



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

Grado en Arquitectura Naval e Ingeniería de Sistemas Marinos

**Optimización del proyecto de un
crucero de 250 pasajeros mediante el
diseño orientado a la producción**

Autor: Fco Javier Hernández Quereda

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez

Curso: 2018/2019



ÍNDICE GENERAL

CUADERNO 1: INTRODUCCIÓN

1. OPTIMIZACIÓN	10
1.1 Introducción	10
1.2 Evolución histórica de la optimización	10
1.3 Diseño orientado a fabricación y montaje	10
1.3.1 Contexto histórico	11
1.3.2 Síntesis del Diseño orientado a la Fabricación y al Montaje	11
1.3.3 Diseño orientado al montaje	11
1.3.4 Diseño orientado a la fabricación	12
2. CRUCEROS	12
2.1 Introducción	12
2.2 Evolución histórica de los cruceros	13
2.2.1 Período anteguerras de 1850 a 1914	14
2.2.2 Período entreguerras de 1918 a 1939	15
2.2.3 Período posguerras de 1945 a 1960	15
2.2.4 Periodo moderno de 1960 hasta nuestros días	15
2.3 El producto crucero	16
2.4 Instalación propulsora de un crucero	18
2.5 Distribución de espacios destinados al pasaje	18

CUADERNO 2: OBJETIVOS

1. OBJETIVOS	22
1.1 Objetivo principal	22
1.2 Objetivos secundarios	22
1.2.1 Estudio del estado actual de la industria de cruceros	22
1.2.2 Estudio de las líneas de mejora	23
1.2.3 Estudio del astillero constructor	24
1.2.4 Comparativa basada en el presupuesto	24

CUADERNO 3: BUQUE BASE

1. INTRODUCCIÓN	27
1.1 Descripción del buque base	27



1.2 Clasificación del buque base	28
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BUQUE BASE.....	29
3. DISPOSICIÓN GENERAL.....	29
3.1 División por cubiertas	29
3.1.1 Cubierta 0. fondo (puntal de 0 metros)	30
3.1.2 Cubierta 1. doble fondo (puntal de 1,5 metros)	30
3.1.3 Cubierta 2 (puntal de 5,3 metros)	30
3.1.4 Cubierta 3. cubierta principal (puntal de 8 metros)	31
3.1.5 Cubierta 4 (puntal de 10,7 metros)	31
3.1.6 Cubierta 5 (puntal de 13,8 metros)	32
3.1.7 Cubierta 6 (puntal de 16,5 metros)	32
3.1.8 Cubierta 7 (puntal de 19,2 metros)	32
3.1.9 Cubierta 8 (puntal de 22,3 metros)	33
3.2 Espacios de recreo/ocio.....	33
3.2.1 Cubierta 3.....	33
3.2.2 Cubierta 4.....	34
3.2.3 Cubierta 5.....	35
3.2.4 Cubierta 7.....	36
4. CÁMARA DE MÁQUINAS.....	36
4.1 Planta propulsora.....	37
4.2 Planta eléctrica	37

CUADERNO 4: DISEÑO DE LOS ESPACIOS DE OCIO

1. INTRODUCCIÓN.....	40
2. CRITERIOS SEGUIDOS EN EL DISEÑO.....	41
2.1 Mobiliario.....	41
2.2 Espacios de ocio	41
3. PROPUESTAS DE DISEÑO	42
3.1 Cubierta 3	42
3.1.1 Comedor de oficiales	42
3.1.2 Salón/comedor de la tripulación	43
3.2 Cubierta 4.....	43
3.2.1 Biblioteca	44



3.2.2 Bar.....	45
3.2.3 Salón principal	46
3.2.4 Comedor de pasaje.....	47
3.3 Cubierta 5	48
3.3.1 Salón de oficiales	48
3.4 Cubierta 7	49
3.4.1 Salón de reuniones	49
3.4.2 Salón secundario (Café).....	50

CUADERNO 5: ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN

1. CÁMARA DE MÁQUINAS DEL BUQUE BASE.....	53
2. INTRODUCCIÓN A LA PROPULSIÓN DIÉSEL ELÉCTRICA	55
2.1 Tipos de propulsión diésel-eléctrica.....	55
2.2 Ventajas de la propulsión diésel-eléctrica.....	55
3. POTENCIA TOTAL NECESARIA DEL BUQUE BASE	56
3.1 Potencia de la planta propulsora.....	56
3.2 Potencia de la planta eléctrica	60
3.2.1 Balance de día.....	61
3.2.2 Balance de noche	62
3.3 Resultados finales.....	62
3.3.1 Potencia total durante el día.....	62
3.3.2 Potencia total durante la noche	63
4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS	63
5. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS DIÉSEL GENERADORES	64
5.1 Opción primera.....	64
5.2 Opción segunda.....	65
5.3 Comparativa	67
5.3.1 Número de cilindros.....	67
5.3.2 Tamaño	67
5.3.3 Peso	68
5.3.4 Distribución en cámara de máquinas	69
5.4 Conclusiones	72
6. PROPULSORES AZIMUTALES COMO ALTERNATIVA.....	72



6.1 Introducción	72
6.2 Azimutales en buques de crucero	73
6.2.1 Beneficios de este sistema de propulsión.....	74
6.3 Azimutales en el buque base	74

CUADERNO 6: PROPUESTAS PARA EL ASTILLERO

1. INTRODUCCIÓN.....	80
1.2 El astillero tradicional	80
2. CRITERIOS ACTUALES DE DISEÑO DE LA PLANTA	81
2.1 Lean manufacturing.....	81
2.1.1 Origen de la gestión Lean	82
2.1.2 Objetivos de la gestión lean	83
2.1.3 Los desperdicios	83
2.1.4 Filosofía Lean	84
2.3 Herramientas Lean	85
2.3.1 Las 5S	85
2.3.2 Mantenimiento Productivo Total	87
2.3.3 Single-minute exchange of Die.....	87
2.3.4 Despliegue de la Función de Calidad	88
2.3.5 Kanban	88
2.4 Implicación del personal y respeto al trabajador.....	89
2.5 La mejora continua de productividad y calidad	90
3. IMPLANTACIÓN LEAN EN EL ASTILLERO	90
3.1 Distribución en planta en forma de “U”	90
3.2 Proceso productivo	91
3.3 Diseño orientado a la producción.....	92
3.4 Estandarización	93
4. INDUSTRIA 4.0.....	94
4.1 Introducción	94
4.3. Industria 4.0. Elementos.....	95
4.2 Industria 4.0. Objetivos y retos	95
4.2.1 Objetivos	95
4.2.2 Retos y desafíos	96



5. ASTILLERO 4.0	96
5.1 Internet de las cosas.....	97
5.2 Sistemas ciberfísicos o Sistemas de Integración	98
5.3 Simulación.....	99
5.4 Realidad aumentada	100
5.5 Robótica colaborativa.....	101
5.6 Fabricación aditiva (Impresión 3D)	101
5.7 Big Data y análisis.....	102
5.8 Cloud computing (Computación en la nube)	103
5.9 Ciberseguridad	103
6. CONCLUSIÓN	104

CUADERNO 7: PRESUPUESTOS

1. INTRODUCCIÓN.....	107
2. PRESUPUESTO DEL COSTE DE CONSTRUCCIÓN.....	109
2.1 (100) Estructura del casco	109
2.2 (200) Planta propulsora	111
2.3 (300) Planta eléctrica.....	114
2.4 (400) Comunicación y control.....	117
2.5 (500) Servicios auxiliares	117
2.6 (600) Equipo y habilitación.....	123
2.7 (800) servicios técnico	124
2.8 (900) Apoyo al buque durante la construcción	124
2.9 Personal dedicado a la obra.....	125
3. RESERVA DE GESTIÓN.....	127
4. CONCLUSIONES.....	129

CUADERNO 8: CONCLUSIONES

1. OBJETIVOS.....	133
2. CONCLUSIONES.....	133
2.1 Estudio del estado actual de la industria de cruceros	133
2.2 Estudio de las líneas de mejora	134
2.2.1 Diseño de los espacios de ocio	134



2.2.2 Alternativa del sistema de propulsión.....	134
2.3 Estudio del astillero constructor	134
2.4 Comparativa basada en el presupuesto.....	134
3. BIBLIOGRAFÍA	136



*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 1

INTRODUCCIÓN



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. OPTIMIZACIÓN	10
1.1 Introducción	10
1.2 Evolución histórica de la optimización	10
1.3 Diseño orientado a fabricación y montaje.....	10
1.3.1 Contexto histórico.....	11
1.3.2 Síntesis del Diseño orientado a la fabricación y montaje	11
1.3.3 Diseño orientado al montaje	11
1.3.4 Diseño orientado a la fabricación	12
2. CRUCEROS	12
2.1 Introducción	12
2.2 Evolución histórica de los cruceros.....	13
2.2.1 Período anteguerras de 1850 a 1914	14
2.2.2 Período entreguerras de 1918 a 1939.....	15
2.2.3 Período posguerras de 1945 a 1960	15
2.2.4 Periodo moderno de 1960 hasta nuestros días	15
2.3 El producto crucero	16
2.4 Instalación propulsora de un crucero	18
2.5 Distribución de espacios destinados al pasaje.....	18



1. OPTIMIZACIÓN

1.1 Introducción

“Buscar la mejor manera de realizar una actividad” Así es como la Real Academia de la Lengua Española define el concepto “optimizar”. De modo que, aplicando dicho concepto al mundo naval y concretamente al Astillero, lo que se busca es ser capaz de lograr las metas propuestas de la manera más eficiente posible mediante una buena reorganización y planificación de los medios disponibles en dicho Astillero, así como de la reducción de todos los costos innecesarios con el fin último de incrementar los beneficios.

Al hablar de optimización de recursos, de lo que estamos hablando realmente es que los recursos humanos, materiales y técnicos de los que se disponen en el Astillero reflejen los mejores resultados posibles en la construcción de cualquier embarcación. Esto nos obliga a mencionar el concepto de productividad, que habla justamente de la cualidad de aprovechar de la mejor forma los recursos de los que se disponen. Por tanto, no es más productivo el astillero que más recursos posea sino, por el contrario, aquel que mejores resultados obtenga.

1.2 Evolución histórica de la optimización

Hablar de la evolución histórica de la optimización es hablar de la nueva revolución industrial o Revolución industrial 4.0.

Tras la invención de la máquina de vapor así como de la mecanización (Primera Revolución Industrial), seguido de la producción en masa a través del uso de energía eléctrica (Segunda Revolución Industrial), y tras el uso de la electrónica e informática para promover la producción automatizada (Tercera Revolución Industrial), esta nueva Revolución Industrial se basa en las fábricas inteligentes, las cuales se caracterizan por la interconexión entre sistemas y máquinas en el mismo enclavamiento de la producción. En este contexto hablamos pues de la Industria 4.0. Que además de lo expuesto anteriormente también se caracteriza por promover el intercambio de información con los propios clientes, así como con competidores u otras fábricas inteligentes.

Así pues, la Industria 4.0 se aplica perfectamente al Astillero, en lo que se denomina Astillero 4.0, el cual se tratará con mayor detalle en un capítulo posterior.

1.3 Diseño orientado a fabricación y montaje

El diseño orientado a la fabricación y el montaje (*Design For Manufacturing and Assembly*, DFMA) se define como la capacidad para fabricar y desarrollar, de la manera más eficiente posible y aun precio asequible, productos de una alta calidad que complazcan plenamente las expectativas del cliente. Todo ello con el objetivo de lograr una competitividad y rentabilidad global duradera.



Sin embargo, hay que tener muy en cuenta la rapidez con la que cambia el mercado, esto implica que procedimientos que ayer funcionaban correctamente hoy pueden no ser válidos. Así pues y en este contexto, el diseño orientado a la fabricación y el montaje juega un papel vital.

1.3.1 Contexto histórico

En las primeras etapas del diseño y fabricación, la máxima en la ingeniería secuencial era la de “yo diseño, tú produces”. Este método dio grandes resultados en la producción del famoso Modelo T de Ford a comienzos del siglo XX. Sin embargo, conforme las empresas se fueron haciendo más grandes con sus consiguientes expansiones a otros continentes, también lo fueron haciendo las limitaciones y los problemas de la ingeniería secuencial, como los desafíos que implicaba el tener a distintos departamentos ya no bajo el mismo techo, sino en países diferentes. Así pues, procedimientos vitales como son la colaboración y la comunicación eran prácticamente inexistentes, lo que trajo consigo que muchos diseños fueran simplemente imposibles de fabricar. Era por tanto necesaria la creación de un nuevo método de ingeniería que estuviera directamente enfocado en la colaboración, el trabajo en equipo y en el intercambio de información entre los distintos departamentos encargados de las labores del diseño de productos.

Seguramente, el método más potente es el DFMA, Diseño orientado a la Fabricación y al Montaje.

1.3.2 Síntesis del Diseño Orientado a la Fabricación y al Montaje

DFMA es un conjunto de principios y metodologías que guían el diseño proactivo de productos para optimizar todas las funciones durante la vida útil de los mismos.

La reducción del tiempo y de los costes son dos de los factores más decisivos para que una compañía sea exitosa. Aspectos tan vitales como el coste y las causas que traen consigo esos costes suelen pasar desapercibidos por parte de los diseñadores, siendo el motivo de esto el no tener un método contrastado con el que poder entender y gestionar dichos costes. Y es aquí donde entra en juego el DFMA, ya que proporciona una gran ayuda a los equipos de proyectos en las tareas de análisis y comprensión de los costes originados por sus decisiones en cualquier momento del desarrollo del diseño del producto.

DFMA está compuesto de dos metodologías complementarias: Diseño orientado al Montaje (*Design for Assembly, DFA*) y Diseño orientado a la Fabricación (*Design for Manufacturing, DFM*).

1.3.3 Diseño orientado al montaje

DFA es una técnica muy útil, cuyo valor reside en la simplificación de los productos, es decir, identificar y eliminar aquellas piezas que resultan innecesarias, así como también costes de fabricación y montaje incensarios. De esta forma también se disminuyen

aquellos costes debidos a mantenimientos, compras y aprovisionamiento, ya que al simplificar los productos el número de piezas será menor.

1.3.4 Diseño orientado a la fabricación

La principal ventaja del DFM es la de poder permitir a los ingenieros tener una previsión de los costes de producción en la etapa inicial de diseño. La otra gran ventaja es que anima a los equipos de ingenieros a investigar y utilizar diferentes formas y materiales en sus diseños con el fin de que se puedan fabricar de manera más económica. Esta directriz es ilustrada a través de un sencillo ejemplo en la Figura 1.1.

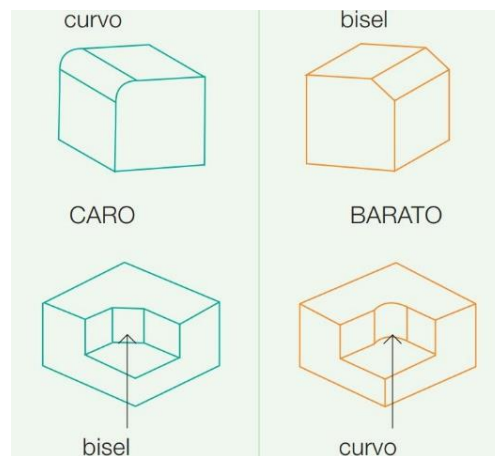


Figura 1.1. Ejemplo sencillo de DFM

Tanto DFA como DFM utilizan unidades usuales y sistemas métricos de fácil lectura (por ejemplo, segundos, dólares), facilitando a los ingenieros evaluar las alternativas de diseño y montaje y estimar rápidamente los costes y tiempos de producción.

2. CRUCEROS

2.1 Introducción

Este tipo de buques, además de cumplir con la función principal de la gran mayoría de los buques, el transporte marítimo, también lo hacen con la función de alojamiento, confiriéndoles el estatus de hotel flotante. Sin embargo, con el paso del tiempo esta última función ha ido evolucionando hasta tal punto que estos buques pueden ser considerados como “resorts” debido a la gran variedad de instalaciones que alojan en su interior, tales como casinos, piscinas, restaurantes, etc.

Al igual que los hoteles en tierra, los buques de crucero se dividen por tamaños y segmentos.



Respecto al tamaño, hay cruceros de pequeño tamaño, aquellos con una capacidad próxima a los 100 pasajeros, centrados más en la exclusividad y en destinos más exóticos. Por otro lado también hay mega-cruceros con capacidad de 5.400 pasajeros, centrados más en mercados de carácter más general y amplio. Además del pasaje también hay que tener en cuenta a la tripulación, vital para el correcto desempeño de las labores del buque, de modo que esto tan solo hace aumentar más si cabe la complejidad de estos grandes buques.

En cuanto a los segmentos, estos guardan una estrecha relación con la proporción de pasajeros y tripulantes. Estos segmentos van desde el más alto, que es el de lujo, el cual guarda una relación de un tripulante por cada pasajero aproximadamente hasta el “*contemporary*”, que tiene una relación de 1 tripulante por 3-4 pasajeros. Estos segmentos son claros condicionantes del coste del pasaje así como también lo es el tipo de camarote, el cual variará en el precio atendiendo a dos parámetros, la disponibilidad de tener vistas al mar y la amplitud de dicho camarote.

Respecto a la demanda, el buque de crucero en particular y el turismo de cruceros en general gozan de una gran flexibilidad puesto que son capaces de trasladarse allí donde se halla la demanda. Sin embargo, las enormes inversiones que hacen falta para construir cruceros así como los tiempos de proyecto y construcción hacen que la oferta no pueda crecer de forma rápida en un corto periodo de tiempo. Todo esto hace que resulte difícil que nuevos actores puedan acceder a este mercado.



Figura 1.2. Buque tipo crucero de la compañía Disney Line Cruise

2.2 Evolución histórica de los cruceros

El turismo de cruceros nace de la fusión del transporte marítimo de pasajeros y de la industria del ocio. En 1818 la naviera neoyorkina *Black Ball Line* se convierte en la primera en ofrecer un servicio regular desde EEUU con destino a Inglaterra, así como también en preocuparse por la comodidad del pasaje. De esta forma se puede decir que la



industria del crucero ya existía para principio del siglo XIX pero desde luego no de la forma en la que se concibe hoy día.

La historia de la industria del crucero a partir de 1850 hasta nuestros días puede dividirse en cuatro periodos marcados por hechos históricos que establecieron pautas tanto en la industria del crucero como en la del transporte marítimo de pasajeros.

2.2.1 Período anteguerras de 1850 a 1914

A diferencia de como se había hecho en el pasado, durante este periodo se dejó de atender de forma exclusiva a los contratos de correo o de carga en pro de los pasajeros, incorporando además una serie de lujos tales como un mayor espacio en cubiertas, alumbrado eléctrico e instalaciones destinadas al entretenimiento.

La famosa tercera clase albergaba a aquellos pasajeros obligados a viajar movidos por la necesidad, teniendo como destino principal EEUU. Así pues, durante este periodo un crucero era cohabitado por los turistas que viajaban por ocio y los pasajeros que lo hacían por necesidad.

En la Alemania de principios del siglo XX nace el concepto de “*superliner*”, hoteles flotantes y lujosos diseñados con el principal objetivo de reducir en la medida de lo posible las incomodidades derivadas de un viaje oceánico.

La célebre compañía *White Star Line* presentó los barcos de pasajeros más lujosos vistos hasta la fecha, el *Titanic* y el *Olympic*.



Figura 1.3. Titanic y Olympic juntos en el puerto de Belfast el 6 de Marzo de 1912



El estallido de la Primera Guerra Mundial supone parón drástico en las nuevas construcciones de estos buques, empleándose muchos de los antiguos en el necesario transporte de tropas.

2.2.2 Período entreguerras de 1918 a 1939

El concepto de crucero marítimo turístico tal y como se conoce hoy día nace en este periodo, considerado como el de los años dorados para estos buques.

Las navieras de pasajeros más notorias comenzaron a irrumpir en la industria entre los años 1920 y 1930. Europa se convirtió en el reclamo turístico favorito de los turistas estadounidenses, los cuales fueron reemplazando a los pasajeros inmigrantes. La publicidad jugó un papel muy importante en el rápido crecimiento de la industria.

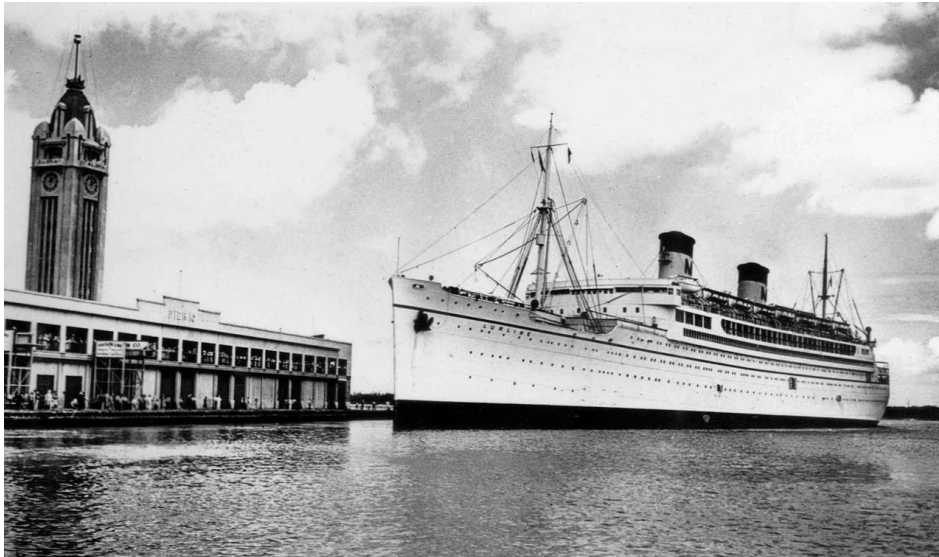


Ilustración 1.4. El SS Lurline atracando en Honolulu en los años 30

2.2.3 Período posguerras de 1945 a 1960

Al igual que había ocurrido durante la Gran Guerra, la industria quedó totalmente interrumpida durante la Segunda Guerra Mundial. Tras la guerra, la irrupción de los viajes aéreos puso fin al negocio transatlántico para los buques, trayendo consigo la quiebra de muchas navieras y la consiguiente venta de los buques de pasaje.

2.2.4 Período moderno de 1960 hasta nuestros días

Los últimos transatlánticos pasaron a convertirse en los primeros cruceros, pero con el tiempo la flota de estos buques dejó de ser comercialmente justificable, iniciando así una reconversión que acabaría dando lugar a la primera flota de cruceros.

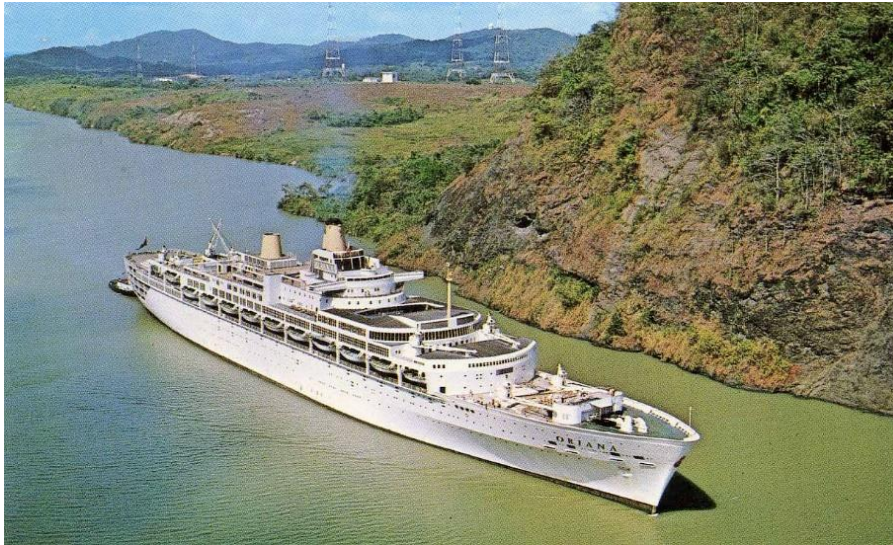


Figura 1.5. El SS Oriana cruzando el Canal de Panamá el 30 de diciembre de 1971.

En los años 60 comienzan a aparecer las compañías modernas principales tales como *Royal Caribbean Cruise Line* o *Carnival*, con buques diseñados únicamente para el turismo de cruceros y centrándose en viajes con destino al Caribe, consolidando así una imagen de “*Fun Ship*”, un fuerte reclamo para todos aquellos pasajeros que no pudieron viajar en los famosos “*superliners*” de los años 30 y 40.

La industria del crucero en su etapa inicial con respecto a la de nuestro días no podría ser más diferente. La principal diferencia es la existencia de una única clase con acceso sin ningún tipo de restricción a todas las instalaciones del buque y unos comedores comunes. Siendo la única distinción entre los propios pasajeros la referente al tamaño de sus camarotes, así como el lujo y la ubicación de estos. O dicho de otra forma, la única distinción entre el pasaje viene condicionada no por la calidad del servicio sino por el tipo de alojamiento.

2.3 El producto crucero

El crucero turístico actual fusiona dos funciones elementales como son la del transporte y la del alojamiento. Dado que sus instalaciones dedicadas al ocio no dejan de crecer con el correr del tiempo, es correcto referirse a estos buques como auténticos resorts marinos más que hoteles flotantes normales. Y es que incorporan todo un abanico de instalaciones más propio de un verdadero resort, como son por ejemplo: cine, casino, biblioteca, spa, etc. La principal ventaja a la par que diferencia sobre el convencional resort terrestre radica en la flexibilidad del modelo de negocio, ya que el crucero puede desplazarse allí donde sea necesario.

Hay dos tipos de cruceros en función del entorno de navegación por el que se desplazan. Por un lado están los cruceros fluviales, los cuales transitan por vías navegables tierra



adentro y/o ríos. Por otro lado se encuentran los cruceros oceánicos o marítimos, los cuales discurren por mares u océanos.



Figura 1.6. Crucero fluvial MS Douce France

Además del entorno de navegación, la distinción principal entre ambos tipos de buques reside en el tipo de buque utilizado, y es que aquellos empleados como cruceros fluviales son diametralmente opuestos a los de cruceros oceánicos o marítimos.

Los buques empleados como cruceros fluviales tienen normalmente un fondo plano, además de unas dimensiones menores debido a las limitaciones que exigen las rutas que transitan así como la profundidad de los ríos. En cuanto a la capacidad, estos buques pueden rondar desde los 70 a los 300 pasajeros, lo cual supone una gran diferencia con respecto a los buques de navegación oceánica, que pueden albergar más de 3.000 pasajeros.



Figura 1.7. MSC Seaside, un gran crucero marítimo con capacidad para 5200 pasajeros



Debido a las restricciones exigidas por el lecho de los ríos, los cruceros fluviales experimentan velocidades menores a las de los cruceros marítimos, lo cual facilita una mejor apreciación del paisaje. Esto hace que los cruceros fluviales adquieran un carácter más cultural y paisajista, enriqueciendo notablemente así la experiencia del viaje.

2.4 Instalación propulsora de un crucero

Las alternativas más empleadas en cruceros son las siguientes:

- Propulsión mecánica: Mediante motores semirrápidos, los cuales se conectan a una hélice de paso variable a través de una reductora.
- Propulsión eléctrica: Mediante un grupo motor-generator que alimenta un motor eléctrico acoplado al propulsor.

Tipos de propulsor utilizados:

- Hélices de paso variable.
- Hélices de paso fijo.
- Propulsores azimutal.

Aunque se trata de la opción que implica una considerable dificultad constructiva y por ende una considerable inversión inicial, el tipo de propulsor más utilizado en los buques de crucero es el de paso variable. Y lo es por las siguientes razones:

- Posibilita optimizar el punto de funcionamiento de la hélice. Es posible obtener el valor del paso que maximiza el rendimiento total para cada velocidad y, por ende, hace ínfima la potencia requerida, lo que resulta en un ahorro de combustible.
- Evita el recargo de los motores de una línea de ejes cuando se produce una parada en la otra línea de ejes.
- Aumenta la maniobrabilidad de la embarcación. Esto es debido a la posibilidad de gobernar el paso sin la obligación de que el motor sea reversible.

2.5 Distribución de espacios destinados al pasaje

Un indicativo del rango de calidad de los buques de crucero es el referente a los metros cuadrados designados a espacios públicos por persona. En el caso de los espacios públicos interiores estos pueden ser de hasta 12 metros cuadrados por persona en buques de pequeño tamaño y del orden de 6 metros cuadrados por persona en el caso de los de gran tamaño. Para el caso de los espacios públicos exteriores, los metros cuadrados designados a dichos espacios suelen ser la mitad de los espacios interiores.

Resulta significativo mencionar que en los últimos tiempos el número de camarotes exteriores en este tipo de buques ha ido creciendo de forma exponencial hasta tal punto de que un crucero con un número de camarotes exteriores inferior al 70% resulta extraño.

A modo de conclusión hay una clara diferencia entre los cruceros destinados al Caribe y los destinados al Mediterráneo, dos de los destinos más populares en la industria del



crucero. Y es que lo realmente importante en el caso de los destinados al Caribe es todo aquello presente en el propio buque así como las actividades de ocio organizadas a bordo. Mientras que en los buques que tienen al Mediterráneo por destino lo destacable son los puertos en los que atracan o que se visitan, ya sea por su historia o su arte.

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 2

OBJETIVOS



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. OBJETIVOS	22
1.1 Objetivo principal.....	22
1.2 Objetivos secundarios	22
1.2.1 Estudio del estado actual de la Industria de Cruceros.....	17
1.2.2 Estudio de las líneas de mejora.....	23
1.2.3 Estado del astillero constructor	24
1.2.4 Comparativa basada en el presupuesto	24

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo principal

El objetivo principal del presente TFG (trabajo de fin de grado) es el **de mejorar la competitividad en la construcción de cruceros**, concretamente cruceros marítimos de pequeño tamaño, los cuales forman parte de una nueva tendencia reflejada en los últimos encargos de las navieras de cruceros.

1.2 Objetivos secundarios

Para conseguir cumplir con el objetivo principal del TFG se busca cumplir previamente una serie de objetivos secundarios.

1.2.1 Estudio del estado actual de la industria de cruceros

Según las previsiones de La Asociación Internacional de Líneas de Cruceros (*Cruise Lines International Association*, CLIA) el número de viajeros para el año 2019 alcanzará los 30 millones, superando así la barrera de los 28 marcada en el 2018. Más destacable aún es el hecho de que el número de pasajeros no ha dejado de aumentar en la última década.

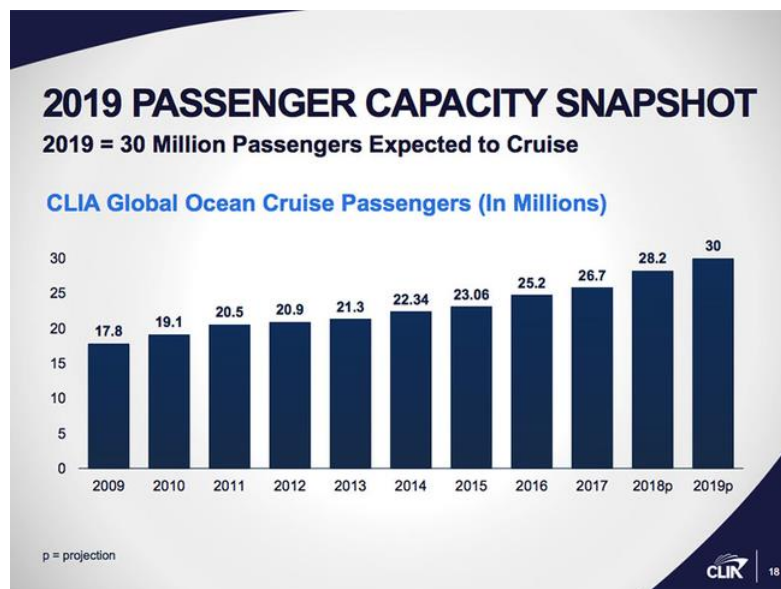


Figura 2.1. Estimaciones de pasaje para 2019 según CLIA

La industria del crucero está por tanto en un momento de gran crecimiento, generando un impacto positivo en la economía global y en el interés de los consumidores. En este contexto de bonanza y crecimiento que vive dicha industrias, un gran número de estos buques han sido encargados para su construcción en los diferentes astilleros europeos.



Figura 2.2. Astilleros que construyen grandes barcos para cruceros en Europa

Llegados a este punto resulta importante mencionar la nueva tendencia que se está experimentando en la construcción de buques de cruceros. Esta tendencia es la de la búsqueda de barcos con menor número de pasajeros, así como menor tamaño pero en pro de una mejor calidad de servicio y de espacios. Así pues, el buque base del presente TFG, con una capacidad para 250 pasajeros y 125 tripulantes, así como una eslora total de 140 metros, se engloba dentro de dicha tendencia.

1.2.2 Estudio de las líneas de mejora

Las dos líneas de mejora propuestas han sido:

- Diseño de los espacios de ocio
- Alternativas del sistema de propulsión

En la **primera línea de mejora** se va a proponer una alternativa de diseño orientada a la producción de los 9 espacios de ocio del buque base, buscando como objetivo de dicha propuesta un ahorro y simplificación del riesgo en la cadena logística.

En la **segunda línea de mejora** se va a proponer una alternativa para el sistema de propulsión del buque base, concretamente el paso de cuatro grandes motores diésel a una propulsión diésel-eléctrica. Buscando como objetivo de dicha propuesta un ahorro en costes, tiempo y mantenimiento.



1.2.3 Estudio del astillero constructor

Otro de los objetivos secundarios va a ser el de proponer una optimización del astillero constructor, aplicando para ello la filosofía Lean Manufacturing y mejorando la distribución en planta de dicho astillero. Buscando como fin último la obtención de un flujo continuo en la construcción, así como la adaptación del astillero a la Industria 4.0, formando el Astillero 4.0 o Astillero inteligente y rompiendo con la obsoleta dinámica de los astilleros tradicionales.

