



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Evaluación del potencial de reducción de la intensidad de carbono mediante la adopción de diésel renovable en buques de la Armada

Grado en Ingeniería Mecánica

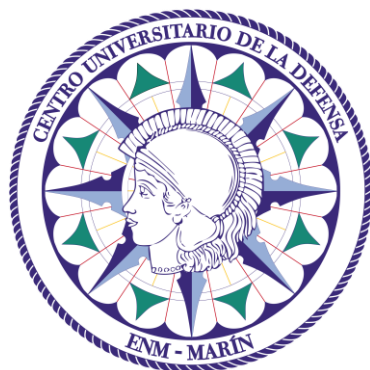
ALUMNO: Luis Migal de Haro

DIRECTORES: Lara Febrero Garrido

André Boehman

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Evaluación del potencial de reducción de la intensidad de carbono
mediante la adopción de diésel renovable en buques de la Armada*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

La motivación de este TFG nace de la necesidad de abordar el desafío global de la descarbonización desde una perspectiva específica: la reducción de emisiones de carbono en los buques de la Armada. La descarbonización se ha convertido en una apremiante necesidad, como se refleja en distintos acuerdos internacionales o en las evidencias climáticas que demuestran graves impactos medioambientales. Con el aumento de la conciencia sobre el cambio climático, se han propuesto más soluciones para abordarlo. Este TFG defiende la investigación y desarrollo de la adopción del diésel 100% renovable para la evaluación del potencial de reducción de emisión de la intensidad de carbono. Esta investigación se divide en distintas etapas con la finalidad de encontrar la evidencia que afirme la reducción de la huella de carbono. La primera etapa se basa en el estudio de las Lanchas de Instrucción de la Escuela Naval Militar, realizando estudio de emisiones y estudio de consumo de éstas. La siguiente etapa consta de la comparación del diésel renovable con un diésel convencional, en búsqueda de resultados favorables a la investigación. La etapa final, consta de una evaluación y extrapolación de los resultados que demuestre la viabilidad del diésel 100% renovable para conseguir la disminución de emisión de carbono en los buques.

PALABRAS CLAVE

Diésel 100% Renovable, Descarbonización, Combustible sostenible, Emisión de carbono, Armada.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dirigir mis agradecimientos a mi tutora, Dña. Lara Febrero, por su orientación, inmensa paciencia e infinita comprensión a lo largo de este proceso. Expreso mi gratitud al TN Delgado Franco por la dedicación implicada en cada salida a la mar. Por consiguiente, al SGT1º González, SGT1º Rey y SGT1º Couñago por su predisposición y ayuda en cada instante. Por último, a todos mis compañeros involucrados en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a mi familia, mis amigos y todas las personas que me han acompañado a lo largo de estos cinco años de paso por la Escuela Naval Militar. Estoy en deuda con cada uno de vosotros.

Gracias.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	6
1 Introducción y objetivos	8
1.1 Contexto y motivación	8
1.2 Objetivos	10
1.3 Estructura de la memoria	11
2 Estado del arte	12
2.1 Situación medioambiental.....	12
2.1.1 Contaminantes atmosféricos	12
2.1.2 Emisiones globales de CO ₂	14
2.1.3 Contaminación en el sector naval	16
2.1.4 Huella de Carbono	17
2.1.5 Indicador de Intensidad de Carbono (IIC)	18
2.1.6 Well to Wheel	19
2.2 Contexto y Acuerdos Internacionales	19
2.2.1 Primera Cumbre para la Tierra	19
2.2.2 Conferencia de las Partes (COP)	20
2.2.3 Agenda 2030	24
2.3 Descarbonización	25
2.3.1 Alternativas para descarbonizar el sector naval.....	25
2.3.2 Descarbonización en las Fuerzas Armadas.....	27
2.4 El medioambiente en la Armada	28
2.4.1 Organización medioambiental	28
2.4.2 Política ambiental en la Armada	28
2.4.3 Acciones medioambientales y líneas de acción	28
3 Desarrollo del TFG.....	32
3.1 Introducción a la investigación	32
3.2 Plataforma de estudio y equipos de análisis de gases	33
3.2.1 Características generales sobre Lanchas de Instrucción	34
3.2.2 Propulsión de Lancha de Instrucción Guardiamarina Salas	36
3.2.3 Propulsión de Lancha de Instrucción Guardiamarina Godínez	38
3.2.4 Motor Perkins 403D-15	40

3.2.5 Analizador de combustión Testo 340	42
3.3 Combustibles.....	43
3.3.1 Diésel renovable	43
3.3.2 Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable	44
3.3.3 Repsol Mardiesel e+	45
3.3.4 Repsol Diesel e+ Neotech.....	46
3.3.5 Diesel Fuel Marine F-76.....	46
3.4 Experiencia de medición y registro de datos	46
3.4.1 Experiencia de medición en GM Salas	47
3.4.2 Experiencia de medición en GM Godínez.....	49
3.4.3 Experiencia del estudio de consumo en las Lanchas de Instrucción	50
3.4.4 Experiencia de medición en motor Perkins	50
4 Resultados	52
4.1 Resultados de las mediciones en Lanchas de Instrucción.....	52
4.1.1 Resultados Lancha de Instrucción Guardiamarina Salas	52
4.1.2 Resultados Lancha de Instrucción Guardiamarina Godínez.....	55
4.1.3 Comparación de emisión de CO ₂	58
4.2 Estudio de consumo de Lanchas de Instrucción	59
4.3 Resultados de mediciones en Motor Perkins	60
4.3.1 Resultados de consumo.....	60
4.3.2 Resultados de emisión de gases	67
4.4 Evaluación de resultados.....	69
5 Conclusiones y líneas futuras	72
5.1 Conclusiones	72
5.2 Líneas futuras	73
6 Bibliografía.....	74
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	79
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	80
Anexo III: Especificaciones del Repsol diésel zero e+10	81
Anexo IV: Registro de máquinas de Lanchas de Instrucción	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Infografía sobre calificación mundial respecto al cumplimiento de objetivos del Acuerdo de París [5]	9
Figura 2-1 Gráfico de influencia de calentamiento causada por los principales GEI [11].....	13
Figura 2-2 Emisiones mundiales de CO ₂ de 1995 a 2023 (en miles de millones de toneladas métricas) [12].....	14
Figura 2-3 Emisión global de CO _{2eq} por sectores desde 2000 hasta 2020 [13].....	15
Figura 2-4 Emisión global de GEI por actividades del sector energético desde 2000 hasta 2020 [13]	15
Figura 2-5 Evolución en tanto por ciento del comercio mundial desde 1950 hasta 2022 [16]	16
Figura 2-6 Mapa global con rutas marítimas y principales puertos indicados por puntos [19]	17
Figura 2-7 Esquema de cálculo del IIC de Repsol [26]	18
Figura 2-8 Sesión de apertura de la Primera Cumbre de la Tierra [30]	20
Figura 2-9 Conferencia de las Partes 28, Dubái, Emiratos Árabes Unidos 2023 [38].....	23
Figura 2-10 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 [41].....	24
Figura 2-11 Evolución cronológica esperada junto a avances tecnológicos y reducción esperada [43]	25
Figura 2-12 Buque de Acción Marítima "Furor" [53].....	29
Figura 2-13 Buques de la Armada con propulsión eléctrica a) y b).....	30
Figura 2-14 Escuela de Suboficiales de la Armada [56]	31
Figura 2-15 Escuela Naval Militar [57]	31
Figura 3-1 Esquema de la investigación (elaboración propia)	33
Figura 3-2 Lanchas de Instrucción (fuente propia)	34
Figura 3-3 Vista de perfil y de planta de una Lancha de Instrucción [59]	35
Figura 3-4 Planos de la Lancha de Instrucción con vista de perfil y de planta [59]	36
Figura 3-5 Compartimento de tanques de combustible (fuente propia).....	36
Figura 3-6 Indicador de nivel del tanque de babor de L.I. GM Salas (fuente propia)	37
Figura 3-7 Cámara de máquinas L.I. GM Salas (fuente propia)	37
Figura 3-8 Motor Caterpillar C18 (fuente propia).....	38
Figura 3-9 Compartimento de tanques de combustibles de L.I. GM Godínez (fuente propia).....	39
Figura 3-10 Indicadores de nivel de los dos tanques de L.I. GM Godínez (fuente propia)	39
Figura 3-11 Cámara de máquinas L.I. GM Godínez (fuente propia).....	40
Figura 3-12 Motor MTU modelo 10V2000M84 (fuente propia).....	40
Figura 3-13 Motor Perkins 403D-15 (fuente propia)	41
Figura 3-14 Analizador de combustión Testo 340 [61]	42
Figura 3-15 Analizador de combustión Testo 340 junto a sonda de temperatura [61]	42

Figura 3-16 Diagrama de rutas para producir diésel renovable a partir de triglicéridos y biomasa celulósica (Elaboración propia; fuente :[62]).....	43
Figura 3-17 Repostaje de Repsol Mardiesel e+ en Lanchas de Instrucción (fuente propia).....	45
Figura 3-18 Recorrido realizado para medición en Lanchas de Instrucción (fuente propia).....	47
Figura 3-19 Conducto de escape de gases en L.I. GM Salas (fuente propia).....	48
Figura 3-20 Acumulación de agua en el analizador de gases Testo 340 (fuente propia).....	48
Figura 3-21 Acceso al escape de gases de L.I. GM Godínez (fuente propia).....	49
Figura 3-22 Sistema de sujeción del analizador de gases en la medición de la L.I. GM Godínez (fuente propia).....	49
Figura 3-23 Estudio de emisión de gases en Motor Perkins (fuente propia).....	50
Figura 3-24 Estudio de consumo en Motor Perkins (fuente propia).....	51
Figura 3-25 Sistema de medición del estudio de consumo (fuente propia).....	51
Figura 4-1 Gráfica de temperatura ambiente y temperatura de gases en L.I. GM Salas (fuente propia).....	53
Figura 4-2 Composición de O ₂ y CO ₂ de la emisión de gases en L.I. GM Salas (fuente propia)....	54
Figura 4-3 Concentración de NO, NO ₂ y SO ₂ en la emisión de gases de L.I. GM Salas (fuente propia).....	54
Figura 4-4 Gráfica de temperatura ambiente y temperatura de gases en L.I. GM Godínez (fuente propia).....	56
Figura 4-5 Composición de O ₂ y CO ₂ de la emisión de gases en L.I. GM Godínez (fuente propia).....	57
Figura 4-6 Concentración de NO, NO ₂ y SO ₂ en la emisión de gases de L.I. GM Godínez (fuente propia).....	57
Figura 4-7 Comparación de emisión de CO ₂ (fuente propia).....	59
Figura 4-8 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable para carga 0 kW (fuente propia).....	61
Figura 4-9 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable para carga 4 kW (fuente propia).....	61
Figura 4-10 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable para carga 8 kW (fuente propia).....	62
Figura 4-11 Gráfica resumen de estudio de consumo de Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia).....	63
Figura 4-12 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Neotech para carga 0 kW (fuente propia) ..	64
Figura 4-13 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Neotech para carga 4 kW (fuente propia) ..	64
Figura 4-14 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Neotech para carga 8 kW (fuente propia) ..	65
Figura 4-15 Gráfica resumen de estudio de consumo de Repsol Diesel e+ Neotech (fuente propia).....	66
Figura 4-16 Gráfica comparativa entre Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable y Repsol Diesel e+ Neotech (fuente y elaboración propia).....	66

Figura 4-17 Gráfica comparativa con la composición de CO₂ en distintas cargas, respecto a Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable y Repsol Diesel e+ Neotech (fuente propia).....67

Figura 4-18 Comparación relativa de las emisiones de GEI asociadas a la fuente energética, en etapas de WtT, TtW y WtW [70].....68

Figura 4-19 Gráfica de emisión de CO₂ por cantidad de energía consumida en función del modo de trabajo [71].....68

Figura 4-20 Gráfica de concentración de gases, en función del combustible y de la carga del motor (fuente propia).....69

Figura 0-1 Especificaciones técnicas de combustible Repsol Diesel Zero e+ 1081

Figura 0-1 Registro de máquinas de Lanchas de Instrucción.....82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Proporción en tanto por ciento (%) de emisiones globales por sectores en 2020 [13]	15
Tabla 2-2 Emisiones globales de las actividades en el sector energético en 2020 [13]	16
Tabla 2-3 Conferencias de las Partes celebradas [32]	21
Tabla 3-1 Características principales L.L.I.I. [59]	35
Tabla 3-2 Especificaciones del motor Perkins 403D-15 [60]	41
Tabla 4-1 Obtención de datos del analizador de gases de combustión según régimen de revoluciones en L.I. GM Salas (fuente propia).	52
Tabla 4-2 Registro de máquinas del sistema propulsor de babor de L.I. GM Salas (fuente propia)	55
Tabla 4-3 Registro de máquinas del sistema propulsor de estribor de L.I. GM Salas (fuente propia)	55
Tabla 4-4 Registro de máquinas del motor auxiliar de babor de la L.I. GM Salas (fuente propia) .	55
Tabla 4-5 Obtención de datos del analizador de gases de combustión según régimen de revoluciones en L.I. GM Godínez (fuente propia)	56
Tabla 4-6 Registro de máquinas del sistema propulsor de babor de L.I. GM Godínez (fuente propia)	58
Tabla 4-7 Registro de máquinas del sistema propulsor de estribor de L.I. GM Godínez (fuente propia)	58
Tabla 4-8 Registro de máquinas del sistema propulsor de babor de L.I. GM Godínez (fuente propia)	58
Tabla 4-9 Valor de combustible y millas náuticas navegadas de cada Lancha de Instrucción (fuente propia)	59
Tabla 4-10 Valores de consumo total, consumo horario y NM recorridas de cada Lancha de Instrucción (fuente propia).....	60
Tabla 4-11 Valores de medida de estudio de consumo para carga 0 kW de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)	60
Tabla 4-12 Valores de medida de estudio de consumo para carga 4 kW de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)	61
Tabla 4-13 Valores de medida de estudio de consumo para carga 8 kW de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)	62
Tabla 4-14 Valores de medida de estudio de consumo para carga 0 kW de Repsol Diésel e+ Neotech (fuente propia).....	63
Tabla 4-15 Valores de medida de estudio de consumo para carga 4 kW de Repsol Diésel e+ Neotech (fuente propia).....	64
Tabla 4-16 Valores de medida de estudio de consumo para carga 8 kW de Repsol Diésel e+ Neotech (fuente propia).....	65
Tabla 4-17 Comparación de comportamiento entre L.I. GM Salas y L.I. GM Godínez (fuente propia)	70
Tabla 4-18 Comparación de emisión de CO ₂ entre L.I. GM Salas y L.I. GM Godínez al recorrer una milla náutica (fuente propia)	70

Tabla 4-19 Comparación de emisión de CO₂ entre L.I. GM Salas y L.I. GM Godínez de forma anual
(fuente propia).....71

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contexto y motivación

La preservación y protección del Medio Ambiente constituye un reto permanente de la sociedad, a nivel nacional e internacional. Hoy, presenciamos un notable desarrollo de conciencia colectiva respecto al deterioro ambiental causado por la acción del hombre. Aunque parezca que el auge de esta responsabilidad medioambiental sea en el contexto actual, encontramos que La Constitución Española ya recogía: *“Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo. Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva [1].”* Aunque se perciba que es una preocupación seriamente actual, es importante remarcar que es un reto continuo de más de cuatro décadas.

Con este fragmento, apreciamos la aparición de lo que se definiría como desarrollo sostenible. El concepto no se legitima hasta la Cumbre de Río. Aunque no fuese la invención de un concepto novedoso, ayudó a darle la relevancia necesaria produciendo así la asignación de responsabilidades a los Estados participantes de preservar y velar por el medioambiente [2]. La Cumbre de Río proporcionó las bases y principios que permitieron la evolución y la continuación para preservar el medioambiente. Se ha de mencionar que dichos principios darán sentido y coherencia a las políticas optadas en posterioridad. La semilla plantada en estos inicios de lucha, se ha traducido en numerosos encuentros y pactos internacionales junto a un cambio de mentalidad a nivel mundial y la cooperación por un objetivo común, la protección del medio ambiente.

Esta nueva política medioambiental a la hora de aplicarse en nuestro país, afecta a la manera de actuar de todos y cada uno de los organismos pertenecientes. Por ejemplo, se clarifica la postura del Ministerio de Defensa de la manera que expresa en su memoria de Responsabilidad Social: *“El riesgo medioambiental es una de las principales amenazas que pueden afectar a nuestra seguridad. El cambio climático, la escasez de agua y la pérdida de biodiversidad plantean riesgos de naturaleza humanitaria, política y de seguridad internacional [3].”* Una de las principales amenazas, que afectan directamente al medio ambiente es la emisión de gases contaminantes. Las Fuerzas Armadas se enfrentan hoy en día a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por consideraciones de seguridad, tradicionalmente han sido excluidas de esfuerzos de reducción de emisiones, que se traduce en una inaplazable toma de decisiones para adaptar los sistemas actuales para trabajar en los umbrales permitidos o esperados.

Las Fuerzas Armadas, se encuentran entre los mayores emisores a nivel mundial, estimándose su contribución entre el 1% y el 5% de las emisiones totales [4]. Causa de estos valores, es la prioridad para el sector militar de fiabilidad y seguridad frente a sostenibilidad. La transición hacia tecnologías de energía renovable presenta oportunidades significativas para la descarbonización, sin compromiso de poner en riesgo cometidos a cumplir. Frente a la creciente presión de abordar su huella de carbono, surge la necesidad y motivación de este TFG.

Para entender la necesidad de adaptación al cambio que se está pronunciando, es esencial conocer el estado de acción a nivel mundial sobre emisiones de GEI. Del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2023, tuvo lugar la edición número 28 de la Conferencia de las Partes (COP), denominada Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [5]. Esta edición se celebró en Dubái, EAU, con la presencia de 197 naciones. La motivación principal de esta fue la supervisión del avance hacia el cumplimiento de los objetivos fijados en el Acuerdo de París (COP21).

El Acuerdo de París relata su propósito principal, restringir el aumento de la temperatura media global a menos de 2°C respecto a niveles preindustriales. Por consiguiente, un paso previo a dar es realizar un esfuerzo adicional para mantener el incremento por debajo de 1,5° C. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la calificación obtenida por cada estado según su política implantada para lograr el objetivo común en el Acuerdo de París.

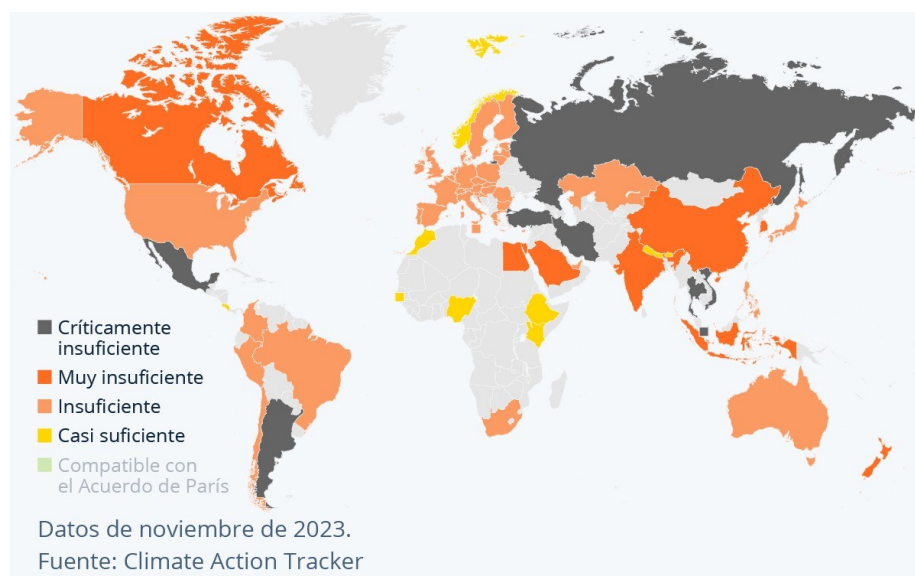


Figura 1-1 Infografía sobre calificación mundial respecto al cumplimiento de objetivos del Acuerdo de París [5]

Apreciando la Figura 1-1, podemos deducir que ningún país objeto de análisis ha conseguido implementar las suficientes medidas para así llegar a mantener el aumento de temperatura. Esto implica que la política y el compromiso climático necesita mejoras significativas para estar en consonancia con lo establecido en París.

En este punto, se refleja el fiel compromiso y conciencia de la Armada para encontrar una solución medioambiental que abogue por cumplir el desarrollo sostenible y lo acordado en la COP21, frente a la necesidad de actuar, tomar medidas y cooperar a nivel mundial para cambiar el escenario actual. A la hora de realizar la valoración de las posibles alternativas, una de las propuestas más sugerentes es el estudio de viabilidad del diésel renovable.

Esta opción sumamente conocida, permite a la Armada afrontar el desafío de descarbonizar sus operaciones sin comprometer la fiabilidad, seguridad y eficiencia de sus buques. Producido a partir de fuentes renovables como biomasa, residuos orgánicos o aceites vegetales, ofrece una solución inmediata y comercialmente disponible. La ventaja principal reside en la capacidad para ser empleado directamente

en los motores actuales de los buques, sin necesidad de realizar modificaciones en la infraestructura o en los procesos de abastecimiento. Garantiza una transición segura y sin interrupción en el curso de las operaciones de la Armada.

El fundamento esencial se encuentra en la reducción significativa de las emisiones de GEI, cumpliendo así con los objetivos propuestos a nivel internacional. Con esto, proporciona seguridad energética al depender de fuentes renovables y locales, lo que reduce la vulnerabilidad a los cambios repentinos en el suministro de combustibles y garantiza la autonomía y capacidad de respuesta en situaciones críticas. El diésel renovable se presenta como una solución práctica, económicamente viable y ambientalmente responsable para la descarbonización de la flota española.

La motivación de este TFG se asienta en afrontar este desafío con la adopción de diésel renovable en los buques de la Armada, con objeto de tener una emisión de GEI considerablemente menor a la actual y así responder con una reducción de la huella de carbono.

1.2 Objetivos

El propio título del TFG contiene el principal objetivo de este estudio, siendo la evaluación del uso de diésel renovable en buques de la Armada, buscando así evidenciar la reducción de la intensidad de carbono emitida, y con ello la huella de carbono.

Una forma de materializar el objetivo principal descrito es el estudio, evaluación y análisis de la recopilación de datos obtenida de distintas navegaciones. Para ello, la selección del buque de estudio serán las lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar. De esta manera se espera recabar con toda la información necesaria relacionada directamente con el combustible actualmente utilizado.

Como objetivos secundarios que completen la investigación, se encuentran:

- Toma de datos de lanchas de instrucción. Por parte de la propia plataforma, revoluciones por minuto (rpm), velocidad alcanzada y consumo de combustible, además de datos esperados del funcionamiento normal del motor. Por parte del estudio de emisiones de GEI, temperatura ambiente y de gases de escape, proporción en tanto por ciento (%) del oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂) y cantidad en partes por millón (ppm) de óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂).
- Correcta interpretación de los datos obtenidos de gases contaminantes en las dos diferentes lanchas de instrucción, además de un correspondiente estudio de consumo.
- Obtención de datos medidos con el diésel renovable y comparación con diésel en un motor Perkins en laboratorio.
- Interpretación, extrapolación y comparación de resultados de distintos combustibles.
- Evidenciar que el empleo de diésel 100% renovable como combustible en lanchas de instrucción posibilitaría una disminución en la intensidad de carbono asociada a su funcionamiento, sin poner en riesgo la fiabilidad y eficacia de sus sistemas de propulsión.

Dos objetivos que actúan como consecuencia de la realización de este TFG son:

- Se refuerza el decidido compromiso de la Armada con la preservación y cuidado del medio ambiente, respaldado por la realización de este tipo de investigaciones, cuyos resultados favorables contribuyen con la causa ambiental.
- Potenciar una línea de investigación en el CUD-ENM de notorio interés para la Defensa, y para la Armada (Línea 3.4.3. Combustibles certificados no derivados del petróleo de la ETID 2020 [6]).

1.3 Estructura de la memoria

Una vez establecidos los hitos y los objetivos de este trabajo, ya contextualizado debidamente, se detalla la estructura de la presente memoria, con intención de ofrecer una disposición clara y ordenada. De forma general, consta de cinco capítulos distintos, seguidos de la bibliografía empleada en el trabajo, y finalmente los anexos complementarios. Los capítulos son los siguientes:

- Capítulo 1: Introducción y objetivos. En este primer capítulo se contextualiza el trabajo, de manera que se exponen las principales ideas para justificar el desarrollo de este. Se detalla el objetivo principal y se establecen los objetivos secundarios y se expone la estructura de la memoria.
- Capítulo 2: Estado del arte. Este capítulo de la memoria ofrece los diferentes aspectos y materias necesarias para la comprensión del desarrollo práctico. Los distintos aspectos considerados a su exposición son:
 - La situación medioambiental y una breve contextualización sobre los contaminantes atmosféricos, las emisiones producidas de CO₂, la contaminación producida por el sector naval, la huella de carbono, Indicador de Intensidad de Carbono (IIC) y el concepto de “Well to Wheel”.
 - Contexto y acuerdos internacionales necesarios para comprender los objetivos marcados sobre la emisión de gases contaminantes a nivel internacional y la situación actual respecto a dichos objetivos.
 - La descarbonización y una valoración de las distintas alternativas actuales disponibles para ello. Además, se incluye una visión sobre la descarbonización en las Fuerzas Armadas.
 - El medioambiente en la Armada, junto a la organización medioambiental, la política ambiental optada y las acciones medioambientales y líneas de acción tomadas.
- Capítulo 3: Desarrollo del TFG. En este apartado se ofrece una visión de las distintas etapas que componen el desarrollo de la propia investigación. Se detalla la plataforma de estudio y equipos para el análisis de gases. Se exponen los diferentes combustibles participantes en el estudio y se redacta la experiencia de medición en las distintas etapas.
- Capítulo 4: Obtención y análisis de resultados. Tras el desarrollo de las diferentes etapas de la investigación, se exponen y se analizan los resultados obtenidos. Con ello se concluye y se evalúan los resultados.
- Capítulo 5: Conclusiones y líneas futuras. Se completa el trabajo con una visión genérica del mismo, acompañado de las conclusiones de cada etapa. Finalmente se ofrecen las posibles líneas futuras de desarrollo e investigación.

Finalmente, la última sección de la memoria, contiene la bibliografía donde se recopilan las fuentes empleadas para la redacción de este TFG, además de los anexos complementarios.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Situación medioambiental

La dedicación y sacrificio del trabajo a realizar para enfrentar el reto de la preservación del medioambiente dependerá directamente del estado en el que se encuentre. Por tanto, en este primer punto se va a definir los primeros conceptos necesarios con los que se tenga estrecha relación para entender el escenario por el que operamos.

2.1.1 Contaminantes atmosféricos

Se denomina contaminante atmosférico a aquella sustancia que, a partir de una concentración concreta, rompa el equilibrio del aire y altere el orden de la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre. Esta alteración produce efectos adversos en el medio ambiente, salud humana o vida animal o vegetal [7].

Una vez definido, se puede hacer una distinción en función de su origen [8]:

- Contaminantes primarios: son aquellos que son emitidos a la atmósfera directamente desde la fuente de emisión.
- Contaminantes secundarios: son aquellos que se producen como consecuencia de los contaminantes primarios. Las transformaciones y reacciones químicas y físicas que sufren en la atmósfera provocan la aparición de contaminantes secundarios, con especial acción en contaminación fotoquímica y acidificación del medio.

En este punto, nombramos los principales contaminantes:

- Óxido nítrico (NO): gas que se produce por la quema de combustibles fósiles. Usualmente en transporte e industria. Además, en determinada concentración también favorece al efecto invernadero.
- Metano (CH₄): gas que se obtiene con la descomposición de materia orgánica en escasez de oxígeno. Una molécula de metano atrapa más calor que una molécula de CO₂, pero tiene una vida útil relativamente corta de 7 a 12 años en comparación. Es emitido desde una variedad de fuentes tanto antropogénicas como naturales. Las mayores fuentes de emisión son la agricultura, los combustibles fósiles y la descomposición en vertederos [9].
- • Clorofluorocarbonos, hidroclorofluorocarbonos e hidrofluorocarbonos (CFCs, HCFCs y HFCs): los gases fluorados son únicos entre los GEI ya que no tienen fuentes naturales, solo provienen de actividades humanas. Se liberan al utilizarse como sustitutos de compuestos que dañan la capa de ozono. Tienen un alto Potencial de Calentamiento Global (GWP),

significa que en pequeñas concentraciones pueden tener un gran impacto. Pueden persistir durante miles de años y se dispersan fácilmente [10].

- Monóxido de carbono (CO): gas característico de una combustión incompleta. Se considera una amenaza para la salud tanto humana como animal. Una vez en el organismo, se adhiere a la hemoglobina de la sangre, obstaculizando así el transporte de oxígeno en el cuerpo. Por otro lado, favorece al efecto invernadero en determinadas concentraciones.

Aunque existen otros GEI, dióxido de carbono (CO₂) es el más abundante en términos absolutos en la atmósfera. Por tanto, es el gas más crucial para el efecto invernadero, ya que absorbe y emite calor. A diferencia de oxígeno o nitrógeno, componentes mayoritarios de nuestra atmósfera, los GEI al atrapar el calor proveniente de la superficie lo redistribuyen en todas las direcciones, incluyendo de vuelta hacia la Tierra. Además, puede permanecer de décadas a siglos en la atmósfera por lo que su persistencia hace que se continúen acumulando las emisiones tanto pasadas como presentes.

El dióxido de carbono es necesario para mantener la temperatura global promedio por encima del punto congelación, este suceso se denomina efecto invernadero natural. Al incrementar las emisiones de carbono, la acción humana está intensificando este efecto provocando así el sobrecalentamiento. Según el Laboratorio de Monitoreo Global de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, siglas en inglés), en 2021 el dióxido de carbono por sí solo fue responsable de dos tercios de la influencia total del calentamiento de todos los GEI producidos por el ser humano [11].

