campa, FJ (2018) *Apuntes de la asignatura Sistemas Integrados de Gestión*. Documento inédito. Santander: Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria.

Sánchez Díaz De La Campa, FJ (2018) *Apuntes de la asignatura Formación Investigadora*. Documento inédito. Santander: Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria.

ANEXOS



B/T GUANARTEME

TS1B RMG 380 VLS 271,685	TS1E RMG 380 VLS 268,783
TS2B RMG 380 VLS 277,458	TS2E RMG 380 VLS 277,937
COFFERDAM	
TL3B VACÍO	TL3E VACÍO
TL4B RMG 380 VLS 208,051	TL4E RMG 380 VLS 206,787
TL5B RMG 380 VLS 255,965	TL5E RMG 380 VLS 257,332
TL6B VACÍO	TL6E VACÍO
TL7B VACÍO	TL7E VACÍO

VIAJE Nº: 009/2020
 PUERTO: TENERIFE
 OPERACIÓN: DESCARGA

PRODUCTOS		
RMG 380 VLS	2.024,00	m3
DMA	0	m3

CALADOS DE LLEGADA		
Calado Pr	Calado M	Calado Pp
3,50	4,40	5,30

CALADOS DE SALIDA		
Calado Pr	Calado M	Calado Pp
4,10	4,77	5,43

FDO. CAPITÁN
SERGIO PÉREZ PÉREZ

FDO. PRIMER OFICIAL
ILONA ANANYEVA ANANYEVA

PLAN DE CARGA / DESCARGA (LOADING / UNLOADING PLAN)

B/T	PUERTO (PORT)	FECHA (DATE)	VIAJE Nº (VOYAGE Nº)	OPERACION (OPERATION)	ATRAQUE (BERTH)	CLIENTE (CUSTOMER)
B/T GUANARTEME	TENERIFE	18-ene.-2020	009/2020	DESCARGA	TGLS POSTO 6	GALP

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA		
Nombre de la carga (Name of cargo)	RMG 380 VLS	DMA
Número IMO o U.N. (IMO or U.N number)	3082	1202
Densidad a ____ ° C (Cargo liquid density at ____ ° C)	ACORDE CERT. CALIDAD	
VCF (Volume correction factor)	Acorde temp. final (ASTM 54B)	
Límite de llenado de tanques (Cargo tank filling limits)	98%	

1SE	2SE (SLOP)	3LE	4LE	5LE	6LE	7LE (SLOP)
RMG 380 VLS	RMG 380 VLS		RMG 380 VLS	RMG 380 VLS		
1SB	2SB (SLOP)	3LB	4LB	5LB	6LB	7LB (SLOP)
RMG 380 VLS	RMG 380 VLS		RMG 380 VLS	RMG 380 VLS		

TANQUE (TANK)	PRODUCTO (PRODUCT)	VACIOS (ULLAGES)	CANTIDAD TIERRA (Terminal Quantity)	CANTIDAD BUQUE (Ship Quantity)	PROMEDIO MÁX. m ³ /h (Max. Rate)	ACOPLES (CONEXIÓN)
1 SB	RMG 380 VLS	185			150	6"
1 SE	RMG 380 VLS	185			150	6"
2 SB	RMG 380 VLS	185			150	6"
2 SE	RMG 380 VLS	185			150	6"
3 LB	VACÍO					
3 LE	VACÍO					
4 LB	RMG 380 VLS	320			150	6"
4 LE	RMG 380 VLS	320			150	6"
5 LB	RMG 380 VLS	220			150	6"
5 LE	RMG 380 VLS	220			150	6"
6 LB	VACÍO					
6 LE	VACÍO					
7 LB	VACÍO					
7 LE	VACÍO					

LINEAS DE CARGA (Cargo lines size): 5" Ø

PLANIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES (PLANING OPERATIONS)							
CARGA (LOADING)		DESLASTRE (DEBALLASTING)		DESCARGA (UNLOADING)	X	LASTRE (BALLASTING)	X
Promedio máximo carga (Fase I) (m3/h) (Maximum loading rate (1st Stage))		36 m3/h x tanque (max 4 tanques)		Presión máxima de descarga solicitada por Terminal (Kgr/cm ²) (Maximum discharge pressure requested by Terminal)		7	
Promedio máximo carga (Fase II) (m3/h) (Maximum loading rate (2nd Stage))		150 m3/h x tanque (max 4 tanques)					
Promedio máximo carga (Fase III) (m3/h) (Maximum loading rate (3rd Stage))		50 m3/h x tanque (max 4 tanques)					

1. DESCARGA

1. Cargaremos RMG 380 VLS: 2.332 T alinado por el colector de ESTRIBOR en los siguientes tanques TS1B/E - TS2B/E - TL4B/E - TL5B/E - TL6B/E hasta los vacíos indicados

2. LASTRE

1. Deslastraremos teniendo en cuenta el orden establecido los siguientes tanques: L2C, L4C, L6C, L1B/E, L5B/E. Utilizaremos los tanques L3B/E para corregir la escora.

