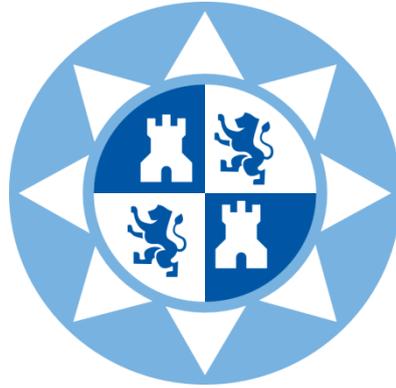


Universidad Politécnica de Cartagena

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

Ingeniería Técnica Naval, Esp. Estructuras Marinas



**PROYECTO
FIN DE
CARRERA**

**ESTUDIO, DISEÑO Y
FABRICACIÓN DE UN BULBO
CONVENCIONAL**

Alumno: Daniel Escámez Galián
Director: Isidoro Martínez Mateo
Septiembre, 2012.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi director de proyecto, Isidoro Martínez Mateo, por el trabajo, apoyo, dedicación y comprensión tenida conmigo así por aportar parte de sus conocimientos a la realización de este proyecto. Y por supuesto a todo Departamento de Ingeniería de Materiales y Fabricación de la Universidad Politécnica de Cartagena.

A mis padres y hermano, así como a mi pareja, por su incesante apoyo, paciencia y cariño en los momentos de flaqueza.

A mi abuela y madrinas por su dedicación y esfuerzo incesante.

Y por último a todos mis amigos y compañeros, en especial, a Carmen María Pérez Rivas, Jesús Marín Cano y a Rosa Rodríguez Paniagua, que de una manera u otra siempre me han mostrado su apoyo.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	6
CAPÍTULO I.....	7
1. ANTECEDENTES HISTORICOS Y CONSIDERACIONES.....	8
1.2 TIPOS DE BULBO.....	15
1.2.1 TIPOS DE BULBO EN FUNCIÓN DE LA CARENA.....	15
A. Bulbos Integrados	
B. bulbos Postizos	
1.2.2 TIPOS DE BULBO SEGÚN SECCIONES.....	17
C. Bulbo Elíptico	
D. Bulbo en Gota de Agua	
E. Bulbo Peonza	
CAPÍTULO II.....	19
2. EFECTOS DEL BULBO SOBRE EL RENDIMIENTO PROPULSIVO.....	20
2.1 ESTELA DEL BUQUE Y SUS COMPONENTES.....	22
A. Componente Potencial de la Estela (W_p)	
B. Componente de la estela por Formación de Olas (W_y)	
C. Componente Friccional de la Estela (W_p)	
D. Estela Efectiva	
CAPÍTULO III.....	27
3. EFECTOS DEL BULBO SOBRE LA RESISTENCIA AL AVANCE.....	28
A. Resistencia a la Fricción	
B. Resistencia Residual	

3.1 COMPORTAMIENTO DEL BULBO EN BUQUES RÁPIDOS.	30
3.2 COMPORTAMIENTO DEL BULBO EN BUQUES LENTOS.	32
CAPÍTULO IV.	38
4. RESULTADO DEL BULBO SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN LA MAR.	39
CAPÍTULO V.	43
5.1 PROCESO DE CREACION DEL BULBO UTILIZANDO RHINO.	44
5.2 ESCALAS, PLANOS Y LÍNEAS DE REFERENCIA.	44
A. Escalas	
B. Planos y Líneas de Referencia	
a. Plano Diametral o Longitudinal	
b. Plano Horizontal	
c. Plano Transversal	
d. Línea Base	
e. Línea Central o de Crujía	
f. Perpendicular de Proa, Popa y Media (Ppr; Ppp; Pm)	
5.3 PRESENTACIÓN DEL BUQUE Y ESQUEMATIZACIÓN DEL CASCO Y DEL BULBO.	50
CAPÍTULO VI.	65
6. DISEÑO Y FABRICACIÓN EMPLEADO EN UN BULBO DE CREACION PROPIA.	66
6.1 FABRICACIÓN DE LAS PARTES DEL BULBO.	71
6.1.2 DEFORMACIÓN EN CALIENTE.	71
A. Laminación	
B. Forja	
6.1.3 DEFORMACIÓN EN FRIO.	75
D. DOBLADO Y CURVADO	
a. Doblado entre dos formas	
b. Doblado deslizante	

E.CURVADO

ANEXO I.....	79
ANEXO II.....	84
BIOGRAFIA.....	89

RESUMEN

El presente proyecto expone un estudio del comportamiento del bulbo en la mar en diferentes situaciones, el efecto que este produce sobre el rendimiento propulsivo y sobre la resistencia al avance.

Además, damos una síntesis de los pasos seguidos para la creación de un bulbo, utilizando el programa de diseño gráfico Rhinoceros.

Y concluimos con el diseño de un bulbo de propia creación, creado a través del programa de diseño gráfico Solidwords. Citando los procesos de fabricación utilizados para la obtención de cada una de las partes que forman el bulbo.

ABSTRACT

This project presents a study of the behavior of the bulb in the sea in different situations, the effect it produces on the propulsive performance and resistance to progress.

In addition, give a summary of the steps followed for the creation of a bulb, using the Rhinoceros graphic design program.

And we conclude with the design of a bulb's own creation, created through Solidwords graphic design program. Citing the manufacturing processes used to obtain each of the parts that make up the bulb.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS Y CONSIDERACIONES:

Según varios autores, el descubrimiento de la utilidad del bulbo desde el punto de vista hidrodinámico debe atribuirse a R.E. Froude, quien observó la reducción del tren de olas de proa (y, subsiguientemente, de la resistencia total) de un torpedero, después de habersele instalado un tubo lanzatorpedos en la parte baja de la roda. Fue, no obstante, David W. Taylor, en 1907, quien proyectó y construyó por vez primera un bulbo de proa como tal, con la intención de aumentar la velocidad del acorazado Delaware.

Las bases para la justificación teórica del efecto del bulbo de proa en buques rápidos se obtuvieron, algunos años más tarde, gracias a los trabajos de Sir Thomas Havelock (1934) sobre la resistencia por formación de olas, que prepararon el camino para los estudios de W.C.S. Wigley (1935-36) y G . Weinblum (1935), quienes, a partir de la teoría linealizada de la resistencia por formación de olas, atribuyeron su acción a la atenuación del sistema de olas de proa del buque, por la superposición con el sistema de olas generado por el propio bulbo.

Durante los años que median entre estos trabajos pioneros y el decenio de los sesenta, el bulbo de proa se aplicó, con bastante éxito, en buques de velocidad relativamente alta (Fr comprendido 0,30-0,35), casi siempre en la forma de bulbos bajos, poco protuberantes y de escaso volumen .



Figura 1

El actual desarrollo de su utilización es consecuencia directa de los trabajos realizados en los sesenta por varios autores japoneses, siendo T.Inui y B.Yira, entre otros, quienes contribuyeron más decisivamente, primero en forma experimental y posteriormente con trabajos más teóricos, a la demostración de que el campo de aplicación del bulbo podía ser mucho más amplio de lo que los trabajos de Wigley daban a entender.

Por aquellos años, el tamaño de los petroleros había crecido considerablemente y el coeficiente de bloque alcanzado en estos buques valores anteriormente inalcanzables (del orden de 0,82-0,85). La aplicación del bulbo a estos barcos, que operaban a valores inferiores de 0,20; resultaba poco menos que absurda según los conocimientos del momento, dado que la componente de la resistencia debida a la formación de olas suponía una fracción muy pequeña de la resistencia total. No obstante, de una forma prácticamente simultánea, en Japón y Alemania se emprendió esta experiencia, con el sorprendente resultado de que la proa de bulbo proporcionaba ahorros de potencia en buques llenos y lentos que, si bien eran poco significativos en la condición de plena carga, alcanzaban porcentajes del 15 y el 20% en la condición de lastre.

Estos resultados experimentales fueron, en un principio, mal aceptados. Algunos autores los rechazaron, invocando posibles efectos de escala, y errores inherentes a los procedimientos de correlación modelo-buque. No obstante, pronto fueron confirmados en pruebas de mar a escala real, sin que por entonces pudiesen justificarse teóricamente los ahorros de potencia conseguidos.

Un trabajo puramente experimental, aunque realmente modélico por lo completo y sistemático del mismo, obra de E. Eckert y S.D. Sharma (1970), clarificó notablemente el problema. A continuación vamos a mencionar algunas de las conclusiones que de él se deducen:

- El mecanismo de acción del bulbo parece ser radicalmente distinto en dos tipos diferentes de buques:

1. En los buques rápidos actúa por atenuación del sistema de olas de proa y reducción, por tanto, de la resistencia por formación de olas.
 2. En los buques lentos, en la situación de lastre, pueden obtenerse grandes beneficios del bulbo, ya que éste disminuye radicalmente la resistencia por olas rompientes, que en estos buques supone porcentajes en torno al 20 % de la resistencia total. En la situación de plena carga el ahorro obtenido es menor, ya que la incidencia de las olas rompientes en la resistencia total es igualmente mucho más baja. Debe en la práctica despreciarse la influencia del bulbo sobre la resistencia por formación de olas en estos casos, ya que aquí C_w (Coeficiente de resistencia por formación de olas) no suele superar valores del orden del 5 % del Coeficiente de resistencia total .
- La influencia del bulbo sobre la resistencia viscosa nominal de buques llenos (formación de torbellinos de pantoque, etc.) debe considerarse despreciable.

Estas conclusiones se apoyan en los hallazgos experimentales de E. Baba, que en 1969 había descubierto la resistencia por olas rompientes mientras que descarta las hipótesis de Davidson, que afirmaba que la reducción de la resistencia de este tipo de buques obtenida por el bulbo debía atribuirse fundamentalmente a la atenuación de los torbellinos de pantoque.

Es éste uno de tantos casos en los que la hidrodinámica experimental ha avanzado a una velocidad mucho mayor que la teórica. Como es lógico, a la vista de los alentadores resultados de estos primeros trabajos, en poco tiempo los astilleros y armadores, deseosos de aprovechar cuanto antes estas ventajas, financiaron programas de ensayos más o menos extensos que fueron aportando información, que, si bien tenía un carácter muy concreto y limitado en cada caso, permitieron resolver en cada uno de ellos cada problema particular, a la vez que se iba acumulando experiencia en el funcionamiento del bulbo en buques lentos y desarrollando criterios empíricos de proyecto.

Ahora bien, el mismo carácter experimental y empírico de estos trabajos hizo que en determinado número de ellos se realizara de manera aventurada, presentándose pronto los primeros problemas de funcionamiento a plena escala, casi siempre derivados del incompleto conocimiento de los fenómenos físicos involucrados, que en ocasiones condujo a la falta de previsión de determinados inconvenientes.

Uno de los primeros inconvenientes estuvo relacionado con el comportamiento en la mar, más concretamente, con el funcionamiento del bulbo frente al problema del slamming. Los primeros trabajos experimentales se realizaron exclusivamente en aguas tranquilas y, por diversas razones, en buques de considerable porte. De esta forma, a la vez que se ignoraba la influencia del bulbo en el comportamiento en la mar, se desarrollaba experiencia de diseño y datos de servicio de grandes buques, poco propensos a la aparición del slamming, tanto por su gran eslora como por su considerable calado, que hacían poco probable la emersión del pie de la roda (y, por consiguiente, los pantocazos), y su relativamente baja velocidad.

Por motivos de facilidad de construcción, en un principio se tendió, al empleo de formas de bulbo muy simples, de sección transversal prácticamente cilíndrica y localmente muy planas en la zona baja. La extrapolación del empleo de estas formas a buques más pequeños, relativamente más veloces y de menor calado, ocasionó no pocos problemas de impactos y perjudicó en alguna medida y durante cierto tiempo el avance del bulbo en buques de tamaño medio.



Sección circular bulbo.

Figura 2

Pronto, no obstante, se salvaron estas dificultades con el análisis del problema mediante ensayos en olas. Trabajos como los de R. Wahab mostraron que el bulbo no sólo no era en principio perjudicial para el comportamiento en la mar, sino que, proyectado adecuadamente, podía beneficiar sensiblemente las condiciones marineras, por lo que podía afirmarse que el bulbo resultaba aplicable, con determinadas limitaciones, a casi todo tipo de buques.

La solución, en este caso, no fue otra que la modificación de la sección transversal del bulbo, pasando de secciones circulares, elípticas o incluso en gota de agua con zonas muy planas en los pies de cuaderna, a secciones de tipo "peonza" que suavizan la entrada de la roda en el agua, por su forma en V en la zona baja, mientras que el volumen desplazado hacia arriba y la forma plana del bulbo en su parte superior tienen un efecto amortiguador del cabeceo. Con este tipo de bulbos no sólo se evitaron los problemas anteriormente señalados, sino que se mejoraron en la mayoría de los casos las cualidades marineras, en comparación con el correspondiente buque sin bulbo.

El segundo problema estuvo relacionado con la operación de los buques en situaciones de calados y asientos muy dispares, la mayoría de las cuales no habían sido consideradas en la fase de proyecto y ensayos de canal. Como ejemplo pueden mencionarse algunos tipos de buques cuyo calado en proa en la situación de lastre ligero era realmente muy reducido. En estos casos solía ser frecuente ensayar en el canal solamente ésta situación y la de plena carga, por considerarlas condiciones extremas y opuestas, con la intención de interpolar entre ellas. Por otra parte, también con cierta frecuencia se aplicaron a este tipo de buques bulbos altos, que en canal dieron muy buenos resultados, ya que en la situación de plena carga el bulbo, muy voluminoso y próximo a la flotación, actuaba muy favorablemente, mientras que en la de lastre ligero el bulbo emergía y equivalía simplemente a un incremento de la eslora de la flotación. Sin embargo, en algunos casos, las situaciones de lastre más frecuentemente utilizadas en la mar fueron de hecho mucho más pesadas que las ensayadas, y en ellas la máxima protuberancia del bulbo resultaba muy próxima a la flotación, generándose olas rompientes muy perjudiciales para la resistencia.

Estos fenómenos se han presentado repetidamente en la práctica, casi siempre como consecuencia de una falta de previsión en la fase de anteproyecto. M. Tapia y M.J. Bobo describen un caso en el que la no adecuación del proyecto del bulbo a los calados de lastre del buque ocasionó el fracaso, en esta situación de carga, de unas formas perfectamente estudiadas en el resto de sus pormenores y que, tras realizar algunas modificaciones poco importantes en el diseño del bulbo proporcionaron excelentes resultados.

Con lo expuesto es ya suficiente para mostrar de forma bastante clara que el avance en la teoría del funcionamiento del bulbo de proa ha sido en mayor medida fruto de estudios experimentales y empíricos, muy particulares y difícilmente generalizables, que de una investigación seria y metódica.

Por lo que se refiere a los métodos de proyecto, cabe afirmar otro tanto, ya que no sería lógico esperar disponer de métodos muy teóricos y rigurosos de proyecto para un dispositivo cuyo funcionamiento se conoce de una forma tan fraccionaria como imperfecta.

No obstante, como ya se ha indicado, el efecto del bulbo en buques rápidos es mejor conocido, puede describirse en forma bastante exacta con la teoría linealizada de la resistencia por formación de olas y se dispone de varios trabajos, entre ellos los mencionados de Inui y Yim, que permiten el proyecto de proas de bulbo con resultados satisfactorios. En esencia, estos trabajos analizan el sistema de olas generado por el buque sin bulbo y el creado por una esfera o elipsoide, de volumen e inmersión variable, situada a proa del buque. La teoría permite calcular aproximadamente el volumen óptimo de la esfera y su situación más adecuada.

En buques lentos, por el contrario el principal efecto del bulbo consiste en la reducción de la componente de la resistencia debida a las olas rompientes, cuya naturaleza es esencialmente no lineal, por lo que los métodos antes mencionados son en estos casos de nula utilidad práctica.

En cuanto al Análisis de la Acción del Bulbo, se descompone su efecto en tres factores: su acción sobre la Resistencia al Avance, sobre la Interacción Hélice-Carena y sobre el Comportamiento en la Mar.

En proyectos de bulbos de proa, se requiere, la presentación, en forma accesible para el proyectista, de unos criterios que permitan resolver las siguientes cuestiones:

- i. Campo de aplicación de la proa de bulbo.
- ii. Tipos de bulbos y utilidad de cada uno de ellos.
- iv. Proyecto detallado del bulbo una vez determinados sus parámetros básicos.

Para la aportación de elementos para la solución de estos problemas, es necesario realizar dos puntualizaciones:

- Independientemente de esta aproximación, de tipo práctico y empírico, no se pretende ignorar la necesidad de completar el estudio teórico del funcionamiento del bulbo, perfeccionándolos hasta ahora precarios conocimientos existentes sobre su acción y los métodos analíticos de proyecto.
- Aunque el método empírico presentado pueda facilitar el anteproyecto de un bulbo de proa, para el desarrollo y optimización del proyecto, hoy por hoy resulta imprescindible la realización de ensayos de canal, en una gama de situaciones de calados y velocidades lo más amplia posible. Los criterios de proyecto presentados no pretenden, en absoluto, sustituir a estos programas de ensayos, sino únicamente proporcionar unos criterios de proyecto que faculten al proyectista no experimentado para la realización de anteproyectos de proa que, si bien podrán indudablemente ser mejorados mediante adecuados ensayos con modelos, que puedan considerarse en líneas generales aceptables.

1.2 TIPOS DE BULBO:

Definimos el bulbo de proa, o simplemente bulbo, en una protuberancia en la proa del barco, el cual debe de estar sumergido en el agua.

Su función principalmente es la de crear un segundo tren de olas que interactúe con el creado por la proa tratando de hacer coincidir la cresta de uno con el seno del otro, y viceversa, y así, siguiendo la ley de superposición de efectos, reducir la resistencia al avance del del buque por formación de olas. Está demostrado que el bulbo en los grandes buques aumenta considerablemente el rendimiento de la hélice, así como de la velocidad del buque.

1.2.1 TIPOS DE BULBOS EN FUNCIÓN DE LA CARENA:

Bulbos según su intersección con la carena existen dos tipos claramente diferenciados:

A. Bulbos Integrados: son los que se unen, con la carena con continuidad y suavidad.



Figura 3

B. Bulbos Postizos: son aquellos que han sido añadidos a una carena previa sin bulbo, de forma tal que en la intersección del bulbo con la carena existe una línea de discontinuidad.

Aquí podemos apreciar la diferencia entre dos tipos de bulbo en la curvatura de áreas de secciones.