1.2.4 Comparativa basada en el presupuesto

En este punto se va a llevar a cabo una estimación del coste de construcción tanto del buque base como del buque incorporando las alternativas propuestas en la dos líneas de mejora. Para finalmente realizar una comparativa entre ambos presupuestos, buscando como objetivo una reducción del coste en la construcción del buque incorporando las mejoras frente al buque base.



Gráfico 2.1. Objetivos

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 3

BUQUE BASE



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	27
1.1 Descripción del buque base	27
1.2 Clasificación del buque base	28
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BUQUE BASE.....	29
3. DISPOSICIÓN GENERAL.....	29
3.1 División por cubiertas	29
3.1.1 Cubierta 0. fondo (puntal de 0 metros)	30
3.1.2 Cubierta 1. doble fondo (puntal de 1,5 metros)	30
3.1.3 Cubierta 2 (puntal de 5,3 metros)	30
3.1.4 Cubierta 3. cubierta principal (puntal de 8 metros)	31
3.1.5 Cubierta 4 (puntal de 10,7 metros)	31
3.1.6 Cubierta 5 (puntal de 13,8 metros)	32
3.1.7 Cubierta 6 (puntal de 16,5 metros)	32
3.1.8 Cubierta 7 (puntal de 19,2 metros)	32
3.1.9 Cubierta 8 (puntal de 22,3 metros)	33
3.2 Espacios de recreo/ocio	33
3.2.1 Cubierta 3.....	33
3.2.2 Cubierta 4.....	34
3.2.3 Cubierta 5.....	35
3.2.4 Cubierta 7.....	36
4. CÁMARA DE MÁQUINAS.....	36
4.1 Planta propulsora.....	37
4.2 Planta eléctrica	37

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la falta de información necesaria y en vista de la gran dificultad para encontrar los planos de distribución general de un buque tipo crucero en servicio, indispensables para el diseño de los espacios de recreo, se ha tomado la decisión de utilizar como buque base un proyecto de crucero llevado a cabo por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid.

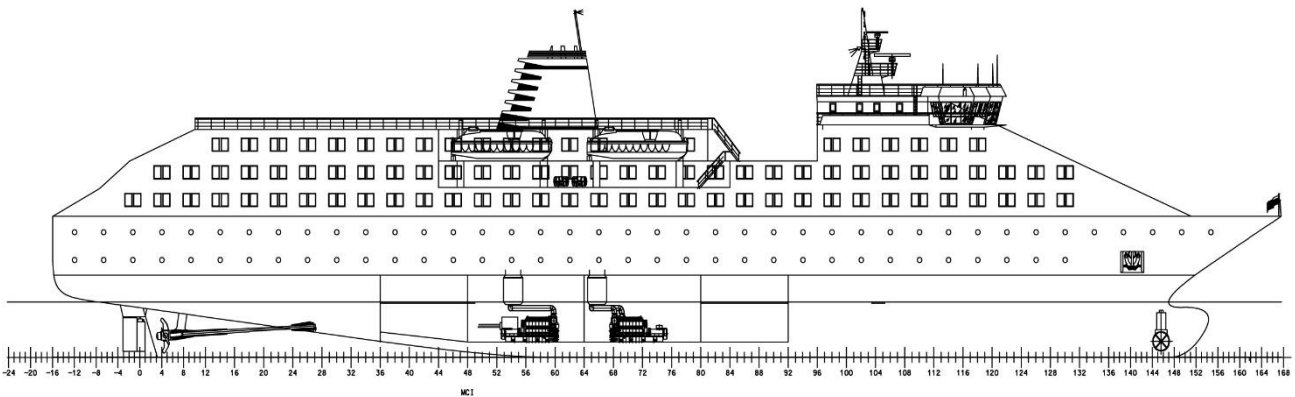


Figura 3.1. Perfil del buque de estudio

1.1 Descripción del buque base

Dicho buque base es un crucero con capacidad para 250 pasajeros y 125 tripulantes, sin ningún tipo de restricción en sus rutas de navegación.

El pasaje se distribuye de la siguiente forma, siendo un 80 % de los camarotes exteriores:

- 4 suites dobles.
- 26 camarotes dobles de $25 m^2$.
- 98 camarotes dobles de $14 m^2$.

En cuanto a la tripulación, la habilitación de esta se distribuye de la siguiente forma:

- 3 camarotes de $40,88 m^2$ para Capitán, Armador y Jefe de Máquinas.
- 12 camarotes sencillos de $14 m^2$.
- 36 camarotes cuádruples de $28 m^2$.

La clasificación del buque se ha llevado a cabo por Det Norske Veritas, atendiendo a los siguientes criterios:

- Cámara desatinada.
- Clean Sea.
- Comfort 1.
- Redundancia RPS.



Cumpliendo asimismo con los convenios internacionales para la seguridad de la vida humana en la mar (SOLAS) y de contaminación marítima (MARPOL).

El buque, que alcanza una velocidad de 19 nudos a plena carga y al 85 % MCR, admite un peso muerto de 2000 toneladas. En cuanto a la autonomía de este será de 4000 nm al 85 % MCR y con un 20 % de margen de servicio.

1.2 Clasificación del buque base

Por la capacidad de su pasaje podría encajar en los estándares de un crucero fluvial, en los que la capacidad del pasaje oscila entre los 70 y 300 pasajeros, frente a los más de 3000 que puede transportar un buque de navegación oceánica o marítima. Sin embargo atendiendo al ámbito de navegación, el buque de estudio es un crucero marítimo concebido para realizar recorridos por Europa.



Figura 3.2. Star Pride, un crucero con proporciones similares a las del buque base

Aunque el número de pasajeros del buque es reducido, no lo es el espacio destinado a cada pasajero, el cual se presenta por encima de la media, tanto en superficie de espacios públicos como en tamaño de camarotes. En vista de estas peculiares características, este crucero puede considerarse singular frente a los comunes cruceros marítimos a los que estamos acostumbrados.

Se trata pues de un buque englobado más al sector de lujo, no enfocado tanto en la gran variedad y cantidad de los servicios que pudiera ofrecer un gran crucero, sino en un servicio más personal y específico, buscando así el mayor confort y lujo posible para el pasaje. Haciendo de esta forma que la experiencia sea mucho más completa, tanto en el interior del propio buque, como fuera de este, proporcionando una mejor calidad en las visitas culturales, debido a la ventaja que otorga un menor tamaño del buque para poder atracar en puertos remotos que no pueden acomodar a los grandes cruceros. Todas estas atribuciones enriquecen tanto el viaje como la experiencia a bordo.



Figura 3.3. Un pequeño crucero atracado junto al Celebrity Reflections de 3000 pasajeros

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BUQUE BASE

MAGNITUD	VALOR	UNIDAD
Eslora total	139,132	m
Eslora de flotación	123,225	m
Eslora entre perpendiculares	116,532	m
Manga	22,350	m
Puntal hasta la cubierta principal	8	m
Puntal hasta la cubierta superior	22,410	m
Calado de proyecto	5,400	m
Peso en rosca	6.614	T
Toneladas de peso muerto	2.000	T
Desplazamiento	8.614	T
Coefficiente de bloque	0,598	
Coefficiente de la maestra	0,983	
Coefficiente de flotación	0,800	
Coefficiente prismáticos	0,606	
Velocidad de servicio	19	kn

Tabla 3.1. Características generales del buque base

3. DISPOSICIÓN GENERAL

3.1 División por cubiertas

El buque se divide en ocho cubiertas, cumpliendo cada una de ellas con unas funciones, las cuales se definen brevemente a continuación.

3.1.1 Cubierta 0. fondo (puntal de 0 metros)

En ella se sitúan todos aquellos tanques que no requieren disposiciones especiales, séase tanques de aceite, lodos, aguas grises y aguas negras.

En los laterales del doble fondo se instalarán los tanques de lastre necesarios para la correcta navegación del buque en las distintas condiciones.

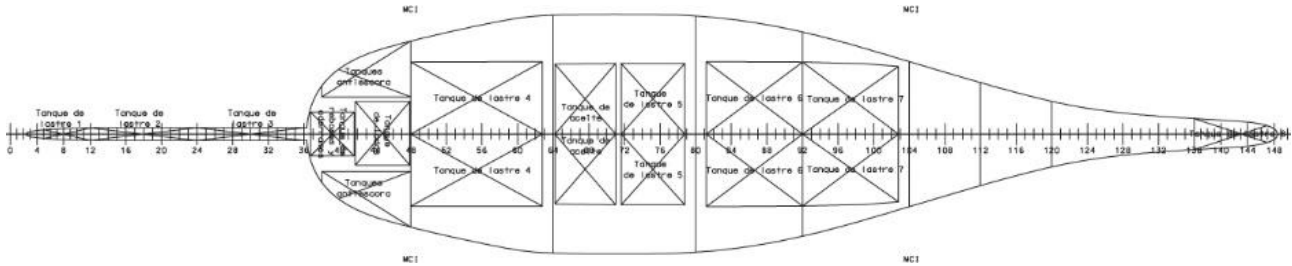


Figura 3.4. Cubierta 0

3.1.2 Cubierta 1. doble fondo (puntal de 1,5 metros)

En esta se encuentran tanto los Motores principales como las Máquinas auxiliares, así como los tanques antiescora, de sedimentación, de agua dulce y de almacén de fuel oil.

Un aspecto a tener en cuenta en dicha cubierta es que los compartimentos destinados a los motores principales y a las máquinas auxiliares han de ocupar la altura de dos cubiertas. Esto es debido a las grandes dimensiones de estos equipos.

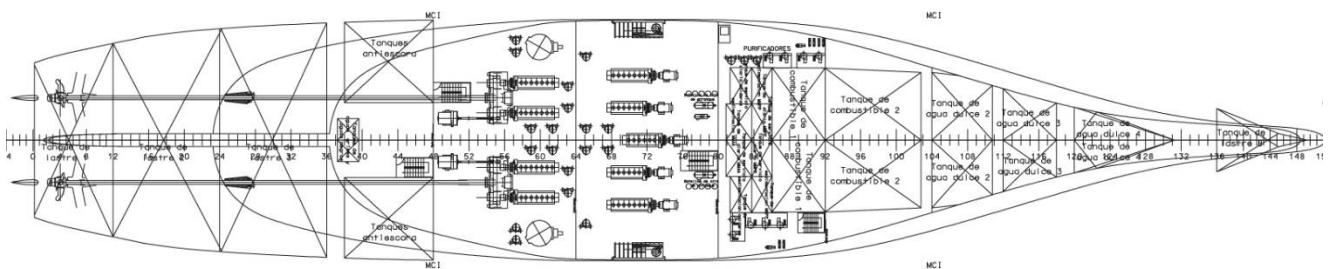


Figura 3.5. Cubierta 1

3.1.3 Cubierta 2 (puntal de 5,3 metros)

Dicha cubierta consta de:

- 10 camarotes dobles para la tripulación.
- 10 camarotes cuádruples para la misma.
- Espacios contraincendios.

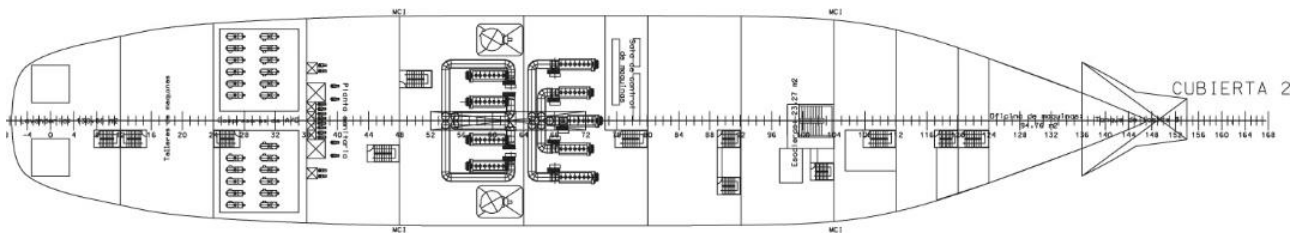


Figura 3.6. Cubierta 2

3.1.4 Cubierta 3. cubierta principal (puntal de 8 metros)

Cubierta destinada a los siguientes espacios:

- Comedor de oficiales.
- Salon/Comedor/Estar de la tripulación.
- Cocina de pasaje y tripulación

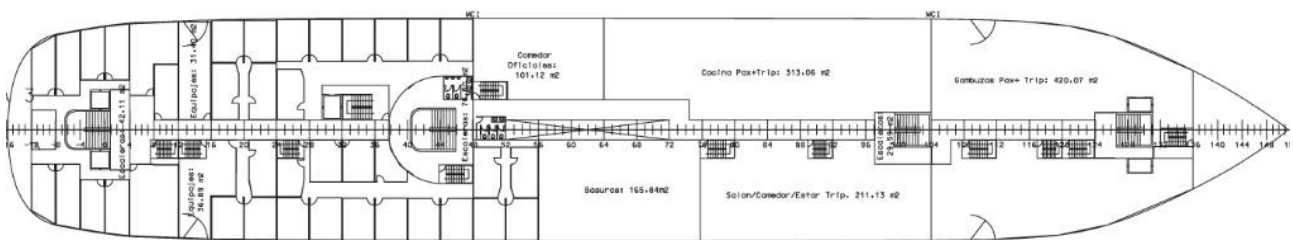


Figura 3.7. Cubierta 3

3.1.5 Cubierta 4 (puntal de 10,7 metros)

Cubierta plenamente dedicada a los salones de pasaje, además de los equipos de amarre situados a popa y a proa.

Los espacios de ocio presentes en esta cubierta serán tratados con más más adelante.

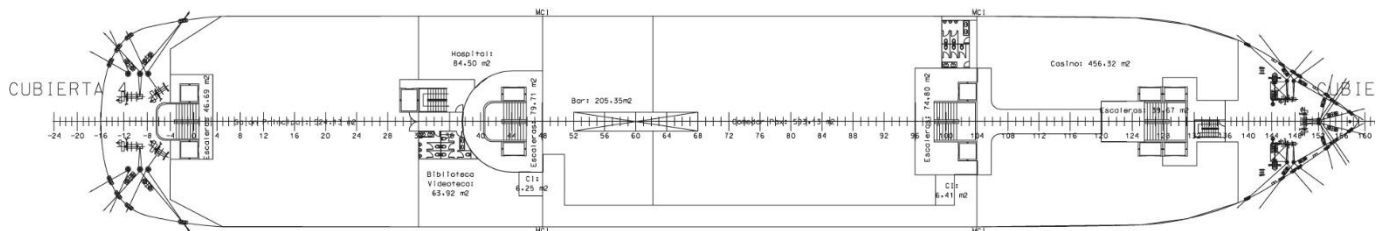


Figura 3.8. Cubierta 4

3.1.6 Cubierta 5 (puntal de 13,8 metros)

Cubierta destinada a habitación de pasaje, salvo por el salón para oficiales, situado a popa.

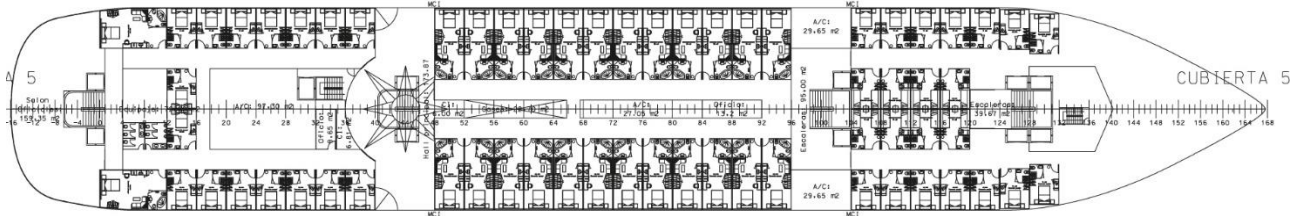


Figura 3.9. Cubierta 5

3.1.7 Cubierta 6 (puntal de 16,5 metros)

Cubierta destinada exclusivamente a camarotes de pasaje y zona de botes.

La zona central es utilizada para el embarque de los botes. Estas zonas de embarque se aprovechan además como zonas de paseo.

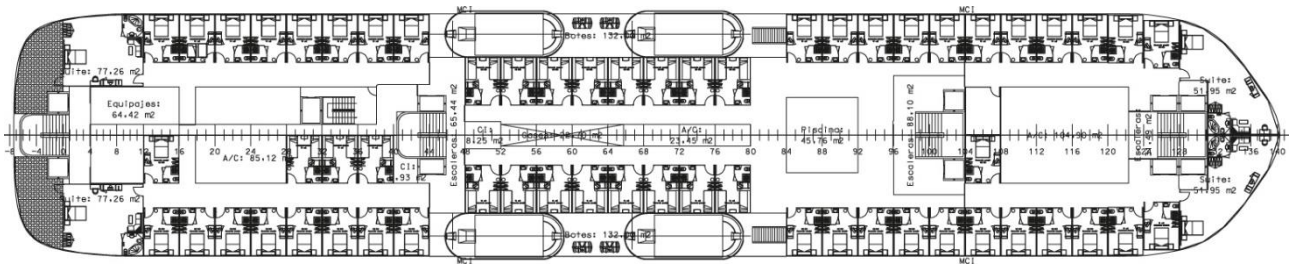


Figura 3.10. Cubierta 6

3.1.8 Cubierta 7 (puntal de 19,2 metros)

La zona de proa está destinada a la tripulación, con los camarotes del capitán, jefe de máquinas así como otros servicios.

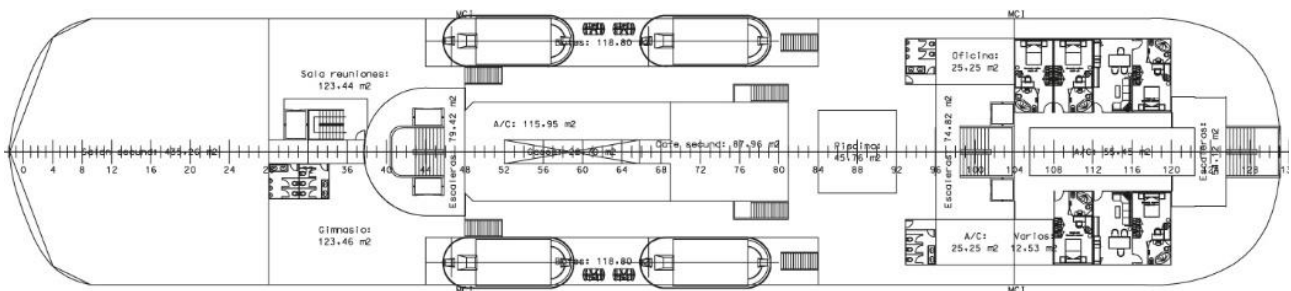


Figura 3.11. Cubierta 7



La zona de popa está destinada exclusivamente a actividades de ocio para el pasaje, incluida la piscina. Los espacios destinados a tal fin serán tratados con mayor profundidad más adelante.

3.1.9 Cubierta 8 (puntal de 22,3 metros)

Cubierta donde se sitúa el puente de gobierno, así como el local de baterías y el grupo de emergencia. El resto de la cubierta está destinado a una zona exterior de paseo.

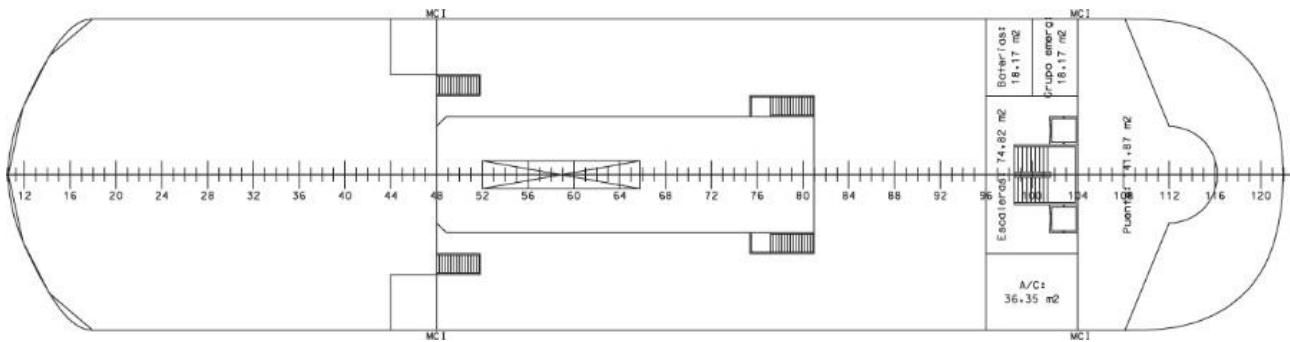


Figura 3.12. Cubierta 8

3.2 Espacios de recreo/ocio

A continuación se procede a la realización de una presentación de los espacios de ocio presentes en el buque base, séase tanto para el pasaje como los destinados a la tripulación. El motivo de dicha presentación es el de establecer una primera toma de contacto de dichos espacios para los cuales se llevará a cabo un diseño orientada a la producción en un capítulo posterior.

Se ha llegado a la conclusión de que la habilitación dedicada al servicio tanto de la tripulación como del pasaje puede considerarse como espacio de ocio.

Como ya se ha visto en la división de cubiertas, aquellas en las cuales se encuentran estos espacios destinados al ocio y recreo son las siguientes:

3.2.1 Cubierta 3

En la cubierta número 3 se encuentran dos espacios de ocio: Comedor de oficiales y Salón/Comedor de la tripulación.

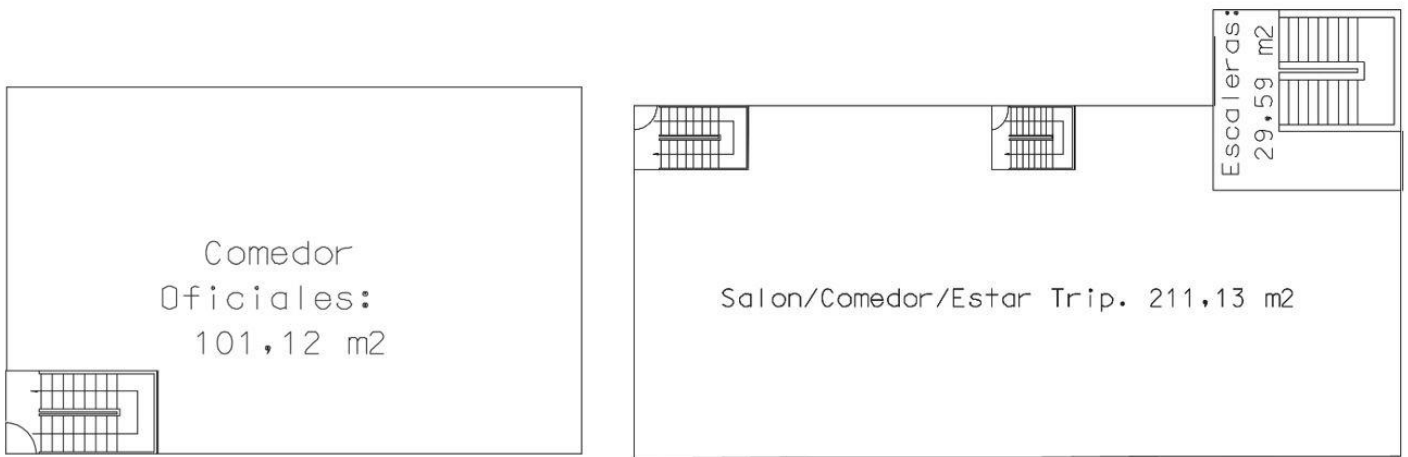


Figura 3.13. Comedor de oficiales y Salón/Comedor de la tripulación

3.2.2 Cubierta 4

En la cubierta número 4 se sitúan cuatro espacios de ocio: Salón principal, Biblioteca, Bar y Comedor de pasaje.

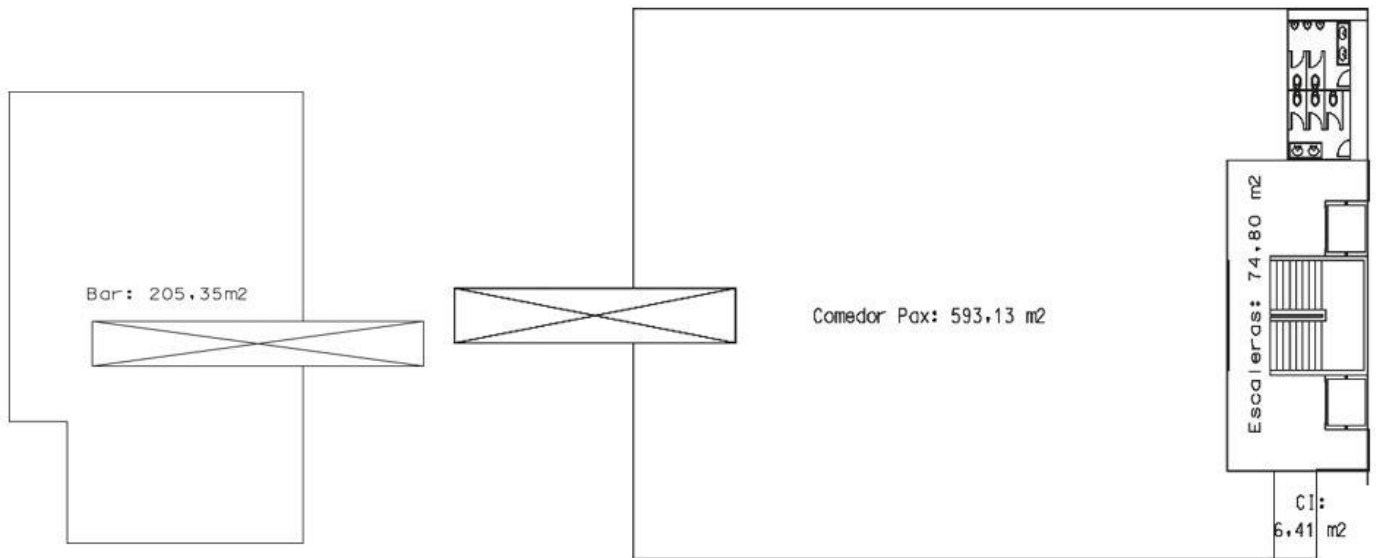


Figura 3.14. Bar y Comedor del pasaje

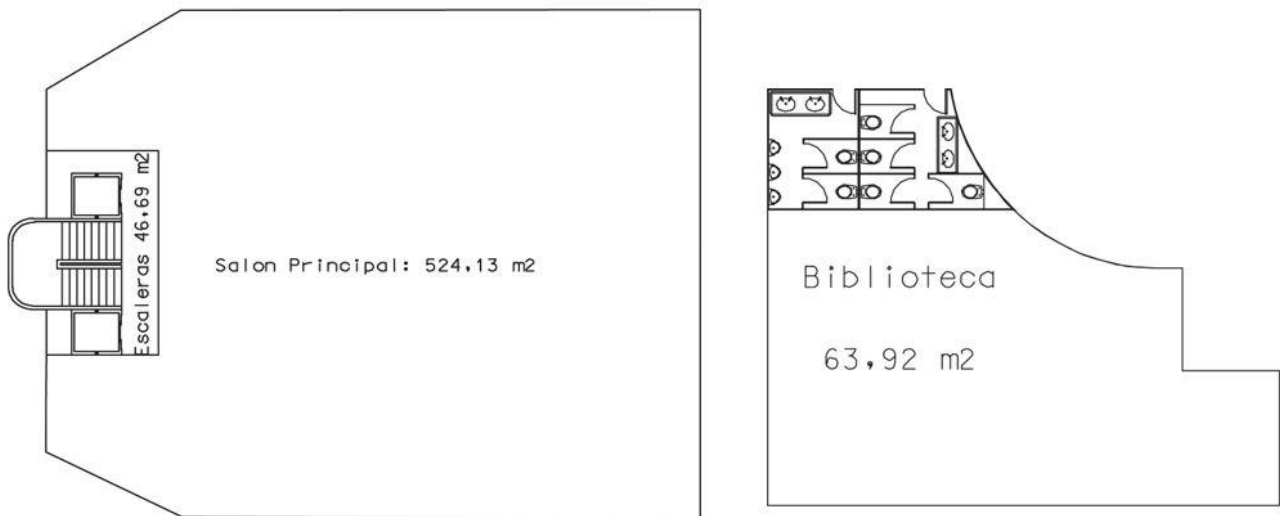


Figura 3.15. Salón principal y Biblioteca

3.2.3 Cubierta 5

En la cubierta número 5 se dispone de un único espacio de ocio: Salón de oficiales.

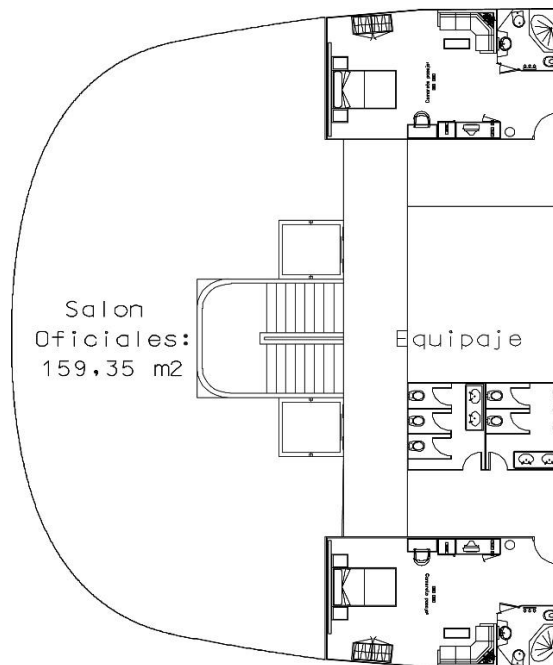


Figura 3.16. Salón de oficiales



3.2.4 Cubierta 7

En la cubierta 7 se encuentran dos espacios de ocio: Salón secundario (Café) y Salón de reuniones.

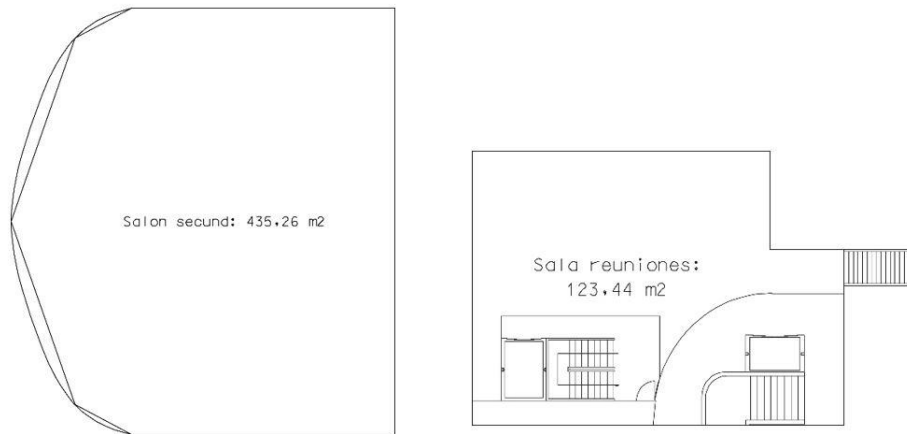


Figura 3.17. Café y Sala de reuniones

4. CÁMARA DE MÁQUINAS

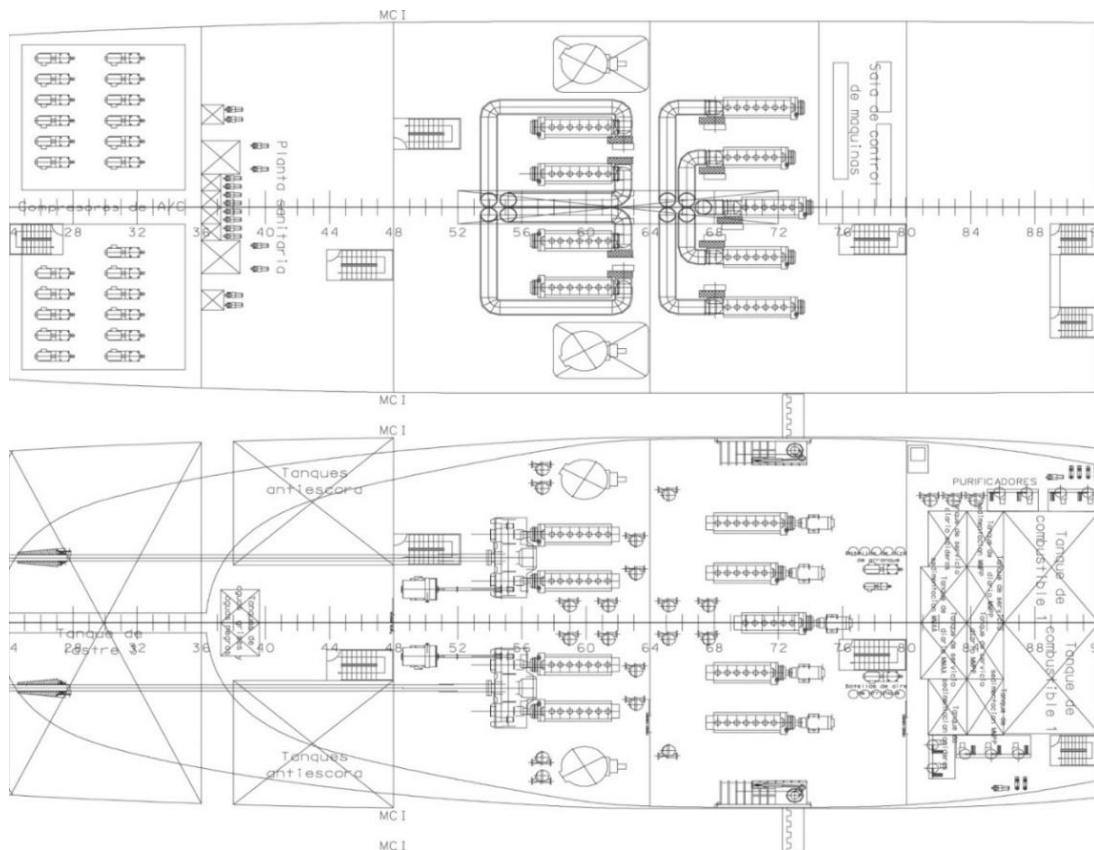


Figura 3.18. Disposición de la cámara de máquinas del buque base



Un distinción de este buque en concreto y de los cruceros en general es que aquellos espacios destinados a máquinas ocupan un porcentaje alto de la eslora, distinguiéndose tres espacios claramente diferenciados.