La Figura 2-1 muestra la influencia en el calentamiento causado por los principales gases de efecto invernadero. Para realizar la lectura correcta, se debe entender el concepto del Índice Anual de Gases Invernadero (AGGI, siglas en inglés). Este índice calcula la influencia combinada de calentamiento de los gases de efecto invernadero de larga duración. La influencia directa total de calentamiento se compara con las condiciones en 1990, año en el que se firmó el Protocolo de Kyoto. En 2022, la NOAA informó que el AGGI fue de 1,49 lo que significa que la influencia directa de calentamiento había aumentado un 49% por encima del nivel base de 1990. Destaca así el crecimiento del CO₂ con un 66% respecto al mencionado valor referente. Atendiendo a la leyenda del gráfico y por orden de mayor a menor influencia: dióxido de carbono (gris), metano (morado oscuro), óxido nítrico (morado claro), clorofluorocarbonos (CFC, lavanda), hidroclorofluorocarbonos (HCFC, azul) e hidrofluorocarbonos (HFC, azul claro).

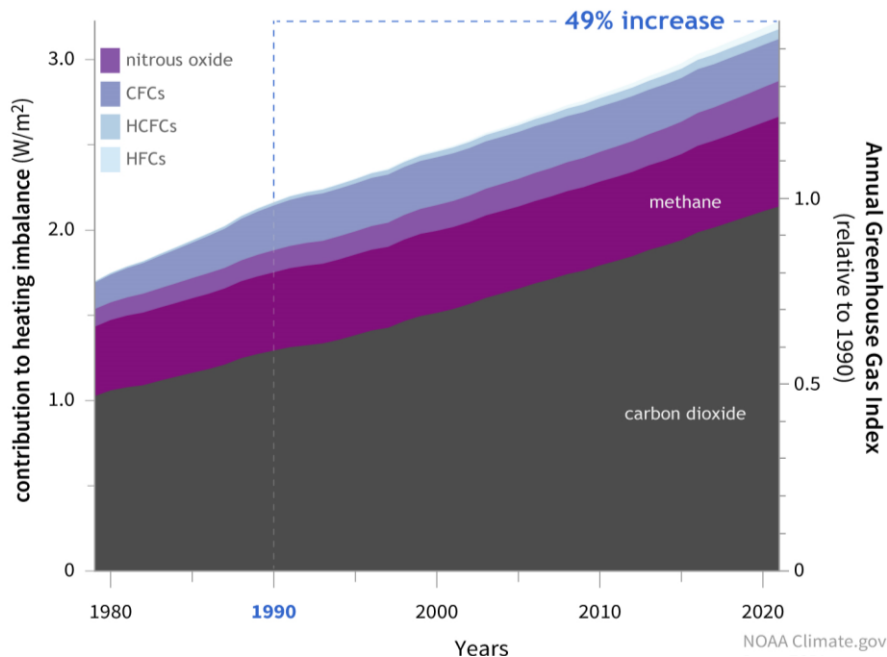


Figura 2-1 Gráfico de influencia de calentamiento causada por los principales GEI [11]

2.1.2 Emisiones globales de CO₂

Una vez entendida la importancia e influencia de los contaminantes, el siguiente paso necesario para entender el entorno, será identificar cuánto y de qué manera se contamina actualmente. De esta manera, se aprecia la magnitud que puede alcanzar esta investigación.

En primer lugar, a nivel mundial según la Figura 2-2 se aprecia la cantidad de CO₂ emitida desde 1995 hasta 2023. Donde se lee la máxima cantidad emitida con 37,5 billones de toneladas métricas en 2023. Durante estas dos últimas décadas se ha experimentado un crecimiento constante. Las emisiones a escala global rondaban los 23.500 millones de toneladas métricas mientras que para el año 2019 se registraba un máximo histórico de 37.000 millones [12].

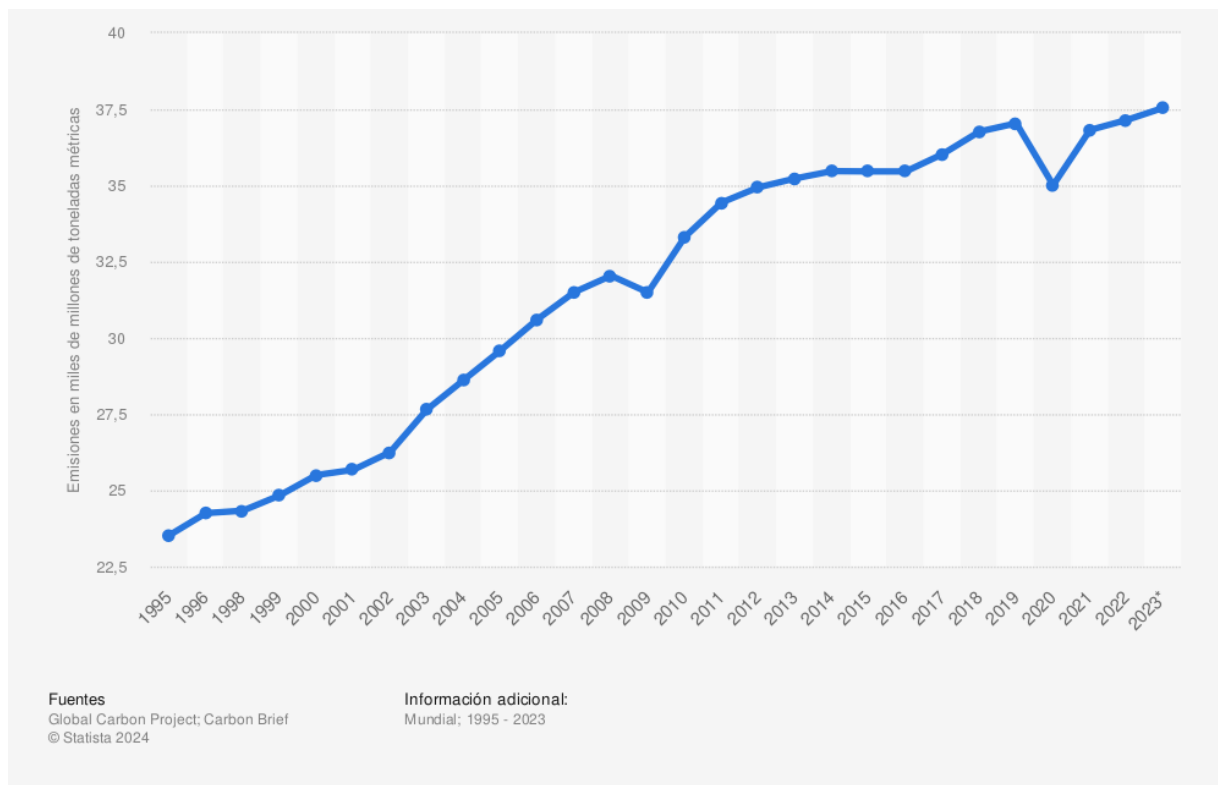


Figura 2-2 Emisiones mundiales de CO₂ de 1995 a 2023 (en miles de millones de toneladas métricas) [12]

Para determinar cómo podemos reducir las emisiones de manera más efectiva y qué emisiones se pueden o no combatir con las tecnologías actuales, primero se necesita entender de dónde provienen.

En la Figura 2-3 se observan las emisiones globales de CO_{2eq} desde 2000 hasta 2020. Se puede apreciar que casi tres cuartas partes provienen del uso de energía. Se distinguen los distintos sectores, de mayor proporción a menor: energía (azul), agricultura (amarillo), procesos industriales (rosa), y pérdidas (morado). En la Tabla 2-1, se aprecian las emisiones globales en tanto por ciento (%). De esta manera apreciamos que el sector que más emite es el uso de energía.

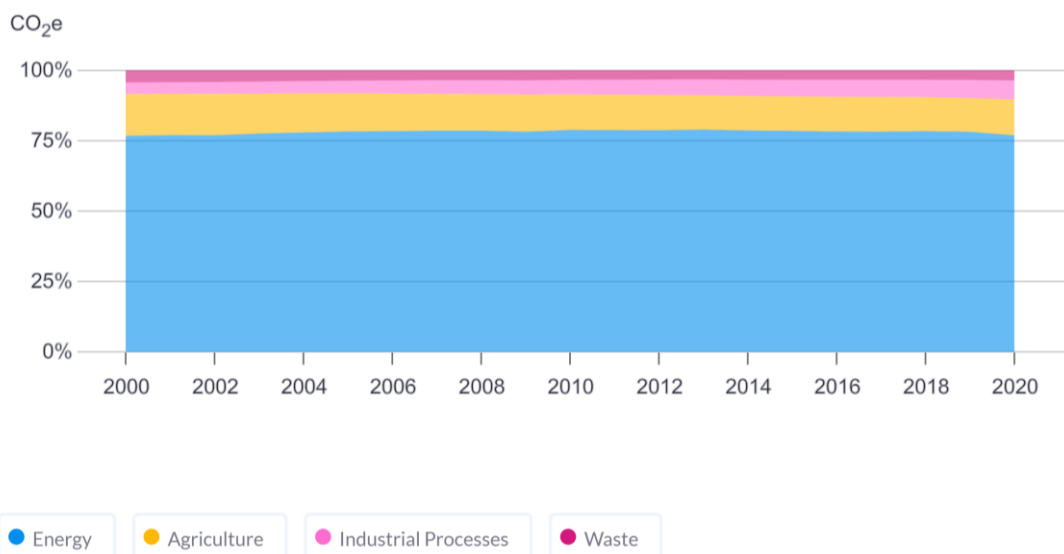


Figura 2-3 Emisión global de CO₂eq por sectores desde 2000 hasta 2020 [13]

Sector	Proporción (%)
Energía	77
Agricultura	13
Procesos industriales	6,8
Pérdidas	3,6

Tabla 2-1 Proporción en tanto por ciento (%) de emisiones globales por sectores en 2020 [13]

Las principales actividades que conforman el sector de energía aparecen en la Figura 2-4. Se encuentra el uso de electricidad (naranja), transporte (azul), fabricación, entendiéndose como procesos de producción de bienes en grandes cantidades utilizando maquinaria y mano de obra, (morado), pérdidas de emisiones (rosa), construcción (amarillo) y otras combustiones (verde).

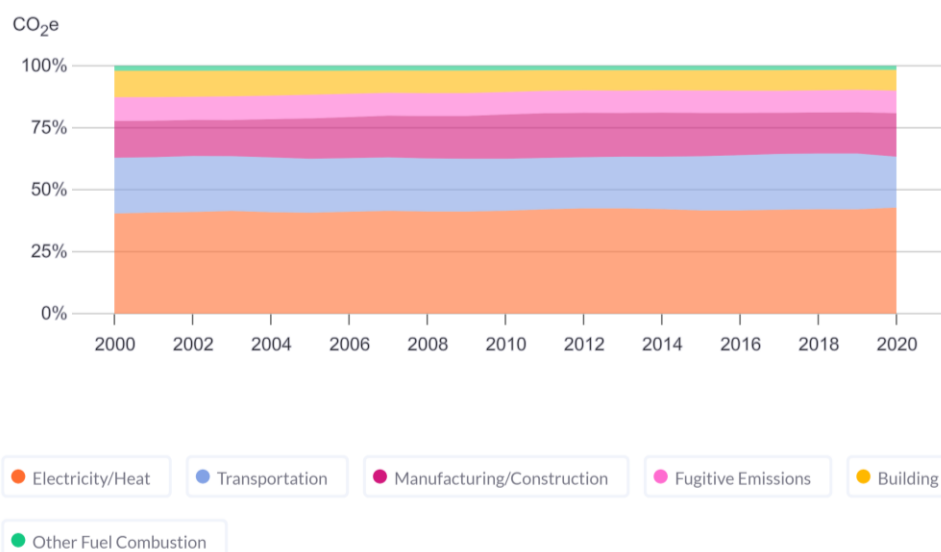


Figura 2-4 Emisión global de GEI por actividades del sector energético desde 2000 hasta 2020 [13]

En la Tabla 2-2 se aprecia la proporción de las actividades en el sector energético en 2020. Se encuentra que el transporte ha sido la segunda actividad con mayor participación en la emisión total del sector. Además, esta actividad engloba el transporte por carretera, aviación y marítimo.

Actividad	Proporción (%)
Electricidad	43
Transporte	21
Fabricación	18
Pérdidas de emisiones	9,1
Construcción	8,4
Otras combustiones	1,6

Tabla 2-2 Emisiones globales de las actividades en el sector energético en 2020 [13]

El sector del transporte representa el 21% de las emisiones totales. Esto implica todas las emisiones directas derivadas de la quema de combustibles fósiles para impulsar las actividades del transporte. En el transporte por carretera, engloba todas las formas de quema de gasolina y diésel que posee todo vehículo. En aviación se encuentran emisiones derivadas del transporte de pasajeros y carga a nivel internacional. En el transporte marítimo, incluye la quema de gasolina o diésel de embarcaciones [14]. Éste último supone más del 3% de las emisiones globales de dióxido de carbono [15].

Las emisiones provienen de muchos sectores, necesitando así muchas soluciones para descarbonizar la economía. Esto significa que no hay una solución única o simple, ya que centrarse en un único sector sería insuficiente. Respecto al estudio de este TFG, no hay un sector militar en el que se aborde la actividad naval. Sin embargo, es útil saber de qué manera lo hace el sector del transporte; compuesto por el transporte por carretera, aviación y transporte marítimo.

2.1.3 Contaminación en el sector naval

Hoy en día, el volumen del comercio mundial ha experimentado un vertiginoso aumento respecto a finales de 1950, cuando el crecimiento económico y avances tecnológicos permitieron que la mercancía estuviese disponible de manera segura desde cualquier parte del mundo. Según valores registrados, el volumen de comercio mundial es aproximadamente 45 veces desde 1950. Se estima un crecimiento del 4500% desde 1950 hasta 2022 como se aprecia en la Figura 2-5, donde se ve reflejado el aumento del volumen de comercio mundial en tanto por ciento.

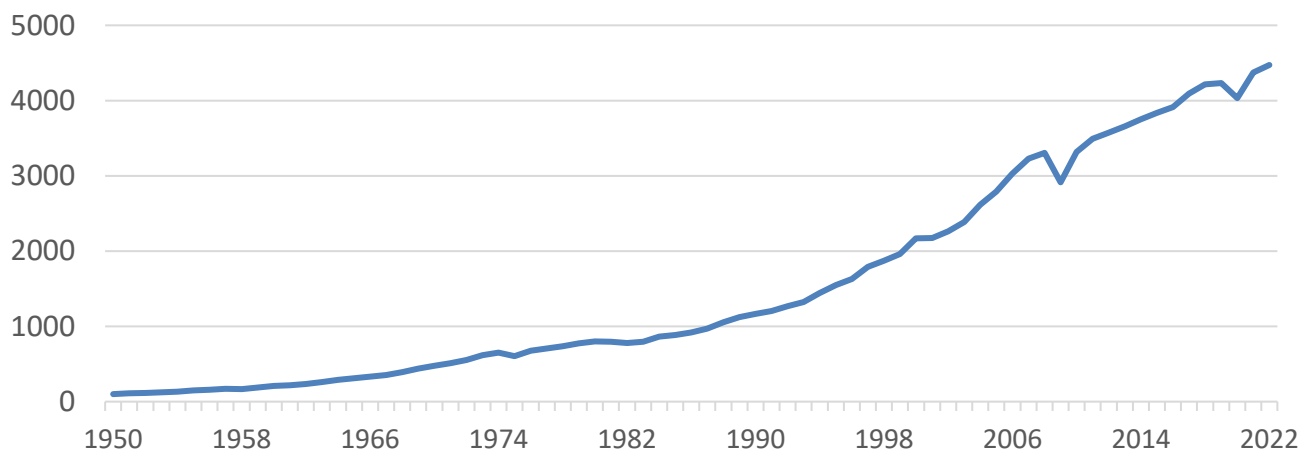


Figura 2-5 Evolución en tanto por ciento del comercio mundial desde 1950 hasta 2022 [16]

Esto se debe a dos factores, la alta demanda de transporte existente y que el transporte marítimo puede mover volúmenes de mercancías mucho mayores que los otros medios, sea por carretera o aviación. El transporte marítimo representa el 80% del total de mercancías transportadas a nivel mundial, siendo así 10 mil millones de toneladas de carga anuales [17]. A lo largo y ancho de todos los mares del mundo, se han establecido rutas de navegación altamente transitadas además de puertos que han sufrido una expansión significativa, apreciado así en la Figura 2-6 donde se muestran las rutas marítimas y puertos principales. Las estimaciones en 2020, predicen un aumento casi del 40% en la demanda de comercio para el año 2050 [18].

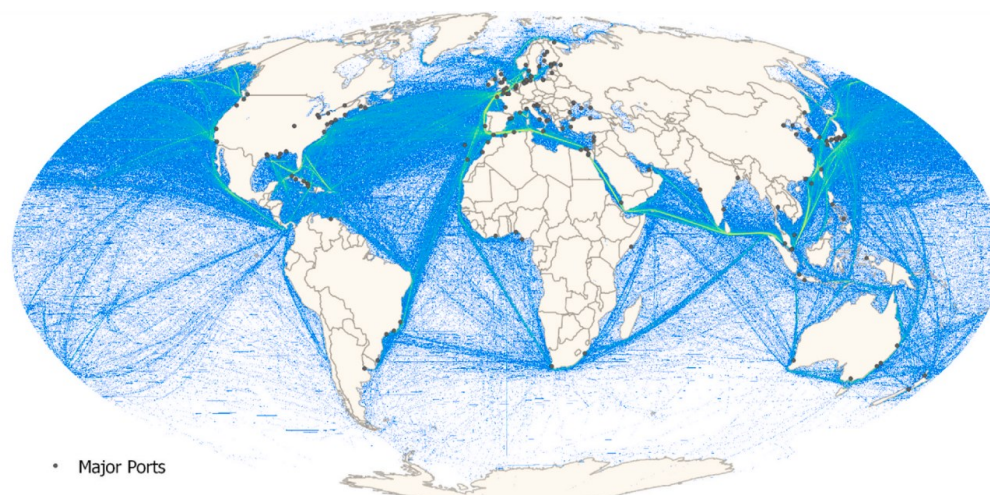


Figura 2-6 Mapa global con rutas marítimas y principales puertos indicados por puntos [19]

Aunque el transporte marítimo permite el movimiento masivo de mercancías, conlleva altos costos en términos de contaminación tanto de agua como de aire. El transporte marítimo representa aproximadamente el 3% de los GEI a nivel mundial, así como el 13% de las emisiones de óxido nítrico y el 12% de las emisiones de óxido de azufre [20]. Si se considerase el transporte naval como un país, sería el sexto emisor de GEI. Sólo Estados Unidos, China, Rusia, India y Japón tienen una emisión mayor que la flota mundial [15].

Sobre el impacto en la salud humana, es una evidencia que la descarbonización de este sector tendría un amplio efecto beneficioso ya que, esta contaminación actúa directamente en enfermedades respiratorias, cardiovasculares y metabólicas, accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, resultados adversos en la fertilidad e incluso mortalidad prematura en periodos de alta exposición [21] [22].

2.1.4 Huella de Carbono

Se denomina a la huella de carbono como la medida con la que se cuantifica el impacto de la emisión de GEI producida por una actividad en el medio ambiente. Es un indicador ambiental que refleja la cantidad de GEI, que se expresa como CO₂ equivalente, pudiendo ser emitida de manera directa o indirecta como consecuencia de una actividad determinada [23]. El CO₂ equivalente es la cantidad en toneladas o kilos de dióxido de carbono emitidos que provocaría el mismo forzamiento radiativo integrado, en un determinado periodo de tiempo, que una cantidad específica emitida de un gas de efecto invernadero o de una combinación de ellos [24].

Para obtener un valor comparable y normalizado, se utiliza el Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés, Global Warming Potential) como parámetro para considerar la contribución de cada gas. Este cálculo está definido en los principios del Protocolo de emisiones de gases de efecto invernadero o la norma ISO 14.064. Se compara el poder de calentamiento de la masa de gas o combinación de gases en concreto con el poder de calentamiento de la misma masa de CO₂.

Esto permite expresar el efecto combinado de estos gases en una base de medida común, denominada CO₂ equivalente (CO_{2eq}).

El creciente interés en la competitividad, las emisiones y la huella de carbono ha impulsado a diversas organizaciones a proponer modelos para medir e informar los impactos de los gases de efecto invernadero tanto en productos como en servicios. El principal objetivo de estos modelos es facilitar la definición de estándares nacionales. La forma de operar puede ser distinta, ya que se pueden centrar en reducir emisiones en los procesos de producción como enfocarse en mejorar la calidad de la información ambiental que se ofrece a las autoridades. El desarrollo y aplicación de estas metodologías para calcular la huella de carbono, tiene como objetivo su integración como un factor determinante más en la toma de decisiones. Se pueden distinguir tres categorías de metodologías:

- Guías generales: Normas ISO que aclaran los estándares de referencia para calcular emisiones de CO₂. Norma ISO 14040 sobre Análisis de Ciclo de Vida y la BS ISO 14064-1:2006 sobre GEI.
- Guías específicas: establecidas para el cálculo, contabilidad y realizar un seguimiento de los GEI. Una guía específica podría ser la PAS 2050 “Verificación de la Huella de Carbono”.
- Herramientas de cálculo para actividades específicas como el transporte.

Se espera que estas iniciativas pasen a ser acciones mandatorias y legales que requieran la divulgación de información sobre la huella de carbono al público [23].

Estos modelos o metodologías son formas de contabilizar las emisiones de GEI producidas, teniendo en común la recopilación de datos sobre consumo y emisión para crear un inventario exhaustivo de emisiones. Se pueden diferenciar tres tipos de emisiones [25]:

- Alcance 1: emisiones directas, provenientes de fuentes bajo control, como la combustión en equipos utilizados en operaciones.
- Alcance 2: emisiones indirectas, están directamente relacionadas con la energía que se adquiere por la empresa en sus procesos productivos.
- Alcance 3: emisiones indirectas provenientes de fuentes externas, es decir, actividades contratadas realizadas por terceros.

2.1.5 Indicador de Intensidad de Carbono (IIC)

El Indicador de Intensidad de Carbono es una medida que evalúa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por unidad de actividad económica, producción o consumo. Su objetivo es cuantificar la eficiencia en la utilización de recursos energéticos y la generación de emisiones de carbono asociadas [26].

Por tanto, empresas como Repsol, abogan por un control y una acción a tiempo para adaptarse al Acuerdo de París y lograr emisiones netas cero para el año 2050. Repsol ha creado un Indicador de Intensidad de Carbono (IIC). Este indicador se utilizará para supervisar el progreso de la empresa en esta transición y para identificar las acciones más efectivas en cada etapa del proceso. Este indicador queda expresado como g CO_{2eq}/MJ. Para ello, se utiliza la expresión, mostrada en la Figura 2-7, para su cálculo.

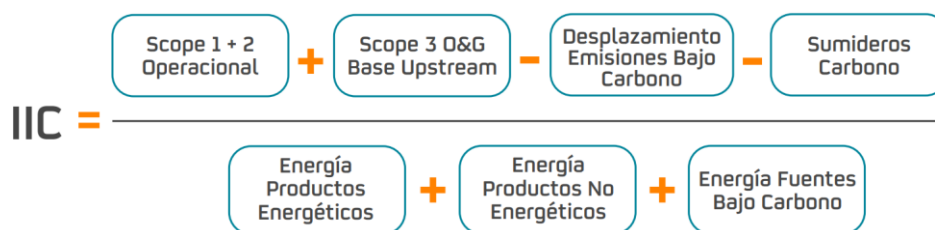


Figura 2-7 Esquema de cálculo del IIC de Repsol [26]

2.1.6 Well to Wheel

La necesidad de analizar el ciclo de vida de un combustible o fuente energética proporciona una comprensión detallada del impacto ambiental asociado con el uso de diferentes combustibles, en todas sus etapas. Con este análisis se puede identificar áreas críticas de mejora, contabilizar la emisión completa realizada y con ello valorar opciones para reducir emisiones de GEI. Por tanto, este análisis abarca todas las etapas desde su producción, transformación y distribución hasta su uso en el vehículo. Este enfoque se conoce como "del pozo a la rueda" (WtW, por sus siglas en inglés, Well To Wheel) [27].

El ciclo completo del combustible se divide en dos fases distintas:

- Del pozo al tanque (WtT, por sus siglas en inglés, Well to Tank): Esta fase considera las emisiones generadas durante la obtención, transformación y distribución de cada tipo de combustible, antes de que llegue al tanque del vehículo.
- Del tanque a la rueda (TtW, por sus siglas en inglés, Tank To Wheel): Aquí se contabilizan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por el vehículo durante su funcionamiento, una vez que el combustible está en su tanque y se está utilizando.

2.2 Contexto y Acuerdos Internacionales

La preocupación por el estado del medioambiente y las acciones tomadas para su preservación han tenido un crecimiento paralelo a la par que proporcional. De vital consideración es conocer, como se ha actuado a lo largo de las distintas decisiones que han cambiado el ritmo a nivel mundial para así, en función de todos los aprendizajes acumulados, saber dónde aparece el compromiso actual y su porqué.

2.2.1 Primera Cumbre para la Tierra

Del 17 de agosto al 6 de septiembre de 1949 en Lake Success, Nueva York, la Conferencia Científica de las Naciones Unidas sobre la Conservación y Utilización de los Recursos, marcó el primer paso hacia la consideración de la gestión y el agotamiento de los recursos naturales. Su enfoque principal se trataba en la forma de administrar recursos, en busca del beneficio del desarrollo económico y social, dejando aparte cuestiones sobre su conservación.

El 29 de mayo de 1968, los principales órganos de las Naciones Unidas comenzaron a darle la importancia requerida a las cuestiones ambientales, de manera que el Consejo Económico y Social fue el primero en incluir específicamente estas cuestiones en su agenda. Aquí nace la decisión por parte de la Asamblea General, de organizar la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano [28].

Siguiendo con la motivación del punto anterior, del 5 de junio al 16 de junio de 1972, se celebra en Estocolmo (Suecia) la Primera Cumbre para la Tierra, véase en Figura 2-8. En esta Conferencia Científica de las Naciones Unidas, se aprobó una declaración que establecía principios para la conservación y mejora del medioambiente. Destaca la aparición del concepto de medioambiente, aunque sin mucha relevancia ya que no fue una de las preocupaciones principales. En su lugar, resaltaron temas como los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad y las fuentes de energía renovable [28]. Esta declaración mencionada tiene como nombre La Declaración de Estocolmo. La conforman una proclama con 6 Considerandos y 26 Principios enfocados en la preservación y mejora del medio humano. Además, un Plan de Acción que ofrece recomendaciones para guiar la acción ambiental a nivel internacional.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano, enfrentó el desafío y destacó la importancia de la sostenibilidad justo en un periodo proclamado por el crecimiento económico. Junto con el Plan de Acción sentaron las bases de futuras conferencias y acuerdos internacionales futuros. Ejemplo de ello, nace el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y posterior a ello, la Convención sobre el Cambio Climático (UNFCCC) entre otros [29].



Figura 2-8 Sesión de apertura de la Primera Cumbre de la Tierra [30]

2.2.2 Conferencia de las Partes (COP)

La COP es la Cumbre Anual que realiza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) donde tienen derecho a reunirse los 196 países más la Unión Europea que conforman las Partes [31]. Esta conferencia es el órgano supremo de toma de decisiones de la Convención, donde los Estados que son Partes están representados para examinar la aplicación de la Convención o la adopción de un instrumento legal considerando fomentar su efectiva aplicación. En esto se incluye los ajustes institucionales y administrativos necesarios [28].

El principal objetivo de la Conferencia de las Partes reside en la consideración de un medio práctico para fomentar la actuación gubernamental y de organizaciones internacionales en la protección y mejora del medio humano. Proporcionando así orientación mediante cooperación internacional, para prevenir daños ambientales, con particular énfasis en capacitar a los países en desarrollo para prevenir la aparición de problemas de este tipo.

A menos que las Partes determinen lo contrario, la COP se reúne anualmente. La sede habitual de la COP es Bonn, donde se encuentra la secretaría, a menos que una Parte se ofrezca para albergar la reunión. Así como la Presidencia de la COP, va alternándose entre las cinco regiones reconocidas por la ONU, existe una tendencia a que la sede también varíe entre este grupo.

En cada conferencia celebrada, se han perseguido distintos objetivos y con ello la evolución y seguimiento de resultados. Es importante remarcar, además de todas las COP celebradas, cuáles han tenido un impacto mayor a nivel mundial y cuáles han sido las metas a cumplir a lo largo de estas décadas. Por tanto, con motivo de hacer visible la influencia y extensión, las conferencias celebradas se encuentran en la Tabla 2-3.

Sesión	Ciudad	País	Fecha
COP 1	Berlín	Alemania	1995
COP 2	Ginebra	Suiza	1996
COP 3	Kioto	Japón	1997

COP 4	Buenos Aires	Argentina	1998
COP 5	Bonn	Alemania	1999
COP 6	La Haya	Países bajos	2000
COP 6-2	Bonn	Alemania	2001
COP 7	Marrakech	Marruecos	2001
COP 8	Nueva Delhi	India	2002
COP 9	Milán	Italia	2003
COP 10	Buenos Aires	Argentina	2004
COP 11	Montreal	Canadá	2005
COP 12	Nairobi	Kenia	2006
COP 13	Bali	Indonesia	2007
COP 14	Poznan	Polonia	2008
COP 15	Copenhague	Dinamarca	2009
COP 16	Cancún	México	2010
COP 17	Durban	Sudáfrica	2011
COP 18	Doha	Catar	2012
COP 19	Varsovia	Polonia	2013
COP 20	Lima	Perú	2014
COP 21	París	Francia	2015
COP 22	Marrakech	Marruecos	2016
COP 23	Bonn	Alemania	2017
COP 24	Katowice	Polonia	2018
COP 25	Madrid	España	2019
COP 26	Glasgow	España	2021
COP 27	Sharm el-Sheij	Egipto	2022
COP 28	Dubái	Emiratos Árabes Unidos	2023

Tabla 2-3 Conferencias de las Partes celebradas [32]

De todas las COP celebradas, las que han llegado a tener una mayor influencia, consiguiendo así acuerdos a nivel mundial a favor de la reducción de emisiones son:

- COP3: El Protocolo de Kioto, es un tratado jurídicamente vinculante, que contiene 28 artículos y dos anexos. Defiende los objetivos y principios que la Convención, pero la refuerza el significativamente compromiso de las Partes incluidas en el anexo I, comprometidas en limitar o reducir sus emisiones. Se establece que los países desarrollados deben alcanzar una reducción total del 5% con respecto a los niveles de 1990. La evaluación de este protocolo se llevaría a cabo entre 2008 – 2012 [33].