Nota importante: Los vacíos indicados son aproximados, el oficial de guardia los corregirá por densidad y temperatura durante las operaciones de carga para obtener las cantidades de carga nominadas.

Important notice: Indicated ullages are aprox. These must be corrected by OOW for density and temperature during loading operations to obtain final quantities of cargo.

2. - MOMENTOS CRITICOS DURANTE LAS OPERACIONES

1. Deslastre de los tanques corridos;

Según IT 088 GU; Minimizar el efecto de las superficies libres durante esta operación. Cada corrido, se deslastrará de uno en uno. Deslastrarlo hasta el final, no interrumpir un corrido. Comprobar el estado del tanque con la sonda manual.

- Momento crítico del tanque de lastre 2C: Al alcanzar el 47% (1.5m de sonda) de su capacidad, momento de mayor superficies libres en el mismo.

- Momento crítico del tanque de lastre 4C: (1.5m de sonda) Al alcanzar el 48% de su capacidad, momento de mayor superficies libres en el mismo.

- Momento crítico del tanque de lastre 6C: Al alcanzar el 49% (1.5m de sonda) de su capacidad, momento de mayor superficies libres en el mismo.

En las operaciones de deslastre, evitar cualquier escora desde que alcancemos este porcentaje en cada uno de los tanques corridos hasta que queden secos. Seguimiento continuo.

En las operaciones de lastre evitar cualquier escora desde que comencemos el lastrado de cualquiera de los tanques corridos hasta que superemos este porcentaje. Seguimiento continuo.

2. Topeo tanques de carga 95% y 98%.

Mantener el buque adrizado, reducir el ritmo de carga de acuerdo a criterios empresa. Una vez finalizada esta operación cerrar el tanque en las crossover del manifold.

CONTROL AMBIENTAL DE OTRAS OPERACIONES EN PUERTO (Environmental control of others port operations)	
DESCARGA DE RESIDUOS TANQUES DE CARGA O AGUA CONTAMINADA DE LIMPIEZA TANQUES (MARPOL, ANEXO I) (Discharge residues or water washing cargo tanks as MARPOL, Annex I)	SI
ENTREGA RESIDUOS OLEOSOS SENTINAS (MARPOL, ANEXO I) (Disposal of oily residues (sludge) as MARPOL, Annex I)	NO
ENTREGA DE BASURAS (MARPOL, ANEXO V) (Disposal of garbage as MARPOL, Annex V)	NO
TOMA DE COMBUSTIBLE (Bunkering operations)	SI
AGUA POTABLE (Fresh water)	SI
LIMPIEZA EFECTUADA A LOS TANQUES DE CARGA (Previous cargo tanks washing)	SI
PRÓXIMO PROGRAMA DE LIMPIEZA DE TANQUES (Next cargo tanks washing programme)	SI

RIESGO PRINCIPAL DE LA CARGA (Cargo Main Hazard)					
GASES DE HIDROCARBUROS/ AZUFRES/ TEMPERATURA / CONTAMINACIÓN MEDIO MARINO					
RIESGOS PARA LA SALUD (Health Hazard)					
INHALACIÓN VAPORES DE PRODUCTOS/ SALPICADURAS					
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL USADO DURANTE LAS OPERACIONES (Personal protective equipment to be used during operations)					
PROTECCIÓN RESPIRATORIA <i>(Respiratory Protection)</i>	PROTECCIÓN DEL CUERPO <i>(Body Protection)</i>	PROTECCIÓN DE LOS OJOS <i>(Eye Protection)</i>	PROTECCIÓN DE LAS MANOS <i>(Hand Protection)</i>	PROTECCIÓN DE LOS PIES <i>(Foot Protection)</i>	PROTECCIÓN DE LA CABEZA <i>(Head Protection)</i>
STBY EQUIPO ERA	BUZO DE TRABAJO	GAFAS SOLARES / ANTISALPICADURAS	GUANTES NITRILO	BOTAS DE SEGURIDAD	CASCO / GORRA PROTECCIÓN

CALADOS A LA LLEGADA (Arrival draft)			CALADOS A LA SALIDA (Departure draft)			
Proa	Medio	Popa	Proa	Medio	Popa	En medio
3,50	4,40	5,30	4,10	4,78	5,43	4,77