- Espacio de los motores principales: En él se disponen tanto los 4 motores principales como sus dos reductoras.
- Espacio de los motores auxiliares: Espacio contiguo al anterior hacia proa, en el que se disponen tanto los motores auxiliares como sus correspondientes equipos. El espacio de auxiliares en los buque tipo crucero debe tener un tamaño similar al de los motores principales. La razón de esto es el gran consumo eléctrico al que se ven sometidos, especialmente el debido al alumbrado.
- Espacio designado para tanques y depuradoras de aceite y combustible.

4.1 Planta propulsora

El buque base dispone para su propulsión de cuatro motores diésel semirrápidos MAN B&W Diesel AG 7L27/38 de 2380 kW, acoplados por parejas a una misma reductora y eje de cola. Las calderas se sitúan junto a los costados pegadas al mamparo de proa. Este compartimento tiene conexión directa con el espacio para la salida de gases, necesario para los escapes de los motores principales y de las calderas.

Las dimensiones de los motores principales son:

MAN B&W 7L27/38	VALOR	UNIDAD
Longitud	5515	mm
Altura	3595	mm
Anchura	2035	mm
Peso	33,5	T

Tabla 3.2. Dimensiones motores principales del buque base

4.2 Planta eléctrica

En cuanto al apartado eléctrico el buque base lleva instalados tres generadores movidos por motores MAN B&W 6L27/38 de 1825 kW y dos generadores movido por motores MAN B&W 7L27/38 de 2130 kW, AMBOS A 50 Hz y 750 rpm.

Los compartimentos que albergan tanto la planta propulsora como a las máquinas auxiliares ocupan la altura de dos cubiertas debido a las grandes dimensiones de los equipos que alojan.

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 4

DISEÑO DE LOS ESPACIOS DE OCIO



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	40
2. CRITERIOS SEGUIDOS EN EL DISEÑO	41
2.1 Mobiliario.....	41
2.2 Espacios de ocio	41
3. PROPUESTAS DE DISEÑO	42
3.1 Cubierta 3	42
3.1.1 Comedor de oficiales	42
3.1.2 Salón/comedor de la tripulación	43
3.2 Cubierta 4	43
3.2.1 Biblioteca	44
3.2.2 Bar.....	45
3.2.3 Salón principal	46
3.2.4 Comedor de pasaje	47
3.3 Cubierta 5	48
3.3.1 Salón de oficiales	48
3.4 Cubierta 7	49
3.4.1 Salón de reuniones	49
3.4.2 Salón secundario (Café).....	50



1. INTRODUCCIÓN

A diferencia del cuaderno siguiente en el que sí que se va a poder hacer una comparativa entre la propulsión del buque base (Diésel) y una alternativa propuesta (Diésel-eléctrica), en el presente cuaderno no es posible hacer una comparativa de la habilitación debido a que en el buque base los espacios de ocio no se encuentran diseñados. De modo que lo se va a llevar acabo es una relativización, es decir, se realiza una hipótesis de partida en la que se tienen 9 espacios de ocio habilitados de formas totalmente diferentes, y se va a proponer una alternativa de diseño orientada a la producción. De este modo puede que el coste de adquisición pueda ser semejante, sin embargo, esta propuesta va a suponer un ahorro y una simplificación del riesgo en la cadena logística.

Antes de continuar es importante hacer hincapié en una evidente cuestión, que es la siguiente: Si el crucero es de lujo ¿Merece la pena optimizar?.

No hay que confundir que algo sea de lujo con que tenga que ser increíblemente caro. Poniendo un ejemplo práctico, podríamos mencionar el caso de las mesas. Que el buque esté enfocado en el lujo no hace indispensable utilizar un diseño distinto de mesas para cada uno de los espacios. Simplemente se han de cuidar otra serie de aspectos, tales como la calidad de la mantelería y ornamentación, la calidad en el servicio que presta la tripulación al pasaje así como una mejor cubertería, menú, etc. De modo que el usar mesas con diseños distintos en cada espacio es algo que realmente no aporta nada.

Del principio de Pareto, o regla del 80-20, se deduce que el 80% de los beneficios de una empresa los proporciona el 20% de sus productos. De modo que extrapolando esto a nuestro caso, el 80% de lo que lleva el barco pueden ser cosas muy particulares, pero el resto puede ser optimizado ya que serán aspectos que pasarán desapercibidos para el pasaje, y por lo tanto no será necesario centrarse en ellos.

La vertiente de hace 10 años a atrás en gestión de proyectos era que se debía tener un producto perfecto. Pero desde hace unos años lo que han enseñado las metodologías ágiles (*SCRUM*) es que hay que centrarse en tener 8 en lugar de un 10, es decir, centrarse en el 80%, porque es eso lo que te va a llevar un 20% del dinero. El objetivo es la búsqueda de un producto que sea bueno, que sea de un 8, es decir, que sea notable, porque costará el 20% del esfuerzo que llevaría que fuera un 10. Y una de las razones es el mercado, ya que este es tan cambiante que al querer obtener un producto perfecto puede ocurrir que de improvisto este ya no interese. Se necesita por tanto poder ser más ágil, y es la optimización la que te permite serlo.

Aplicando este concepto a la habilitación, queda patente que lo que realmente interesa al pasaje son los detalles. Utilizando el ejemplo anterior, la gente se fija en la mantelería, cubertería y calidad del servicio en la mesa, pero no así tanto como en las mesas y sillas como tal, las cuales no recibirán mucha más atención más allá de cumplir con su finalidad de comodidad.



2. CRITERIOS SEGUIDOS EN EL DISEÑO

2.1 Mobiliario

Las mesas y la sillería han sido los elementos principales tratados como mobiliario en la fase de diseño.

En ambos casos resulta extremadamente útil pedir, en la medida de lo posible, un mismo modelo de mobiliario y a un mismo proveedor. Ya que en caso contrario, al manejar pedidos tan grandes como es el caso de un crucero, el hecho de pedir diferentes modelos y a diferentes proveedores acarrearía los siguientes problemas.

- En caso de accidente con un tipo de mueble puede ocurrir que el pedido de ese tipo se retrase, lo que puede afectar considerablemente si hay una cadena de montaje con varios tipos de muebles, ya que ese tipo puede ser necesario para pasar al siguiente.
- La relación con el proveedor no va a ser la misma. No es lo mismo solicitar a un mismo proveedor todo tu pedido de mesas que pedirle solo 15, luego 15 a otro y así etc. La relación que se establece con estos no es la misma, y si se tiene algún problema como el mencionado en el punto anterior puede que no les apremie atenderte con la rapidez necesaria porque no eres un gran cliente para ellos.

Otro aspecto a tener en cuenta, dando por hecho que se tiene a un mismo proveedor que te abastece el mobiliario de mesas, es que si son necesarias para el crucero un número concreto de estas, digamos 60, no se piden 60, sino 70. Resulta un gasto inicial mayor pero muy útil y necesario si se presenta un accidente y se rompe alguna, ya que ésta se manda a reparar y se continúa con el montaje, evitando así tener que hacer un parón.

2.2 Espacios de ocio

Tal y como se mencionaba en el cuaderno anterior, se ha llegado a la conclusión de que la habitación dedicada al servicio tanto de la tripulación como del pasaje puede considerarse como espacio de ocio.

Hay que resaltar que no es necesario habilitar los espacios de ocio para el número total tanto de pasaje como de tripulación.

- En el caso de la tripulación sería imposible, debido a los servicios, que todos los tripulantes/oficiales coincidieran a la vez en sus respectivos espacios.
- En el caso del pasaje, los grandes espacios están pensados para que se distribuyan en ellos todos los pasajeros, es decir, el comedor se complementará, en caso de ser necesario, con el café para las comidas. Por otro lado, los espacios de ocio se reparten entre Bar, Café, Casino y Biblioteca, de modo que no se concentra todo el pasaje en un mismo espacio.



3. PROPUESTAS DE DISEÑO

Siguiendo todas pausas antes mencionadas se procede a mostrar a continuación las propuestas para el diseño de los espacios de ocio de acuerdo al orden de cubiertas en el que estos se encuentran, tal y como se mostró muy brevemente en el cuaderno anterior.

3.1 Cubierta 3

En la cubierta número 3 se encuentran dos espacios de ocio: Comedor de oficiales y Salón/Comedor de la tripulación.

Para ambos se han empleado el mismo mobiliario, compuesto por unos modelos de mesa, silla y sillón comunes.

3.1.1 Comedor de oficiales

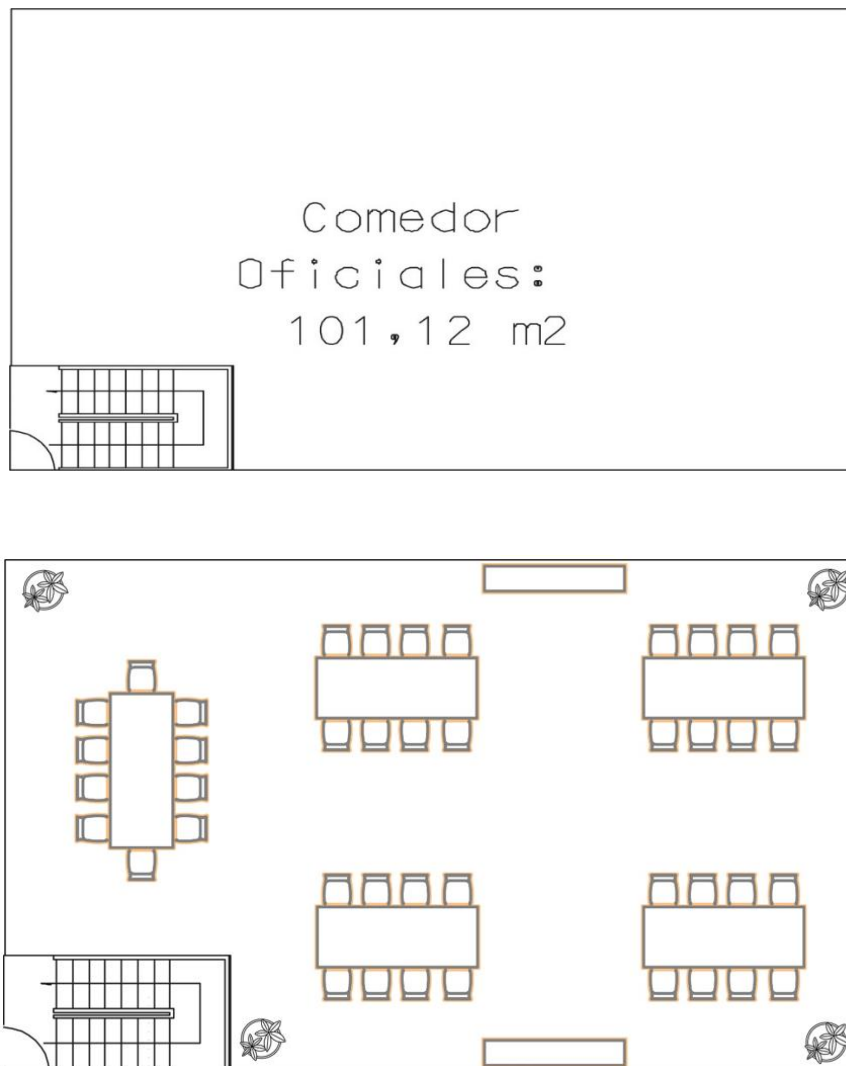


Figura 4.1. Propuesta Comedor de oficiales



3.1.2 Salón/comedor de la tripulación

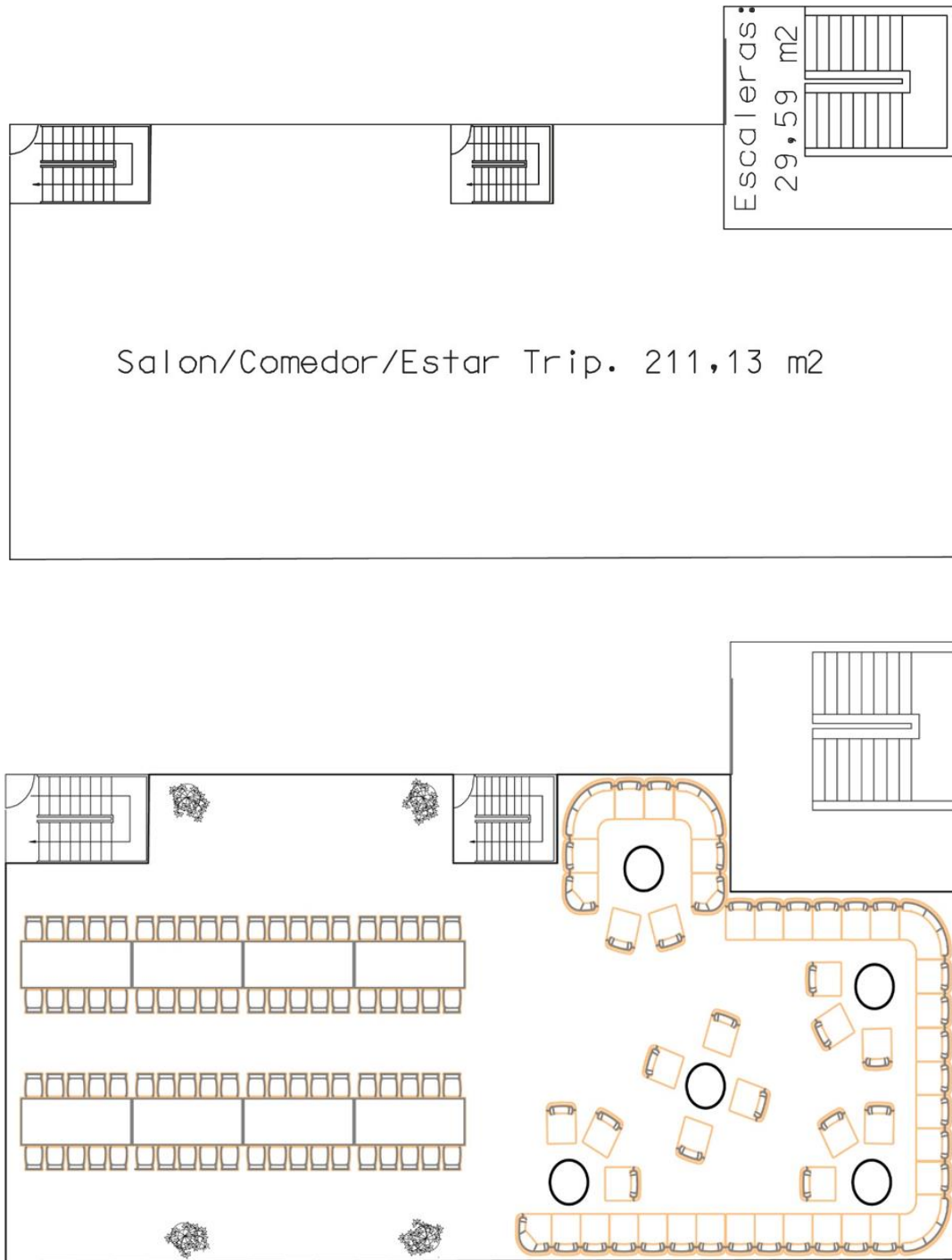


Figura 4.2. Propuesta Salón/Comedor de la tripulación

3.2 Cubierta 4

En la cubierta número 4 se sitúan cuatro espacios de ocio: Bar, Biblioteca, Salón principal y Comedor de pasaje.



Para el caso del Bar se han empleado las mismas mesas y sillones que en los comedores de la tripulación al igual que en la biblioteca, salvo que en esta las sillas sí son diferentes.

En el caso del Salón principal y el Comedor de pasaje se han utilizado dos modelos iguales de mesas, uno para 4 personas y otro para 8. La sillería del comedor pasaje ha sido la misma a su vez que la empleada en los comedores de la tripulación.

3.2.1 Biblioteca

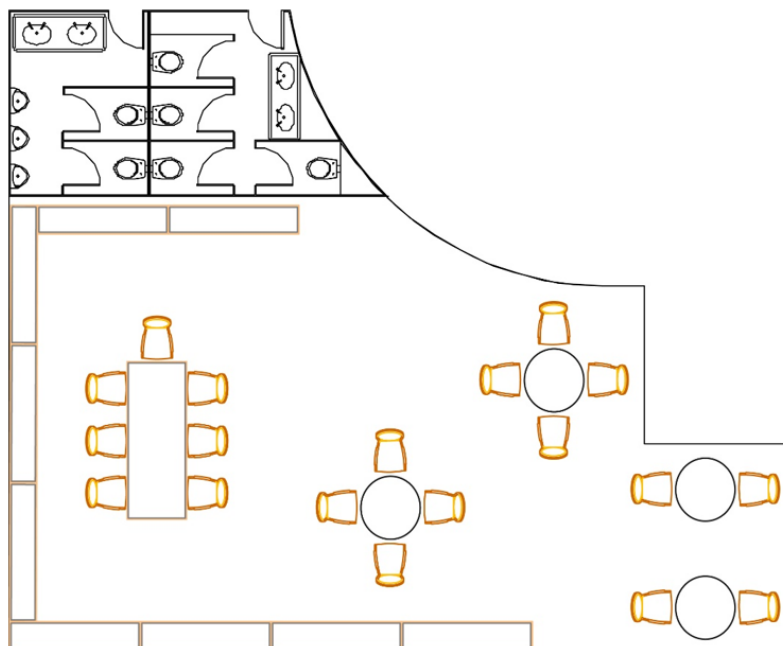


Figura 4.3. Propuesta Biblioteca



3.2.2 Bar

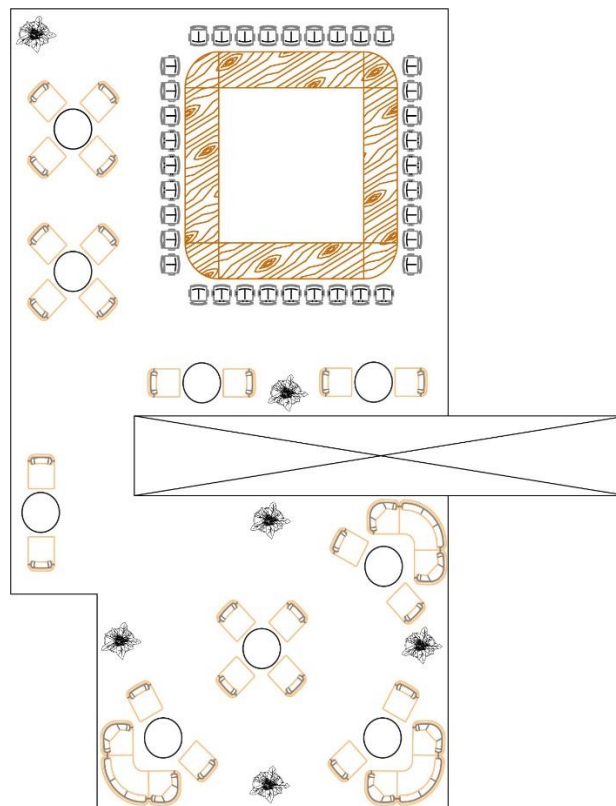
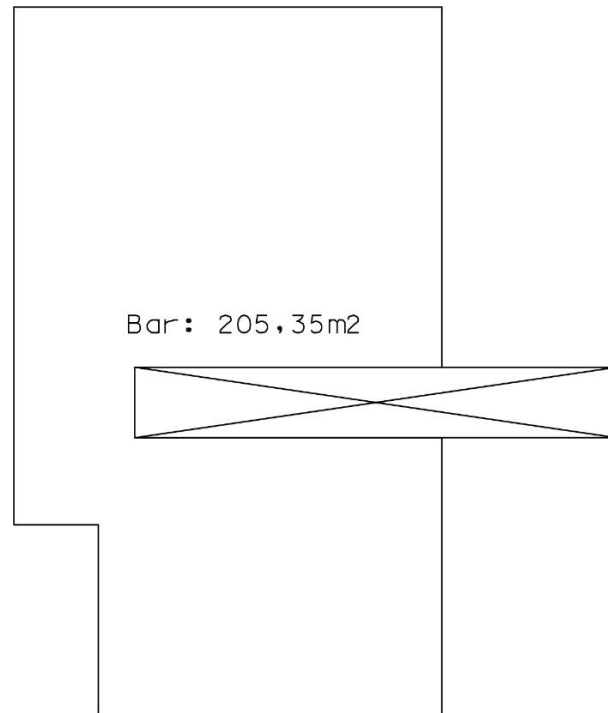


Figura 4.1. Propuesta Bar



3.2.3 Salón principal

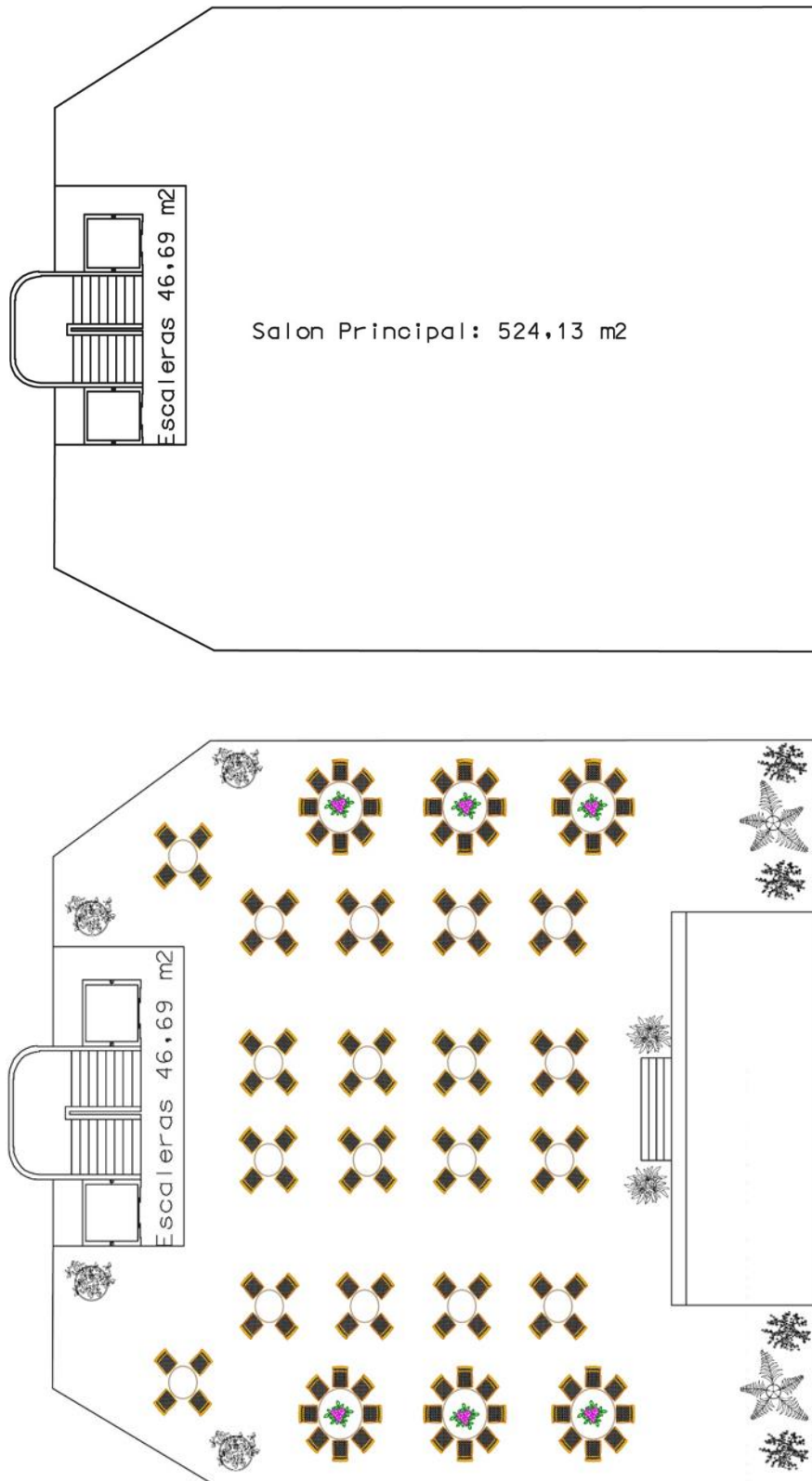


Figura 4.5. Propuesta de Salón principal



3.2.4 Comedor de pasaje

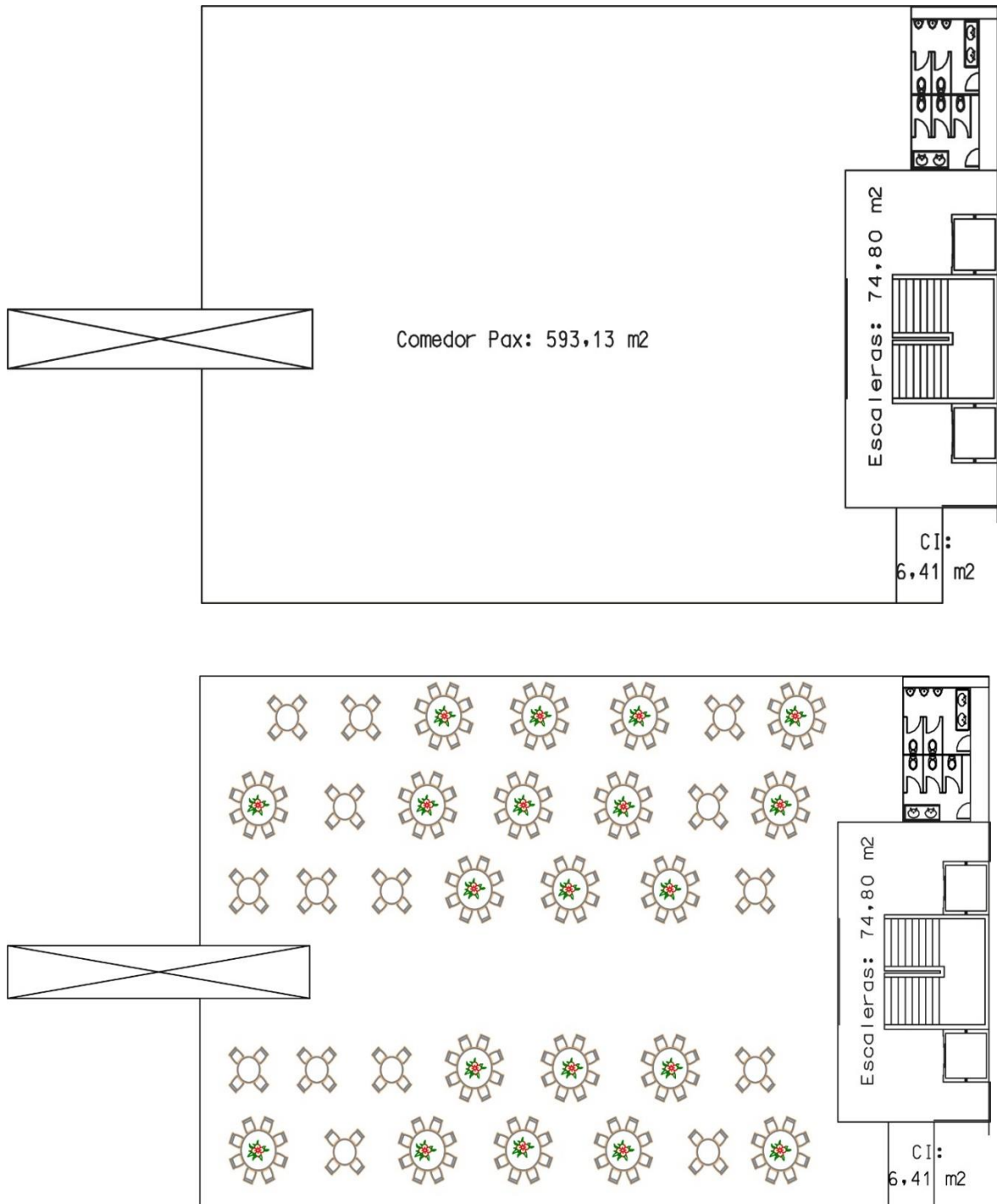


Figura 4.6. Propuesta Comedor de pasaje



3.3 Cubierta 5

El salón de oficiales es el único espacio de ocio de esta cubierta y en él se ha utilizado el mismo mobiliario que el empleado en el Salón de la tripulación.

3.3.1 Salón de oficiales



Figura 4.7. Propuesta Salón oficiales



3.4 Cubierta 7

En la cubierta 7 se encuentran dos espacios de ocio: Salón de reuniones y Salón secundario (Café).

Para el salón de reuniones se ha empleado una mesa igual a la de los comedores de la tripulación y oficiales, la cual cumple la función de mesa titular, añadiéndose una igual a la de los salones de pasaje como mesa secundario en el caso de reuniones más numerosas.

Para el café o Salón secundario se ha seguido la regla habitual empleando las mismas mesas que en los otros salones de pasaje.

3.4.1 Salón de reuniones

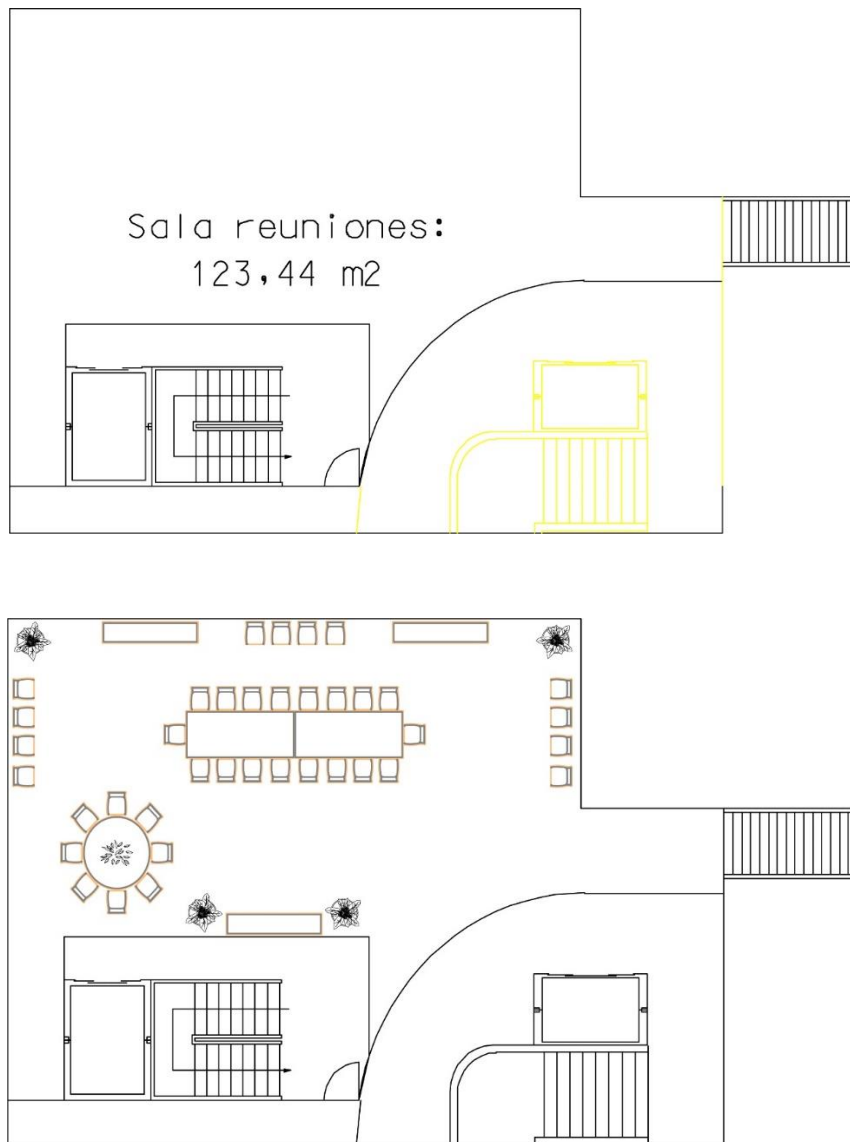


Figura 4.8. Propuesta Salón de Reuniones



3.4.2 Sal6n secundario (Caf6)

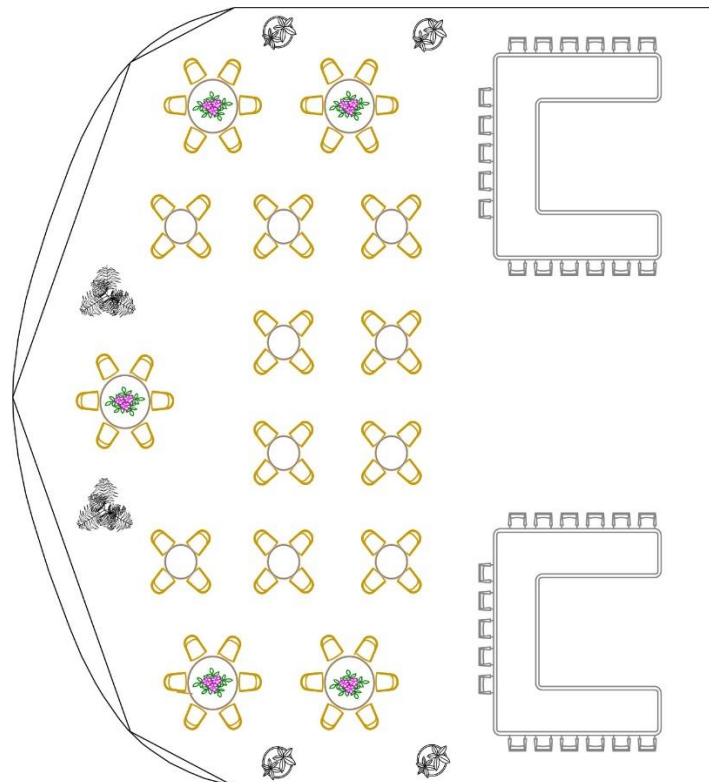


Figura 4.9. Sal6n secundario (Caf6)

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 5

ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez

**ÍNDICE**

1. CÁMARA DE MÁQUINAS DEL BUQUE BASE.....	53
2. INTRODUCCIÓN A LA PROPULSIÓN DIÉSEL ELÉCTRICA.....	55
2.1 Tipos de propulsión diésel-eléctrica.....	55
2.2 Ventajas de la propulsión diésel-eléctrica.....	55
3. POTENCIA TOTAL NECESARIA DEL BUQUE BASE.....	56
3.1 Potencia de la planta propulsora.....	56
3.2 Potencia de la planta eléctrica.....	60
3.2.1 Balance de día.....	61
3.2.2 Balance de noche.....	62
3.3 Resultados finales.....	62
3.3.1 Potencia total durante el día.....	62
3.3.2 Potencia total durante la noche.....	63
4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.....	63
5. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS DIÉSEL GENERADORES.....	64
5.1 Opción primera.....	64
5.2 Opción segunda.....	65
5.3 Comparativa.....	67
5.3.1 Número de cilindros.....	67
5.3.2 Tamaño.....	67
5.3.3 Peso.....	68
5.3.4 Distribución en cámara de máquinas.....	69
5.4 Conclusiones.....	72
6. PROPULSORES AZIMUTALES COMO ALTERNATIVA.....	72
6.1 Introducción.....	72
6.2 Azimutales en buques de crucero.....	73
6.2.1 Beneficios de este sistema de propulsión.....	74
6.3 Azimutales en el buque base.....	74



1. CÁMARA DE MÁQUINAS DEL BUQUE BASE

Cómo ya se mencionó en el cuaderno sobre el buque base, éste dispone para su propulsión de cuatro motores diésel principales de 2.380 kW (MAN B&W Diésel AG 7L27/38), los cuales están acoplados por parejas a una misma reductora y eje de cola. Además, también se dispone de cinco motores auxiliares para la generación de energía a bordo, concretamente 3 generadores movidos por motores MAN B&W 6L27/38 de 1.825 kW y 2 generadores movidos por motores MAN B&W 7L27/38 de 2.130 kW.