Para lograr este objetivo, se emplean los compromisos existentes en la Convención, como la adopción de políticas para reducir emisiones de GEI. Se establecen periodos de compromiso y se exige a los países desarrollados a proporcionar recursos financieros adicionales a países en desarrollo. Cuenta con procedimientos de revisión establecidos en la Convención y cuenta con un sistema de cumplimiento robusto que incluye un comité de cumplimiento.

- COP21: El Acuerdo de París, es un tratado internacional jurídicamente vinculante, que, por primera vez, establece el principal objetivo de que el aumento de la temperatura media global no exceda los 2°C en comparación con los niveles preindustriales, y se compromete a que todos los países realicen esfuerzos adicionales para limitar este incremento a 1,5°C [34].

Todas las partes también se comprometen a implementar medidas internas para alcanzar estos objetivos. De esta manera, se establece un sistema de transparencia compartido para todos los países, con el fin de monitorear los compromisos y progresos. Se insta un mecanismo de ambición denominado “Global Stocktake”, es un proceso de revisión para evaluar el progreso colectivo. Tiene comienzo en 2023 y se realiza cada 5 años.

Destaca la conciencia adaptada para reconocer la importancia de evitar, minimizar y abordar las pérdidas y daños relacionados con el cambio climático.

Además, se establece proporcionar apoyo tecnológico, financiero y de capacitación a países en desarrollo. Esto supone un paso crucial para promover un futuro sostenible mediante acciones ambiciosas en adaptación y mitigación.

Con motivo de asentar la evolución y concluir con todo el desarrollo, se muestran las recientes conclusiones y objetivos alcanzados en la COP celebrada más reciente a fecha de redacción de este TFG, la COP 28, en Dubái, del 30 de noviembre hasta el 13 de diciembre de 2023 (véase Figura 2-8). Esta conferencia ha sido marcada por resaltar su enunciación como, el principio del fin de los combustibles fósiles. La transición para dejar atrás los combustibles fósiles ha sido la motivación protagonista de esta conferencia.

Simo Stiell, el responsable de cambio climático de la ONU refleja con estas palabras la preocupación y líneas de acción actuales: *“La COP 28 también tenía que marcar el final del principal problema climático de la humanidad: los combustibles fósiles y su contaminación que está haciendo arder el planeta. Aunque en Dubái no pasamos totalmente la página de la era de los combustibles fósiles, este resultado es claramente el principio del fin [37]”*. De esta manera, António Guterres, secretario general de las Naciones Unidas, cita: *“A aquellos que se opusieron a una referencia clara a la eliminación progresiva de los combustibles fósiles en el texto de la COP 28, quiero decirles que la eliminación progresiva de los combustibles fósiles es inevitable, les guste o no”*.



Figura 2-9 Conferencia de las Partes 28, Dubái, Emiratos Árabes Unidos 2023 [38]

Siendo el objetivo, alcanzar el entendimiento de la situación actual, será necesario apreciar las conclusiones finales y el contenido del Acuerdo de Dubái [39]. Como conclusiones obtenidas por Sanda Ojiambo, directora ejecutiva de UN Global Compact y subsecretaria general de Naciones Unidas [40]:

- La construcción de consenso es esencial pero frecuentemente difícil. Se logra un acuerdo sin precedentes en relación con el acuerdo de París, aunque persisten discrepancias sobre la eliminación de los combustibles fósiles. Sin embargo, la dirección es clara.
- Las acciones corporativas en materia de energías renovables y financiación climática son fundamentales. La intención es involucrar a más empresas, para así fomentar una mayor colaboración empresarial en el desarrollo de los planes nacionales e internacionales.
- Los esfuerzos a nivel global y local deben asegurar cambios hacia la energía renovable, para que sean efectivos y equitativos. Es un paso crucial que la transición sea justa y ninguna Parte pueda quedar rezagada o con un desarrollo atrasado.

Por último, queda relatar el contenido del Acuerdo de Dubái. Este acuerdo, firmado por 198 países, destaca por el reconocimiento de la necesidad prácticamente inmediata para conseguir la reducción de GEI para mantener alcanzable el objetivo de limitar el calentamiento global a 1,5°C. Los puntos clave que incluye son:

- Objetivo 2030: triplicación de la capacidad global de energías renovables además de duplicar la tasa media anual mundial de mejora de la eficiencia energética.
- Reducción del carbón: es decir, reducción de energía basada en carbón.
- Cero emisiones: desarrollo de sistemas energéticos con emisiones netas 0 a nivel mundial.
- Abandono ordenado y progresivo de combustibles fósiles.
- Desarrollo de tecnologías limpias.
- Reducción de gases distintos al CO₂: principalmente enfocado en la disminución de emisiones de metano para 2030.
- Transporte sostenible.
- Eliminación de subvenciones ineficientes a combustibles fósiles.

Se resalta la cooperación internacional, con intención de fortalecer los incentivos y regulaciones para dirigir y orientar las inversiones hacia la reducción de emisiones. Se establece un mecanismo para apoyar el desarrollo a través de capacitación, con intercambio de conocimientos y asistencia técnica.

Por otra parte, los países firmantes se comprometen a comunicar cada 5 años sus contribuciones nacionales, enfatizando en la transparencia necesaria en la presentación de información. Aunque el acuerdo no defiende sanciones por incumplimiento, queda reflejado un historial de todas las políticas y cambios adaptados.

2.2.3 Agenda 2030

La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprueba la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Se puede definir como un plan de acción para mejorar el estado de las personas y del planeta, además de promover la paz universal y el acceso a la justicia [41].

La Agenda contiene 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (véase Figura 2-10), incluyendo 169 metas que contemplan las áreas económicas, sociales y ambientales. Los Estados miembros reconocen el desafío primordial de erradicar la pobreza para lograr un desarrollo sostenible, siendo éste el más complejo. Estos objetivos son las bases en las que se registrarán los programas y políticas globales, abogando al compromiso de los países para movilizar recursos, y centrar esfuerzos en los más desfavorecidos.



Figura 2-10 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 [41]

El ODS al que responde directamente este estudio es el 13 “Acción por el Clima”. En el Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de 2023, las conclusiones obtenidas son las siguientes [42]:

- Necesidad de reducir las emisiones mundiales de GEI para evitar el punto de inflexión de 1,5°C.
- Necesidad de cumplir con la educación ambiental sobre cambio climático en todo el mundo.
- Elevación sin precedentes del nivel del mar.
- El cumplimiento del objetivo de financiación anual de 100.000 millones de dólares anuales por parte de los países desarrollados.

2.3 Descarbonización

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico es el organismo principal encargado de elaborar y armonizar las políticas relacionadas con la descarbonización y la lucha contra el cambio climático. Este conjunto de programas ideados se recoge en la Estrategia de Descarbonización a largo Plazo 2050. Dicta los objetivos a conseguir para 2050, de modo que esté en concordancia con los objetivos a nivel nacional, europeo e internacional [43].

El primer concepto para conocer es la neutralidad climática, siendo el balance entre cantidad de emisiones de GEI y las que se pueden eliminar o retirar de distintas formas. Este balance busca ser cero, también conocido como huella cero de carbono [44]. Como consecuencia, para así conseguir este balance surge la necesidad de descarbonizar los sectores emisores. Por tanto, la descarbonización se puede definir como un proceso gradual que busca la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera. Estas emisiones son resultado de actividad humana y la forma en la que producimos energía [45].

En la Figura 2-11, la Estrategia de Descarbonización a largo plazo 2050 plasma el desafío de descarbonizar el sector del transporte en carretera, aviación y marítimo, de forma cronológica se muestra cada avance y desarrollo esperado al año futuro. Además, se estima la cantidad emitida, cada vez más reducida, hasta llegar al punto de tener más alcanzable la neutralidad climática. Se pueden apreciar las líneas de acción que se espera tomar, resaltando la aparición de los combustibles sostenibles, entre ellos el combustible renovable estudiado en este trabajo. El desarrollo de estos avances debe formar parte del presente para su futura utilización.

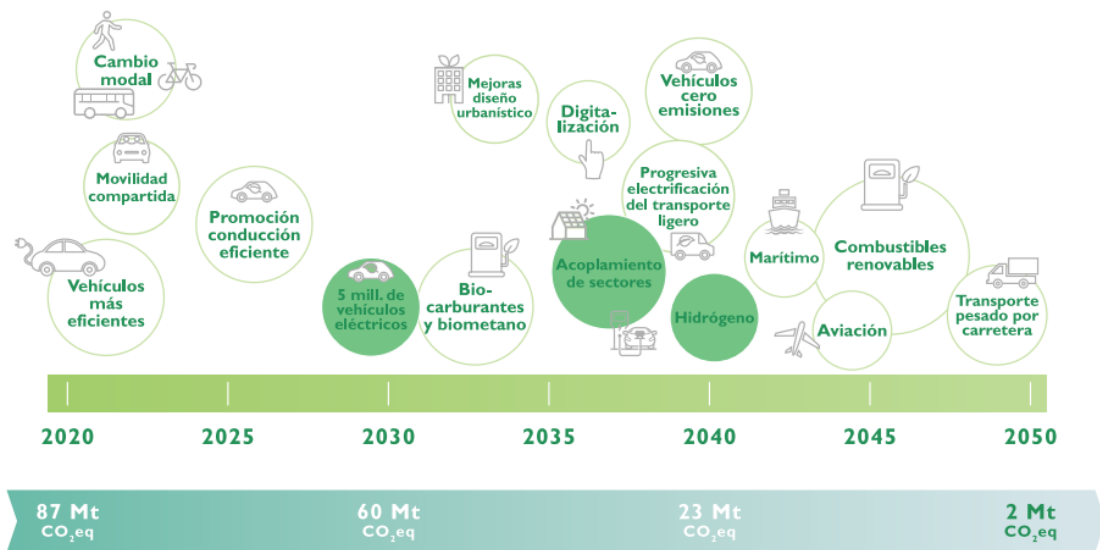


Figura 2-11 Evolución cronológica esperada junto a avances tecnológicos y reducción esperada [43]

2.3.1 Alternativas para descarbonizar el sector naval

Para alcanzar la movilidad sostenible en el sector naval, encontramos distintos proyectos en desarrollo que buscan reducir las emisiones GEI y mejorar la eficiencia energética de las embarcaciones. Estos proyectos incluyen la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de propulsión más limpias, así como la exploración de diversas alternativas de combustibles, las rutas verdes, el desarrollo de la electrificación de infraestructuras, aprovechamiento de energías renovables como energía solar o eólica o desarrollo de pilas de hidrógeno. En este apartado, se debaten directamente los combustibles más adecuados para la descarbonización del sector, por tanto, las alternativas son [46]:

- Hidrógeno: se destaca como una fuente de energía limpia y renovable, ya que en su uso al quemarse o reaccionar con oxígeno en una celda de combustible, produce energía y solo

emite agua como subproducto. De esta manera es una alternativa muy atractiva para contribuir a la movilidad sostenible. Aunque enfrenta desafíos tecnológicos y económicos, la investigación y el desarrollo continúan para impulsar su adopción. Tanto como combustible directo en motores de combustión interna como en celdas de combustible, se posiciona como una opción prometedora.

- Metanol: son varias las ventajas ofrecidas como combustible marítimo, incluyendo su facilidad de manejo y cumplimiento de requisitos de seguridad y compatibilidad con motores. Sin embargo, su síntesis implica la emisión de carbono, planteando desafíos futuros.

Su viabilidad como combustible con cero emisiones depende del proceso de producción y la fuente de carbono utilizada. El crecimiento de inversiones en metanol requerirá un diálogo fortalecido entre los actores de la demanda y la oferta.

- Amoníaco: prometedor combustible, dado a su alto contenido energético y capacidad para producir vapor de agua y nitrógeno como subproductos, sin emisiones de CO₂ si se produce a partir de fuentes renovables. Su implementación enfrenta desafíos significativos, incluyendo la seguridad en su manejo y almacenamiento debido a su naturaleza tóxica y corrosiva, así como la necesidad de desarrollar motores y sistemas de combustión para maximizar su eficiencia. Se requieren inversiones considerables en investigación y desarrollo, como el establecimiento de nuevas normativas.
- Gas Natural Licuado (GNL): es una forma de gas natural enfriada a temperaturas muy bajas (-162 grados Celsius), convirtiéndolo en un líquido denso y fácil de transportar y almacenar. Ofrece alta eficiencia energética y un rendimiento superior en propulsión, lo que se traduce en un menor consumo. Su amplia disponibilidad y sólida infraestructura de suministro y regasificación lo convierten en una opción segura y accesible. Con regulaciones ambientales más estrictas, permite cumplir con los estándares de emisiones.

Destacamos dos combustibles que son el biodiesel y el diésel renovable. En primer lugar se ha definido el biodiesel junto a sus ventajas y desventajas [47]. De esta manera se esclarece y justifica que el diésel renovable, sea elegido como principal actor de este estudio.

El biodiesel (éster metílico de ácido graso/FAME) consiste principalmente en ésteres metílicos de ácidos grasos, un biocombustible líquido sintético, producido a partir de aceites vegetales o grasas animales mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación. Se utiliza como sustituto parcial o total del petrodiesel. Cuando se emplea como sustituto completo se conoce como B100, mientras que otras denominaciones como B20 o B40 indican el porcentaje de biodiesel en la mezcla.

Las ventajas que ofrece son la reducción significativa de emisiones, suponiendo una disminución entre el 25% y 80% en emisiones de CO₂. Posee un índice de cetano y lubricidad superiores, siendo el índice de cetano la medida que sirve como referencia para evaluar el grado de inflamabilidad de un combustible diésel, proporcionando así información sobre la eficiencia de la combustión interna del motor [48].

Las desventajas que ofrece son la deforestación a consecuencia de la expansión de plantaciones de aceite de palma utilizadas para la producción de biodiesel. Tiene capacidad energética ligeramente menor, aunque lo compensa en parte con un mayor índice de cetano, se observa en combustiones más completas con menor compresión. Presenta desafíos logísticos de almacenamiento debido a su naturaleza hidrófila y degradable, necesitando una planificación cuidadosa de la producción y distribución.

La principal preocupación radica en la inestabilidad del biodiesel para el almacenamiento a largo plazo y su susceptibilidad a la autooxidación a temperatura ambiente debido a la presencia de ácidos grasos insaturados y polinsaturados. Esta baja estabilidad de oxidación conlleva a la formación de gomas y sedimentos, así como al espesamiento del combustible, lo que eventualmente puede ocasionar obstrucciones en los inyectores y filtros.

Sin embargo, el diésel renovable, también conocido como diésel verde, representa una opción más prometedora para abordar la rápida disminución de los combustibles fósiles y superar las limitaciones del biodiésel. Utiliza materias primas similares a las del biodiesel, como aceites vegetales, grasas animales, aceite de cocina usado y biomasa lignocelulósica. Comparte objetivo ya que su producción se basa en la reducción de emisiones de CO₂ y proporcionar una combustión más limpia.

A diferencia del biodiesel, el diésel renovable puede almacenarse durante periodos prolongados debido a sus propiedades similares al diésel de petróleo. Esto se debe a que contiene una mezcla de hidrocarburos saturados de cadena recta y ramificada (C15 a C18) y no contiene oxígeno. Además, el diésel exhibe un rendimiento excelente en climas fríos ya que es más fácil de combustionar por su alto índice de cetano.

Las propiedades ventajosas del diésel renovable, como su alto poder calorífico, densidad energética comparable al diésel de petróleo, estabilidad excepcional de almacenamiento y no corrosividad, lo convierten en una alternativa superior como fuente de energía.

2.3.2 Descarbonización en las Fuerzas Armadas

Las Fuerzas Armadas se reconocen como un sector clave a descarbonizar debido a su alto impacto ambiental, causado por su exclusión de los esfuerzos de cumplir con normativas de regulación de emisiones de GEI. El principal desafío que enfrenta es la medición de las emisiones en las actividades militares, ya que es el paso inicial para establecer objetivos de reducción y la consiguiente evaluación para la adaptación de políticas de descarbonización. Ya el secretario general de la OTAN en la COP27 hizo consciencia de la necesidad de metodologías precisas para calcular las emisiones militares, y por tanto de la creación de un sistema para llevarse a cabo [49].

En línea con los objetivos establecidos para conseguir el balance climático en 2050, se espera que el sector militar invierta en tecnologías verdes forjando así el compromiso con la descarbonización y los acuerdos internacionales aprobados. Con ello, debe ser compatible con las prioridades operativas de fiabilidad y seguridad, aunque podría resultar más costoso y requerir asignaciones presupuestarias más grandes. Se presume que esta transición no será ni fácil ni rápida, esto se debe a la existencia de sistemas de armas pesadas, como aviones, tanques o buques de guerra que todavía tienen una directa dependencia de combustibles fósiles. Para ello se necesita de capacidad de investigación y desarrollo en el sector militar y civil.

Otro factor que ralentiza la descarbonización es la extensa duración de los procesos de adquisición y vida útil de los equipos. Por ejemplo, es el caso de los aviones de combate F-16 que entraron en servicio en EE.UU. en 1979 con una retirada prevista para 2040. La única solución en estos casos es realizar cambios en la estructura, para implantar otro sistema.

En lo que respecta al avance, existen iniciativas que empiezan a orientar la dirección del desarrollo esperado, como es la mejora de los vehículos militares, uso creciente de fuentes renovables o cambio de equipamientos hacia otros que supongan un consumo menor, por el ejemplo, el uso de drones. La integración de drones en operaciones favorece la reducción de emisiones, al igual que la tecnología de fabricación 3D.

Respecto a las energías renovables, como eólica o solar, presentan riesgos que podrían impactar en la capacidad de las operaciones, incluso elevar la gravedad de un conflicto en la seguridad nacional. Estas fuentes no pueden proporcionar una permanencia segura en el momento de su uso, por lo que supondrían solo un apoyo.

En el futuro, la transición hacia energías renovables en las Fuerzas Armadas ofrece oportunidades para la descarbonización y mejoras en la seguridad. Se necesita inversión en I+D en defensa civil y militar. Los departamentos de defensa podrían liderar un cambio tecnológico en la sociedad al estimular la innovación para desarrollar soluciones sostenibles.

2.4 El medioambiente en la Armada

La Armada considera de vital importancia la integración de la protección y cuidado del medio ambiente a sus operaciones, políticas y el presente desarrollo que enfrenta. En armonía con los esfuerzos realizados a nivel mundial, conlleva una serie de implementaciones y medidas destinadas a minimizar el impacto ambiental de las actividades navales.

2.4.1 Organización medioambiental

La Armada tiene una estructura clara a la hora de gestionar la protección medioambiental y la eficiencia energética en sus operaciones. De manera concisa se puede concretar la organización de la siguiente manera [4].

El Almirante Jefe de Estado Mayor de la Armada (AJEMA) lidera la gestión ambiental, coordinado y asesorado en materia de protección medioambiental con el Almirante Jefe de Apoyo Logístico (AJAL). Esta concordancia está sincronizada con la Dirección General de Infraestructura de la Armada (DIGENIN).

Se encuentra en el Estado Mayor de la Armada, la División Logística (DIVLOG) que, entre sus funciones principales, se asumen el control y la coordinación de las medidas optadas para la protección del medio ambiente que afecten a buques, aeronaves o instalaciones. Dentro de la DIVLOG se diferencian dos secciones:

- Jefatura de Apoyo Logístico (JAL): asume la responsabilidad de planificar las acciones relacionadas con la gestión medioambiental y la eficiencia energética en instalaciones navales, sin perder el seguimiento de la DIGENIN.
- Sección de Infraestructura (INFRA): asume la responsabilidad de elaborar las acciones requeridas para garantizar el cumplimiento y progreso de las directrices y objetivos de la Política Ambiental y de eficiencia energética establecidos por el Ministerio de Defensa.

A su vez, dentro de la JAL se encuentra la Dirección de Infraestructura (DIN), con la responsabilidad de dirigir, gestionar, administrar y analizar los aspectos relacionados con los recursos hídricos y energéticos en la Armada.

2.4.2 Política ambiental en la Armada

La política Ambiental está liderada por el AJEMA, quien asume las responsabilidades y prerrogativas establecidas por la norma ISO 14001. En estos principios y compromisos se incluyen [50]:

- Garantizar la gestión adecuada de los residuos, vertidos y emisiones generados.
- Cumplir legislación ambiental aplicable y la normativa interna del Ministerio de Defensa.
- Transmitir y promocionar la Política Ambiental en toda la Armada.
- Establecer los procedimientos necesarios para proteger el medio ambiente y prevención de la contaminación.
- Mejorar continuamente el Sistema de Gestión Ambiental (SGA).
- Fomentar la concienciación, formación, cooperación y cultura ambiental.
- Promover relaciones institucionales que faciliten la gestión ambiental.
- Reforzar las medidas de ahorro y eficiencia energética, priorizando el uso de energías renovables.
- Uso racional de los recursos naturales.

2.4.3 Acciones medioambientales y líneas de acción

Para comprender la intención de la Armada en la búsqueda de la descarbonización, es necesario dejar escrito la manera en la que se manifiesta por parte del Ministerio de Defensa. La Línea 3.4.3 de la Estrategia Tecnológica de Investigación y Desarrollo para la Defensa (ETID) 2020 [6], se enfoca en la

investigación de combustibles certificados no derivados del petróleo. Esta directriz estratégica subraya el interés en explorar y desarrollar alternativas de combustibles para uso militar que sean independientes del petróleo.

El objetivo primordial de esta línea es identificar opciones de combustibles certificados que sean sostenibles, eficientes y adecuados para ser empleados en operaciones militares. Esto conlleva a reducir la dependencia de los combustibles derivados del petróleo y promover la diversificación de las fuentes de energía utilizadas por las fuerzas armadas.

La Armada consciente del compromiso permanente de preservar el medio ambiente y reducir la huella ambiental, ha emprendido una variedad de acciones y proyectos con esta intencionalidad. A pesar de que los buques de guerra no están legalmente obligados por el convenio MARPOL al cumplimiento de normativa establecida que rige la contaminación de los buques, la Armada se compromete en cumplirla, centrándose especialmente en el Anexo VI, que aborda las emisiones de gases contaminantes. Estas medidas implementadas para combatir la contaminación marina y atmosférica no solo van dirigidas a los buques sino también a las instalaciones en tierra. De esta manera, se redactan una serie de acciones medioambientales y líneas de acción [51].

Como primera gesta de la Armada a reflejar, es remarcable el concepto de “Buque Contaminación Cero”. La Armada ha liderado la construcción de este nuevo concepto de buques, certificación que tienen los Buques de Acción Marítima (BAM) (véase Figura 2-12). Se elimina el uso de amianto de las instalaciones, por tanto, se sustituye por revestimiento con propiedades térmicas superiores, fabricados con fibras minerales artificiales. Por otro lado, las pinturas que contenían tributilestaño (TBT), compuesto químico altamente tóxico para la vida marina, fueron sustituidas por alternativas antiincrustantes de cobre. Este tipo de avances causan que los protocolos de pintura de los buques se hayan vuelto cada vez más exigentes [52]. En el recién nombrado BAM, se implementa un sistema de gestión integral de residuos que incluye una recogida selectiva de basura a través de una cocina central única que sirve a los distintos comedores. Este sistema de reciclaje separa los materiales aprovechables de los no aprovechables, es decir, los residuos orgánicos, son triturados e incinerados, mientras los inorgánicos son triturados y compactados. Además, las aguas residuales son recolectadas mediante bombas de vacío y dirigidas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (TAR), donde son procesadas después de pasar por un triturador para ser descargadas al mar.



Figura 2-12 Buque de Acción Marítima "Furor" [53]

Otras soluciones implantadas son los cambios y adaptaciones en sistemas de propulsión. Se optan por sistemas de propulsión eléctrica. Se define buque eléctrico como aquel que está propulsado exclusivamente por motores eléctricos que reciben energía de generadores, que además alimentan de

energía a la planta auxiliar. El primer buque de la Armada en acercarse ha sido el BIO Hespérides, con un sistema de propulsión diésel-eléctrico. Este logro ha servido como un primer paso en el conocimiento de este tipo de tecnología. El primer buque de guerra eléctrico ha sido el buque Juan Carlos I, utilizando como maquinaria de propulsión una turbina de gas junto dos diésel generadores, teniendo como propulsores dos PODs de 11,0 MW cada uno. Se refiere a dispositivos sumergidos que cuentan con un motor eléctrico interno, el cual se conecta directamente a las hélices de paso fijo [51].

El principal consumo de los buques proviene de sus necesidades de propulsión, por lo que se busca concentrar sus esfuerzos en nuevas mejoras que permitan la reducción de gases contaminantes. Respecto a las instalaciones en tierra, la Armada ha demostrado mantener el mismo compromiso ambiental, de tal manera que se muestran dos ejemplos de ello.



a) B.I.O. Hespérides



b) LHD "Juan Carlos I"

Figura 2-13 Buques de la Armada con propulsión eléctrica a) y b)

Desde 2002, se han estado implementado Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) conforme a la normativa ISO 14001. Se define como una estructura organizativa que incorpora la asignación de responsabilidades, procedimientos, métodos y recursos para conciliar las misiones y tareas de las Fuerzas Armada con los objetivos establecidos en la política ambiental y en la gestión adecuada de recursos naturales. Se requiere un esfuerzo considerable para obtener estas certificaciones, especialmente en instalaciones complejas como los arsenales. La Armada ha sido líder en la implementación de SGA, ya que, en 1998, el Campo de Adiestramiento de la Sierra de El Retín se convirtió en la primera instalación militar de Europa en obtener esta certificación. Desde entonces se han establecido 45 SGAs, de los cuales 26 han sido certificadas por empresas independientes acreditadas por ENAC [54].

Además, la Armada ha estado llevando a cabo investigaciones en el campo de las energías renovables [55]. Específicamente, en búsqueda de una reducción notable en las emisiones de GEI, se estudia el desarrollo de instalaciones de energía renovable. Entre las unidades que están realizando estos estudios de viabilidad, se incluyen:

- Investigación sobre la implementación de energías alternativas renovables para calefacción y agua caliente sanitaria y estudio de viabilidad para la instalación de paneles solares en la Escuela de Suboficiales de Cádiz (Véase en Figura 2-14).



Figura 2-14 Escuela de Suboficiales de la Armada [56]

- Estudios de viabilidad para la construcción de plantas de cogeneración en la Escuela Naval Militar, con objetivo de reducir las emisiones de CO₂. (Véase en Figura 2-15).



Figura 2-15 Escuela Naval Militar [57]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Introducción a la investigación

La motivación de esta investigación reside en la obtención de la evidencia de la reducción de emisión de CO₂ a la atmósfera, con la utilización de diésel 100% renovable frente al combustible utilizado en la actualidad. La estrategia a seguir para conseguir esta evidencia es la siguiente, resumida en la Figura 3-1 diferenciando así tres etapas.

La primera etapa consta de la medición directa de la emisión de carbono en la plataforma de estudio. Para ello, es necesario embarcar en la plataforma y con un instrumento capaz de obtener y leer los datos requeridos, realizar la medición. En esta etapa se espera recoger información sobre el funcionamiento de la plataforma además de obtener la información necesaria sobre la emisión de gases al exterior, del combustible establecido para el uso de la plataforma. Además, se realiza un estudio de consumo, con el fin de obtener el consumo medio de la plataforma con este combustible. Se estudia el periodo concreto de actividad y las revoluciones medias alcanzadas, para así justificar el consumo y obtener su proporción.

La segunda etapa consta de la obtención de los datos de consumo y emisión de los dos combustibles en cuestión. Tanto el diésel como el diésel renovable serán utilizados por un mismo motor en las mismas circunstancias bajo el mismo experimento. En esta etapa se espera obtener los resultados que aprueben la evidencia de la reducción de intensidad de carbono en los gases de combustión, relacionado directamente con su consumo.

La tercera y última etapa, precisa de la extrapolación de resultados de la segunda etapa, ya obtenida la evidencia de la reducción de emisión de CO₂, para así obtener la estimación de consumo y emisión de diésel renovable en la plataforma.

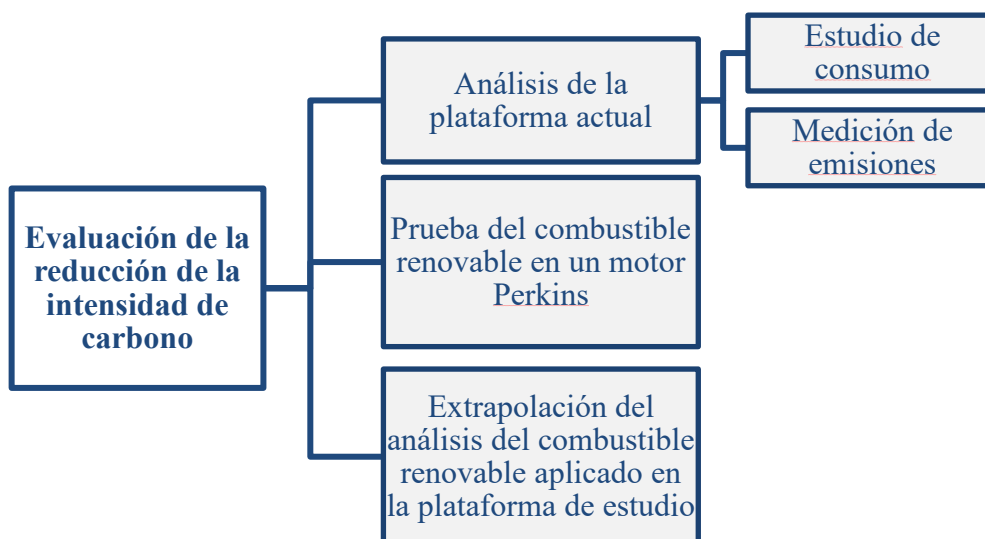


Figura 3-1 Esquema de la investigación (elaboración propia)

Respecto a la organización del Desarrollo del TFG, se diferencian los elementos esenciales a definir y se detallan las distintas experiencias de medición realizadas. En primer lugar, se desarrollará la selección de la plataforma de estudio, junto a la organización de sus equipos y el conocimiento de su motor. Además, se explica el motor Perkins empleado en las pruebas de la segunda etapa. Seguidamente, se detallan los tres combustibles que coexisten en el estudio, aclarando sus diferencias más notables, además del diésel utilizado en la Armada. Se reflejará posteriormente la información técnica del instrumento de medida junto con una buena práctica basada en la experiencia de su uso. Para finalizar el apartado del Desarrollo del TFG, se terminará relatando la experiencia y las condiciones en las que se realizaron las mediciones, tanto en la plataforma de estudio como en el motor Perkins.