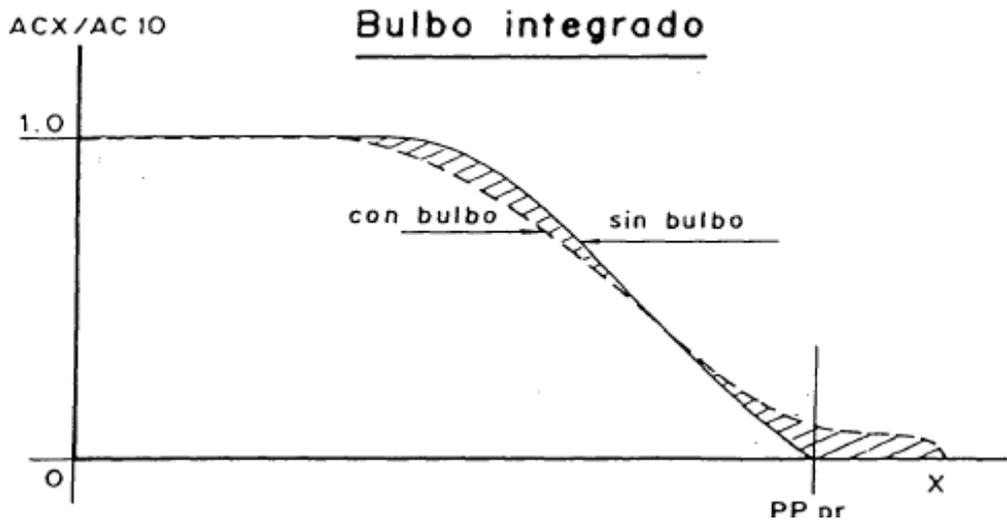


Figura 4

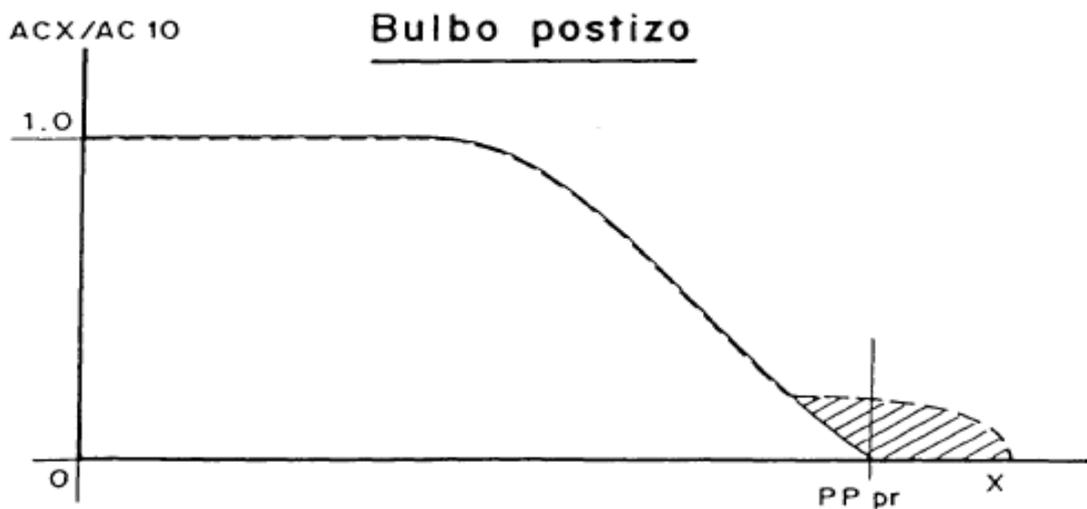


Figura 5

Como es lógico al dotar a un buque de un bulbo postizo, todo el resto de la carena permanece invariable, por lo que no resulta difícil comprender que en ciertos casos exista una ventaja significativa a favor de los bulbos integrados. No obstante, y en general, los bulbos postizos resultan más económicos de construcción (incluso para nuevas unidades), y su comportamiento hidrodinámico puede ser excelente si han sido bien proyectados.

1.2.2 TIPOS DE BULBOS SEGÚN LAS SECCIONES :

Se puede clasificar a grosso modo en elípticos, en gota de agua y en peonza.

Unas de las primeras diferencias notables entre estos tres tipos de bulbos se deben a la forma local de sus cuadernas en la parte baja. Cuanto más plana sea ésta, tanto mayor será el riesgo de slamming si llega a emerger el pie de roda. Por tanto, en principio las secciones tipo gota de agua y elípticas deben descartarse para buques de pequeño porte, en que el riesgo de emersión de la proa es más alto. Podrán, sin embargo, utilizarse en buques de mayor tamaño o que naveguen en aguas por lo general muy poco agitadas.

Es evidente que tanto la protuberancia máxima como el centro de gravedad del bulbo se sitúan en cada caso a alturas relativamente distintas. Para el mismo volumen y superficie mojada del bulbo, éste será en general más efectivo en plena carga si su sección es del tipo peonza, ya que se encontrará más próximo a la flotación. En los que la situación de lastre tenga un calado en proa muy reducido, será preferible, si las consideraciones de comportamiento en la mar lo permiten, una sección tipo gota de agua, que, teniendo semiángulos de entrada menores para la flotación de lastre, evitará la formación de olas rompientes. En contrapartida, el bulbo resultante actuará muy poco o nada en plena carga.

En las siguientes imágenes podemos observar claramente la diferencia entre el empleo de un tipo de bulbo u otro, en la sección más inferior de la caja de cuadernas.

C. Bulbo Elíptico

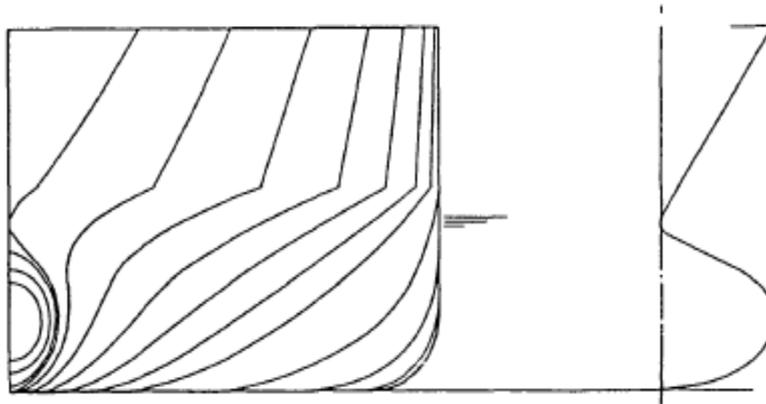


Figura 6

D. Bulbo en Gota de Agua

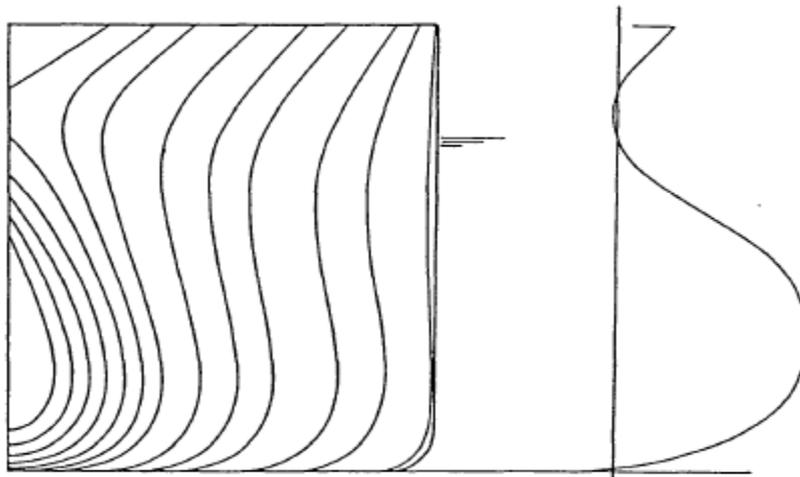


Figura 7

E. Bulbo tipo Peonza :

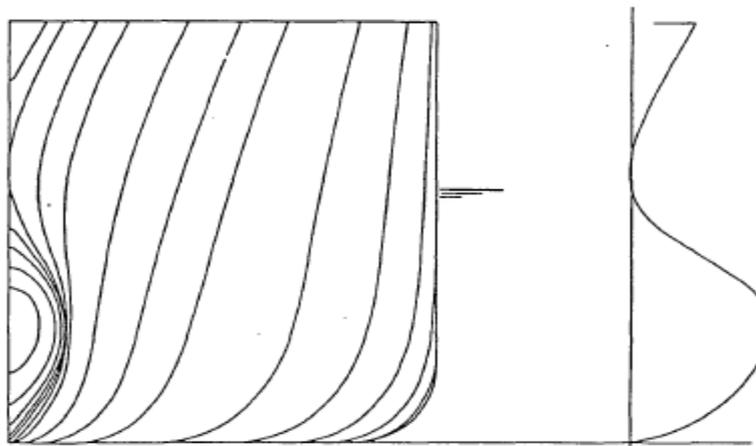


Figura 8

CAPITULO II

2. EFECTOS QUE PRESENTA EL BULBO SOBRE EL RENDIMIENTO PROPULSIVO:

Los primeros pasos en el estudio de las olas generadas por el buque fueron dados por Kelvin hacia 1880. En su teoría, la acción del buque en el agua era reemplazada por la de un punto de presión moviéndose a lo largo de la superficie del agua. Los desarrollos posteriores a partir de esta teoría fueron realizados por Havelock, y por otros. Las expresiones obtenidas para las olas del buque, y para la resistencia por formación de olas tienen en cuenta la distribución de presión en la superficie del fluido, pero no están claramente relacionadas con las formas del buque.

La dependencia de resistencia por formación de olas con las formas del buque fue estudiada por primera vez por Michell en 1898. Michell trató de calcular el flujo en torno al buque, a partir de esta la distribución de presiones, e integrando estas presiones en la carena, la resistencia por olas. El método de Michell se podía aplicar a buques finos. Estos trabajos fueron continuados por Havelock, y sobre todo, a mediados de los 70 por Dawson y Gadd.

Centrándonos en el efecto del bulbo sobre el rendimiento propulsivo, nos ponemos en una situación de tráfico marino y de construcción naval mundial, con elevados precios de los combustibles marinos, se hace cada vez más importante la consecución del máximo ahorro energético en la propulsión de los buques.

Desde otro punto de vista, el mismo precio del fuel ha hecho que se reduzcan considerablemente las velocidades operativas de la gran mayoría de los buques, limitando en parte el campo de actuación del bulbo de proa.

En el caso, de buques de gran porte o tonelaje, como bulkcarriers y petroleros naveguen a velocidades del orden de los 12 o 15 nudos, los valores de Froude son tan bajos que tanto la resistencia por formación de olas como la debida a las olas rompientes es muy poco importante, haciendo que la instalación de un bulbo a proa sea innecesaria, al menos por lo que a su efecto reductor de la resistencia se refiere. Hay una tendencia a no dotar de bulbo a un determinado tipo de buques de esta clase.

Ante esta situación, sería de un gran interés el contar con información fiable ya que el rendimiento propulsivo alcanzable gracias al bulbo, puede ser significativo (y en la actual crisis hace que ahorros del 2 o el 3 % sean ya muy apreciables) podría ser suficiente para justificar por sí sola la instalación del bulbo en ciertos buques, aunque su efecto sobre la resistencia a las reducidas velocidades operativas actuales fuese nulo o muy reducido.

En cuanto a localizar toda esa información, es una labor muy difícil, ya que para conseguir un número considerable de parejas de carenas. Los datos manejados son escasos e incompletos en la mayoría de los casos cuando proceden de artículos técnicos, en los que es muy difícil encontrar una información tan completa.

Sin embargo, gracias al Canal de Experiencias Hidrodinámicas, pudieron recogerse datos bastante completos de algunas parejas de buques con y sin bulbo, que permitieron rellenar las lagunas observadas en la literatura y evaluar, al menos, de forma aproximada, la influencia del bulbo de proa sobre el rendimiento propulsivo y analizar sus causas y efectos .

En cuanto a la finalidad que se busca al realizar un estudio sobre el rendimiento propulsivo, cabe destacar cuatro aspectos de interés: establecer la autenticidad en general del fenómeno de influencia del bulbo sobre el rendimiento propulsivo y, en su caso, tratar de cuantificar este efecto ; Investigar las causas de este fenómeno que pudieran estar relacionadas con posibles modificaciones ejercidas por el bulbo sobre la estela nominal, y, en general, sobre el flujo en torno a la carena, en ausencia de propulsor; De ser necesario, por no resultar positivas las causas consideradas en el punto anterior, investigar otras posibles causas; Establecer criterios de proyecto del bulbo que permitan aprovechar al máximo el efecto positivo de éste sobre el rendimiento cuasi-propulsivo.

Finalmente, sería igualmente de gran interés la investigación de la posible influencia que el volumen y proporciones del bulbo puedan ejercer en su efecto sobre el flujo en la popa y sobre el rendimiento propulsivo, obteniendo así los oportunos criterios de proyecto para obtener la máxima ventaja de este efecto.

2.1 ESTELAS DEL BUQUE Y SUS COMPONENTES:

El fenómeno de la estela consiste en hacer que el agua que le rodea adquiera una velocidad en la misma dirección y sentido de avance del buque. El propulsor avanzará con una velocidad relativa al agua, V_A , llamada velocidad de avance, menor que la velocidad del buque V_S .

A la diferencia entre ambas, V_S y V_A , reciben el nombre de velocidad de la estela.

$$V_w = V_S - V_A$$

Por lo general se considera la velocidad de estela como la resultante de tres componentes: velocidad potencial (V_{wP}); velocidad friccional (V_{wF}) y velocidad por formación de olas (V_{wW}).

$$V_w = V_{wP} + V_{wF} + V_{wW}$$

Esta igualdad es escalar si se considera únicamente la componente axial de la velocidad. Las componentes radiales y tangenciales tienen un interés secundario en comparación con la axial.

A través de una simple división entre las dos relaciones anteriores, se obtiene el coeficiente de estela, puede a su vez desglosarse en sus tres componentes y obtener la representación de la estela nominal.

$$W = W_P + W_f + W_w$$

Se llama estela nominal al conjunto de fenómenos relacionados con la velocidad del flujo que llega a la zona en que habría de hallarse la hélice cuando esta no se encuentra presente. Por tanto representaremos dicha zona como un círculo o disco del mismo diámetro que aquella.

A. Componente Potencial de la Estela (Wp) :

Se debe a la curvatura del flujo alrededor del casco, que origina un aumento de la presión en la zona de la popa, dando lugar a una velocidad hacia proa. Se denomina estela potencial por existir incluso en fluidos ideales.

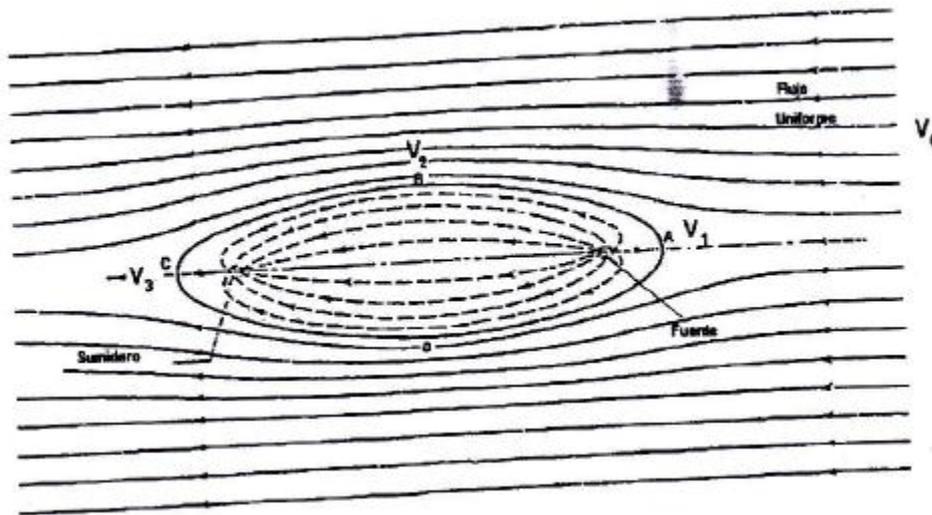


Figura 9

B. Componente de la estela por Formación de Olas (Wy):

Es debida al movimiento oscilatorio de las partículas del fluido en la popa del buque. Podrá tener valores positivos o negativos, en función de que el plano de la hélice coincida con un seno o una cresta.

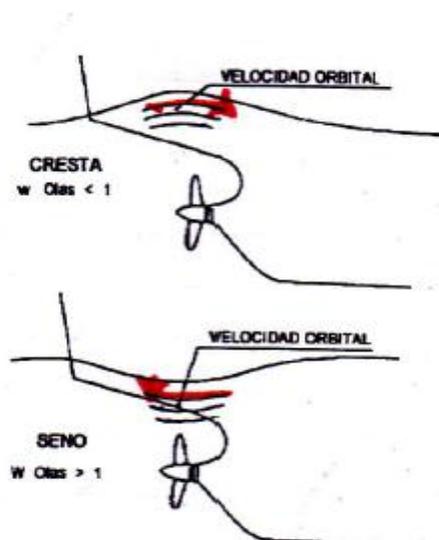


Figura 10

C. Componente Friccional de la Estela (W_p):

Tiene su origen en la resistencia de fricción del buque. El espesor de la capa límite y la ley de variación de la velocidad a través de la misma determinan en cada punto la velocidad del fluido. En el exterior de la capa límite, las líneas de corriente son desplazadas hacia fuera, modificando la distribución de velocidades a una distancia relativamente grande.

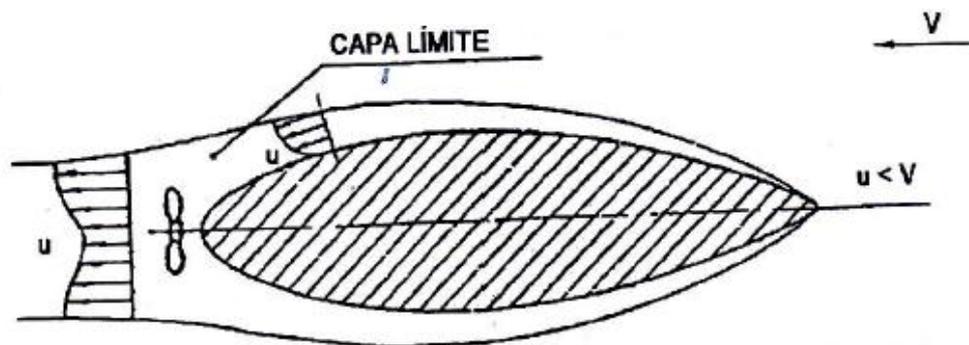


Figura 11

Si consideramos dos carenas alternativas, con y sin bulbo, absolutamente idénticas en el cuerpo de popa y analizando en cada una de ellas las distintas componentes de la estela, podemos prever las posibles influencias del bulbo sobre la misma.

Si se restringe el análisis a la estela nominal, parece que poca variación debería experimentar el flujo potencial, en ausencia de propulsor, en la zona de popa, por la inclusión del bulbo, influencia que deberá ser tanto menor cuanto mayor sea la relación eslora/manga. La indudable distorsión que el bulbo puede inducir sobre las líneas de flujo en la zona de proa debería atenuarse rápidamente hacia la popa.

Respecto a la componente friccional, de acuerdo con el mismo razonamiento, es difícil que el bulbo afecte de forma apreciable al espesor de la capa límite en la zona del propulsor, ya que aquel viene principalmente condicionado por el R_n local y por las curvaturas de la superficie del casco.

Resulta, por tanto, que la principal influencia sobre la estela nominal podría ejercerla el bulbo a través de la componente W_w , que es, en general, la menos importante de las tres. Intuitivamente, cabe suponer que si sobre la posición del propulsor aparece una ola de amplitud

considerable y el bulbo consigue atenuarla, esto puede tener una influencia medible sobre la estela. Ahora bien, no puede aceptarse que en la mayoría de los casos se den simultáneamente estas dos condiciones (presencia de ola apreciable a popa y su atenuación por efecto del bulbo), por lo que, si se demuestra que el bulbo afecta al propulsivo en la inmensa mayoría de los buques, este efecto no sería, en principio, atribuible a su efecto sobre la estela por formación de olas.

En conclusión, deducimos que la influencia del bulbo de proa sobre las componentes de la estela nominal, no van a ser un gran factor influyente.

D. Estela Efectiva :

La distribución efectiva de velocidades se define como la que existe en la popa del buque con el propulsor funcionando, sin tener en cuenta las velocidades inducidas.

El término estela media efectiva significa el valor medio de la estela efectiva calculado integrando los valores de la misma en todo el disco del propulsor. Su valor se obtiene del diagrama de propulsor aislado correspondiente.

$$W_e = 1 - V_e/V_s$$

V_e : Velocidad media efectiva.

Cuando un propulsor está produciendo un empuje, induce unas velocidades en dirección axial y tangencial, que modifican la distribución de presiones en la popa de la carena, afectando a una zona a proa del propulsor superior a 1,5 veces su diámetro. Esta variación del campo de presiones afecta al espesor de la capa límite y al campo potencial de velocidad.

Existe también una interacción entre el sistema de torbellinos generado por el propulsor y la turbulencia presente en la estela, que afecta a la distribución de velocidades presente cuando el propulsor está actuando.