Las dimensiones de los motores principales son:

MAN B&W 7L27/38	VALOR	UNIDAD
Longitud	5.515	mm
Altura	3.595	mm
Ancho	2.035	mm
Peso	33,5	T

Tabla 5.1. Dimensiones motores principales del buque base

La cámara de máquinas, situada en la cubierta 1, se subdivide en los siguientes espacios:

- En el primer compartimento por popa se sitúan los tanques antiescora, a ambas bandas y con un volumen suficiente para minimizar los movimientos de escora de media frecuencia.
- El compartimento siguiente se destina al alojamiento de los motores principales. Las calderas se sitúan junto a los costados, y pegadas al mamparo de proa. Este compartimento tiene conexión directa con el espacio para la salida de gases, necesario para los escapes de los motores principales y de las calderas.
- Inmediatamente después se encuentra el espacio en el que se sitúan todas las máquinas auxiliares. Asimismo se aprovecha el espacio junto a los costados para situar las purificadoras de aceite y de combustible. Tanto este compartimento como el anterior, debido a las grandes dimensiones de los equipos que alojan, han de ocupar la altura de dos cubiertas.

De modo que en la cubierta superior hay dos espacios utilizados para ubicar los motores principales y auxiliares, así como la sala de control de máquinas y la sala de purificadoras de aceite y combustible. Estos dos espacios forman un tambucho con la cubierta inferior para dar cabida a los motores y a los equipos de gases de escape.

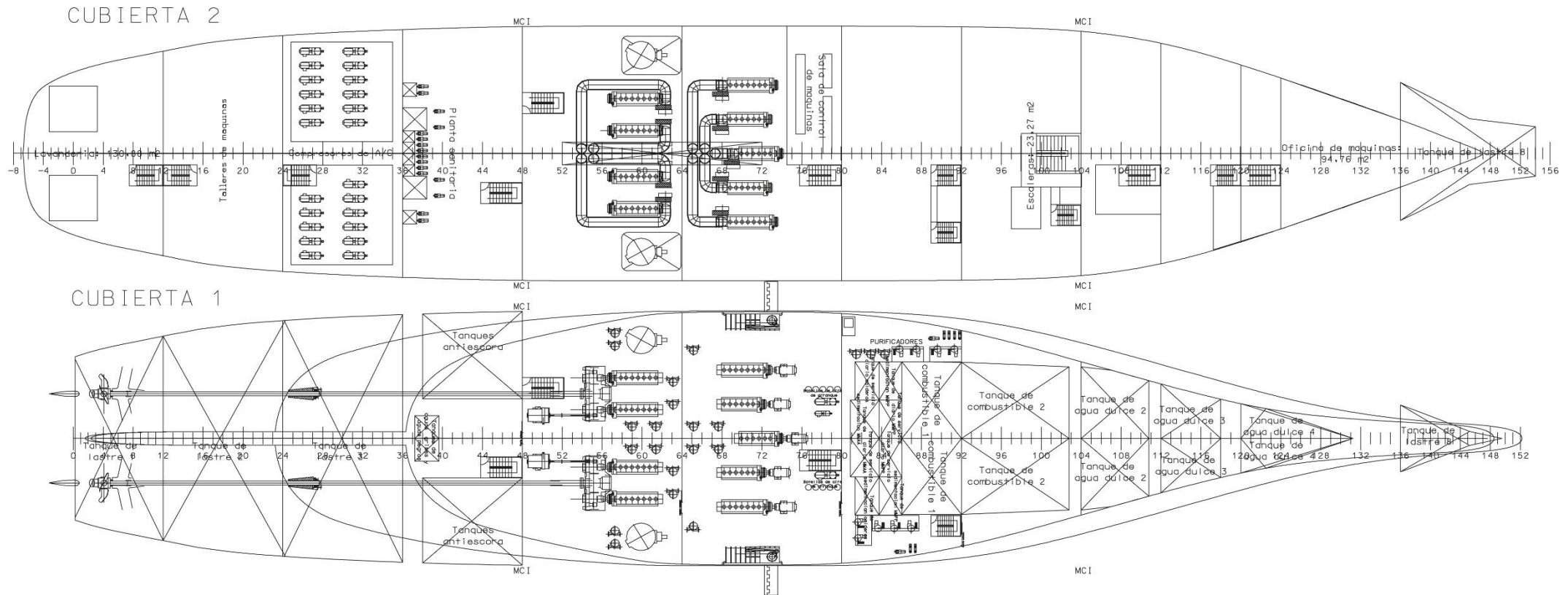


Figura 5.1. Disposición de la cámara de máquinas del buque base

2. INTRODUCCIÓN A LA PROPULSIÓN DIÉSEL ELÉCTRICA

La propulsión diésel-eléctrica es aquella en la que los motores diésel en lugar de ir directamente acoplados al eje o ejes propulsores, accionan alternadores que producen la energía eléctrica necesaria para la propulsión y todos los demás servicios del buque. En concreto la propulsión se efectúa por medio de motores eléctricos situados en la proximidad de la hélice con lo que se evitan los largos ejes de transmisión y se tiene una mayor flexibilidad de diseño.

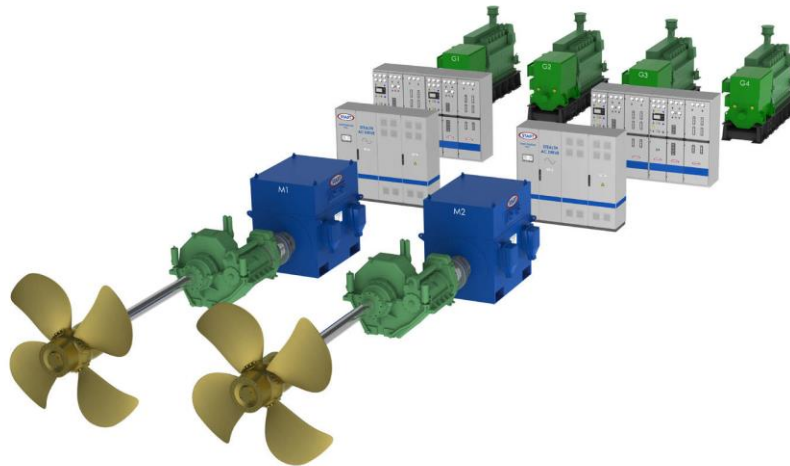


Figura 5.2. Elementos de la propulsión diésel-eléctrica

2.1 Tipos de propulsión diésel-eléctrica

- En primer lugar se encuentra el caso en el que los motores propulsores son eléctricos, los cuales son accionados por los generadores eléctricos encargados de suministrar la energía eléctrica requerida a bordo.
- En el otro caso el motor principal diésel no es sustituido por uno eléctrico, sino que a la planta convencional se le añade un pequeño motor eléctrico acoplado a la reductora. Dicho motor se utiliza para propulsar al buque a bajas velocidades o como propulsión auxiliar.

Para el caso del presente proyecto se empleará el primer tipo. De modo que se sustituirán los motores diésel que lleva instalados por diésel generadores que cubrirán las demandas de energía del buque en su totalidad. Los generadores son los que dotarán de autonomía al buque.

2.2 Ventajas de la propulsión diésel-eléctrica

- **Alta redundancia:** En caso de avería en un motor siempre se tendrá capacidad de reserva, es decir, se puede mantener un suministro eléctrico ininterrumpido, incluso cuando se están realizando tareas de mantenimiento de un motor.



- **Alta capacidad operativa:** La carga total se puede distribuir en el conjunto y todos los motores pueden funcionar al máximo de eficiencia, consiguiendo gran variedad de modos de operación apropiados para una demanda energética flexible, desde bajas velocidades hasta navegar a máxima velocidad. Esto resulta, en una capacidad operativa de la planta óptima con una respuesta rápida del sistema una alta flexibilidad.
- **Unificación de la planta propulsora y eléctrica:** Se unifican los generadores que suministran las necesidades de potencia requeridas, tanto para la propulsión principal como para los restantes servicios. (Planta eléctrica, servicios auxiliares, etc.)
- **Ahorro en los costes operacionales de la planta:** La posibilidad de operar en un rango donde la energía requerida es procurada por una combinación de motores, los cuales trabajan cerca de su punto de carga óptimo, se traduce en un menor consumo de combustible y una menor presión sobre los motores. De esta forma se reduce el coste de adquisición y también los costes de mantenimiento, ya que los motores trabajan cerca de su punto óptimo de funcionamiento.
- **Reducción de humos, ruidos y vibraciones:** Al trabajar con niveles de ruidos más bajos se reduce la cavitación de la hélice, además de que la firma acústica bajo el agua se reduce notablemente, algo de gran importancia en los buques de guerra.
- **Transmisión por cableado:** Al ser la transmisión de la energía eléctrica por medio de cables, estos pueden llevarse prácticamente siempre por el recorrido más conveniente.

3. POTENCIA TOTAL NECESARIA DEL BUQUE BASE

El objetivo de este cuaderno es el de estudiar el cambio de propulsión del buque base, es decir, el paso de cuatro grandes motores diésel a una propulsión diésel-eléctrica. En este caso, y como ya se ha explicado en el apartado anterior, las hélices serán accionadas por dos motores eléctricos, cuya energía eléctrica será suministrada por grupos electrógenos, los cuales también suministrarán la energía eléctrica necesaria para los demás servicios que requiera el buque.

Para llevar a cabo dicho cambio será necesario conocer la potencia total necesaria del buque base, tanto de la planta propulsora como de la planta eléctrica.

Una vez sea conocida se podrá dar paso a la selección de los diésel generadores necesarios para cubrir dicha potencia.

3.1 Potencia de la planta propulsora

Para el cálculo de la potencia propulsora se ha utilizado un método sistemático de predicción de potencia. Debido a la falta de datos sobre ensayos en canal de buques similares se ha decidido emplear el método de Holtrop y Mennen para estimar así la potencia efectiva necesaria.

El método de Holtrop y Mennen es un método estadístico obtenido a partir de regresiones matemáticas de los resultados de los ensayos del Canal de Wageningen y de resultados de pruebas de mar de buques construidos, cuyo planteamiento se basa en la teoría de



resistencia por formación de olas. Un método fácilmente programable que proporcionan estimaciones de la resistencia bastante satisfactorios.

Los datos que se extraen de este método son la resistencia total al avance, R_T , que se calcula mediante el procedimiento tridimensional de Hughes utilizando la línea básica de fricción ITTC-57. Esta resistencia total o resistencia al avance se divide en los siguientes componentes:

$$R_T = R_V + R_{AP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

Donde:

- R_V es la Resistencia viscosa.
La resistencia viscosa, a su vez, se descompone en: $R_F (1 + k_1)$
Donde:
 - R_F es la Resistencia de fricción.
 - $1 + k_1$: Factor de forma.
- R_{AP} : Resistencia de los apéndices.
- R_W : Resistencia por formación de olas.
- R_B : Resistencia de presión producida por el bulbo.
- R_{TR} : Resistencia de presión de las popas de estampa cuando están sumergidas.
- R_A : Resistencia debida al coeficiente de correlación modelo-buque, C_A .

V	R_T	V	R_T
nudos	kN	nudos	kN
3	11,292	12	158,531
4	19,413	13	187,826
5	29,571	14	221,703
6	41,724	15	261,079
7	55,840	16	306,899
8	71,911	17	362,177
9	89,985	18	429,456
10	110,210	19	504,772
11	132,893	20	581,003

Tabla 5.2. Resistencia obtenida con el método de Holtrop-Mennen

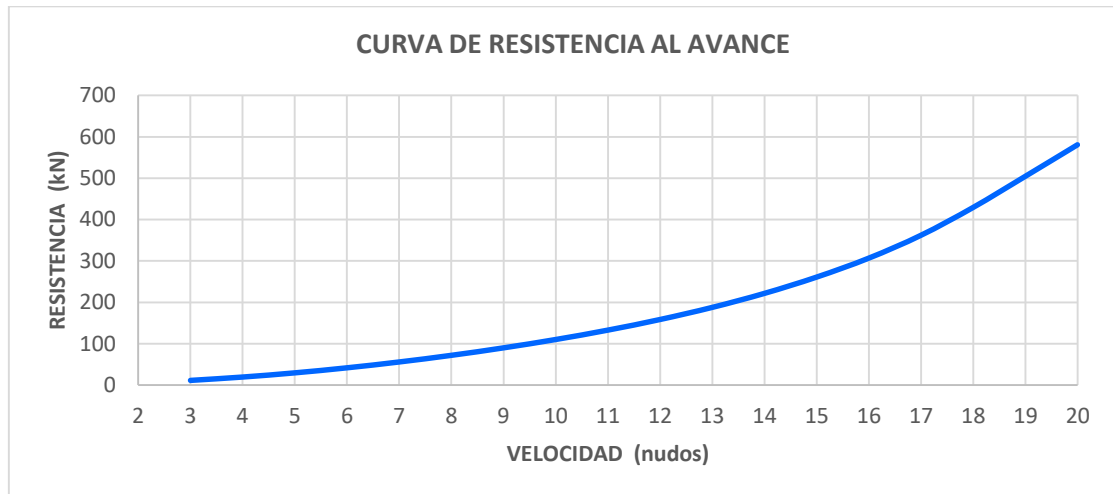


Gráfico 5.1. Resistencia en función de la velocidad

A la velocidad de proyecto, 19 nudos, la resistencia del buque proyecto es de 504,772 kN.

Una vez obtenidos los datos de la resistencia total al avance, esta se multiplica por la velocidad del buque, V , obteniendo así el valor de la potencia de remolque o potencia efectiva, EHP. (*Effective Horse Power*).

A continuación se muestran los valores de dicha potencia.

V nudos	R_T kN	EHP kW	EHP CV
3	11,292	17,427	23,694
4	19,413	39,947	54,313
5	29,571	76,065	103,419
6	41,724	128,790	175,105
7	55,840	201,087	273,402
8	71,911	295,957	402,389
9	89,985	416,633	566,463
10	110,210	566,977	770,874
11	132,893	752,035	1022,482
12	158,531	978,674	1330,626
13	187,826	1256,152	1707,891
14	221,703	1596,773	2171,007
15	261,079	2014,680	2739,202
16	306,899	2526,148	3434,604
17	362,177	3167,473	4306,563
18	429,456	3976,805	5406,948
19	504,772	4933,918	6708,260
20	581,003	5977,942	8127,736

Tabla 5.3. Potencia efectiva obtenida con el método de Holtrop-Mennen



Gráfico 5.2. Potencia efectiva en función de la velocidad

Como se ha podido apreciar en la tabla 6.3, para la velocidad de proyecto del buque (19 nudos) la potencia efectiva es de 4.933,918 kW (6.708,260 CV).

Sabiendo esto se calcula a continuación la potencia utilizada en el punto de funcionamiento, donde el motor funcionará al 85% de la MCR, suponiendo un rendimiento total de la línea de ejes y de la hélice de 0,642 se obtiene una potencia requerida de:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta} = 7.685,231 \text{ kW (10.449,003 CV)}$$

$$MCR = \frac{BHP}{85\%} = 9.041,448 \text{ kW (12.292,945 CV)}$$

POTENCIA REQUERIDA PARA LA PROPULSIÓN		
	kW	CV
PUNTO DE DISEÑO	7.685,231	10.449,003
AL 85% DE LA MRC	9.041,448	12.292,945

Tabla 5.4. Resultados de la Potencia Requerida

Mediante la representación gráfica de los resultados anteriores se obtiene la curva de la potencia requerida del buque.

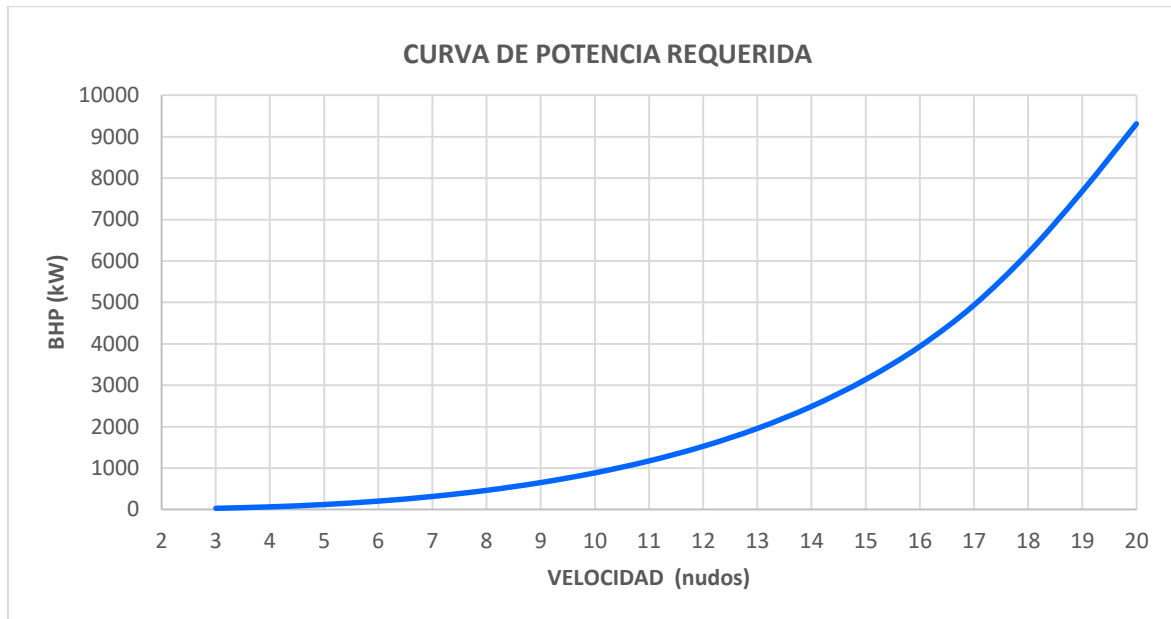


Gráfico 5.3. Potencia requerida en función de la velocidad.

3.2 Potencia de la planta eléctrica

Siguiendo el reglamento SOLAS, la instalación eléctrica debe garantizar el funcionamiento de los servicios eléctricos auxiliares que sean necesarios para mantener el buque en condiciones de funcionamiento y habitabilidad sin necesidad de recurrir a la fuente de energía de emergencia.

El reglamento también deja patente que la capacidad de la fuente de energía principal debe ser suficiente para alimentar todos los servicios antes mencionados. Esta fuente de energía debe estar constituida por, al menos, dos grupos electrógenos y su capacidad individual ha de ser tal que aunque uno de ellos se pare, el resto pueda alimentar los servicios necesarios para lograr las condiciones de operación normales de propulsión y seguridad.

En vista de lo mencionado, el balance eléctrico queda regido por una serie de condiciones operativas que cubren el rango de operación del buque. Estas son las siguientes:

- Buque navegando en condiciones normales. ($V = 19$ nudos)
- Buque maniobrando para atracar. ($V = 3$ nudos)
- Buque en puerto con tripulación únicamente. ($V = 0$ nudos)
- Buque en puerto en condiciones de hotel con todo el pasaje. ($V = 0$ nudos)
- Buque en condición de emergencia. ($V = 10$ nudos)

Todas ellas tanto para la operación durante el día como durante la noche.



Es preciso hacer un inciso con la condición de emergencia, ya que resulta importante mencionar que la energía eléctrica disponible obtenida del generador de emergencia es la suficiente para alimentar únicamente los servicios que sean esenciales para la seguridad en caso de emergencia, dando la consideración debida a los servicios que puedan funcionar simultáneamente.



Figura 5.3. Buque en condición de navegación en operación nocturna

3.2.1 Balance de día

GRUPO CONSUMIDOR	CONDICIÓN				
	NAVEGACIÓN	MANIOBRA	PUERTO	HOTEL	EMERGENCIA
Servicios auxiliares de maquinaria y propulsión	1.294,1	1.365,9	94,9	94,9	264,3
Servicios de maquinaria auxiliar para calderas	2,1	2,1	2,1	2,1	-
Servicios sanitarios, sépticos y otros diversos	1.14,4	112,0	67,2	85,9	164,3
Maniobra	22,8	1.190,1	0,0	0,0	114,0
Auxiliares de cubierta, carga y elevación	203,1	424,0	162,7	262,7	56,0
Alumbrado	628,2	628,2	628,2	628,2	-
Navegación, radio y automoción	26,7	26,7	26,7	26,7	31,2
Calefacción y ventilación	169,7	164,2	95,3	169,7	37,8
Servicios de habilitación, cocina, lavandería y taller	424,6	432,0	176,5	489,3	-
Aire acondicionado	1.210,8	1.210,8	691,9	1.210,8	-
SUMATORIO (kW)	4.096,5	5.556,0	1.945,5	2.970,2	667,6

Tabla 5.5. Balance eléctrico de día

BALANCE DE DÍA				
NAVEGACIÓN	MANIOBRA	PUERTO	HOTEL	EMERGENCIA
kW	kW	kW	kW	kW
4.095,5	5.556,0	1.945,5	2.970,2	667,6

Tabla 5.6. Resumen de resultados en el balance de día.



3.2.2 Balance de noche

GRUPO CONSUMIDOR	CONDICIÓN				
	NAVEGACIÓN	MANIOBRA	PUERTO	HOTEL	EMERGENCIA
Servicios auxiliares de maquinaria y propulsión	1.294,1	1.365,9	94,9	94,9	264,3
Servicios de maquinaria auxiliar para calderas	2,1	2,1	2,1	2,1	-
Servicios sanitarios, sépticos y otros diversos	114,4	112,0	67,2	85,9	164,3
Maniobra	22,8	1.190,1	0,0	0,0	114,0
Auxiliares de cubierta, carga y elevación	203,1	424,0	162,7	262,7	56,0
Alumbrado	2.512,7	2.512,7	2.512,7	2.512,7	-
Navegación, radio y automoción	26,7	26,7	26,7	26,7	31,2
Calefacción y ventilación	169,7	164,2	95,3	169,7	37,8
Servicios de habitación, cocina, lavandería y taller	424,6	432,0	176,5	489,3	-
Aire acondicionado	1.210,8	1.210,8	691,9	1.210,8	-
SUMATORIO (kW)	5.981,0	7.440,5	3.830,0	4.854,7	667,6

Tabla 5.7. Balance eléctrico de noche.

BALANCE DE NOCHE				
NAVEGACIÓN	MANIOBRA	PUERTO	HOTEL	EMERGENCIA
kW	kW	kW	kW	kW
5.981,0	7.440,5	3.830,0	4.854,7	667,6

Tabla 5.8. Resumen de resultados en balance de noche.

3.3 Resultados finales

Una vez que se conoce ya la potencia de la planta propulsora así como la de la planta eléctrica, se puede llevar a cabo el cálculo de la potencia total necesaria del buque.

Para ello se debe determinar la potencia propulsora en las determinadas condiciones de Navegación, Maniobra, Puerto, Hotel y Emergencia. Estas condiciones se llevan a cabo a unas determinadas velocidades como se indicó en el apartado anterior. Así que utilizando nuevamente el método de Holtrop-Mennen se obtiene la potencia propulsora para dichas velocidades.

3.3.1 Potencia total durante el día

	CONDICIÓN				
	NAVEGACIÓN	MANIOBRA	PUERTO	HOTEL	EMERGENCIA
	19 kn	3 kn	-	-	10 kn
Potencia necesaria propulsión (kW)	9.041,45	31,94	-	-	1.038,99
Potencia necesaria planta eléctrica (kW)	4.095,50	5.556,00	1.945,50	2.970,24	667,60
Potencia total requerida (kW)	13.137,95	5.587,94	1.945,50	2.970,24	1.706,59

Tabla 5.9. Potencia requerida durante el día.



3.3.2 Potencia total durante la noche

	CONDICIÓN				
	NAVEGACIÓN	MANIOBRA	PUERTO	HOTEL	EMERGENCIA
	19 kn	3 kn	-	-	10 kn
Potencia necesaria propulsión (kW)	9.041,45	31,94	-	-	1.038,99
Potencia necesaria planta eléctrica (kW)	5.981,00	7.440,50	3.830,00	4.854,70	667,60
Potencia total requerida (kW)	15.022,40	7.472,44	3.830,00	4.854,70	1.706,59

Tabla 5.10. Potencia requerida durante la noche.

4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Sabiendo que el valor de la potencia de la planta propulsora es de 9.041,448 kW, lo que se hace a continuación es buscar modelos disponibles en el mercado que puedan satisfacer dicha demanda de potencia.

El modelo seleccionado es el motor de la línea Master (línea M) de la compañía brasileña WEG.



Figura 5.4. Línea Master de WEG

La versatilidad de estos motores permite diferentes configuraciones, pudiendo ser aplicados en ambientes severos que demandan alta resistencia y durabilidad. Su diseño optimizado, la excelente calidad de los materiales empleados y el riguroso control de todas las fases del proceso de fabricación habilitan los motores WEG para aplicaciones en diversos sectores, tales como el Naval.

Consultando en su catálogo se comprueba la disponibilidad de motores de 4.500 kW, cumpliendo así la demanda de potencia de la planta propulsora del buque mediante la selección de dos unidades.

5. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS DIÉSEL GENERADORES

Tal y como indica el reglamento, la potencia total necesaria en el caso más desfavorable, en cuanto a requerimientos de potencia se refiere, deberá ser alcanzada con N-1 generadores. La condición pues más desfavorable es la de Navegación durante la noche, donde la potencia total requerida es de 15.022,45 kW

En vista a esto y tras una dilatada búsqueda entre los modelos disponibles en el mercado se han encontrado dos opciones viables que podrían ajustarse bien a las condiciones impuestas.

5.1 Opción primera

La primera opción es el modelo 20V40000 DS3600, perteneciente a la casa MTU.

De las hojas de especificaciones, las cuales se anexan, se obtienen sus características así como sus dimensiones principales.

	POTENCIA	LONGITUD	ALTURA	PESO
MODELO	kW/DG	mm	mm	kg
MTU 20V4000 DS3600	2.864	6.249	2.412	18.420

Tabla 5.11. Potencia y dimensiones de la opción primera



Figura 5.5. MTU 16V40000 DS2050

Para cubrir la potencia total requerida en este caso será necesario la instalación de 7 generadores (2864 kW/generador). Aunque bastaría con 6, tal y como se ha mencionado anteriormente, por reglamentación la potencia en la condición más desfavorable ha de ser alcanzado con N-1 generadores.



En las siguientes tablas se muestra la verificación de los diésel-generadores elegidos de acuerdo a la potencia total requerida en cada una de las condiciones, tanto durante noche como día.

	Potencia requerida	DGG requeridos	Potencia DGG	DGG instalados	Potencia instalada
	kW	-	kW	-	kW
NAVEGACION	15.022	6	17.184	7	20.048
MANIOBRA	7.472	3	8.592	7	20.048
PUERTO	3.830	2	5.728	7	20.048
HOTEL	4.854	2	5.728	7	20.048
EMERGENCIA	1.706	1	2.864	7	20.048

Tabla 5.12. Verificación del grupo diésel-generador. Opción 1.

Tal y como ya se había explicado anteriormente, a través de la condición más desfavorable, es decir, la de navegación durante la noche, donde la potencia requerida era de 15022,45 kW, queda determinado en 7 el número de diésel-generadores necesarios para cubrir dicha demanda de potencia.

En la siguiente tabla se indica los requerimientos de potencia y generadores necesarios durante el día:

	Potencia requerida	DGG requeridos	Potencia DGG
	kW	-	kW
NAVEGACION	13.137	5	14.320
MANIOBRA	5.587	2	5.728
PUERTO	1.945	1	2.864
HOTEL	2.970	2	5.728
EMERGENCIA	1.706	1	2.864

Tabla 5.13. Requerimiento de los generadores durante el día. Opción 1

5.2 Opción segunda

La segunda opción es el modelo C175-20 perteneciente a la casa Caterpillar.

Al igual que en el anterior caso de las hojas de especificaciones, las cuales también se anexan, se obtienen sus características y dimensiones principales.

	POTENCIA	LONGITUD	ALTURA	PESO
MODELO	KW/DG	mm	mm	kg
CAT C175-20	3.250	6.642,8	2.224,3	25.000

Tabla 5.14. Potencia y dimensiones de la opción segunda.

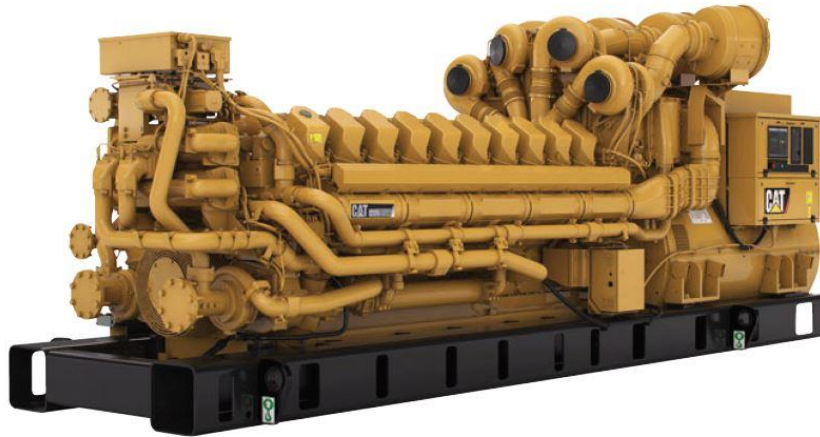


Figura 5.6. CATERPILLAR C175-20

En este otro caso para cubrir la potencia total requerida será necesaria la instalación de 6 generadores (3.250 kW/generador).

	Potencia requerida	DGG requeridos	Potencia DGG	DGG instalados	Potencia instalada
	kW	-	kW	-	kW
NAVEGACION	15.022,45	5	16.250	6	19.500
MANIOBRA	7.472,44	3	9.750	6	19.500
PUERTO	3.830,00	2	6.500	6	19.500
HOTEL	4.854,74	2	6.500	6	19.500
EMERGENCIA	17.06,59	1	3.250	6	19.500

Tabla 5.15. Verificación del grupo diésel-generador. Opción 2

A continuación, y al igual que en el caso anterior, se muestran los requerimientos de potencia y generadores necesarios durante el día:

	Potencia requerida	DGG requeridos	Potencia DGG
	kW	-	kW
NAVEGACION	13.137,95	5	16.250
MANIOBRA	5.587,94	2	6.500
PUERTO	1.945,50	1	3.250
HOTEL	2.970,24	1	3.250
EMERGENCIA	1.706,59	1	3.250

Tabla 5.16. Requerimiento de los generadores durante el día. Opción 2



5.3 Comparativa

La elección de estos generadores no solo va condicionada por la capacidad de potencia que deben suministrar, sino también con el espacio disponible en cámara de máquinas.

Se podría dar el caso de que unos grupos cumplieren con la potencia requerida, sin embargo las características de estos se alejaban por completo de las condiciones de la Cámara de Máquinas, en cuanto a espacio y peso se refiere, en el buque base.

De modo que, y a modo de resumen, las características principales de las dos opciones seleccionadas son las siguientes:

	POTENCIA/DG	LONGITUD	ALTURA	PESO	DGG instalados
MODELO	kW	mm	mm	kg	
MTU 20V4000 DS3600	2.864	6.249,0	2.412,0	18.420	7
CAT C175-20	3.250	6.642,8	2.224,3	25.000	6

Tabla 5.17. Tabla resumen de los modelos diésel generador seleccionados

5.3.1 Número de cilindros

En cuanto a la opción número 1, ésta se trata de motores de 20 cilindros en V, de modo que siendo necesaria la instalación de 7 motores, el número total para esta opción asciende hasta 140 cilindros.

Para la opción número 2, cuyos motores constan también de 20 cilindros en V, al ser 6 los motores necesarios a instalar el número total de cilindros se reduce hasta los 120.