3.2 Plataforma de estudio y equipos de análisis de gases

El concepto de plataforma de estudio engloba al medio o servicio proporcionado donde se realiza la investigación y así realizar las mediciones y análisis necesario. Atendiendo a los medios de la Escuela Naval Militar se realizará en las Lanchas de Instrucción (L.L.I.I.). Como Centro de Formación de futuros Oficiales, precisa de medios que permitan el desarrollo del alumno a flote, con intención de cumplir los siguientes objetivos para su formación:

- Familiarizar y habituar al alumno al medio en que ha de ejercer la profesión, siendo así la organización de un buque, tanto su estructura y equipos como la vida a bordo y las operaciones que se desempeñan.
- Con prácticas en condiciones reales, aplicar y asentar los conocimientos teóricos de las diferentes materias profesionales con objeto de desarrollar hábitos y habilidades necesarias.
- Habituar a los alumnos al mando de personas, desde la observación hasta el ejercicio efectivo del mando.

Por tanto, se refleja el Grupo de Lanchas de Instrucción, donde serán nombradas a continuación y mostradas en la Figura 3-2.

- Guardiamarina Barrutia (A-121)
- Guardiamarina Chereguini (A-122)
- Guardiamarina Rull (A-123)
- Guardiamarina Salas (A-124)
- Guardiamarina Godínez (A-127)
- Guardiamarina Herrero (A-128)



Figura 3-2 Lanchas de Instrucción (fuente propia)

En esta enumeración diferenciamos dos grupos, las cuatro primeras lanchas mantienen las mismas características en cuanto a sistemas y equipos. Las dos últimas, adquiridas en el año 2023 [58], a pesar de estar construidas en base al mismo modelo Rodman 66, cuentan con distintos y más avanzados sistemas. Entre ellas se han escogido 2 concretas, la Lancha de instrucción Guardiamarina Salas y la Lancha de Instrucción Guardiamarina Godínez. Toda la información expuesta sobre la L.I. GM Salas está recogida en el “Manual de las Lanchas de Instrucción A-121” [59].

Respecto a los equipos necesarios para completar la investigación, se detallarán el Motor Perkins y el analizador de combustión Testo 340. Estos equipos son de esencial necesidad para realizar cualquier etapa de esta investigación, por tanto, su conocimiento en el estudio debe quedar reflejado.

3.2.1 Características generales sobre Lanchas de Instrucción

Aun teniendo en cuenta la diferenciación dentro del Grupo de L.L.I.I. respecto a sus equipos y sistemas, la construcción de la estructura está basada en el modelo Rodman 66 por igual. Por tanto, comparten la misma distribución y características generales. Se describirá lo necesario para conocer la plataforma y seguidamente las especificaciones de cada Lancha se verán en los siguientes puntos.

En un primer lugar, es necesario tener una idea general de la embarcación y conocer la plataforma como tal. Para ello se muestran las principales características que resumen su identidad en la Tabla 3-1.

Característica	Valor
Eslora total	20,50 m
Eslora del casco	20,00 m
Manga del casco	4,90 m
Puntal	2,56 m
Calado aproximado en rosca	0,90 m
Capacidad de combustible	5000 l

Capacidad de agua	500 l
Propulsión	2 ejes y 2 hélices de paso fijo
Velocidad máxima	23 nudos
Velocidad crucero superior	15 nudos
Desplazamiento en rosca	29,5 toneladas
Tripulación prevista	16 personas
Alojamiento	16 personas

Tabla 3-1 Características principales L.L.I.I. [59]

Respecto a la estructura de la Lancha de Instrucción, es una embarcación fabricada en PRFV (Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio), con una forma adoptada para que evite que se atravesie a la mar y permite que, con la mar de proa, las líneas de la obra viva y su flotabilidad le proporcionen un movimiento de cabeceo suave, ayudado por su forma de casco en V. Se aprecia su estructura en la Figura 3-3.

La embarcación tiene una cubierta corrida y está provista de un puente y un aula sobre la cual se encuentra instalada la instrumentación de mando y control. En el mismo puente se encuentra el control de la propulsión, de esta manera el Sr. Comandante está al alcance en caso de emergencia permitiendo a su vez mirar hacia proa. Desde el puente, se tiene acceso a la cubierta inferior, donde se encuentra a proa la zona de habitabilidad y a popa la cámara de máquinas pasando antes por el compartimento de tanques de combustible. A la cámara de máquinas también se puede acceder desde una escotilla en la toldilla de la plataforma.



Figura 3-3 Vista de perfil y de planta de una Lancha de Instrucción [59]

Según la Figura 3-4 donde se aprecia la vista de perfil permitiendo ver su interior con un corte simétrico en el eje, y la vista de planta con un corte paralelo al plano permitiendo ver la disposición del puente de mando. La embarcación está subdividida en 4 zonas separados por mamparos transversales estancos y una cubierta. Estas zonas son: la zona 1 (puente de mando), la zona 2 (cámara de máquinas), la zona 3 (compartimento de tanques de combustible), y la zona 4 (zona de habitabilidad).

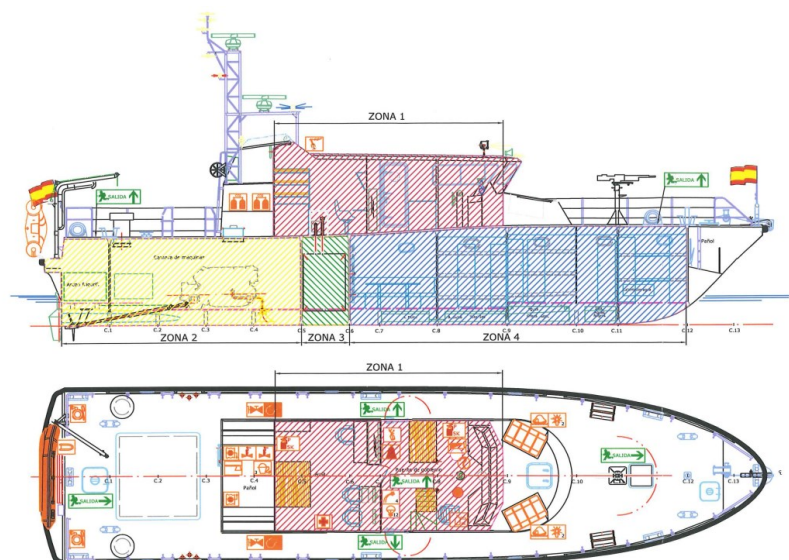


Figura 3-4 Planos de la Lancha de Instrucción con vista de perfil y de planta [59]

3.2.2 Propulsión de Lancha de Instrucción Guardiamarina Salas

En este apartado se detalla la información sobre el compartimento de tanques de combustible, cámara de máquinas y especificaciones del motor de la L.I. GM Salas.

El compartimento de tanques de combustible, posicionado entre el comedor y la cámara de máquinas, está separado por mamparos estancos, en los cuales se regula el acceso mediante puertas estancas.

Los tanques situados uno a cada banda de forma simétrica, a babor y a estribor de crujía de la lancha, tienen una capacidad total de 7000 litros en total, a diferencia del resto de lanchas que tienen una capacidad de 5000 litros. Su disposición es la siguiente, como se aprecia en la Figura 3-5.



Figura 3-5 Compartimento de tanques de combustible (fuente propia)

Estos tanques cuentan con registros de acceso atmosférico, sonda, indicador de nivel y sistema de purga en la parte inferior de ambos depósitos. En el indicador que aparece en la Figura 3-6 será donde se realizará la lectura del consumo.



Figura 3-6 Indicador de nivel del tanque de babor de L.I. GM Salas (fuente propia)

Respecto a la cámara de máquinas, es un espacio situado a popa de la lancha y encontramos los siguientes sistemas y equipos en ella. De popa a proa, encontramos los motores auxiliares, los motores principales acoplados a cada eje, y el cuadro eléctrico principal.

En la Figura 3-7 se adjunta foto tomada desde la popa de la cámara de máquinas, permitiendo ver el sistema propulsor que se explicará a continuación.



Figura 3-7 Cámara de máquinas L.I. GM Salas (fuente propia)

El sistema propulsor está compuesto por dos motores marinos diésel Caterpillar C18 y dos reductores-inversores hidráulicos ZF 550 A con reducción 1,971:1.

Este sistema está formado por dos propulsores cada uno movido por un motor a través de su eje. Al ser dos motores idénticos, uno a cada banda, tiene la opción de trabajo de manera sincronizada que permite su uso como un único motor, enlazando los módulos de control a un acelerador común.

El motor propulsor, mostrado en la Figura 3-8, es un motor diésel marino de alta potencia, sobrealimentado y de refrigeración por agua de mar. Respecto a su configuración, es un motor de 4 tiempos con 6 cilindros en línea, una inyección de combustible directa, una cilindrada de 18 litros y el sistema de admisión de aire es turboalimentado y postenfriado. Su potencia máxima para servicio continuo es de 746 kilovatios (kW), alcanzados a 2300 revoluciones por minuto (rpm).



Figura 3-8 Motor Caterpillar C18 (fuente propia)

Los enfriadores o “intercooler” que operan están diseñados para refrigerar tanto el agua dulce del circuito de circulación como el aceite del motor. Cada motor está equipado con un enfriador de retorno de combustible insertado en la línea de entrada de agua al motor. Cada uno tiene un escape independiente, que descarga hacia la popa del casco. Este conducto se enfría parcialmente por el agua salada utilizada en la refrigeración de los motores. Los gases de escape acceden a una turbina que comprime el aire aspirado por el motor. La función principal de la turbina es asistir en la compresión del aire que se introduce al motor.

Cumple con el estándar de emisiones Nonroad III de China, equivalente a Tier 2 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, sigla en inglés)

El sistema de refrigeración incluye una derivación hacia la bocina del eje, desde donde se evacúa al exterior a través del escape. Cada motor tiene un conducto de escape para los gases del cárter, que se expulsa hacia el costado del puente de la embarcación.

3.2.3 Propulsión de Lancha de Instrucción Guardiamarina Godínez

De forma análoga, se detalla el compartimento de tanques de combustible, la cámara de máquinas y especificaciones del motor de la L.I. GM Godínez.

Teniendo en cuenta que la disposición es la misma que la anterior, encontramos el compartimento de tanques de combustibles, uno a cada banda como se aprecia en la Figura 3-9. A diferencia de las características generales, esta lancha tiene 6000 litros de capacidad total.



Figura 3-9 Compartimento de tanques de combustibles de L.I. GM Godínez (fuente propia)

Estos tanques disponen de un tapón de relleno en cubierta e irán provistos de atmosférico, sonda o nivel óptico y retorno además de intercomunicación. Los tanques son de aluminio, instalados en ellos filtros separadores de agua en combustible, con alarma de nivel de agua. Además, cuentan con válvulas en la entrada y en la salida para asegurar de esta manera que no se desceben los motores al realizar alguna limpieza del filtro y de un “by-pass” de emergencia. Aun teniendo un indicador de nivel en el lateral como se aprecia en la Figura 3-9, esta lancha cuenta con un indicador cuantitativo en litros en el puente de mando, reflejado en la Figura 3-10. Lleva instalado dos niveles magnéticos de combustible de la marca TECFLUID. Este sistema está compuesto por el transmisor de nivel TR3420 y el indicador de nivel serie LT, se corresponden con el equipo azul y el indicador de nivel respectivamente.



Figura 3-10 Indicadores de nivel de los dos tanques de L.I. GM Godínez (fuente propia)

En la cámara de máquinas, mostrada en la Figura 3-11, se distinguen los siguientes equipos y sistemas con los que está equipada. En aspectos generales, de popa a proa, se encuentran los motores auxiliares, los motores principales acoplados y el cuadro eléctrico principal.



Figura 3-11 Cámara de máquinas L.I. GM Godínez (fuente propia)

El sistema de propulsión está formado por el motor propulsor marca MTU modelo 10V2000M84 (uno a cada banda), acoplado cada uno a un reductor/inversor ZF 2050. Al igual que en la L.I. GM Salas, tiene opción para la sincronización para operar de manera conjunta o tener régimen de trabajo distintos simultáneamente.

Este motor mostrado en Figura 3-12 es de 4 tiempos, con 10 cilindros en V, y con ello una cilindrada de 18 litros. Tiene una potencia de 1015 kW. El sistema de admisión de aire es turboalimentado y postenfriado, el sistema de arranque es eléctrico y el sistema de inyección es electrónico.

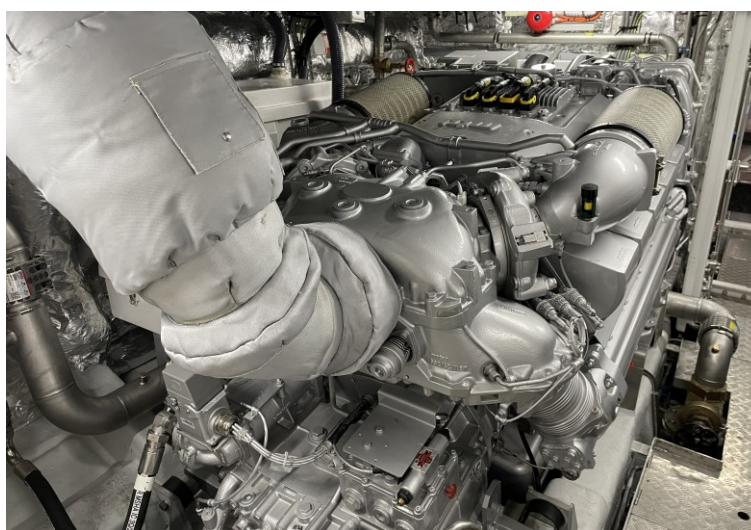


Figura 3-12 Motor MTU modelo 10V2000M84 (fuente propia)

El sistema de aire de combustión cuenta con turbocompresores de gases de escape, con tubo en Y de escape interno refrigerado por agua. Este sistema tiene un codo aislado térmicamente con tubo de expansión integrado y contrabrida para conexión flexible de la línea de escape del lado de la embarcación al tubo de escape.

3.2.4 Motor Perkins 403D-15

Como se detalla en la introducción a la investigación, será necesario realizar pruebas para obtener datos de emisión y de consumo de los dos distintos combustibles en mismas condiciones de estudio. El motor en el que se realizará será el Motor Perkins 403D-15, motor del laboratorio de motores del Centro Universitario de la Defensa (CUD), en la Escuela Naval Militar.

La serie 400 de Perkins comprende una amplia gama de motores en el rango de 0,5 litros a 2,2 litros. Este modelo, es de rango medio, combinando así rendimiento con bajo costo operativo y un diseño compacto. Además, es motor apropiado para aplicaciones industriales pequeñas, al ser un motor silencioso, con un sistema de combustible mecánico simple y simpleza de instalación y mantenimiento. Se aprecia el motor en la Figura 3-13 [60].

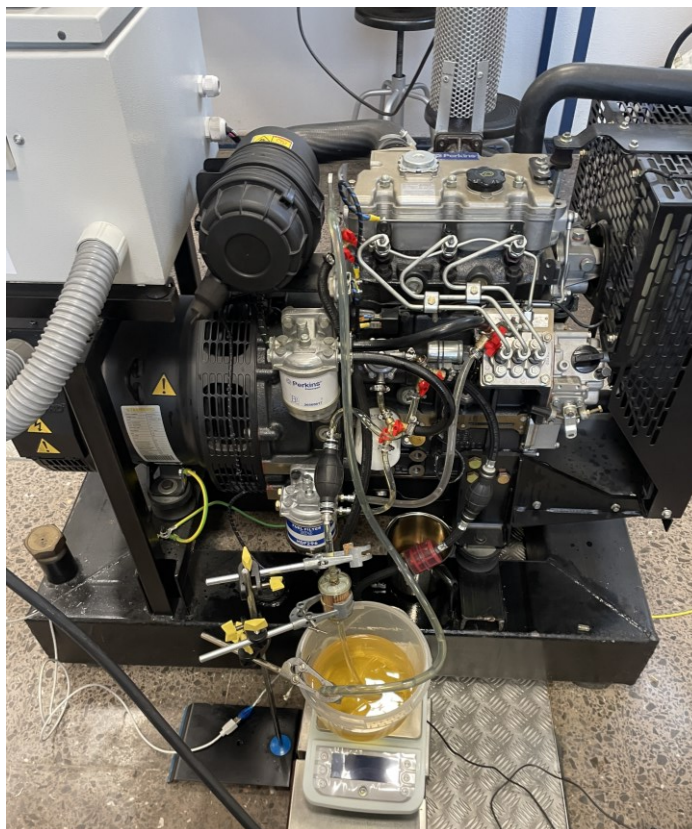


Figura 3-13 Motor Perkins 403D-15 (fuente propia)

Respecto a las emisiones emitidas, cumple con el estándar de emisiones EU Stage IIIA/U.S. EPA Tier 4 Interim equivalent, China NRIII.

Sobre las especificaciones técnicas del motor, aparecen reflejadas en la Tabla 3-2:

Especificación	Valor
Cilindros y configuración	Tres cilindros en línea
Velocidad máxima de operación	3000 revoluciones por minuto (rpm)
Aspiración	Aspiración natural
Inyección	Indirecta
Relación de compresión	22,5:1
Cilindrada	1,496 litros (l)
Calibre	84 milímetros (mm)
Carrera	90 milímetros (mm)

Tabla 3-2 Especificaciones del motor Perkins 403D-15 [60]

3.2.5 Analizador de combustión Testo 340

El instrumento de medición de emisiones utilizado en esta investigación es el analizador de combustión Testo 340. Este es un set básico para mediciones de emisiones de gases de combustión, recomendado para uso industrial.



Figura 3-14 Analizador de combustión Testo 340 [61]

Este dispositivo está diseñado para medir y analizar las emisiones de combustión, concretamente los siguientes gases que se relacionan. La lectura de gases que se realiza en las mediciones del estudio incluye la medición de porcentaje (%) de oxígeno (O_2) y de dióxido de carbono (CO_2) y la concentración (partes por millón, ppm) de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), y óxido nítrico (NO). Para obtener lecturas de estos gases, el analizador incluye cuatro sondas, y la medición del CO_2 , la realiza a partir del cálculo del O_2 . Además, ofrece lectura de temperatura ambiente y temperatura de gases ($^{\circ}C$) y el rendimiento.

Para la aplicación del Testo 340, es necesario conectar una sonda de temperatura, que será la parte que se expone directamente a los gases de combustión. Se muestra en la Figura 3-15.



Figura 3-15 Analizador de combustión Testo 340 junto a sonda de temperatura [61]

Este analizador efectúa mediciones ilimitadas con altas concentraciones de gas, ya que protege los sensores de manera automática con la activación del rango de medición (dilución). Sin embargo, no tiene medidas ante bajas concentraciones de gas y supone una limitación.

Este instrumento tiene una amplia gama de aplicaciones, donde destaca en la industria de la calefacción en calderas industriales, medición del servicio de motores industriales y análisis de los gases de la atmosfera en procesos térmicos.

3.3 Combustibles

En este apartado se define los elementos y procesos esenciales para conocer el diésel renovable. Una vez se explique en términos generales, se detallará el Diésel e+10 Zero Renovable 100% de Repsol. Además, se detallará sobre el combustible utilizado en las Lanchas de Instrucción, el Repsol Mardiesel e+ y el DFM F-76.

3.3.1 Diésel renovable

De la manera que se ha explicado antes, el diésel renovable también conocido como “diésel verde”, o “biodiesel de segunda generación”, es el combustible utilizado para referirse a combustibles similares al petrodiesel derivados de fuentes biológicas. El origen de su denominación como “verde”, nace directamente del color del propio combustible como de su origen de producción y efecto sobre los GEI.

El diésel renovable puede ser obtenido a partir de biomasa mediante diversas vías, como se muestra en la Figura 3-16. Los posibles materiales iniciales, como azúcares, almidones o materias primas celulósicas, pueden ser procesados mediante conversión catalítica, el proceso de Biomasa a Líquido (BTL, por sus siglas en inglés Biomass to Liquid) y la pirólisis para obtener diésel renovable como producto final. Asimismo, las grasas animales y aceites vegetales que contienen triglicéridos como una parte importante pueden ser tratados mediante pirólisis e hidroprocesamiento.

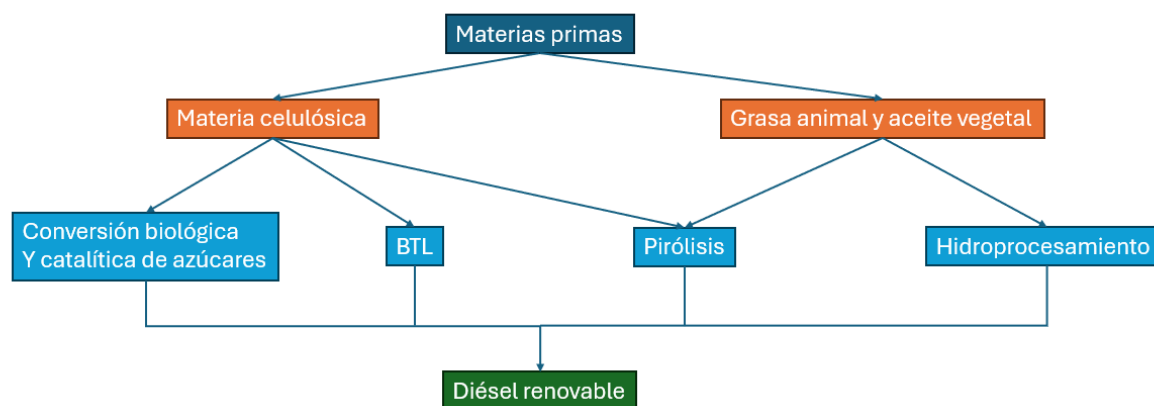


Figura 3-16 Diagrama de rutas para producir diésel renovable a partir de triglicéridos y biomasa celulósica (Elaboración propia; fuente :[62])

El diésel renovable simula el petrodiesel, siendo el objetivo de estos combustibles el mantener componentes ideales para igualar o incluso mejorar sus propiedades como combustible. El diésel renovable utilizado en este estudio es un tipo de combustible elaborado a partir de aceites vegetales, aceite de desecho y grasas animales mediante un proceso de hidrodesoxigenación de la materia prima, de donde recibe el nombre de aceite vegetal hidrogenado (HVO, por sus siglas en inglés Hydrotreated Vegetable Oil) [63]. Esta alternativa representa una oportunidad para aprovechar los residuos de la industria alimentaria en la síntesis de combustible diésel.

La producción de aceites vegetales hidrotratados es una tecnología comercialmente consolidada. Entre los factores que influyen en el proceso de hidrotratamiento se encuentran la temperatura, la relación hidrógeno/aceite, la presión, el catalizador y la velocidad de reacción. Durante la reacción con el hidrógeno, las moléculas de triglicéridos se dividen en tres moléculas, eliminando así el oxígeno y

generando hidrocarburos que se asemejan a los componentes del diésel convencional. Por consiguiente, el diésel renovable puede mezclarse con el diésel convencional sin que haya preocupaciones respecto a la calidad del combustible o la necesidad de modificaciones técnicas en los motores diésel.

Los aceites vegetales hidrotratados consisten en una combinación de parafinas ramificadas y cadenas rectas de carbono C15-C18. Esta composición convierte al diésel renovable en una alternativa más limpia al diésel convencional. Por otro lado, los aromáticos, presentes en el diésel convencional en proporciones significativas, no son la opción más favorable para una combustión limpia. Por ello, el diésel renovable se considera una alternativa muy compatible con las necesidades actuales para la preservación del medioambiente.

3.3.2 *Repsol Diesel e+ Zero 100% Renewable*

El diésel renovable o HVO utilizado para el presente trabajo, será el conocido comercialmente como Repsol Diesel e+10 Zero 100% Renewable [64]. Según la ficha del producto, se define como un gasóleo A, defendiendo su calidad de alta gama en el mercado directamente construido para motores diésel y con mejores resultados esperados en motores diésel de última generación. Este combustible optimiza el rendimiento del motor debido a su alto índice de cetano y su capacidad adicional para limpiar los inyectores. Además, al ser producido exclusivamente a partir de materias primas renovables, cumple con los estándares de la normativa europea EN 15940.

Los beneficios que se defienden con el uso de este combustible son los siguientes:

- 0 emisiones netas en el uso: la emisión de gases que produce es equivalente a las que absorbe la materia prima en origen antes de llevar a cabo la producción.
- Alternativa inmediata frente a la descarbonización.
- Minimiza la formación de partículas durante la combustión debido a su composición sin compuestos aromáticos.
- Debido al número elevado de cetano, permite una ignición más rápida, lo que garantiza una combustión más eficiente además de reducir el ruido del motor.

Respecto a las características del producto, se pueden redactar explicadas brevemente de la siguiente manera:

- Cuenta con el respaldo de los fabricantes de vehículos en el Worldwide Fuel Charter (WWFC) subrayando la calidad y el impacto positivo en el rendimiento y durabilidad del motor.
- Mantiene limpio el sistema de alimentación del motor con un efecto “Clean up”; ya que elimina las partículas acumuladas, lo que resulta en la restauración de las prestaciones de estreno del motor.
- Inhibe la herrumbre, protegiendo las superficies metálicas de la corrosión.
- Protege al carburante de la contaminación con agua, ya que facilita la rápida separación con el agua, lo que permite el suministro libre de agua al usuario final, así como el mantenimiento óptimo de las instalaciones de almacenamiento de carburante.
- Desarrollado con una fórmula estabilizante patentada de 3ª generación. Utiliza componentes especiales que controlan su oxidación natural, evitando la formación de productos insolubles derivados de la oxidación del carburante. Esto asegura un funcionamiento óptimo del sistema de alimentación de combustible a lo largo de toda la vida útil del motor.

Las especificaciones técnicas de este combustible se encuentran en la Anexo III: .

Tales son los resultados obtenidos por este nuevo combustible en el mercado, que a día de 16 de enero de 2024, aparece la siguiente nota de prensa procedente de Repsol, con la siguiente predicción [65]: *“Repsol superará las 600 estaciones de servicio con combustible renovable en 2024”*.

La empresa multienergética está intensificando su compromiso con los combustibles renovables al establecer un nuevo objetivo de expansión para su red de estaciones de servicio en la Península Ibérica. Los combustibles renovables son una pieza fundamental en la estrategia de Repsol para impulsar la descarbonización del transporte y alcanzar su meta de ser una empresa con emisiones netas cero para el año 2050.

Actualmente, Repsol cuenta con más de 60 estaciones de servicio en la Península Ibérica que ofrecen diésel renovable. Además, la compañía está lanzando un nuevo proyecto piloto en tres estaciones de servicio en Madrid que suministrarán gasolina 100% renovable, ampliando así su gama de productos sostenibles.

Repsol inaugurará en Cartagena (Región de Murcia) la primera planta de la Península Ibérica destinada exclusivamente a la producción de biocombustibles avanzados a partir de residuos. Con una capacidad anual de producción de 250.000 toneladas, esta planta contribuirá a evitar la emisión de 900.000 toneladas de CO₂ al año. Además, Repsol tiene previsto poner en funcionamiento en 2025 una segunda instalación en Puertollano dedicada también a la producción de biocombustibles a partir de residuos, con una capacidad de producción de 240.000 toneladas de combustibles renovables.

Para el año 2030, Repsol proyecta alcanzar una capacidad de producción de más de dos millones de toneladas de combustibles renovables, lo que la posicionará como líder en la producción de estos combustibles tanto en España como en Europa.

3.3.3 Repsol Mardiesel e+

Este combustible es el actualmente utilizado por las Lanchas de Instrucción (véase en Figura 3-17), ya que es el utilizado por los buques de menor tamaño de la Armada, como es el caso de lanchas o patrulleros, como es el Patrullero “Tabarca” (P-28).

Este combustible desarrollado por Repsol, es un gasóleo B diseñado específicamente para ser utilizado en motores marinos, como los que se encuentran en embarcaciones comerciales, de recreo, y en la industria naval en general. Este combustible ofrece un rendimiento confiable y cumple con los estándares ambientales requeridos en el sector naval [66].



Figura 3-17 Repostaje de Repsol Mardiesel e+ en Lanchas de Instrucción (fuente propia)

Sobre este combustible, las características principales que se destacan son:

- Desactivador de metales, aditivo que juega un papel crucial al prevenir la oxidación del gasóleo, evitando que los iones metálicos actúen como catalizadores en este proceso.
- Limpia el sistema de alimentación e inyección de combustible además de proteger el gasóleo al contacto con el agua.
- Inhibe la herrumbre ya que minimiza el riesgo de corrosión en los circuitos de alimentación e inyección de combustible.
- Evita que se inicien reacciones de oxidación del gasóleo, manteniendo su estabilidad.
- Evita la formación de espumas durante el repostaje.

3.3.4 *Repsol Diesel e+ Neotech*

Este combustible será el utilizado en el Motor Perkins junto al diésel renovable para realizar las pruebas de estudio de consumo y de emisiones. Este combustible se distingue por su fórmula avanzada, ya que es un gasóleo A junto a componentes mejoradores de Repsol [67].