OBSERVACIONES REMARKS
<i>COMPROBAR CALADOS VISUALES FINALES AL FINALIZAR LAS OPERACIONES DE CARGA AL FINALIZAR LA CARGA , ALINEAR LA CALEFACCION EN LOS TANQUES CARGADOS DE F.O.</i>

OFICIALES DE GUARDIA (Officers on Duty)					
Los abajo firmantes, al hacerse cargo de la guardia y durante la misma, han comprobado todas las medidas de seguridad instrucciones establecidas en el Plan de Carga / Descarga y en "Ship / Shore Safety Checklist".					
<i>The undersigned, at the start of and during their watch, have checked all the safety measures and instructions established in the loading/unloading plan and "ship/shore safety checklist"</i>					
GUARDIA (Watch)	CATEGORIA (Rank)	FECHA (Date)	HORA (Time)	NOMBRE Y APELLIDOS (Name)	FIRMA (Signature)
00:00 - 04:00 12:00 - 16:00	2º OFICIAL				
04:00 - 08:00 16:00 - 20:00	1º OFICIAL				
8:00 - 12:00 20:00 - 24:00	3º OFICIAL				

NOTAS:

- El buque llegará al puerto de carga con todas las operaciones de limpieza finalizadas, de acuerdo con el procedimiento P9N1 Limpieza de Tanques.
Vessel will arrive to loading port with all cleaning operations fully completed according to procedure P9N15 Tanks Cleaning Procedure.
- El buque llegará a la Terminal de Carga / Descarga con todo el sistema de carga, tanques, bombas, válvula líneas listos para efectuar las operaciones de carga / descarga.
Vessel will arrive to Cargo / Discharge Terminal with the whole cargo system, cargo tanks, cargo pumps, valves and piping ready to operate.
- Se solicita a la Terminal de Carga las Fichas de Seguridad del Cargamento.
Cargo Terminal been required to provide the Safety Data Sheet for this cargo.
- Las operaciones de carga se efectuarán teniendo en cuenta lo especificado en el Procedimiento de Carga (P9N6).
Loading operations will take place according to loading procedure P9N6.
 - 1st stage: Low rate until pump suction be covered (36 m3/h each tank)
 - 2nd stage: Maximum rate agreed until tank ullage be 1,50 meters.

c) 3rd stage: Slow down rate to top up the tank up to 50 m3/h maximum for each tank. Loading will be stopped when HI level alarm raises or when 98% capacity be reached. Shore should be advised 15 minutes before to slow down loading.

5. Las operaciones de descarga se efectuarán teniendo en cuenta lo especificado en el Procedimiento de Descarga (P9N7).
Unloading operations will take place according to unloading procedure P9N7.

6. Este Plan de Carga / Descarga se ha elaborado tomando en consideración las condiciones de estabilidad y esfuerzo obtenidas del calculador de carga del buque, aprobadas por la SC con fecha
This Loading / Unloading Plan has been done taking into account the stability and stress conditions, obtained from loading computer, approved by the SC on

7. Durante las operaciones de carga / descarga se comprobará y evaluará que dichas operaciones mantienen los valores dentro de los límites de momentos flectores y esfuerzos cortantes admitidos.
During loading / unloading operations, stress and stability will be checked and assessed that actual values (bending moments and shear forces) are under maximum allowable limits, as per obtained data in loading computer.

8. El Capitán o 1er. Oficial de Cubierta deberán ser informados rápidamente de cualquier cambio en el "Plan de Carga / Descarga".
Master or Chief Officer will be promptly informed of any change in Loading / Unloading Plan.

9. En caso de EMERGENCIA durante las operaciones de carga / descarga, parar inmediatamente las operaciones y aplicar los procedimientos de emergencia de DMP según corresponda (P9EM1 a P9EM21).
If any EMERGENCY situation arises while loading / unloading operation is in progress, stop the operation and apply the DMP's emergency procedures (P9EM1 to P9EM21).

10. Antes del comienzo de las operaciones de carga se conectarán y probarán las válvulas P/V y las alarmas de nivel alto (HI) y muy alto nivel (HI-HI), anotando los resultados en libro Registro de Operaciones de Carga (Doc.9N6.10) o Prior to start cargo operations, P/V valves and High (HI) and High-High (HI-HI) level alarms shall be tested and noted in cargo record book (Doc.9N6.10) or discharge record book (Doc.9N7.1).

11. Verificar durante las operaciones el estado de las amarras, escala, brazos / mangueras de carga, presión en manifold.
All time to check mooring ropes, gangway, loading hose /arms, pressure in manifold.