En este aspecto la opción número 2 supone una ventaja sobre la otra, puesto que consta de un número menor de rozamientos, válvulas, piezas, etc. Lo que se traduce en una probabilidad inferior de producirse fallos o de la necesidad de reparaciones.

5.3.2 Tamaño

En cuanto al tamaño se refiere, se han de tomar las dimensiones del motor diésel original como punto de referencia.

MAN B&W 7L27/38	VALOR	UNIDAD
Longitud	5.515	mm
Altura	3.595	mm
Ancho	2.035	mm
Peso	33,50	T



Aunque a simple vista es evidente que ambas opciones, tanto la primera como la segunda, superan los 6 metros de longitud, y por ende la longitud del motor diésel original, la altura de ambas es muy inferior a los 3 metros iniciales de dicho motor. Por otro lado, y en cuanto al ancho, la opción 1 no supera los 2 metros mientras que la opción 2 es muy similar al ancho del motor original. De modo que, aún a pesar de tener una longitud algo mayor y un ancho muy similar una de la opciones, ninguna de las dos presenta problema alguno de disposición en la cámara de máquinas, habiendo el suficiente espacio para la instalación de todos los equipos necesarios.

Por otro lado, y ya desde un punto de vista de comparación entre ambas opciones, salvo por ligeras diferencias, ambas opciones presentan unas dimensiones muy similares. De modo que en el caso de producirse alguna avería que implicase la necesidad de una reparación importante, con la consiguiente cesárea del casco, ambas estarán en igualdad de condiciones en cuanto al efecto que pueda producirse en la integridad del casco.

5.3.3 Peso

En cuanto al peso, este resulta un factor determinante a la hora de decantarse por una u otra opción.

En primer lugar se tomará de nuevo como punto de referencia a la cámara de máquinas del buque base, concretamente el peso de sus 4 motores principales (MAN B&W Diésel AG 7L27/38 de 2380 kW), 3 motores auxiliares (MAN B&W 6L27/38 de 1825 kW), 2 motores auxiliares MAN B&W 7L27/38 de 2130 kW), así como reductoras y chumaceras de empuje.

	PESO (T)
MOTORES PROPULSORES	134
GRUPOS AUXILIARES MOTOR-ALTERNADOR	97
REDUCTORAS	20
TOTAL	251

Tabla 5.18. Peso total configuración de la cámara de máquinas.

De las 2 opciones propuestas, el peso por generador de la primera es de 18,420 T, mientras que el peso de cada generador en la segunda opción es de 25 T. Con esto se da paso al cálculo del peso total para cada una de las opciones.

OPCIONES	PESO T	DGG instalados	PESO TOTAL T
MTU 20V4000 DS3600	18,42	7	128,94
CAT C175-20	25,00	6	150,00

Tabla 5.19. Peso total de los grupos diésel-generadores.



Comparando los resultados se aprecia como cualquiera de las dos opciones presenta un peso ampliamente inferior al de la planta base, sin siquiera haber tenido en cuenta el acortamiento de la línea de ejes, lo cual haría aún más abultada la diferencia de peso.

Ya entre ambas opciones, con una diferencia de peso de 21,06 T, la opción 1 ofrece una mayor ventaja respecto a la otra.

5.3.4 Distribución en cámara de máquinas

A la hora de llevar a cabo la distribución de ambas opciones en la cámara de máquinas se ha buscado en todo momento que el empacho sea homogéneo, en la medida de lo posible, así como no modificar demasiado el centro de gravedad respecto al buque base.

Además de lo antes mencionado pasan a explicarse a continuación una serie de decisiones influyentes en la distribución para cada una de las opciones :

- **OPCIÓN 1:**

Tanto en esta opción como en la otra, y tal como se mencionó anteriormente en el apartado del Peso, en vista de la ausencia de los cuatro grandes motores se ha llevado a cabo un acortamiento de la línea de ejes, despejando de esta forma un gran espacio del compartimento en que se ubicaban.

Un espacio muy necesario, y es que, aunque en el compartimento de los motores auxiliares se han podido alojar 5 de los diésel-generadores, debido a la falta del suficiente espacio para los dos últimos se ha tenido que aprovechar ese espacio libre antes mencionado para ubicar los restantes.

- **OPCIÓN 2:**

En dicha opción se ha tenido nuevamente que utilizar el espacio del compartimento de los motores principales para alojar uno de los diésel-generadores, de esta forma se consigue no sobrecargar un compartimento con los 6 motores necesarios para esta opción.

CUBIERTA 1

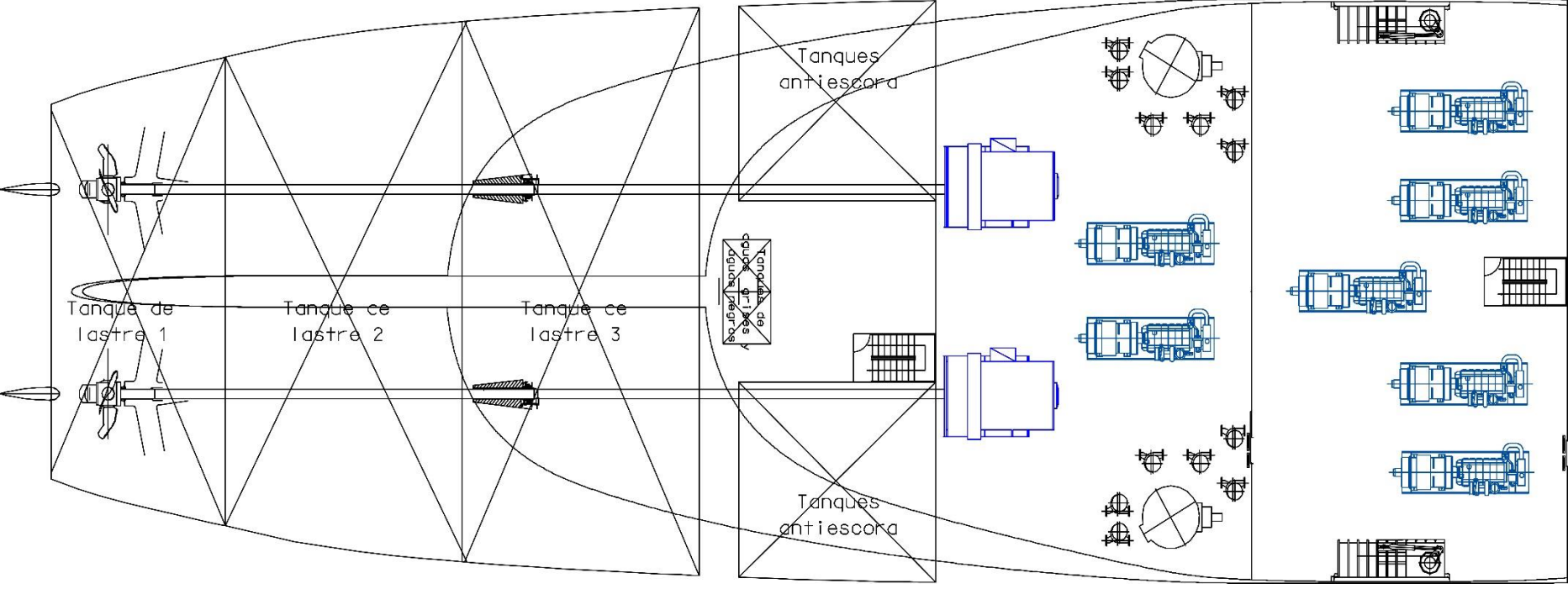


Figura 5.7. OPCIÓN 1. Propuesta de distribución en Cámara de máquinas.

CUBIERTA 1

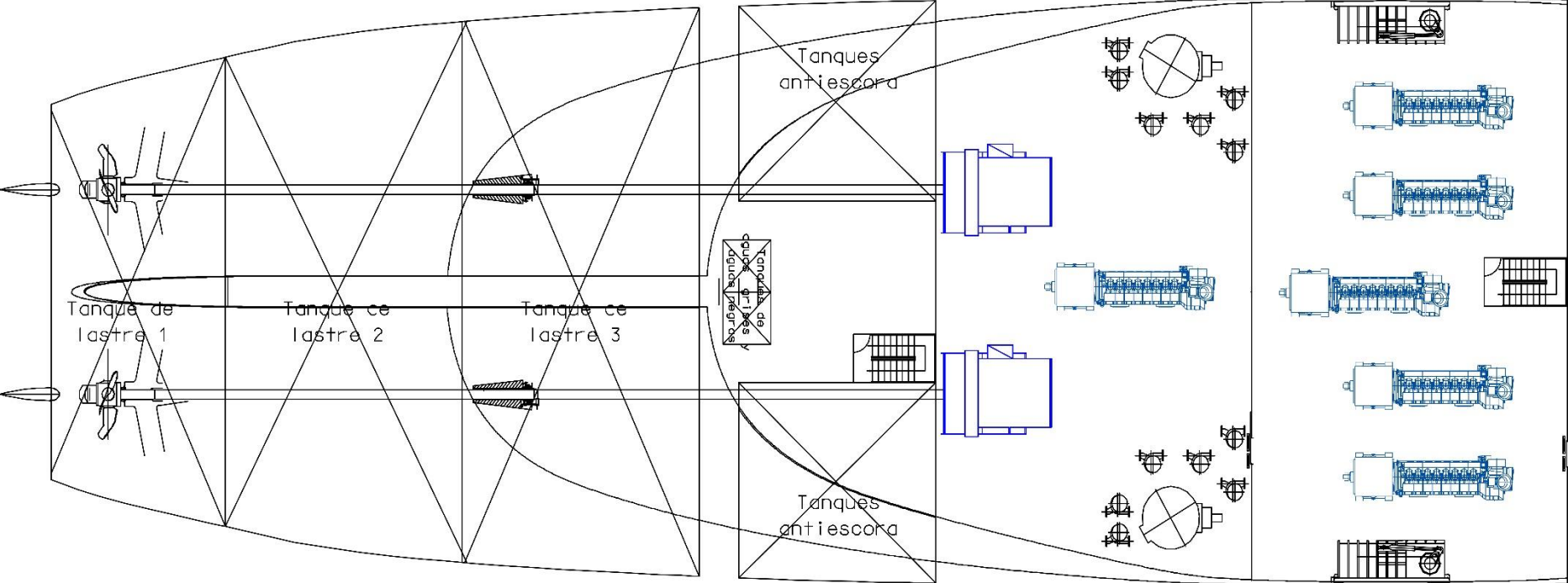


Figura 5.8. OPCIÓN 2. Propuesta de distribución en Cámara de máquinas



5.4 Conclusiones

Se han analizado dos opciones que técnicamente son viables. En un cuaderno posterior, el correspondiente a los presupuestos, se verá cuál de ellas es la más rentable, asumiendo también que siempre hay factores externos que influirán de alguna u otra forma a la decisión final que se tome, factores como puede ser la predilección de un armador por una marca, etc.

A modo de conclusión e independientemente de la opción que se elija, la propulsión diésel eléctrica en general y ambas opciones en particular poseen una gran virtud frente a la configuración diésel del buque base. Esa virtud es la estandarización, la cual te proporciona la gran ventaja de que acabas trabajando solamente con dos equipos, los grupos diésel-generadores y los dos motores eléctricos, los cuales presentan a su vez la ventaja de necesitar muy poco mantenimiento y proporcionar una gran fiabilidad. Todo esto en conjunto solo hace más que facilitar enormemente las labores de mantenimiento y reparación, suponiendo al final un ahorro de tiempo, personal, así como de dinero.

6. PROPULSORES AZIMUTALES COMO ALTERNATIVA

6.1 Introducción

El propulsor azimutal consiste en una hélice que puede orientar su impulso girando alrededor de un eje vertical. Este giro es completo (360°) lo que mejora la maniobrabilidad haciendo incluso innecesario el timón.

La primera propulsión azimutal fue concebida en 1955 y desde entonces son muchos tipos de buques los que incorporan este tipo de propulsión, como es el caso de los buques de crucero, lo cual se tratará con mayor profundidad más adelante.

Para entender algo más este tipo de propulsores es necesario explicar que pueden girar sin necesidad de una línea de ejes rígida, sino con un motor eléctrico acoplado perpendicularmente al propulsor en un contenedor (*pod*), que es alimentado por un alternador situado en la cámara de máquinas.



Figura 5.9. Modelo Azipod del fabricante suizo ABB



Al ver un buque propulsado por cualquiera de los sistemas azimutales, se debe olvidar la sala de Máquinas convencional, puesto que al no existir unos Motores Principales como tales, ni Motores Auxiliares, ni reductoras, ni ejes, los diferentes elementos se puedan colocar según la conveniencia y las especificaciones del buque.

Hoy en día son diferentes los fabricantes de este sistema. Los tres con más renombre son la suiza ABB, ya mencionada anteriormente, con el *Azipod*, la británica Rolls-Royce y sus góndolas *Mermaid* y el conglomerado alemán Siemens con sus propulsores *Siemens Schottel*.

6.2 Azimutales en buques de crucero

Probablemente el Azipod de ABB sea el sistema de propulsión predilecto para los cruceros de todo el mundo. En el año 1995 se llevó a cabo la instalación de estos sistemas a bordo de las nuevas construcciones *Elation* y *Paradise* de la clase *Fantasy* de Carnival Cruise Lines. De esta forma el *Elation* se convertía en el primer buque de crucero del mundo en ser provisto con unidades de propulsión Azipod. En 1997, llegó un pedido de Royal Caribbean Cruises por el que se instalaron tres unidades en el crucero más grande de su época: el *Voyager of the Seas*.



Figura 5.10. Azipods del buque Carnival Elation

A día de hoy los buques para cruceros son el mayor grupo de naves que han sido provistos con el sistema de propulsión Azipod desde la década de 1990.

El éxito de las unidades propulsoras eléctricas tipo góndola ha incentivado a competidores tales como Rolls-Royce con su propulsores *Mermaid*, con los cuales se ha provisto a dos de los cruceros más conocidos y más grandes, el *Queen Mary 2* y el *Freedom of the Seas*.

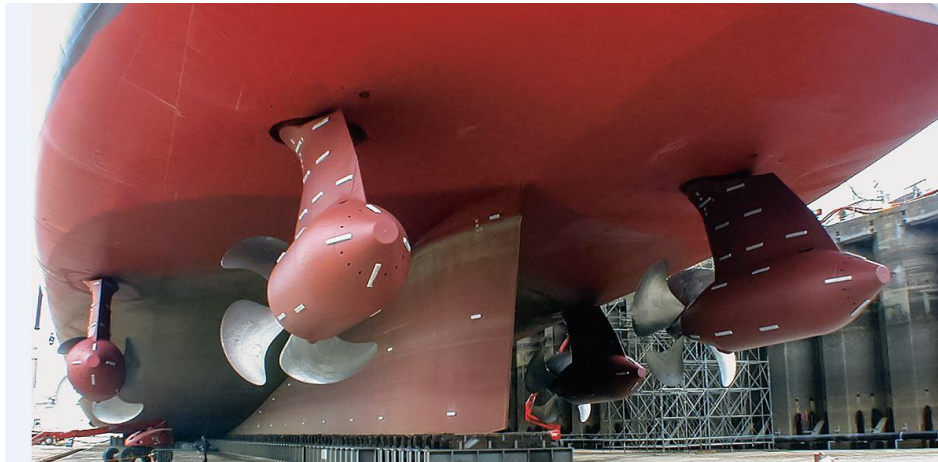


Figura 5.11. Propulsores en góndola Mermaid del Queen Mary 2

6.2.1 Beneficios de este sistema de propulsión

Estos sistemas de propulsión azimutal permiten:

- Facilitar la disposición general.
- Mejorar la eficiencia y seguridad del combustible, así como disminuir los gastos del ciclo de vida.
- Usar un sistema de propulsión cuya mayor parte no es contaminante.
- Instalación rápida y simples.

El consumo de combustible y las emisiones de escape se reducen debido a la mejora en la eficiencia hidrodinámica. Dicha mejora es el resultado de la reducción de resistencia del casco cuando son eliminados la línea de eje tradicional y los soportes, permitiendo así llevara cano un diseño óptimo del casco.

El concepto de central eléctrica proporciona un ahorro de combustible mediante la optimización de la carga de los motores diésel. El sistema de administración de energía conecta o desconecta el generador diésel en función de la demanda de potencia del buque, reduciendo tanto el funcionamiento a baja carga ineficiente como horas de funcionamiento de los motores diésel.

La hélice de estos sistemas es una hélice de tracción que opera en un campo de estela mejor y por lo tanto induce pulsos de presión inferiores al casco, dando como resultado unos niveles de vibración y ruido más bajos , mejorando así la comodidad del pasaje.

6.3 Azimutales en el buque base

Hasta ahora se ha hablado de los azimutales como alternativa en cuanto a la propulsión del buque, sin embargo también los hay que se emplean en las labores de maniobrabilidad de este. Se trata de las hélices transversales de proa, y se encuentra presentes en el buque base.

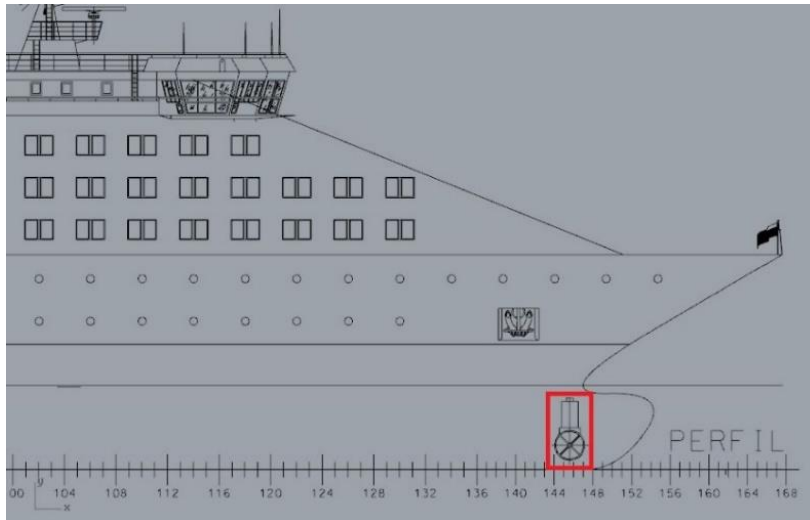


Figura 6.12. Hélice transversal de maniobra. PERFIL

Dada la necesidad de maniobrabilidad del buque base, y en general de los buques de crucero, éste dispone de dos hélices transversales de maniobra en proa, cuyo accionamiento transversal es de tipo eléctrico, por lo que lleva instalados dos motores eléctricos con una potencia de 600 kW por unidad.

Esta instalación supone una opción más económica que la del uso del servicio de remolcadores de puerto para conseguir la maniobrabilidad necesaria.



Figura 6.13. Hélice transversal de accionamiento eléctrico

Este tipo de hélices presenta tres ventajas fundamentales:

- Facilita enormemente los movimientos laterales de la proa de la embarcación, tan a menudo difíciles de controlar por el viento o las corrientes.



- Permiten la maniobra en lugares estrechos, complicados y, sobre todo, en amarres desconocidos.
- Evitan considerablemente las corrientes y el efecto del abatimiento producido por el viento a la hora de realizar la maniobra.

Estas instalaciones pueden ser hidráulicas o incluso estar accionadas por un motor diésel, sin embargo la gran mayoría de ellas suelen ser eléctricas, como en el caso del buque base.

El alojamiento de la hélice en el casco del buque se denomina túnel. Y es importante saber que cuanto menor sea el diámetro de este, menor será su resistencia bajo el agua y, por consiguiente, menor la pérdida de velocidad en navegación. Además, un diámetro pequeño permite que el túnel se pueda situar más a proa, lo que mejora considerablemente su efectividad por el aumento del momento de giro de la embarcación. El diámetro del túnel en el buque base es de 1,5 metros.

Ya para concluir, y como ejemplo visual de este tipo de azimutal en el ámbito de los buques de tipo crucero, se puede observar a continuación una imagen del crucero Oasis of the Seas de la naviera Royal Caribbean International con este tipo de instalación.



Figura 6.14. Oasis of the Seas.

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 6

PROPUESTAS PARA EL ASTILLERO



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	80
1.2 El astillero tradicional	80
2. CRITERIOS ACTUALES DE DISEÑO DE LA PLANTA	81
2.1 Lean manufacturing.....	81
2.1.1 Origen de la gestión Lean	82
2.1.2 Objetivos de la gestión lean	83
2.1.3 Los desperdicios	83
2.1.4 Filosofía Lean	84
2.3 Herramientas Lean	85
2.3.1 Las 5S	85
2.3.2 Mantenimiento productivo total.....	87
2.3.3 Single-minute exchange of die.....	87
2.3.4 Despliegue de la función de calidad	88
2.3.5 Kanban	88
2.4 Implicación del personal y respeto al trabajador.....	89
2.5 La mejora continua de productividad y calidad	90
3. IMPLANTACIÓN LEAN EN EL ASTILLERO	90
3.1 Distribución en planta en forma de “U”	90
3.2 Proceso productivo	91
3.3 Diseño orientado a la producción.....	91
3.4 Estandarización	93
4. INDUSTRIA 4.0.....	94
4.1 Introducción	94
4.3. Industria 4.0. Elementos.....	95
4.2 Industria 4.0. Objetivos y retos	95
4.2.1 Objetivos.....	95
4.2.2 Retos y desafíos	96
5. ASTILLERO 4.0	96
5.1 Internet de las cosas (IoT)	97
5.2 Sistemas ciberfísicos (CPS) – Sistemas de integración	98
5.3 Simulación.....	99



5.4 Realidad aumentada	100
5.5 Robótica colaborativa.....	101
5.6 Fabricación aditiva (Impresión 3D)	101
5.7 Big Data y análisis.....	102
5.8 Cloud computing (Computación en la nube)	103
5.9 Ciberseguridad	103
6. CONCLUSIÓN	104





1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las disposiciones en planta en astilleros de construcción previos a la década de 1980 están fundamentadas en ideas organizativas obsoletas hoy día. Ya que el objetivo de las disposiciones en estos astilleros ha sido el de rentabilizar todo lo posible los medios de producción disponibles. En este contexto, la planta ha estado compuesta por una serie de talleres con una disposición enfocada más en la obtención del máximo provecho de la maquinaria que estos albergan, que de la obtención de eficientes procesos de producción por medio de dicha maquinaria. Cometiéndose así pues el error de dedicar más atención a la productividad de las operaciones que conforman los procesos productivos, que a la productividad global de todos y cada uno de los procesos.

1.2 El astillero tradicional

La década de los 70 fue la época dorada de la construcción de los grandes buques tipo VLCC. Con más de 500.000 TRB, estos buques resultaban sencillos y de poco valor añadido, lo que los hacía idóneos para plantas de corte tradicional como la mencionadas anteriormente, donde la máxima de gestión reinante era la producción en masa. Durante estos años resultaban comunes encargos de varios petroleros iguales a un mismo astillero, justificando así las pautas de gestión explicadas anteriormente.



Figura 6.1. Superpetrolero Batillus a mediados de los 70

Los defectos comunes en los astilleros diseñados con las pautas explicadas hasta ahora son entre otros:

- Elevados gastos en el manejo de material en bruto.
- Capacidades de producción limitadas y productividades globales bajas.
- Gastos por flujos inapropiados corregidos en su mayoría con instalaciones mal dotadas y transitorias o a través de subcontrataciones al exterior.

El "layout" de los astilleros tradicionales se caracteriza por lo siguiente:



- Planta de gran superficie que facilita el recibo de material en bruto.
- Un único centro de corte y conformado de planchas desde el cual se suministra a todos los puntos de consumo
- Grandes superficies entre los centros productivos empleadas para el acopio de bloques y productos intermedios, posibilitando así el hacinamiento de stocks.

Al grupo de talleres que conforman el "layout" de los astilleros tradicionales se le puede enumerar de la siguiente forma: Taller de elaboración (corte y conformado), taller de previas, taller de bloques planos, taller de bloques curvos, zona de premontaje y dique.

2. CRITERIOS ACTUALES DE DISEÑO DE LA PLANTA

2.1 Lean manufacturing

Los factores que han regido tradicionalmente la composición de una planta de producción han sido los principios de gestión imperantes en el momento de su creación y el tipo de producto en sí. En la actualidad, es de vital importancia reconsiderar la configuración de un astillero para poder adecuarlo a las modernas tendencias que el mercado va imponiendo. Así pues, la permanencia en el mercado va a depender tanto del tipo de producto como de la concepción de la planta.

En el caso de los cruceros la configuración de la planta va a resultar de suma importancia debido al gran efecto que esta tiene. Y es que las altas prestaciones, desde el punto de vista de la comodidad como es el caso de las vibraciones y ruidos, las elevadas velocidades impuestas a estos buques, así como la necesidad de emplear materiales ligeros para poder optimizar la propulsión y estabilidad, van a implicar la reducción máxima posible de los espesores de las planchas y, por ende, el aumento de la querencia a las deformaciones. En consecuencia los métodos empleados para paliar deformaciones tendrán un claro efecto en la configuración de la planta.



Figura 6.2. Construcción de un crucero en el astillero italiano Fincantieri



Pasando de una dirección fundamentada en la alta productividad y la reducción de gastos por medio de tareas focalizadas en la obtención de la mayor cuantía posible de producto, a otra basada en otras metas tales como la calidad, flexibilidad, tiempos de entrega y una disminución más sustancial de los costes a través de la implantación del concepto de desperdicio

Objetivos como los tiempos de entrega y la calidad no resultan novedosos en el ámbito de la construcción naval. Influenciada por la cultura japonesa, la calidad ha dejado de verse tan solo como el resultado de satisfacer las condiciones del cliente, pasando a ser también una herramienta con la que poder mejorar la productividad. Los tiempos de entrega por otro lado son uno de los objetivos más afianzados en la construcción naval, y el motivo no es otro que las graves secuelas financieras que pueden conllevar posibles retrasos en la entrega de buques.

La flexibilidad es quizá, el objetivo más novedoso. En comparación con la producción en masa de los astilleros tradicionales, en donde el objetivo era el de producir cuanto más mejor, aquí los procesos productivos van a ser más flexibles cuanto más se ajusten a la demanda. Además de que la flexibilidad de dichos procesos se va a ver fortalecida con la flexibilidad de los trabajadores, y es que los trabajadores con formación polivalente van a ser capaces de cambiar de tarea cuando sea necesario y por tanto, contribuir a la producción bajo demanda. La reducción de mano de obra es resultado directo de lo explicado anteriormente.

Esta nueva forma de controlar las empresas, no es otra que la llamada "Gestión Lean" o ajustada (*"Lean Manufacturing"*).

2.1.1 Origen de la gestión Lean

El concepto "gestión lean" surge en Japón durante la década de los 50. Tras la segunda guerra mundial, al quedar diezmada la industria japonesa, la compañía Toyota, hasta entonces circunscrita al sector textil, toma la decisión de expandirse al sector automovilístico. Al no tener la infraestructura necesaria para poder rivalizar con las grandes compañías del sector como Ford y su producción "en masa", Toyota solo podía producir automóviles en pequeñas cantidades y de gran variedad pero desconocían el cómo, hasta que uno de los ejecutivos de la compañía, Taiichi Ohno, desarrolló un sistema que lo permitía y cuya principal premisa era la eliminación de todo tipo de desperdicio, facilitando de esta forma el flujo continuo.

La publicación del libro *La máquina que cambió el mundo* puso de manifiesto los grandes resultados obtenidos por Toyota en términos de productividad y calidad en comparación con las grandes compañías americanas del sector del automóvil. Produciendo más con menos de todo. Menos personal, menos espacio, menos stock y finalmente, menos capital. Fue este libro el que comenzó a utilizar el término de "producción lean".

Esta filosofía se ha ido imponiendo paulatinamente a lo largo del XXI a otros ámbitos industriales como es el caso del sector naval, en donde su aplicación viene introducida por la tecnología de grupos a través de la división del buque en productos intermedios con unos parámetros de diseño de construcción muy parecidos. Así pues estos productos



intermedios pueden producirse de una forma muy similar usando instrucciones iguales independientemente del buque al que pertenezcan. De la mano de la tecnología de grupos se establece una semejanza entre el proceso constructivo del acero del buque y los procesos propios de la producción en serie, en el que el sector de la automoción es uno de los modelos más característicos.

2.1.2 *Objetivos de la gestión lean*

Al igual que la gestión denominada “en masa” había sido la gestión característica del siglo XX. La “gestión lean” es la predominante para este siglo XXI.

La gran competitividad de la filosofía “lean” se debe a la convergencia de distintos objetivos intrínsecos a la misma:

- Consecución de servicios o productos con un grado de calidad óptimo, pues la falta de esta es considerada como un despilfarro en sí mismo.
- Flexibilidad necesaria para ajustar los diversos procesos de la empresa a cubrir únicamente la demanda que recibe y en el instante en el que lo hace, ahorrando así en actividades improductivas.
- Gran rapidez en los servicios a los clientes y en las entregas de productos, o dicho de otra forma, la mayor reducción posible de tiempos, puesto que los tiempos muertos no son más que desperdicios.
- Reducción de los costes (como resultado de la eliminación de todo aquella tarea considerada como desperdicio y, en líneas generales, de todo uso improductivo de los recursos).

El resumen, el principal objetivo de la filosofía lean es el de eliminar los "desperdicios", para así proveer al cliente del mejor servicio posible en un plazo de entrega al menor coste posible, y todo ello a través de la mejor calidad.

2.1.3 *Los desperdicios*

En la filosofía Lean se entiende al concepto “desperdicio” (“*Muda*” en japonés) como toda aquella tarea o empleo de recursos que resultan inútiles para el objetivo final del proceso. Se pueden dividir en siete categorías:

1. **Sobreproducción:** producir más material del que sea necesario o de manera previa al momento en lo que lo vaya a ser. Se considera a la sobreproducción como el principal desperdicio y el causante de muchos de los otros desperdicios.
2. **Defectos:** los productos defectuosos impiden la fluidez y la esbeltez derrochando mano de obra, tiempo y esfuerzo.
3. **Inventario:** guardar material ocupando sitio, costes y pudiendo ser potencialmente dañados, además de que los problemas pueden no ser visibles.

4. **Movimientos:** cualquier movimiento que no aporte valor al producto se considera un desperdicio. Un ejemplo claro de este tipo de desperdicio es el de las personas en la empresa subiendo y bajando a por documentos, escogiendo, etc.
5. **Procesos:** realización de procesos inútiles para el empleo de herramientas o maquinaria así como proveer de estándares de calidad mayores de los requeridos por los clientes.
6. **Transporte:** se considera desperdicio a todo movimiento de trabajo de un lugar a otro inclusive cuando las distancias son reducidas.
7. **Esperas:** el hecho de tener a los operarios a la espera, ya sea de materiales necesarios para la producción, por averías de la maquinaria o por mera información, no hacen más que interrumpir el flujo de trabajo.



Figura 6.3. Los 7 desperdicios

2.1.4 Filosofía Lean

En definitiva, la filosofía Lean está basada en el trabajo en equipo, liderazgo y resolución de problemas siempre con el objetivo en mente de llevar a la empresa hacia la mejora continua a través de la mejora de los procesos, la satisfacción de los clientes y la potenciación de los empleados.

Dicha filosofía se focaliza más en el proceso La filosofía Lean se centra más en el proceso que proporcionará el servicio y producto que en el servicio o producto en sí mismo, lo cual no hace más que favorecer la creación de valor para los clientes, algo fundamental para cualquiera organización.

Son tres los pilares fundamentales en lo que se asienta:

- Supresión de cualquier tipo de desperdicio.
- Implicación del personal y respeto al empleado.
- Mejora continua de calidad y productividad (*Kaizen*).



Gráfico 6.1. Filosofía Lean Manufacturing

Lean Manufacturing posee algunas herramientas cuyo fin es el de ayudar a suprimir o reducir en la medida de lo posible todas aquellas actividades que agreguen valor a los procesos, servicios o al propio producto, contribuyendo así a la eliminación de cualquier actividad innecesaria y aumentando el valor de las realizadas.

2.3 Herramientas Lean

Antes de hablar sobre las diferentes herramientas es importante hablar de uno de los errores más comunes que se suelen cometer. Dicho error es el de pretender optimizar procesos aumentando la productividad de estos en su conjunto, sin antes si quiera haberse planteado si en estos se encuentran algunos de los desperdicios previamente mencionados, y que no aportan valor alguno. Este error lleva al empleo de un esfuerzo y tiempo muypreciado en optimizar algo que carece de toda valor, es decir, en optimizar un desperdicio. De forma que si la meta final es la de ser lo más eficiente posible, será de vital importancia dedicar todos los esfuerzos al alcance en la optimización de todo aquello que sí aporte valor, suprimiendo en la medida de lo posible todo lo que represente un desperdicio y, por ende, no aporte valor.

A continuación, y hablando de la parte más operativa, se describen algunas de las herramientas Lean que proporcionan mejores resultados

2.3.1 Las 5S

Originada en Japón, esta herramienta se basa en 5 fases simples, cada una de las cuales empieza por S en japonés:

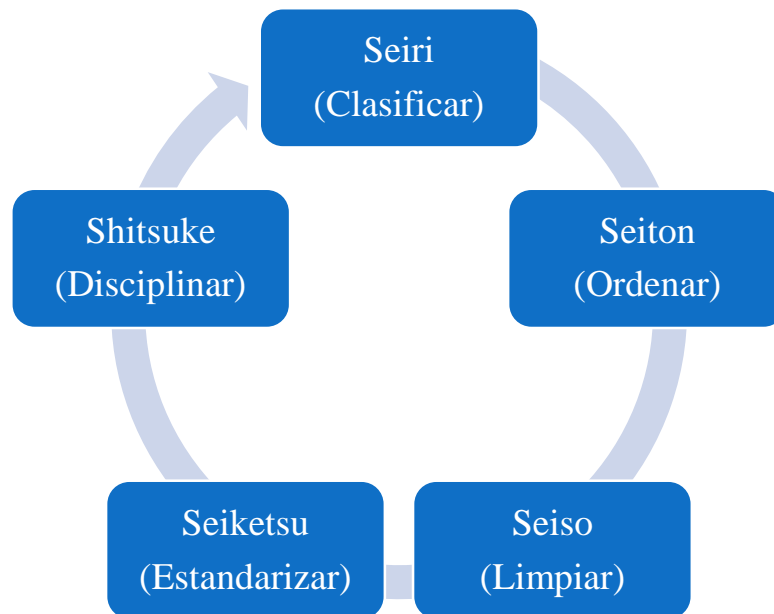


Gráfico 6.2. Las 5S

Con los fundamentos más comprensibles de la filosofía Lean, esta herramienta es probablemente también la menos costosa desde el punto de vista económico. Dichos fundamentos son los siguientes:

- **Seire** (Clasificación): Suprimir todo aquello que resulte inútil del espacio de trabajo.
- **Seiton** (Orden): Estructurar de la forma más eficaz posible el espacio de trabajo.
- **Seiso** (Limpieza): Mejorar el grado de limpieza de los espacios.
- **Seiketsu** (Estandarización): Evitar el desorden y la aparición de suciedad.
- **Shitsuke** (Mantener la disciplina): Promover el afán de seguir mejorando.