Las principales características del producto se pueden resumir de la siguiente manera:

- Desarrollo con una fórmula estabilizante patentada de 3ª generación: mediante componentes que controlan su oxidación natural y mediante un sistema propio que evita el efecto acelerador del envejecimiento provocado por los metales.
- Detergencia: efecto “Keep Clean”: evita que las partículas insolubles se depositen en el sistema de alimentación e inyección del combustible.
- Contiene un marcador exclusivo que permite un riguroso control de calidad.
- Protege al gasóleo de la contaminación con agua.

3.3.5 *Diesel Fuel Marine F-76*

El combustible utilizado a día de hoy para los buques de guerra en la Armada, es elegido debido a su estabilidad, seguridad y cumplimiento de las especificaciones militares. El combustible destilado naval, comúnmente conocido como F-76, Diesel Fuel Marine o DFM, es el combustible principal para propulsión de los buques de la Armada [68]. Aunque el F-76 es similar a otros diésels comerciales, existen diferencias clave, especialmente en términos de estabilidad y seguridad.

Una de las principales diferencias entre el F-76 y los combustibles comerciales radica en los requisitos de estabilidad. Mientras que los refinadores utilizan tanto la destilación simple como procesos químicos complejos para refinar el petróleo crudo en combustibles utilizables, el F-76 se produce específicamente a partir de un destilado recto, lo que lo hace más estable y apto para un almacenamiento prolongado, una necesidad crítica para las reservas de guerra del Departamento de Defensa.

Además de su estabilidad, el F-76 se distingue por su punto de inflamación mínimo de 60°C (140°F), una medida crucial para la seguridad a bordo de los buques. Aunque la mayoría de los combustibles diésel comerciales cumplen con este requisito, el F-76 está diseñado con este estándar como parte integral de su composición.

Las especificaciones del F-76 también incluyen límites estrictos en cuanto a partículas, agua, cenizas y corrosividad, todo ello con el fin de garantizar un rendimiento óptimo y la protección de los motores de los buques durante su uso prolongado.

3.4 **Experiencia de medición y registro de datos**

En esta sección se describirán en detalle los procedimientos seguidos para llevar a cabo las mediciones en las diversas etapas del desarrollo. En las salidas en las lanchas se miden las emisiones de gases producidas por el Mardiesel e+, además del estudio de consumo realizado para estudiar cuanto de dicho combustible es consumido. En la experiencia de medición en el Motor Perkins, se realiza un

estudio de consumo y un estudio de emisiones con el Repsol Diésel Zero e+ 10 y el Repsol Diésel e+ Neotech.

3.4.1 Experiencia de medición en GM Salas

El 14 de febrero de 2024 se realiza una salida a la mar con motivo de realizar la medición de gases de la Lancha de Instrucción GM Salas. Previamente a esta salida, se realizan distintos intentos en salidas de instrucción y adiestramiento de alumnos, pero sin resultado satisfactorio al necesitar unas condiciones que no fueron compatibles con la realización de los ejercicios propuestos.

Las condiciones meteorológicas no afectaron al proceso de medición. El viento tenía una intensidad de 7 nudos del norte, el estado del cielo era despejado por tanto sin nubosidad ni precipitaciones, además de un estado de la mar era marejadilla, según la Escala Douglas con una altura de ola entre 0,25 m y 0,5 m.

La navegación se produjo en la Ría de Pontevedra, donde se siguió el recorrido marcado en la Figura 3-18. La intención fue navegar lo más lejos posible de peligros a la navegación, con esta ruta marcada, aumentando de régimen de revoluciones conforme se iban obteniendo las medidas.

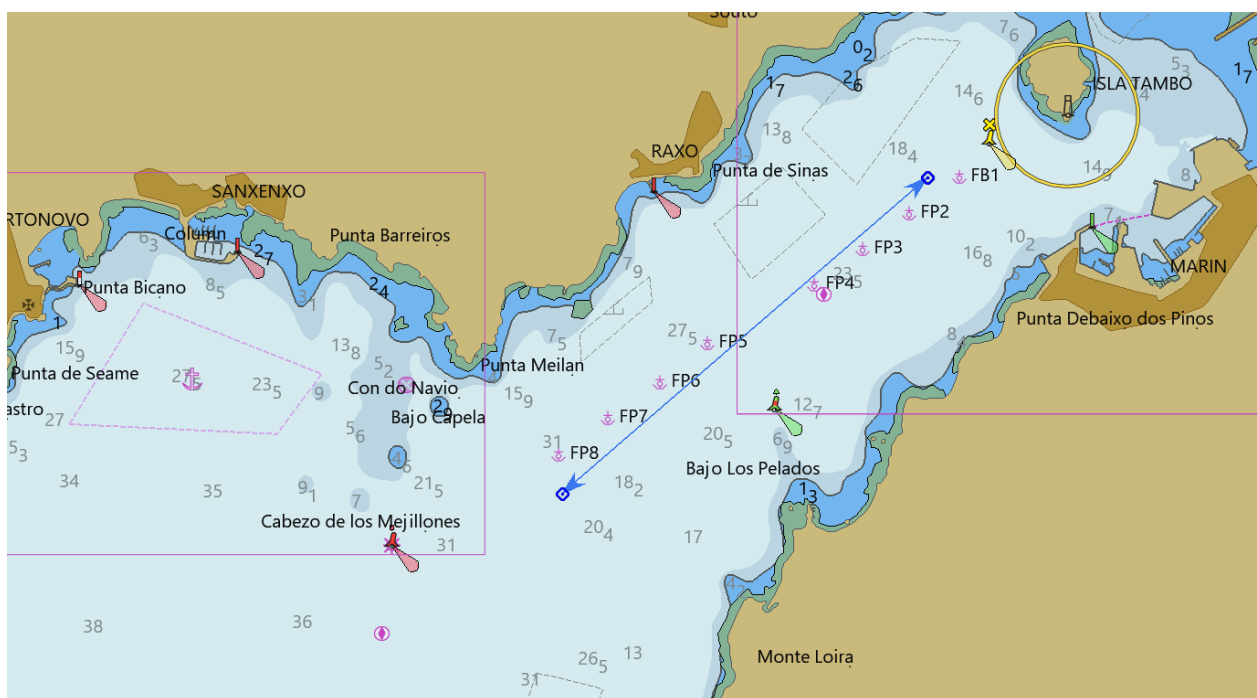


Figura 3-18 Recorrido realizado para medición en Lanchas de Instrucción (fuente propia)

El procedimiento a seguir fue empezar con la revolución más baja hasta la más alta. Se decide estudiar el régimen de revoluciones en el que se suele trabajar en las salidas a la mar en estas embarcaciones. El régimen seleccionado va desde 600 rpm hasta 1800 rpm, teniendo en cuenta que 600 rpm ofrece la velocidad mínima en la que se puede gobernar y hasta 1800 rpm porque no se frecuenta un régimen mayor a este. De igual manera, se toman de 100 rpm en 100 rpm hasta 1000 rpm, ya que a la hora de operar en velocidades bajas se busca un régimen más concreto en búsqueda de una velocidad específica. A la hora de operar en revoluciones más altas, suelen ser para transitar por tanto no se busca una velocidad concreta, y se utilizan con el fin de emplear el menos tiempo posible, por tanto, se harán mediciones de 200 rpm en 200 rpm. Son, por lo tanto, un total de 9 mediciones.

En la Lancha de Instrucción GM Salas, la medición se realiza en la cámara de máquinas, véase en Figura 3-19. Justo encima del anillo naranja se encuentra el acceso al interior del conducto donde se introduce el analizador de gases. La tubería de menor tamaño que se inserta en la parte superior al acceso

es la tubería de agua salada de refrigeración que comparte conducto con los gases de escape para acceder al exterior de la lancha.

La secuencia fue guardar cada medición de cada régimen de revoluciones al ofrecer el analizador una medición fiable, mientras se recogían datos del funcionamiento del sistema propulsor en el registro de máquinas. El registro de máquinas es un documento que se rellena en cada salida a la mar, cada 30 minutos y completando cada cuadro como se ve en Anexo IV: Registro de máquinas de Lanchas de Instrucción.



Figura 3-19 Conducto de escape de gases en L.I. GM Salas (fuente propia)

Las complicaciones encontradas en esta medición fueron debidas al agua existente en el conducto. El analizador de gases no está preparado para operar con agua y en el interior del propio instrumento se acumula agua (véase en Figura 3-20) provocando el malfuncionamiento de analizador. La solución estuvo en vaciar la acumulación de agua cada cierto tiempo y salir al exterior para medir en el aire libre con motivo de secado de filtros. Esto ralentizó el proceso de medición y anuló diferentes mediciones ilógicas durante la salida a la mar.



Figura 3-20 Acumulación de agua en el analizador de gases Testo 340 (fuente propia)

3.4.2 Experiencia de medición en GM Godínez

El 27 de febrero de 2024 se sale a la mar para realizar la medición de emisiones de gases en la L.I. GM Godínez. Esta experiencia de medición fue análoga a la realizada en la L.I. GM Salas, ya que la selección del régimen de revoluciones fue la misma, navegando en el mismo recorrido y midiendo con el mismo procedimiento.

Las condiciones meteorológicas no afectaron al proceso de medición. El viento tenía una intensidad de 10 nudos del noroeste, el estado del cielo estaba parcialmente despejado sin probabilidad de precipitaciones. El estado de la mar era marejadilla, según la Escala Douglas con una altura de ola entre 0,25 m y 0,5 m.

Lo que difiere en esta medición fue la sala de máquinas, donde se ve en la Figura 3-21, el acceso al escape de gases. Esta medición es más fluida al no tener que realizar paradas para vaciar agua.



Figura 3-21 Acceso al escape de gases de L.I. GM Godínez (fuente propia)

La única consideración a tener en cuenta es la temperatura alcanzada en esta lancha, ya que es mucho mayor que en la GM Salas, y provoca que el tornillo que abre y cierra el acceso alcance alta temperatura con lo que dificulta su manipulación. Para ello, se ideó un sistema de sujeción con bridas (véase Figura 3-22) para no tener que hacer contacto con la zona y evitar el mayor escape posible de gases a la cámara.



Figura 3-22 Sistema de sujeción del analizador de gases en la medición de la L.I. GM Godínez (fuente propia)

3.4.3 Experiencia del estudio de consumo en las Lanchas de Instrucción

El 16 y 17 de febrero de 2024, se realiza una pernocta salida de Lanchas de Instrucción para el adiestramiento e instrucción de los alumnos. El interés de recopilar información en esta salida es para obtener información sobre el consumo de combustible, aprovechando las características de esta salida.

Esta salida a la mar es la idónea para realizar un estudio de consumo, ya que se puede realizar el estudio de 5 lanchas de instrucción. Al ser una pernocta, hay más horas de navegación que en una salida semanal, por lo que permite un análisis de la información más profundo y detallado.

Los datos que se anotan previo a la salida son las millas náuticas ya recorridas y los niveles de combustible. Una vez finalizada la salida, se registran los valores de las millas náuticas recorridas, los niveles de los tanques de combustible y el registro de máquinas de cada lancha. Con este último documento, se registran los distintos regímenes de revoluciones seleccionados por cada lancha, además de la comprobación del buen funcionamiento del sistema propulsor de cada cámara de máquinas. De esta manera, se obtiene el régimen de revoluciones promedio de cada Lancha de Instrucción.

3.4.4 Experiencia de medición en motor Perkins

La medición se realiza el 14 de marzo de 2024 en el Motor Perkins en el laboratorio de motores, perteneciente al Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. En esta experiencia se separan los dos estudios realizados, el estudio de consumo y el estudio de emisiones para cada combustible.

El motivo por el que no se realiza el experimento directamente con el diésel utilizado en las lanchas de instrucción es por precaución. Al ser un gasóleo B, y no estar diseñado para la automoción podría suponer un riesgo en el funcionamiento del motor Perkins. Por tanto, al seleccionar un diésel de automoción se escoge el Repsol Diesel e+ Neotech, siendo un gasóleo A. Esto se reflejará en los resultados ya que se obtendrá un mejor resultado del que esperaríamos con el Mardiesel e+.

El motor Perkins puede operar a distintas cargas, las cuales se utilizarán para comparar resultados y observar el comportamiento tanto del motor como del combustible. Se realizarán ensayos con 0 kW, 4 kW y 8 kW con cada combustible en cada estudio.

En el estudio de emisiones, se mide la emisión de cada combustible en cada carga seleccionada. El analizador de gases se introduce en el conducto de escape (véase en Figura 3-23) y se mantienen las ventanas abiertas como medidas de precaución. En primer lugar, se realiza el estudio de un combustible, guardando las mediciones de cada carga disponibles y forma análoga, el siguiente combustible. Para cada medición, con aproximadamente 5 minutos en cada carga, es tiempo suficiente para que el analizador de gases sea capaz de obtener una lectura lógica de los gases en el conducto.



Figura 3-23 Estudio de emisión de gases en Motor Perkins (fuente propia)

Al igual que en el estudio de emisiones, en el estudio de consumo se guarda una medición de cada carga para cada combustible. En este estudio, se mide en una balanza el peso del combustible (véase en Figura 3-24), por tanto, conforme se vaya consumiendo, su peso irá disminuyendo. En base a este principio el análisis es el siguiente. En cada carga, se estudia durante 6 minutos la disminución del combustible. En cada minuto de este periodo se guarda el peso del combustible, por lo que es apreciable el ritmo de decrecimiento de cada combustible, teniendo 7 medidas por prueba.

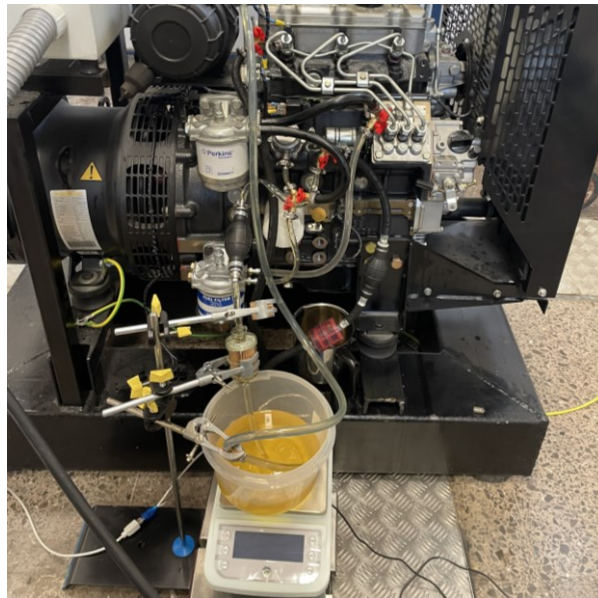


Figura 3-24 Estudio de consumo en Motor Perkins (fuente propia)

Los valores guardados se registraban directamente en el ordenador, facilitando así el análisis de datos, mostrándose en la Figura 3-25.



Figura 3-25 Sistema de medición del estudio de consumo (fuente propia)

4 RESULTADOS

4.1 Resultados de las mediciones en Lanchas de Instrucción

4.1.1 Resultados Lancha de Instrucción Guardiamarina Salas

En este apartado se va a reflejar los datos obtenidos por el analizador de gases de combustión y los datos recogidos del funcionamiento del sistema propulsor de la Lancha de Instrucción GM Salas, reflejados en el registro de máquinas.

Por tanto, en la Tabla 4-1, se muestran las mediciones registradas. Éstas son tomadas según el régimen de revoluciones del motor. En esta tabla se encuentran la temperatura ambiente de la cámara de máquinas donde se realiza la medición y la temperatura del interior del conducto donde se encuentran los gases. A continuación, se muestra el objetivo del estudio, siendo la proporción de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂) en tanto por ciento (%). Por último, se muestra la concentración de las cuatro sondas que dispone el analizador de combustión, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), y óxido nítrico (NO), aunque comprobado en la medición y análisis, la sonda de CO no responde y no se ha obtenido información válida de la concentración de este gas. Según la Ficha de Datos de Seguridad [69] de este combustible, si son esperables valores de este gas y no se han recogido valores lógicos en las mediciones.

Revoluciones por minuto (rpm)	Velocidad (knots)	T. ^a de gases (°C)	T. ^a ambiente (°C)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
600	5,6	33	24,8	17,49	2,79	0	221	230	54
700	7	34	25	17,29	3,23	0	190	175	0
800	7,7	34	25,3	17,16	3,52	0	270	287	0
900	8,4	41	25,9	17,58	3,76	0	678	712	0
1000	9,2	48	26	16,44	4,32	0	347	354	0
1200	11	62	27,1	14,73	5,68	0	738	763	0
1400	12	65	28	14,17	6,04	0	843	885	18
1600	14	66	28,2	11,11	7,3	0	948	995	0
1800	17	67	28,2	9,98	8,13	0	1104	1159	0

Tabla 4-1 Obtención de datos del analizador de gases de combustión según régimen de revoluciones en L.I. GM Salas (fuente propia).

Cada bloque de datos se analiza con su propia gráfica para una mejor apreciación de las diferencias entre los distintos valores del régimen de revoluciones del motor, del funcionamiento y procesos ocurridos en la medición. Durante el análisis de las gráficas, para apreciar una evolución proporcional de los datos, se incluirán las columnas con una diferenciación de 200 rpm directamente, no incluyendo los datos de 700 rpm y 900 rpm.

En la Figura 4-1 se aprecian las temperaturas obtenidas en el ambiente y en el interior del tubo de escape de los gases de combustión. Como se puede apreciar, la temperatura ambiente aumenta conforme lo hacen los regímenes de revoluciones y con ello la temperatura de gases internos. La temperatura ambiente desde 1400 rpm hasta 1800 rpm alcanza prácticamente su máximo. Por otra parte, los gases de combustión sufren un rápido aumento de temperatura hasta las 1200 rpm y 1800 rpm ya que se aprecian valores muy cercanos y una disminución del ritmo de crecimiento.

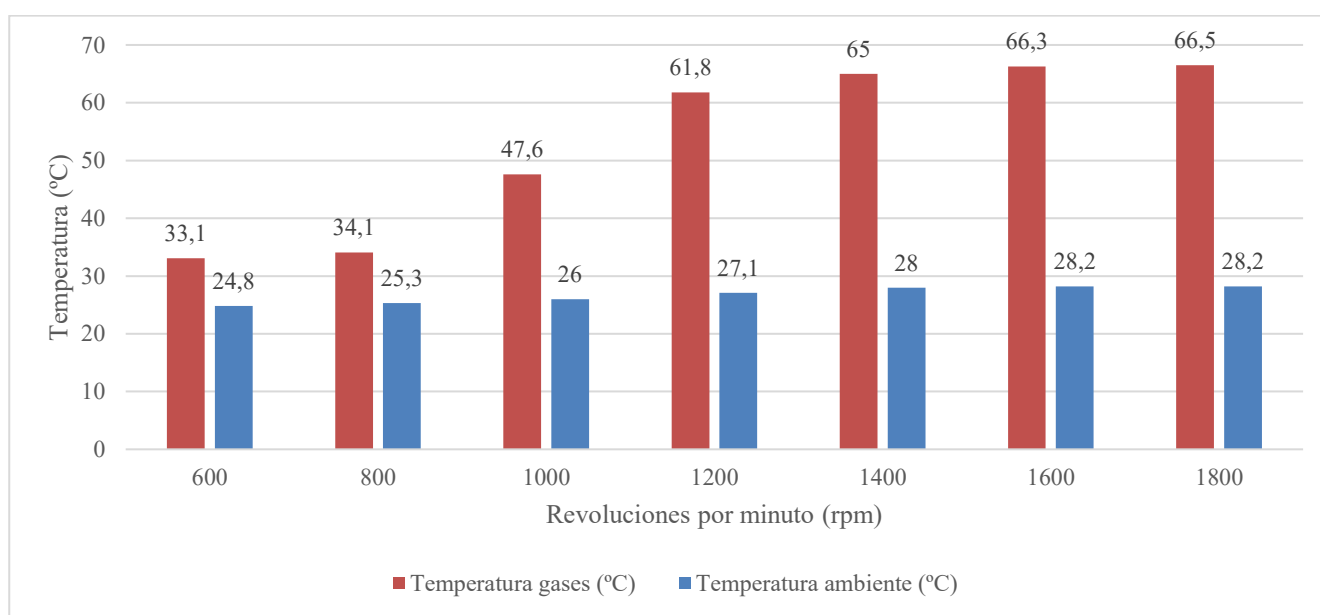


Figura 4-1 Gráfica de temperatura ambiente y temperatura de gases en L.I. GM Salas (fuente propia)

Detallado en las especificaciones del motor C18 (3.2.2), se menciona la aparición de agua de refrigeración en el conducto de gases de combustión. El punto donde se introduce el analizador se encuentra posterior a la adicción del agua, por tanto, se refleja la bajada de temperaturas, no siendo valores naturales de una combustión de gases.

En la Figura 4-2, se aprecia la composición de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) en tanto por ciento (%) en los diferentes valores del régimen de revoluciones. Respecto al dióxido de carbono (CO₂), son valores lógicos y esperados al obtener un aumento proporcional entre el crecimiento del porcentaje y el valor de las revoluciones. Se podría expresar como un crecimiento de un aumento de un 1% de dióxido de carbono (CO₂) cada 200 rpm aumentadas. Por consiguiente, se encuentra la disminución del oxígeno (O₂) pero no de manera tan proporcional como el caso anterior, debido a que fluctúa según el valor del resto de gases, ya que cuando hay una alta concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nítrico (NO), ocupa el espacio del oxígeno por lo que no tiene una progresión constante. Aun así, su ritmo de decrecimiento es de 1% aproximadamente por cada 200 rpm siendo estable hasta 1400. A partir de estas revoluciones el decrecimiento aumenta en casi un 2,5% hasta 1800 rpm.

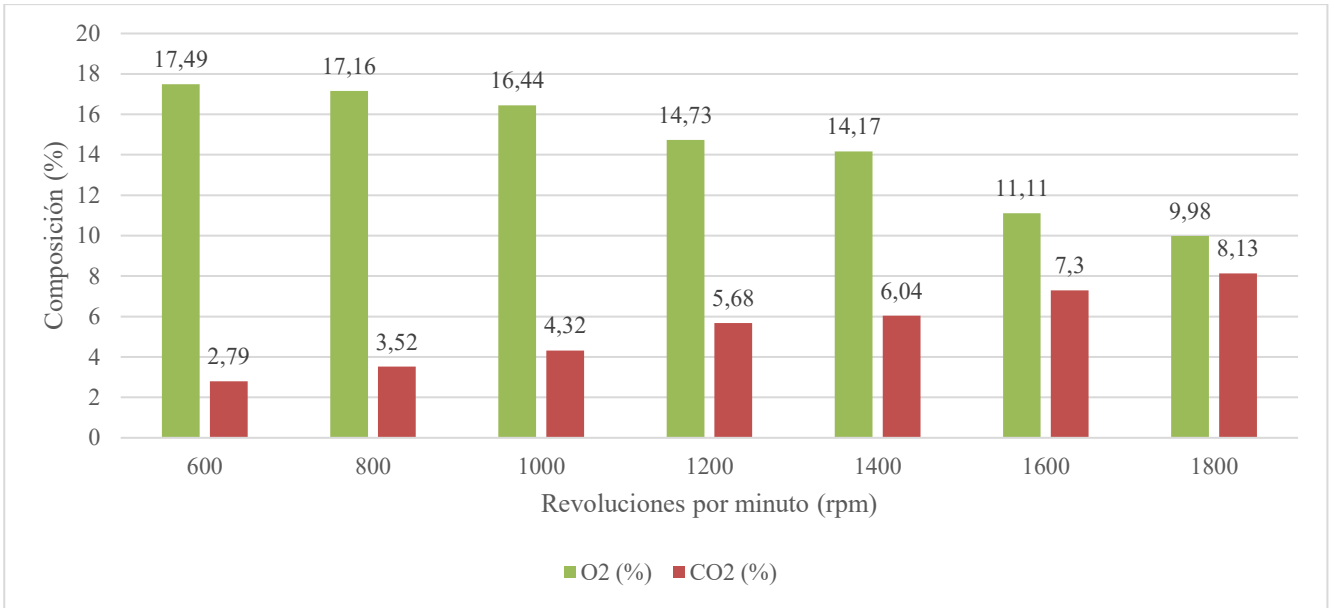


Figura 4-2 Composición de O₂ y CO₂ de la emisión de gases en L.I. GM Salas (fuente propia)

Respecto a la Figura 4-3, se aprecian la emisión de gases de NO, NO₂ y SO₂ en los gases de combustión emitidos. Como se ha mencionado anteriormente no se obtienen datos de monóxido de carbono (CO) por mal funcionamiento del instrumento, por tanto, no aparece en la figura. Respecto al monóxido de azufre (SO₂) se aprecia su máxima aparición con un valor de 54 ppm en 600 rpm y una segunda y última con un valor de 18 ppm en 1400 rpm.

Respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nítrico (NO), se aprecia en revoluciones desde 600 rpm hasta 1000 rpm un leve crecimiento de concentración. A partir de 1200 rpm se produce un aumento bastante notable respecto a las mediciones anteriores, que luego disminuirá ligeramente permitiendo una progresión más regulada y proporcional desde 1400 rpm hasta 1800 rpm.

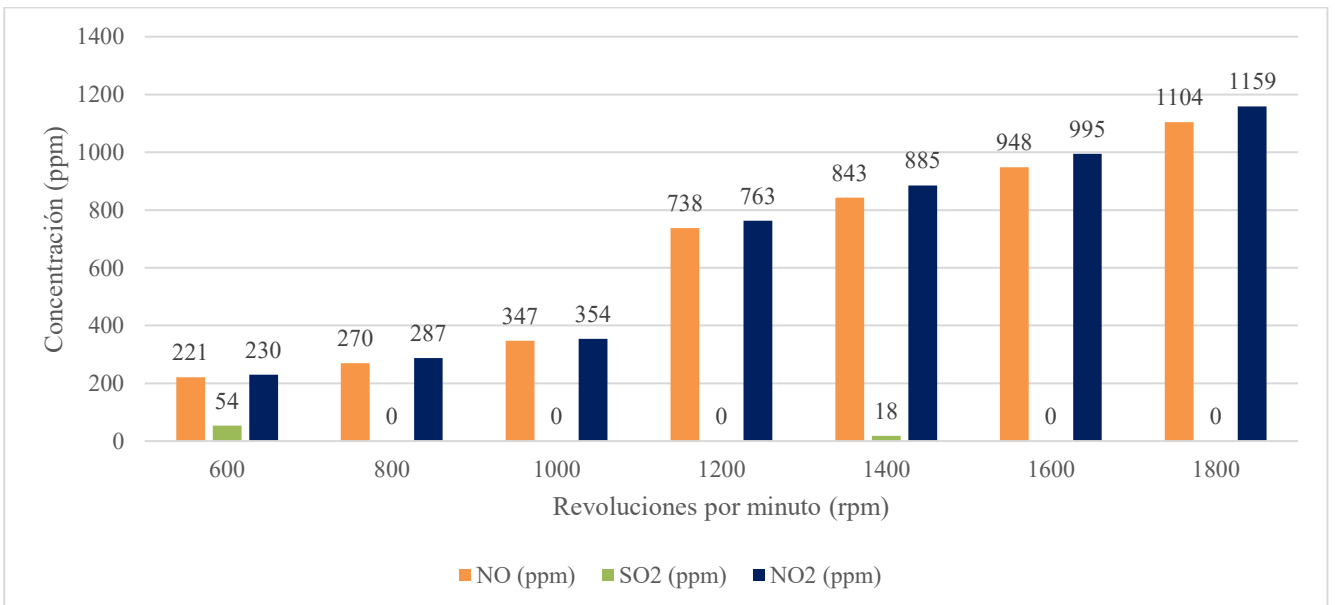


Figura 4-3 Concentración de NO, NO₂ y SO₂ en la emisión de gases de L.I. GM Salas (fuente propia)

En 1200 rpm, se produce un notable aumento en la concentración de óxido nítrico y dióxido de nitrógeno, no acompañando a la proporción de las mediciones. De igual modo, en la composición de oxígeno se produce una disminución mayor de la que debería, no siguiendo así de manera proporcional el descenso del porcentaje.

Respecto al funcionamiento del motor, se exponen los datos recogidos en el registro de máquinas, siendo en primer lugar los valores del sistema propulsor tanto de babor (véase Tabla 4-2) como de estribor (véase Tabla 4-3).

Hora	Presión aceite reductor (kPa)	Presión aceite motor principal (kPa)	Temperatura aceite reductor (°C)	Temperatura agua refrigerante (°C)
16:00	2368	300	38	80
16:30	2375	430	40	86
17:00	2407	462	40	83
17:30	2398	461	41	84
18:00	2380	421	42	83

Tabla 4-2 Registro de máquinas del sistema propulsor de babor de L.I. GM Salas (fuente propia)

Hora	Presión aceite reductor (kPa)	Presión aceite motor principal (kPa)	Temperatura aceite reductor (°C)	Temperatura agua refrigerante (°C)
16:00	2410	367	36	80
16:30	2403	361	37	81
17:00	2421	358	37	83
17:30	2384	359	43	83
18:00	2427	364	41	84

Tabla 4-3 Registro de máquinas del sistema propulsor de estribor de L.I. GM Salas (fuente propia)

Seguidamente se muestra en la Tabla 4-4, los valores del registro de máquinas sobre el motor auxiliar de babor arrancado el día de la salida a la mar.

Hora	Presión aceite (bar)	Temperatura de agua refrigerante (°C)
16:00	4	70
16:30	4,5	70
17:00	4,5	71
17:30	5	68
18:00	5	70

Tabla 4-4 Registro de máquinas del motor auxiliar de babor de la L.I. GM Salas (fuente propia)

En estas tres últimas tablas, todos los valores reflejados son esperados y lógicos, permitiendo así afirmar la validez de los resultados obtenidos, ya que no se detecta ninguna incoherencia en el trabajo realizado por el sistema de propulsión.

4.1.2 Resultados Lancha de Instrucción Guardiamarina Godínez

De forma análoga, diferenciamos las dos partes de esta medición, la obtención de datos por el analizador de gases de combustión y los datos recogidos del funcionamiento del sistema propulsor de la Lancha de Instrucción GM Godínez, reflejados en el registro de máquinas.

En la Tabla 4-5, se muestran los valores obtenidos por el analizador de gases diferenciados por distintos valores del régimen de revoluciones. En primer lugar, diferenciamos las columnas donde reflejan la temperatura del interior del conducto donde se encuentran los gases de combustión, seguido de la temperatura ambiente de la cámara de máquinas. Después se muestra la proporción en tanto por ciento (%) de la proporción de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂). Por último, se muestra la concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), y óxido nítrico (NO) en el gas emitido. En este estudio no se han obtenido datos válidos ni de monóxido de carbono (CO), por tanto, no se expondrá en las representaciones gráficas. Al igual que en la

disposición de gráficas anterior, solo se incluirán los valores de régimen de revoluciones, diferenciados en 200 rpm.

Revoluciones por minuto (rpm)	Velocidad (knots)	T.ª de gases (°C)	T.ª ambiente (°C)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
600	6	111,6	18,4	15,97	3,71	0	594	624	0
700	6,8	138,5	18,6	15,02	4,41	0	573	602	0
800	7,7	172,5	19	13,52	5,52	0	842	884	0
900	8,4	221,8	19,3	12,17	6,52	1	1130	1187	0
1000	9,4	264	19,5	10,3	7,9	0	1396	1466	0
1200	11,4	318	20,3	8,4	9,3	0	1764	1852	0
1400	12,6	364,2	20,5	7,05	10,3	1	2132	2249	0
1600	16	519,4	21,1	5,19	11,67	0	1762	1800	0
1800	19,9	564,1	21,4	2,39	13,74	1	1795	1835	0

Tabla 4-5 Obtención de datos del analizador de gases de combustión según régimen de revoluciones en L.I. GM Godínez (fuente propia)

En la Figura 4-4, se aprecia la temperatura de gases, siendo la interior al conducto de gases de escape y la temperatura ambiente. A diferencia de la otra Lancha de Instrucción, el hecho de no contener agua en el conducto de gases permite reflejar elevadas temperaturas como se muestran. La progresión de temperaturas de gases de escape no se puede considerar proporcional ya que no se produce el mismo valor de incremento de temperatura en las distintas revoluciones. Sin embargo, si son un conjunto de valores lógicos el encontrar que, a mayores revoluciones, mayor temperatura. Respecto a la temperatura ambiente, se aprecia un ligero incremento, pero determina un muy buen aislamiento térmico no permitiendo la subida de temperaturas. Este aislamiento es apreciable en Figura 3-11, en el material que recubre el conducto de gases de escape.

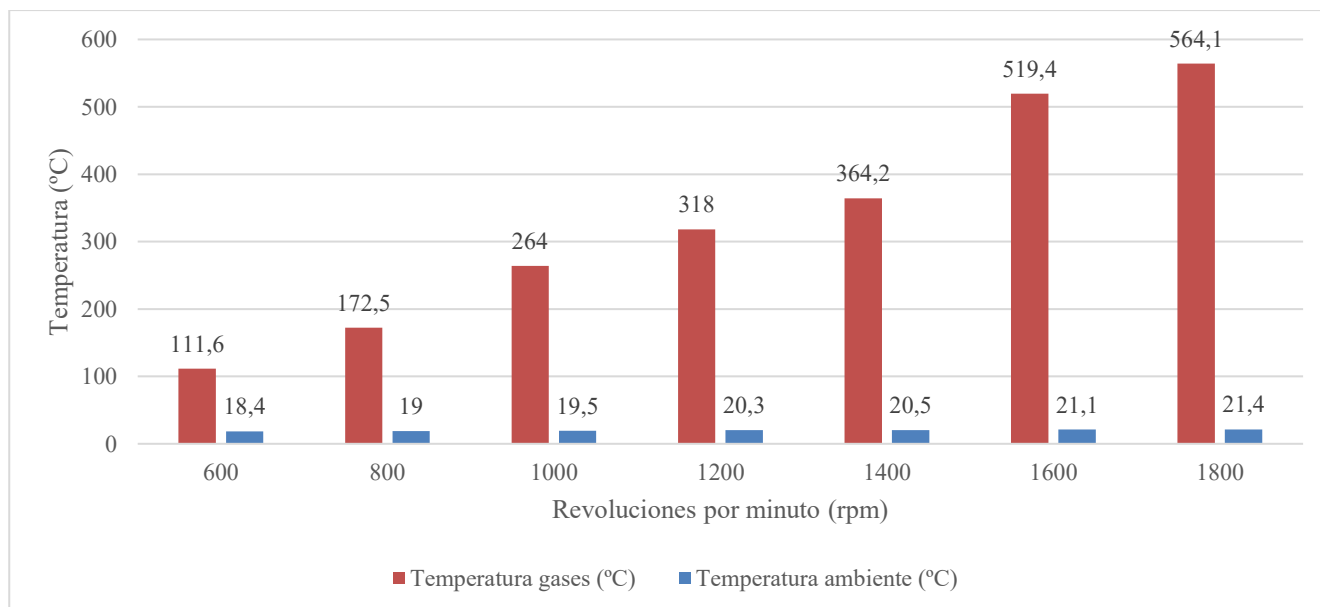


Figura 4-4 Gráfica de temperatura ambiente y temperatura de gases en L.I. GM Godínez (fuente propia)

En la Figura 4-5, se aprecian los distintos valores de la composición de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) en tanto por ciento (%) determinados por distintos valores del régimen de revoluciones del motor. El dióxido de carbono (CO₂) tiene una progresión de aumento considerablemente proporcional, ya que se puede afirmar que cada 200 rpm aumenta aproximadamente 1,5% su composición. Respecto

a la otra lancha de instrucción, no sólo supera la proporción del oxígeno, sino que lo consigue a 1200 rpm, emitiendo más dióxido de carbono en los últimos cuatro estados del régimen de revoluciones. Respecto al oxígeno (O₂), de manera contraria, se produce una disminución de su proporción incluso a un ritmo de decrecimiento mayor que el dióxido de carbono. La relación de proporcionalidad se encuentra en aproximadamente una reducción del 2% de su composición cada 200 rpm.

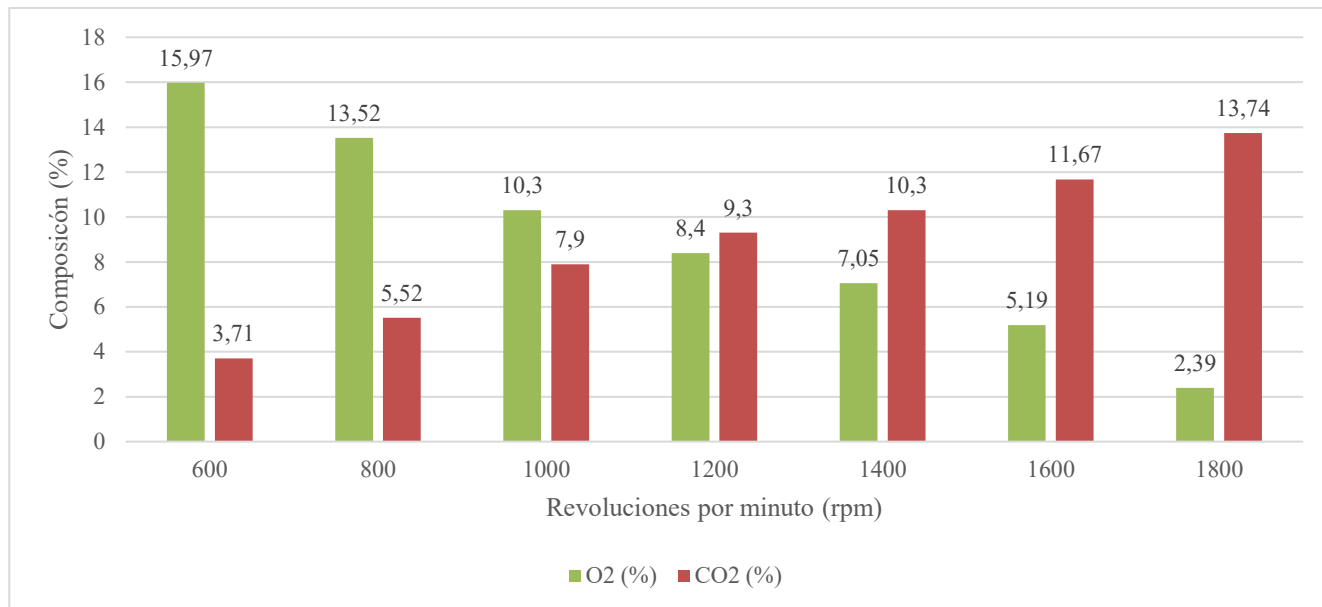


Figura 4-5 Composición de O₂ y CO₂ de la emisión de gases en L.I. GM Godínez (fuente propia)

Respecto a la Figura 4-6, se analizan los valores de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), encontramos que tienen prácticamente la misma evolución. Comienzan con una evolución que se mantiene estable entre 800 rpm y 1400 rpm, aumentando aproximadamente entre 300 ppm y 400 ppm. Lo que refleja esta gráfica es que después de los 1400 rpm, las emisiones de estos dos gases disminuyen su concentración a valores cercanos a 1800 ppm y se estabilizan.

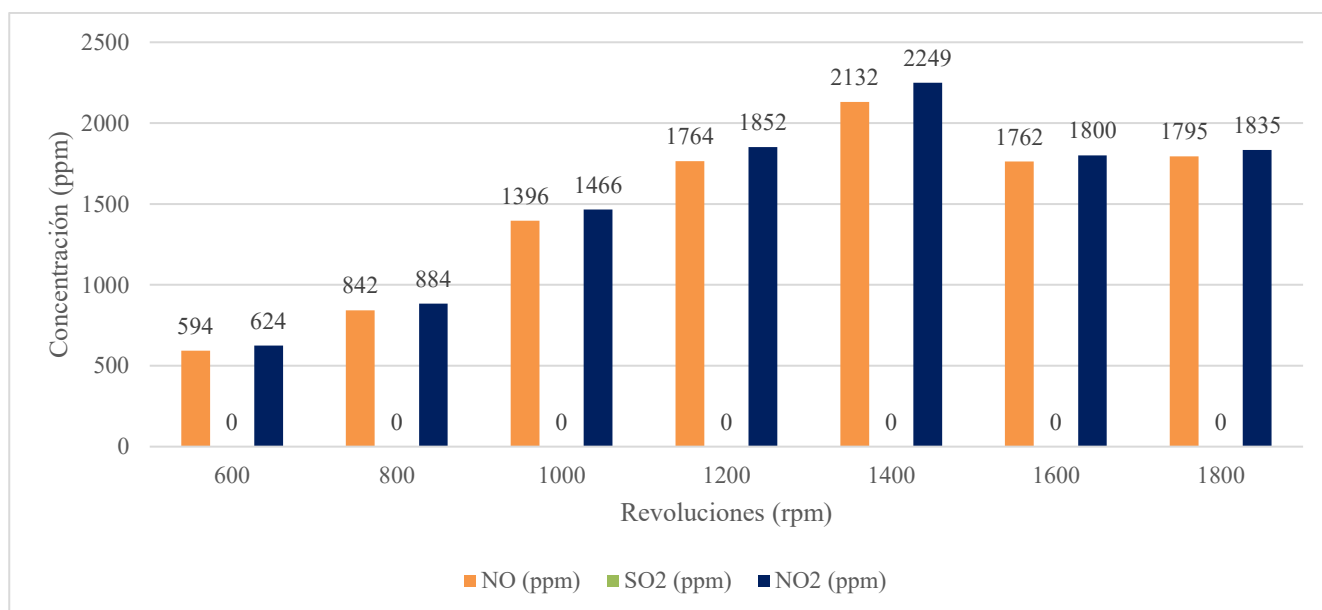


Figura 4-6 Concentración de NO, NO₂ y SO₂ en la emisión de gases de L.I. GM Godínez (fuente propia)

Por otra parte, se recogen los datos obtenidos del registro de máquinas para así comprobar que durante la medición no se produce ninguna incongruencia. De tal manera, se presentan las dos primeras tablas con información sobre el sistema propulsor de cada banda, para la banda de babor la Tabla 4-6, y para la banda de estribor, la Tabla 4-7.

Hora	Presión aceite reductor (kPa)	Presión aceite motor principal (kPa)	Temperatura aceite reductor (°C)	Temperatura agua refrigerante (°C)
12:00	2352	300	35	76
12:30	2352	430	47	75
13:00	2368	462	40	83
13:30	2384	472	44	86

Tabla 4-6 Registro de máquinas del sistema propulsor de babor de L.I. GM Godínez (fuente propia)

Hora	Presión aceite reductor (kPa)	Presión aceite motor principal (kPa)	Temperatura aceite reductor (°C)	Temperatura agua refrigerante (°C)
12:00	2336	367	36	80
12:30	2336	452	37	81
13:00	2352	460	37	83
13:30	2352	500	44	87

Tabla 4-7 Registro de máquinas del sistema propulsor de estribor de L.I. GM Godínez (fuente propia)

Por último, se muestran los valores del registro de máquinas sobre el motor auxiliar de babor en la Tabla 4-8.

Hora	Presión aceite (bar)	Temperatura de agua refrigerante (°C)
12:00	4	69
12:30	3,8	70
13:00	3,8	72
13:30	4,5	75

Tabla 4-8 Registro de máquinas del sistema propulsor de babor de L.I. GM Godínez (fuente propia)

4.1.3 Comparación de emisión de CO₂

En la Figura 4-7, se observa la composición de cada Lancha de Instrucción. Se puede apreciar como la Lancha de Instrucción GM Godínez refleja una mayor emisión que la Lancha de Instrucción GM Salas. Esto puede ser debido al disponer de motores principales con mayor potencia, ya que, para mismas revoluciones, se obtienen velocidades mayores. La emisión de CO₂ por parte de la L.I. GM Salas, tiene un aumento prácticamente proporcional, pero no es comparable con la L.I. GM Godínez. Ésta última en todo momento mantiene una emisión mayor y tiene un crecimiento mayor, tanto que en 1800 rpm podría verse una diferencia que se acerca al doble de emisión.

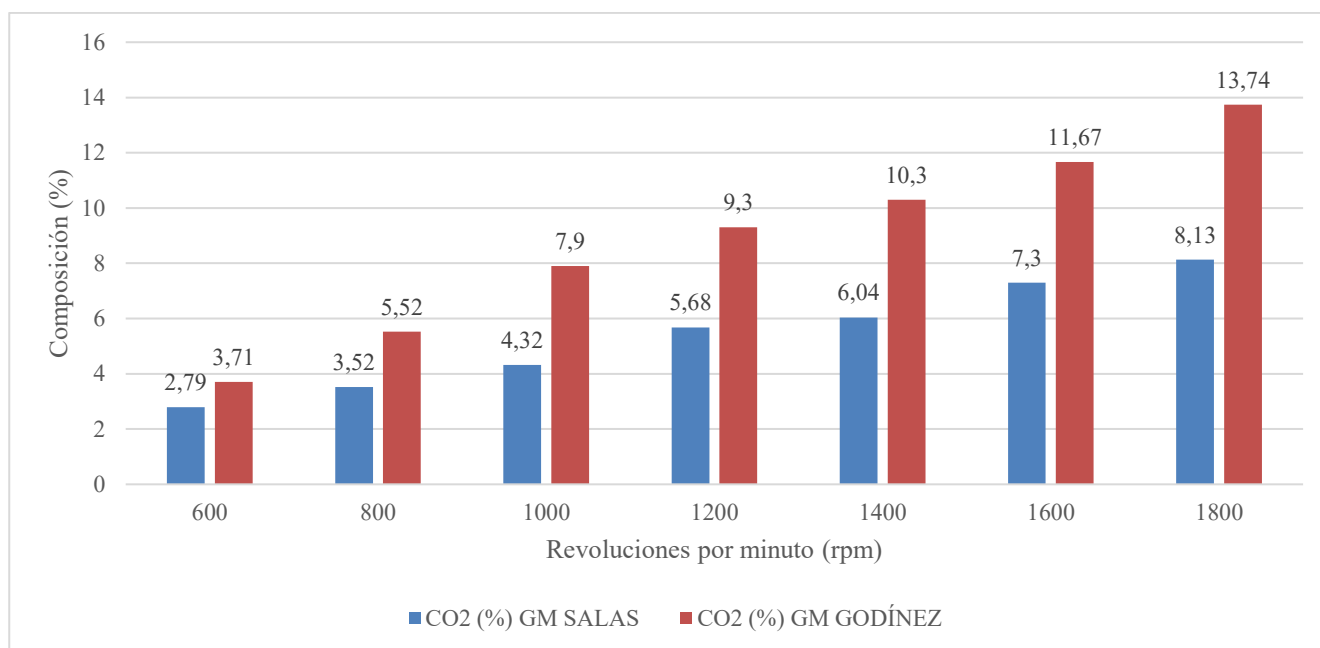


Figura 4-7 Comparación de emisión de CO₂ (fuente propia)

4.2 Estudio de consumo de Lanchas de Instrucción

El principal objetivo de este estudio es obtener información sobre su consumo basado en una experiencia real. Para ello, se mostrarán los datos recopilados antes de la salida a la mar, y contrastados con los datos de su llegada, se realizará el análisis adecuado. Los datos necesarios para este estudio son cada milla náutica (NM, por sus siglas en inglés Nautical Mile) navegada, el combustible consumido, y el registro de máquinas de cada lancha.

En primer lugar, en la Tabla 4-9, aparecen todos los datos iniciales tomados, de las cinco lanchas que participaron en la salida a la mar del 16 de febrero al 17 de febrero de este año.

Lancha de Instrucción	NM inicial	NM final	Combustible inicial Br (litros)	Combustible inicial Er (litros)	Combustible final Br (litros)	Combustible final Er (litros)
Barrutia	19026	19093	1800	1810	1500	1550
Chereguini	12222	12288	1800	1850	1500	1600
Salas	12731	12799	2250	2250	2000	2050
Godínez	1275	1342	2653	2654	2297	2266
Herrero	407,3	472	2025	2100	1750	1750

Tabla 4-9 Valor de combustible y millas náuticas navegadas de cada Lancha de Instrucción (fuente propia)

Con los datos obtenidos, podemos calcular el consumo producido y la distancia recorrida. Además, al tener el registro de máquinas, se ha calculado el régimen de revoluciones por minuto promedio de cada lancha. De esta manera, teniendo en cuenta que fueron un total de 7 horas aproximadamente de navegación, se calcula el consumo de cada lancha. Se muestra en la Tabla 4-10.

Lancha de Instrucción	Revoluciones por minuto (rpm) promedio	NM recorridas	Consumo total (l)	Consumo (l/NM)
Barrutia	900	67	560	8,35
Chereguini	900	66	550	8,33
Salas	800	68	450	6,62
Godínez	1100	67	744	11,10
Herrero	900	64,7	625	9,65

Tabla 4-10 Valores de consumo total, consumo horario y NM recorridas de cada Lancha de Instrucción (fuente propia)

Para tener un dato genérico de consumo de las Lanchas de Instrucción, se realiza la media de los consumos de litro por cada milla náutica navegada, dando un resultado de 8,81 litros de combustible en un régimen de revoluciones promedio de 900 rpm.

4.3 Resultados de mediciones en Motor Perkins

4.3.1 Resultados de consumo

El objetivo de este estudio reside en la comparación de consumos de los distintos combustibles. En un primer lugar, se detallarán los datos necesarios en los que se ha basado el análisis de información y luego la interpretación de estos, teniendo en cuenta las distintas cargas en las que se ha operado.

Por tanto, este estudio comienza con los primeros valores obtenidos con Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable. En la primera fase de carga, es decir, una carga de 0 kW, los datos recogidos se presentan en la Tabla 4-11. En esta tabla se encuentra la numeración de cada medida, acompañada de la hora en la que se estaban realizando las mediciones y el instante respecto el momento cero en el que empiezan las mediciones. Por otra parte, se aprecia como la cantidad de combustible disminuye en cada instante, permitiendo así ver en la columna de consumo, la cantidad que va necesitando el motor durante los periodos de tiempo.

Medida	Hora de medición (h/m/s)	Instante de medida (h/m/s)	Cantidad de combustible (g)	Consumo acumulado (g)
0	16:19:07	0:00:00	1261,6	0
1	16:20:23	0:01:16	1250,2	11,4
2	16:21:19	0:02:12	1236,9	24,7
3	16:22:11	0:03:04	1225,6	36
4	16:23:11	0:04:04	1213,9	47,7
5	16:24:11	0:05:04	1198,7	62,9
6	16:25:11	0:06:04	1189	72,6

Tabla 4-11 Valores de medida de estudio de consumo para carga 0 kW de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)

Para una mejor comprensión del consumo en carga de 0 kW, se muestra la Figura 4-8. De esta manera, estudiando la pendiente que se obtiene de la línea de tendencia lineal, se puede obtener su proporción de consumo (g/min). En este caso, será 12,23 g/min.

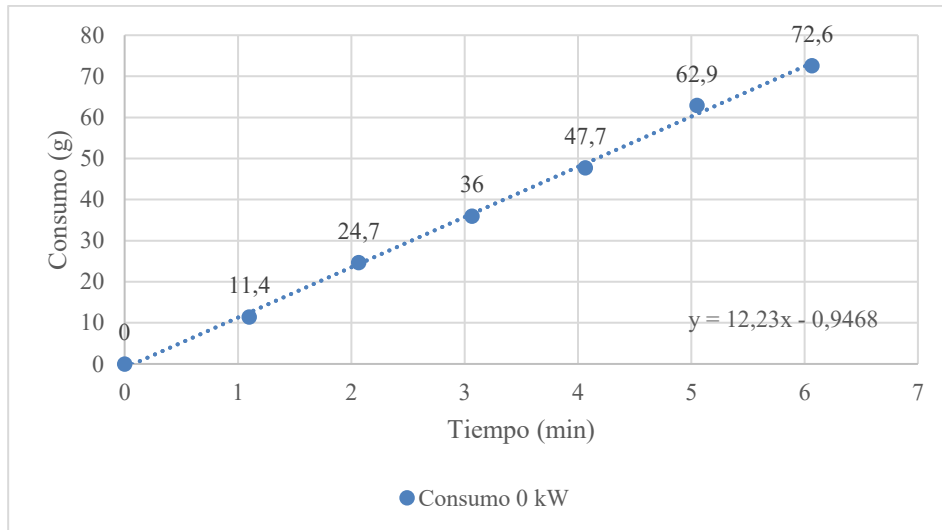


Figura 4-8 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable para carga 0 kW (fuente propia)

De manera análoga, se aprecia en la Tabla 4-12, los valores iniciales obtenidos de los que parte el estudio con una carga de 4 kW.

Medida	Hora de medición (h/m/s)	Instante de medida (h/m/s)	Cantidad de combustible (g)	Consumo acumulado (g)
0	16:26:04	0:00:00	1172,2	0
1	16:27:04	0:01:00	1141,6	27,6
2	16:28:05	0:02:01	1124,4	47,8
3	16:29:06	0:03:02	1094,8	77,4
4	16:30:05	0:04:01	1079,9	92,3
5	16:31:06	0:05:02	1050,5	121,7
6	16:32:05	0:06:01	1033,6	138,6

Tabla 4-12 Valores de medida de estudio de consumo para carga 4 kW de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)

De igual manera, se refleja en la Figura 4-9 la expresión de la línea de tendencia lineal, donde se puede deducir que la proporción de consumo en carga 4 kW es de 23,07 g/min.

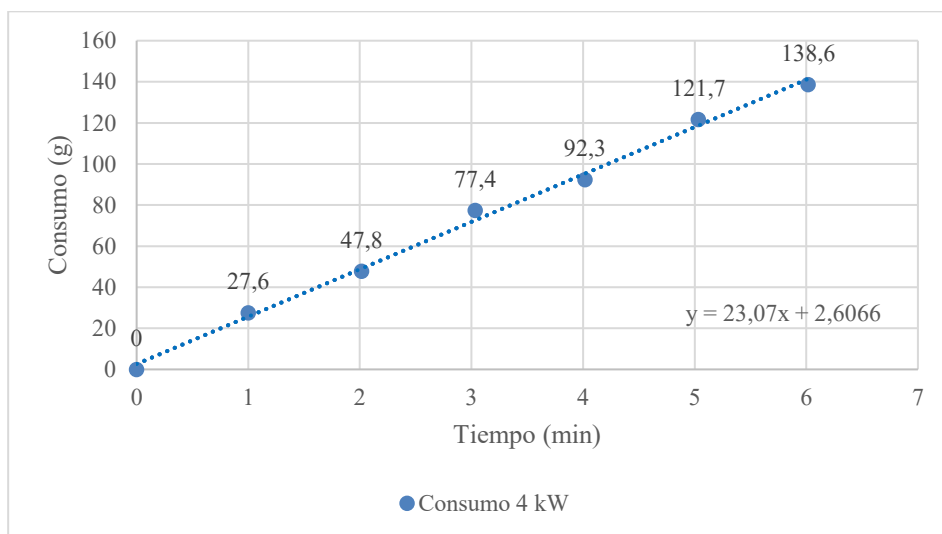


Figura 4-9 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable para carga 4 kW (fuente propia)

El último estudio con este combustible será con una carga de 8 kW, reflejando sus correspondientes valores iniciales obtenidos en la Tabla 4-13.

Medida	Hora de medición (h/m/s)	Instante de medida (h/m/s)	Cantidad de combustible (g)	Consumo acumulado (g)
0	16:32:37	0:00:00	1009,7	0
1	16:33:39	0:01:02	982,7	30,6
2	16:34:39	0:02:02	945,3	64,4
3	16:35:38	0:03:01	910,6	99,1
4	16:36:39	0:04:02	877,1	132,6
5	16:37:38	0:05:01	838,7	171
6	16:38:38	0:06:01	802,1	207,6

Tabla 4-13 Valores de medida de estudio de consumo para carga 8 kW de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)

A continuación, se muestra la representación de los datos obtenidos en el estudio con una carga de 8 kW, reflejados en la Figura 4-10. Al igual que en los casos anteriores, la proporción de consumo será 34,68 g/min.

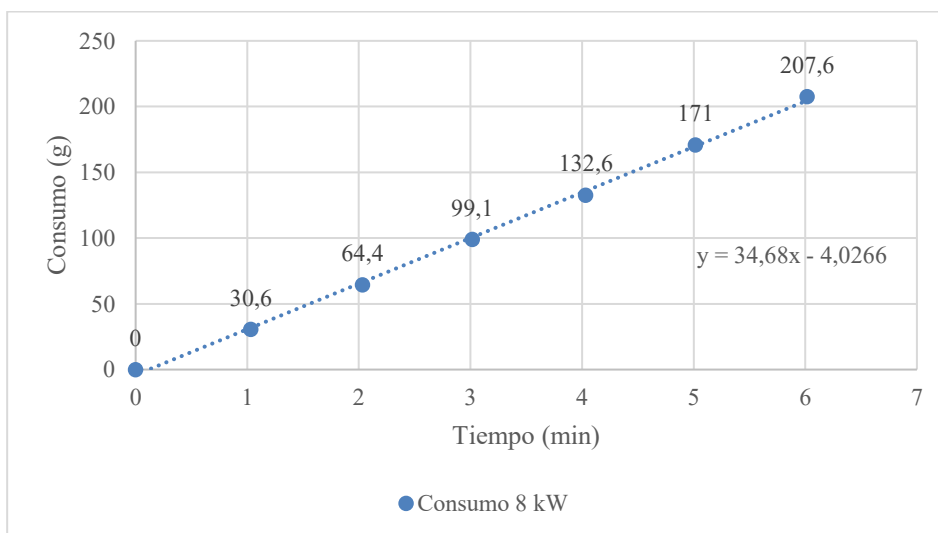


Figura 4-10 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable para carga 8 kW (fuente propia)

Para finalizar, se muestra en la Figura 4-11, todos los consumos con las distintas cargas que se han utilizado para realizar el estudio. Se observa la proporcionalidad de los distintos consumos, como conforme aumenta el tiempo, mantienen prácticamente la misma evolución.

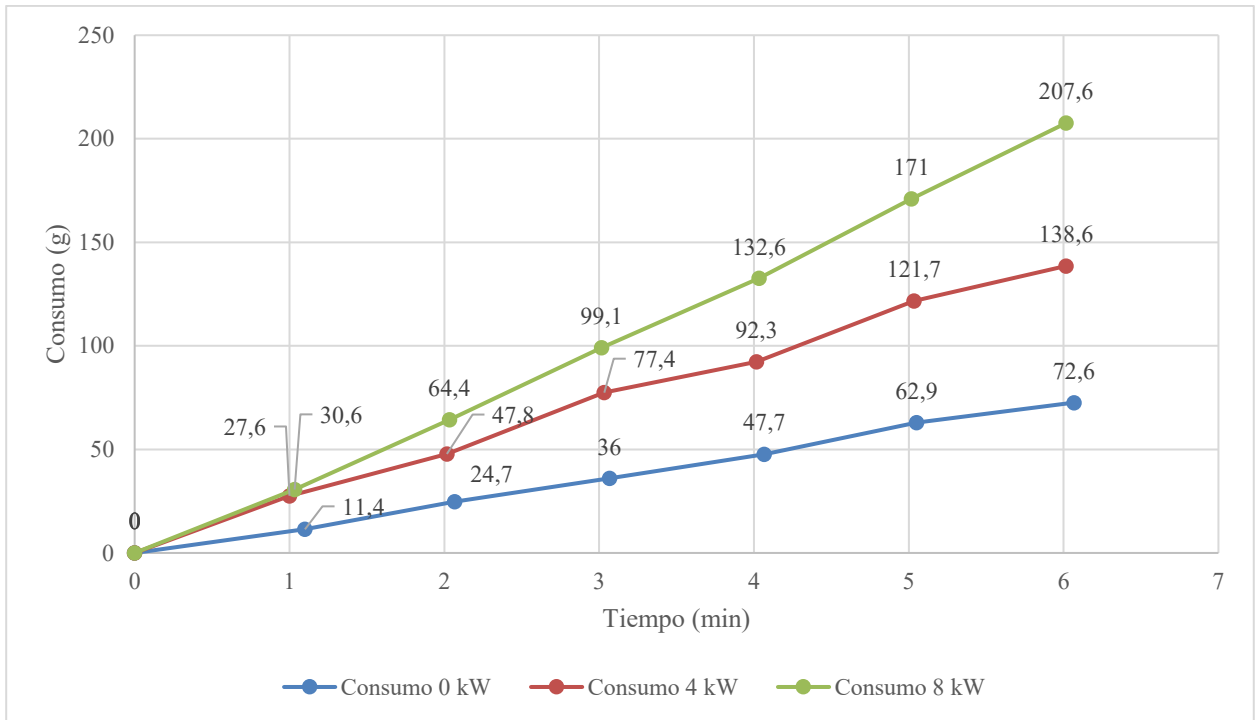


Figura 4-11 Gráfica resumen de estudio de consumo de Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable (fuente propia)

Para el estudio de consumo del Repsol Diesel e+ Neotech, se separa el estudio en 3 etapas de medición, una para cada carga seleccionada. Para la carga 0 kW, se representan los datos iniciales en la Tabla 4-14.

Medida	Hora de medición (h/m/s)	Instante de medida (h/m/s)	Cantidad de combustible (g)	Consumo acumulado (g)
0	16:59:24	0:00:00	960,2	0
1	17:00:25	0:01:01	933,8	14,4
2	17:01:25	0:02:01	925,8	26,4
3	17:02:24	0:03:00	913,2	40,3
4	17:03:25	0:04:01	901,5	52,7
5	17:04:26	0:05:02	892,1	64,1
6	17:05:25	0:06:01	880,2	75,3

Tabla 4-14 Valores de medida de estudio de consumo para carga 0 kW de Repsol Diésel e+ Neotech (fuente propia)

Gráficamente, se pueden representar estos datos en la siguiente Figura 4-12, donde obtenemos la proporción de consumo, 12,52 g/min.

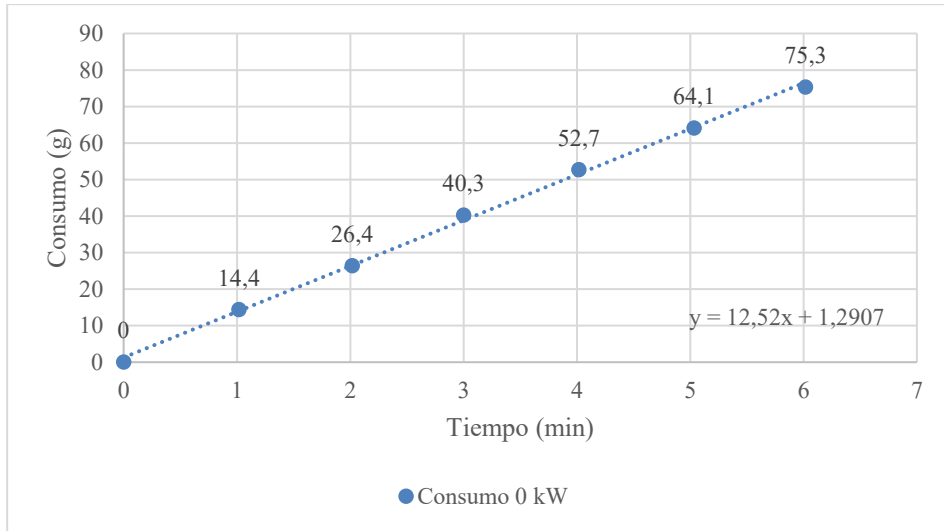


Figura 4-12 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Neotech para carga 0 kW (fuente propia)

En la segunda etapa, con una carga de 4 kW, en la Tabla 4-15, se mostrarán los siguientes datos iniciales.

Medida	Hora de medición (h/m/s)	Instante de medida (h/m/s)	Cantidad de combustible (g)	Consumo acumulado (g)
0	17:07:05	0:00:00	858,1	0
1	17:08:08	0:01:03	834,9	23,2
2	17:09:07	0:02:02	813,8	44,3
3	17:10:07	0:03:02	785,4	72,7
4	17:11:07	0:04:02	753,3	104,8
5	17:12:07	0:05:02	726,8	131,3
6	17:13:07	0:06:02	703,1	155

Tabla 4-15 Valores de medida de estudio de consumo para carga 4 kW de Repsol Diésel e+ Neotech (fuente propia)

A continuación, en la Figura 4-13, se muestra gráficamente los datos resultantes del estudio de esta etapa. La proporción de consumo es 26,402 g/min.

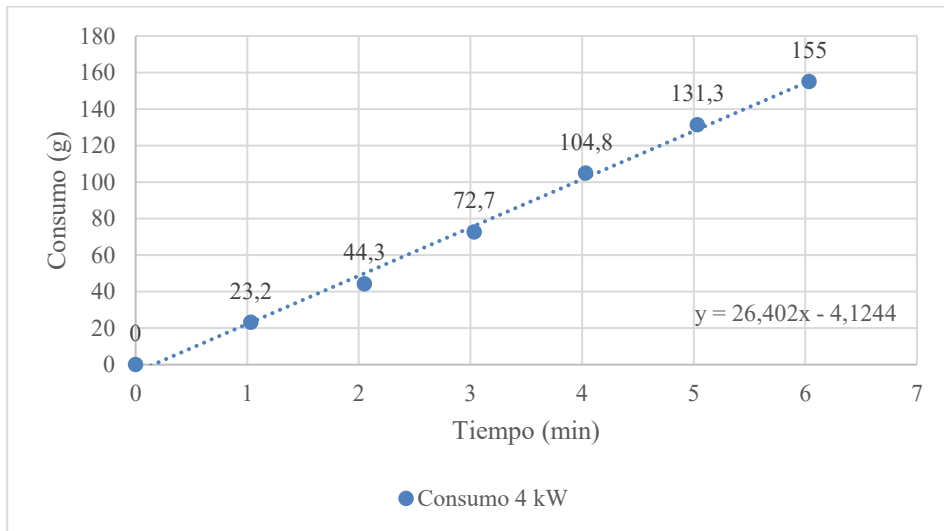


Figura 4-13 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Neotech para carga 4 kW (fuente propia)

Para finalizar, se mostrarán los datos obtenidos en la última etapa con carga de 8 kW en la Tabla 4-16.

Medida	Hora de medición (h/m/s)	Instante de medida (h/m/s)	Cantidad de combustible (g)	Consumo acumulado (g)
0	17:13:50	0:00:00	682,9	0
1	17:14:52	0:01:02	644,1	38,8
2	17:15:51	0:02:01	607,9	75
3	17:16:51	0:03:01	569,3	113,6
4	17:17:52	0:04:02	526,5	156,4
5	17:18:52	0:05:02	490,8	192,1
6	17:19:51	0:06:01	452,9	230

Tabla 4-16 Valores de medida de estudio de consumo para carga 8 kW de Repsol Diésel e+ Neotech (fuente propia)

Encontramos la representación gráfica del estudio con carga de 8kW, en la Figura 4-14. La proporción de consumo resultante es 38,41 g/min.

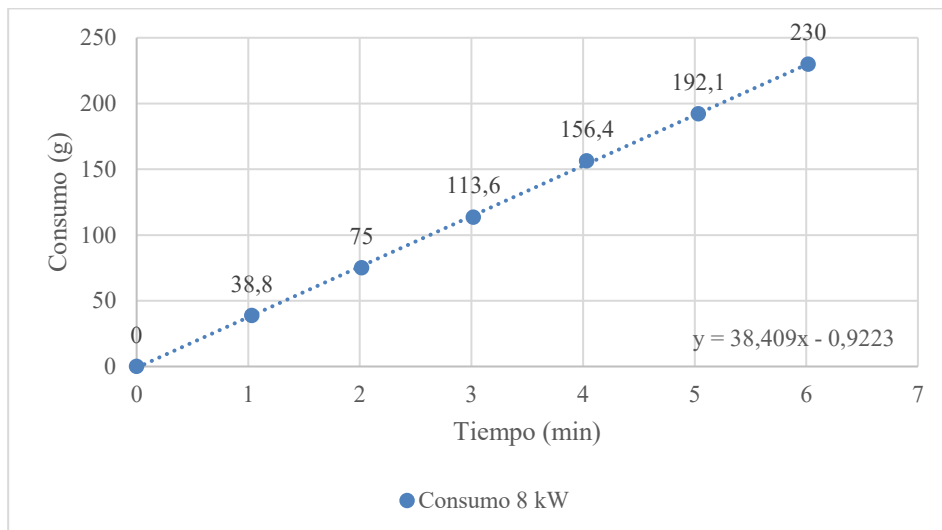


Figura 4-14 Valores de consumo de Repsol Diésel e+ Neotech para carga 8 kW (fuente propia)

Como en el anterior caso, se expone en la Figura 4-15, los tres consumos de las cargas distintas utilizadas en el estudio. Al igual que en la Figura 4-11, se observa una cierta armonía en el consumo de las distintas cargas, ya que mantienen las proporciones de manera constante, más concretamente en las mediciones finales.

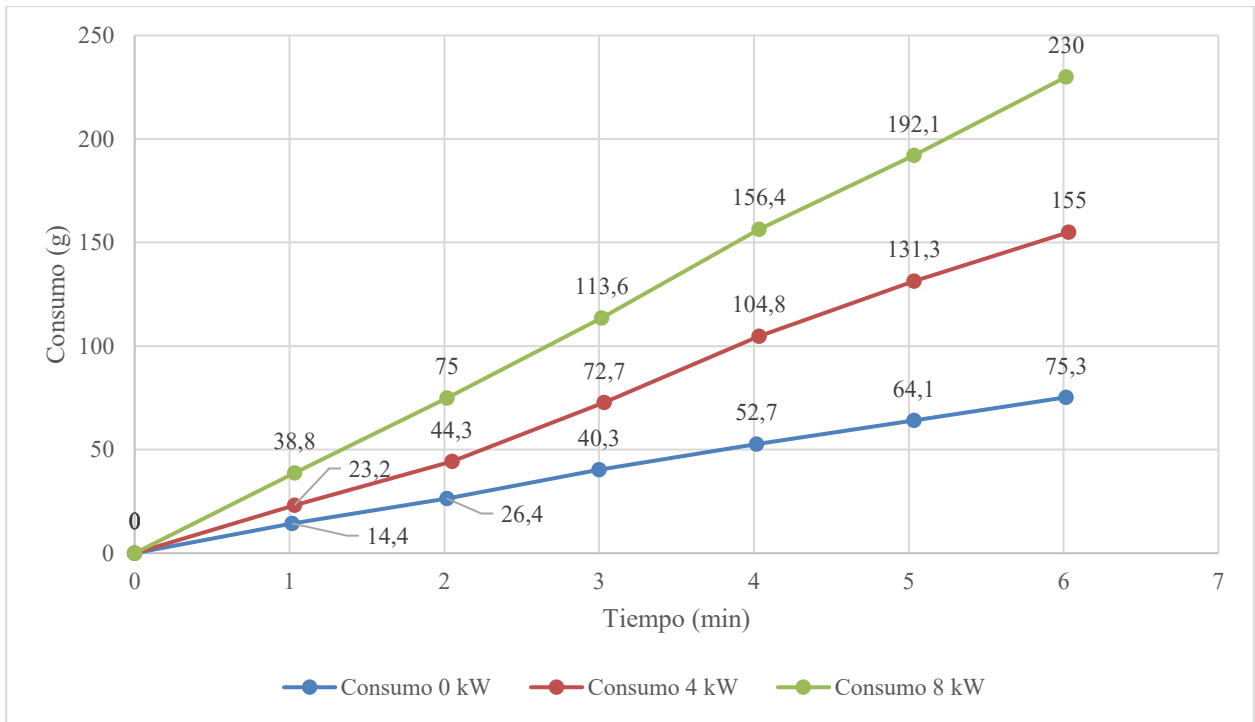


Figura 4-15 Gráfica resumen de estudio de consumo de Repsol Diesel e+ Neotech (fuente propia)

Para realizar la comparación y análisis de consumo, se comparan las proporciones de consumo directamente, entre las mismas cargas, para los distintos combustibles. De tal manera, en la Figura 4-16, se refleja como el Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable tiene un menor consumo, en todas las cargas. No se observa una diferencia muy notable en carga 0 kW. Sin embargo, en las dos cargas siguientes, mantiene una diferencia de casi 4 g/min concluyendo así que este combustible consume menos.

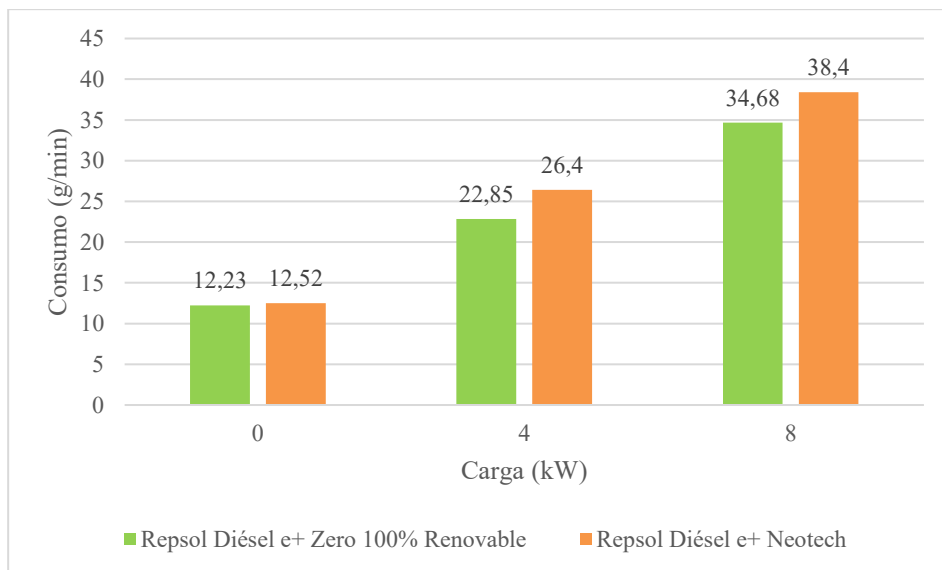


Figura 4-16 Gráfica comparativa entre Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable y Repsol Diesel e+ Neotech (fuente y elaboración propia)

Una vez se tienen las proporciones de consumo de cada combustible para cada carga, los porcentajes de reducción por parte del diésel renovable son los siguientes. Para la carga 0 kW, el porcentaje de reducción es de 2,32 %. Para la carga de 4 kW, el porcentaje de reducción es 13,45 %. Finalmente, el porcentaje de reducción para la carga de 8 kW es de 9,70%.

El cálculo que define la proporción de reducción entre los dos combustibles será el siguiente. En el estudio de consumo del Repsol Diesel e+ Neotech, durante 18 minutos de medición, ha tenido un consumo acumulado en las tres cargas de 460,3 g. En las mismas condiciones, el Repsol Diesel Zero e+ ha tenido un consumo acumulado de 418,8g. Por consiguiente, el porcentaje de reducción es de 9,015% aproximadamente.

4.3.2 Resultados de emisión de gases

En este estudio de emisiones de gases, se realiza una comparación de composición entre oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), y una segunda comparación entre la concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), y óxido nítrico (NO).

En la primera comparación, reflejada en la Figura 4-17, se aprecian las distintas composiciones de dióxido de carbono (CO₂). Se aprecia que en la carga 0 kW, es ligeramente superior la emisión de dióxido de carbono, aunque conforme va aumentando la carga, los valores son más cercanos. En 4 kW, se aprecia como son valores más cercanos. Finalmente, en 8 kW, se obtienen valores prácticamente similares.

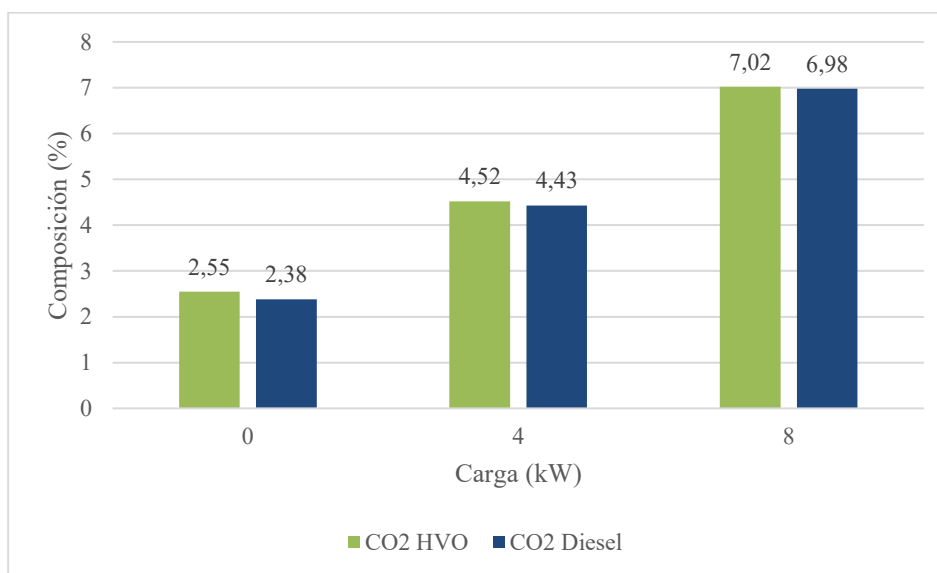


Figura 4-17 Gráfica comparativa con la composición de CO₂ en distintas cargas, respecto a Repsol Diesel e+ Zero 100% Renovable y Repsol Diesel e+ Neotech (fuente propia)

Este resultado es esperado, ya que las emisiones de dióxido de carbono son similares, y donde contribuye a la descarbonización, es en sus procesos de producción, ya que proviene de fuente sostenible. En este análisis realizado por la Universidad Politécnica de Madrid, relata la forma en la que los distintos combustibles reducen la huella de carbono [70].

Atendiendo a la Figura 4-18, se atribuye un valor relativo de 100 a la gasolina, en función de sus emisiones de GEI. Se observa el valor de -224 obtenido por el diésel sintético en WtT, lo que sería el diésel renovable, que demuestra que, comparado con la gasolina, o con el diésel, tiene una emisión de GEI mucho menor. En el TtW se observa como la emisión de gases, comparando el diésel sintético junto al diésel, tienen un valor aproximado, como el resultado obtenido. Finalmente se ve la diferencia en el WtW, como el diésel tiene un valor relativo de 87 mientras el diésel renovable tiene un valor relativo de 24.

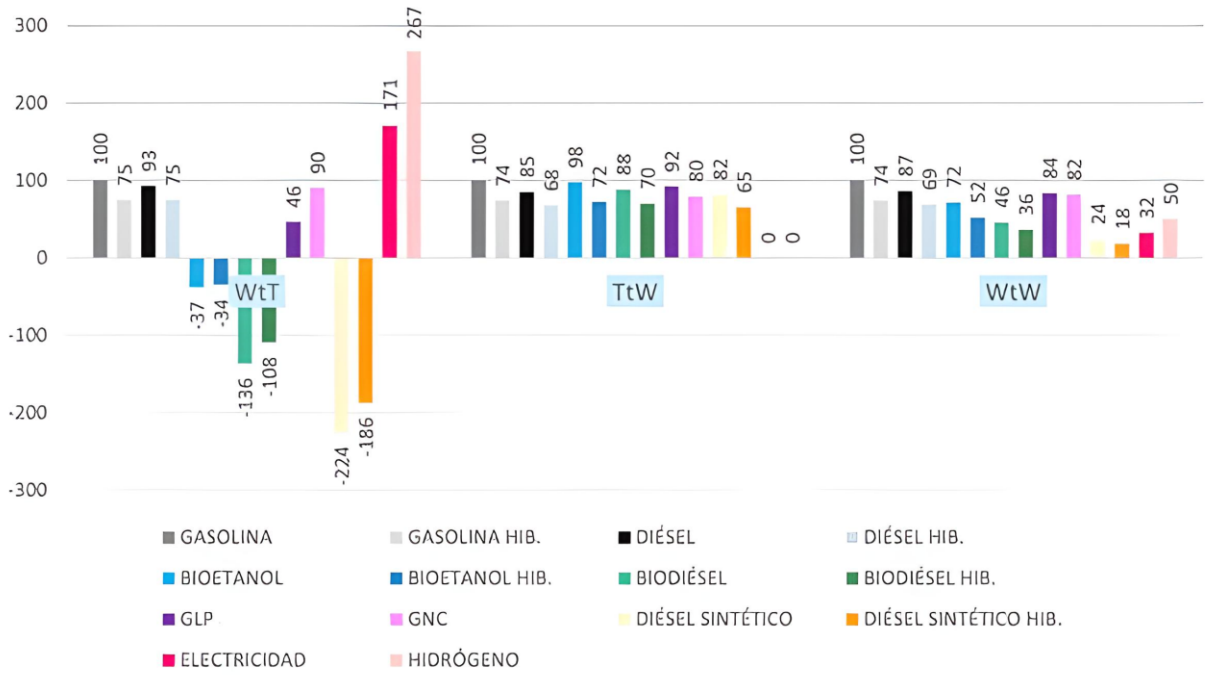


Figura 4-18 Comparación relativa de las emisiones de GEI asociadas a la fuente energética, en etapas de WtT, TtW y WtW [70]

Por consiguiente, se muestran los resultados obtenidos por un experimento similar al estudio realizado en este apartado, en la Facultad de Ingeniería Mecánica de Praga, República Checa [71].

En este estudio, se lleva a cabo en un motor de investigación, tipo AVL 5402, producido por AVL List GMBH. Posee un cilindro y 0,5 litros de capacidad, inyección de diésel de common-riel. Al ser un banco de pruebas le permite controlar a la perfección su funcionamiento concluyendo así con distintos modos de operación, lo que le convierte en un motor idóneo para el desarrollo de estas investigaciones.

En esta investigación se realizan pruebas de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) directamente relacionado con la energía consumida por el motor. En las series de pruebas que se realizan, en el que el motor opera en distintos modos, reflejado en la Figura 4-19, se observa lo siguiente. Se aprecia como las emisiones son prácticamente del mismo valor o incluso superiores, como es el caso del modo 3.

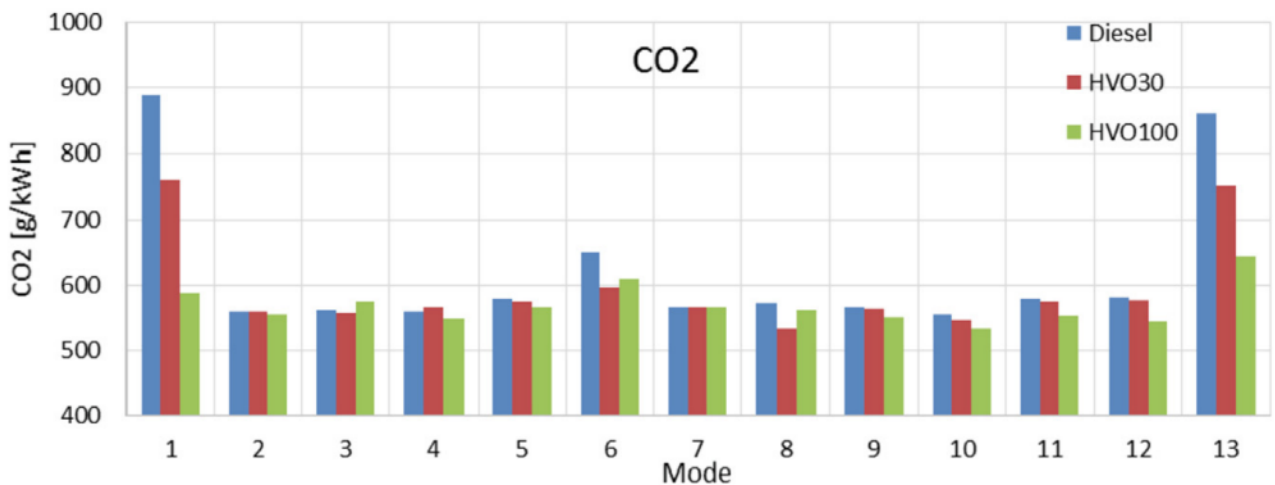


Figura 4-19 Gráfica de emisión de CO₂ por cantidad de energía consumida en función del modo de trabajo [71]

De esta manera, se justifica y se concluye que los valores de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son lógicos y son valores esperados en este estudio.

Respecto a la segunda comparación de emisiones de concentración de gases, en la Figura 4-20 se pueden obtener las siguientes consideraciones. Se observa, que en carga 0 kW, los valores obtenidos son muy similares, ligeramente inferiores en el diésel renovable. En carga 4kW, ya si es notable que la concentración de gases es menor en el diésel renovable. Por último, en 8 kW si es concluyente que el diésel renovable tiene una emisión menor de concentración de NO y NO₂. Por parte de ningún combustible se mide SO₂ en ninguna carga.

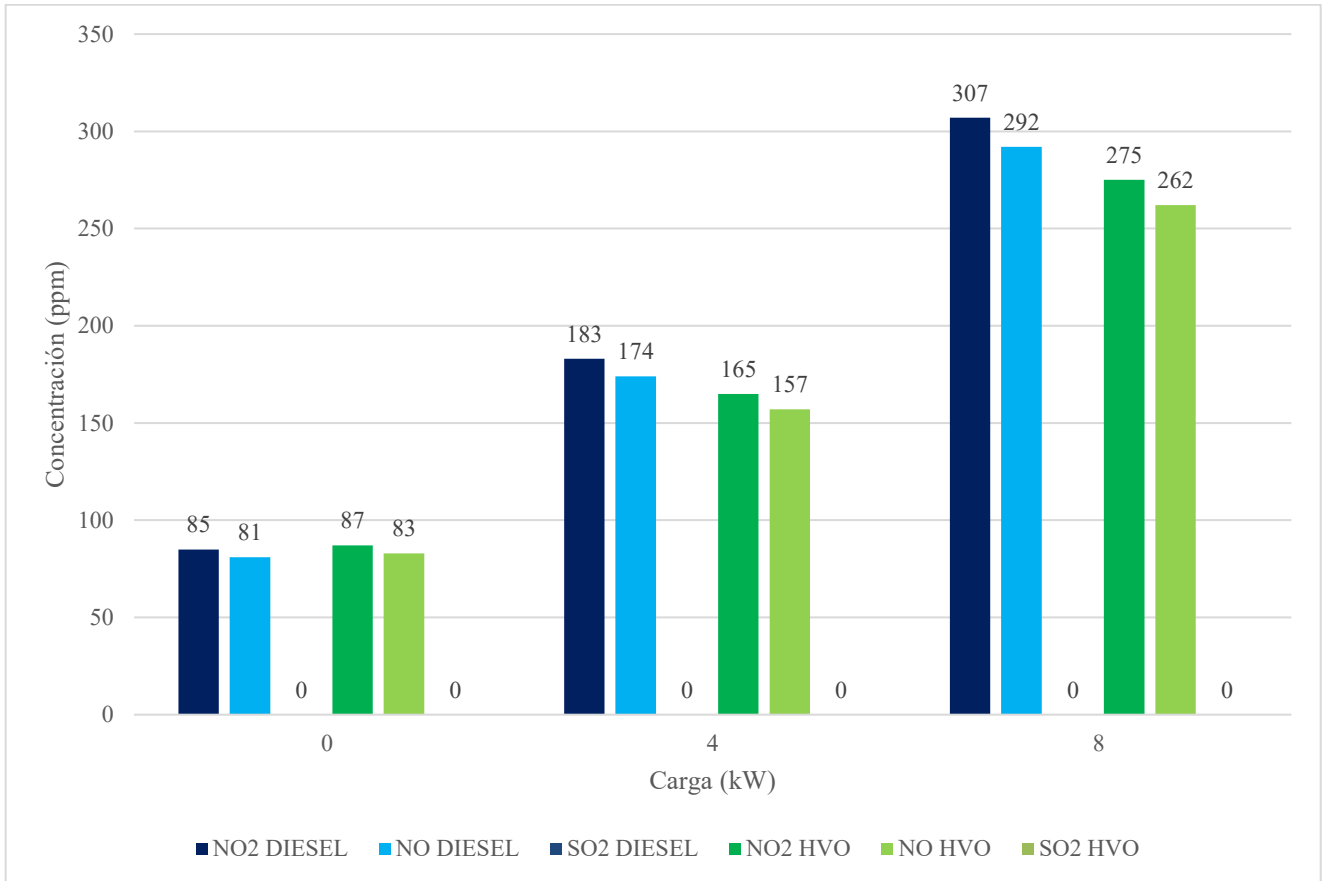


Figura 4-20 Gráfica de concentración de gases, en función del combustible y de la carga del motor (fuente propia)

4.4 Evaluación de resultados

Respecto a la evaluación total de resultados, con los datos y conclusiones que se han recogido, se evaluará la consecuencia del uso de Repsol Diésel e+ Zero 100 % Renovable en las Lanchas de Instrucción. Se realizará una evaluación en base al consumo y en base a emisiones. Además, se incluirá un análisis económico.

Siguiendo el orden mencionado, se calcula la reducción de consumo que se obtendría con el uso de diésel renovable. Para ello, habiendo evidenciado que el HVO tiene un menor consumo de masa de combustible que el diésel, los cálculos se procederán a realizarse con el dato obtenido anteriormente de la eficiencia demostrada de un 9,015%.

Con esto, podría deducirse que el consumo promedio de una lancha de instrucción podría rebajarse de 8,81 litros cada milla navegada a 8,00 litros por cada milla. Atendiendo a los resultados del estudio de consumo (4.3.1), en la salida a la mar se produjo un consumo de 2.929 litros por parte del grupo de las Lanchas de Instrucción. Podría haberse conseguido un consumo menor de 2.661 litros, pudiendo haber conseguido el ahorro de 268 litros de combustible, prácticamente la mitad de consumo de una lancha de instrucción en esta salida. Para tener una perspectiva más amplia, durante el año 2023, desde

enero hasta diciembre sin contar con julio y agosto debido a la inactividad de las Lanchas de Instrucción, se produjo un consumo de 46.948 litros de diésel. Según este estudio, se podría haber realizado un consumo aproximado de 42.652 litros de combustible con un ahorro de 4.295 litros.