El propulsor produce una reducción del espesor de la capa límite a proa del mismo, aumentando la velocidad efectiva, y reduciendo, por tanto, la estela. Este efecto puede ser de poca importancia si el propulsor está

poco cargado o si opera fuera de la estela viscosa, pero puede ser significativo si la carga del propulsor es elevada.

Por otra parte, si en la popa se produce separación de la capa límite, éste fenómeno puede verse reducido por la influencia del gradiente de presiones inducido por el propulsor.

La técnica más avanzada para el estudio de la estela y su influencia sobre el rendimiento propulsivo es la Anemometría Laser-Doppler, que permite obtener medidas directas de estela efectiva con el propulsor funcionando. Desgraciadamente, y dado que este tipo de instrumentación es reciente y muy costosa, no se dispone de suficientes resultados de la misma. Por ello, para el presente estudio la posible influencia del bulbo de proa sobre el flujo en la popa deberá realizarse en base a los ensayos de medición de la estela nominal, realizados con tubos de Pitot y a los valores de la estela media efectiva, deducidos de ensayos de autopropulsión y propulsor aislado.



Figura 12

CAPITULO III

3. EFECTOS DEL BULBO SOBRE LA RESISTENCIA AL AVANCE:

Cuando un buque se desplaza, con un movimiento de traslación uniforme, en aguas tranquilas, está sometido a una resistencia al avance.

Se llama resistencia al avance de un buque, a una determinada velocidad, a la fuerza necesaria para remolcar al buque a esa velocidad en aguas tranquilas, suponiendo que no existe interferencia con el buque remolcador .

La potencia necesaria para vencer esta resistencia se llama potencia de remolque o potencia efectiva.

Dependiendo del modo de calcular la resistencia de remolque, esta deberá ser eventualmente corregida para tener en cuenta:

- La resistencia aerodinámica de la obra muerta.
- La rugosidad de la carena.
- La resistencia hidrodinámica de los apéndices.
- La profundidad del agua.
- El estado de la mar.

Para estudio de las componentes de la resistencia al avance, como es sabido, y en especial para la extrapolación a plena escala de los resultados de los ensayo de remolque, la resistencia al avance del buque suele considerarse como la resultante de la suma de cierto número de componentes. Y bien existen diversas formas de realizar esta descomposición, lo más habitual es atender al fenómeno físico que origina cada fracción de la resistencia. Así, la más elemental y tradicional, debida a W. Proude, se reduce a considerar dos únicas componentes:

- A. Resistencia de Fricción: igual a la resistencia de una placa plana equivalente de la misma longitud y superficie mojada que el buque. Por hipótesis, se considera función únicamente del número de Reynolds.
- B. Resistencia Residual: es igual a la diferencia entre la resistencia total y la resistencia de fricción. Se considera independiente de Reynolds y función, únicamente del número de Froude (Fr).

Es conocido que, para efectos de extrapolación, de resistencia de fricción (RF), se obtiene, en base al R_n , a partir de alguna formulación teórico - empírica, de las varias existentes , conocidas como líneas básicas de fricción (R.E.Froude, Schoenherr, ITTC-57 . . .) , mientras que resistencia residual (RR); se supone que puede extrapolarse según el cubo de la escala modelo-buque .

Una aproximación algo más refinada, consiste en considerar que parte de la resistencia residual debe depender de la viscosidad del fluido, ya que el buque, al contrario de la placa plana, tiene forma. Por una parte, la forma del buque crea determinado flujo potencial, en ausencia de viscosidad, en el que las líneas de corriente tienen una determinada curvatura. La capa Límite, al desarrollarse sobre la superficie del buque, modifica la distribución de presiones en torno al mismo, originando un gradiente de presión contrario a la dirección del flujo, lo que da origen a la resistencia de presión de origen viscoso. Por otra parte, la viscosidad origina fenómenos de generación de torbellinos y separación de la capa límite. Estos fenómenos, junto con la fricción superficial pura, generan una resistencia al avance que suele denominarse Resistencia Viscosa, RV.

Para determinadas aplicaciones tiene interés considerar la llamada Resistencia Viscosa Nominal, RVN, que es la obtenida en medidas realizadas sobre modelos dobles completamente sumergidos, es decir, excluyendo totalmente los efectos, viscosos o no, de la superficie libre.

El cociente $RV/RF = (1 + k)$ se llama factor de forma, por indicar el factor de incremento de resistencia originado por la forma del buque. En general debe considerarse función de Fr y R_n . Ahora bien, según la hipótesis expuesta por Hughes se obtiene en general una buena aproximación si se supone R_n constante, independientemente de Fr y R_n . Así, buque y modelo tendrían un mismo valor de $(1+k)$ entre sí y para todas las velocidades. Aunque esta hipótesis no es más que una aproximación, ha demostrado ser lo suficiente precisa en un gran número de casos, para la extrapolación de resultados de ensayos de remolque, por lo que hoy en día es muy utilizada.

La diferencia entre RV y RT es, por hipótesis, independiente de la viscosidad, y recibe normalmente el nombre de Resistencia por Formación de Olas, RW.

Suelen considerarse componentes adicionales, como las debidas al viento, a la rugosidad de la carena, etc. Pero su importancia es cuantitativamente menor en general.

Se han desarrollado, por otra parte, métodos experimentales de medida directa de la resistencia por formación de olas y de la resistencia viscosa. En general, todos estos métodos se basan en la relación de medidas, aguas abajo del buque, bien de la altura de ola en cortes transversales o longitudinales del sistema de olas generado por el buque, bien de la estela.

Partiendo de estas medidas se obtiene, mediante cálculos relativamente sencillos en el caso de la resistencia por formación de olas, una medida directa, que suele denominarse wave pattern resistance, RWP. Desgraciadamente, cuando se comparan la resistencia total de remolque, R_T , con la suma de RWP y R_V (calculada a partir de medidas en la estela), casi siempre se obtiene una discrepancia relativamente importante, en el sentido de resultar $R_T > R_V + RWP$.

3.1 COMPORTAMIENTO DEL BULBO EN BUQUES RÁPIDOS:

Los buques que se consideran en este estudio tienen un valor de Fr comprendido entre 0,25 y 0,40. En este tipo de buques su acción consiste, principalmente, en la atenuación del sistema de olas de Kelvin, por el conocido efecto de interferencia de ondas. El fundamento matemático podemos aplicarlo directamente.

En este tipo de buques, la complejidad del mecanismo de actuación del bulbo hace que su descripción rigurosa sea hoy por hoy imposible. Ahora bien, las ideas generales que se incluyen a continuación, permiten abordar el análisis del proyecto del bulbo con cierta facilidad.

1. En buques que operan a valores relativamente altos del número de Froude, Fn , en los que, por lo general, la resistencia por formación de olas, R_W supone un porcentaje importante de la total, el bulbo origina un sistema de olas que se superpone con el generado por la proa del buque, dando origen a un sistema de olas resultante de menor amplitud. Ello origina una reducción de R_W .

2. La mayor o menor atenuación conseguida depende de que las amplitudes de los dos sistemas de olas mencionados sean más o menos iguales y del desfase entre los mismos. En determinadas consideraciones, el bulbo podría incluso ocasionar una mayor resistencia por formación de olas si la posición longitudinal relativa carena-bulbo es tal que la superposición de los dos sistemas fuese aditiva.
3. La amplitud del sistema de olas generado por una perturbación, así como su longitud de onda y ángulo de fase (o, dicho de otra forma, su retraso longitudinal respecto al punto perturbador) dependen considerablemente, entre otros factores, de la velocidad de desplazamiento de la perturbación. En general, la superposición óptima de los sistemas de olas producidos por bulbo y carena, en igualdad de amplitud y desfase de 180 grados, sólo podrá conseguirse para un determinado valor de la velocidad. Por tanto, el funcionamiento de cualquier proyecto concreto de bulbo dependerá sensiblemente de la velocidad. Otro parámetro de gran influencia sobre la amplitud del sistema de olas de proa es el ángulo de entrada de la flotación.
4. En estos casos, los parámetros geométricos que se han definido anteriormente intervendrían en la acción del bulbo de la forma siguiente:
 - La amplitud es función, básicamente, de tres factores: la velocidad de la fuente perturbadora (F_n), la intensidad de la misma (volumen del bulbo, dado por su protuberancia y sección transversal) y su proximidad a la superficie libre (para un calado dado, de la altura del bulbo, H).
 - Desfase entre ambos sistemas: depende principalmente de la posición longitudinal relativa de las dos fuentes perturbadoras, es decir, de la protuberancia del bulbo.
5. Teniendo en cuenta lo dicho, es posible calcular con cierto grado de precisión, a partir de la teoría linealizada de la resistencia por formación de olas, las características del tren de olas generado la carena y, como consecuencia, las proporciones óptimas del bulbo para un determinado valor de F_n .

En un análisis teórico podemos llegar a la conclusión de que, antes de estudiar concretamente el bulbo y su efecto, se exponen los elementos de la teoría básica de la formación de olas, debida a Havelock, deduciéndose las expresiones del sistema de Kelvin y de la resistencia por formación de olas. Esta exposición, introduce el concepto de las olas elementales, que resulta de gran utilidad en todo estudio relacionado con las olas generadas por el buque.

En cuanto a los métodos de aplicación de los conceptos anteriores al cálculo del sistema de olas y la resistencia por formación de olas producidas por un sistema buque-bulbo, podemos mencionar los siguientes:

- Sistema de Olas Tridimensionales Generado por un buque.
- Obtención del Modelo de Olas de Kelvin, a partir del concepto de Velocidad de Grupo.
- El Método de la Fase Estacionaria.
- Radiación de Energía y Resistencia por Formación de Olas.
- Análisis puramente teóricos del funcionamiento del bulbo.
- Aproximaciones Teórico-Experimentales.
- Método de Yim.

3.2 COMPORTAMIENTO DEL BULBO EN BUQUES LENTOS:

Las ideas generales que vamos a exponer en este caso:

1. Para valores suficientemente bajos de F_n (entre 0,10 y 0,20), R_w es poco importante en la mayoría de los casos (del orden del 5%). La resistencia viscosa añadida por el bulbo, al incrementar la superficie mojada, puede llegar a alcanzar valores comparables, por lo que, no cabe justificar ahorros producidos por el bulbo como reducción de la R_w .
2. En caso de buques relativamente lentos, el efecto del bulbo se limita, en la práctica, a la reducción de la resistencia por olas rompientes.

3. En estos casos, no se dispone de bases teóricas que permitan calcular, con aceptable aproximación, los parámetros geométricos del bulbo óptimo. El motivo de ello es que la teoría linealizada de la resistencia por formación de olas, no contempla, dado su carácter, por definición no-lineal, los fenómenos de olas rompientes.
4. Los proyectos de bulbos para operar en esta zona se realizan, por tanto, de forma principalmente empírica. Ello motiva que los bulbos se proyecten con una gran disparidad de criterios, que hace enormemente difícil extraer conclusiones de la comparación de los resultados obtenidos con distintos buques.



Figura 13



Figura 14

Observamos en las dos fotografías de buques reales como hay una disparidad de criterios en cuanto a la hora de indicar las medidas de los calados en proa.

5. En estos casos la acción del bulbo consiste principalmente en la reducción de la resistencia debida a las olas rompientes, cabe suponer que si se consigue proyectar una proa sin bulbo que tenga menos superficie mojada que la alternativa con bulbo y que, gracias a su especial configuración (al bajo F_n operativo del buque) no produzca olas rompientes, la resistencia al avance de la misma sería menor que la de la correspondiente carena con bulbo.

Como indica Sharma, la alternativa de proa cilíndrica sin bulbo resulto más conveniente porque, dados los extremadamente bajos valores de F_n de servicio (del orden de 0,13 e incluso menores), no llegaban a aparecer olas rompientes, sobre todo en la situación de plena.

6. Parece lógico pensar que para estos valores de F_n , el bulbo debería ser más efectivo en buques más llenos (o con entrada más llena), ya que éstos serían más propensos a la generación de olas rompientes. Pero esto no está del todo confirmado por la práctica experimental. Más bien al contrario, si se toma el coeficiente $C_b \cdot B / L_{pp}$ como medida del afinamiento global de la carena, parece existir en cada caso, dependiendo de F_n , un límite superior de $C_b \cdot B / L_{pp}$ más allá del cual el bulbo ya no es efectivo.
7. En el proyecto de bulbos para operar en este rango de valores de F_n es preciso dedicar especial atención a la situación de lastre, que es en la que cabe obtener mayores beneficios. La altura y la inmersión del bulbo tienen una importancia decisiva en la consecución de un efecto beneficioso. De hecho, si la flotación resulta ser muy próxima a la línea de agua X , para determinado rango de velocidades aparecen olas rompientes de muy perjudicial efecto en la resistencia. Este fenómeno, que debe considerarse consecuencia de la inestabilidad que el flujo en la proa alcanza para determinados valores de la velocidad, parece estar controlado por parámetros muy locales, especialmente los ángulos de entrada en las líneas de agua próximas a la flotación y el número de Froude basado en el calado. Para cada buque, dependiendo de sus características geométricas locales, parece existir un rango de valores de F_{nt} dentro del cual irremisiblemente aparecen las olas rompientes.

Si hacemos un estudio teórico podemos observar que, en la perturbación producida en la superficie de la mar por el avance de un buque cabe distinguir dos zonas, las cuales se diferencian claramente:

- Una primera zona es la que se encuentra alejada del buque, aguas abajo del mismo, en la que se establece el modelo de Kelvin, un sistema triangular de olas dispersivas, que admite una descripción bastante exacta mediante la simple teoría lineal. Este sistema exige para su generación una energía que se traduce en lo que en lengua inglesa se conoce por Wave Pattern Resistance.



Figura 15

En esta imagen podemos observar claramente el sistema primario que genera la gran ola de proa, el sistema secundario, y la estela, fruto del desprendimiento en popa.

- Esta segunda zona próxima al buque, en la cual se desarrolla un complejo sistema de olas de carácter disipativo, con abundante verticidad y turbulencia. La resistencia originada por el sistema suele denominarse Resistencia por Olas Rompientes (Wave Breaking Resistance). En las siguientes imágenes se observa con claridad el aspecto que presenta la superficie libre en torno a buques llenos en las situaciones de carga y lastre. Se aprecia una gran diferencia entre ambos casos, observándose en plena carga varias olas cortas y de escasa amplitud, mientras que en lastre aparece una gran ola rompiente en la proa, que se prolonga en torno al casco, formando torbellinos de herradura o collar.



Plena carga (Olas cortas y de escasa altura)

Figura 16



Lastre (Olas rompientes)

Figura 17

La importancia relativa de las componentes desde el punto de vista, de su contribución a la resistencia depende notablemente del coeficiente de bloque, de las características geométricas locales de la proa del buque y de su velocidad, en especial, en relación con el calado Fnt.

En buques finos y relativamente rápidos, como se ha indicado, prevalece el primer componte, mientras que en buques llenos y lentos, especialmente cuando operan a calados reducidos, la segunda puede llegar a ser muy importante.

Cuando un buque no extremadamente fino navega en la superficie de la mar, lo normal, es que genera en sus proximidades una perturbación que es cualitativa y cuantitativamente diferente del modelo de Kelvin. Normalmente aparecen dos crestas de ola en la proa, cuyas crestas son aproximadamente rectilíneas o parabólicas, dependiendo del calado, la velocidad y el grado de afinamiento de la roda. El aspecto de la superficie del agua es diferente a uno y otro lado de estas crestas principales: en la zona interior, inmediata al buque, se aprecia una notable turbulencia superficial, ausente en la zona exterior. Por lo general, otra cresta bien marcada se origina en el extremo de popa.

Si realizamos un corte transversal de esta crestas , normal a las mismas, en función de la velocidad, calado y grado de afinamiento del extremo de proa, puede mostrar un aspecto relativamente simple , si bien con elevadas pendientes en la cresta , o un turbulento desmoronamiento de la misma. Este tipo de olas, que son frecuentes en aguas poco profundas, por efecto playa, se producen, pues, en la proximidad de la proa de los buques, aún en aguas de profundidad ilimitada. Las crestas indicadas constituyen líneas de discontinuidad en el fluido, a través de las cuales se producen bruscos cambios en el flujo.

CAPITULO IV

4. RESULTADO DEL BULBO SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN LA MAR:

Los principales temas que ocupan el interés del efecto del bulbo sobre las cualidades que presentan en la mar son las siguientes:

- Influencia sobre las cargas producidas por la mar sobre el buque-viga, en especial, la repercusión de este efecto sobre los momentos flectores.
- Influencia sobre la resistencia añadida en olas y, modificación en la mar de las ganancias obtenidas gracias al bulbo en aguas tranquilas.
- Efecto sobre la probabilidad de ocurrencia y gravedad de pantocazos (slamming).

A partir de diversos trabajos, en los cuales, se presentan resultados experimentales, podemos aclarar los puntos citados. De esta manera el resultado del bulbo sobre las cualidades que presenta la mar, quedaría resumido en los siguientes puntos:

- Generalmente, el volumen del bulbo es relativamente pequeño en comparación con el total de la carena, por lo que su presencia no modifica en forma importante los momentos flectores a los que queda sometido el buque-viga en arrufo o en quebranto. Como consecuencia inmediata e importante, por lo general no existe problema alguno por lo que respecta a la resistencia longitudinal, en dotar de un bulbo postizo a una carena de proa convencional.
- En buques de porte mediano y grande, en situación de plena carga, el efecto del bulbo sobre la resistencia es muy similar en aguas tranquilas y en la mar. En situación de lastre, por lo general, la mejoría obtenida gracias al bulbo disminuye al aumentar el numeral Beaufort. En situaciones de calado intermedias, la emersión o no del bulbo juega un papel fundamental.

Como resultado, conviene que los calados de proa en lastre de los buques con bulbo sean mayores que en buques similares de proa convencional. Ello no sólo facilitará el proyecto del bulbo, permitiendo obtener mayores reducciones de resistencia en plena carga, sino que mejorará sensiblemente el comportamiento del buque en la mar en situaciones lastre.

La Escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos.

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto del mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	4 a 6	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vítrea, sin romper	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
3	12 a 19	7 a 10	Flojo (Brisa Ligera)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	11 a 16	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada

6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie de la mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
12	+ 118	+64	Temporal huracanado (Huracán)	Olas excepcionalmente grandes, mar blanca, visibilidad nula	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles y lluvias.

Tabla 1

- En plena carga, el bulbo reduce considerablemente la amplitud de la influencia del bulbo sobre los movimientos relativos de la proa respecto a la flotación. Este efecto se va atenuando al disminuir el calado y en lastres ligeros no existe prácticamente diferencia.
- En cuanto al slamming, se trata de impactos de fondo en la proa, producidos al entrar ésta en el agua después de haber emergido a causa de los movimientos de cabeceo y oscilación vertical. Es un fenómeno de gran interés por tener una influencia importante sobre la velocidad "real" que el buque puede sostener en mares muy agitadas sin que el capitán se vea obligado a reducir la marcha. Las condiciones necesarias para que se produzca, son las siguientes:
 - La proa debe emerger del agua.
 - En el momento del contacto, la velocidad normal relativa entre la proa y la superficie del agua debe exceder cierto valor crítico.

En situaciones de calados de carga pesada, el bulbo suele reducir los movimientos relativos de la proa, reduciendo así la probabilidad de emersión y con ello la de slamming, por lo que el aumento de la velocidad máxima efectiva en olas conseguido gracias al bulbo puede ser mayor más que el obtenido en aguas tranquilas.

En situaciones de lastre, el bulbo no afecta sensiblemente la probabilidad de emersión. Su influencia sobre la probabilidad de slamming es muy pequeña, y puede conseguirse que no sea negativa afinando las secciones del bulbo en la zona baja, con lo que se evita el paralelismo de las superficies impactantes.