Para que la herramienta de las 5S puedan desarrollarse con éxito se requiere, al igual que cualquiera de las otras herramientas Lean, un alto compromiso de la dirección de la empresa.

A grosso modo lo que esta herramienta intenta evitar es lo siguiente:

- Carencia de instrucciones en planta
- Apariencia descuidada o sucia del entorno de trabajo.
- Falta de seguridad laboral en el puesto de trabajo (Uso de protecciones y gafas).
- Desplazamientos superfluos en el flujo de trabajo.

Los proyectos en los que se pretenda implementar la herramienta de las 5S tienen que ser cortos en el tiempo así como medibles y abordables. Una de las características representativas de dicha herramienta son sus evidentes resultados visibles, haciendo ver que las cosas realmente mejoran.



2.3.2 *Mantenimiento Productivo Total*

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) es una herramienta importante que, aunque complicada y difícil de introducir, resulta muy eficaz a la hora de eliminar las ineficiencias producto de los sistemas de mantenimiento poco eficientes.

Esta herramienta tiene como fin comprometer a toda la organización/fábrica en las tareas de mantenimiento comenzando por los operarios, puesto que si estos hacen un buen uso de la maquinaria así como de su mantenimiento dicha maquinaria tendrá un funcionamiento mejor, disminuyendo así los tiempos de averías (desperdicio de espera) y generando menos fallos que conlleven retrabajos (desperdicio de defecto).

Implementando esta herramienta se pueden llegar a conseguir ahorros por valor de millones de euros a través del ahorro en gasto corriente y la reducción de las averías.

2.3.3 *Single-Minute Exchange of Die*

SMED (acrónimo de *Single-Minute Exchange of Die*) es una metodología cuyo objetivo es disminuir en la medida de lo posible el tiempo de cambio (desperdicio de espera). Este tiempo es aquel que transcurre desde que obtiene la pieza última y correcta del producto saliente hasta que se obtiene la pieza primera y correcta del producto entrante.

La aplicación de la herramienta SMED se puede resumir brevemente en 2 fases:

1. Separar las etapas de trabajo externas e internas. Es la fase más importante, puesto que en ella se pueden obtener reducciones del orden del 30% o 50% en los tiempos de cambio.
2. Reducción de los tiempos de preparación externos e internos por medio de mejoras de métodos.

Así pues, la herramienta SMED trabaja y mejora tres áreas vitales:

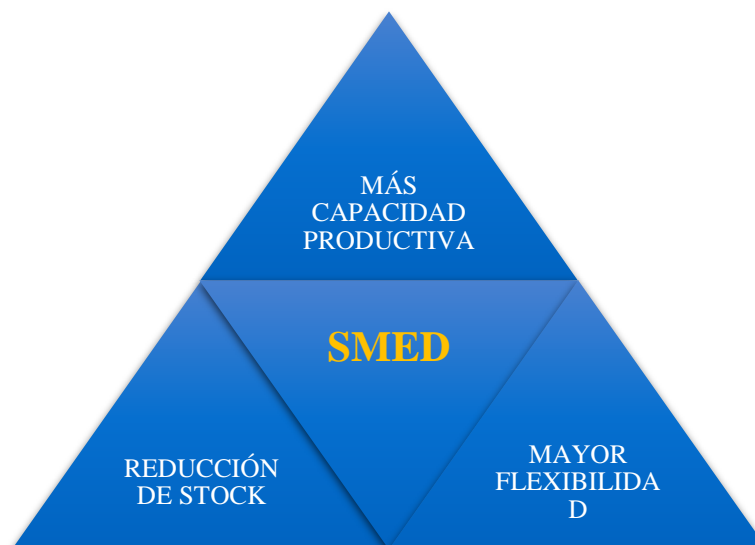


Gráfico 6.3. Beneficios de la aplicación del SMED



- Capacidad productiva. A través de la disminución de los tiempos de cambio el tiempo ahorrado pasa a ser tiempo productivo, lo que trae consigo un aumento de la productividad.
- Reducción de stock. Al reducir el nivel de inventarios se consigue una liberación del espacio en la planta productiva.
- Mayor flexibilidad de la organización para adecuarse a los posibles cambios en la demanda.

2.3.4 Despliegue de la Función de Calidad

La principal idea en la que se basa el QFD (acrónimo en inglés de *Quality Function Deployment*) es la del entendimiento de la calidad no solo como la satisfacción de las exigencias y necesidades del cliente, sino también como las cualidades que ha de tener un producto para satisfacer las exigencias y necesidades del cliente. Es decir, prestar igual atención a la calidad diseño.

En su conjunto son tres los objetivos que busca el QFD:

1. Otorgar prioridad a los requerimientos y necesidades de los clientes acerca de un producto.
2. Traducir esos requerimientos y necesidades en términos de especificaciones y características técnicas.
3. Diseñar, elaborar y suministrar un servicio o producto de calidad, focalizándose en la satisfacción de los clientes.

En conclusión, el QFD incorpora las necesidades del cliente en el diseño. Y lo hace a través de su transformación en características de calidad por medio del desarrollo sistemático de las relaciones entre características y necesidades.

2.3.5 Kanban

La palabra *Kanban* procede del japonés y traducida literalmente quiere decir letrero o valla publicitaria. Este método de producción, adoptado por la automotriz Toyota durante los años 40, se basa en “hacer sólo lo que se necesita, cuando se necesita y en la cantidad que se necesita”.

El tablero más básico de Kanban está compuesto por tres columnas: “Por hacer”, “En proceso” y “Hecho”. Si se aplica bien y funciona correctamente, serviría como una fuente de información, ya que demuestra dónde están los cuellos de botella en el proceso y qué es lo que impide que el flujo de trabajo sea continuo e interrumpido.

En cuanto a su funcionamiento, el primer paso consiste en determinar la cantidad ideal de productos a entregar. Cada proceso retira del proceso anterior la cantidad de producto, pizzas o subconjuntos que necesita, y estos comienzan a elaborar tan solo las piezas que han retirado, acompasando el flujo de materiales de los proveedores con los talleres y con la línea de montaje.



Figura 26.4. Orígenes del KANBAN

Las tarjetas funcionan como prueba del proceso de producción, son pegadas en los contenedores de materiales y se despegan cuando dichos contenedores son empleados asegurando de esta forma la reposición de los mismos. De esta forma las tarjetas se convierten en el método de comunicación de las órdenes de fabricación entre las diferentes estaciones de trabajo.

En estas tarjetas se puede encontrar distinta información como el código de la pieza a fabricar, su descripción, materia prima a utilizar, etc.

Hay otras herramientas Lean como son: Control de proceso (Jidoka), Producción Nivelada, Poke-Joke, etc. Sin embargo, más allá de esos nombres exóticos, estas herramientas pueden estar alejadas de nuestros equipos, operarios y encargados, siendo las descritas hasta ahora las más confiables y testadas, y por consiguiente, las herramientas de referencia dentro de la filosofía Lean.

2.4 Implicación del personal y respeto al trabajador

Uno de los cimientos en el proceso de instauración de la filosofía Lean es el de la implicación del personal. La implantación de dicha filosofía supone cambios drásticos en la forma de trabajar, algo que de forma natural provoca suspicacia y alarma en el empleado. Por ello es de vital importancia saber cómo derribar las barreras al cambio que suponen esa suspicacia y alarma si no se desea fracasar en el intento.

Por medio de grupos de trabajo se consigue no solo hacer partícipe al personal en el cambio, a la par que vencer sus temores hacia este, sino también la obtención de buena ideas que incorporar a la organización, con las consiguientes mejoras que estas pueden traer. Por consiguiente, la filosofía Lean busca postergar las relaciones jerárquicas y políticas de mandos en pro de relaciones fundamentadas en el trabajo en equipo y el liderazgo.

2.5 La mejora continua de productividad y calidad

En último lugar, el "*Kaizen*" o "mejora continua" como tercer pilar fundamental cuyo principal objetivo es el de conseguir que todo el personal de la organización asuma la necesidad de la mejora y trabaje incansablemente en pos de conseguirla.

El Kaizen es lo que permite que las organizaciones no se atasquen y, por consiguiente, mantengan su competitividad con respecto al mercado y la competencia, la cual está en constante evolución.

3. IMPLANTACIÓN LEAN EN EL ASTILLERO

3.1 Distribución en planta en forma de "U"

Recordando los siete desperdicios que se identificaban en la implantación del Lean Manufacturing, el cambio de distribución del astillero influirá especialmente en la reducción de movimientos innecesarios y exceso de transporte, lo que se traduce en una reducción del tiempo de fabricación. Además, la nueva distribución tendrá como objetivo la búsqueda del flujo continuo lo que reducirá los tiempos de espera.

La nueva distribución del astillero será en forma de "U" con una única línea de trabajo, teniendo las gradas en el centro, y buscando un flujo continuo:

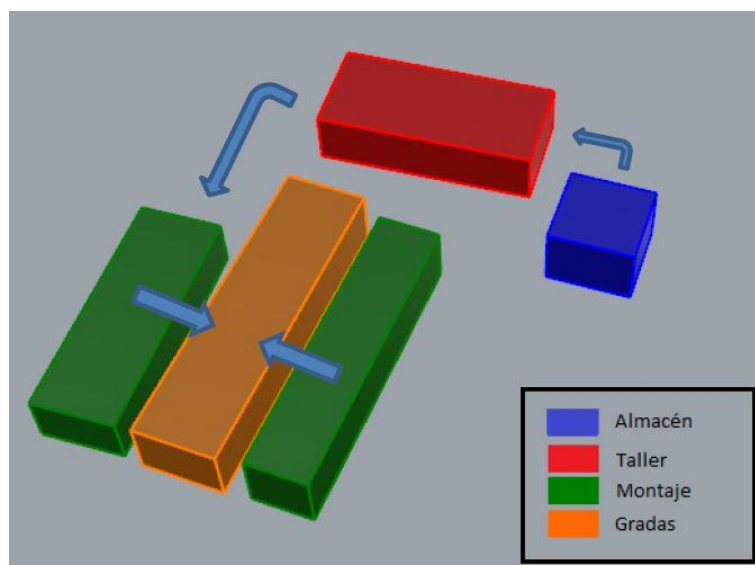


Figura 6.5. Flujo de trabajo del astillero moderno

El astillero dispone de dos módulos de montaje uno para cada grada. En el taller de trabajo se seguirá una distribución por células de trabajo, que consiste en la combinación de distribuciones por proceso y distribuciones por producto, adoptando las características de ambos se obtiene una distribución flexible y eficiente.

Este sistema propone la creación de unidades productivas capaces de funcionar con cierta independencia denominadas células de fabricación.



Figura 6.6. Construcción de un crucero en el astillero finlandés Meyer Turku

Gracias a esta distribución se consigue:

- Disminución del inventario.
- Menor necesidad de espacio en la planta.
- Menores costos directos de producción.
- Mayor utilización de los equipos y participación de los empleados.
- Simplificación en la planificación.

3.2 Proceso productivo

Como ya se ha visto, los nuevos conceptos de gestión y organización en la filosofía Lean llevan a una disposición en planta de las instalaciones completamente distinta a la del Astillero Tradicional. Un concepto importante en las actuales tendencias organizativas es el proceso productivo, el cual puede definirse de la siguiente manera:

"Es el procedimiento mediante el cual se obtienen uno o más productos con la utilización de medios humanos y materiales adecuados, y de acuerdo a una metodología determinada".

Así pues, dicho proceso va a estar conformado por diversas operaciones desarrolladas en estaciones de trabajo. Estas últimas van a ser por tanto los emplazamientos físicos que



van a estar dotados de los medios materiales y humanos y en los que se van a llevar a cabo las diferentes operaciones de un proceso productivo.

En las disposiciones de planta modernas se da preferencia a los procesos productivos, la sincronización de las operaciones y a la minimización de tiempos, pasando a un plano secundario la productividad de cada una de las operaciones por separado.

De esta manera se puede comparar y ver la gran diferencia con el astillero tradicional, ya que este es una agrupación de talleres ordenados mientras que en el astillero moderno consta de una distribución en planta condicionada por sus procesos productivos. Estos procesos son desarrollados principalmente en líneas de procesos hasta la fase de montaje. Las líneas de proceso estarán compuestas por estaciones de trabajo dispuestas según el proceso de fabricación de un concreto tipo de producto intermedio.

3.3 Diseño orientado a la producción

Su objetivo es el de darle la vuelta a la tradicional espiral de diseño, mejorando así el diseño del buque, lo cual tiene como resultado un proceso de fabricación y montaje óptimo y eficiente, que asegura la más alta calidad a unos costes ajustados, respetando las funciones esenciales del producto.

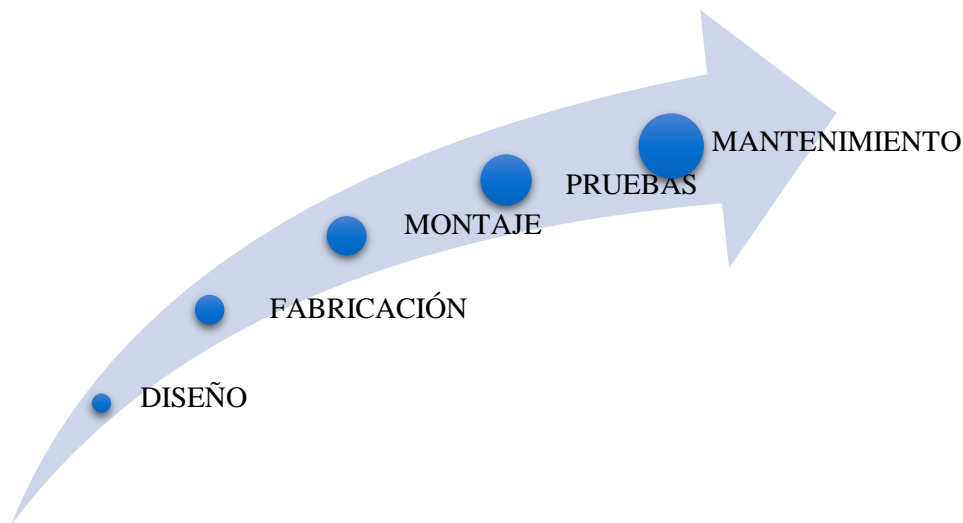


Gráfico 6.4. Ciclo tradicional de diseño

El diseño orientado a la producción no es otra cosa que diseñar pensando en la fabricación, fabricar pensando en el montaje, montar pensando en las pruebas, y realizar las pruebas pensando en el mantenimiento. De esta forma se consigue facilitar la siguiente etapa del proceso, lo que se traduce en un aumento de la calidad y una reducción del tiempo de fabricación

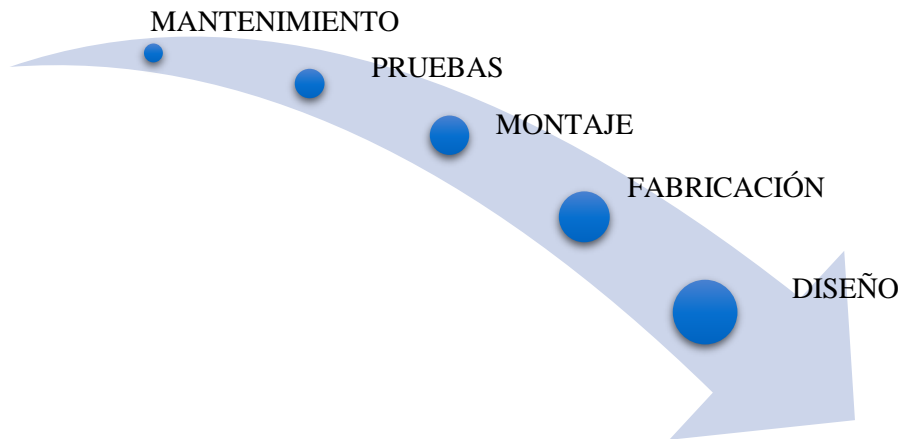


Gráfico 6.5 Espiral de diseño inversa

Con la aplicación de estas técnicas se pretende principalmente:

- Reducir los gastos de fabricación y montaje.
- Facilitar las operaciones de fabricación y montaje.
- Optimizar el empleo de los equipos y herramientas de fabricación y montaje.
- Reducir los gastos de gestión.
- Aumentar la flexibilidad de la fabricación.
- Reducir almacenajes de expedición e intermedios, así como la ocupación de espacios en su conjunto.

3.4 Estandarización

Otro pilar fundamental en la implantación del Lean Manufacturing, es la Estandarización. Con esta herramienta se define un criterio óptimo y único en la realización de una operación o tarea concreta.

No puede garantizarse que aquellas operaciones vitales para la obtención de productos se lleven a cabo de la misma forma si el trabajo no está estandarizado. A través de la estandarización se elimina la variabilidad de los procesos, convirtiendo a esta herramienta en un auténtico punto de partida y culminación de la mejora continua.

A partir de las condiciones de trabajo normales, se determina primero una manera de hacer las cosas, es decir, se define un estándar, a continuación, se estudia y se analiza este estándar para mejorarlo, después de esto, se verifica el efecto de la mejora, y se estandariza el método ya que se ha demostrado su eficacia. La mejora continua consiste en la repetición de este ciclo.

Gracias a la estandarización se proporcionan unos conocimientos precisos sobre las personas, los materiales, las máquinas, los métodos, etc. Con el objetivo de fabricar productos de calidad de manera fiable, segura, rápida y barata.

Son cuatro los principios en los que se resumen las características que definen a la estandarización:

- Explicaciones sencillas y claras de los procedimientos para producir las cosas.
- El punto de partida debe hacerse de mejoras hechas con las mejores herramientas y técnicas para cada caso.
- Asegurar el cumplimiento.
- Considerar cada punto de partida para mejoras en el futuro.

4. INDUSTRIA 4.0

4.1 Introducción

La Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial es la cuarta etapa industrial desde el inicio de la revolución industrial en el siglo XVIII. Dicha etapa tiene por bandera la unificación de diversas tecnologías hoy en fase de prueba o desarrollo, haciendo desaparecer de esta manera las fronteras entre las esferas digital, biológica y física.

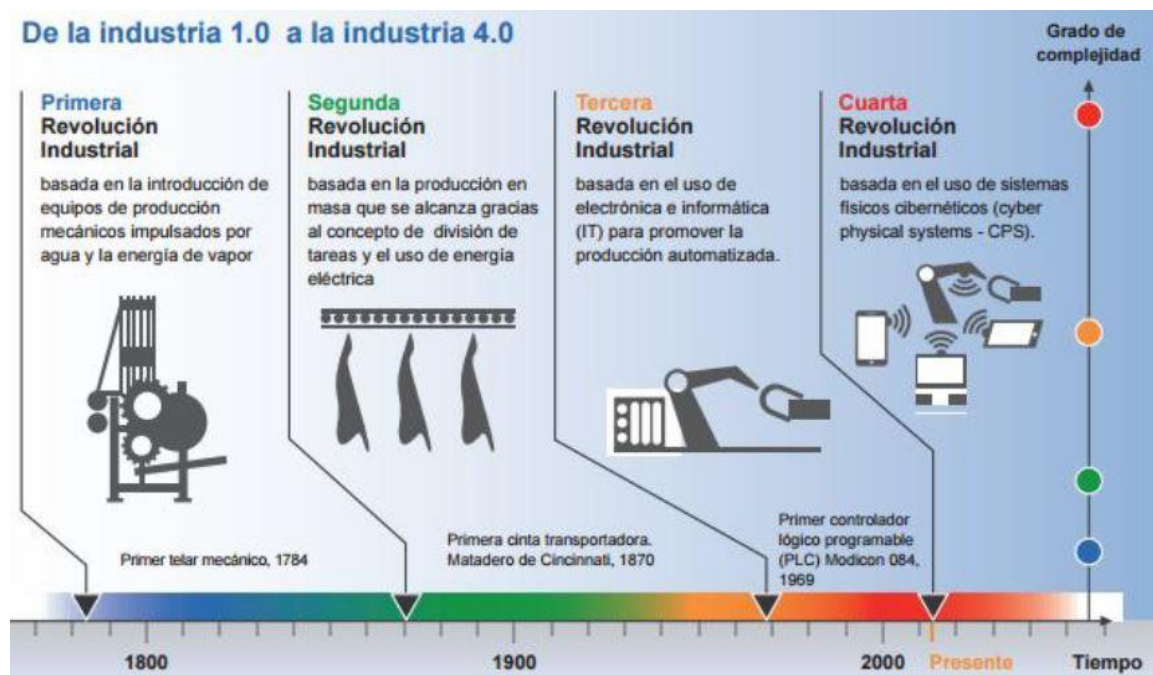


Figura 6.7. Evolución Industrial

El concepto Cuarta Revolución Industrial defiende que al igual que la tercera es la revolución digital que ha fusionado tecnologías desde mediados del siglo XX, esta cuarta etapa o revolución está basada en los emergentes avances tecnológicos en campos tan diversos como inteligencia artificial, cadena de bloques, robótica, computación cuántica, biotecnología, impresión 3D, nanotecnología, etc.

Así pues, la Industria 4.0 consiste en la implantación de una red tecnológica de producción inteligente, para que dispositivos, sistemas y máquinas colaboren entre sí. De esta forma lo que se consigue es la fusión del mundo virtual y real en las fábricas, permitiendo así aumentar la optimización del control de las cadenas de suministro y los procesos de trabajo.

4.3. Industria 4.0. Elementos

Los elementos de los que consta la Industria 4.0 son los siguientes:

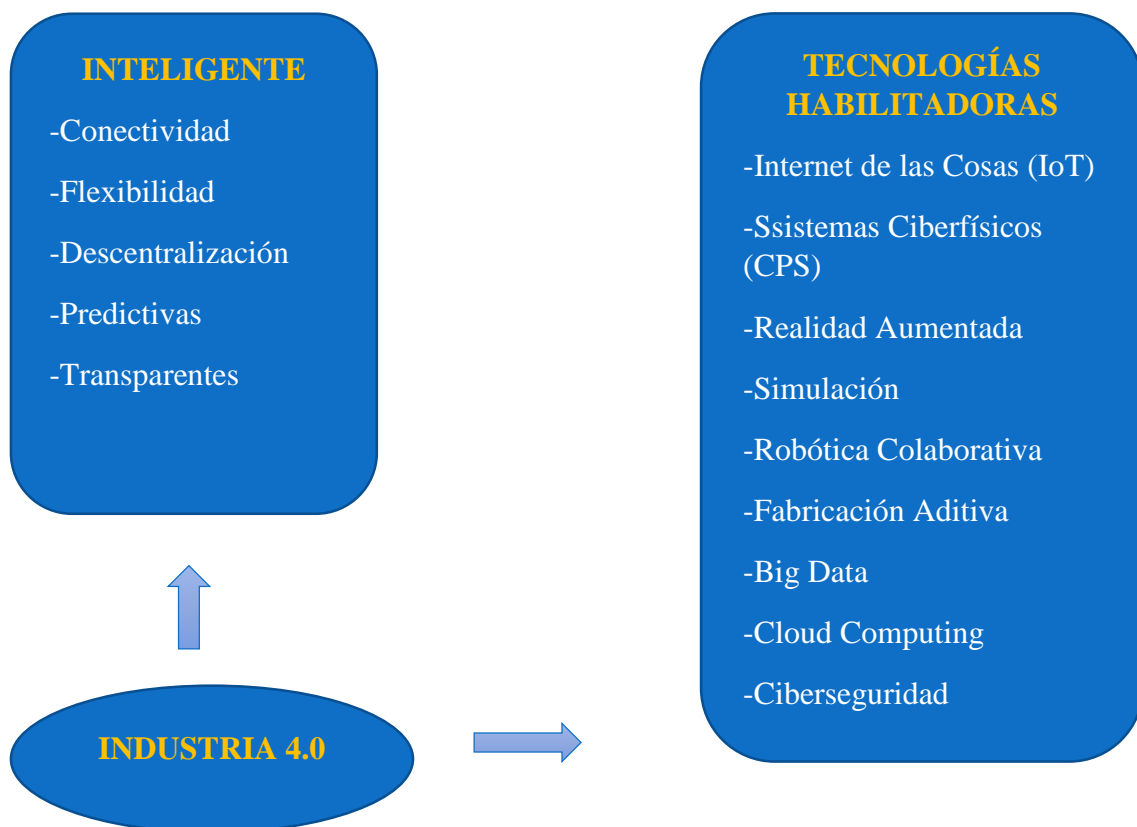


Gráfico 6.6. Elementos de las Industria 4.0

4.2 Industria 4.0. Objetivos y retos

4.2.1 Objetivos

- Aumentar el grado de digitalización del proceso productivo.
- Fusión del mundo virtual y el real.
- Instauración de sistemas de inteligencia.



- Desarrollo de productos inteligentes.
- Flexibilidad.

4.2.2 Retos y desafíos

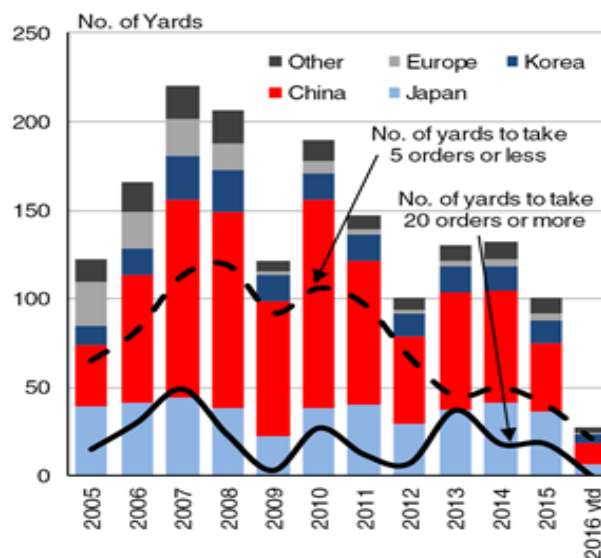
- Requerimientos de cada cliente
- Eficiencia y sostenibilidad de los recursos
- Optimización de la toma de decisiones.
- Cooperación entre hombre y máquina.
- Seguridad y protección.

5. ASTILLERO 4.0

La crisis económica y la mala gestión han forzado el cierre de un total de 529 astilleros en todo el mundo desde 2009, según un informe elaborado por la firma especializada Clarkson Research.

El estudio recoge que en 2009 había 931 factorías navales operativas y que a principios de septiembre solo quedaban 402, lo que significa que más del 57% de los astilleros han cerrado. El principal país afectado por la quiebra de astilleros ha sido precisamente China, el líder mundial en construcción naval.

En el siguiente gráfico, el cual se muestra el número total de astilleros con contratos para buques de más de 20.000 TPM desde 2005, se hace evidente el desplome de dicho número, pasando de unos 200 en el año 2007 a menos de 50 en el año 2016.



Source : Clarksons Research

Gráfico 6.7. Desplome de la construcción naval

En España, la caída de los pedidos a consecuencia de la crisis financiera y de los tráficos mundiales, así como el bloqueo derivado de la suspensión del antiguo tax lease, se llevaron por delante al menos cinco factorías como Unión Naval de Valencia, Factorías Juliana, MCÍes, Astilleros de Sevilla, Astilleros de Huelva y Unión Naval de Barcelona, lo que provocó la destrucción de más de miles de empleos y el cierre de decenas de empresas auxiliares.

El 2016 fue el peor año de la construcción naval a nivel mundial, cuando algunos de los astilleros más importantes del mundo comenzaron a quebrar. En se momento queda patente que las cosas no se estaban haciendo bien, siendo necesario un cambio en la mentalidad de la construcción naval a nivel mundial.

Se identifica que la industria naval tiene buenos productos pero malos procesos, por lo tanto es imperativo cambiar los procesos productivos y adaptarse a la industria 4.0, lo que se denomina ASTILLERO 4.0.

Para entender mejor este concepto se ha de profundizar en las tecnologías que componen a la Industria 4.0, y por ende al Astillero 4.0.

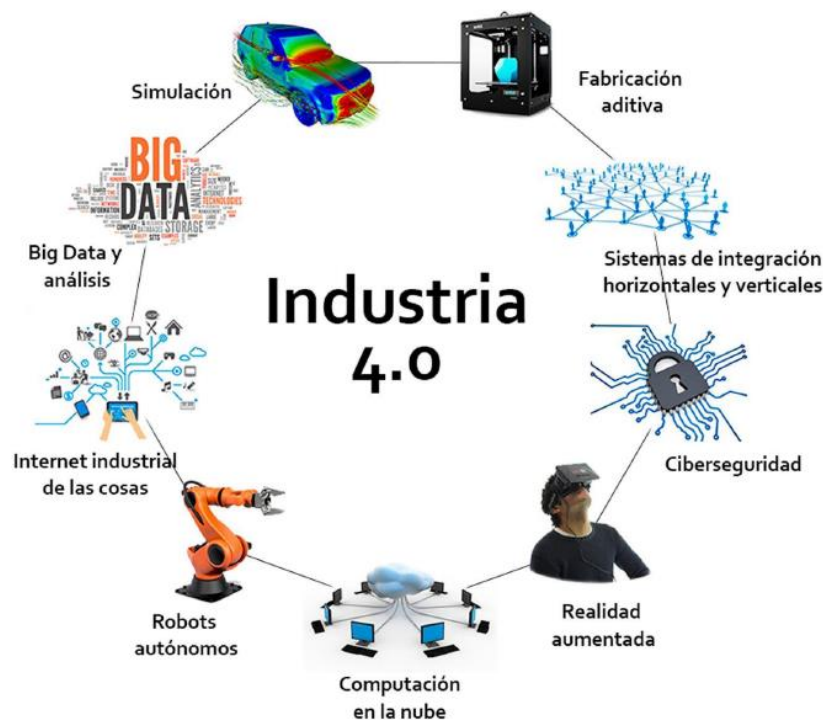


Figura 6.8. Tecnologías de la Industria 4.0

5.1 Internet de las cosas

El Internet de las Cosas (*Internet of things, IoT*) es una de las bases de la Industria 4.0, en la cual se incorporan diferente tecnologías que hacen posible que todo tipo de dispositivos tengan un acceso individual a Internet, pudiendo de esta forma interconectarse entre ellos.



Aunque los casos más representativos son los de los vehículos o electrodomésticos desde el punto de vista industrial, IoT aumenta el abanico de posibilidades tanto en la mejora de los procesos productivos como de la gestión.

A continuación se explican brevemente las tecnologías que hacen posible el Internet de las Cosas:

- **Tecnologías de red:** Hacen posible que los dispositivos posean conexión a Internet y entre ellos mismos por medio de diferentes protocolos de comunicación dependiendo de la situación.
- **Aplicaciones/plataformas IoT:** Guardan los datos enviados por los dispositivos físicos por medio de las conexiones de red, permitiendo su visualización y procesamiento apropiado.
- **Sensórica y dispositivos físicos:** Se trata del hardware que envía la información a través de Internet para poder así interactuar con otros dispositivos, monitorizar parámetros de una máquina o proceso.

La suma de estas tres tecnologías provee de una versatilidad única, ya que trae consigo una inmensidad de aplicaciones en una actividad industrial. Algunos ejemplos son los a continuación mencionados:

- Monitorización de los procesos logísticos
- Monitorización de los procesos productivos
- Mantenimiento de maquinaria
- Eficiencia energética

5.2 Sistemas ciberfísicos o Sistemas de Integración

Un sistema ciberfísico (en inglés *cyber-physical system*, abreviado como CPS) es un mecanismo controlado o monitoreado por algoritmos basados en computación y estrechamente integrados con Internet.

Las principales áreas de aplicación de los sistemas ciberfísicos son las siguientes:

- **Software:** A través de los sistemas ciberfísicos el desarrollo de software se ve claramente afectado y mejorado, ya que por medio de un grado mucho más alto de interconexión y la optimización de procesos se podrá contar con programas más dinámicos, flexibles e inteligentes.
- **Servicios:** Los servicios basados en el software van a disponer de unas mayores capacidades de infraestructura, generando productos y aplicaciones de mayores prestaciones que las actuales.
- **Nube:** Si en la última década los servicios cloud y la nube han cobrado mucha importancia, los sistemas ciberfísicos le van a otorgar una dimensión más relevante si cabe.
- **Big data:** Gracias a los sistemas ciberfísicos los datos van a suponer una importancia mayor para algunas empresas o para la sociedad en sí, y es que cada



vez existe una mayor interconexión entre cualquier dispositivo. Esto va a traer consigo que los datos se puedan distribuir o procesar a una velocidad cada vez mayor, en mayor cantidad y con mayor seguridad en cada uno de los procesos.

Así pues, el gozar de una mayor adaptabilidad, velocidad de intercambio de información, así como de capacidad de interconexión va a suponer una gran ventaja competitiva para cualquier tipo de empresa, tanto para las prestaciones de sus servicios o productos como para su funcionamiento interno.