12. La carga / descarga se efectuará en cerrado teniendo en cuenta las recomendaciones de ISGOTT.
The loading / unloading will be made in close conditions, taken into account the ISGOTT recommendations.

Tanques de carga, bombas y líneas, preparados y listos para la carga / descarga.
Cargo tanks, cargo pumps and lines ready to start load / discharge.

CAPITAN <i>Captain</i>	1ER. OFICIAL <i>Chief Mate</i>	BOMBERO <i>Pumpman</i>	REPRESENTANTE DEL TERMINAL <i>Terminal Representative</i>
Nombre (Name): SERGIO PÉREZ PÉREZ	Nombre (Name): ILONA ANANYEVA ANANYEVA	Nombre (Name): XXXXXX	Nombre: (Name)
FIRMA (Signature)	FIRMA (Signature)	FIRMA (Signature)	FIRMA (Signature)



LIQUIDACION TANQUES DE CARGA

B/T. "GUANARTEME"

VIAJE/VOYAGE	FECHA/DATE	PUERTO/PORT	HOJA DE/SHEET OF:
009/2020	18-ene.-2020	TENERIFE	LLEGADA

TANQUES (TANKS)	PRODUCTO (PRODUCT)	VACIO/ SONDA (Ullage) AT T°C	LITROS BRUTOS (Gross Liters) AT T°C	SONDA AGUA (Water Ullage)	LITROS AGUA (Water Liters)	LITROS NETOS (Net Liters) AT T° C	TEMP. T°C	DENSIDAD (Density)	DENSIDAD AL AIRE (Density Air)	VCF ASTM 54-B <input checked="" type="checkbox"/> ASTM 54-D <input type="checkbox"/>	LITROS NETOS (Net Liters)	KILOGRAMOS (Kilograms)
								AT 15°C <input checked="" type="checkbox"/>	AT AIR <input checked="" type="checkbox"/>		AT AIR <input type="checkbox"/>	AT AIR <input checked="" type="checkbox"/>
TS1B	RMG 380 VLS	185	271.688			271.688	55.0	0.9660	0.9649		263.969	254.703
TS1E	RMG 380 VLS	185	268.783			268.783	55.0	0.9660	0.9649		261.150	251.988
TS2B	RMG 380 VLS	185	277.458			277.458	55.0	0.9660	0.9649		269.578	260.118
TS2E	RMG 380 VLS	185	277.937			277.937	55.0	0.9660	0.9649		270.044	260.568
TL4B	RMG 380 VLS	320	208.057			208.057	55.0	0.9660	0.8589		202.142	195.047
TL4E	RMG 380 VLS	320	206.787			206.787	55.0	0.9660	0.8589		200.914	193.868
TL5B	RMG 380 VLS	220	255.965			255.965	55.0	0.9660	0.9649		248.696	239.968
TL5E	RMG 380 VLS	220	257.332			257.332	55.0	0.9660	0.9649		250.024	241.248
TL6B	EMPTY											
TL6E	EMPTY											
TOTAL RMG 380 VLS						2.023.998					1.966.511	1.897.488
TL3B	EMPTY											
TL3E	EMPTY											
TL7B	EMPTY											
TL7E	EMPTY											
TOTAL DMA												

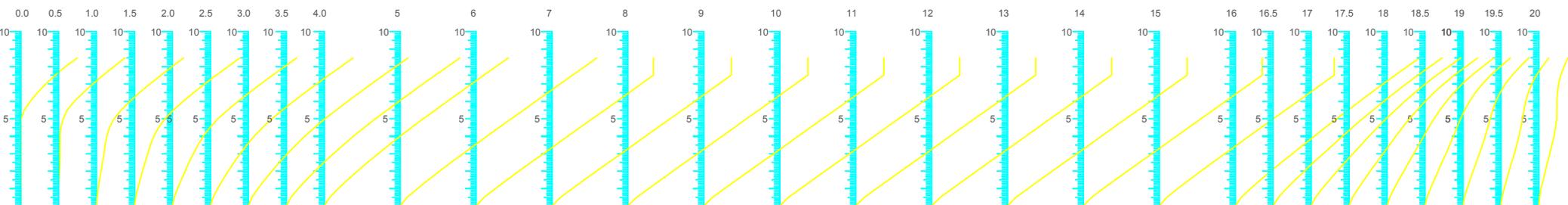
FIRMAS	CALADOS
POR EL BUQUE,	PROA/FWD : 4,10 POPA/AFT: 5,43 MEDIO/MIDDLE : 4,78
POR EL CARGADOR/RECEPTOR	
OTROS	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

CURVAS DE BONJEAN



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION