



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Elección de un Sistema de Propulsión en un Buque
de nueva construcción utilizando el Método AHP

Autor

C.C. Raúl Villa Caro

Director

D. Pedro José Martínez Jurado

Centro Universitario de la Defensa
Año 2021

RESUMEN

El objetivo y alcance de este Trabajo Fin de Máster abarca el buscar y seleccionar, entre diversas opciones, un sistema de propulsión en un buque de guerra de nueva construcción utilizando el método multicriterio denominado “Proceso Analítico Jerárquico” (*Analytic Hierarchy Process, AHP*). De este modo, se emplea este método científico, al objeto de ser lo más imparcial y objetivo posible, discriminando las posibles interferencias subjetivas que pudieran aparecer a la hora de tomar la decisión sobre qué tecnología de propulsión, entre las existentes en el mercado, sería la más idónea para ser elegida.

En el momento de seleccionar el sistema de propulsión que se ha de instalar a bordo de un buque de guerra de nueva construcción (por ejemplo, impulsión mediante *fueloil*, gas natural, propulsión eléctrica, híbrida, etcétera), si existen varias alternativas dentro del mercado que cumplan los requisitos requeridos por el cliente, nos encontraremos con el problema de tener que tomar la decisión sobre qué alternativa, entre las existentes, podría ser la más adecuada para ser seleccionada e instalada. Por ello, y para poder asesorar a quien corresponda en este sentido de forma exitosa, se deberán analizar todas las necesidades y requisitos exigidos para que la alternativa seleccionada cumpla su misión, mediante un método multicriterio muy utilizado y conocido en las Fuerzas Armadas españolas (FAS).

Entre los resultados alcanzados, cabe destacar que se ha investigado cómo se comportan las diferentes alternativas (tecnologías) ante variables como el consumo, la eficiencia energética o el mantenimiento, así como la solvencia de las posibles soluciones en el mercado. Por otro lado, mediante el método AHP se ha seleccionado, entre las diversas tecnologías contempladas, la más adecuada, consistente en la propulsión “CODOG” de motores principales diésel y turbina de gas.

ABSTRACT

The objective and scope of this Master Thesis includes searching and selecting, among various options, a propulsion system in a newly built warship using the multi-criteria method called "Analytic Hierarchy Process" (AHP). In this way, the scientific method will be used, in order to be as impartial and objective as possible, discriminating the possible subjective interferences that may appear when making the decision on which propulsion technology, among those existing on the market, would be the most suitable to be chosen.

When selecting the propulsion system to be installed on board a newly built warship (for example, fuel oil, natural gas, electric propulsion, hybrid, etc.), if there are several alternatives on the market that meet the requirements required by the customer, we will find ourselves with the problem of having to make the decision about which alternative could be the most appropriate to be selected and implemented. Therefore, and in order to successfully advise whoever corresponds in this regard, all the needs and requirements demanded for the selected alternative to fulfill its mission must be analyzed, using a multi-criteria method widely used and known in the Spanish Armed Forces (FAS).

Among the achieved results, it has investigated how the alternatives (technologies) behave in the face of variables such as energy efficiency or maintenance, as well as the solvency of possible solutions on the market. On the other hand, the AHP method has allowed to select, among the various technologies contemplated, the most suitable, the "CODOG" propulsion of diesel and gas turbine.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDO

DOCUMENTO I. MEMORIA.....	1
1. Introducción	3
2. Objetivo y alcance	5
3. Estado del Arte	6
4. Metodología	8
4.1. Introducción al método AHP y justificación	9
4.2. Obtención de requisitos iniciales, criterios, subcriterios y alternativas.....	11
4.3. Obtención de requisitos finales, criterios y subcriterios	14
4.4. Valoración de los requisitos, criterios y subcriterios	15
4.5. Cálculo de los pesos de los criterios y subcriterios valorados	16
5. Evaluación de las alternativas. Análisis y Síntesis de Resultados	21
6. Conclusiones.....	25
7. Líneas Futuras.....	27
8. Bibliografía	27
DOCUMENTO II. ANEXOS.....	3
ANEXO I. CUESTIONARIO PRE-TEST Y RESULTADOS PARA LA OBTENCIÓN DE REQUISITOS	31
ANEXO II. CUESTIONARIO PARA LA OBTENCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE REQUISITOS ..	32
ANEXO III. CUESTIONARIO PARA LA VALORACIÓN DE REQUISITOS	33
ANEXO IV. SOFTWARE “AYUDA A LA DECISIÓN”: MODELO, INTRODUCCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS	34
ANEXO V. DEFINICIONES DE CRITERIOS y SUBCRITERIOS	37
ANEXO VI. CORREOS ELECTRÓNICOS ENTREVISTAS EXPERTOS PARA VALORACIÓN CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ABREVIATURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FRAGATAS CLASIFICADAS POR DESPLAZAMIENTO Y TIPO DE PROPULSIÓN ..	7
FIGURA 2. CONFIGURACIÓN DOBLE DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN CODOG	7
FIGURA 3. CONFIGURACIÓN DOBLE DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN CODELAG	8
FIGURA 4. FASES DE LA METODOLOGÍA DISEÑADA	8
FIGURA 5. MODELO JERÁRQUICO COMÚN DEL MÉTODO AHP	9
FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO EMPLEADO EN EL MÉTODO CUALITATIVO.	16

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE BUQUES DE GUERRA	4
TABLA 2. SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA DE BUQUES DE GUERRA	4
TABLA 3. EXPERTOS PARA EVALUACIONES POR NIVEL JERÁRQUICO	12
TABLA 4. PANEL DE EXPERTOS PARA LA OBTENCIÓN DE REQUISITOS FINALES	14
TABLA 5. ESCALA DE SAATY	15
TABLA 6. EXTRACTO DEL CUESTIONARIO EMPLEADO PARA LA VALORACIÓN DE REQUISITOS FINALES	15
TABLA 7. CÁLCULO DEL PESO DE LOS CRITERIOS	18
TABLA 8. CÁLCULO DE LOS PESOS DE LOS SUBCRITERIOS DE RENDIMIENTO.	19
TABLA 9. CÁLCULO DE LOS PESOS DE LOS SUBCRITERIOS DEL COSTE CICLO VIDA	19
TABLA 10. CÁLCULO DE LOS PESOS DE LOS SUBCRITERIOS DE RIESGOS	20
TABLA 11. CÁLCULO DE LOS PESOS DE LOS SUBCRITERIOS DE CONTAMINACIÓN.....	20
TABLA 12. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	21
TABLA 13. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO VELOCIDAD..	21
TABLA 14. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO POTENCIA....	22
TABLA 15. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO COSTE MANTENIMIENTO	22
TABLA 16. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO INTEROPERABILIDAD	22
TABLA 17. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO ROTURA MAQUINARIA.....	23
TABLA 18. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO SEGURIDAD .	23
TABLA 19. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	23
TABLA 20. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO RESIDUOS EMITIDOS AGUA	24
TABLA 21. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN RELACIÓN SUBCRITERIO CONSUMO...	24

ÍNDICE DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AHP: *Analytic Hierarchy Process*. Proceso Analítico Jerárquico.

AN: Alférez de Navío.

CC: Capitán de Corbeta.

CF: Capitán de Fragata.

CN: Capitán de Navío.

CODAG: *COmbined Diesel And Gas turbine*.

CODELAG: *COmbined Diesel ELeetric And Gas turbine*.

CODOG: *COmbined Diesel Or Gas turbine*.

DE: Diésel Eléctrico.

DDG: *Destroyer, Guided Missile*.

DGAM: Dirección General de Armamento y Material.

EdC: Especificaciones de Contrato.

EMA: Estado Mayor de la Armada.

FAS: Fuerzas Armadas.

GT: *Gas Turbine*.

INO: Ingeniero Naval y Oceánico.

JICOFER: Jefatura de Construcciones del Arsenal de Ferrol.

LCS: *Littoral Combat Ships*.

LNG: Gas natural.

MMPP: Motores principales.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte.

REM: Requisitos de Estado Mayor.

RI: Razón de Inconsistencia.

t: toneladas de desplazamiento del buque.

Tcol.: Teniente Coronel.

TFM: Trabajo Fin de Máster.

TN: Teniente de Navío.

UE: Unión Europea.

DOCUMENTO I. MEMORIA

1. Introducción

En los grandes Programas de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa (MINISDEF), y de la Armada, se hace preciso tomar frecuentemente decisiones de selección entre diversas alternativas que cumplan, en mayor o menor medida, los requisitos establecidos en el documento de “Requisitos del Estado Mayor” (REM) correspondiente, que después se volcarán en las “Especificaciones de Contrato” (EdC) en el caso de un buque de nueva construcción. Este documento REM pone fin a la etapa de “Establecimiento de Requisitos” y da comienzo a la de “Determinación de la Alternativa de Obtención”, etapas que forman parte de la “Fase de Definición y Decisión” [1].

Por ello, la selección del sistema de propulsión del que estará dotado un buque de guerra de nueva construcción es una cuestión fundamental en el ámbito del programa que lo constituya. Por lo tanto, una vez que se haya elegido el tipo (o tipos) de propulsión que llevará el buque, habrá que seleccionar cuidadosamente cuál de las alternativas ofrecidas en el mercado de propulsión es la opción más adecuada, en función de los requisitos operativos establecidos en los citados REM, y a un apropiado apoyo logístico, dentro de los recursos económicos disponibles en el programa de construcción. En este punto es preciso señalar que, por lo general, los contratos en la Armada están regulados por el convenio con la empresa pública Navantia, S.A., por lo que estos programas están regulados de una manera especial [2,3].

Se debe destacar que generalmente los buques de guerra suelen disponer de dos plantas propulsoras, independientes, situadas una a proa y otra a popa, y a ambas bandas del buque. De esta manera se consigue diversificar la potencia, para que en caso de daño o incidencia sea más difícil que el buque se quede sin propulsión, y así sea menos “vulnerable”, concepto muy importante hoy en día en un barco de guerra. En los buques actuales, tipo fragata, en cada planta propulsora suelen ir montados un motor diésel y una turbina de gas, con sus respectivos acoplamientos a una reductora común que provee de potencia a una de las dos líneas de ejes. Además, las hélices instaladas en estos buques suelen ser de paso variable y regulable. Este tipo de propulsión, denominada CODOG (*COmbined Diesel Or Gas*), permite alternar el uso de los motores diésel para navegación a velocidad de crucero, con las turbinas de gas, para cuando se quieran obtener puntas altas de velocidad. Esta combinación actual permite una gran versatilidad en las plantas propulsoras, a la vez que aporta un alto grado de seguridad y fiabilidad en las naves [4].

Además, debido a la necesidad de ahorro de combustible y de mejora de la eficiencia energética de las plantas propulsoras de los buques de guerra, las Marinas y Armadas han iniciado y afianzado soluciones encauzadas en la búsqueda de una economía de funcionamiento, tanto en la reducción de consumos, como en la de horas de funcionamiento, mediante el uso de sistemas de propulsión redundantes. Por ello, y a

partir de la combinación de motores diésel y turbinas de gas (y en algunos casos turbinas de vapor y energía nuclear), surgieron los principales sistemas de propulsión mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Sistemas de Propulsión de Buques de Guerra

Acrónimo	Sistema
CODAD	<i>COmbined Diesel And Diesel</i>
CODOG	<i>COmbined Diesel Or Gas turbine</i>
CODAG	<i>COmbined Diesel And Gas turbine</i>
COGOG	<i>COmbined Gas turbine Or Gas turbine</i>
COGAG	<i>COmbined Gas turbine And Gas turbine</i>
COSAG	<i>COmbined Steam (vapor) And Gas turbine</i>
COGAS	<i>COmbined Gas turbine And Steam</i>
CONAG	<i>COmbined Nuclear And Gas turbine</i>

Adicionalmente a las anteriores combinaciones de motores diésel, turbina de gas, turbina de vapor y energía nuclear, basadas en una solución óptima de potencia y eficiencia, existen otras en base a la integración de la propulsión eléctrica dentro de un sistema mixto de propulsión. En este caso, la gama de velocidades bajas del buque es cubierta por propulsión eléctrica mucho más eficiente, mientras que las velocidades altas se reservan para los demás sistemas. En este sentido, los sistemas más empleados para la propulsión de buques son los expuestos en la Tabla 2.

Tabla 2. Sistemas de Propulsión Eléctrica de Buques de Guerra

Acrónimo	Sistema
CODELAG	<i>COmbined Diesel ELeCtric And Gas turbine</i>
CODELOG	<i>COmbined Diesel ELeCtric Or Gas turbine</i>
COEOD	<i>COmbined Electric Or Diesel</i>
COEOS	<i>COmbined Electric Or Steam turbine</i>
COGES	<i>COmbined Gas turbine Electric And Steam</i>

El buque de guerra moderno necesita disponer de potencia elevada para alcanzar velocidades punta operativas, a pesar de que la mayor parte de su vida activa navegará a velocidad económica. Por experiencia se sabe que los buques de guerra navegan aproximadamente el 85% de su vida operativa a velocidad próxima a la de crucero, lo cual habitualmente se consigue al 79% de la velocidad máxima, que normalmente corresponde al 50% de la potencia máxima continua en instalaciones COGAG y CODAD; y al 58% de la velocidad máxima, que corresponde al 20% de la potencia máxima continua en instalaciones COGOG, CODOG y COGES [5, 6].

Debido a lo anteriormente expuesto, durante el desarrollo del proyecto del buque de guerra se da gran importancia al estudio de la economía de funcionamiento a velocidad de crucero, de donde se deduce la autonomía y su influencia en el coste del ciclo de vida [7].

2. Objetivo y alcance

El objetivo y alcance del presente Trabajo Fin de Máster (TFM) abarca el buscar y seleccionar, entre diversas opciones, un sistema de propulsión en un buque de guerra de nueva construcción utilizando el método multicriterio denominado “Proceso Analítico Jerárquico” (*Analytic Hierarchy Process*, AHP). De este modo, se emplea este método científico al objeto de ser lo más imparcial y objetivo posible, discriminando las posibles interferencias subjetivas que pudieran aparecer a la hora de tomar la decisión sobre qué tecnologías de propulsión, entre las existentes en el mercado, serían las más idóneas para ser elegidas.

De esta forma nos vamos a encontrar con un conjunto de posibles alternativas, que podrán satisfacer los distintos requisitos incluidos en el REM para cada uno de los sistemas de propulsión estudiados. El presente trabajo va a consistir en la exposición de una selección analítica de la mejor alternativa para cada uno de los sistemas de propulsión que cumplan los requisitos establecidos en un programa de futuras fragatas.

En el momento de seleccionar el sistema de propulsión que se ha de instalar a bordo de un buque de guerra de nueva construcción (p. ej. fuel, gas natural, propulsión eléctrica, turbina, diésel, híbrido, etcétera), si existen varias alternativas dentro del mercado que cumplan los requisitos requeridos por el cliente, nos encontramos con el problema de tener que tomar la decisión de cuál podría ser la más adecuada para su instalación. Por ello, se pretende asesorar al mando en este sentido, considerándose las necesidades y los requisitos de los usuarios para cumplir su misión, mediante un método multicriterio ampliamente utilizado en las Fuerzas Armadas españolas (FAS).

Para obtener los resultados esperados, cabe destacar que se prestará atención especial a la investigación y el estudio de la eficiencia energética de las tecnologías de propulsión existentes, entre fabricantes de probada solvencia y capacidad, para posteriormente seleccionar la tecnología más adecuada.

Para el logro de dicho objetivo principal, se han planteado las siguientes sinergias y subobjetivos complementarios:

- Investigar el estado del arte de los sistemas propulsivos actuales, para ser conocedores de los aspectos existentes a mejorar.
- Definir los requisitos o las capacidades claves para que el proceso de mejora o implantación del nuevo sistema de propulsión sea factible.
- Seleccionar y aplicar un método multicriterio con el fin de establecer una jerarquización de los requisitos, criterios y subcriterios claves.

3. Estado del Arte

Desde el año 1970, en el que la GT (*Gas Turbine*, turbina de gas) comienza a reemplazar a la ST (*Steam Turbine*, turbina de vapor), hasta la actualidad, se han construido 461 fragatas a nivel mundial (excluyendo a países como Rusia y China). La Figura 1 resume un listado de fragatas propulsadas por GT y agrupadas por desplazamientos de las que se tienen datos, donde se puede comprobar que el desplazamiento medio de los buques anteriores a 1999 es de 3500t (toneladas de desplazamiento del buque), incrementándose desde entonces hasta las 5700 t. Se puede comprobar también que la velocidad máxima se encuentra entre 28 y 30 kn (knots, nudos), excluyendo las LCS (*Littoral Combat Ships*) de los Estados Unidos cuya velocidad máxima se sitúa por encima de los 40 kn [8].

3000 - 3999 t							
Despl. (t)	País	Fragata	Unids.	Año entrega	Tipo Propulsión	Tipo Turbina Gas	Vel. Max. (nudos)
3600	Australia	Anzac	8	1993	CODOG	(1) GE LM2500	27
3680	Germany	F122	8	1982	CODOG	(2) GE LM2500	30
3320	Netherlands	Karel Doorman	8	1991	CODOG	(2) RR Spey	30
3700	South Africa	Valour MEKO	4	2006	CODAG	(1) GE LM2500	28
3261	South Korea	FFX Batch 1	6	2013	CODOG	(2) GE LM2500	30
3600	US	LCS Freedom	5	2008	CODAG	(2) RR MT30	> 40
3105	US	LCS Independence	5	2010	CODAG	(2) GE LM2500	> 40
4000 - 4999 t							
Despl. (t)	País	Fragata	Unids.	Año entrega	Tipo Propulsión	Tipo Turbina Gas	Vel. Max. (nudos)
4110	Australia	Adelaide	6	1980	COGOG	(2) GE LM2500	29
4770	Canada	Halifax	12	1992	CODOG	(2) GE LM2500	30
490	Germany	F123	4	1994	CODOG	(2) GE LM2500	29
4000	Japan	Hatsuyuki	12	1982	COGAG	RR Olympus and Tyne	30
4169	Taiwan	Cheng Kung	8	1993	COGOG	(2) GE LM2500	29
4200	US	Oliver Perry	71	1977	COGOG	(2) GE LM2500	29
4900	UK	Type 23	16	1987	CODLAG	(2) RR Spey	28
5000 - 5999 t							
Despl. (t)	País	Fragata	Unids.	Año entrega	Tipo Propulsión	Tipo Turbina Gas	Vel. Max. (nudos)
5800	Germany	F124	3	2003	CODAG	(1) GE LM2500	29
5290	Norway	Nansen	5	2006	CODAG	(1) GE LM2500	31
5300	UK	Type 22	16	1988	COGOG COGAG	(2) RR Olympus and Tyne (2) RR Tyne and Spey	30

Figura 1. Fragatas clasificadas por desplazamiento y tipo de propulsión

(Fuente: Elaboración Propia a partir [8])

6000 - 7200 t							
Despl. (t)	País	Fragata	Unids.	Año entrega	Tipo Propulsión	Tipo Turbina Gas	Vel. Max. (nudos)
6000	France	FREMM	10	2012	CODLOG	(2) GE LM2500 + G4	27
7299	Germany	F125	4	2017	CODLAG	(1) GE LM2500	26
6700	Italy	FREMM	10	2012	CODLAG	(1) GE LM2500 + G4	30
6050	Netherlands	De Zeven	4	2002	CODAG	(2) RR Spey	30
6400	Spain	Álvaro de Bazán	5	2002	CODOG	(2) GE LM2500	29

Figura 1. Fragatas clasificadas por desplazamiento y tipo de propulsión (Continuación)

(Fuente: Elaboración Propia a partir [8])

Las combinaciones secuenciales de GT y DE (diésel eléctrico) o propulsión CODAG y CODOG, y las variantes eléctricas CODELOG (o CODLOG) y CODELAG (o CODLAG) son un estándar en la propulsión de buques de guerra, desde pequeñas corbetas hasta grandes destructores (o DDGs, *Destroyer, Guided Missile*). Según los datos recogidos en la figura anterior, del total de buques entregados de los que se tienen datos, un 56% presentan propulsión CODOG/CODAG y CODELOG/CODELAG (39% y 17%, respectivamente).

La configuración típica de una planta propulsora CODOG consiste en dos líneas de ejes que accionan dos hélices de paso controlable respectivamente. Cada una de estas líneas se encuentra conectada, mediante un engranaje reductor auto-sincronizante, a un DE y a una GT respectivamente, formando un doble sistema de propulsión CODOG [8].

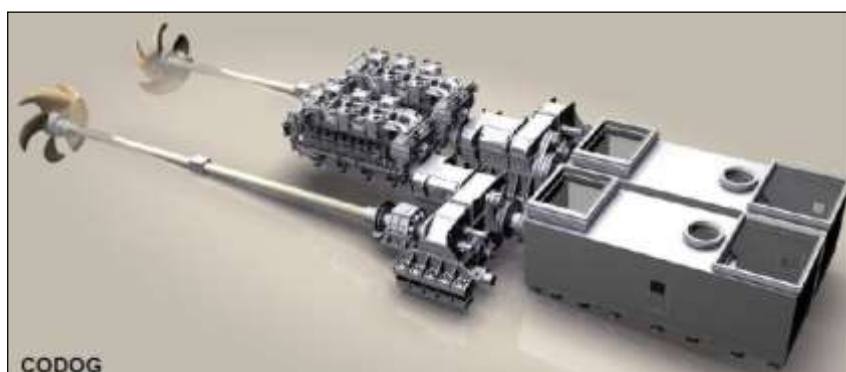


Figura 2. Configuración Doble de un Sistema de Propulsión CODOG (Fuente: Ohmayer, 2012)

En la variante eléctrica CODELAG, los motores diésel mueven generadores eléctricos que producen la energía eléctrica necesaria para alimentar a los motores propulsores eléctricos, mientras que la turbina de gas se conecta directamente a las líneas de ejes a través de la caja reductora. En modo crucero, el buque es propulsado por el sistema diésel-eléctrico, mientras que para operaciones que exijan alcanzar la máxima velocidad, se acopla la turbina de gas [9].

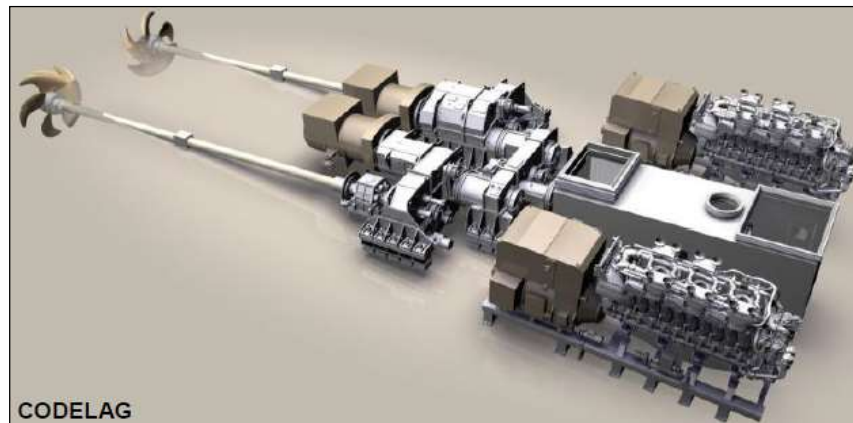


Figura 3. Configuración Doble de un Sistema de Propulsión CODELAG (Fuente: Ohmayer, 2012)

4. Metodología

Ante un problema decisional, como el del presente TFM, donde se deben definir y jerarquizar una serie de requisitos para un sistema de propulsión, caracterizado por su complejidad, dinamismo e incertidumbre, es necesario emplear una metodología científica. En concreto, se ha seleccionado una metodología de decisión multicriterio ya que permite abordar la toma de decisiones en un contexto de distintos objetivos en conflicto [10].

El método concreto que se emplea en el presente TFM es un método multicriterio discreto, concretamente el método denominado “Proceso Analítico Jerárquico” (*Analytic Hierarchy Process, AHP*).

Para cumplir los objetivos planteados se ha empleado la metodología que se muestra de modo gráfico en la siguiente figura.

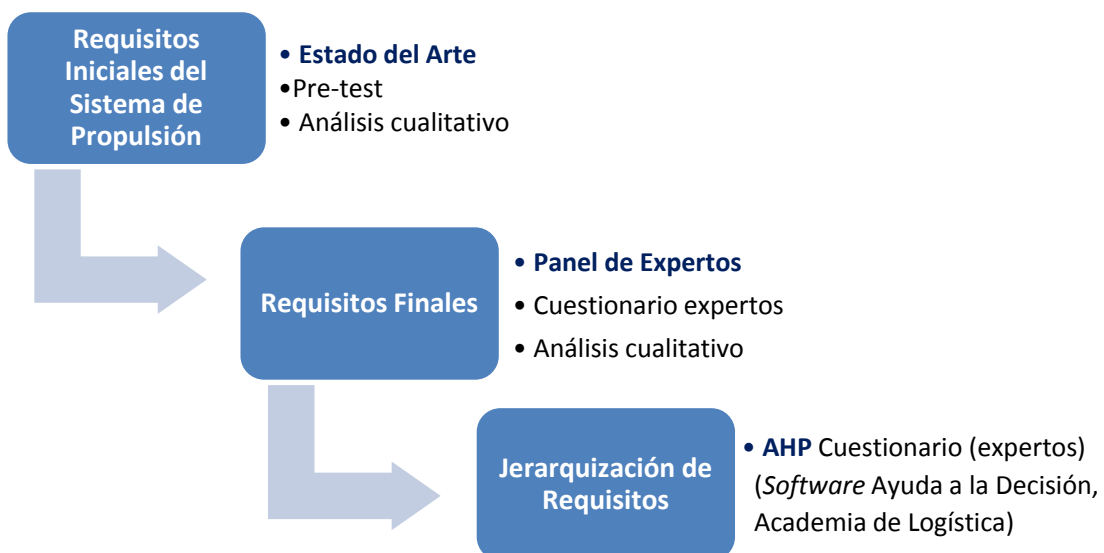


Figura 4. Fases de la metodología diseñada

Las técnicas que se utilizan en este trabajo son tanto cualitativas como cuantitativas. Dentro de las técnicas cualitativas, para recabar la información de mantenimiento necesaria para la asignación de los pesos de cada uno de los criterios a evaluar, y para las comparativas entre las distintas alternativas, se va a requerir la colaboración de varios expertos, especialistas en propulsión naval. Estos equipos, a través del método de la entrevista y de la encuesta, proporcionan la información de operatividad, eficiencia y mantenimiento propulsivo que será necesaria para la posterior aplicación en las técnicas cuantitativas. El personal comprometido para formar parte de estos grupos de expertos, es el que se relaciona a continuación:

- Personal de la Ingeniería de Plataforma de la Jefatura de Construcciones del Arsenal de Ferrol (JICOFER) de la Armada (3 Oficiales Ingenieros Navales-INO, 1 Oficial Ingeniero Industrial).
- Personal de Ciclo de Vida del Arsenal de Ferrol (2 Oficiales INO).
- Personal de Mantenimiento del Arsenal de Ferrol (1 Oficial graduado en INO).

4.1. Introducción al método AHP y justificación

El método analítico jerárquico fue desarrollado por Thomas L. Saaty en la Universidad de Pensilvania en la década de los 70 del siglo pasado, a partir de sus investigaciones en el campo militar y su experiencia docente.

Se basa en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante el establecimiento de un modelo jerárquico, que normalmente contiene los siguientes niveles: meta, criterios y subcriterios, y alternativas [11].

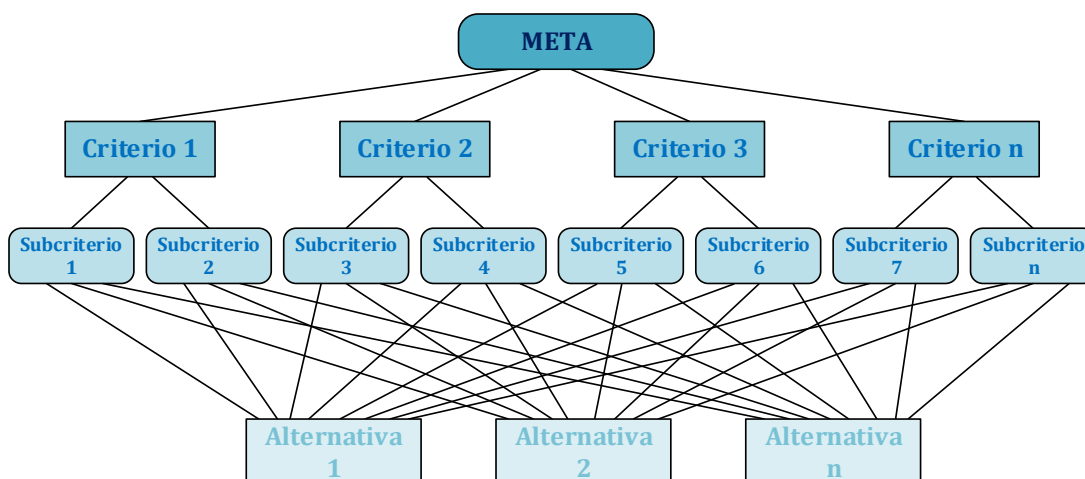


Figura 5. Modelo Jerárquico común del método AHP

Una vez diseñado el modelo, un grupo de expertos realiza comparaciones por pares entre dichos elementos. El fundamento del proceso radica en transformar los juicios subjetivos de los decisores (cualitativos) en valores cuantitativos (escala de Saaty).

Su finalidad es desarrollar una metodología fiable y válida para la evaluación y ordenación de alternativas en función de varios criterios/subcriterios. Este método es sencillo, práctico, comprensible y con un fundamento matemático robusto [12].

Por último, cabe señalar que en el momento inicial del planteamiento del presente TFM se valoraron varios métodos científicos y, tras la evaluación de estos, se decidió optar por AHP como el más adecuado para alcanzar los objetivos planteados. En este sentido, se destaca que el método es adecuado en casos donde el problema principal a resolver es complejo, debido a que se deben analizar tanto aspectos cualitativos y cuantitativos, evaluando así el peso que corresponde a cada aspecto con una misma escala, facilitando así la toma de decisiones. Por último, es de destacar que el método AHP es ampliamente utilizado en aspectos relacionados con la obtención y mejora de recurso material existente en las FAS.

Una vez recibida toda la información de operatividad propulsiva, eficiencia y mantenimiento, se va a trabajar con técnicas cuantitativas utilizando la herramienta de AHP suministrada durante el Máster por el profesor Tcol. D. Carlos Ruiz López.

Así pues, en primer lugar, se ha realizado un estudio del estado del arte de todos los sistemas de propulsión, cuya adquisición se contempla en la Especificación de Contrato derivada del REM de los últimos programas de fragatas de la Armada. Se ha recabado a continuación la información de operatividad propulsiva, eficiencia y mantenimiento basada en la experiencia de distintos expertos involucrados en estos sistemas, tanto en lo que respecta a su operación como en lo que atañe a su mantenimiento, quienes a través del método de la entrevista y de la encuesta han suministrado la información propulsiva necesaria que se ha utilizado en la siguiente fase.

Con todos los datos obtenidos, se ha utilizado la técnica de decisión multicriterio citada anteriormente, con la que se ha efectuado un análisis comparativo de las distintas alternativas de propulsión existentes. Como resultado de este análisis se expondrá una relación jerarquizada de las alternativas de cada uno de los sistemas evaluados, y se efectuarán unas recomendaciones en función de los criterios establecidos para cada uno de los sistemas evaluados.

Dicho de otro modo, toda vez que las alternativas a evaluar ya estén establecidas, para aplicar el método AHP a este problema se va a seguir el siguiente procedimiento:

1. Recabar los requisitos deseables, diseñar las herramientas de recogida de información: cuestionarios (método de la encuesta) y guiones –no estructurados– de las entrevistas (método de la entrevista).
2. Recopilación de datos técnicos y logísticos de las distintas alternativas.
3. Establecimiento del peso relativo de los criterios y subcriterios establecidos.
4. Valoración y jerarquización de las distintas alternativas (*software* AHP).
5. Análisis de las fortalezas y debilidades de las opciones elegidas.

Para el primer paso, tal como ya se ha indicado, se han estudiado los requisitos establecidos por el Estado Mayor de la Armada (EMA) en los REM de los últimos programas de construcción de fragatas, y se han diseñado los cuestionarios y los guiones de las entrevistas (no estructuradas). Y para el segundo paso, se han estudiado e investigado los distintos sistemas propulsivos y equipos de los que disponen las principales empresas suministradoras y se ha recabado toda la información de mantenimiento necesaria para poder efectuar una completa evaluación comparativa. Este paso completa la primera etapa del método AHP, correspondiente al establecimiento y representación del problema [13].

Para el tercer y cuarto pasos se ha recabado la información de operatividad y mantenimiento de los distintos grupos de expertos, ya mencionada con anterioridad. Con toda la información se ha hecho uso del método AHP para obtener los resultados correspondientes. Como resultado, se ha obtenido una jerarquización de las alternativas estudiadas, de donde se podrán extraer unas conclusiones y unas recomendaciones [14].

Por último, se han evaluado las fortalezas y debilidades de las distintas opciones recomendadas, y se han expuesto las conclusiones.

4.2. Obtención de requisitos iniciales, criterios, subcriterios y alternativas

El objetivo (o meta) establecido es la selección de la propulsión ideal para buques de guerra modernos, tipo fragatas, entre tres alternativas en uso existentes en la actualidad. El grupo de expertos ha definido los siguientes aspectos: alternativas, criterios y subcriterios que, además de la parte económica, deberían ser considerados en la evaluación de ofertas.

El método AHP ayuda a estructurar el problema de decisión, ya que al descomponerlo en partes facilita su comprensión. Tras la investigación inicial, en la siguiente ronda, se procede a realizar la nueva agrupación en un nivel jerárquico superior, y a asignar las personas que valorarán los criterios y subcriterios establecidos. En este TFM, tras la consulta inicial a los expertos, se establecieron inicialmente los siguientes criterios:

1. Rendimiento: cuya definición responde a la utilidad y satisfacción que el producto (o conjunto de productos) proporciona a los usuarios en aspectos propulsivos del buque, tales como la “eficiencia energética”, la “velocidad”, o el lanzamiento de “emisiones” a la atmósfera o “residuos” al agua. En los buques se pierde una gran cantidad de energía, superior a la empleada para la generación de trabajo útil, en forma de calores residuales. Este calor se pierde principalmente por los gases de escape y por el agua de refrigeración. Por ello, los sistemas de recuperación residual tienen como objetivo el recuperar parte de este calor perdido, utilizándolo para los servicios internos del buque (producción de agua caliente, calefacción), o bien empleándolo para generar electricidad sin consumo adicional, consiguiendo un ahorro energético equivalente al combustible necesario para generar esa misma potencia.

2. Plan de Coste del Ciclo Vida: engloba la gestión logística y la flexibilidad de las propuestas a cambios en las necesidades de la propulsión del buque. Cometidos relacionados con la conservación del sistema propulsivo del buque y su material en condiciones de servicio; repararlo cuando se deteriore; atender a los buques apoyados y recoger el material inservible. Mediante la colaboración con los suministradores en materia de coste de mantenimiento e investigación se busca aprovechar las sinergias, aspecto de importancia vital para el éxito del programa. Se incluyen bajo este criterio el coste en mantenimiento y la búsqueda de la interoperabilidad (“comunalidad”) o compatibilidad de los productos.
3. Colaboración con la gestión de Riesgos: se está pensando en todo tipo de riesgos, tanto hacia las personas, como hacia el buque y sus sistemas, como hacia el medioambiente. Se tendrá en cuenta la filosofía “safety” a la hora de ponderación de este criterio.

Tras la segunda vuelta de consultas a expertos, se ajustaron los criterios, dando lugar a cuatro (destacándose la consideración del criterio “contaminación”). En la siguiente tabla se muestran los criterios/subcriterios y los expertos que valoraron cada criterio/subcriterio final y cada alternativa.

Tabla 3. Expertos para evaluaciones por nivel jerárquico

Nivel jerárquico	Expertos
Primer nivel jerárquico	
Criterios: Rendimiento (1), Coste Ciclo de Vida (2), Riesgos (3), Contaminación (4)	En conjunto por los 3 ingenieros de ICOFER (Arsenal Ferrol) responsables de servicios de la propulsión de los buques.
Segundo nivel jerárquico	
Subcriterios de Rendimiento (1): Eficiencia Energética (A), Velocidad (B), Potencia (C)	En conjunto por los 3 ingenieros de ICOFER (Arsenal Ferrol) responsables de servicios de la decisión referente principalmente a la búsqueda de la eficiencia.
Subcriterios de Coste de Ciclo de Vida (2): Coste Mantenimiento (D), Interoperabilidad (E)	En conjunto por los 2 ingenieros de Arsenal de Ferrol (ICOFER) responsables de servicios de la decisión de Ciclo de Vida.
Subcriterios de Riesgos (3): Rotura maquinaria (F), Seguridad personal (G)	En conjunto por los 2 ingenieros de ICOFER (Arsenal de Ferrol) responsables de servicios de la decisión de análisis de riesgos y “safety”.
Subcriterios de Contaminación (4): Emisiones atmosféricas (H), Residuos emitidos agua (I), Consumo (J)	En conjunto por los 3 ingenieros de ICOFER (Arsenal Ferrol) responsables de servicios de la decisión referente a contaminación.

Tabla 3. Expertos para evaluaciones por nivel jerárquico (Continuación)

Nivel jerárquico	Expertos
Evaluación de subcriterios	
Eficiencia Energética (A)	Liderado por el ingeniero de ICOFER, con mayor decisión sobre eficiencia energética en buques.
Velocidad (B)	Liderado por el oficial de propulsión.
Potencia (C)	Liderado por el oficial de propulsión.
Coste mantenimiento (D)	Liderado por un oficial de Ciclo de Vida.
Interoperabilidad (E)	En conjunto por los 3 ingenieros de ICOFER, con mayor Riesgos sobre propulsión en buques.
Rotura maquinaria (F)	En conjunto por los 3 ingenieros de ICOFER, con mayor Riesgos sobre propulsión en buques.
Seguridad Personal (G)	Liderado por el oficial de "Safety".
Emisiones atmosféricas (H)	Liderado por el oficial de Servicios.
Residuos emitidos al agua (I)	Liderado por el oficial de Servicios.
Consumo (J)	Liderado por el oficial de propulsión.

Tras diversas reuniones y estudios de posibilidades propulsivas, con los tres expertos del primer nivel jerárquico, su coordinador propuso para solucionar el problema el establecimiento de tres posibles alternativas, correspondientes a suministradores actuales de equipos, motores y turbinas para propulsión en buques. Estas tres alternativas fueron:

- La propulsión eléctrica (LA 1).
- La propulsión por gas natural LNG (LA 2).
- La propulsión convencional CODOG de Motores principales (MMPP) diésel y turbinas (LA 3).

Debe tenerse en cuenta, que la información operativa, y de eficiencia y mantenimiento utilizada ha tenido como fin último la selección de las alternativas modelo, y no la elección de proveedores, selección que se realizaría mediante el proceso de licitación. Una vez finalizada la formulación del problema, se procede a la siguiente fase de evaluación de los criterios y subcriterios.

El resultado de esta fase serán las ponderaciones de los criterios de adjudicación seleccionados que se aplicarán a los puntos asignados.

4.3. Obtención de requisitos finales, criterios y subcriterios

Tras haber planteado un modelo tentativo con los requisitos a considerar y su agrupación en criterios y subcriterios, se procedió a establecer un panel de expertos para ponderarlos, valorarlos y validarlos. En la siguiente tabla se muestra el nombre los expertos seleccionados, su empleo y destino.

Tabla 4. Panel de Expertos para la obtención de requisitos finales

Nombre	Apellidos	Ejército	Empleo	Destino
José Ángel	Sequeiro	ARM	CF (ing)	CICLO DE VIDA (ICOFER)
Julio Manuel	Pernas Urrutia	ARM	CC (ing)	ICOFER (Servicios)
Luis Antonio	García Pena	ARM	TN (ing)	ICOFER (Propulsión)
Felipe	Aneiros	ARM	TN (ing)	ICOFER (Electricidad)
Pablo	González Cela	ARM	AN (ing)	ARSENAL FERROL (Mant.)
Jesús	Godín	ARM	AN (ing)	CICLO DE VIDA (ICOFER)
Borja	Muiños Garel	ARM	AN (ing)	ICOFER (Seguridad)

Para ello se diseñaron los cuestionarios ([Anexo I](#), [Anexo II](#) y [Anexo III](#)).

Tras el análisis cualitativo de las respuestas de los oficiales ingenieros especialistas de ICOFER, obtenidas mediante entrevistas personales, se modificaron y ajustaron algunos criterios y subcriterios (pertenecientes a los criterios) quedando finalmente tal como ya se ha indicado en la Tabla 3.

A continuación, se especifican los criterios finales resultantes. El análisis cualitativo de las respuestas de los expertos obtenidas en las entrevistas permitió incluir un nuevo criterio, el de la contaminación, y establecer un mayor grado de detalle de los subcriterios en función de sus observaciones y sugerencias. Destacar que tras las valoraciones con los expertos se decidió incluir el criterio “contaminación”, no previsto inicialmente, y se evaluaron otros dos más “volumen” y “empacho”, que finalmente se desestimaron:

1. Criterio Rendimiento.
2. Criterio Coste de Ciclo de Vida.
3. Criterio Riesgos.
4. Criterio Contaminación.

4.4. Valoración de los requisitos, criterios y subcriterios

En la tercera fase de la metodología diseñada, se procedió a que el panel de expertos señalado previamente (Tablas 3 y 4) comparase “dos a dos” los criterios y subcriterios (por niveles) empleando para ello la escala de Saaty.

Para ello, se diseñó un cuestionario (Anexo II). En la siguiente tabla se muestra la escala de Saaty empleada para que los expertos contestaran al cuestionario (en los anexos se adjuntan las respuestas de los expertos, de acuerdo a la Tabla 5).

Tabla 5. Escala de Saaty

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIO
1	Igual Importancia	El factor A y el B tienen la misma importancia
3	Importancia Moderada	A es un poco más importante que B
5	Importancia Grande	A tiene más importancia que B
7	Importancia Muy Grande	A tiene mucha más importancia que B
9	Importancia Extrema	La importancia de A es abrumadoramente mayor que la de B

En la Tabla 6 siguiente se muestra un ejemplo de extracto del cuestionario empleado.

Tabla 6. Extracto del cuestionario empleado para la valoración de requisitos finales

Estimado experto, a continuación, encontrará unas tablas denominadas: “Comparación de los Criterios” y “Comparación de los Subcriterios”. Estas deben rellenarse marcando con una “X” el criterio/subcriterio que se considera más importante y colocando en la columna “VALOR” uno de los valores de la escala de Saaty.

Ejemplo:

COMPARACIÓN	Rendimiento	Coste Ciclo Vida	VALOR
Rendimiento – Coste Ciclo Vida		X	1

Como se observa en la tabla del ejemplo, los **criterios** “Rendimiento” y “Coste Ciclo Vida” **tienen la misma importancia** (de ahí la asignación de un 1 –Igual Importancia– según la escala de Saaty en la columna “VALOR”).

Posteriormente, una vez que los cuestionarios fueron cumplimentados por los expertos se siguió un método cualitativo para obtener las valoraciones conjuntas finales, procediendo según se indica en el siguiente diagrama de flujo.

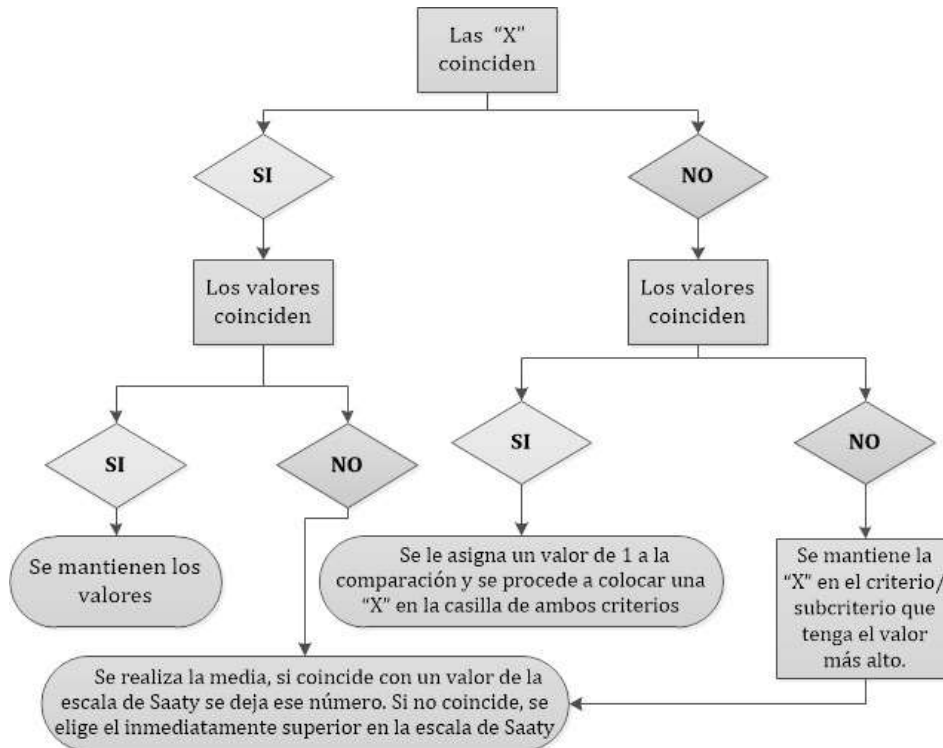


Figura 6. Diagrama de flujo empleado en el método cualitativo.

Se debe destacar que en aras de lograr una cierta convergencia o un “consenso” en las respuestas de los expertos, se indica que el método empleado para obtener la valoración final de los mismos en cada criterio y subcriterio, fue el conocido como “común”, obtenido por el cálculo de la “media” de los valores indicados por los distintos expertos consultados, sistema (consenso) que es comúnmente empleado por diferentes autores [11, 15, 16].

4.5. Cálculo de los pesos de los criterios y subcriterios valorados

Con el fin de facilitar los cálculos matemáticos relativos a AHP, se ha decidido emplear un programa informático. A continuación, se muestra de modo sucinto el proceso matemático seguido por el programa [17].

a) Cálculo de los pesos de los criterios de valoración:

Se construye una matriz A, a partir de la comparación de los diferentes criterios dos a dos, con el propósito de estimar la importancia relativa entre cada uno de ellos.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Donde:

a_{21} representa la valoración del segundo criterio respecto del primer criterio según la escala de Saaty a_{11}

El valor del primer criterio respecto al segundo será entonces $a_{12}=1/a_{21}$

Se normaliza la matriz A y se obtiene A':

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum a_{i1}} & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix}$$

Una vez normalizada la matriz, se procede a estimar los correspondientes pesos relativos de los criterios. De esta forma obtenemos los pesos definitivos asignados a cada criterio/subcriterio. El cálculo de estos pesos se realiza calculando la media aritmética de las filas de la matriz A'.

b) *Cálculo de la consistencia de los pesos asignados a los criterios:*

Es un indicador crítico que controla el grado de consistencia de las valoraciones de los expertos al establecer la importancia relativa entre los elementos de cada nivel (en el caso del presente TFM: criterios y subcriterios). Esto es, mide el grado de consistencia de los juicios emitidos por los expertos, evitando que existan contradicciones en las comparaciones por pares realizadas por los expertos. Según Saaty, si la Razón de Inconsistencia (RI) es $< 0,1$ es aceptable; pero, sin embargo, si la $RI \geq 0,1$ no lo sería.

Siguiendo lo indicado en el método AHP, a continuación, se procede al cálculo de los pesos de los criterios de valoración y a la obtención de su consistencia. Se realiza una primera evaluación de criterios, de forma individual, de cada uno de los cuatro inspectores de ICOFER (dos Capitanes de Corbeta, CC, y dos Tenientes de Navío, TN), para, tras la consulta a los mismos, consensuar la valoración final. Los resultados, con el cálculo de la media, y consensuados finalmente con los expertos se muestran en la Tabla 7.

a) Cálculo del peso de los criterios:

Tabla 7. Cálculo del peso de los criterios

Criterios comparados		Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Media aritmética	Consenso
Rendimiento	Coste Ciclo Vida	1/5	1/5	1/3	1/7	0,2	1/5
Rendimiento	Riesgos	1/3	1/5	1	1/3	0,4	1/3
Rendimiento	Contaminación	3	3	1	5	3	3
Coste Ciclo Vida	Riesgos	3	7	5	5	5	5
Coste Ciclo Vida	Contaminación	7	7	7	5	6,5	7
Riesgos	Contaminación	3	3	1	5	3	3
PESOS							
	Rendimiento						0,13
	Coste Ciclo Vida						0,61
	Riesgos						0,20
	Contaminación						0,06
	RI						0,0871

De esta etapa, se destacan las siguientes consideraciones. En relación con la metodología:

- En líneas generales, a los expertos les ha resultado muy sencilla la aplicación del AHP por las comparaciones pareadas y la escala de Saaty.
- En comparación con la asignación de puntos por intuición, les ha permitido analizar los pesos de cada criterio desde una óptica más científica, ‘obligando’ a pensar la importancia de cada criterio en comparación con los demás.
- Por ejemplo, el criterio de “rendimiento” que, a priori podía parecer de mucha importancia por las sinergias que se podían obtener, al utilizar esta metodología y comparar dos a dos los criterios, se observa que ocupa el tercer lugar en importancia.

En cuanto a los resultados de las valoraciones:

- Todas las valoraciones (individuales y de consenso) han tenido una consistencia aceptable. En este caso la razón de inconsistencia (RI) es 0,0871, por lo que se puede considerar que la matriz de evaluación de criterios es consistente y que, por lo tanto, los expertos han sido coherentes en los juicios emitidos.
- En la fase de consenso, los expertos ponen de manifiesto la excesiva diferencia en los pesos que han resultado de algunas valoraciones individuales, especialmente entre “contaminación” y “coste de ciclo de vida” (6% frente a 61%). El grado de consenso obtenido ha sido muy elevado.

b) Cálculo del peso de los Subcriterios.

- **Subcriterios del Criterio de Rendimiento:**

De forma similar a lo realizado en la evaluación de criterios, se asignan los pesos de cada subcriterio en el ámbito del “Rendimiento”.

Tabla 8. Cálculo de los pesos de los subcriterios de Rendimiento.

Subcriterios en el ámbito de RENDIMIENTO		Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Media aritmética	Consenso
Eficiencia Energética	Velocidad	5	5	7	3	5,00	5
Eficiencia Energética	Potencia	7	7	6	7	6,75	7
Velocidad	Potencia	3	1	5	3	3	3
Resultados (vector de pesos asignados)							
PESOS	Eficiencia Energética						0,72
	Velocidad						0,19
	Potencia						0,08
	RI						0,0567

De esta fase, se destacan las siguientes consideraciones:

- La curva de aprendizaje del método, en la segunda evaluación realizada por el mismo grupo de expertos, confirma la sencillez de la aplicación del AHP.
- En cuanto a los resultados de las valoraciones, de nuevo, todas las valoraciones (individuales y de consenso) han tenido una consistencia aceptable (RI=0,08).

- **Subcriterios del Criterio de Coste Ciclo Vida:**

Los dos ingenieros que más conocen los aspectos del mantenimiento y ciclo de vida evalúan los subcriterios correspondientes al ámbito del Coste Ciclo Vida. En este caso, dado que solo existen dos subcriterios, no habrá problemas de inconsistencias.

Tabla 9. Cálculo de los pesos de los subcriterios del Coste Ciclo Vida

Subcriterios en el ámbito de COSTE CICLO VIDA		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
Coste mantenimiento	Interoperabilidad	1/5	1/5	0,2	1/5
PESOS	Coste mantenimiento				0,17
	Interoperabilidad				0,83
	RI				0,00

Por consenso, se establece que la interoperabilidad tiene más importancia que el coste de mantenimiento. Se estima que este último subcriterio, aunque es muy importante, no tiene tanta importancia como la interoperabilidad.

- **Subcriterios del Criterio de RIESGOS:**

Evaluado por el ingeniero con más conocimiento en este apartado (“*Safety*”) y por una persona experta en formación de Prevención de Riesgos Laborables. De nuevo, como en el caso anterior, con 2 subcriterios, la consistencia siempre es total.

Tabla 10. Cálculo de los pesos de los subcriterios de Riesgos

Subcriterios en el ámbito de RIESGOS		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
Rotura maquinaria	Seguridad	1/7	1/7	0,14	1/7
PESOS	Rotura maquinaria				0,13
	Seguridad				0,87
	RI				0,00

Por consenso, se establece que la seguridad tiene más importancia que la rotura de maquinaria.

- **Subcriterios del Criterio de CONTAMINACIÓN:**

Evaluado por los cuatro ingenieros con más conocimiento en este apartado:

Tabla 11. Cálculo de los pesos de los subcriterios de Contaminación

Subcriterios en el ámbito de CONTAMINACIÓN		Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Media aritmética	Consenso
Emisiones atmosféricas	Residuos emitidos al agua	1/5	1/9	1/7	1/7	0,14	1/7
Emisiones atmosféricas	Consumo	1/3	1/5	1/3	1/3	0,29	1/3
Residuos emitidos al agua	Consumo	3	7	5	5	5	5
Resultados (vector de pesos asignados)							
PESOS	Emisiones atmosféricas						0,08
	Residuos emitidos al agua						0,72
	Consumo						0,19
	RI						0,0567

En cuanto a los resultados de las valoraciones, de nuevo, todas las valoraciones (individuales y de consenso) han tenido una consistencia media aceptable (RI=0,0567).

5. Evaluación de las alternativas. Análisis y Síntesis de Resultados

En esta fase, se generarán diez matrices de evaluación (una por cada subcriterio). Por la similitud con el proceso anterior, solo se incluyen los comentarios más relevantes. Los cálculos, al igual que los del apartado anterior, se detallan en el [Anexo IV](#).

Se recuerda que existían tres alternativas:

- La propulsión eléctrica (LA 1).
- La propulsión por gas natural LNG (LA 2).
- La propulsión convencional CODOG de Motores principales (MMPP) diésel y turbinas (LA 3).

- Evaluación alternativas - Subcriterio Eficiencia energética:

Tabla 12. Evaluación de alternativas en relación subcriterio Eficiencia energética

Alternativas comparadas EFICIENCIA ENERGÉTICA		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	1/3	1/3	0,33	1/3
LA1	LA3	1/7	1/5	0,18	1/7
LA2	LA3	1/3	1/3	0,33	1/3
PESOS	LA1				0,09
	LA2				0,24
	LA3				0,67
	RI				0,0061

- Evaluación alternativas - Subcriterio Velocidad:

Tabla 13. Evaluación de alternativas en relación subcriterio velocidad

Alternativas comparadas VELOCIDAD		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	5	5	5	5
LA1	LA3	5	5	5	5
LA2	LA3	1	1/2	0,75	1
PESOS	LA1				0,71
	LA2				0,14
	LA3				0,14
	RI				0,0000

- Evaluación alternativas - Subcriterio Potencia:

Tabla 14. Evaluación de alternativas en relación subcriterio potencia

Alternativas comparadas potencia		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	1/5	1/5	1/5	1/5
LA1	LA3	1/3	1/3	1/3	1/3
LA2	LA3	3	5	4	3
PESOS	LA1				0,11
	LA2				0,63
	LA3				0,26
	RI				0,0334

- Evaluación alternativas - Subcriterio Coste mantenimiento:

Tabla 15. Evaluación de alternativas en relación subcriterio coste mantenimiento

Alternativas comparadas mantenimiento		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	1/3	1/3	1/3	1/3
LA1	LA3	1/3	1/5	1/3	1/3
LA2	LA3	1	1	1	1
PESOS	LA1				0,14
	LA2				0,43
	LA3				0,43
	RI				0,0000

- Evaluación alternativas - Subcriterio Interoperabilidad:

Tabla 16. Evaluación de alternativas en relación subcriterio interoperabilidad

Alternativas comparadas interoperabilidad		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	5	5	5	5
LA1	LA3	1/3	1/5	0,4	1/3
LA2	LA3	1/7	1/7	1/7	1/7
PESOS	LA1				0,28
	LA2				0,07
	LA3				0,64
	RI				0,0565

- Evaluación alternativas - Subcriterio Rotura maquinaria:

Tabla 17. Evaluación de alternativas en relación subcriterio rotura maquinaria

Alternativas comparadas rotura maquinaria		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	5	7	6	7
LA1	LA3	5	5	5	5
LA2	LA3	1/3	1/3	1/3	1/3
PESOS	LA1				0,72
	LA2				0,08
	LA3				0,19
	RI				0,0567

- Evaluación alternativas - Subcriterio Seguridad Personal:

Tabla 18. Evaluación de alternativas en relación subcriterio seguridad

Alternativas comparadas seguridad		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	5	7	6	7
LA1	LA3	5	5	5	5
LA2	LA3	1/3	1/3	0,33	1/3
PESOS	LA1				0,72
	LA2				0,08
	LA3				0,19
	RI				0,0567

- Evaluación alternativas - Subcriterio Emisiones atmosféricas:

Tabla 19. Evaluación de alternativas en relación subcriterio Emisiones atmosféricas

Alternativas comparadas Emisiones atmosféricas		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	3	5	5	5
LA1	LA3	3	7	5	5
LA2	LA3	1	1	1	1
PESOS	LA1				0,71
	LA2				0,14
	LA3				0,14
	RI				0,0000

- Evaluación alternativas - Subcriterio Residuos emitidos agua:

Tabla 20. Evaluación de alternativas en relación subcriterio Residuos emitidos agua

Alternativas comparadas Residuos emitidos agua		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	5	5	5	5
LA1	LA3	3	5	4	5
LA2	LA3	1	1	1	1
PESOS	LA1				0,71
	LA2				0,14
	LA3				0,14
	RI				0.000

- Evaluación alternativas – Subcriterio Consumo:

Tabla 21. Evaluación de alternativas en relación subcriterio Consumo

Alternativas comparadas Consumo		Experto 1	Experto 2	Media aritmética	Consenso
LA1	LA2	1	1	1	1
LA1	LA3	5	5	5	5
LA2	LA3	3	7	5	5
PESOS	LA1				0,45
	LA2				0,45
	LA3				0,09
	RI				0,0000

- **JERARQUIZACIÓN ALTERNATIVAS:**

Finalmente, el programa permite conocer qué alternativa es la más valorada de acuerdo a los criterios establecidos, ofreciendo una matriz de decisión donde se observan los resultados obtenidos en la etapa 2 (evaluación de criterios/subcriterios, es decir, los pesos W) y los resultados obtenidos en la etapa 3 (evaluación de las alternativas en cada subcriterio).

Los resultados que el método AHP nos devuelve son las puntuaciones de cada alternativa en función de los criterios y subcriterios aportados. La jerarquía de las alternativas es:

Método AHP - Jerarquización de Alternativas (Etapa 4)

MATRIZ DE DECISIÓN

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE
RENDIMIENTO	0.13	0.21	0.26	0.53
+ EFIC ENERG	0.72	0.09	0.24	0.67
+ VELOCIDAD	0.19	0.71	0.14	0.14
+ POTENCIA	0.08	0.11	0.63	0.26
CICLO VIDA	0.61	0.27	0.12	0.62
+ COSTE MANT.	0.13	0.14	0.43	0.43
+ COMUNALIDAD	0.87	0.28	0.07	0.64
RIESGOS	0.20	0.72	0.08	0.19
+ ROTURA MAGU.	0.13	0.72	0.08	0.19
+ SEGUR.PERS.	0.87	0.72	0.08	0.19
CONTAMINACIÓN	0.06	0.66	0.20	0.13
+ EMIS.ATM.	0.08	0.71	0.14	0.14
+ RESID.AGUJA	0.72	0.71	0.14	0.14
+ CONSUMO	0.19	0.45	0.45	0.09
		0.38	0.13	0.49

1º LA 3 : TG+DE (TURBINA DE GAS Y DIÉSEL ELÉCTRICA)

2º LA 1 : PROPULSIÓN ELÉCTRICA

3º LA 2 : LNG (GAS NATURAL)

6. Conclusiones

En el desarrollo del presente TFM se ha intentado mostrar al usuario, en concreto al mando, la posibilidad de mejora de un sistema de selección para la propulsión de un buque de nueva construcción. Para ello, se han involucrado varios expertos a través de una metodología científica.

Por un lado, se han logrado canalizar las opiniones de expertos con una dilatada experiencia desarrollada en los diferentes puestos que han desempeñado a lo largo de sus carreras. La experiencia de estos ingenieros es clave, aportando a este trabajo su visión, de tal modo que los requisitos planteados han servido para poder satisfacer las necesidades complejas de un proceso de selección.

En cuanto a los resultados, se ha obtenido lo que se pretendía en un primer momento, el transformar requisitos no cuantificados, en algo medible y cuantificable. De esta forma, basándonos en la cuantificación de los requisitos, se ha podido mostrar un listado exhaustivo de criterios, subcriterios y alternativas, así como su jerarquía; a la vez que se ha tenido en cuenta la opinión de todos los participantes, base fundamental de este trabajo, evitando los juicios personales de selección sin ponderación matemática alguna.

No obstante, este TFM no está exento de limitaciones, tal y como se refleja en su alcance, y, por lo tanto, sus resultados deben ser tratados como una primera aproximación a la solución seleccionada.

Cabe destacar algunas lecciones aprendidas que se han detectado a lo largo del desarrollo de este TFM, las cuales se basan principalmente en el trabajo en grupo, la búsqueda de información de mantenimiento y ciclo de vida, o el empleo de un método científico, a través de AHP. En cuanto al trabajo en grupo, citar que ha sido una constante y una máxima en este trabajo, por lo que les corresponde un reconocimiento, sobre todo teniendo en cuenta que los expertos utilizados para el desarrollo de este TFM, obviamente son ajenos a él. Por lo tanto, es de agradecer que hayan completado los cuestionarios y contestado a las entrevistas y correos electrónicos, aportando ideas para la mejora y el establecimiento de los criterios, subcriterios y alternativas. Por otro lado, también se debe destacar la búsqueda y obtención de información que se ha realizado, sobre todo de mantenimiento y ciclo de vida, con la ayuda de los expertos, ya que la obtención de esas fuentes de información ha significado un gran esfuerzo. Por último, también me gustaría remarcar la importancia que ha tenido el uso de la metodología utilizada en este TFM, tanto en su vertiente teórica y de búsqueda de información, como en su parte práctica mediante la utilización del programa informático de decisión.

Finalmente, en cuanto a las alternativas estudiadas, es destacable que según los resultados obtenidos por el método AHP, se pueden obtener una serie de conclusiones específicas. Una de ellas es que los resultados arrojan que existen dos alternativas que destacan claramente por encima de la tercera, estando además ambas por encima del 38%.

Las alternativas “LA 3 (propulsión TG+DE)” y “LA 1 (eléctrica)” han obtenido una ponderación del 49% y 38% respectivamente, por lo que analizándolas se deducen las siguientes conclusiones:

- La propulsión “LA 3 (TG+DE)” presenta como fortalezas los criterios de “Rendimiento y Ciclo de Vida”, destacando en ellos claramente los subcriterios de “Eficiencia Energética e Interoperabilidad”, dos características que convierten en muy atractiva esta alternativa. Sin embargo, “LA 3 (TG+DE)” tiene como debilidades el criterio de “Contaminación”, algo a lo que cada vez se le da más importancia en el mundo sostenible que buscamos, y en el que las restricciones MARPOL (*Marine Pollution*), de lucha contra la contaminación marítima, cada vez van a exigir más a los buques.
- La propulsión “LA 1 (eléctrica)” presenta como fortalezas los criterios de “Riesgos” y de “Contaminación”, pero presenta debilidades en los criterios, tan importantes en los que destaca la propulsión “LA 3 (TG+DE)” que ha sido finalmente seleccionada.