CAPITULO V

5. PROCESO DE CREACION DEL BULBO UTILIZANDO RHINO

5.1 RESUMEN:

Para desarrollar este capítulo voy a utilizar un buque, el cual estará dotado de un bulbo. En primer lugar, se dará una breve síntesis de las escalas, de los planos y de las líneas de referencia que se utilizan en la construcción de cualquier buque. Se continuará presentando el plano de formas del buque, con sus correspondientes cajas de cuadernas, vista en perfil y vista en planta. Donde se podrá observar las líneas de aguas y las distintas curvaturas que deberá adquirir el buque para formar finalmente el casco.

Este capítulo se continuará con una breve explicación de los pasos que se han ido siguiendo para la creación del casco, toda esta explicación irá acompañada de imágenes para clarificar cada uno de los pasos que se han ido tomando. Y además se presentará una imagen en 3d del buque una vez terminado.

Finalmente nos centraremos en la roda, donde se presenta el bulbo, y donde se realizara una explicación más extensa y detallada de todos los pasos tomados hasta la creación del bulbo, para lo cual es necesario a ver explicado previamente como se ha hecho, los pasos que se han ido tomando para la realización del casco.

En este capítulo no entraremos en detalles en cuanto a los procedimientos de fabricación, ya que, en el último capítulo nos centraremos en la el proceso de fabricación a fondo.

5.2 ESCALA, PLANOS Y LÍNEAS DE REFERENCIA:

En cuanto a la presentación del buque, lo primero que nos debe preocupar es la representación de las formas del buque; siguiendo unos criterios para los planos de formas:

A. Escala a utilizar:

En general los planos de formas o de trazado se hacen en las siguientes escalas:

- Buques grandes.....1/100 (1 centímetro por metro).
- Buques medianos.....1/50 (2 centímetros por metro).
- Buques pequeños.....1/20 (5 centímetros por metro).

En otros países tales como Estados Unidos e Inglaterra que usan medidas distintas a la del sistema métrico decimal, se utilizan las siguientes escalas:

- Buques grandes.....1/96 (1/8 de pulgada por pie)
- Buques medianos.....1/48 (1/4 de pulgada por pie)
- Buques pequeños.....1/24 (1/2 de pulgada por pie)

B. Planos y líneas de referencia :

Son tres los Planos sobre los que se proyectan las Formas del Buque, valiéndonos de los Métodos de la Geometría Descriptiva:

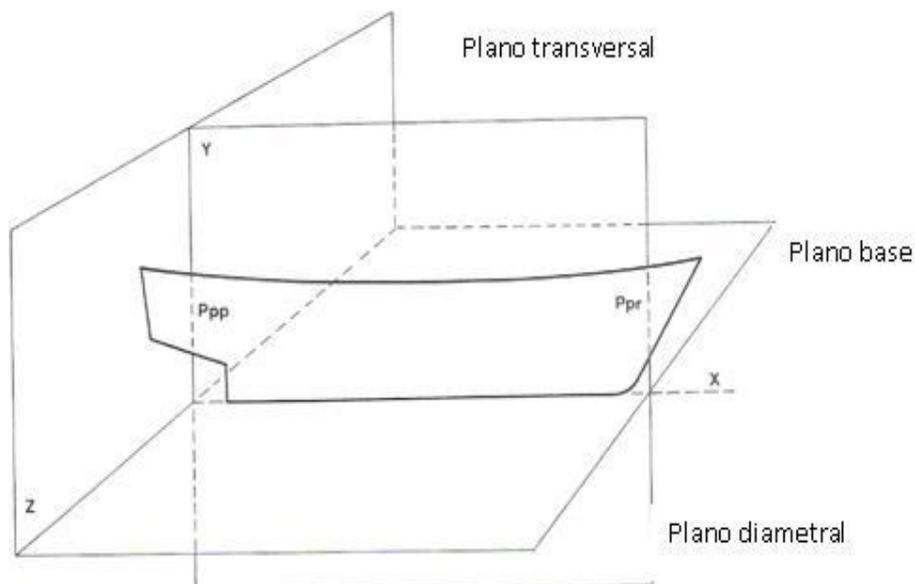


Figura 18

Definimos cada uno de estos Planos de Referencia, que como su nombre indica, sirven de base para la Representación de las Formas del Buque, así como origen de ordenadas y abscisas, para situar cualquier punto sobre las tres proyecciones ortogonales, con coordenadas cartesianas.

a. Plano Diametral o Longitudinal :

Este plano se proyecta ortogonalmente, las Secciones Longitudinales resultante de dividir el buque en sentido transversal, por planos equidistantes y paralelos al Diametral de referencia, que nos producirán contornos verticales longitudinales del buque, fuera de su plano diametral. A este Plano Diametral representado por la línea de crujía están referidas las distancias horizontales transversales, de cualquier punto del buque que necesitamos determinar.

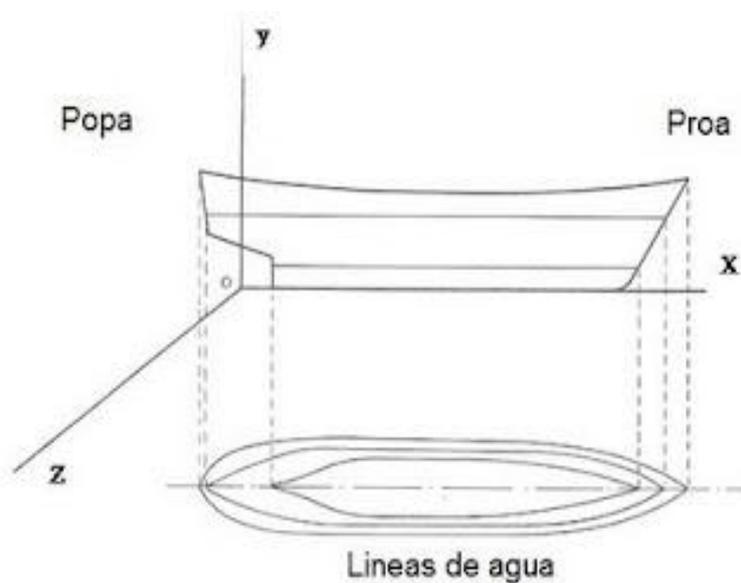


Figura 19

b. Plano Horizontal :

Este es un plano paralelo al plano de Flotación de Trazado, de proyecto o de verano, y que pasa por la línea de quilla, en un buque sin Asiento de Trazado, o por la Línea Base si lo tiene.

Este Plano sirve de referencia para todas las coordenadas verticales, de cualquier punto del buque que necesitemos determinar. Sobre este Plano Horizontal Base, también se proyectan ortogonalmente las Secciones Horizontales resultantes de dividir el buque en sentido vertical, por planos equidistantes y paralelos al Base, que nos producirán los contornos horizontales del buque por encima de dicho Plano Base.

Normalmente este Plano Base se representa por (BL).

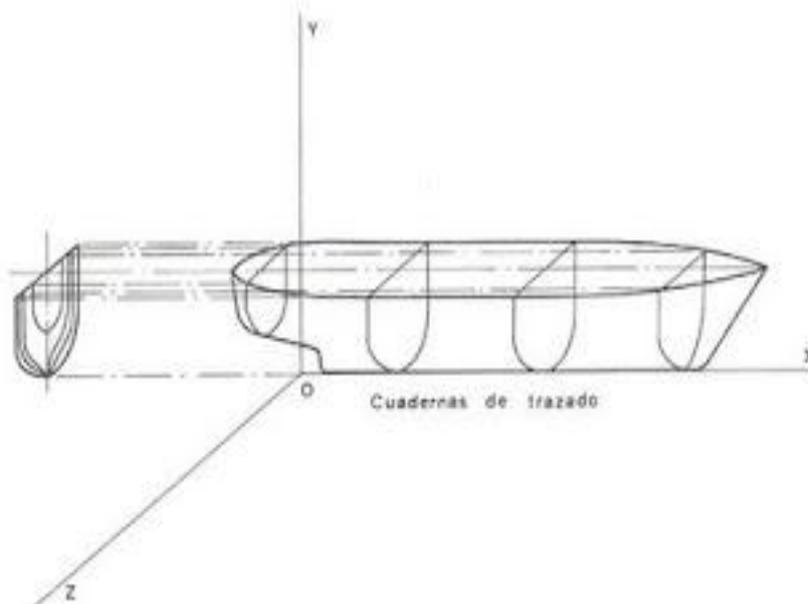


Figura 20

c. Plano Transversal :

Es un plano vertical y por tanto perpendicular al Plano Base, y también al Diametral; este Plano, para que sirva de referencia para las coordenadas horizontales longitudinales que necesitamos, para determinar un punto en el buque, lo situamos pasando por la Perpendicular de Popa. Otras veces se sitúa pasando por la Perpendicular media, y tenemos la Sección Media o Maestra o un círculo (O) con una "x" centrada.



Figura 21

Sobre este plano se proyectan ortogonalmente, las Secciones transversales resultantes de dividir el buque en sentido longitudinal, por planos paralelos al transversal y equidistantes, que nos producirán contornos verticales transversales del buque, fuera de este Plano Transversal de referencia considerado.

Una vez que tenemos los tres Planos de referencia, podemos situar cualquier punto del buque, en función de sus coordenadas cartesianas.

En ocasiones, por asegurar una continuidad de las Formas del Buque en su proyección en los tres Planos de Referencia, en ciertas zonas de difícil continuidad (zonas de pantoque por ejemplo, que es una zona de transición entre los costados y fondo del buque), se trazan unos planos diagonales, perpendiculares al contorno del buque en esa zona.

A las Líneas que limitan las Secciones verticales longitudinales, se le llaman Líneas de contornos longitudinales del buque. Estas líneas tienen su forma debida en la vista del Plano Diametral. Están representadas por líneas rectas verticales equidistantes en el Plano Transversal. Están representadas por líneas rectas horizontales equidistantes en el Plano Horizontal

A las líneas que limitan las Secciones horizontales, se les llaman Líneas de agua del buque. Estas líneas tienen su forma debida en la vista del Plano Horizontal. Están representadas por líneas rectas horizontales equidistantes en los Planos Diametral y Transversal.

A las líneas que limitan las Secciones transversales, se le llaman Cuadernas de Trazado del buque. Estas líneas tienen su forma debida en la vista del Plano Transversal. Están representadas por líneas rectas verticales equidistantes en los Planos Diametral y Horizontal.

En cuanto a las Líneas de referencia sabemos que son:

- d. **Línea Base** es la línea que queda determinada por la intersección del plano diametral con el plano horizontal base. Se utiliza como Línea de referencia para las coordenadas verticales en el Plano Diametral o Longitudinal.
Cuando el buque no tiene Asiento de Trazado, coincide con la línea de quilla (K). Y Cuando el buque tiene Asiento de Trazado, la Línea Base BL se traza, por la intersección de la Perpendicular Media (Pm) con la línea de quilla (K), horizontalmente.
- e. **Línea Central o de Crujía** es la línea que queda determinada por la intersección, del Plano Diametral con los distintos planos horizontales. Es la línea de referencia para medir las coordenadas transversales, en un plano horizontal dado.
- f. **Perpendicular de Proa, Popa y Media (Ppr., Ppp., Pm)** , son las líneas determinadas por la intersección del Plano Diametral, con los Planos transversales trazados por los puntos definidos ya anteriormente. Son líneas de referencia para medir las coordenadas horizontales longitudinales, en un plano horizontal dado.

Hasta aquí lo referente a la representación de la Carena (Obra viva). En cuanto a la obra muerta sabemos que se representa por Secciones verticales transversales y longitudinales, y algunas horizontales. En el Plano Longitudinal se añaden, las proyecciones del contorno de la roda y codaste (roda y codaste son las piezas que configuran el contorno de la proa y popa en el buque real); y en los tres planos de referencia, los contornos de las cubiertas y tapas de regala, mediante las líneas llamadas *Vagras de doble curvatura*.

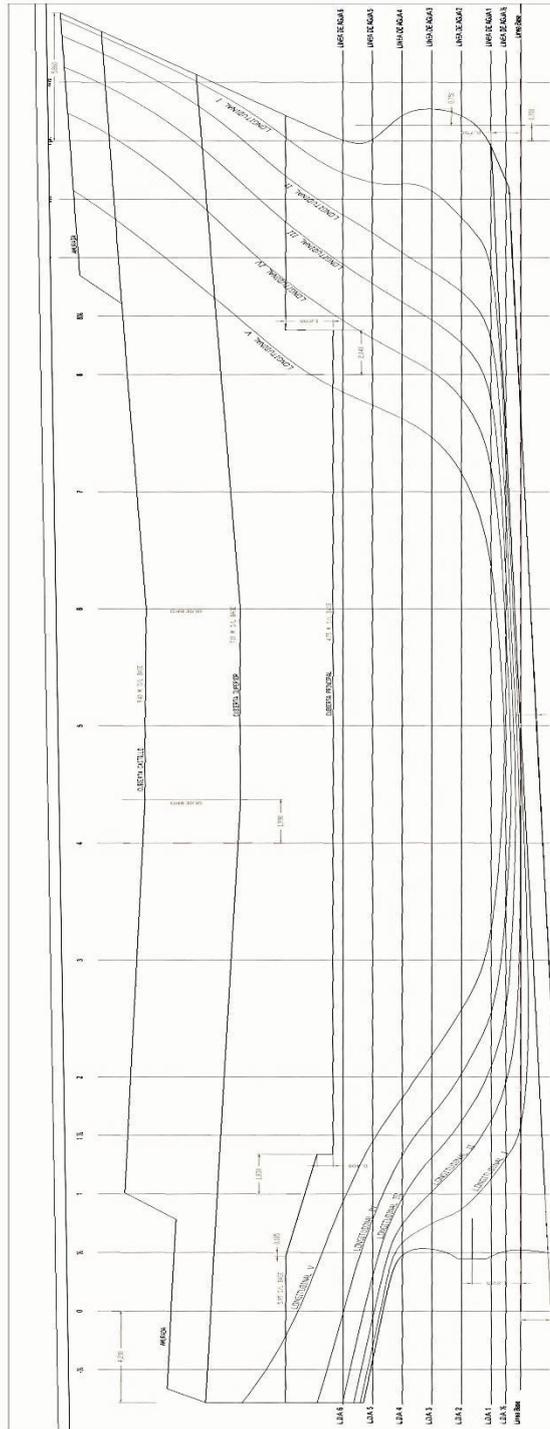
5.3PRESENTACIÓN DEL BUQUE Y ESQUEMATIZACIÓN DEL CASCO Y DEL BULBO

En este capítulo vamos a mostrar la las vistas de la caja de cuadernas, vista de perfil y la vista en planta de nuestro buque, correspondiente al plano de formas de nuestro buque. Se presentará en planos individualmente una imagen correspondiente a cada una de las vistas del buque ejemplo, las cuales, vamos a utilizar para explicar de una manera esquemática mediante una serie de imágenes y explicaciones como poder llegar a realizar mediante Rhinoceros el ajuste de los planos de formas y cartilla de trazado para su posterior diseño.

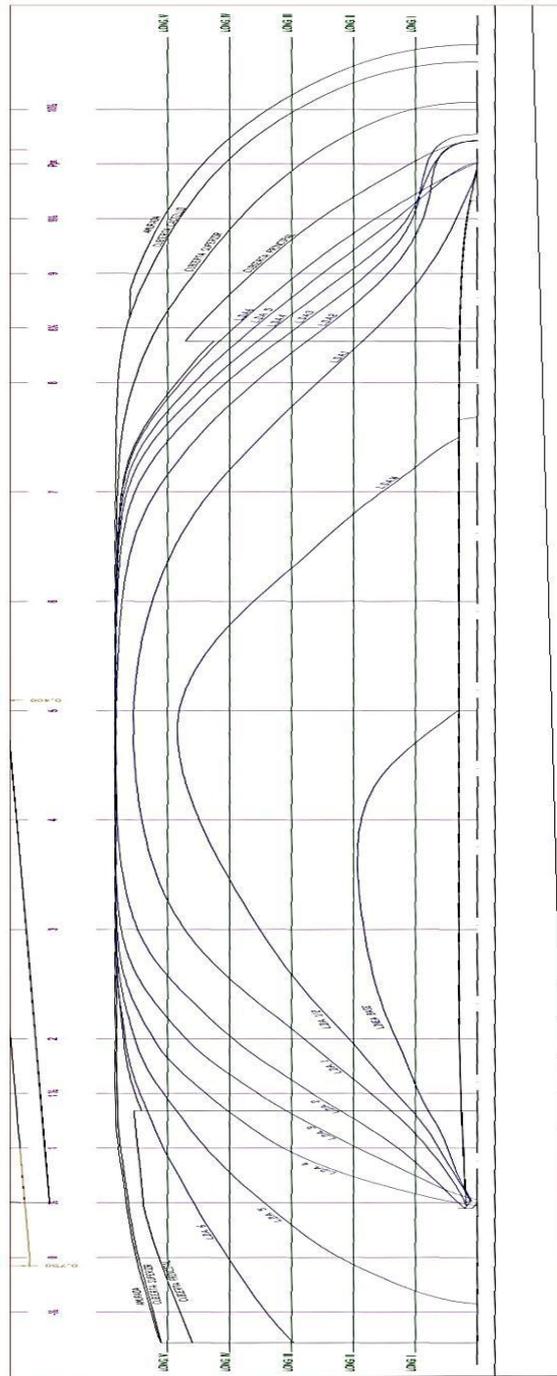
En nuestro caso, ajustaremos primero cada una de las vistas de los planos de formas y cartilla de trazado, para centrarnos finalmente en la zona de proa del buque que es donde se encuentra el bulbo y es donde centramos el estudio.

Este programa de diseño asistido por ordenador se utiliza como otros muchos de características similares (Catia, solidword, etc.) para la creación de los cascos de los buques.

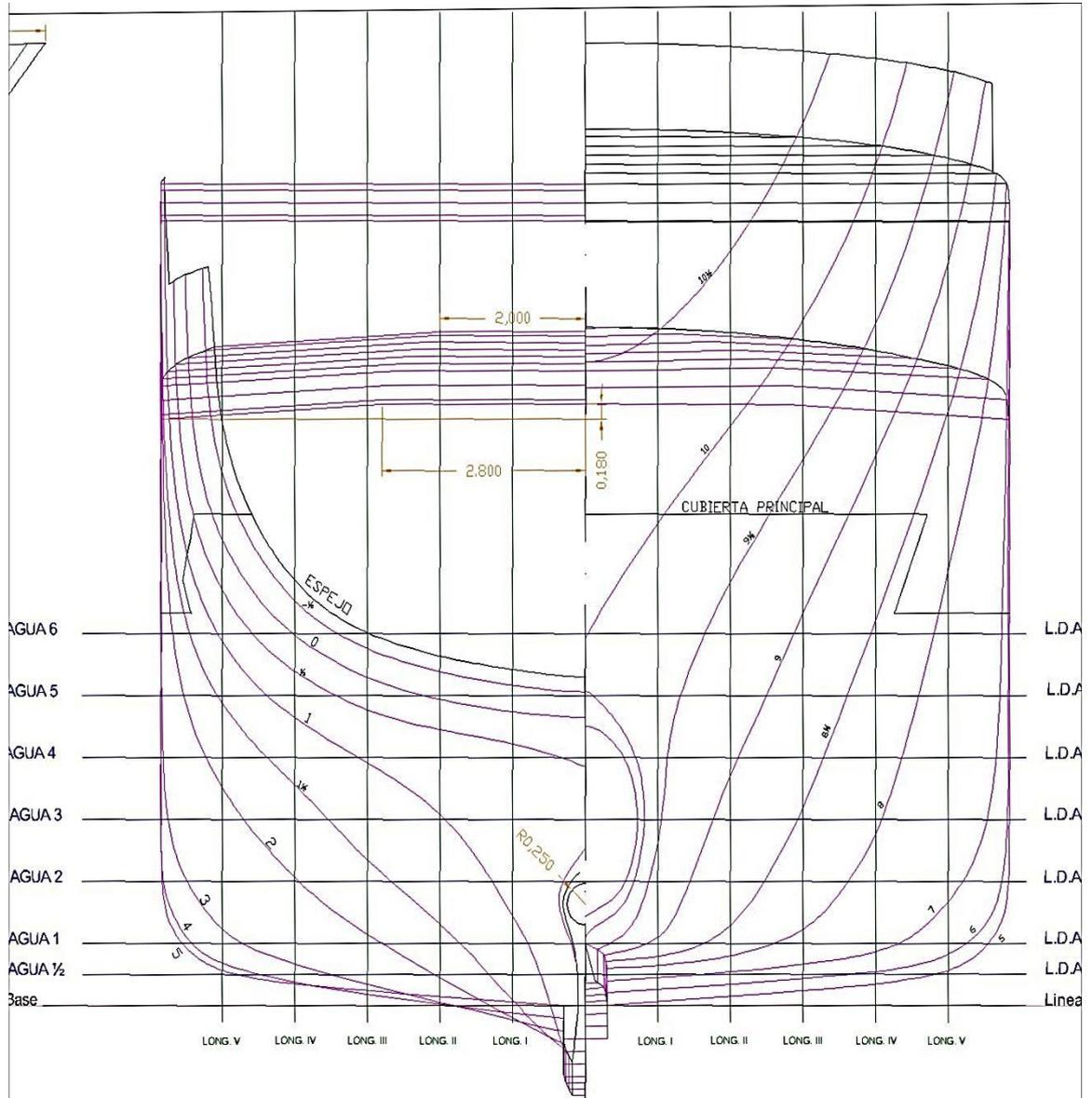
A continuación se mostrara las formas del buque ejemplo que vamos a utilizar.