5.3 Simulación

Una fábrica inteligente no se basa solamente en optimizar todos los procesos de fabricación, sino que conlleva otras muchas cosas tales como reducir el impacto medioambiental todo lo posible, racionalizar el uso de energía o automatizar procesos. Y aunque, desde un punto de vista macroeconómico, se tardarán años en poder medir los efectos de esta transformación, lo que sí se puede hacer es implementar de forma inmediata el uso de softwares de simulación, los cuales van a tener un gran impacto sobre los resultados y con una inversión más que rentable.

En el sector naval la simulación virtual permite experimentar con el diseño de las piezas antes de iniciar la producción, parametrizando los elementos críticos, pero también permite estudiar el proceso de fabricación y su influencia en el resultado final.



Figura 6.9. Simulación digital de un crucero.

La virtualización ayudará a verificar la viabilidad de los requisitos externos que se van añadiendo a la producción propiamente dicha y que tienen una influencia sobre la rentabilidad económica.

El desafío para los astilleros del futuro es integrar las capacidades digitales mucho antes del inicio de la producción. Los modelos de productos y procesos deben retroalimentarse desde la planta de producción, desde la cadena de suministro, desde la red de distribución, e incluso desde los propios clientes.



Esta información se debe volver a reutilizar en esos modelos con el fin de probarlos y mejorarlos. La simulación de procesos de fabricación genera una serie de beneficios que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- **Análisis de producibilidad:** Se trata de optimizar el diseño de fabricación combinándolo con el diseño de producto. Esto trae consigo una producción mejorada que supone un incremento de la calidad, una reducción de los prototipos, y, finalmente, el cumplimiento de los requisitos técnicos.
- **Reducción de costes:** Por medio de esta reducción se logra una disminución del consumo de materias primas, una reducción del desperdicio y la eliminación en la producción de los posibles cuellos de botella.
- **Calidad:** A través de la simulación se consigue una mejora en la calidad de las piezas que se producen, al mismo tiempo que incrementa la calidad de las herramientas, permitiendo así optimizar el proceso de fabricación. Desde el punto de vista del cliente, se logra una mejora en la personalización y el servicio, así como reducir los tiempos de entrega.
- **Reducción de ciclos:** Por medio de la reducción de prototipos así como de la flexibilidad en los cambios, se incrementa la posibilidad de empezar la producción directamente después del diseño.
- **Integración:** A través de un medio común y en tiempo real se logra integrar a todos los participantes con los consiguientes beneficios que ello supone.

5.4 Realidad aumentada

Se trata del conjunto de tecnologías asistidas por ordenador que realzan la percepción de la realidad física al intensificar la experiencia sensorial para suministrar información pertinente adicional, enriqueciendo así la comprensión de una situación real específica.

A nivel industrial, la Realidad Aumentada es útil en las siguientes áreas:

- **Montaje y diseño de instalaciones:** A través de la información extra que se le aparece en estos dispositivos de manos libres, el técnico puede conocer si el futuro proyecto se amolda a las dimensiones reales de la fábrica donde se quiere instalar.
- **Mantenimiento y reparación de maquinaria:** Cuando se produce una avería el técnico se coloca las gafas de Realidad Aumentada pudiendo, a través de ellas, seguir en los manuales de instrucción los pasos detallados, los cuales se proyectan sobre la lente, permitiéndole así solventar la incidencia.
- **Control de las instalaciones:** Por medio de tablets o gafas inteligentes, las personas responsables de planta pueden tener acceso en tiempo real a los datos de todos y cada uno de los procesos productivos. Datos vitales para que el técnico pueda tomar decisiones destinadas a mejorar el funcionamiento total de la planta.
- **Teleasistencia:** Supone un paso más en las labores de reparación y mantenimiento. En este caso el operario de fábrica es guiado a lo largo del proceso de resolución de incidencias por el técnico experto, siendo esto posible gracias a

la cámara integrada en las gafas que el operario lleva puestas, permitiéndole al técnico visualizar todo lo que el operario está viendo en cada momento.



Figura 6.10. Técnico empleando gafas de realidad aumentada.

Las numerosas ventajas que implica utilizar la Realidad Aumentada en la Industria 4.0 se pueden resumir en los siguientes dos puntos:

- **Inmediatez:** Aporta inmediatez, ya que aporta los datos necesarios en tiempo real y en el momento adecuado.
- **Ahorro de costes:** Permite obtener un ahorro considerable de costes en cada una de las soluciones que se aplican tanto mediante la virtual como la aumentada.

5.5 Robótica colaborativa

Las cualidades más reseñables de los robots colaborativos son las de ser flexibles, ligeros y fáciles de instalar. Además dichos robots están diseñados específicamente para poder interactuar con humanos en un espacio de trabajo compartido sin la necesidad de instalar vallas de seguridad. Su precio asequible, flexibilidad y reducido tamaño los diferencia de los tradicionales robots industriales, haciéndolos idóneos para las medianas y pequeñas empresas. Así mismo, estos robots son sistemas que permiten ser programados de forma simple por un personal no cualificado y sin conocimiento de programación.

En consecuencia, los robots colaborativos van a suponer todo un punto de inflexión para obtener un aumento de la productividad, además de ahorros materiales y energéticos.

5.6 Fabricación aditiva (Impresión 3D)

La impresión 3D (Fabricación Aditiva) permite producir objetos tridimensionales a partir de modelos virtuales facilitando crear prototipos, fabricar productos personalizados y una producción descentralizada.

En comparación con los procesos de fabricación convencional, la fabricación aditiva presenta las siguientes ventajas:

- Fabricación competitiva, rompiendo así con los esquemas de los lentos y tradicionales sistemas de producción en cadena.
- Permitir a los desarrolladores del producto la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de ensamble.
- Personalización y diferenciación de los productos por parte de los consumidores no encareciendo por ello el coste.
- Posibilidad de integrar un mecanismo en la pieza en la que se deberá trabajar, sin necesidad de montajes y calibrados o ajustes posteriores.

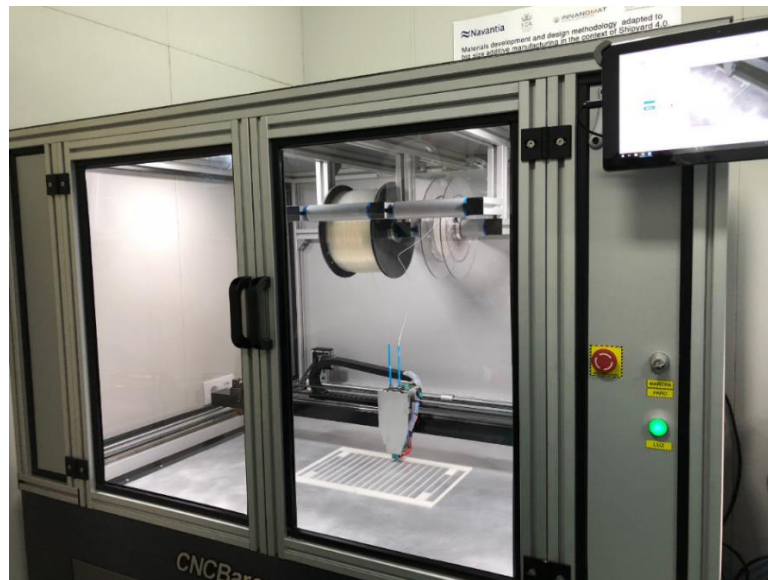


Figura 6.11. Impresora 3D propiedad de Navantia.

5.7 Big Data y análisis

Big Data es un concepto que explica el gran volumen de datos estructurados como no estructurados que anegan los negocios diariamente. Lo realmente importante del Big Data no es la gran cantidad de datos que maneja sino qué es lo que hacen las organizaciones con ellos. A través de su análisis se pueden obtener ideas que lleven a mejores movimientos estratégicos y decisiones.

El BigData en la Industria 4.0 va a ser muchos más valioso que lo análisis que se usaran antaño. Esta herramienta nos permite:

- Una toma de decisiones más coherente y realizar mejores predicciones.
- Medir y administrar con una mayor precisión
- Focalizarse en intervenciones más efectivas.



- Y, sobre todo, hacerlo en aquellas áreas regidas hasta ahora por la intuición y el instinto en vez de por datos y rigor.

5.8 Cloud computing (Computación en la nube)

Según NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología), el Cloud Computing es una “tecnología que permite el acceso ubicuo, adaptado y bajo demanda en red a una conjunto compartido de recursos de computación, que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo de gestión reducido o interacción mínima con el proveedor del servicio.”

El Cloud Computing se provee en la Industria 4.0 de tres formas:

- **Cloud pública:** Proporciona una gran escalabilidad a las empresas, es decir, el servicio Cloud puede ser utilizado por cada compañía según las necesidades de esta.
- **Cloud privada:** Para aquellas empresas del sector industrial que buscan la garantía de seguridad de sus datos, la Cloud privada es la mejor opción.
- **Cloud híbrida:** Proporciona las ventajas de anteriores, y es que las empresas pueden escalar el servicio de acuerdo a sus necesidades pero manteniendo la seguridad de la Cloud privada.

La principal diferencia de los tres tipos de Cloud en la Industria 4.0 viene dada por la infraestructura por medio de la cual se provee la nube. Mientras que en el caso de la Cloud pública, la infraestructura es pública, en el Cloud privado la infraestructura está instalada en la empresa y su uso está restringido.

5.9 Ciberseguridad

La ciberseguridad, también conocida como seguridad informática, es la parte de la telemática e informática centrada en la protección de la infraestructura computacional y todo aquello que esté relacionado con ella, especialmente la información presente en un ordenador por medio de los dispositivos conectados y redes de ordenadores.

Todo se encuentra digitalizado, automatizado, interconectado e informatizado en la. Este es el motivo por el que las empresas que han realizado el cambio hacia la Industria 4.0 son más vulnerables a los ciberataques. Estos ataques van a impactar sobre toda la cadena de valor de la organización, incluidas las comunicaciones. Por tanto, en la evolución a la industria 4.0 aparecen nuevos riesgos que hay que aprender a afrontar y a gestionar a través de las medidas oportunas, ya sea para eliminarlos como mitigarlos.



6. CONCLUSIÓN

A modo de conclusión, la tecnología está ayudando a construir astilleros inteligentes, con un hilo digital común que integra y conecta proveedores y clientes, desde la planta de producción hasta la oficina y centros de diseño. Y lo hace a través de:

- Un enfoque modular virtual en cada fase de producción que permite configuraciones personalizadas.
- Una producción distribuida que combina las máquinas e instalaciones más adecuadas para cada situación.
- Sistemas descentralizados con inteligencia distribuida en personas y sistemas ciberfísicos.
- Utilización de sistemas autónomos y robotizados con drones al servicio del trabajador para mejorar su seguridad.
- Transparencia para el cliente, con operaciones totalmente trazables.

Estas tecnologías otorgan la oportunidad de diseñar y construir nuevos buques inteligentes, inalámbricos y conectados. De extender la vida del buque como resultado de la aplicación del mantenimiento predictivo, así como de un mayor rendimiento de navegación y una mejora en las capacidades de los sistemas como resultado de la incorporación de inteligencia artificial al buque

En definitiva, los buques de hoy son los predecesores de futuros buques verdaderamente autónomos. Así pues, el astillero 4.0 representa no solo el presente y el futuro, sino también el compromiso para mantenerse siempre competitivo e innovando.

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 7

PRESUPUESTOS



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	107
2. PRESUPUESTO DEL COSTE DE CONSTRUCCIÓN.....	109
2.1 (100) Estructura del casco	109
2.2 (200) Planta propulsora	111
2.3 (300) Planta eléctrica.....	114
2.4 (400) Comunicación y control.....	117
2.5 (500) Servicios auxiliares.....	117
2.6 (600) Equipo y habilitación.....	123
2.7 (800) servicios técnico	124
2.8 (900) Apoyo al buque durante la construcción	124
2.9 Personal dedicado a la obra.....	125
3. RESERVA DE GESTIÓN.....	127
4. CONCLUSIONES.....	129



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es realizar una estimación del coste de construcción del buque de estudio, así como una comparativa de este en las opciones propuestas frente al buque base, analizando de esta forma si con las mejoras introducidas se consigue una reducción de coste en la construcción.

El presupuesto es uno de los aspectos más trascendentales de un proyecto, ya que para conseguir un producto competitivo que se encuentre dentro de un intervalo económico adecuado para su adquisición éste debe ser lo más ajustado posible.

La estructura básica descompone el conjunto del buque en grandes bloques llamados conceptos, los cuales son los siguientes:

- 100 ESTRUCTURA DEL CASCO
- 200 PLANTA PROPULSORA
- 300 PLANTA ELÉCTRICA
- 400 COMUNICACIÓN Y SERVICIOS
- 500 SERVICIOS AUXILIARES
- 600 EQUIPO Y HABILITACIÓN
- 800 SERVICIOS TÉCNICOS
- 900 APOYO AL BUQUE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

En primer lugar se recuerdan las características del buque base así como las mejoras introducidas en la planta propulsora en cada una de las opciones propuestas en un cuaderno anterior.

MAGNITUD	VALOR	UNIDAD
Eslora total	139,132	m
Eslora de flotación	123,225	m
Eslora entre perpendiculares	116,532	m
Manga	22,35	m
Puntal hasta la cubierta principal	8	m
Puntal hasta la cubierta superior	22,41	m
Calado de proyecto	5,4	m
Peso en rosca	6.614	T
Toneladas de peso muerto	2.000	T
Desplazamiento	8.614	T
Coefficiente de bloque	0,598	
Coefficiente de la maestra	0,983	
Coefficiente de flotación	0,8	
Coefficiente prismáticos	0,606	
Velocidad de servicio	19	kn



Opción 1

Instalación de 7 diésel-generadores MTU 20V4000 DS3600 de 2864 kW por unidad.

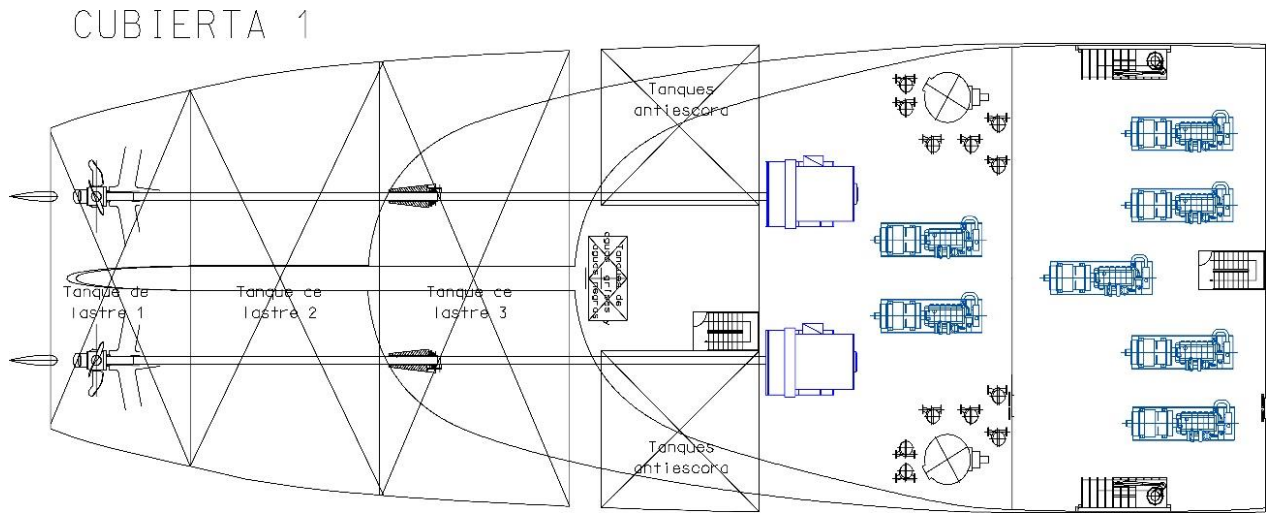


Figura 7.1. Propuesta OPCIÓN 1

Opción 2

Instalación de 6 diésel-generadores CAT C175-20 de 3250 kW por unidad.

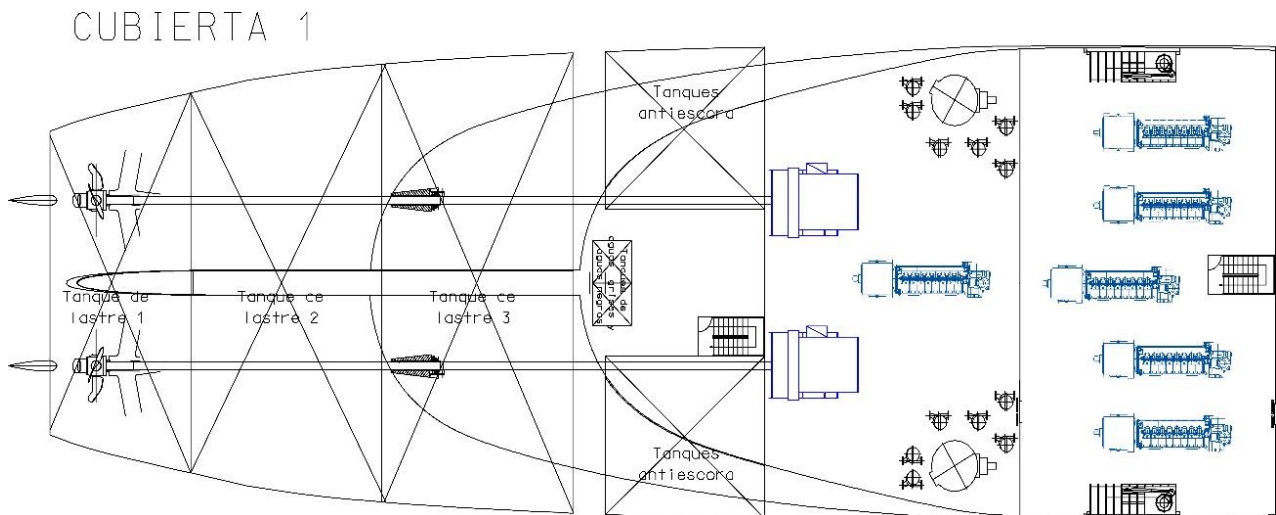


Figura 7.2. Propuesta OPCIÓN 2



A continuación se desarrollará el presupuesto del buque de estudio utilizando distintos métodos según la conveniencia de cada caso.

2. PRESUPUESTO DEL COSTE DE CONSTRUCCIÓN

2.1 (100) Estructura del casco

La estructura del casco es un concepto que engloba los siguientes apartados:

- Acero laminado utilizado en el casco
- Piezas fundidas y forjadas
- Timones y accesorios
- Materiales auxiliares de construcción del casco
- Procedimiento de preparación de las superficies
- Pintura y control de la corrosión.

Acero laminado

Dado que el buque base ha sido concebido con la idea de navegar por Europa se parte de la asunción de que será también construido en un astillero europeo, es por ello que tomamos como referencia el precio del acero en el mercado Europeo. Precio situado en torno a los 860 €/ton en el momento actual.

Para el cálculo del acero laminado se lleva a cabo la siguiente formulación:

$$CAL = WST \cdot ps \cdot cas \cdot ccs$$

Donde:

- **WST** es el peso de acero
- **ps**, precio unitario del acero (acero de calidad A)
- **cas**, coeficiente de aprovechamiento del acero, que según el tamaño del buque varía entre 1,08 y 1,15
- **ccs**, coeficiente de coste ponderado de las distintas calidades de acero del buque, el cual varía entre 1,05 y 1,1

Piezas fundidas y forjadas

El coste de las piezas fundidas y forjadas se estima de la siguiente forma:

$$C_{FF} = 40 \cdot L \cdot H$$



Timones y accesorios

Ha de tenerse en cuenta la disposición de dos timones en el buque base.

$$C_T = 4000 \cdot L_T^2 \cdot H_T$$

Materiales auxiliares de construcción del casco

Estimados como un 10% del coste del acero.

Preparación de superficies

Los trabajos de imprimación y granallado se incluyen en este apartado, tomando un coste unitario de 12€ por metro cuadrado.

Pinturas y control de corrosión

- Coste de pintado del buque:
Se utiliza un valor medio de 20€/m² para la pintura empleada en la obra viva y uno de 5€/m² para la pintura de la obra muerta.
- Coste pintado de tuberías:
Coste estimado a partir de la siguiente expresión:

$$C_{pt} = 0.18 \cdot (0.057 \cdot BHP + 0.18 \cdot L) \cdot K$$

Donde K es un factor dependiente del tipo de pintura, adquiriendo en este caso un valor de 4,8 por tratarse de una pintura zinc-epoxy.

Por otro lado BHP corresponde a la potencia instalada en cada caso:

	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
BHP (kW)	9.520	20.048	19.500
BHP (CV)	12.766,51	26.884,77	26.149,89

Tabla 7.1. Tabla de potencias instaladas

- Galvanizado y cementado:
El costo supone el 7,5% del costo total del pintado del casco.



- Protección catódica:
Mediante la siguiente expresión se puede aproximar la protección catódica por ánodos de sacrificio:

$$C_{pc} = 1,55 \cdot S_m$$

Con todos los apartados descritos anteriormente se procede al cálculo del total para la estructura del casco.

100 - ESTRUCTURA DEL CASCO

	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Acero laminado	4.142.750 €	4.142.750 €	4.142.750 €
Piezas fundidas y forjadas	44.522 €	44.522 €	44.522 €
Timones y accesorios	361.482 €	361.482 €	361.482 €
Materiales auxiliares de construcción del casco	327.490 €	327.490 €	327.490 €
Preparación de superficies	831.942 €	831.942 €	831.942 €
Pintura y control de corrosión	427.147 €	427.842 €	427.806 €
Coste Pintado del Buque	392.348 €	392.348 €	392.348 €
Coste Pintura de Tuberías	650 €	1.346 €	1.309 €
Galvanizado y cementado	29.426 €	29.426 €	29.426 €
Protección catódica	4.723 €	4.723 €	4.723 €
	6.135.334 €	6.136.030 €	6.135.994 €

2.2 (200) Planta propulsora

En este conjunto se detallan los costes de los motores propulsores, la línea de ejes y las hélices.

Motores propulsores

El coste de cada uno de los 4 motores diésel semirrápidos puede aproximarse con la siguiente expresión:

$$C_{MD} = cmd \cdot N_c^{0.85} \cdot (DIA^{2.2} / rpm^{0.75})$$

Donde:

- cmd** es el coeficiente de los motores diésel



- N_C , número de cilindros
- DIA , diámetro de los cilindros
- rpm , revoluciones por minuto del motor

El buque base consta de 4 motores diésel destinados a la propulsión, así como dos motores eléctricos en la zona de proa destinados a labores de maniobrabilidad, tal y como se explicó en un cuaderno anterior.

Para el caso de la planta propulsora propuesta en ambas opciones, ésta se constituye de diésel generadores y dos motores eléctricos que suministran la potencia necesaria para el correcto funcionamiento de las hélices, así como los dos motores eléctricos de las hélices de proa, al igual que en el buque base.

La expresión utilizada para los motores eléctricos es la siguiente:

$$C_{ME} = cme \cdot (kW/rpm)^{2/3}$$

Donde:

- cme es el coeficiente coste de los motores eléctricos
- kW , potencia eléctrica entregada
- rpm , revoluciones por minuto del motor

Línea de ejes

Este apartado incluye los siguientes subapartados:

- Acoplamientos y embragues

$$C_{ae} = cacop \cdot n \cdot \left(\frac{BHP}{rpm}\right)$$

Donde:

- $cacop$ es el coeficiente coste de los acoplamientos elásticos
- n , número de motores

- Reductores

El peso de los reductores en ambas opciones será el mismo que en el caso del buque base, porque aunque serán más grandes son también más sencillos, al no tener 2



entradas como en el buque base (4 motores diésel). En ambas opciones solo tendrán una entrada por cada línea para un motor eléctrico. Por lo tanto se trata de una opción más barata que la del buque base.

$$C_{red} = n \cdot cred \cdot Pr^{0.5}$$

Donde:

- *cred* es el coeficiente coste de las reductores
- *n*, número de motores
- $P_r^{0.5}$, número de cilindros

- Ejes y chumaceras

$$C_{ec} = 3.6 \cdot n \cdot BHP$$

- Bocinas y cierres

$$C_{bc} = 7.515 \cdot n \cdot BHP^{0.85}$$

Hélices propulsoras

Mediante la potencia se estima el coste de las hélices propulsoras a través de la siguiente fórmula:

$$C_H = 450 \cdot BHP^{0.7}$$

Resto planta propulsora

$$C_{er} = W_{er} \cdot pst \cdot cpe$$

Donde:

- W_{er} es el peso del equipo restante



- pst , precio unitario del acero montado
- cpe , coeficiente de comparación coste del equipo

Así pues el coste total de la planta propulsora es el siguiente:

200 - PLANTA PROPULSORA			
	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Motores Propulsores	1.552.552 €	126.217 €	126.217 €
Motores Diesel	1.552.552 €	0 €	0 €
Motores Eléctricos	0 €	126.217 €	126.217 €
Línea de ejes	567.096 €	301.335 €	301.335 €
Acoplamientos	47.874 €	12.130 €	12.130 €
Reductores	447.214 €	223.607 €	223.607 €
Ejes y Chumaceras	48.513 €	43.449 €	43.449 €
Bocinas y Cierres	23.495 €	22.149 €	22.149 €
Hélices Propulsoras	336.871 €	567.371 €	556.470 €
Resto Planta Propulsora	1.340.021 €	1.340.021 €	1.340.021 €
	3.796.539 €	2.461.160 €	2.450.258 €

2.3 (300) Planta eléctrica

Para el cálculo del presupuesto de la planta eléctrica se distingue el coste de los grupos generadores principales, el grupo de emergencia y la instalación eléctrica.

Grupos electrógenos

Mediante la siguiente expresión se calcula el coste de cada uno de los grupos electrógenos:

$$CDG = cge \cdot D^{2.2} \cdot \left(N_c^{0.8} / rpm \right) + cal \cdot \left(\frac{kWe}{rpm} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- cge es el coeficiente coste del grupo electrógeno
- D , diámetro del pistón
- N_c , número de cilindros



- *cal*, coeficiente coste del alternador
- *kWe*, potencia efectiva
- *rpm*, revoluciones por minuto del motor

Recordad que la configuración del buque base estaba constituida por dos grupos electrógenos, concretamente por 3 generadores movidos por motores MAN B&W 6L27/38 de 1825 kW y 2 generadores movidos por motores MAN B&W 7L27/38 de 2130 kW.

Grupos Electrógenos 1	CGE	1.593.375 €	
Número de generadores	n	3	
Coef. Coste motor diesel	cmd	350	
Coef. Coste alternador	cal	25000	
Diámetro pistón	DIA	270	mm
Número de cilindros	Nc	6	
Revoluciones	RPM	750	rpm
Potencia efectiva	Kwe	5475	kW

Grupos Electrógenos 2	CGE	1.147.989 €	
Número de generadores	n	2	
Coef. Coste motor diesel	cmd	350	
Coef. Coste alternador	cal	25000	
Diámetro pistón	DIA	270	mm
Número de cilindros	Nc	7	
Revoluciones	RPM	750	rpm
Potencia efectiva	Kwe	4260	kW

Grupos Electrógenos TOTAL	CGE	2.741.364 €	
----------------------------------	------------	--------------------	--

En el caso de la opción número 1 el grupo electrógeno está constituido por 7 generadores pertenecientes a la casa MTU, concretamente se trata del modelo 20V40000 DS3600.

Grupos Electrógenos 1	CGE	1.717.728 €	
Número de generadores	n	7	
Coef. Coste motor diesel	cmd	350	
Coef. Coste alternador	cal	25000	
Diámetro pistón	DIA	170	mm
Número de cilindros	Nc	20	
Revoluciones	RPM	1500	rpm
Potencia efectiva	Kwe	2864	kW



Para la opción segunda el número de generadores instalados es de 6, pertenecientes a la casa Cterpillar, modelo C175-20.

Grupos Electrógenos 1	CGE	1.325.108 €	
Número de generadores	n	6	
Coef. Coste motor diesel	cmd	350	
Coef. Coste alternador	cal	25000	
Diámetro pistón	DIA	175	mm
Número de cilindros	Nc	20	
Revoluciones	RPM	1800	rpm
Potencia efectiva	Kwe	3250	kW

Grupos de emergencia

Dicho coste se realiza de igual forma que el de los grupos electrógenos principales.

Instalación eléctrica

El coste asociado a los cuadros de control y distribución así como la instalación eléctrica viene estimado por la siguiente expresión:

$$C_{IE} = cie \cdot kW^{0.77}$$

El coste total de la planta eléctrica queda de la siguiente forma:

300 - PLANTA ELÉCTRICA			
	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Grupos Electrógenos	2.741.364 €	1.717.728 €	1.325.108 €
Grupo de Emergencia	145.690 €	245.390 €	220.851 €
Instalación Eléctrica	1.198.153 €	1.092.672 €	1.086.718 €
	4.085.207 €	3.055.789 €	2.632.678 €



2.4 (400) Comunicación y control

Este concepto va a permanecer invariable en las dos opciones propuestas con respecto al buque base, de modo que los valores tomados serán los de este último en vista a las nulas modificaciones que se realizarán.

Por otro lado al tratarse de un buque tipo crucero no se dispondrá de sistemas de combate alguno, de modo que este concepto queda reducido a los equipos necesarios para la comunicación y navegación. En el caso del apartado referido a los equipos auxiliares de navegación, según la literatura de referencia el coste de este se estima como un 8% del coste de los equipos de navegación.

400 - COMUNICACIONES Y CONTROL

	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Navegación y Comunicaciones	881.869 €	881.869 €	881.869 €
Equipo de Navegación	454.610 €	454.610 €	454.610 €
Equipos auxiliares de Navegación	36.369 €	36.369 €	36.369 €
Comunicaciones	390.890 €	390.890 €	390.890 €
	881.869 €	881.869 €	881.869 €

2.5 (500) Servicios auxiliares

Este concepto incluye los siguientes apartados:

Equipo de fondeo y amarre

Para la realización del presupuesto del concepto presente se utilizan los datos del buque base.

- Anclas

$$C_a = n \cdot \text{peso} \cdot \text{ctn}$$

Donde

- **n** es el número de anclas
- **ctn**, precio por tonelada

- Cadenas, cables y estachas



$$C_c = 0.15 \cdot k \cdot d^2 \cdot L_c$$

Donde

- k es el coeficiente coste del acero
- d , diámetro de la cadena
- L_c , longitud de la cadena

- Equipos de fondeo y amarre

$$C_f = e^{3.1} \cdot 6 \cdot (L \cdot (B + H))^{0.815}$$

Donde

- L es la eslora
- B , manga
- H , puntal

- Toldos, fundas y accesorios de estiba

$$C_{acc} = 40 \cdot (L \cdot (B + H))^{0.68}$$

Medios de salvamento

Este concepto hace referencia a los botes salvavidas, balsas salvavidas, dispositivos de lanzamiento de botes y balsas y los aros, chalecos y lanzacabos.

El buque base está destinado a viajes internacionales cortos, cumpliendo así con las normas especiales de compartimentado establecidas en la regla II.1.6.5 de SOLAS. Por ello está provisto de un total de 4 botes de 75 plazas y 4 balsas de 50 plazas.

- Botes salvavidas

$$C_{bo} = K_{bo} \cdot N^{\frac{2}{3}}$$

Donde:



- k_{bo} es el coeficiente de botes
- N , número de personas de capacidad del bote

- Balsas salvavidas

$$C_{bs} = K_{ba} \cdot N^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- k_{ba} es el coeficiente de botes
- N , número de personas de capacidad de la balsa

- Dispositivos de lanzamiento de botes y balsas

El costo del pescante de cada bote salvavidas puede estimarse mediante la expresión:

$$C_{pb} = K_{pb} \cdot N^{2/3}$$

Donde:

- k_{pb} es el coeficiente del pescante del bote
- N , número de personas de capacidad de la balsa

- Aros, chalecos y lanzacabos

El costo de los arcos, chalecos, señales, aparatos lanzacabos así como elementos diversos de salvamento se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$C_{a,c} = 2500 + 30 \cdot N$$

Donde:

- N , es el número total de personas a bordo

En el presente crucero el número total de personas a bordo es de 375 (250 pasajeros + 125 tripulantes).



Medios contraincendios cámara de máquinas

Su coste se estima a partir de la siguiente expresión:

$$C_{ci} = 8.4 \cdot Lm \cdot B \cdot Hm$$

Donde:

- ***Lm*** es la eslora de la cámara de máquinas
- ***B***, manga
- ***Hm***, puntal de la cámara de máquinas

Tuberías

Su costo puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$C_t = 2705 \cdot (0.015 \cdot Lm \cdot Hm \cdot B + 0.018 \cdot L) + K \cdot BHP + 1.5 \cdot (3 \cdot Lm \cdot Dm \cdot B + 4 \cdot S_h)$$

Donde:

- ***Lm*** es la eslora de la cámara de máquinas
- ***Hm***, puntal de la cámara de máquinas
- ***B***, manga
- ***L***, eslora
- ***K***, factor de combustible
- ***BHP***, potencia propulsora instalada
- ***S_h***, superficie de habilitación

Equipos sanitarios

Este apartado consta de la generación de agua dulce, los grupos hidróforos y la planta de tratamiento de aguas sucias.