Se puede indicar también que, tras la evaluación inicial de los expertos, finalmente no se seleccionaron los subcriterios de “Volumen” y “Empacho”, lo que se podría considerar ahora, con los resultados finales en mano, una buena decisión, ya que esos subcriterios

hubieran penalizado aún más, la alternativa que ha quedado en peor situación, la de propulsión por gas natural (LNG).

7. Líneas Futuras

Con el desarrollo de este trabajo, se pretende mostrar que la adaptación a ideas nuevas es posible, que el cambio es algo beneficioso, y que también hay que intentar adaptarse a las nuevas tecnologías. Siguiendo una nueva línea de trabajo e investigación, se podrán crear sistemas adaptados para cubrir las necesidades y carencias que actualmente tenemos.

Por ello, a la vista de los resultados obtenidos con este TFM se podría volver a repetir el estudio y método realizado, pero utilizando esta vez alguna nueva característica que se considere importante, y que quede plasmada en el establecimiento de nuevos criterios. Además, esta repetición se podría llevar a cabo ya eliminando la alternativa “LA 3 (LNG)”, ya que ha obtenido una puntuación muy baja. Entre esos posibles nuevos criterios/subcriterios se podrían añadir o buscar algunos que estén relacionados con la potencia que serviría para obtener esas puntas de alta velocidad, tan cruciales en los buques de guerra.

8. Bibliografía

- [1] Instrucción 67/2011 de 15 de septiembre del SEDEF, por la que se regula el proceso de Obtención de Recursos Materiales.
- [2] Armada Española (2003). “Documento Requisitos de Estado Mayor (REM) para la futura fragata F-105”.
- [3] Armada Española (2014). “Documento Requisitos de Estado Mayor (REM) para el futuro buque de escolta F-110”.
- [4] Casanova Rivas, E. (2009). *El Buque de Guerra*, 2ª ed., Fondo Editorial de Ingeniería Naval, Madrid, España, ISBN 978-84-933198-8-5.
- [5] NAVANTIA S.A. (2019). Especificación de Contrato F-110 (Fase de Definición), Doc. Nº 832-8-01.
- [6] Seijo Jordán, I. (2013). “Plantas Propulsoras Combinadas para Buques de Guerra”, *Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada* Nº 4 (ETSIAN), ISSN: 2659-6458.
- [7] González Tánago, A. (2018). “La fragata F-110, una apuesta de presente y futuro”, *Revista General de Marina*, abril 2018, págs. 498-506.
- [8] GE Marine Solutions (2018). “GE Marine Gas Turbines for Frigates”, One Neumann Way, Cincinnati, Ohio (USA).
- [9] Ohmayer, H.F. (2012). “Propulsion System Choices for Modern Naval Vessels”, Application Center Governmental Naval, Washington (USA).

- [10] Ruiz López, C.L. y Balmori Abella, J.M. (2014). "Empleo del Análisis Multicriterio (AHP) en el Proceso de Planeamiento Logístico", *I Congreso Internacional de Estudios Militares*, 17-19 Septiembre de 2014, Granada.
- [11] Ruiz López, C.L. (2013). "Metodología AHP. Explicación y caso práctico", *Academia de Logística, Curso Superior de Logística de Material e Infraestructura*, págs. 1-10.
- [12] Saaty, T.L. y Vargas, L.G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Ed. Springer, 2ª Edición, Pittsburgh, USA. ISBN 978-1-4614-3597-6.
- [13] Ruiz López, C. (2016). "Metodología AHP. Explicación y caso práctico", *Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza*.
- [14] Ruiz López, C. (2021). "Capítulo 7. Herramientas de Apoyo a la Dirección", *Máster Universitario en Dirección y Gestión de Adquisiciones de Sistemas para la Defensa, Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza*.
- [15] SuperDecisions (2014). "How-to Guide for Building Hierarchical (AHP) Decision Models with SuperDecisions v2.X". Disponible en: <http://www.superdecisions.com/>. Acceso: 10/04/2021.
- [16] SuperDecisions (2014). "Tutorial on Building AHP Rating Models". Disponible en: <http://www.superdecisions.com/>. Acceso: 10/04/2021.
- [17] Aznar Bellver, J. y Guijarro Martínez, F. (2012). *Nuevos métodos de valoración*, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, ISBN 978-84-8363-982-5.

DOCUMENTO II. ANEXOS

ANEXO I. CUESTIONARIO PRE-TEST Y RESULTADOS PARA LA OBTENCIÓN DE REQUISITOS

Universidad de Zaragoza



Estimado Sr. D. _____ :

Se presenta el..... Me pongo en contacto con usted porque estoy realizando el Trabajo Fin de Máster con el fin de obtener el “Curso en Gestión de Programas”.

Permítame explicarle brevemente en qué consiste este trabajo, en el que desearía contar con su inestimable colaboración como ingeniero de ICOFER con el fin de lograr unos resultados fiables y robustos. El Trabajo Fin de Máster se titula “Elección de un Sistema de Propulsión en un Buque de nueva construcción utilizando el Método AHP”.

El objetivo principal del trabajo es asesorar al mando en la posible adquisición de un sistema de propulsión de buques, definiendo los requerimientos necesarios para ello.

Para ello se empleará un método de análisis multicriterio, ampliamente utilizado en las Fuerzas Armadas Españolas –FAS– y en el ámbito científico, considerándose las necesidades y requisitos de los usuarios para cumplir las misiones encomendadas. Para llevar a cabo dicho método es necesario contar con expertos en el sistema y, por ello, la razón de contactar con usted. Asimismo, se requiere del empleo de cuestionarios con el fin de llevar a cabo dicho método.

Entre los resultados que se pretenden alcanzar, cabe destacar que se mostrará cuáles son los requisitos más relevantes a considerar, se propondrá un criterio de agrupación de estos, y se propondrá una solución en función de las respuestas de los expertos. De esta manera, los resultados alcanzados podrían ser de utilidad para la Armada mediante el empleo de una metodología científica. Para cualquier duda, no dude en contactar con:

C.C. Raúl Villa Caro
Teléfono: 655234433
e-mail: rvilcar@fn.mde.es

INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVIA AL CUESTIONARIO

1. A continuación se muestra una clasificación “tentativa” o “a priori” de los requisitos en criterios.

En primer lugar, ¿considera los criterios establecidos adecuados?

¿Piensa que se debería considerar otro modo de agrupación? Por favor, indique cuál.

ANEXO II. CUESTIONARIO PARA LA OBTENCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE REQUISITOS

Estimado Sr. D. _____:



1. En la siguiente tabla se muestra una clasificación “tentativa” o “a priori” de los principales criterios y requisitos de mejora (subcriterios) pertenecientes a dichos criterios.

En primer lugar, ¿considera los criterios establecidos adecuados?

¿Piensa que se debería considerar otro modo de agrupación? Por favor, indique cuál. Para ello se ha dejado una columna de sugerencias en la tabla de la siguiente página.

2. Por último, le solicitamos que indique:

¿Qué requisitos convendría tener en cuenta además de los propuestos? Por favor, defina dichos requisitos con detalle, y ordénelos jerárquicamente por importancia. ¿En qué criterios principales agruparía o clasificaría dichos requisitos propuestos por usted? Para contestar estas cuestiones, la tabla siguiente le será de utilidad.

ANEXO III. CUESTIONARIO PARA LA VALORACIÓN DE REQUISITOS

Comparación de los Criterios



VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIO
1	Igual Importancia	El factor A y el B tienen la misma importancia
3	Importancia Moderada	A es un poco más importante que B
5	Importancia Grande	A tiene más importancia que B
7	Importancia Muy Grande	A tiene mucha más importancia que B
9	Importancia Extrema	La importancia de A es abrumadoramente mayor que la de B

Tabla 1. Escala de Saaty

A continuación, encontrará unas tablas denominadas: “Comparación de los Criterios” y “Comparación de los Subcriterios”. Estas deben rellenarse marcando con una “X” el criterio/subcriterio que se considera más importante y colocando en la columna “VALOR” uno de los valores de la escala de Saaty.

Ejemplo:

COMPARACIÓN	Rendimiento	Coste Ciclo Vida	VALOR
Rendimiento – Coste Ciclo Vida		X	1

Como se observa en la tabla del ejemplo, los **criterios** “Rendimiento” y “Coste Ciclo Vida” **tienen la misma importancia** (de ahí la asignación de un 1 –Igual Importancia– según la escala de Saaty en la columna “VALOR”).

Para cualquier duda, no dude en contactar con:

C.C. Raúl Villa Caro;

Teléfono: [655234433](tel:655234433)

e-mail: rvilcar@fn.mde.es

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN, TIEMPO Y DEDICACIÓN

ANEXO IV. SOFTWARE “AYUDA A LA DECISIÓN”: MODELO, INTRODUCCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

En el presente anexo se muestran los resultados obtenidos mediante el programa informático “Ayuda a la Decisión”, de la Academia de Logística.

Método AHP - Evaluación de Criterios (Etapa 2)

Evaluación de CRITERIOS


CRITERIOS	RENDIMIENTO	CICLO DE VIDA	RIESGOS	CONTAMINACIÓN
RENDIMIENTO	1	1/5	1/3	3
CICLO DE VIDA	5	1	5	7
RIESGOS	3	1/5	1	3
CONTAMINACIÓN	1/3	1/7	1/3	1

PESOS(W)
0,13
0,61
0,20
0,06

Escala de SAATY

Valor	Definición
1	a - Igual Importancia
3	b - Importancia Moderada v 1/3
5	c - Importancia Grande v 1/5
7	d - Importancia Muy Grande v 1/7
9	e - Importancia Extrema v 1/9

R.I. : 0.0871

Calcular 

< Volver Datos AHP

Método AHP - Evaluación de SubCriterios (Etapa 2.bis)

RENDIMIENTO	Eficiencia	Velocidad	Potencia	PESOS(W)
Eficiencia Energética	1	5	7	0,72
Velocidad	1/5	1	3	0,19
Potencia	1/7	1/3	1	0,08

R.I. : 0.0567

CICLO DE VIDA	Coste Mantenimiento	Comunidades	PESOS(W)
Coste Mantenimiento	1	1/7	0,13
Comunidades	7	1	0,87


R.I. : 0.0000

RIESGOS	Rotura Maquinaria	Seguridad personal	PESOS(W)
Rotura Maquinaria	1	1/7	0,13
Seguridad personal	7	1	0,87

R.I. : 0.0000

CONTAMINACIÓN	Emissiones	Residuos líquidos	Consumo	PESOS(W)
Emissiones atmosféricas	1	1/7	1/3	0,08
Residuos líquidos agua	7	1	5	0,72
Consumo	3	1/5	1	0,19

R.I. : 0.0567

Calcular 

< Volver

Documento II. Anexos

Método AHP - Evaluación de Alternativas (Etapas 3)

R.I. : 0.0061

EPIC ENERG	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	1/3	1/7	0.09
LA2 LNG	3	1	1/3	0.24
LA3 TG+DE	7	3	1	0.67

R.I. : 0.0000

VELOCIDAD	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	5	5	0.71
LA2 LNG	1/5	1	1	0.14
LA3 TG+DE	1/5	1	1	0.14

R.I. : 0.0334

POTENCIA	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	1/5	1/3	0.11
LA2 LNG	5	1	3	0.63
LA3 TG+DE	3	1/3	1	0.26

R.I. : 0.0000

COSTE MANT.	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	1/3	1/3	0.14
LA2 LNG	3	1	1	0.43
LA3 TG+DE	3	1	1	0.43

Calcular

< Volver

Método AHP - Evaluación de Alternativas (Etapas 3)

R.I. : 0.0565

COMUNIDAD	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	5	1/3	0.28
LA2 LNG	1/5	1	1/7	0.07
LA3 TG+DE	3	7	1	0.64

R.I. : 0.0567

ROTURA MAQU	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	7	5	0.72
LA2 LNG	1/7	1	1/3	0.08
LA3 TG+DE	1/5	3	1	0.19

R.I. : 0.0567

SEGUR PERS.	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	7	5	0.72
LA2 LNG	1/7	1	1/3	0.08
LA3 TG+DE	1/5	3	1	0.19

R.I. : 0.0000

EMIS ATM	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	5	5	0.71
LA2 LNG	1/5	1	1	0.14
LA3 TG+DE	1/5	1	1	0.14

Calcular

< Volver

R.I. : 0.0334

POTENCIA	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	1/5	1/3	0.11
LA2 LNG	5	1	3	0.63
LA3 TG+DE	3	1/3	1	0.26

R.I. : 0.0000

COSTE MANT.	LA1 ELÉCTRICA	LA2 LNG	LA3 TG+DE	PESOS(W)
LA1 ELÉCTRICA	1	1/3	1/3	0.14
LA2 LNG	3	1	1	0.43
LA3 TG+DE	3	1	1	0.43

Calcular

< Volver

Método AHP - Jerarquización de Alternativas (Etapa 4)

MATRIZ DE DECISIÓN

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	LA1:ELÉCTRICA	LA2:LNG	LA3:TG+DE
RENDIMIENTO	0.13	0.21	0.26	0.53
+ EFIC.ENERG.	0.72	0.09	0.24	0.67
+ VELOCIDAD	0.19	0.71	0.14	0.14
+ POTENCIA	0.08	0.11	0.63	0.26
CICLO VIDA	0.61	0.27	0.12	0.62
+ COSTE MANT.	0.13	0.14	0.43	0.43
+ COMUNALIDAD	0.87	0.28	0.07	0.64
RIESGOS	0.20	0.72	0.08	0.19
+ ROTURA MAQU.	0.13	0.72	0.08	0.19
+ SEGUR.PERS.	0.87	0.72	0.08	0.19
CONTAMINACIÓN	0.06	0.66	0.20	0.13
+ EMIS.ATM.	0.08	0.71	0.14	0.14
+ RESID.AGUA	0.72	0.71	0.14	0.14
+ CONSUMO	0.19	0.45	0.45	0.09
		0.38	0.13	0.49

ANEXO V. DEFINICIONES DE CRITERIOS y SUBCRITERIOS

El objeto del presente anexo es definir, sucintamente, el significado de los criterios y subcriterios establecidos mediante el desarrollo del método AHP.