Fecha	Nombre: Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala:	DESIGNACIÓN: PLANO VISTA PERFIL	Nº de plano : 1/7	



Fecha :	Nombre : Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala :	DESIGNACION :	N.º de plano :	
	PLANO VISTA PLANTA	2/7	



Fecha :	Nombre : Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLICTÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala :	DESIGNACION : PLANO VISTA CAJA DE CUADERNAS	Nº de plano : 3/7	

Una vez presentadas las formas del buque, se continuará con la explicación de los pasos que he ido siguiendo para la creación de casco del buque, utilizando el programa Rhinoceros. Y finalmente nos centraremos en la creación de la roda y el bulbo.

En un primer lugar, creamos ficheros de imagen con cada una de las imágenes presentadas anteriormente de nuestro buque (Planos de formas), para poder ser insertados en rhinoceros como Bitmap de fondo. Debemos comprobar que la línea base está situada horizontalmente, si no es así se deberá hacer los siguientes pasos:

- Mediante giros y desplazamientos, situar la Línea Base de forma que esté exactamente en posición horizontal.
- Además debemos crear tres ficheros independientes con la información exclusiva de la caja de cuadernas, perfil y planta respectivamente (Se introducirán como bitmap de fondo en Rhinoceros), la Línea Base debe seguir estando perfectamente horizontal.

Estas tareas se pueden realizar en Autocad, insertando una imagen de trama y girandola, movemos la imagen de forma que el origen de coordenadas coincida con la intersección de la Línea Base con la perpendicular de popa para posteriormente realizar un giro con centro en el (0,0) y que la Línea Base quede horizontal.

A continuación creará un fichero de Rhino con las unidades en metros y una precisión de la décima de mm. (Introduciendo Bitmaps de fondo).

Una vez realizadas las operaciones anteriores, se procederá a dibujar las distintas curvas que forman el plano de formas, se recomienda utilizar una capa específica para ello.

Antes de proceder a copiar las curvas del plano de formas, lo que hacemos es mover el mapa de bits de forma que la intersección de la línea base con la perpendicular de popa coincida con el origen de coordenadas y por tanto la línea base coincidirá con el eje OX, y así poder escalar el mapa de bip una vez conocida la eslora del buque se desee emplear.

CAJA DE CUADERNAS:

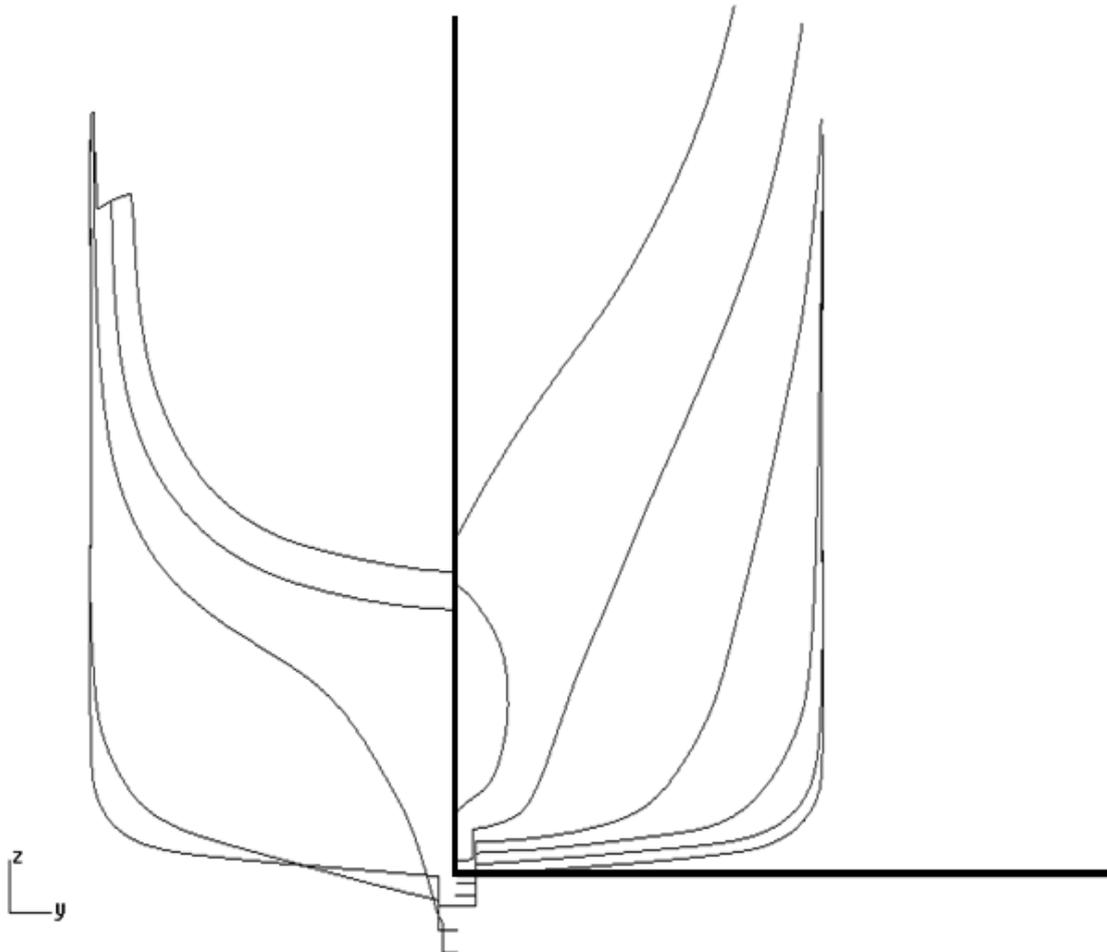


Figura 22

Aquí podemos observar las líneas copiadas del Bipmap de la caja de cuadernas. A continuación se mostrarán dibujadas las líneas del resto del plano de formas, correspondiente a la vista en planta y al perfil.

PERFIL DEL PLANO DE FORMAS:

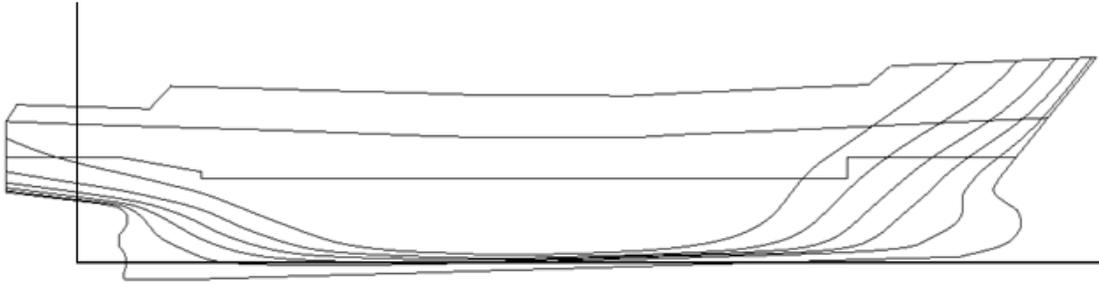


Figura 23

PLANTA DEL PLANO DE FORMAS:



Figura 24

El siguiente paso es la creación de un modelo de alambre en 3D, para ello, creó un nuevo fichero (unidades en metros), donde se insertaran los ficheros donde se han copiado las proyecciones de planta, perfil y caja de cuadernas.

A continuación se irán moviendo las distintas proyecciones copiadas a su verdadera posición en el espacio. Teniendo en cuenta siempre que cuando reconstruyamos una curva nos fijaremos en que las tres proyecciones de la misma deben coincidir y el objeto que se construye en 3D tenga un sentido lógico.

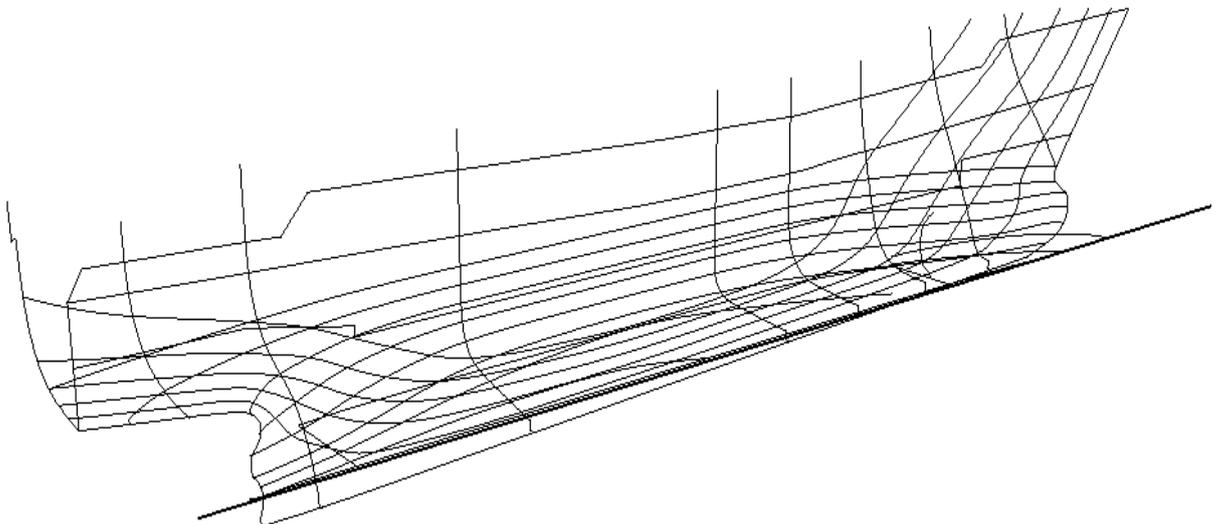


Figura 25

En esta imagen se muestra la estructura del buque en alambre en 3D. A continuación se mostrara la imagen del buque con las curvas alabeadas y la quilla.

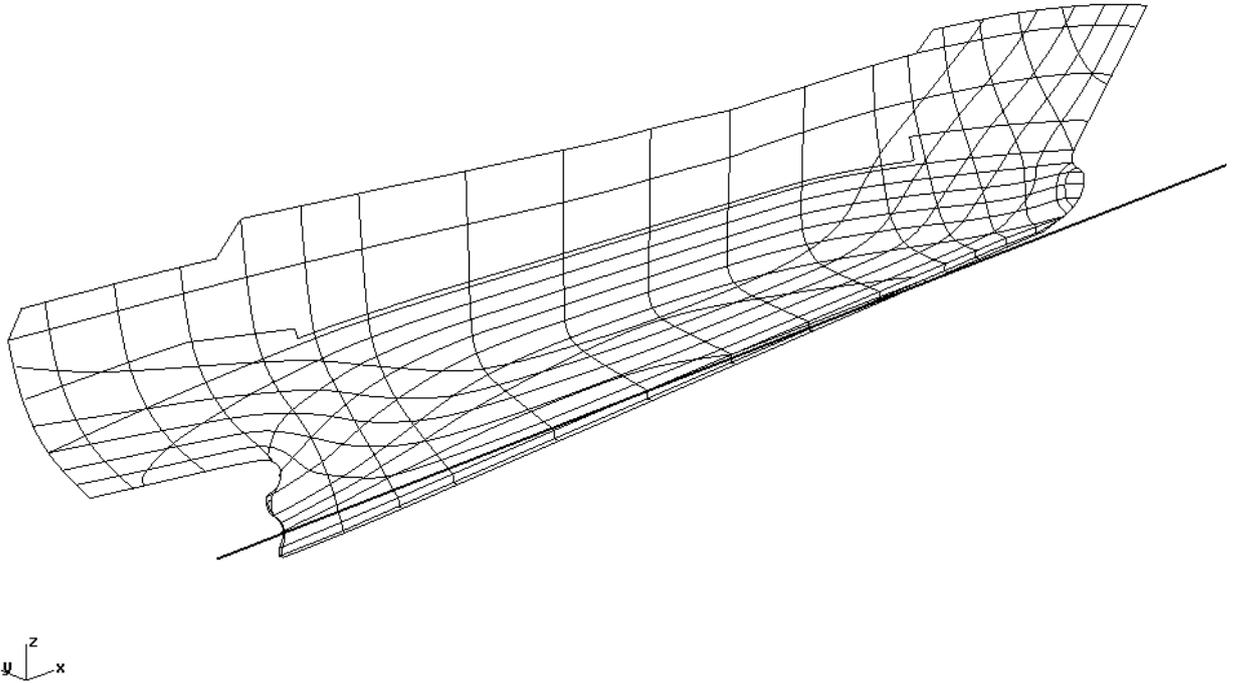


Figura 26

Siguiente imagen muestra las curvas de borde que formaran la superficie de costado:

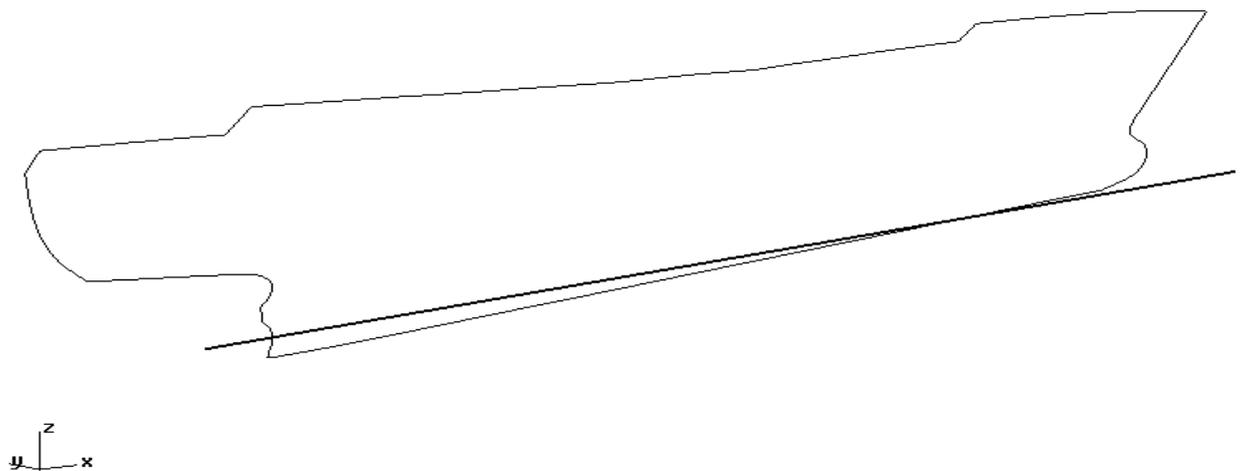


Figura 27

Una vez realizados los pasos anteriores se crea la superficie de costado, se reduce el número de puntos de control, se ajusta el borde superior y la manga. Obteniendo finalmente la superficie del costado del buque:

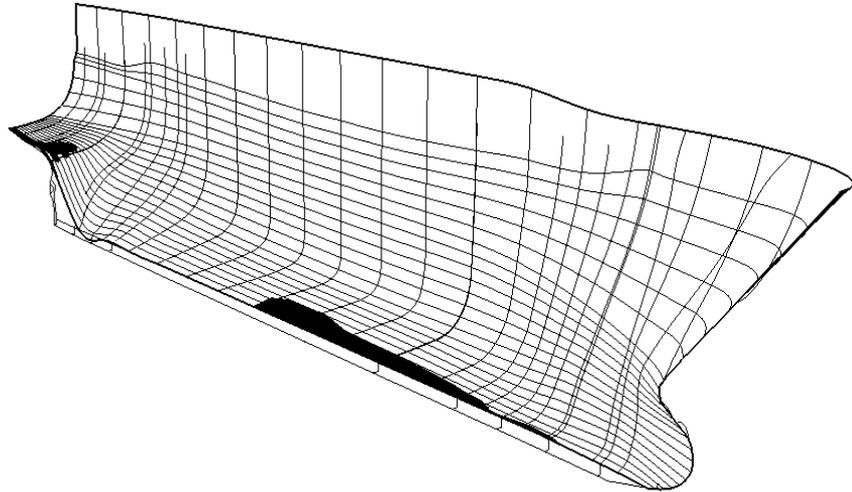


Figura 28

El ajuste se podrá realizar seleccionando todos los puntos de control, que se muestran en la siguiente imagen:

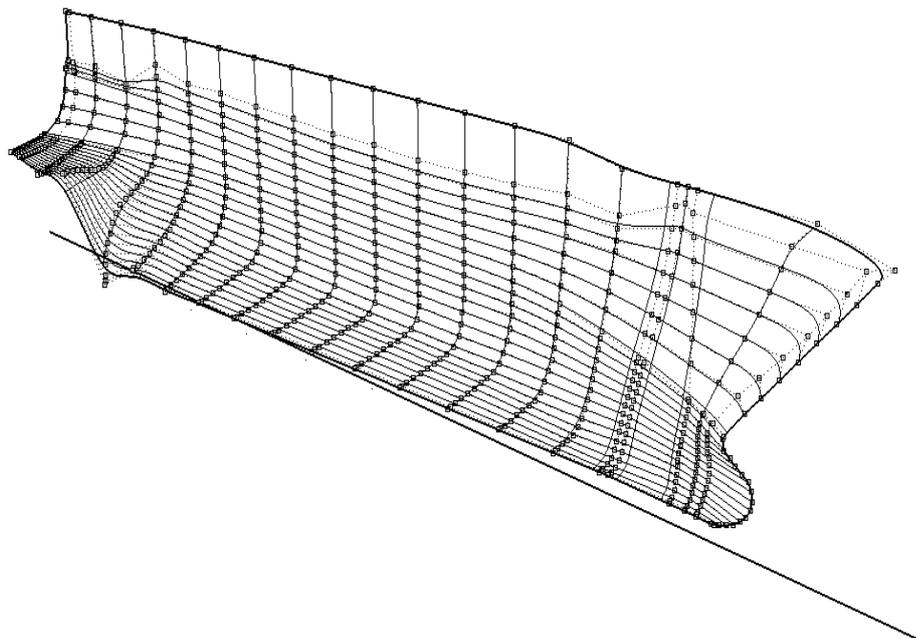


Figura 29

Finalmente se muestra el casco completo, ya que se ha trabajado con la mitad por facilidad:

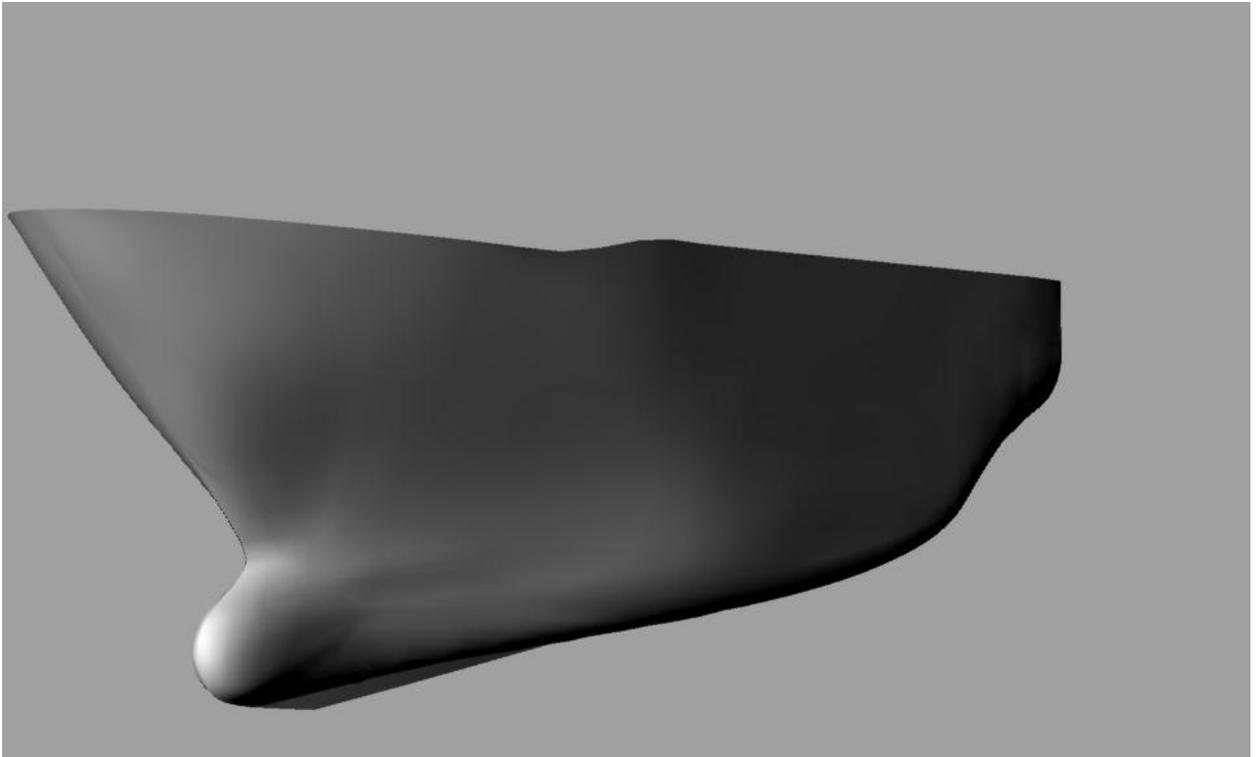


Figura30

Una vez esquematizado la construcción del casco mediante imágenes, nos centramos en la construcción del bulbo de la roda que es lo que nos concierne.