- Generación de agua dulce

$$C_{ad} = c_{gad} \cdot Q_{ad}$$



Donde:

- $cgad$ es el coeficiente de generación de agua dulce por tonelada
- Q_{ad} , toneladas de agua dulce producidas al día

- Grupos hidróforos

$$C_{gh} = cgh \cdot N^{0.5}$$

Donde:

- cgh es el coeficiente coste de grupos hidróforos
- Q_{ad} , toneladas de agua dulce producidas al día

- Planta de tratamiento de aguas sucias

$$C_{as} = ctas \cdot N^{0.5}$$

Donde:

- $ctas$ es el coeficiente coste de la planta tratamiento de aguas sucias
- N , toneladas de agua dulce producidas al día

Sistemas de estabilización y auxiliares maniobra

Este apartado incluye las aletas estabilizadoras y las hélices transversales de proa

- Sistemas de estabilización activa

$$C_{ea} = k_{ea} \cdot \left(\frac{DES}{V^2 \cdot B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- k_{ea} es el coeficiente coste de los estabilizadores
- DES , desplazamiento a plena carga



- V , manga
- B , manga

- Hélice transversal de proa

$$C_{HT} = cht \cdot BHP_t^{0.73}$$

Donde:

- cht es el coeficiente coste hélice transversal
- BHP_t , potencia de la hélice transversal

Servomotor

Su costo se evaluará mediante la siguiente expresión:

$$C_s = 3700 \cdot M^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- M es el par torsor

Resto servicios auxiliares

$$C_{SA} = W_{er} \cdot pst \cdot cpe$$

Donde:

- W_{er} es el peso del equipo restante
- pst , precio unitario del acero montado
- cpe , coeficiente de comparación coste del equipo

De esta forma el presupuesto de los servicios auxiliares del buque es:



500 - SERVICIOS AUXILIARES

	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Equipo de Fondeo y Amarre	245.047 €	245.047 €	245.047 €
Anclas	34.425 €	34.425 €	34.425 €
Cadenas, cables y estachas	90.585 €	90.585 €	90.585 €
Equipos de fondeo y amarre	120.037 €	120.037 €	120.037 €
Toldos, fundas y accesorios de estiba de respetos	11.680 €	11.680 €	11.680 €
Medios de Salvamento	482.039 €	482.039 €	482.039 €
Botes salvavidas	50.606 €	50.606 €	50.606 €
Balsas Salvavidas	17.683 €	17.683 €	17.683 €
Dispositivos de lanzamiento de botes y balsas	400.000 €	400.000 €	400.000 €
Aros, chalecos, lanzacabos, etc.	13.750 €	13.750 €	13.750 €
Medios Contraincendios Cámara de Máquinas	25.911 €	25.911 €	25.911 €
Tuberías	388.669 €	501.615 €	495.736 €
Equipos Sanitarios	191.307 €	191.307 €	191.307 €
Generador de agua dulce	123.529 €	123.529 €	123.529 €
Grupos hidróforos	13.555 €	13.555 €	13.555 €
Planta tratamiento de aguas sucias	54.222 €	54.222 €	54.222 €
Sistema de Estabilización y Auxiliares Maniobra	864.699 €	864.699 €	864.699 €
Sistema de Estabilización Activa	626.804 €	626.804 €	626.804 €
Hélice de empuje Transversal	237.876 €	237.876 €	237.876 €
Servomotor	33.571 €	33.570 €	33.570 €
Resto Servicios Auxiliares	443.374 €	443.374 €	443.374 €
	2.674.616 €	2.787.561 €	2.781.682 €

2.6 (600) Equipo y habilitación

En este concepto se lleva a cabo el presupuesto de la habilitación del buque, la cual va en función del número de personas a bordo, así como de la calidad de la habilitación y del coste estimado por persona.

Habilitación y fonda

$$C_h = k_h \cdot S_h$$

Donde:

- k_h es el coste unitario de la habilitación y que depende del nivel de calidad de esta
- S_h , Área de habilitación

Resto de equipos

$$C_e = W_{er} \cdot pst \cdot cpe$$



Donde:

- W_{er} es el peso de los equipos restantes
- pst , precio unitario del acero montado
- cpe , coeficiente comparación coste del equipo montado

El coste total de los equipos y habilitación es el siguiente:

600 - EQUIPO Y HABILITACIÓN			
	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Habilitación y Fonda	6.646.030 €	5.981.427 €	5.981.427 €
Resto Equipos	842.409,93 €	842.410 €	842.410 €
	7.488.440 €	6.823.837 €	6.823.837 €

2.7 (800) Servicios técnico

Los servicios técnicos así como el concepto siguiente, el referente al apoyo al buque durante la construcción, se calculan a través de un porcentaje del sumatorio del resto de conceptos que forman el presupuesto, concretamente el de un 2%.

Este concepto lo conforman los siguientes aspectos:

- Planos de construcción
- Estudios, modelos y maquetas
- Especificaciones de pruebas
- Experiencia de estabilidades y pesos
- Aparatos de medida
- Documentación técnica
- Gastos de viaje
- Sociedad de clasificación
- Seguro de construcción

800 - SERVICIOS TECNICOS			
	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Porcentaje correspondiente a servicios técnicos	2,0%	2,0%	2,0%
Importe resto de costes (del 100 al 700 y mano de obra)	80.612.006 €	72.416.246 €	71.976.318 €
	1.612.240 €	1.448.325 €	1.439.526 €

2.8 (900) Apoyo al buque durante la construcción

Como ya se ha mencionado anteriormente este concepto se calcula de modo porcentual respecto al resto de costes. Aplicando en esta ocasión un porcentaje del 8%.



En él se hace referencia a:

- Inspección y pruebas
- Andamios y camas
- Manipulación de materiales
- Servicio de limpieza
- Botadura
- Varada
- Seguro de construcción

900 - APOYO AL BUQUE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Porcentaje correspondiente al apoyo durante construcción	8,0%	8,0%	8,0%
Importe resto de costes (del 100 al 700 y mano de obra)	80.612.006 €	72.416.246 €	71.976.318 €
	6.448.960 €	5.793.300 €	5.758.105 €

2.9 Personal dedicado a la obra

En un proyecto naval el coste correspondiente al personal dedicado al mismo es el mayor de todos ellos, o dicho de otra forma, el coste mayor del proyecto es el de la mano de obra e ingeniería.

Este concepto se divide en dos partes diferenciadas.

- Mano de obra: Todos los astilleros subcontratan gran parte de su producción e ingeniería, de modo que dentro de la mano de obra se distinguen a su vez mano de obra directa y subcontratada. Mediante una estimación se llega a la conclusión de que un 60% de las horas totales de mano de obra son directas, mientras que el 40% restante es subcontratada.
- Labores de ingeniería: dentro del apartado de la ingeniería se encuentran dos tipos, por un lado la ingeniería funcional y de detalle, independiente al número de embarcaciones a construir, y por otro lado la ingeniería de apoyo a la producción, la cual si depende del número de buques a construir.

Basándonos en los tiempos de construcción de buques similares se consideran 1.000.000 de horas de mano de obra para el buque base, tanto directa como subcontratada, así como unas 200.000 horas destinadas a las labores de ingeniería.

A través de las mejoras adoptadas tanto en el astillero como en los apartados de diseño y propulsión, se estima que las horas destinadas a la mano de obra van a experimentar una notable reducción en ambas opciones. El procedimiento llevado a cabo para llegar a la presente conclusión ha sido el de un cálculo porcentual respecto al resto de los costes, el cual se muestra a continuación:



	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
SUMA (100-600)	25.062.006 €	22.146.246 €	21.706.318 €
DIFERENCIA		2.915.760 €	3.355.688 €
PORCENTAJE		12%	13%

Conociendo el porcentaje de diferencia para cada una de las opciones se procede al cálculo de las horas de mano de obra en ambos casos:

HORAS BUQUE BASE	1.000.000
%	12
HORAS A RESTAR	120.000
HORAS OPCION 1	880.000

HORAS BUQUE BASE	1.000.000
%	13
HORAS A RESTAR	130.000
HORAS OPCION 2	870.000

Así pues, el coste total del personal dedicado a la obra queda de la siguiente forma:

PERSONAL DEDICADO A LA OBRA			
	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
Mano de obra directa	30.000.000 €	26.400.000 €	26.100.000 €
Mano de obra subcontratada	14.000.000 €	12.320.000 €	12.180.000 €
Ingeniería directa funcional y detalle	6.500.000 €	6.500.000 €	6.500.000 €
Ingeniería subcontratada funcional y detalle	4.000.000 €	4.000.000 €	4.000.000 €
Ingeniería directa apoyo	650.000 €	650.000 €	650.000 €
Ingeniería subcontratada apoyo	400.000 €	400.000 €	400.000 €
	55.550.000 €	50.270.000 €	49.830.000 €

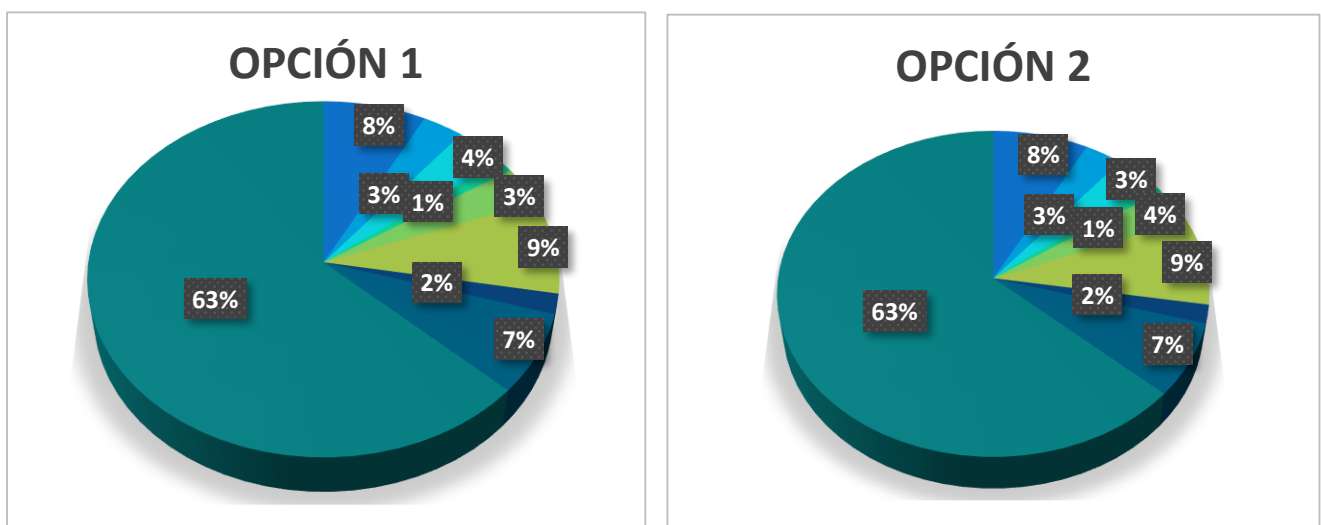
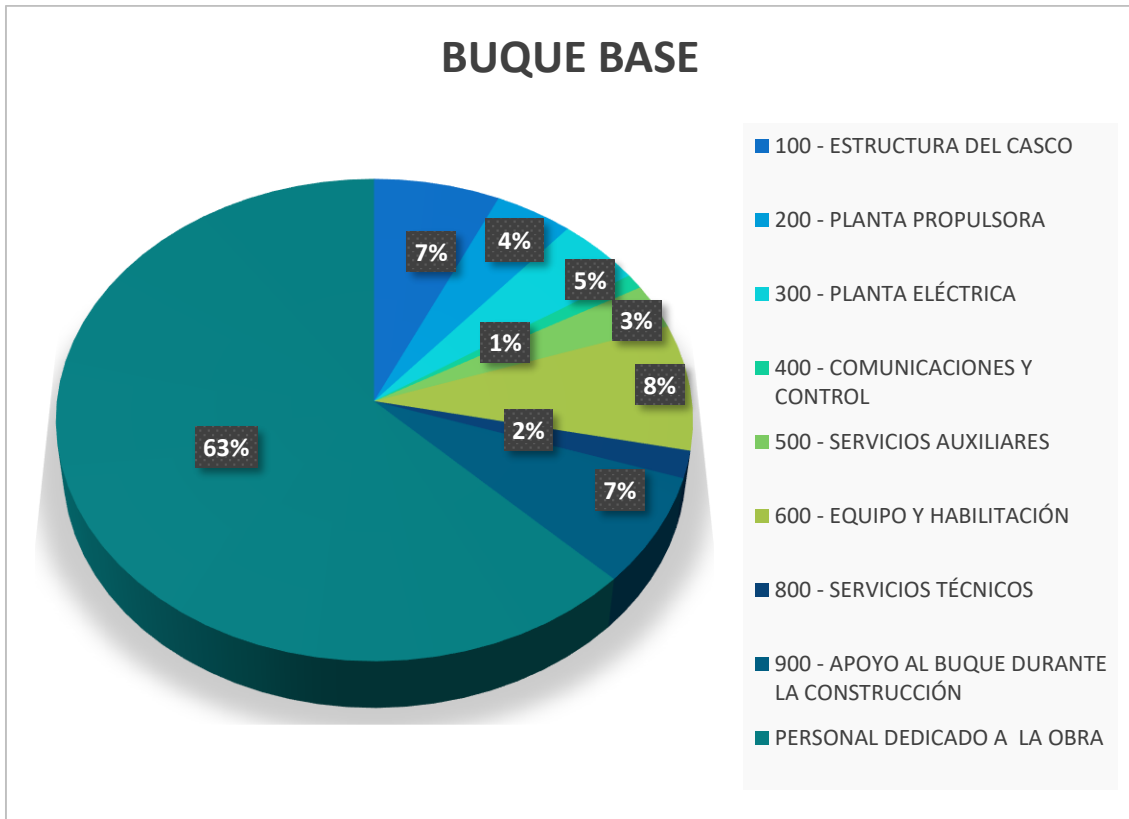


Gráfico 7.1. Conceptos del presupuesto en porcentaje



3. RESERVA DE GESTIÓN

Es importante recalcar el hecho de que el presupuesto calculado hasta este punto es una estimación, por tanto el coste no será ese exactamente al euro. Es aquí donde entra en juego la Reserva de gestión, la cual se trata de un tema puro de gestión de proyecto.

El presupuesto calculado puede resultar mayor porque hay una incertidumbre en el cálculo, es decir, no hay una formulación detrás puramente fidedigna. Un aumento imprevisto del coste en alguna de las fases de producción podría resultar devastador en todo el cálculo. Así pues hay un método para calcular una partida de sobrecoste. Así el jefe de proyecto tendrá entonces una reserva de dinero para cubrir cualquier sobrecoste inesperado. Dicho método es el de la Reserva de Gestión.

La Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (del inglés *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* o PMBOK por sus siglas) es un libro en el que se presentan estándares, pautas y normas para la gestión de proyectos. Y en ella, concretamente la 5ª edición, se define a las Reservas de Gestión de la siguiente manera:

Las reservas de gestión son cantidades específicas de la duración del proyecto que se retienen por control de gestión y que se reservan para cubrir trabajo no previsto en el ámbito del proyecto. El objetivo de las reservas de gestión es contemplar los casos de tipo “desconocidos-desconocidos” que pueden afectar a un proyecto. Dependiendo de los términos del contrato las reservas de gestión pueden requerir un cambio en la línea base del proyecto.



Llegado a este punto es importante definir también lo que son las Reservas para Contingencias. Estas consisten en la duración estimada dentro de la línea base del cronograma que se asigna a los riesgos identificados y asumidos por la organización, para los cuales se han desarrollado respuestas de contingencia o mitigación. Se asocian a los “conocidos-desconocidos”, que se pueden estimar para tener en cuenta esta cantidad desconocida de retrabajo. A medida que se dispone de información más precisa sobre el proyecto, se puede utilizar, reducir o eliminarla reserva para contingencias.

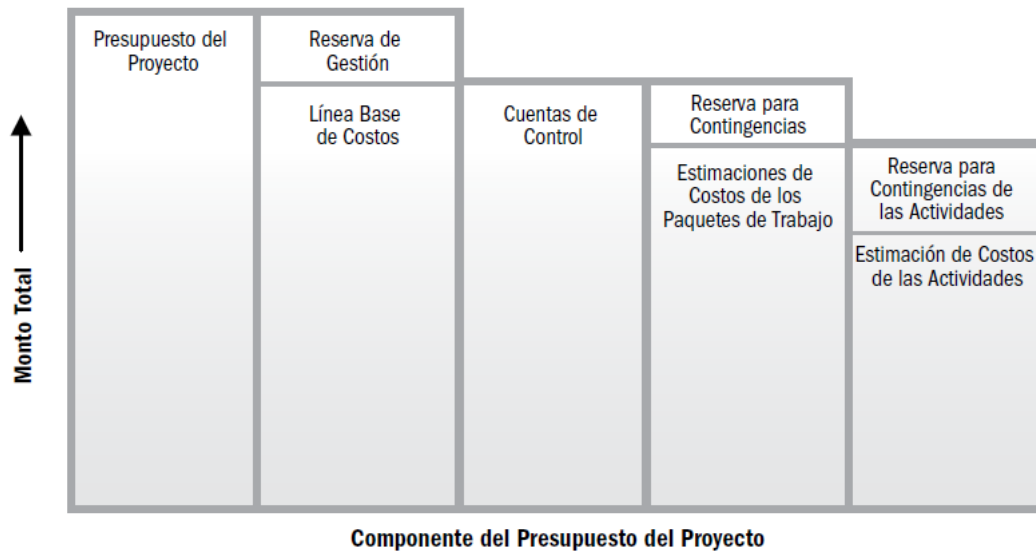


Gráfico 3. Componentes del Presupuesto del Proyecto

A través del siguiente gráfico se puede observar que el presupuesto calculado hasta ahora corresponde a las Estimaciones de Costos de los Paquetes de Trabajo, a las que hay que añadirle las Reservas para Contingencia y de Gestión para obtener así el presupuesto total del proyecto.

La Reserva de Gestión más la Reserva para Contingencia se estima que va a ser un 10% del total para el caso del buque base. Mientras que en la caso de las opciones será de un 15%. La razón de esta medida es la siguiente:

Al buque base se le aplica una reserva menor porque se trata de un proyecto ya consolidado, es decir, un proyecto que ya se ha hecho y se conoce, y que por lo tanto planeta una menor incertidumbre. Por el contrario en el caso de la opciones, al tratarse de proyectos nuevos se les aplican una reserva mayor, precisamente porque tienen más resigio intrínseco por ser algo nuevo.



4. CONCLUSIONES

El resumen del presupuesto queda definido de la siguiente manera:

CONCEPTO	IMPORTE		
	BUQUE BASE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
100 - ESTRUCTURA DEL CASCO	6.135.334 €	6.136.030 €	6.135.994 €
200 - PLANTA PROPULSORA	3.796.539 €	2.461.160 €	2.450.258 €
300 - PLANTA ELÉCTRICA	4.085.207 €	3.055.789 €	2.632.678 €
400 - COMUNICACIONES Y CONTROL	881.869 €	881.869 €	881.869 €
500 - SERVICIOS AUXILIARES	2.674.616 €	2.787.561 €	2.781.682 €
600 - EQUIPO Y HABILITACIÓN	7.488.440 €	6.823.837 €	6.823.837 €
800 - SERVICIOS TÉCNICOS	1.612.240 €	1.448.325 €	1.430.726 €
900 - APOYO AL BUQUE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	6.448.960 €	5.793.300 €	5.722.905 €
PERSONAL DEDICADO A LA OBRA	55.550.000 €	50.270.000 €	49.830.000 €
ESTIMACIÓN TOTAL DE COSTOS	88.673.207 €	79.657.870 €	78.689.949 €

En vista a lo explicado en el apartado anterior se procede a aplicar a continuación las Reservas, tanto de Gestión como para la Contingencia. Obteniendo así el porcentaje de ahorro de ambas opciones relativizado al buque base.

	BUQUE BASE	OPCIÓN 1
Estimación total de Costos	88.673.207 €	79.657.870 €
Porcentaje Reservas (Gestión y Contingencia)	10%	15%
Reservas (Gestión y Contingencia)	8.867.321 €	11.948.681 €
Presupuesto total	97.540.527 €	91.606.551 €

DIFERENCIA	5.933.976 €
AHORRO	6,7%

	BUQUE BASE	OPCIÓN 2
Estimación total de Costos	88.673.207 €	78.689.949 €
Porcentaje Reservas (Gestión y Contingencia)	10%	15%
Reservas (Gestión y Contingencia)	8.867.321 €	11.803.492 €
Presupuesto total	97.540.527 €	90.493.442 €

DIFERENCIA	7.047.085 €
AHORRO	7,9%

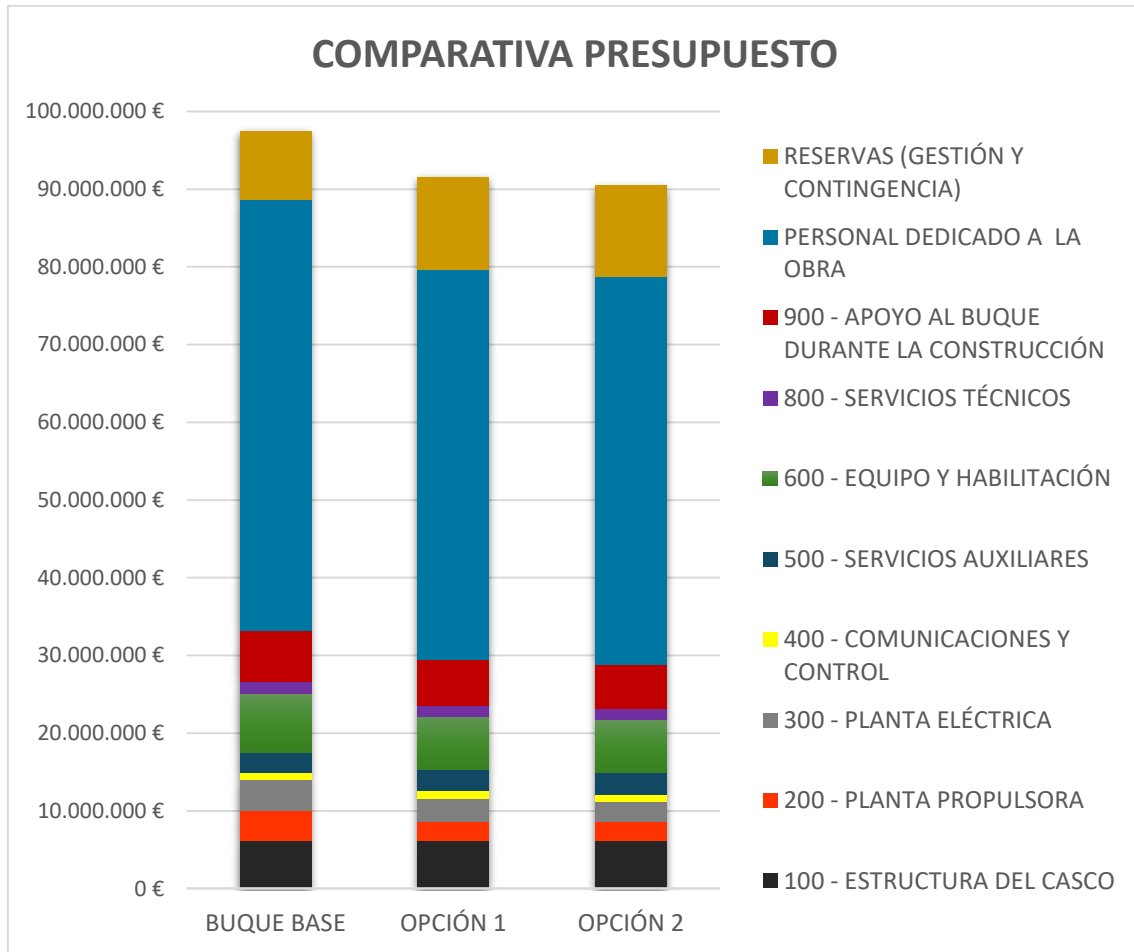


Gráfico 7.2. Comparativa de los tres presupuestos

Finalmente queda aproximadamente un ahorro de un 7% (6 millones de euros) en el caso de la Opción 1 y de un 8% (7 millones de euros) en el de la segunda.

Aunque los ahorros resultan conservadores es importante recalcar que estos datos resultan muy optimistas, ya que hay que tener en cuenta que todo esté implementado y que todos los procesos estén completamente optimizados. Es decir, son datos con lo que hay que ser muy prudente, ya que es posible que tras la construcción del primer buque en vez de conseguir una reducción de 6 millones (en el caso de la opción 1) apenas se consiga de 1 o 2 millones. Pero que si todo lo mencionado hasta ahora se lleva cabo, se podrían llegar a cumplir estos resultados.

*OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO DE UN CRUCERO DE 250 PASAJEROS
MEDIANTE EL DISEÑO ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN*

CUADERNO 8

CONCLUSIONES



FCO JAVIER HÉRNANDEZ QUEREDA
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



ÍNDICE

1. OBJETIVOS.....	133
2. CONCLUSIONES.....	133
2.1 Estudio del estado actual de la industria de cruceros	133
2.2 Estudio de las líneas de mejora	134
2.2.1 Diseño de los espacios de ocio	134
2.2.2 Alternativa del Sistema de Propulsión	134
2.3 Estudio del Astillero Constructor.....	134
2.4 Comparativa basada en el presupuesto.....	134
3. BIBLIOGRAFÍA	136

1. OBJETIVOS

Recapitulando lo mencionado al principio de este TFG, el objetivo principal de dicho trabajo era el de mejorar la competitividad en la construcción de cruceros. Para poder cumplir con tal fin se propusieron una serie de objetivos secundarios a cumplir. Dichos objetivos eran los siguientes:

- Estudio del estado actual de la industria de cruceros
- Estudio de líneas de mejora:
 - Diseño de los espacios de ocio
 - Alternativa del sistema de propulsión
- Estudio del astillero constructor
- Comparativa basada en el presupuesto



Gráfico 8.1. Objetivos

2. CONCLUSIONES

A continuación se recogen las conclusiones obtenidas de cada uno de los objetivos secundarios propuestos:

2.1 Estudio del estado actual de la industria de cruceros

Actualmente se trata de una industria que va a toda máquina, y es que las navieras de cruceros no dejan de renovar y aumentar su flota para poder así atender una demanda de viajeros que no para de crecer.

Aunque los grandes cruceros marítimos siguen siendo la punta de lanza de la industria, el nicho de cruceros de pequeño tamaño va creciendo cada vez más. Buques concebidos para proporcionar y garantizar la comodidad a bordo para un número limitado de pasajeros.



El buque base se encuentra englobado dentro de este nicho y por tanto cumple el objetivo de adaptarse a una de las demandas actuales de la industria de cruceros, como es la de la construcción de cruceros de pequeño tamaño.

2.2 Estudio de las líneas de mejora

2.2.1 *Diseño de los espacios de ocio*

Aplicando el principio de Pareto y las metodologías ágiles (SCRUM) en el diseño de los espacios de ocio se consiguen reducir los tiempos de fabricación y montaje, logrando de esta forma cumplir el objetivo de ahorrar y simplificar el riesgo en la cadena logística.

2.2.2 *Alternativa del sistema de propulsión*

Se han cambiado los cuatro grandes motores diésel del buque base por diésel generadores. Con dos opciones posibles, independientemente de la opción que se elija, la propulsión diésel eléctrica en general y ambas opciones en particular poseen una gran virtud frente a la configuración diésel del buque base. Esa virtud es la estandarización, la cual proporciona la gran ventaja de que se acaba trabajando solamente con dos equipos, los grupos diésel-generadores y los dos motores eléctricos, los cuales a su vez tienen la ventaja de necesitar muy poco mantenimiento y proporcionar una gran fiabilidad.

Todo esto en conjunto solo hace más que facilitar enormemente las labores de mantenimiento y reparación, cumpliendo al final el objetivo propuesto de ahorrar en tiempo, personal y costes.

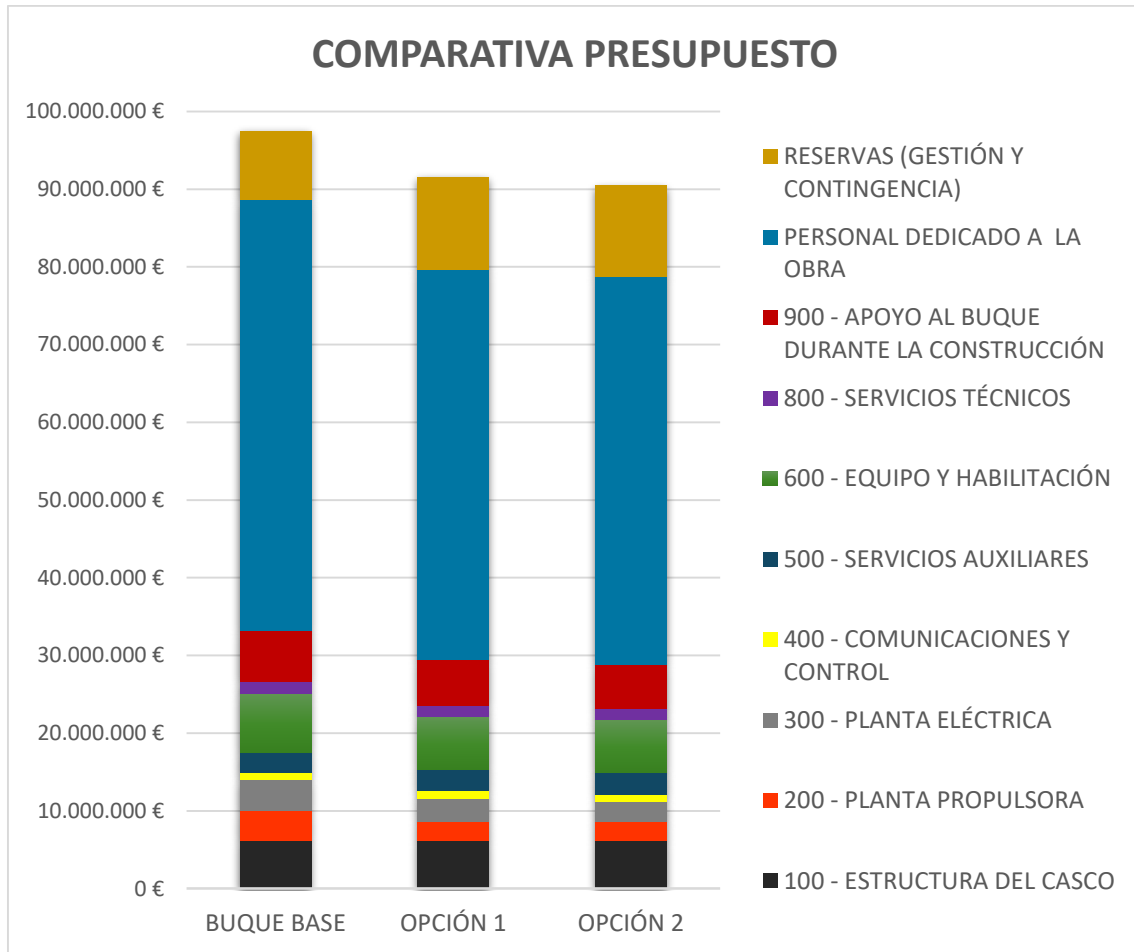
2.3 Estudio del astillero constructor

Por medio de la implantación de la filosofía Lean en el Astillero y de la nueva distribución de la planta del mismo se consiguen reducir los desperdicios o actividades que no aportan valor al producto, además de conseguir un flujo de construcción único y continuo.

El conjunto de estas medidas se refleja directamente en el rendimiento y la productividad del astillero, reduciendo de tal forma los tiempos de construcción y por ende las horas necesarias de mano de obra, así como el coste dedicada a este concepto.

2.4 Comparativa basada en el presupuesto

Aunque se debe de ser muy prudente con los resultados obtenidos en las opciones, si todos los cambios tratados hasta ahora se implementan de forma satisfactoria, se puede llegar a cumplir el objetivo marcado inicialmente de reducir el coste de construcción del buque.



Con el cumplimiento de todos los objetivos secundarios se cumple así también el objetivo principal del presente trabajo de fin de grado, es decir, se cumple que se puede mejorar la competitividad en la construcción de buques de tipo crucero.



3. BIBLIOGRAFÍA

- Urrutia Nebreda, Juan; Vicario González, Jorge, E.T.S.I. Navales (UPM) Proyecto fin de carrera: “Buque de Crucero” (2003)
- Esteve Pérez, Jerónimo; García Sánchez, Antonio; “La industria de cruceros: características, agentes y sus funciones” (2015)
- Nuñez-Barranco González Elipe, Raquel; E.T.S.I Navale (UPM) Tesis doctoral: “Planteamiento actual de la configuración de un astillero para su adaptación a la construcción de buques crucero” (2004)
- Diez Echave, Pablo; E.T.S. Náutica (UC) Proyecto fin de carrera: “Estudio técnico de un sistema de propulsión azimutal”
- Para Conesa, Juan Eugenio; Mascaraque Ramírez, Carlos A.; Apuntes de la asignatura: “Procesos de Fabricación y Montaje” (2015)
- Fernández Muñoz, Luis “Evolución del transporte marítimo internacional” (2009)
- Alvariño Castro, Ricardo; Azpíroz, Juan José; Meizoso Fernández, Manuel; “El proyecto básico del buque mercante” (1997)
- EOI, Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación
- Madariaga Neto, Francisco; “Lean Manufacturing, ebook” (2013)
- Mascaraque Ramírez, Carlos A.; Apuntes de la asignatura: “Ingeniería de Sistemas Aplicada” (2018)
- García López, Domingo L.; Apuntes de la asignatura: “Hidrodinámica, Resistencia y Propulsión” (2016)
- Holtrop, J.; Mennen, G.G.J. “An approximate power prediction method”. International Shipbuilding Progress. Vol. 29, July 1982.
- Junco Ocampo, Fernando “Proyecto de buques y artefactos” (2000)
- Informe de actividad del sector de construcción naval, Pymar. Año 2016
- Revista del sector marítimo. Ingeniería Naval, publicaciones
- Artículo: [www.obs-edu.com/ tacticas-para-la-optimizacion-de-recursos](http://www.obs-edu.com/tacticas-para-la-optimizacion-de-recursos)



- Artículo: www.cliaeuropa.eu
- Artículo: www.seatradecruiseglobal.com
- Artículo: www.cruisesnews.es/Portal/?tag=clia
- Artículo: www.navantia.es/es/navantia-4-0/astillero-4-0/
- Catálogo Página web: www.weg.net/institutional/PT/es/
- Catálogo Página web: www.mtu-online.com/mtu/company/?r=jRsCVbP4
- Catálogo Página web: www.cat.com/es_ES.html