Criterios:

- Rendimiento (1): satisfacción que el sistema de propulsión proporciona a los usuarios en aspectos propulsivos del buque, tales como la “eficiencia energética”, la “velocidad”, o la “potencia”.
- Coste de Ciclo de Vida (2): engloba la gestión logística y la flexibilidad de las propuestas a cambios en las necesidades de la propulsión del buque. Se incluyen bajo este criterio el coste en mantenimiento y la búsqueda de la interoperabilidad (“comunalidad”) o compatibilidad de los productos.
- Riesgos (3): abarcan un amplio espectro, tanto hacia las personas, como hacia el buque y sus sistemas, y hacia el medioambiente. Se tendrá en cuenta la filosofía “safety” a la hora de la ponderación de este criterio.
- Contaminación (4): se atenderá la contaminación de gases, teniendo en cuenta las restricciones normativas, pero también a otros tipos de contaminaciones, como puedan ser las acústicas, por ejemplo.

Subcriterios:

Subcriterios del Criterio “Rendimiento” (1)

- Eficiencia Energética (A): capacidad de utilizar menos energía para producir la misma cantidad de servicios.
- Velocidad (B): se tendrá en cuenta el rango de velocidades esperadas en un buque tipo fragata.
- Potencia (C): se tendrá en cuenta la potencia necesaria para adquirir las puntas de velocidades máximas, y velocidades de crucero, exigidas en fragatas.

Subcriterios del Criterio “Coste de Ciclo de Vida” (2)

- Coste mantenimiento (D): abarcarán costes para reparar, teniendo en cuenta mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos.

- Interoperabilidad (E): capacidad de los sistemas propulsivos o componentes para poder intercambiar piezas o recambios.

Subcriterios del Criterio “Riesgos” (3)

- Rotura maquinaria (F): posibilidad de que se produzcan averías, explosiones, roturas que impliquen parada del sistema de propulsión.
- Seguridad (G): en referencia al sistema de propulsión, tanto del personal como del sistema propulsivo en sí (material) y del medioambiente (filosofía “safety”).

Subcriterios del Criterio “Contaminación” (4)

- Emisiones atmosféricas (H): se tendrán en cuenta atendiendo a las exigencias normativas actuales del marco MARPOL, sobre contaminación marítima.
- Residuos emitidos al agua (I): ídem al anterior, pero sobre el agua marina.
- Consumo (J): gasto provocado por el sistema seleccionado de propulsión.

**ANEXO VI. CORREOS ELECTRÓNICOS ENTREVISTAS EXPERTOS PARA VALORACIÓN
CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS**

El objeto del presente anexo es mostrar la mayor transparencia posible durante el proceso de obtención de datos para llevar a cabo del método AHP.

De: TN FELIPE ANEIROS

Enviado: miércoles, 5 de mayo de 2021 08:45 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos días Comandante adjunto la respuesta con esta tabla que me envió. Si hay algún problema avíseme:

Criterios comparados (Felipe Aneiros)		Experto 4
Rendimiento	Coste Ciclo Vida	1/7
Rendimiento	Riesgos	1/3
Rendimiento	Contaminación	5
Coste Ciclo Vida	Riesgos	5
Coste Ciclo Vida	Contaminación	5
Riesgos	Contaminación	5

Un saludo

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 5 de abril de 2021 13:24

CC: [TN Felipe Aneiros](#)

Buenas tardes Oficial:

Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.

Le explico:

> Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.
> Le explico:
> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS:

- Criterio 1º : RENDIMIENTO: Teniendo en cuenta factores como la Eficiencia Energética (A), Velocidad (B), Potencia (C). En los buques se pierde una gran cantidad de energía, superior a la empleada para la generación de trabajo útil, en forma de calores residuales. Este calor se pierde principalmente por los gases de escape y por el agua de refrigeración. Por ello los sistemas de recuperación residual tienen como objetivo el recuperar parte de este calor perdido, utilizándolo para los servicios internos del buque.

- Criterio 2º: COSTE DEL CICLO DE VIDA: que engloba la gestión logística y la flexibilidad de las propuestas a cambios en las necesidades de la propulsión del buque. Cometidos relacionados con la conservación del sistema propulsivo del buque y su material en condiciones de servicio; repararlo cuando se deteriore; atender a los buques apoyados y recoger el material inservible. Mediante la colaboración con los suministradores en materia de coste de mantenimiento e investigación se busca aprovechar las sinergias, aspecto de importancia vital para el éxito del programa. Se incluyen bajo este criterio el coste en mantenimiento y la colaboración en comunalidad de los productos.

- > • Criterio 3º: RIESGOS: Teniendo en cuenta factores como Rotura maquinaria (F), y Seguridad personal (G). Se debe atender a todos los riesgos relacionados con la filosofía safety

- > • Criterio 4º: CONTAMINACIÓN: Teniendo en cuenta factores como Emisiones atmosféricas (H), Residuos emitidos agua (I), y Consumo (J).

>

> Los valores a aplicar serán los siguientes:

>

> 1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada : A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9: Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

> Solicito que me compare dos a dos los cuatro criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

ciclo de vida (MCCV) según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior, columna izquierda.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: TN LUIS GARCÍA PENA

Enviado: lunes, 3 de mayo de 2021 18:44 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos tardes Raúl:

Espero que vaya bien tu trabajo. He rellenado los datos que me has pedido en la tabla que me mandaste. Creo que está todo correcto. Si necesitas algo más avisa:

Criterios comparados (Luis García)		Experto 2
Rendimiento	Coste Ciclo Vida	1/5
Rendimiento	Riesgos	1/5
Rendimiento	Contaminación	3
Coste Ciclo Vida	Riesgos	7
Coste Ciclo Vida	Contaminación	7
Riesgos	Contaminación	3

Luis

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 5 de abril de 2021 13:33

CC: [TN Luis García Pena](#)

Buenas tardes Oficial:

Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.

Le explico:

> Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.
> Le explico:
> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS:

- Criterio 1º : RENDIMIENTO: Teniendo en cuenta factores como la Eficiencia Energética (A), Velocidad (B), Potencia (C). En los buques se pierde una gran cantidad de energía, superior a la empleada para la generación de trabajo útil, en forma de calores residuales. Este calor se pierde principalmente por los gases de escape y por el agua de refrigeración. Por ello los sistemas de recuperación residual tienen como objetivo el recuperar parte de este calor perdido, utilizándolo para los servicios internos del buque.

- Criterio 2º: COSTE DEL CICLO DE VIDA: que engloba la gestión logística y la flexibilidad de las propuestas a cambios en las necesidades de la propulsión del buque. Cometidos relacionados con la conservación del sistema propulsivo del buque y su material en condiciones de servicio; repararlo cuando se deteriore; atender a los buques apoyados y recoger el material inservible. Mediante la colaboración con los suministradores en materia de coste de mantenimiento e investigación se busca aprovechar las sinergias, aspecto de importancia vital para el éxito del programa. Se incluyen bajo este criterio el coste en mantenimiento y la colaboración en comunalidad de los productos.

- > • Criterio 3º: RIESGOS: Teniendo en cuenta factores como Rotura maquinaria (F), y Seguridad personal (G). Se debe atender a todos los riesgos relacionados con la filosofía safety

- > • Criterio 4º: CONTAMINACIÓN: Teniendo en cuenta factores como Emisiones atmosféricas (H), Residuos emitidos agua (I), y Consumo (J).

>

> Los valores a aplicar serán los siguientes:

>

> 1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada : A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9: Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

> Solicito que me compare dos a dos los cuatro criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

ciclo de vida (MCCV) según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior, columna izquierda.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: Julio Manuel Pernas Urrutia
Enviado: jueves, 5 de mayo de 2021 21:09
Para: Raul Villa Caro
Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos

Buenas noches Comandante

1. El criterio CCV "es más importante" que el REND y le damos un 5.
2. El. criterio RIESGOS "es ligeramente más importante" que REND y le damos un 3.
3. El criterio REND "es ligeramente más importante" que CONTAMIN. y le damos un 3.

4. El criterio CCV es "ligeramente más importante" que RIESGOS y le damos un 3.

5. El criterio CCV "es mucho más importante" que el CONTAMIN. y le damos un 7.

6. El criterio RIESGOS "es ligeramente más importante" que el CONTAMINA y le damos un 3.

Un saludo.

CC Julio M. Pernas Urrutia

> El 5 abr 2021, a las 19:35, Raul Villa Caro <rvilcar@fn.mde.es> escribió:
>
>
> Buenas tardes:
>
> Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.
> Le explico:
> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes. > En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).
>
> EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS:
> Definición de los criterios:
>
> • Criterio 1º : RENDIMIENTO: Teniendo en cuenta factores como la Eficiencia Energética (A), Velocidad (B), Potencia (C). En los buques se pierde una gran cantidad de energía, superior a la empleada para la generación de trabajo útil, en forma de calores residuales. Este calor se pierde principalmente por los gases de escape y por el agua de refrigeración. Por ello los sistemas de recuperación residual tienen como objetivo el recuperar parte de este calor perdido, utilizándolo para los servicios internos del buque (producción de agua caliente,

- > • Criterio 3º: RIESGOS: Teniendo en cuenta factores como Rotura maquinaria (F), y Seguridad personal (G). Se debe atender a todos los riesgos relacionados con la filosofía safety
- >
- > • Criterio 4º: CONTAMINACIÓN: Teniendo en cuenta factores como Emisiones atmosféricas (H), Residuos emitidos agua (I), y Consumo (J).
- >
- > Los valores a aplicar serán los siguientes:
- >
- > 1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia
- > 3: Importancia moderada : A es ligeramente más importante que B
- > 5: Importancia grande: A es más importante que B
- > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B
- > 9: Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B
- >
- > Solicito que me compare dos a dos los cuatro criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.
- > El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.
- >
- > Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

- > Si considera que no soy experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.
- >
- > Gracias de antemano.
- >
- > Un saludo
- > CC. Raúl Villa Caro
- >

De: CF JOSÉ ÁNGEL SEQUIRO

Enviado: jueves, 6 de mayo de 2021 11:55 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos días Le adjunto la respuesta en esta tabla, valorando los 4 criterios:

Criterios comparados (Jose Sequeiro)		Experto 3
Rendimiento	Coste Ciclo Vida	1/3
Rendimiento	Riesgos	1
Rendimiento	Contaminación	1
Coste Ciclo Vida	Riesgos	5
Coste Ciclo Vida	Contaminación	7
Riesgos	Contaminación	1

Un saludo
Jose

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 5 de abril de 2021 19:44

CC: [CC José Ángel Sequeiro](#)

Buenas tardes Oficial:

Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.

Le explico:

> Para la realización de un estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.
> Le explico:
> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS:

- Criterio 1º : RENDIMIENTO: Teniendo en cuenta factores como la Eficiencia Energética (A), Velocidad (B), Potencia (C). En los buques se pierde una gran cantidad de energía, superior a la empleada para la generación de trabajo útil, en forma de calores residuales. Este calor se pierde principalmente por los gases de escape y por el agua de refrigeración. Por ello los sistemas de recuperación residual tienen como objetivo el recuperar parte de este calor perdido, utilizándolo para los servicios internos del buque.