Las explicaciones sobre la roda y el bulbo irán acompañadas de imágenes. La parte final de este capítulo, está dedicada a la creación y diseño del bulbo y la roda a través del programa rhinoceros, todo ello a partir de los planos de un buque modelo que se ha seleccionado.

En un primer lugar lo que tenemos que hacer es ajustar y alisar la zona de proa. Se recomienda visualizar solamente los puntos de control de la zona de proa, para lo que utilizamos el comando '`_HidePt`'. Se busca utilizar el número menor de puntos de control ya que de este modo será más cómodo alisar.

Se mostrará a continuación las imágenes de la zona del bulbo sin ajustar ni alisar, con sus correspondientes puntos de control, los cuales permitirán que el alisado se pueda llevar a cabo en esta zona.

Tanto en primera figura como en la segunda se observan un número alto de puntos de control; además la superficie que se muestra en estas dos figuras no está ni ajustada ni alisada.

Para conseguir el ajuste y alisado de esta superficie lo que hacemos es comprobar que todos los puntos de la roda se encuentran exactamente en el plano de crujía ($Y=0$), seleccionaremos todos ellos y con el comando '`_SetPt`' pondremos la coordenada universal Y al valor de 0.

Como la roda es una línea recta, trazaremos una línea auxiliar a la roda y moveremos los puntos de control para que estén sobre esa línea teniendo activada la referencia a objetos con la opción 'Cerca', para tener una mayor exactitud en el ajuste.

Para que el borde de la superficie sea perpendicular al plano de crujía, aprovecharemos la propiedad de las curvas (o superficies) NURBS de que en su zona inicial y final es tangente al polígono de control y pasa por los puntos inicial y final.

Moveremos los puntos de control de forma que en la vista en planta los puntos de control siguientes a los iniciales estén perpendiculares al plano de crujía, como muestra la imagen:

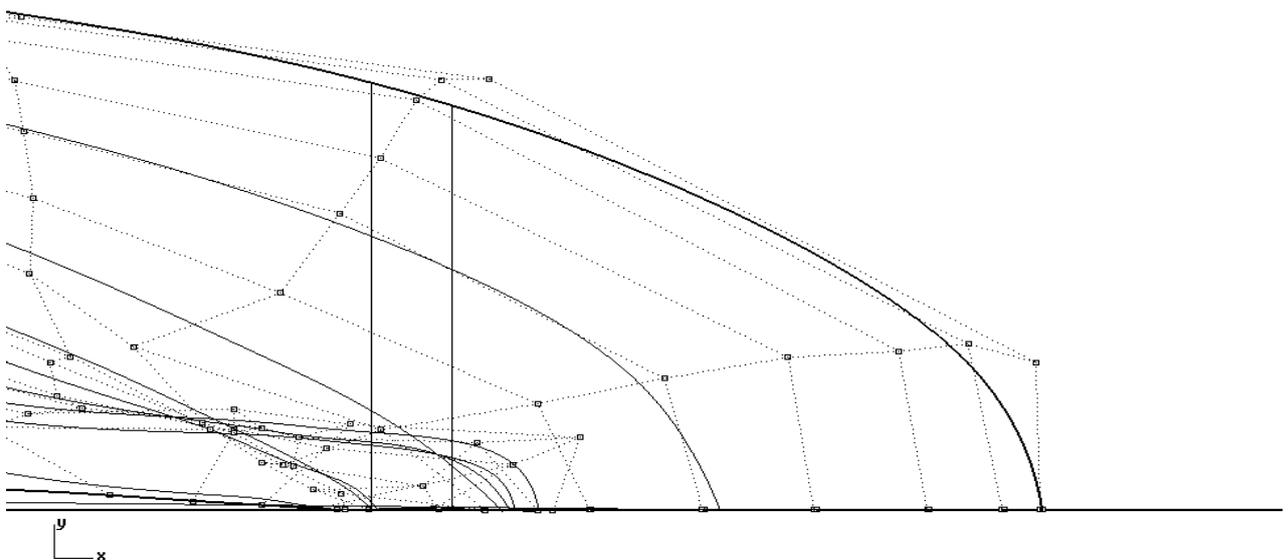
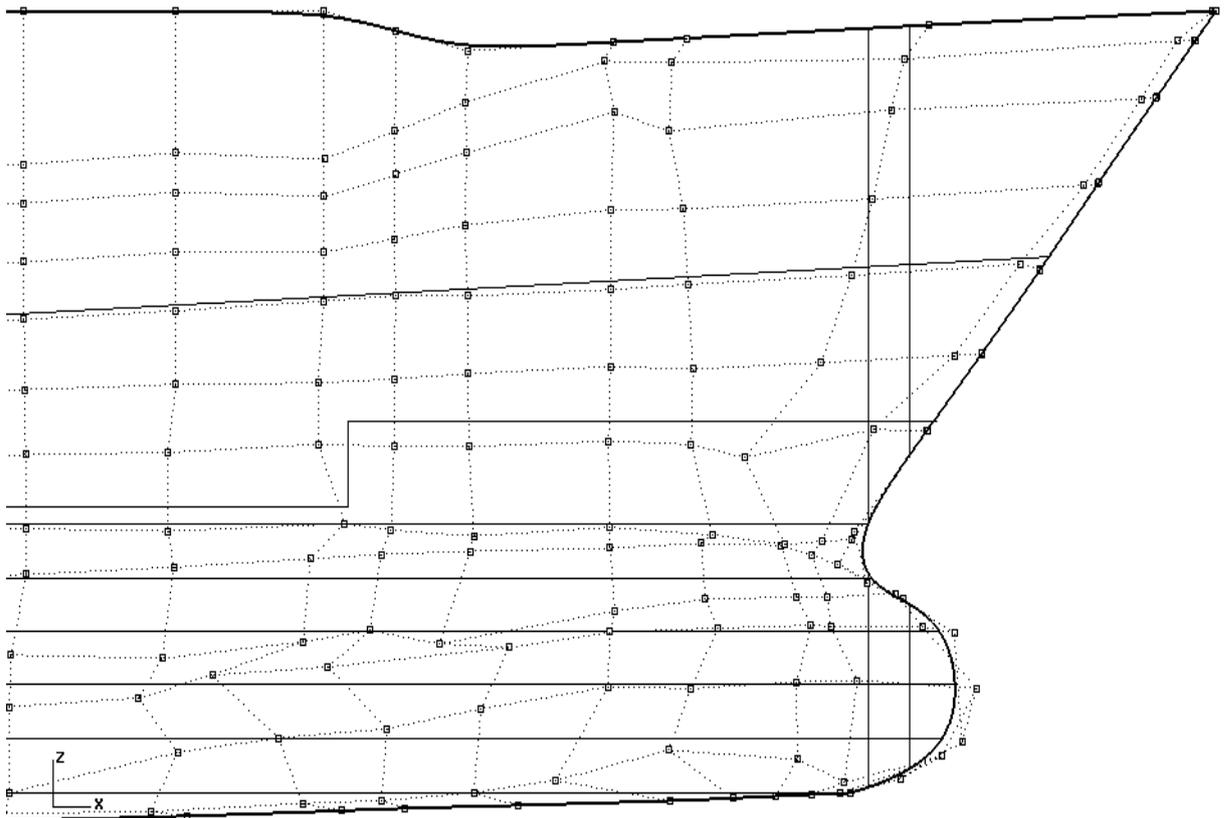


Figura 33

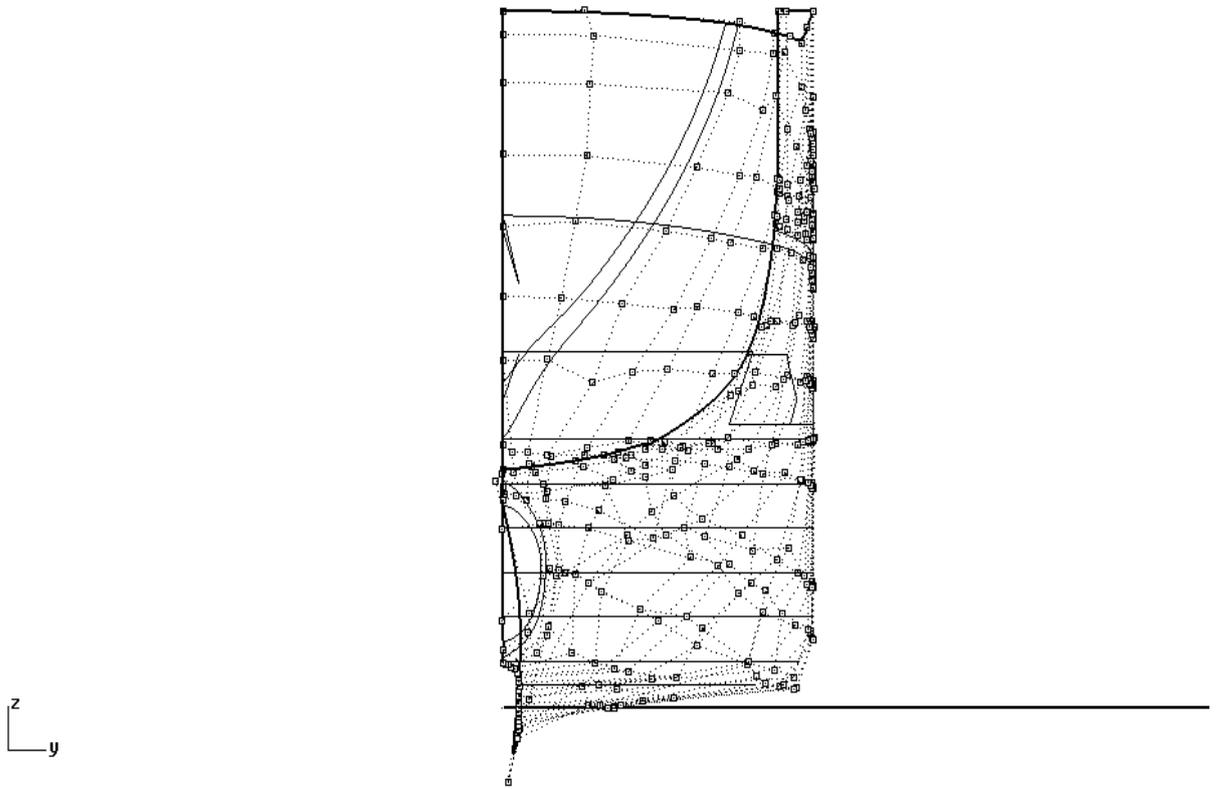
Esta perpendicularidad se puede realizar imponiendo restricciones de dibujo, pero es suficientemente exacto una perpendicularidad realizada a mano.

La obtención de las líneas de cubierta superior y principal en el costado, se conseguirá dibujando dos líneas rectas en la vista de perfil en crujía con las cotas indicadas en el plano de formas, se activará la opción de grabar historial y a continuación se obtendrá la proyección en la ventana Frontal con la orden ‘_Project’

Para dar una idea de cómo se puede conformar la zona del bulbo se muestran diversas imágenes de la superficies ajustada con sus puntos de control.



Zona lateral de proa
Figura 34



Zona de perfil de la proa
Figura 35

Con estas dos imágenes, donde su muestra la superficie perfectamente ajustada terminamos este capítulo, ya que el bulbo del buque queda completamente ajustado y diseñado que era el propósito de este capítulo a través de Rhinoceros.

CAPITULO VI

6. DISEÑO, FABRICACIÓN Y PROCESO DE SOLDADURA EMPLEADO EN UN BULBO DE CREACION PROPIA.

En este capítulo utilizo el programa de diseño gráfico SolidWord para crear un diseño propio de un bulbo. En un primer lugar voy a describir de forma esquemática mediante imágenes los pasos que he ido siguiendo para diseñar este bulbo, a la vez que voy a ir describiendo(forma, espesor y tamaño) cada una de las piezas que lo forman y que he diseñado ; que todas en su conjunto y montadas correctamente formarán el bulbo.

Este bulbo va estar constituido por dos cilindros rectos de unas determinadas características que especificaremos más adelante, los cuales, van a formar el cuerpo del bulbo; una cúpula que está situada en uno de sus extremos, la cual dará la forma curvada al conjunto; dos cuadernas interiores situadas a una determinada distancia, de modo que no coincidan con la soldadura de los dos cilíndricos que forman el cuerpo del bulbo; y cuatro refuerzos entre cuadernas que le aportaran solidez al conjunto .



Figura 36

Para la fabricación de cada una de las piezas o partes que forman este bulbo se ha utilizado un acero normalizado de tipo S355JR, el cual queda reflejado en el Anexo I.

En cuanto a los procedimientos de fabricación empleados para la obtención de cada una de las piezas que forman el bulbo, se expondrá más adelante.

Las partes o piezas que forman este bulbo las clasifico de la siguiente manera y orden:

1. Primer cilindro.
2. Segundo cilindro.
3. Cúpula.
4. Cuadernas.
5. Refuerzos entre cuadernas.

1. Primer Cilindro:

Esta primera pieza está fabricada a partir de una lámina de acero S355JR de forma rectangular de dimensiones $l \times b = 4712 \times 600$ mm y espesor $e=50$ mm.

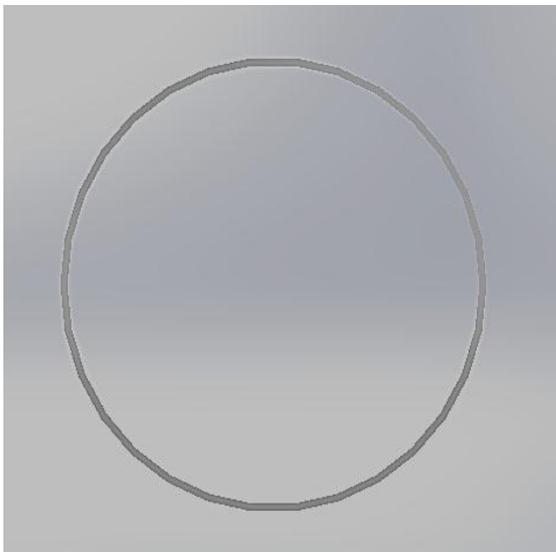


Figura 37

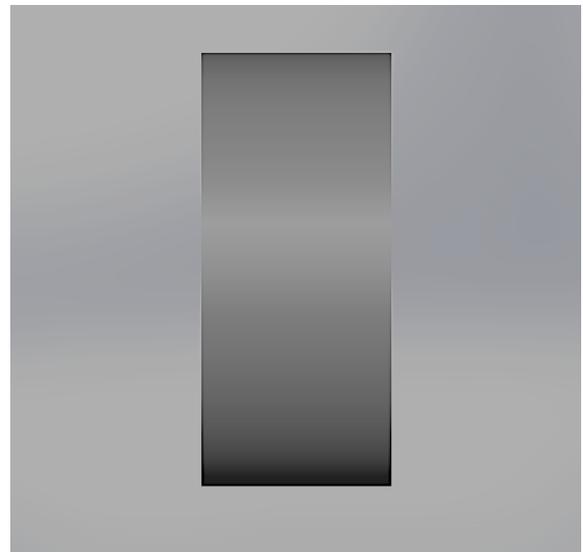


Figura 38

Los planos de fabricación con todas sus cotas quedan reflejados en el Anexo II, en el plano PIEZA.1.

2. Segundo Cilindro:

Esta segunda pieza es semejante a la PIEZA.1, mismo tipo de acero y mismas características geométricas.

En el Anexo II, quedara indicado en el plano PIEZA.1 el número de piezas empleadas, que en nuestro caso son dos. Ambas constituyen el cuerpo del bulbo como ya hemos indicado anteriormente.

En cuanto a las imágenes se corresponde a las del primer cilindro.

3. Cúpula:

Esta pieza está fabricada a partir de una lámina de acero S355JR de forma circular de dimensión de diámetro $D = 1500$ mm y espesor $e = 50$ mm.

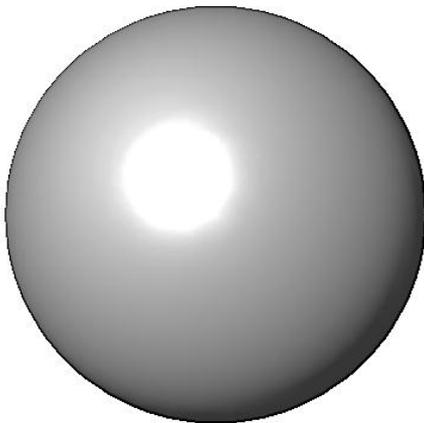


Figura 39

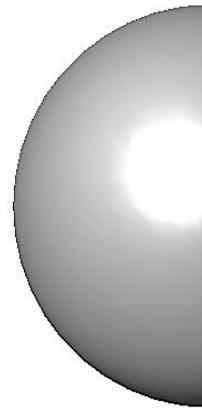


Figura 40

Los planos de fabricación con todas sus cotas quedan reflejados en el Anexo II, en el plano PIEZA.2.

4. Cuadernas:

Estas piezas están formadas por dos planchas de acero S355JR de formas rectangulares; la primera de dimensiones $l \times b = 4241.2 \times 35$ mm y espesor $e = 18$ mm; y la segunda de dimensiones $l \times b = 4555.310 \times 6.25$ mm y espesor $e = 50$ mm.

En este diseño presento las cuadernas como una pieza sólida formada a partir de estas dos planchas de acero. La primera de estas piezas estará unida a la segunda perpendicularmente en su plano de simetría, de tal modo que cuando se curve para obtener el arco, la cara de esta primera pieza sea paralela interiormente al cuerpo cilíndrico del bulbo y la segunda perpendicular a él.

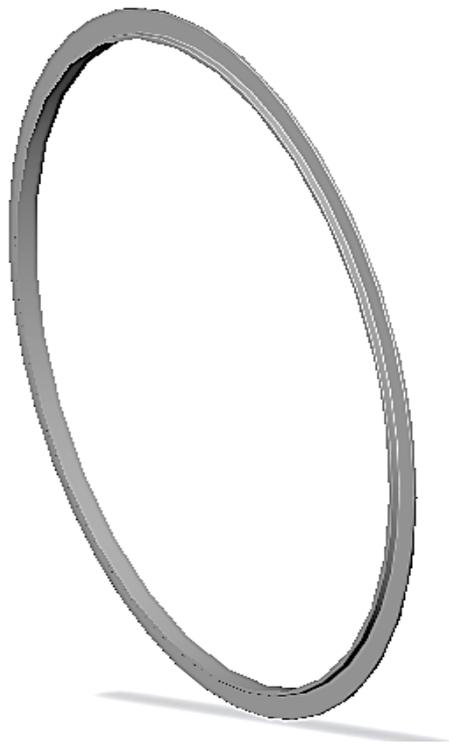


Figura 41

Los planos de fabricación con todas sus cotas quedan reflejados en el Anexo II, en el plano PIEZA.3.

5. Refuerzos entre cuadernas:

Esta pieza está fabricada a partir de una lámina de acero S355JR de forma rectangular de dimensiones $l \times b = 593.75 \times 50$ mm y espesor $e = 20$ mm.

Para el diseño de este bulbo se han utilizado 4 refuerzos entre cuadernas de las características anteriores, los cuales le aportan solidez al conjunto que forma el bulbo.

Estos refuerzos quedan montados de la siguiente manera en el bulbo :

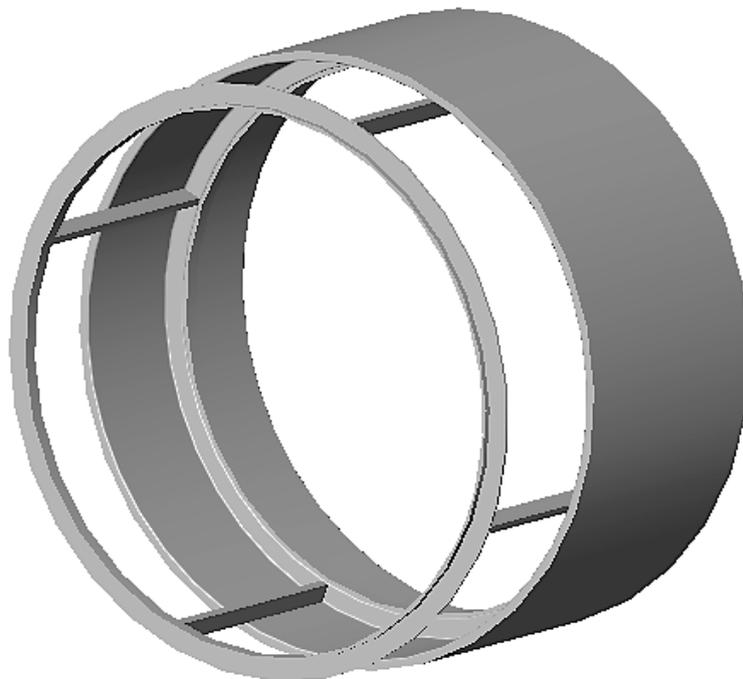


Figura 42

Los planos de fabricación con todas sus cotas quedan reflejados en el Anexo II, en el plano PIEZA.4.

6.1 FABRICACIÓN DE LAS PARTES DEL BULBO :

Una vez presentado cada una de las partes que forman el bulbo y sus diseños adjuntos a sus respectivos anexos; sabemos que para la obtención de las formas de cada una de ellas se ha tenido que realizar un proceso de fabricación.

En nuestro caso utilizamos procedimiento de conformación sin pérdida de material, es decir, conformación por deformación.

La conformación por deformación consiste en someter a los materiales a la acción de fuerzas que superen los límites de elasticidad, de modo que provoquen en ellos deformaciones plásticas de carácter permanente.

Son procesos de gran interés industrial y se realizan tanto en frío como en caliente:

- En caliente se aplica principalmente para metales y plásticos.
- En frío se aplica sólo para metales.

También podemos clasificarlos en función del tipo de esfuerzo al que están sometidos. Así, pueden ser de tracción o de compresión.

6.1.2 DEFORMACIÓN EN CALIENTE:

En cuanto a la deformación en caliente o conformado en caliente sabemos que existen los siguientes tipos:

- A. Forja
- B. Laminación
- C. Extrusión
- D. Estampación en caliente

En nuestro diseño, nos interesa el proceso de laminación para la obtención de las planchas de acero, y el proceso de forja para crear y dar forma a cada una de las partes que forman el bulbo.

A.LAMINACIÓN:

El proceso de laminado en caliente consiste en calentar al rojo vivo unos lingotes en un horno denominado foso de termodifusión, donde básicamente las palanquillas o tochos, se elevan a una temperatura entre los 900°C y los 1.200°C. Estas se calientan con el fin de proporcionar ductilidad y maleabilidad para que sea más fácil la reducción de área a la cual va a ser sometido.

Durante el proceso de calentamiento de las palanquillas se debe tener en cuenta:

- Una temperatura alta de calentamiento del acero puede originar un crecimiento excesivo de los granos y un defecto llamado “quemado” del acero que origina grietas que no son eliminables.
- Una temperatura baja de calentamiento origina la disminución de la plasticidad del acero, eleva la resistencia de deformación y puede originar grietas durante la laminación.

Por tanto la temperatura óptima de trabajo no es un solo valor, sino que varía en cierto rango de temperatura entre un límite superior y un límite inferior.



Foso Termodifusión
Figura 43

A continuación del proceso de calentamiento se hace pasar los lingotes entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados.

La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

El primer par de rodillos por el que pasa el lingote se conoce como tren de desbaste o de eliminación de asperezas. Después del tren de desbaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta.

Los trenes o rodillos de laminado continuo producen tiras y láminas con anchuras de hasta 2,5 m (Para nuestro diseño más que suficiente). Estos laminadores procesan con rapidez la chapa de acero antes de que se enfríe y no pueda ser trabajada. Las planchas de acero caliente de más de 10 cm. de espesor se pasan por una serie de cilindros que reducen progresivamente su espesor hasta unos 0,1 cm. y aumentan su longitud de 4 a 370 metros. Los trenes de laminado continuo están equipados con una serie de accesorios como rodillos de borde, aparatos de decapado o eliminación y dispositivos para enrollar de modo automático la chapa cuando llega al final del tren. Los rodillos de borde son grupos de rodillos verticales situados a ambos lados de la lámina para mantener su anchura. Los aparatos de decapado eliminan la costra que se forma en la superficie de la lámina apartándola mecánicamente, retirándola mediante un chorro de aire o doblando de forma abrupta la chapa en algún punto del recorrido. Las bobinas de chapa terminadas se colocan sobre una cinta transportadora y se llevan a otro lugar para ser recocidas y cortadas en chapas individuales.

En la siguiente imagen observamos un tren de laminado en caliente:

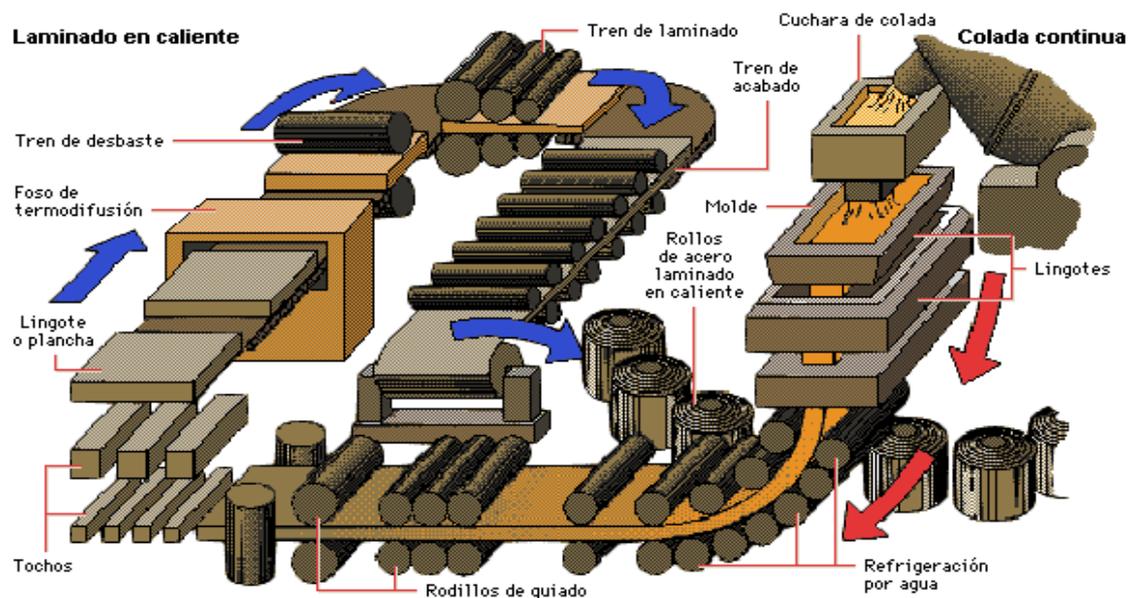


Figura 44

B.FORJA:

Consiste en calentar el metal hasta una temperatura inferior a la de fusión (hasta cerca de 1000 °C) y posteriormente golpearlo con un martillo o una prensa. A esta temperatura aumenta la plasticidad del metal por lo que se le puede dar la forma deseada sin romper o quebrar el material.

Antiguamente se deformaban las barras calentándolas en una fragua de carbón, el herrero sacaba las piezas ayudándose de tenazas, la colocaba sobre el yunque, y con el martillo, la golpeaba dándole la forma deseada. Esto es la forja a mano. Este método es limitado.



Figura 45

Actualmente se emplean prensas, accionadas mecánicas o hidráulicas, que comprimen el material hasta darla la forma deseada. También se emplean martillos mecánicos que golpean el material sucesivamente.



Figura 46

6.1.3 DEFORMACIÓN EN FRÍO:

Existen varios métodos, algunos similares a la deformación en caliente. Entre ellos se encuentran:

- A. Estampación en frío.
- B. Forjado en frío.
- C. Extrusión en frío.
- D. Doblado.
- E. curvado.
- F. Embutición.
- G. Estirado.
- H. Trefilado.

De estos procesos de fabricación nos interesa para nuestro proyecto el doblado y curvado, los cuales nos ayudaran a obtener las formas de las piezas que constituyen el bulbo.

D.DOBLADO:

El doblado de metales es la deformación de láminas alrededor de un determinado ángulo. Los ángulos pueden ser clasificados como abiertos (si son mayores a 90 grados), cerrados (menores a 90°) o rectos. Durante la operación, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores están en compresión. El doblado no produce cambios significativos en el espesor de la lámina metálica.

Existen diferentes formas de doblado, las más comunes son:

- a. Doblado entre dos formas.
- b. Doblado deslizante.

a. DOBLADO ENTRE DOS FORMAS:

El doblado de piezas de chapa se realiza por medio de herramientas o matrices de doblar, que están compuestas de dos partes esenciales:

1. La superior o macho (Punzón)
2. La inferior o hembra(Matriz)

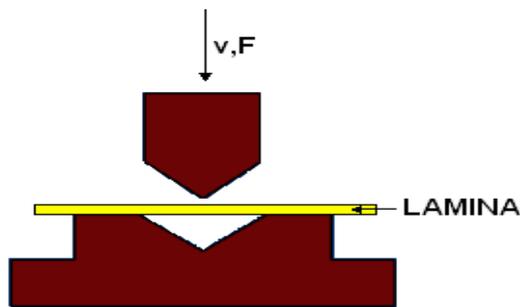


Figura 47

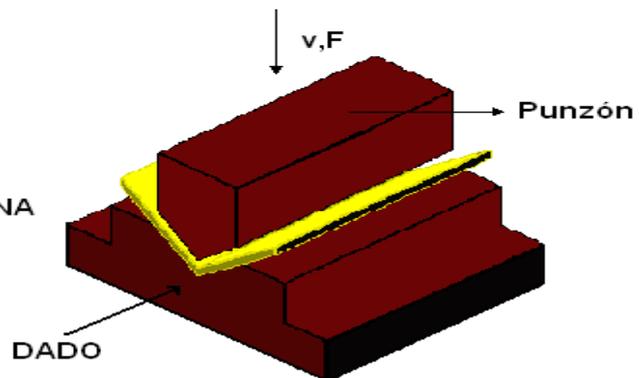


Figura 48

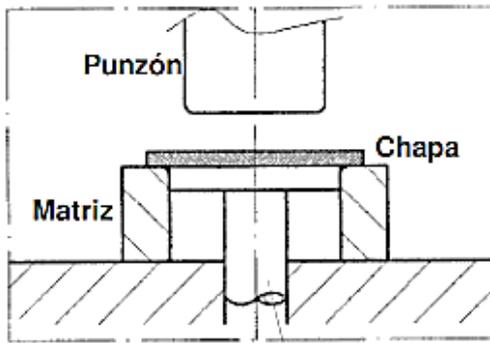
La herramienta se compone:

1. De un punzón que tiene la forma de la pieza.
2. De una matriz (dado) cuya forma en la parte activa, al final de la carrera debe dejar pasar el material, entre ella y el punzón, un juego teóricamente igual al de la propia chapa.

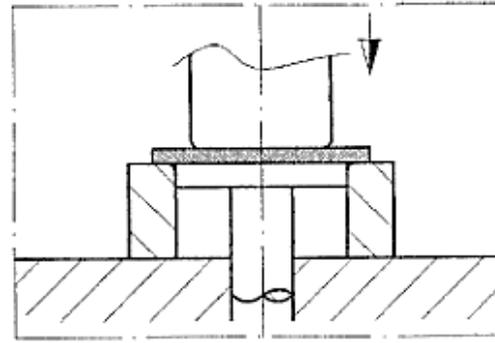
Para la obtención de un buen doblado debe tenerse en cuenta 3 factores:

- La pieza no debe sufrir ningún movimiento anormal durante el doblado.
- Los radios interiores de doblado serán como mínimo igual al espesor de la chapa.
- Las superficies del punzón o matriz en contacto con la chapa estarán lo más lisas y pulidas posible.

Utilizando la técnica de doblado entre dos formas y teniendo en cuenta los factores citados, a continuación se muestra la operación de doblado básico a través de las siguientes imágenes.



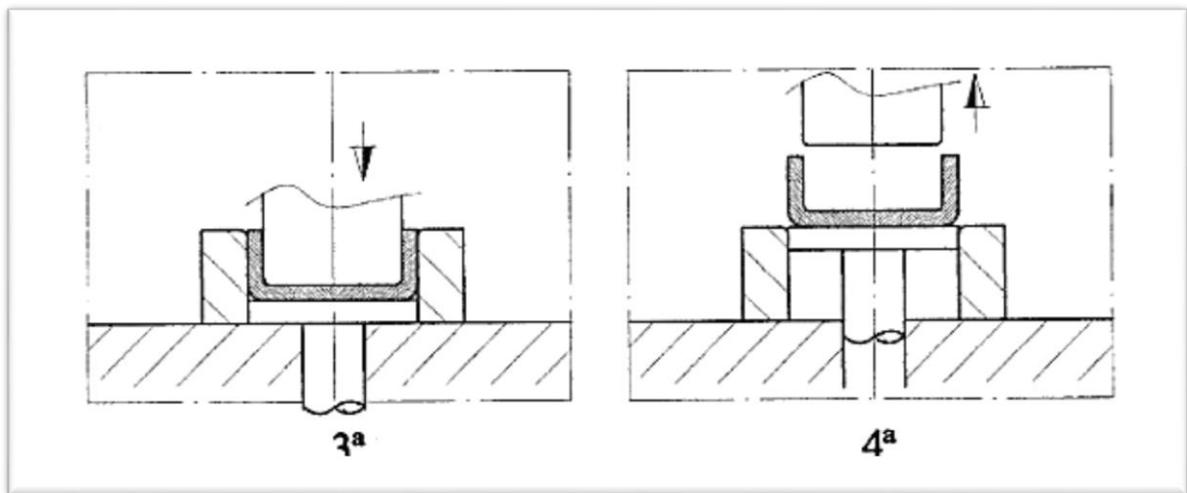
1ª Pisador - Extractor



2ª

Figura 49

Figura 50

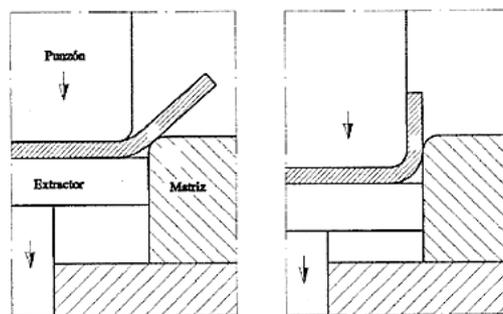


3ª

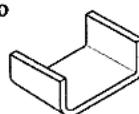
4ª

Figura 51

Figura 52



Detalle doblado



Pieza obtenida

Figura 53

b. DOBLADO DESLIZANTE:

En el doblado deslizante, una placa presiona la lámina metálica a la matriz o dado mientras el punzón le ejerce una fuerza que la dobla alrededor del borde del dado. Este tipo de doblado está limitado para ángulos de 90°.

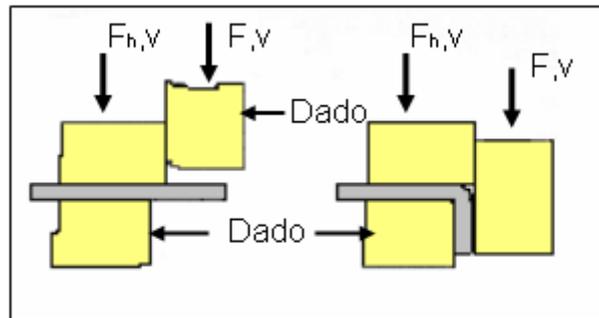


Figura 54

Cuando se remueve la fuerza de doblado, la lámina intenta regenerarse gracias a una propiedad elástica de los metales conocida como memoria, restitución o recuperación. Esta propiedad no sólo se observa en láminas y placas planas, sino también en varillas, alambres y barras con cualquier perfil transversal.

Concluimos citando el proceso de curvado, que es el último proceso de fabricación que utilizamos para la obtención de alguna de las piezas que constituyen el bulbo que hemos diseñado.

E. CURVADO:

Tiene por objeto dar a la pieza la forma de una línea curva. El radio de curvatura de la deformación es relativamente grande.

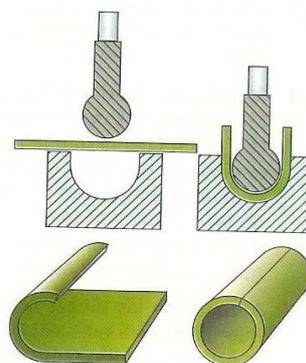


Figura 55

ANEXO I

Para nuestro diseño hemos utilizado un acero de tipo S355JR, vamos a indicar una serie de características comunes para este tipo de aceros y posteriormente vamos a presentar los valores del acero S355JR por medio de tablas para diferentes situaciones.

En cuanto a la clasificación de este acero, lo clasificamos como aceros de calidad no aleados, conforme a la Norma Europea EN 10020.