- Criterio 2º: COSTE DEL CICLO DE VIDA: que engloba la gestión logística y la flexibilidad de las propuestas a cambios en las necesidades de la propulsión del buque. Cometidos relacionados con la conservación del sistema propulsivo del buque y su material en condiciones de servicio; repararlo cuando se deteriore; atender a los buques apoyados y recoger el material inservible. Mediante la colaboración con los suministradores en materia de coste de mantenimiento e investigación se busca aprovechar las sinergias, aspecto de importancia vital para el éxito del programa. Se incluyen bajo este criterio el coste en mantenimiento y la colaboración en comunalidad de los productos.

- > • Criterio 3º: RIESGOS: Teniendo en cuenta factores como Rotura maquinaria (F), y Seguridad personal (G). Se debe atender a todos los riesgos relacionados con la filosofía safety

- > • Criterio 4º: CONTAMINACIÓN: Teniendo en cuenta factores como Emisiones atmosféricas (H), Residuos emitidos agua (I), y Consumo (J).

>

> Los valores a aplicar serán los siguientes:

>

> 1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada : A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9: Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

> Solicito que me compare dos a dos los cuatro criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

ciclo de vida (MCCV) según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior, columna izquierda.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: TN FELIPE ANEIROS

Enviado: miércoles, 12 de mayo de 2021 09:47 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos días de nuevo Comandante. Le adjunto las tablas solicitadas. Si hay algún problema avíseme:

Sub-criterios en el ámbito de CONTAMINACIÓN		Experto 1
Emisiones atmosféricas	Residuos emitidos agua	1/5
Emisiones atmosféricas	Consumo	1/3
Residuos emitidos agua	Consumo	3

Sub-criterios en el ámbito de RENDIMIENTO		Experto 1
Eficiencia Energética	Velocidad	5
Eficiencia Energética	Potencia	7
Velocidad	Potencia	3

Un saludo

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 12 de abril de 2021 18:14

CC: [TN Felipe Aneiros](#)

Buenas tardes Oficial:

Para la continuación del estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara respecto a subcriterios lo siguiente.

Le explico:

> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS SUB CRITERIOS:

Necesitaba, que tal como hizo la otra vez, me valore los subcriterios incluidos en la tabla que le adjunto, correspondientes a criterios de RENDIMIENTO y CONTAMINACIÓN.

Los valores a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada :

A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante

que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9:

Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

Solicito que me compare dos a dos los dos sub-criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: CC JULIO PERNAS URRUTIA

Enviado: viernes, 14 de mayo de 2021 16:59 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenas tardes Raúl:

Te envío los sub-criterios que me pediste. Esta vez he utilizado tus tablas, tal como sugeriste

Sub-criterios en el ámbito de CONTAMINACIÓN		Experto 3
Emisiones atmosféricas	Residuos emitidos agua	1/7
Emisiones atmosféricas	Consumo	1/3
Residuos emitidos agua	Consumo	5

Sub-criterios en el ámbito de RENDIMIENTO		Experto 3
Eficiencia Energética	Velocidad	7
Eficiencia Energética	Potencia	6
Velocidad	Potencia	5

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 12 de abril de 2021 18:26

CC: [CC Julio Pernas Urrutia](#)

Buenas tardes Julio:

Para la continuación del estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara respecto a subcriterios lo siguiente.

Te explico:

> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS SUB CRITERIOS:

Necesitaba, que tal como hizo la otra vez, me valore los subcriterios incluidos en la tabla que le adjunto, correspondientes a criterios de RENDIMIENTO y CONTAMINACIÓN.

Los valores a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada :

A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante

que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9:

Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

Solicito que me compare dos a dos los dos sub-criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: TN LUIS GARCÍA PENA

Enviado: jueves, 13 de mayo de 2021 19:49 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos tarde Comandante:

Te envío lo solicitado

Sub-criterios en el ámbito de CONTAMINACIÓN		Experto 3
Emisiones atmosféricas	Residuos emitidos agua	1/7
Emisiones atmosféricas	Consumo	1/3
Residuos emitidos agua	Consumo	5

Sub-criterios en el ámbito de RENDIMIENTO		Experto 3
Eficiencia Energética	Velocidad	7
Eficiencia Energética	Potencia	6
Velocidad	Potencia	5

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 12 de abril de 2021 18:20

CC: [TN Luis García Pena](#)

Buenas tardes Luis:

Para la continuación del estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara respecto a subcriterios lo siguiente.

Te explico:

> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS SUB CRITERIOS:

Necesitaba, que tal como hizo la otra vez, me valore los subcriterios incluidos en la tabla que le adjunto, correspondientes a criterios de RENDIMIENTO y CONTAMINACIÓN.

Los valores a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada :

A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante

que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9:

Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

Solicito que me compare dos a dos los dos sub-criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: CF JOSE SEQUEIRO

Enviado: jueves, 13 de mayo de 2021 09:49 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos días Raúl:

Te envío las tablas. Trabajo fácil. Para lo que quieras.....

Sub-criterios en el ámbito de CONTAMINACIÓN		Experto 2
Emisiones atmosféricas	Residuos emitidos agua	1/9
Emisiones atmosféricas	Consumo	1/5
Residuos emitidos agua	Consumo	7

Sub-criterios en el ámbito de RENDIMIENTO		Experto 2
Eficiencia Energética	Velocidad	5
Eficiencia Energética	Potencia	7
Velocidad	Potencia	1

Jose

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 12 de abril de 2021 18:16

CC: [CC Jose Sequeiro](#)

Buenas tardes Comandante:

Para la continuación del estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicara respecto a subcriterios lo siguiente.

Le explico:

> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LOS SUB CRITERIOS:

Necesitaba, que tal como hizo la otra vez, me valore los subcriterios incluidos en la tabla que le adjunto, correspondientes a criterios de RENDIMIENTO y CONTAMINACIÓN.

Los valores a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada :

A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante

que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9:

Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

Solicito que me compare dos a dos los dos sub-criterios arriba indicados, según la escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: AN Borja Muiños Garel

Enviado: jueves, 13 de mayo de 2021 11:55 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenos días Le adjunto la respuesta en tres tablas, una para cada criterio:

Sub-criterios en el ámbito de RIESGOS		Experto 1
Rotura maquinaria	Seguridad	1/7

Por cierto Comandante, le he preguntado a mi compañero AN Pablo González Cela, y opina lo mismo como Experto 2 de esta comparativa de Riesgos.

Me dice también Pablo que sobre el subcriterio de COSTE DE CICLO DE VIDA, en escala Saaty:

COMUNALIDAD (A) es respecto a COSTE MANTENIMIENTO (B): 5

5: Importancia grande: A es más importante que B

Me dice Pablo que preguntado a otro experto (AN Jesús Godin), opina exactamente igual.

Un saludo

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 12 de abril de 2021 19:44

CC: [AN Borja Muiños Garel](#)

Buenas tardes Oficial:

Para la realización de un estudio necesitaba que como experto en seguridad para sistemas propulsivos me indicara lo siguiente.

Le explico:

En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

En mayo 2021 se llevará a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de unas nuevas fragatas. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión LNG (LA2) o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

Antes de esa decisión, se debe realizar una EVALUACIÓN DE LOS SUB-CRITERIOS:

Por ello dentro del criterio de RIESGOS te agradecería si pudieras realizar un análisis de los sub-criterios de ROTURA DE MAQUINARIA y SEGURIDAD. Seguridad de personas, materiales y medio ambiente (safety).

Te agradecería que usaras las tablas que te adjunto. Los valores a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia 3: Importancia moderada : A es ligeramente más importante que B 5: Importancia grande: A es más importante que B 7: Importancia muy grande:A es mucho más importante que B 9: Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

Si considera que no es experto para estas ponderaciones agradecería que me indicara otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: CC JULIO PERNAS URRUTIA

Enviado: viernes, 21 de mayo de 2021 18:57 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenas tardes Raúl:

Te envío ponderación alternativas:

Alternativas comparadas EFICIENCIA ENERGÉTICA		Experto 1
LA1	LA2	1/3
LA1	LA3	1/7
LA2	LA3	1/3

Alternativas comparadas mantenimiento		Experto 1
LA1	LA2	1/3
LA1	LA3	1/3
LA2	LA3	1

Alternativas comparadas Emisiones atmosféricas		Experto 1
LA1	LA2	3
LA1	LA3	3

Alternativas comparadas VELOCIDAD		Experto 1
LA1	LA2	5
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1

Alternativas comparadas comunalidad		Experto 1
LA1	LA2	5
LA1	LA3	1/3
LA2	LA3	1/7

Alternativas comparadas Residuos emitidos agua		Experto 1
LA1	LA2	5
LA1	LA3	3
LA2	LA3	1

Alternativas comparadas potencia		Experto 1
LA1	LA2	1/5
LA1	LA3	1/3
LA2	LA3	3

Alternativas comparadas rotura maquinaria		Experto 1
LA1	LA2	5
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1/3

Alternativas comparadas seguridad		Experto 1
LA1	LA2	5
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1/3

Alternativas comparadas Consumo		Experto 1
LA1	LA2	1
LA1	LA3	5
LA2	LA3	3

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 19 de abril de 2021 16:25

CC: [CC Julio Pernas Urrutia](#)

Buenas tardes Julio:

Para seguir con el estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicaras respecto a las alternativas lo siguiente.

Te explico:

> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS:

Necesitaba, que tal como hizo la otra vez, me valores las tres alternativas, según los subcriterios que te indico en las tablas adjuntas.

Los valores, como las otras veces, a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada :

A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante

que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9:

Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

Solicito que me compare dos a dos los dos sub-criterios arriba indicados, según la

escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

Si consideras que no eres experto para estas ponderaciones agradecería que me indicaras otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro

De: CF JOSE A. SEQUEIRO TEIJEIRO

Enviado: jueves, 20 de mayo de 2021 10:51 **Para:** Raul Villa Caro

Asunto: Re: estudio multicriterio sistemas propulsivos líneas acción

Buenas días Raúl:

Envio las tablas solicitadas. Espero que te sirvan

Alternativas comparadas EFICIENCIA ENERGÉTICA		Experto 2
LA1	LA2	1/3
LA1	LA3	1/5
LA2	LA3	1/3

Alternativas comparadas VELOCIDAD		Experto 2
LA1	LA2	5
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1/2

Alternativas comparadas potencia		Experto 2
LA1	LA2	1/5
LA1	LA3	1/3
LA2	LA3	5

Alternativas comparadas mantenimiento		Experto 2
LA1	LA2	1/3
LA1	LA3	1/5
LA2	LA3	1

Alternativas comparadas comunalidad		Experto 2
LA1	LA2	5
LA1	LA3	1/5
LA2	LA3	1/7

Alternativas comparadas rotura maquinaria		Experto 2
LA1	LA2	7
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1/3

Alternativas comparadas seguridad		Experto 2
LA1	LA2	7
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1/3

Alternativas comparadas Emisiones atmosféricas		Experto 2
LA1	LA2	5
LA1	LA3	7
LA2	LA3	1

Alternativas comparadas Residuos emitidos agua		Experto 2
LA1	LA2	5
LA1	LA3	5
LA2	LA3	1

Alternativas comparadas Consumo		Experto 2
LA1	LA2	1
LA1	LA3	5
LA2	LA3	7

Jose Sequeiro

De: [Raul Villa Caro](#)

Enviado el: lunes, 19 de abril de 2021 16:36

CC: [CF Jose A. Sequeiro Tejeiro](#)

A tus órdenes Jose buenas tardes:

Para seguir con el estudio necesitaba que como experto de sistemas propulsivos me indicaras respecto a las alternativas lo siguiente.

Te explico:

> En nuestro caso el objetivo consiste en decidir cuál es la mejor alternativa de tres existentes.

> En mayo 2021 se va a llevar a cabo un proceso para seleccionar cual debería ser el sistema propulsivo de un buque de guerra de nueva construcción, tipo fragata. Las tres opciones posibles serían la propulsión eléctrica (LA1), la propulsión por gas natural LNG (LA 2), o la propulsión convencional de MMPP diésel y turbinas-CODOG (LA3).

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS:

Necesitaba, que tal como hizo la otra vez, me valores las tres alternativas, según los subcriterios que te indico en las tablas adjuntas.

Los valores, como las otras veces, a aplicar serán los siguientes:

1: Igual importancia: A y B tienen la misma importancia > 3: Importancia moderada :

A es ligeramente más importante que B > 5: Importancia grande: A es más importante

que B > 7: Importancia muy grande: A es mucho más importante que B > 9:

Importancia extrema: A es extremadamente más importante que B

>

Solicito que me compare dos a dos los dos sub-criterios arriba indicados, según la

escala de Saaty, aplicando los valores de la lista superior.

> El objeto es plantear y resolver un problema de decisión multicriterio para encontrar la mejor de tres alternativas a juzgar según los cuatro criterios.

Puede apoyarse en la tabla adjunta para rellenar los valores.

Si consideras que no eres experto para estas ponderaciones agradecería que me indicaras otra persona, si la conociera.

Gracias de antemano. Agradecería contestación esta semana.

Un saludo

CC. Raúl Villa Caro