Esta norma específica ocho tipos de acero S185, S235, S275, S355, S450, E295, E335 y E360, que se diferencian por sus características mecánicas.

El tipo de acero S355 puede suministrarse en los grados JR, J0, J2 y K2. Y estos grados difieren en los requisitos especificados de la energía de flexión por choque.

La designación de este acero debe ser conforme a la Norma Europea EN 10025-1.

La designación debe componerse de:

- Número de esta norma (EN 10025-2).
- Designación simbólica o numérica.
- Indicación "+N" o "+AR", cuando los productos se hayan solicitado y suministrado en estado "+N" o "+AR". La indicación "+N" o "+AR" también debe añadirse a la designación numérica del acero.

En cuanto al proceso de fabricación de acero debe ser conforme a la Norma Europea EN 10025-1. Si así se ha especificado en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido, el fabricante debe comunicar al comprador el proceso de fabricación utilizado.

Para los tipos de acero S235, S275, S355 y S450 deben aplicarse los valores máximos de carbono equivalente, tomando como base el análisis de colada.

Cuando los tipos S275 y S355 se suministren con un contenido límite en Si, por ejemplo, para ser aptos para la galvanización en caliente, puede ser necesario aumentar el contenido de otros elementos como el C y el Mn para alcanzar las características exigidas en tracción; en estos casos, el valor máximo del carbono equivalente debe incrementarse como sigue:

- para Si $\leq 0,030\%$, se incrementa el CEV en 0,02%;
- para Si $\leq 0,025\%$, se incrementa el CEV en 0,01%.

En las características mecánicas, en el caso de los productos suministrados en estado bruto de laminación antes de ser sometidas a un tratamiento de normalización realizado por el comprador, las muestras deben someterse a un tratamiento de normalización si así se ha especificado en el momento de hacer el pedido. Los valores obtenidos a partir de las muestras normalizadas deben cumplir los requisitos de esta norma. Los resultados deben registrarse en el documento de inspección.

Las características de flexión por choque de los productos del grado JR sólo deben verificarse cuando así se especifique en el momento de hacer el pedido.

Los requisitos generales para el soldeo de los aceros pertenecientes al grado JR, J0, J2 y K2 están indicados en la Norma Europea EN 1011-2.

En cuanto a la aptitud al plegado, si se ha especificado al hacer el pedido, las chapas, bandas, planos anchos y perfiles comerciales (anchura < 150 mm) de espesor nominal ≤ 30 mm deben ser aptos para el plegado, sin aparición de fisuras. Esta característica es muy importante para nuestro diseño ya que la mayoría de las piezas que forman el bulbo son plegadas.

Y finalmente sabemos que todos los tipos y grados de acero son mecanizables con operaciones comunes.

A continuación se mostrara los valores que adquiere el acero S355JR y su composición química dependiendo del producto.

Composición química del análisis de colada para productos planos y largos de acero de tipo y grado con valores de flexión por choque:

Designación		Estado de desoxidación b	C en % máx. para espesor nominal del producto en mm			Si % máx.	Mn % máx.	P % máx. d	S % máx. d, e	N % máx. f	Cu % máx. g	Otro % máx. h
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2		≤ 16	$> 16 \leq 40$	$> 40^c$							
S355JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	0,55	1,60	0,035	0,035	0,012	0,55	–

Tabla.2

Composición química del análisis de producto:

Designación		Estado de desoxidación b	C en % máx. para espesor nominal del producto en mm			Si % máx.	Mn % máx.	P % máx. d	S % máx. d, e	N % máx. f	Cu % máx. g	Otro % máx. h
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ^c							
S355JR	1.0045	FN	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60	–

Tabla.3

CEV máximo basado en el análisis de colada:

Designación		Estado de desoxidación b	CEV máximo en % para espesor nominal del producto en mm				
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2		≤ 30	> 30 ≤ 40	> 40 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S355JR	1.0045	FN	0,45	0,47	0,47	0,49 ^c	–

Tabla.4

Mostramos las propiedades mecánicas y los valores de energía de flexión por choque KV longitudinal para productos planos y largos:

Designación		Temperatura °C	Energía mínima (J) Espesor nominal en mm		
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2		≤ 150 _{a b}	> 150 ≤ 250 _b	> 250 ≤ 400 _c
S355JR	1.0045	20	27	27	–

Tabla. 5

En esta tabla observamos las propiedades tecnológicas para productos planos y largos de tipo y grado de acero S355JR con valores para la energía de flexión por choque:

Designación		Apto para		
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2	Bordeado en frío	Conformado en frío con rodillos	Estirado en frío
S355JRC	1.0551	-	-	X

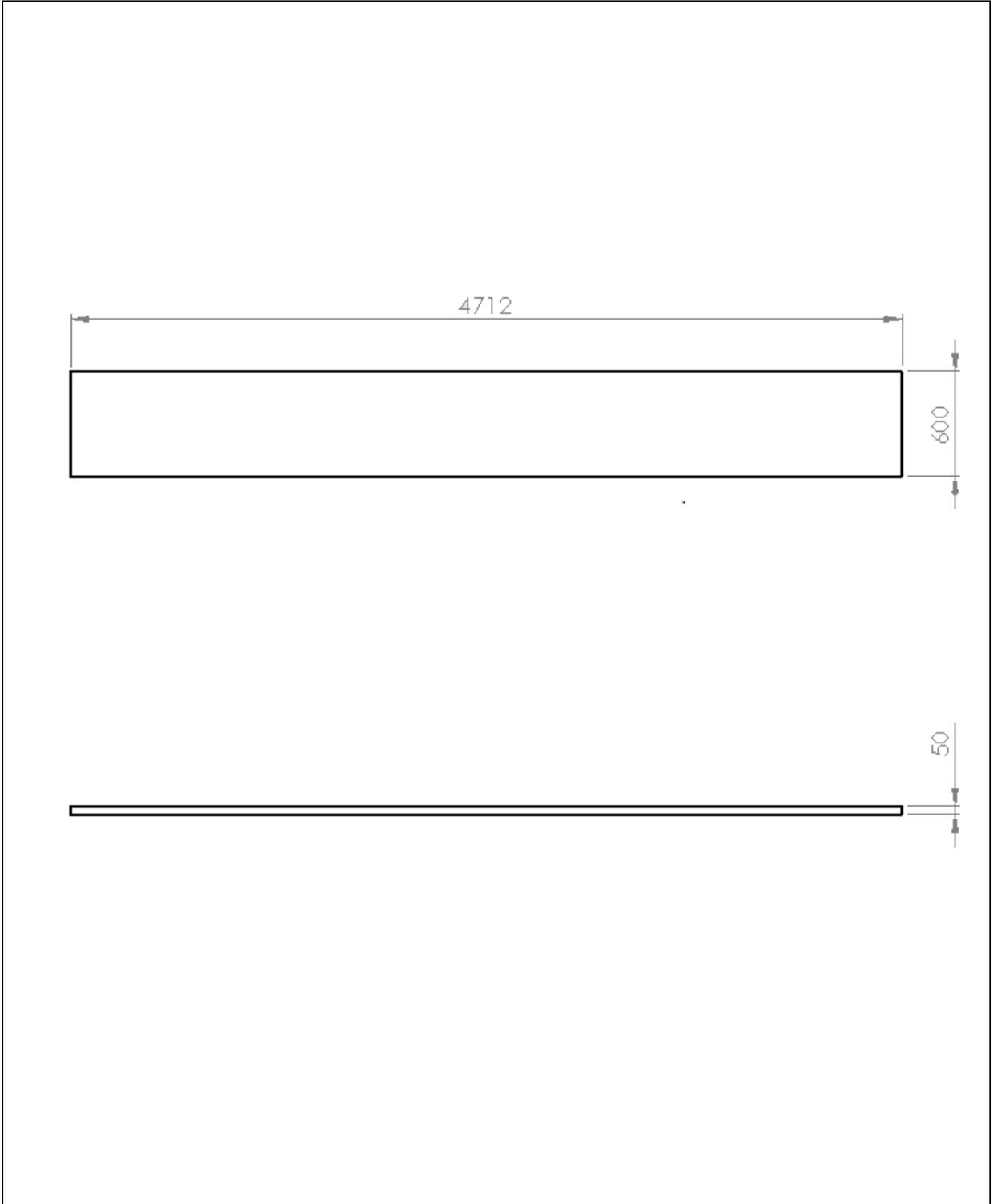
Tabla. 5

En nuestra última tabla, vamos a mostrar el valor recomendado para el radio interno de doblado mínimo para espesores nominales en conformado en frío mediante cilindros de productos planos:

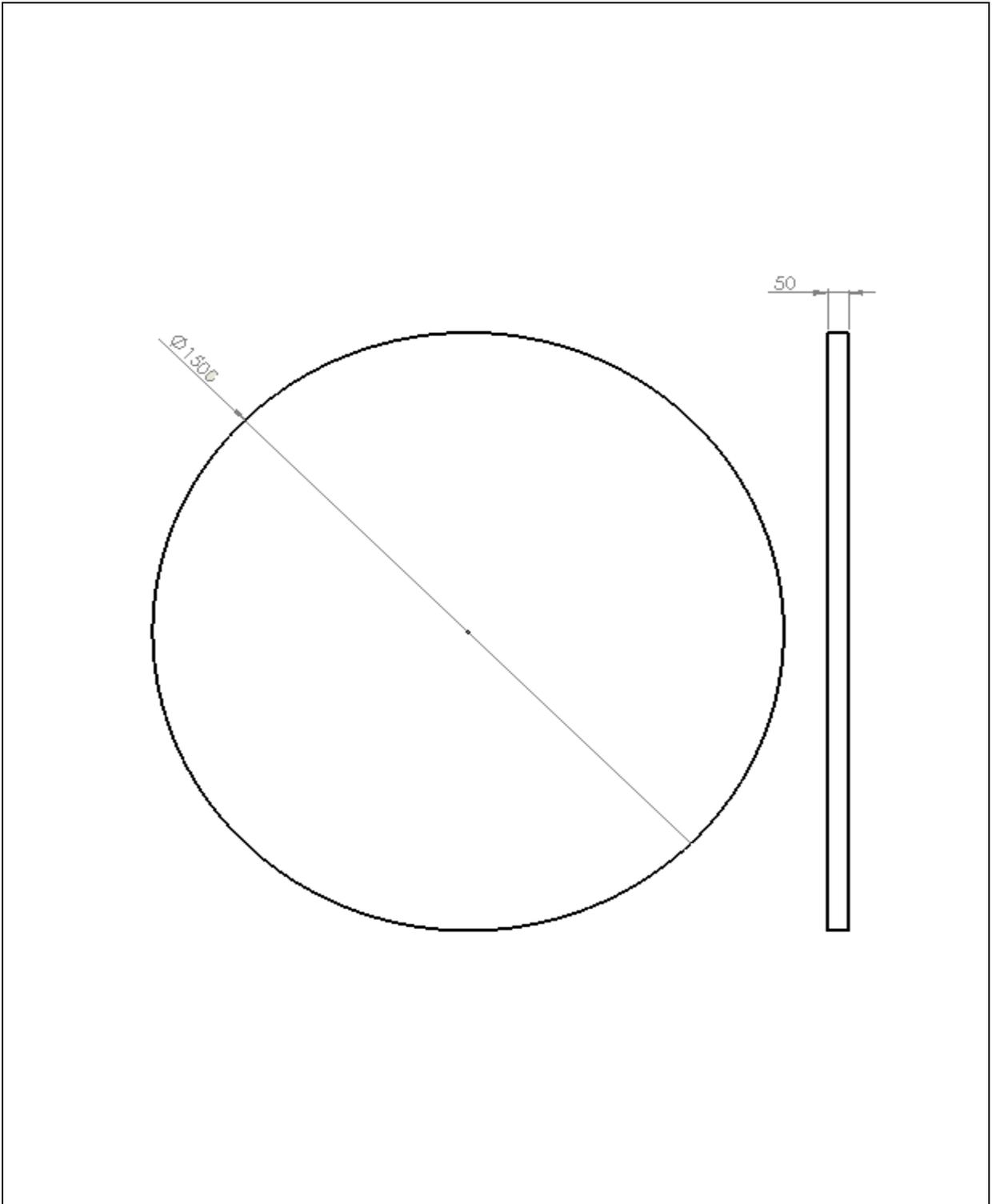
Designación		Radio interno de doblado mínimo ^a recomendado para espesores nominales (t) en mm		
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2	$t \leq 4$	$4 < t \leq 6$	$6 < t \leq 8$
S275JRC	1.0128	$1 t$	$1 t$	$1,5 t$

Tabla. 6

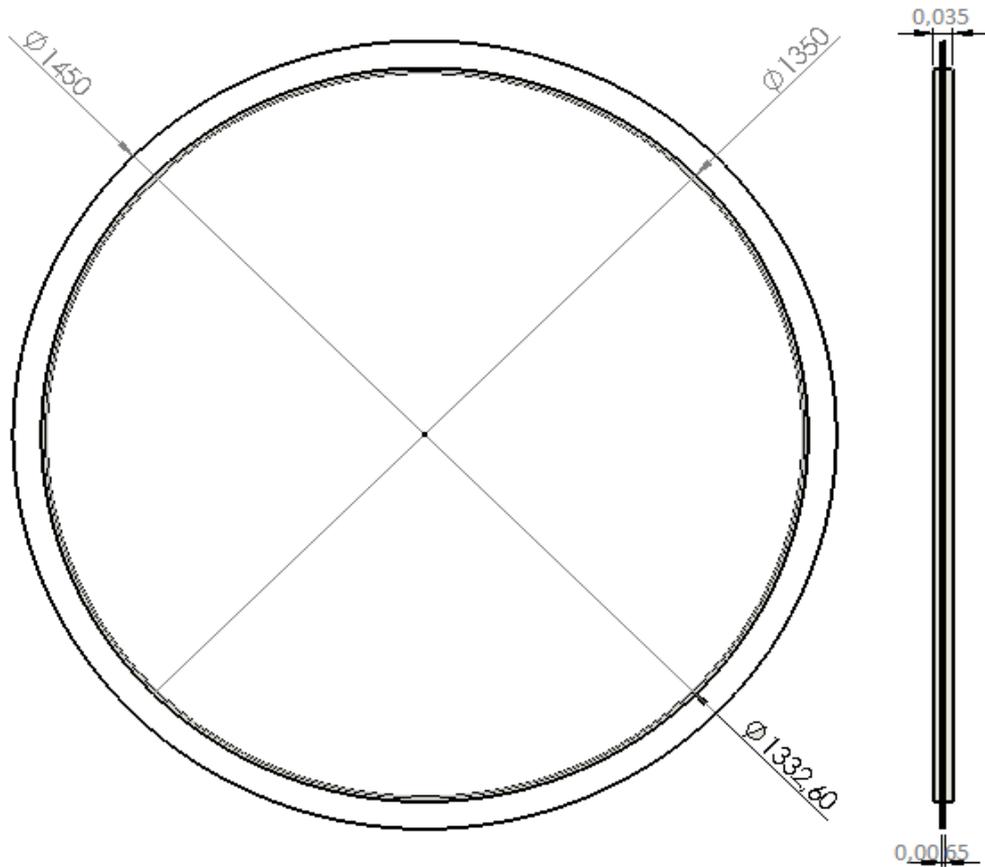
ANEXO II



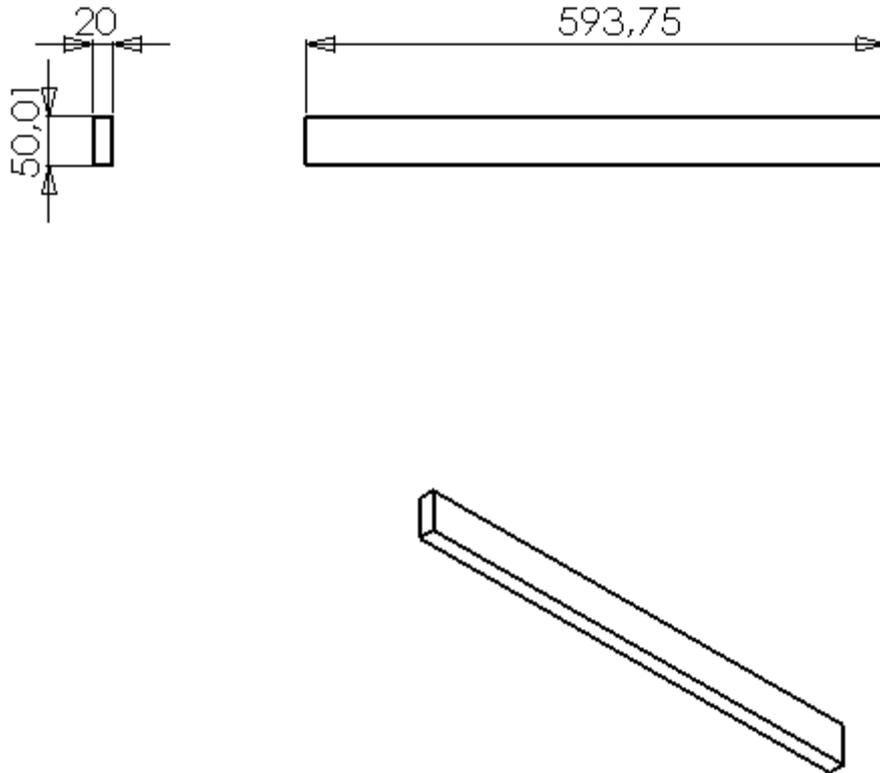
Fecha :	Nombre : Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLICTÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala : 1:30	DESIGNACION : PIEZA.1	N ° de plano : 4/7	



Fecha :	Nombre : Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLICTÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala :	DESIGNACION :	N ° de plano :	
1:10	PIEZA.2	5/7	



Fecha :	Nombre : Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLICTÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala :	DESIGNACION :	Nº de plano :	
1:10	PIEZA.3	6/7	



Fecha :	Nombre : Daniel Escámez Galián	Firma :	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BULBO			
Escala : 1:50	DESIGNACION : PIEZA.4	N ° de plano : 7/7	

BIOGRAFÍA

- ASKELAND, DONAL, R.(1998).*CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES*. México:Thomson Editores.
- ANDERSON, J.C.(1998).*CIENCIA DE LOS MATERIALES*.México: Limusa Editores.
- BUDINSKYB, K. *ENGINEERING MATERIALS*.
- CARLIER DE LAVALLE, M.(1985). *ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Y PROYECTO DEL BULBO DE PROA*.
- ECKERT, Et SHARMA S.D. (1973).*BOW BULBS FOR SLOW, FULL-FORM SHIPS*.
- FLIM, R.A.(1979).*MATERIALES DE INGENIERÍA Y SUS APLICACIONES*.
- INUIT, T.(1966).*THE BULBOUS BOW. A GLIMPSE OF ITS PAST AND PRESENT STATUS*.
- RHINOCEROS.(2011).(versión 4.0).
- SOLIDWORKS. (2012).(64 EDITION).
- TAYLOR, D.W.(1923).*INFLUENCE OF THE BULBOUS BOW ON RESISTANCE*.
- WAHAB, R.(1965). *RESEARCH ON BULBOUS BOW SHIPS.PART I:THE BEHAVIOUR OF A FAST CARGO LINEAR WITH A BULBOUS BOW IN A SEAWAY*.
- YIM, B.(1962). *ANALYSIS OF THE BULBOUS BOW ON SIMPLE SHIPS*.

-
- <http://nauticajonkepa.wordpress.com/2009/11/21/bulbo-de-proa/>
 - <http://us.123rf.com/400wm/400/400/jonathaneastland/jonathaneastland0801/jonathaneastland080100033/2319701-rusty-placas-de-acero-en-un-buque-del-bulbo-de-proa.jpg>
 - <http://www.microsiervos.com/images/knocknevis.jpg>
 - [http://nauticajonkepa.wordpress.com/2009/11/21\)bulbo-de-proa/](http://nauticajonkepa.wordpress.com/2009/11/21)bulbo-de-proa/)
 - www.ojodigital.com