Respecto al estudio de reducción de emisión de gases, los datos son lógicos al resultar una emisión de CO₂ similar a la del diésel. A continuación, se va a realizar una aproximación que cuantifique las toneladas de carbono que son emitidas por cada lancha de instrucción.

En la Tabla 4-17, se muestra para cada Lancha de Instrucción, el caudal de gases de escape que tiene cada una, seguido de las revoluciones por minuto promedias del estudio de consumo (4.2), junto a la velocidad promedio que alcanzan aproximadamente y al tiempo que tardan para recorrer una milla náutica a esa velocidad.

Lancha de Instrucción	Caudal de gases de escape (m³/min)	Revoluciones por minuto (rpm)	Velocidad (nudos)	Tiempo en recorrer una milla náutica (min)
GM Salas	122,6	800	7,7	7,8
GM Godínez	190	1100	10,4	5,76

Tabla 4-17 Comparación de comportamiento entre L.I. GM Salas y L.I. GM Godínez (fuente propia)

En la Tabla 4-18, de igual manera separado por Lanchas de Instrucción, en la primera columna se muestra el volumen de gases de escape que emite cada lancha en el tiempo que recorre una milla náutica, cada una a su velocidad promedio. La siguiente columna, es la composición de CO₂ medida para cada régimen de revoluciones promedio de cada lancha. Por consiguiente, se calcula el volumen de CO₂ que emite al recorrer 1MN a velocidad promedio de cada lancha. Se podría estimar que el volumen promedio que emite una lancha de instrucción al recorrer 1 NM a su velocidad promedio es de 61,22 m³.

Lancha de Instrucción	Volumen de gases de escape al recorrer 1 MN(m³)	Emisión de CO₂ (%)	Volumen de CO₂ al recorrer 1 MN a velocidad promedio (m³)
GM Salas	956,28	3,76	35,97
GM Godínez	1094	7,9	86,46

Tabla 4-18 Comparación de emisión de CO₂ entre L.I. GM Salas y L.I. GM Godínez al recorrer una milla náutica (fuente propia)

Para realizar una extrapolación anual, en 2023 las horas de navegación acumuladas por las Lanchas de Instrucción han sido 1780 horas, repartido entre 5 lanchas de instrucción. De manera ideal podría decirse que cada lancha ha navegado 356 horas.

Atendiendo a la Tabla 4-19, se reflejan las siguientes conclusiones. De forma análoga, para cada lancha se muestra el caudal de los gases de escape, que al estimar que cada lancha ha navegado 356 horas se puede calcular el volumen de gases de escape. De igual manera, con el valor de la emisión de CO₂ en tanto por ciento, se puede obtener su emisión en metros cúbicos (m³). El valor de la densidad del CO₂ en condiciones estándar de presión y temperatura (0 °C y 1 atm), sería 1,997 kg/ m³. Por tanto, con el volumen emitido y su densidad, concluimos con las toneladas aproximadas emitidas en un año por cada lancha.

Lancha de Instrucción	Caudal (m ³ /h)	Volumen de gases de escape (m ³)	Emisión de CO ₂ (m ³)	Emisión de CO ₂ (t)
GM Salas	7.356	2.618.736	98.464,45	194,5
GM Godínez	11.400	4.058.400	320.613,5	633

Tabla 4-19 Comparación de emisión de CO₂ entre L.I. GM Salas y L.I. GM Godínez de forma anual (fuente propia)

Para la lancha GM Salas, se calcula que ha emitido 194,5 toneladas de CO₂ y para la lancha GM Godínez se calcula una emisión de 633 toneladas de CO₂.

El segundo punto, con el uso de un combustible con una fuente de origen sostenible, la cantidad de GEI emitidos en la producción de estos combustibles se evitarían, por tanto, desde el primer instante de su elección, ya se está optando por la descarbonización.

Respecto al estudio económico, se utilizarán los precios de venta al público del día 8 de marzo de 2024, para el Repsol Diésel e+ Neotech y Repsol Diésel e+ Zero 100% Renovable. Como se ha visto anteriormente en 2023 se realizó el consumo de 46.948 litros de Repsol Mardiésel e+, y se valorará su precio como el Repsol Diésel e+ Neotech. Para realizar un estudio económico real serían necesarios los precios de cada combustible para así poder llevar a cabo el análisis. A día de hoy, el diésel renovable tiene un precio superior al diésel, por tanto, se va a realizar un cálculo económico, con precios de mercado actual, sólo con interés de ver la proporción de ahorro entre los distintos precios.

En 2023 se produjo el consumo de 46.948 litros, que a precio de 1,611 €/l, es un coste de 75.633,23€. Lo que se hubiese consumido si hubiese sido diésel renovable, serían 42.652,25 litros, a precio de 1,669, es un coste de 71.186,60€. Con este análisis, se ve que, cumpliendo la proporción de reducción de consumo, aun teniendo un precio mayor el diésel renovable, sale a un precio menor, con una diferencia de 4.446,63€.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones obtenidas según el estudio y los resultados mostrados en el presente proyecto. El propósito principal reside la evaluación del cumplimiento de los objetivos tanto el principal como los secundarios, marcados al inicio del trabajo.

En la actualidad nos encontramos en un momento crucial donde la comprensión de la situación medioambiental no solo se considera vital, sino también urgente. Esta conciencia se traduce en la búsqueda de cambios prácticamente inmediatos para corregir el rumbo del desarrollo de la actividad humana y evitar daños irreparables al medioambiente. Este contexto brinda la oportunidad de explorar y desarrollar un amplio abanico de soluciones.

La solución optada por este TFG habita de forma intrínseca en el cumplimiento del objetivo principal y objetivos secundarios que lo definen. El principal objetivo de este proyecto es evidenciar la reducción de la intensidad de carbono emitida por los buques de la Armada con la adopción de diésel renovable. Respecto a los estudios realizados, evaluación y comparación de datos, se puede concluir que el uso del diésel renovable asegura el paso hacia la descarbonización. Durante el desarrollo de las distintas etapas de este estudio se han ido adquiriendo distintas evidencias hasta culminar con el resultado esperado, la evidencia de la reducción de la intensidad de carbono. De manera que, en la evaluación de resultados, se concluye con el balance de emisiones, ya que todo lo que emite es proporcional a lo absorbido en su proceso de producción. Además de tener un ahorro de 9,015% de consumo de masa de combustible.

Realizados los distintos estudios en las Lanchas de Instrucción GM Salas y GM Godínez, se ha permitido la obtención y el registro de información sobre su comportamiento y funcionamiento, siendo esencial para entender y conocer las dimensiones de los valores a los que este estudio enfrenta. A lo que esta parte respecta, la toma de datos ha sido satisfactoria diferenciando la obtención de la información sobre emisiones de GEI de cada lancha, y la recogida de datos del sistema de propulsión. Con la medición del analizador de gases se ha permitido redactar las emisiones obtenidas por cada lancha de instrucción, siendo la cuantificación y control de emisión de contaminantes el paso previo al comienzo de fases de reducción y futuras pruebas. Se podría concluir, para futuros experimentos, si se decide realizar mediciones en alguna de las Lanchas de Instrucción entre la GM Barrutia, GM Chereguini, GM Salas o GM Rull, la viabilidad de crear un acceso en el conducto de gases de escape previo al acceso del agua de refrigeración. Con esto, se conseguirían mediciones más fiables debido al esperado buen funcionamiento del analizador de gases.

En el estudio de consumo, se han analizado los datos necesarios para así realizar la evaluación de consumo nominal aproximado de una lancha de instrucción en condiciones normales de operación, posibilitando de esta manera, ver su posible reducción con el uso de diésel renovable. Se podría concluir

que, si todas las Lanchas de Instrucción estuviesen equipadas con sistemas que permitieran la lectura de los valores de tanque de combustible, precisarían las medidas y mejoraría la calidad de futuros trabajos.

Por otro lado, en el estudio de consumo y de emisiones realizado en el Motor Perkins ha sido más que satisfactorio y necesario para la comparación y demostración de las propiedades del diésel renovable. Se han obtenido datos lógicos y esperados respecto a su consumo, evidenciando así un menor gasto masa de combustible en su utilización. Respecto a las emisiones, se han obtenido los datos esperados a su emisión de gases de combustión, similares o incluso menores respecto al diésel. Se concluye que lo ideal hubiese sido comparar directamente el combustible utilizado en las L.L.I.I. con el diésel renovable, para tener una lectura de datos más real.

Una vez terminadas todas las etapas, se evidencia los resultados que se obtendrían con el empleo de diésel 100% renovable en las lanchas de instrucción, posibilitando así una disminución en la intensidad de carbono sin poner en riesgo la fiabilidad y eficacia de sus sistemas.

Esta investigación respalda la conciencia y el compromiso medioambiental de la Armada, abogando con la preservación y cuidado del medioambiente. Se demuestra así la voluntad activa de enfrentar desafíos actuales con prácticas sostenibles con intención de cumplir con el objetivo de la descarbonización. La investigación sobre la adopción del diésel renovable es indispensable para obtener una solución medioambiental inmediata que no requiera de modificaciones en la infraestructura de los motores actuales.

5.2 Líneas futuras

La principal línea futura de desarrollo a la que este TFG impulsa a seguir investigando es a la plena adopción del diésel 100% renovable en la Armada. En esta línea de trabajo se encuentran diferentes áreas de desarrollo que se complementan para llegar a lograr tal objetivo. El primer gran avance sería potenciar una línea de investigación en el CUD-ENM (Línea 3.4.3. Combustibles certificados no derivados del petróleo de la ETID 2020[6]).

Respectos a las futuras líneas de investigación que continúan con este trabajo podrían encontrarse:

- Empleo de diésel 100% renovable en las Lanchas de Instrucción y su derivado estudio de emisión de gases, análisis y comparación con el presente trabajo para obtención de conclusiones sobre resultados de descarbonización. Además, del consiguiente estudio sobre la reacción del motor ante este combustible para evidenciar que no supone un riesgo ante la seguridad y eficacia en las operaciones de la Armada.
- Estudio de consumo y de emisiones de GEI para el Patrullero “Tabarca” (P-28), para tener registro de su funcionamiento y comportamiento como del sistema de propulsión como de la propia plataforma. Además, de una extrapolación con la información obtenida del diésel 100% renovable junto al diésel utilizado en la plataforma.
- Reemplazo de diésel 100% renovable en el Patrullero “Tabarca” (P-28) con motivo de estudio de emisión de gases, análisis y comparación de información para evidenciar que la transición a diésel renovable en la Armada es un proceso seguro e inmediato.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Española, «Constitución española», *Bol. Of. Estado*, vol. 311, pp. 29313-29424, 1978.
- [2] J. R. Palma, «La eficiencia energética y la gestión ambiental en la armada», *Rev. Gen. Mar.*, vol. 261, n.º 2, pp. 335-348, 2011.
- [3] J. A. C. Villar, «La responsabilidad social corporativa en las FAS», *Rev. Gen.*, p. 37, 2012.
- [4] J. V. Vázquez, «EL MEDIOAMBIENTE EN LA ARMADA», *Rev. Gen. Mar.*, vol. 272, n.º 5, pp. 735-744, 2017.
- [5] T. Jiang *et al.*, «COP 28: Challenge of coping with climate crisis», *The Innovation*, vol. 5, n.º 1, 2024.
- [6] «Estrategia de Tecnología e Innovación». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Estrategia/Paginas/Defensa.aspx>
- [7] G. P. Alejandrina *et al.*, *Contaminación atmosférica*, vol. 6101305. Editorial UNED, 2012.
- [8] F. Ballester, «CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD», *Rev Esp Salud Pública*, vol. 79, 2005.
- [9] O. US EPA, «Importance of Methane». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/gmi/importance-methane>
- [10] O. US EPA, «Emisiones de gases fluorados». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-gases-fluorados>
- [11] R. Lindsey, «Climate Change: Annual greenhouse gas index», *NOAA Clim.*, 2022.
- [12] C. B. Staff, «Analysis: Global CO2 emissions could peak as soon as 2023, IEA data reveals», *Carbon Brief*. Accedido: 23 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-could-peak-as-soon-as-2023-iea-data-reveals/>
- [13] «| Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch». Accedido: 6 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&calculation=PERCENTAGE_CHANGE&chartType=area&end_year=2020&gases=all-ghg§ors=&start_year=2000

- [14] H. Ritchie y M. Roser, «Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?», *Our World Data*, dic. 2023, Accedido: 23 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- [15] «Contaminación por la Industria Naval», Oceana Europe. Accedido: 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://europe.oceana.org/es/contaminacion-por-la-industria-naval-0/>
- [16] «WTO | Evolution of trade under the WTO: handy statistics». Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/trade_evolution_e/evolution_trade_wto_e.htm
- [17] R. E. J. Schnurr y T. R. Walker, «Marine Transportation and Energy Use☆», en *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, Elsevier, 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09270-8.
- [18] P. Serra y G. Fancello, «Towards the IMO's GHG goals: A critical overview of the perspectives and challenges of the main options for decarbonizing international shipping», *Sustainability*, vol. 12, n.º 8, p. 3220, 2020.
- [19] N. Mueller, «Health impact assessment of urban and transport planning policies», 2017.
- [20] H. Liu *et al.*, «Health and climate impacts of ocean-going vessels in East Asia», *Nat. Clim. Change*, vol. 6, n.º 11, pp. 1037-1041, 2016.
- [21] J. Chen y G. Hoek, «Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis», *Environ. Int.*, vol. 143, p. 105974, 2020.
- [22] M. Stafoggia *et al.*, «Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project», *Environ. Health Perspect.*, vol. 122, n.º 9, pp. 919-925, 2014.
- [23] H. Schneider y J. Samaniego, «La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios», *Santiago Chile Com. Económica Para América Lat. El Caribe CEPAL*, pp. 29-34, 2009.
- [24] J. Buberger, A. Kersten, M. Kuder, R. Eckerle, T. Weyh, y T. Thiringer, «Total CO₂-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 159, p. 112158, 2022.
- [25] B. Palacios, «Huella de Carbono: más allá de un instrumento de medición. Necesidad de conocer su impacto verdadero», presentado en Actas–IV Congreso Internacional Latina de Comunicación Social–IV CILCS–Universidad de La Laguna, diciembre 2012, 2012.
- [26] «Informes e indicador de Intensidad de Carbono», REPSOL. Accedido: 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/informes-sostenibilidad/principales-indicadores-historico-informes/indicador-intensidad-carbono/index.cshtml>
- [27] J. P. Rodríguez, «Combustibles alternativos: ¿cuánto reducen la huella de carbono del transporte?», *The Conversation*. Accedido: 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://theconversation.com/combustibles-alternativos-cuanto-reducen-la-huella-de-carbono-del-transporte-171066>
- [28] U. Nations, «De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático | Naciones Unidas», United Nations. Accedido: 26 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/de-estocolmo-kyotobreve-historia-del-cambio-climatico>

- [29] E. A. V. GALLO, «DE ESTOCOLMO 1972 A ESTOCOLMO 2022: CINCUENTA AÑOS DESPUÉS», 2023.
- [30] «Así fue la primera Cumbre de la Tierra: “Una psicosis de contaminación atómica domina la conferencia”», Diario ABC. Accedido: 26 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.abc.es/sociedad/abci-mundial-medio-ambiente-primera-cumbre-tierra-psicosis-contaminacion-atmica-domina-conferencia-202206050250_noticia.html
- [31] «Qué es la COP», cop25.mma.gob.cl. Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cop25.mma.gob.cl/que-es-la-cop/>
- [32] «Conferencia de las Partes (COP) | CMNUCC». Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- [33] «El Protocolo de Kioto», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.html>
- [34] «El Acuerdo de París», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.html>
- [35] G. Linares-Fleites y M. A. V. Pérez, «El origen y evolución de las Conferencias de las Partes (COP) sobre el cambio climático», *RD-ICUAP*, vol. 8, n.º 22, pp. 28-41, 2022.
- [36] I. CORPORATIVA, «Origen de las COP», Iberdrola. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contra-cambio-climatico/origen-cop-naciones-unidas-conferencias>
- [37] «Acuerdo en la COP28, Refugiados, Gaza... Las noticias del miércoles | ONU GINEBRA». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ungeneva.org/es/news-media/news/2023/12/88530/acuerdo-en-la-cop28-refugiados-gaza-las-noticias-del-miercoles>
- [38] «Global Stocktake | UNFCCC». Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://unfccc.int/topics/global-stocktake>
- [39] «COP28: principales conclusiones | Pacto Mundial de la ONU», Pacto Mundial. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/noticia/cop28-el-inicio-del-fin-de-los-combustibles-fosiles/>
- [40] «Sanda Ojiambo, nueva directora ejecutiva de UN Global Compact», Pacto Mundial. Accedido: 5 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/noticia/el-secretario-general-de-naciones-unidas-nombra-a-sanda-ojiambo-de-kenia-nueva-directora-ejecutiva-de-un-global-compact/>
- [41] «La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 11 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- [42] «— SDG Indicators». Accedido: 11 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>
- [43] MITECO, «Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050», *Estrateg. Largo Plazo Para Una Econ. Esp. Mod. Compet. Climáticamente Neutra 2050*, 2020.

- [44] «¿Qué es la neutralidad de carbono y cómo alcanzarla para 2050?», Temas | Parlamento Europeo. Accedido: 11 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20190926STO62270/que-es-la-neutralidad-de-carbono-y-como-alcanzarla-para-2050>
- [45] «Qué es la descarbonización y principales claves para conseguirla», REPSOL. Accedido: 11 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/descarbonizacion/index.cshtml>
- [46] P. García López, «Descarbonización del tráfico marítimo: estudio comparativo de las diferentes opciones», 2023.
- [47] «Qué es el biodiesel», Rincón educativo. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-el-biodiesel/>
- [48] A. Ruiz y J. Castello, «Estudio del índice de cetano en el Diesel Premium transferido desde el terminal Tres Bocas al Terminal Pascuales», 2020.
- [49] M. del M. H. García, «La descarbonización del sector de la defensa: ¿un deseo realizable?», *Bie3 Bol. IEEE*, n.º 30, pp. 376-390, 2023.
- [50] Jefatura de Personal, Dirección de Enseñanza Naval, «El Medio Ambiente en la Armada».
- [51] N. M. Alonso y F. J. C. Berges, «El cambio climático y la eficiencia energética. El futuro de una flota verde. El caso español», *Pre-Bie3*, n.º 2, p. 30, 2011.
- [52] Armada, «Buque “Contaminación Cero” - Medio Ambiente - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/01proteccioncostamar--12BuqueContaminacionCero>
- [53] Armada, «Buques de Acción Marítima “Furor” (P-46) - B.A.M. “Furor” - Buques - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/10buques-accion-maritima--06buque-accion-maritima-Furor-p46>
- [54] Armada, «Sistema de Gestión Ambiental - Medio Ambiente - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 8 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/02GestionAmbiental>
- [55] Armada, «Plan de Eficiencia Energética: Energías renovables - Acciones frente al Cambio Climático - Medio Ambiente - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosmedioambiente/prefLang-es/03CambioClimatico--31AccionesCambioClimatico>
- [56] Armada, «Escuela de Suboficiales de la Armada - Escuelas de la Armada - Galería Fotográfica - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 10 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/multimedialogaleria/prefLang-es/18escuelas--1lesubo-es?showVolver=1>
- [57] Armada, «Escuela Naval Militar - Escuelas de la Armada - Galería Fotográfica - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 10 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en:

- <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/multimedialgaleria/prefLang-es/18escuelas--02enm-es?showVolver=1>
- [58] «La Escuela Naval recibe una nueva lancha de instrucción, la Guardiamarina Godinez - Carriola de Marín». Accedido: 13 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.carriola.es/index.php/noticias-de-marin-by-julio-santos/5437-la-escuela-naval-recibe-una-nueva-lancha-de-instruccion-la-guardiamarina-godinez>
- [59] Escuela Naval Militar, *Manual de Lanchas de Instrucción A-121*. Marín, Pontevedra, 2008.
- [60] «403D-15 Industrial Diesel Engines | Perkins», https://www.perkins.com/en_GB/products/new/perkins/industrial/industrial-diesel-engines/1000002599.html. Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.perkins.com/en_GB/products/new/perkins/industrial/industrial-diesel-engines/1000002599.html
- [61] «Set básico analizador de combustión industrial testo 340». Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.testo.com/es-ES/analizador-de-combustion-testo-340/p/0632-3340>
- [62] «Renewable diesel as fossil fuel substitution in Malaysia: A review - ScienceDirect». Accedido: 19 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122000096>
- [63] A. Amin, «Review of diesel production from renewable resources: Catalysis, process kinetics and technologies», *Ain Shams Eng. J.*, vol. 10, n.º 4, pp. 821-839, dic. 2019, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.001.
- [64] «Combustibles Renovables: reduce tus emisiones», REPSOL. Accedido: 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.es/particulares/vehiculos/carburantes/combustibles-renovables/>
- [65] «Repsol superará las 600 estaciones de servicio con combustible renovable en 2024», REPSOL. Accedido: 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2024/repsol-superara-las-600-estaciones-de-servicio-con-combustible-renovable-en-2024/index.cshtml>
- [66] «Gasóleo Marítimo y Combustible para barcos de Recreo», REPSOL. Accedido: 2 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.es/particulares/vehiculos/carburantes/gasoleo-maritimo/>
- [67] «Diesel Repsol Neotech: Gasóleo A para tu vehículo», REPSOL. Accedido: 2 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.es/particulares/vehiculos/carburantes/diesel-neotech/>
- [68] J. T. Sermarini, «The Universal Fuel at Sea: Replacing F-76 with JP-5».
- [69] REPSOL COMERCIAL DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS, y S.A, «Ficha de Datos de Seguridad (FDS) Repsol Mardiesel e+». 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.pt/content/dam/repsol-portugal/particulares/gas%C3%B3leo/fichas-de-seguran%C3%A7a/FDS%20MARDIESEL%20EPLUS.pdf>
- [70] «Universidad Politécnica de Madrid». Accedido: 26 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.upm.es/?id=e4e7e761c531d710VgnVCM10000009c7648a____&prefmt=articulo&fmt=detail
- [71] I. Bortel, J. Vávra, y M. Takáts, «Effect of HVO fuel mixtures on emissions and performance of a passenger car size diesel engine», *Renew. Energy*, vol. 140, pp. 680-691, 2019.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

El desarrollo del diésel renovable puede traducirse como una opción prometedora como un combustible que pueda aportar a la descarbonización de forma segura e inmediata y contribuir a las inquietudes a nivel internacional. El desarrollo y uso de este combustible sostenible no solo conlleva implicaciones ambientales, sino también sociales y económicas que deben ser consideradas de manera integral.

Se puede definir implicación social como aquellos efectos o consecuencias que pueden tener diferentes acciones en la sociedad. La acción de posibilitar la implementación del diésel renovable se puede considerar como un avance positivo, por los siguientes motivos. La seguridad energética de un país se ve aumentada, en el momento en el que se reduce la dependencia a combustibles fósiles, de tal manera que contribuya a la diversificación energética. De esta manera se aumenta la resiliencia frente a posibles crisis en el suministro de estos combustibles tradicionales. Por consiguiente, al instaurar este nuevo combustible, es necesaria su producción, distribución y promoción, lo que genera nuevas oportunidades de empleo en diversos sectores, desde la agricultura para la materia prima hasta la construcción de infraestructura de energía renovable. Además, un resultado esperable y buscado es la reducción de emisiones contaminantes, por lo que esto supondría una mejora de la calidad de aire. Sobre todo, en zonas urbanas, que disminuiría la incidencia de enfermedades respiratorias y con ello una mejora de la salud pública.

Una implicación económica se refiere a los efectos o consecuencias que una acción o política puede tener en la economía, ya sea a nivel macroeconómico o microeconómico. Estos efectos pueden generar avances positivos, como la creación de empleo y el estímulo a la actividad económica. Sin embargo, en el caso de la transición hacia el uso de diésel renovable, podría existir una fase inicial de ajuste y adaptación que podría generar incertidumbre en los mercados. No obstante, una vez superada esta etapa y estabilizados los precios del combustible y la materia prima, se espera que la producción local de materias primas impulse la economía. Además, el uso de diésel renovable puede ayudar a cumplir con regulaciones ambientales más estrictas, lo que refuerza la responsabilidad medioambiental de las empresas y contribuye a la sostenibilidad a largo plazo.

Por último, las implicaciones ambientales son definidas como aquellos efectos producidos en el medioambiente por acciones o políticas optadas. El desarrollo de diésel renovable ofrece una serie de beneficios ambientales, el primero y más destacado sería la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el diésel convencional. Al ser producido a partir de fuentes renovables como aceites vegetales o residuos orgánicos, también contribuye a la lucha contra el cambio climático. Al disminuir las emisiones, se contribuye con los distintos objetivos marcados a nivel internacional sobre el calentamiento global y el balance energético. Con esto, se promueven prácticas más sostenibles en la cadena de suministro de energía y reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles no renovables. Esto a su vez contribuye a la preservación de los recursos naturales finitos y al mantenimiento del equilibrio ambiental a largo plazo.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

La adopción y el desarrollo de tecnologías como el diésel renovable están sujetos a reflexiones fundamentales que abordan cuestiones relacionadas con la responsabilidad ambiental, equidad social y el impacto a largo plazo en la sociedad y en el medioambiente. Las reflexiones éticas y sociales son necesarias para garantizar una implementación del diésel renovable que sea segura, sostenible y justa.

Como reflexiones éticas, el uso de diésel renovable plantea varias cuestiones a ser consideradas. La primera y más crucial, sería la responsabilidad hacia el medioambiente. La responsabilidad o la conciencia de tomar decisiones que minimicen el impacto ambiental y promuevan prácticas sostenibles es más que necesario ya que es la base del resto de cuestiones éticas. Las consecuencias que se podrían obtener de mantener una postura responsable hacia el medioambiente, sería la transparencia y la divulgación del desarrollo del diésel renovable. Las empresas que producen y utilizan este combustible es importante que resalten la transparencia de su impacto ambiental. Esta divulgación de información ética puede fomentar la confianza del público y ayudar a la adopción de tecnologías más sostenibles. Una vez el público sea consciente de la importancia que tiene el participar en el desarrollo de combustibles renovables, se debe garantizar que todos los sectores de la sociedad tengan acceso equitativo a esta tecnología. Para finalizar, esta última consideración, sería una consecuencia de todas las anteriores, ya que se trata de la justicia intergeneracional. La adopción de tecnologías de energía renovable, como el diésel renovable, puede ser vista como un acto ético que busca proteger el medio ambiente y los recursos naturales para las generaciones futuras.

Como reflexiones sociales, de igual manera sobre el uso del diésel renovable, destacan distintas ideas con efecto directo en la sociedad. La producción y distribución de diésel renovable tendrían un impacto en las comunidades locales tanto positivo como negativo. Estas actividades afectarían a la economía local, el empleo y el bienestar de las personas. La participación directa de una comunidad con el desarrollo de una nueva tecnología es crucial para su asentamiento y permanencia. Por tanto, requiere de aceptación, participación y apoyo, directamente relacionado con su acceso y los beneficios que acompañe. De esta manera, va ligado la educación social y conciencia sobre el apoyo de energías renovables, sobre los beneficios que ofrece y los desafíos que enfrenta. Para ello, es importante la implementación de políticas y programas que apoyen la adaptación y mitigación de impactos sociales.

ANEXO III: ESPECIFICACIONES DEL REPSOL DIÉSEL ZERO E+10

En este anexo se incluyen las especificaciones técnicas del HVO.

Sample LB234154-02		Client: REPSOL COMERCIAL DE PRODUCTOS PETROLIFEROS, S.A.		
Sample ref.	80048	Date of sampling	-	
Product	HVO	Reception date	05/12/2023	
Sample package	Metallic	Start date analysis	07/12/2023	
Observations	Sample received in good condition	End date analysis	02/01/2024	
Drawn by #	Sample provided by the client	Issue date report	03/01/2024	
Sealed sample	Self-sealing			
Test	Method	Units	Result	Limits
Visual appearance at 20°C #	Visual	---	C&B	
Density at 15°C	UNE-EN ISO 12185:1999	kg/m ³	780,5	765,0 - 800,0
Kinematic viscosity at 40 °C	UNE-EN ISO 3104:2021	mm ² /s	2,959	2,000 - 4,500
Sulphur	UNE-EN ISO 20846:2020	mg/kg	<3,0	5 max
Flash Point (PMCC) - Procedure A	UNE-EN ISO 2719:2017/A1:2021	°C	60,0	55 min
Cloud point	UNE-EN ISO 3015:2020	---	-17	0°C Summer -10 °C Winter
Cold filter plugging point, CFPP	UNE-EN 116:2015	---	-21	0°C Summer -10 °C Winter
Water content	UNE-EN ISO 12937:2001	mg/kg	50	200 max
Ash	UNE-EN ISO 6245:2003	% w/w	<0,010	0,010 max
Initial point	UNE-EN ISO 3405:2020	°C	160,1	
Evaporated at 250°C	UNE-EN ISO 3405:2020	% v/v	9,9	65 max
Evaporated at 350°C	UNE-EN ISO 3405:2020	% v/v	>99,9	85 min
95% recovered	UNE-EN ISO 3405:2020	°C	305,4	360 max
Indicated Cetane Number	UNE-EN 17155:2019	---	77,2	70 min
Carbon residue (on 10% distillation residue)	UNE-EN ISO 10370:2015	% w/w	<0,10	0,30 max
Oxidation Stability	UNE-EN ISO 12205:1996	g/m ³	2	25 max
Copper strip corrosion (3h at 50 °C)	UNE-EN ISO 2160:1999	---	1a	Class 1
Total contamination	UNE-EN 12662:2014	mg/kg	<12,0	24 max
Lubricity (method B)	UNE-EN ISO 12156-1:2019	µm	370	460 max
Total Aromatics #	UNE-EN 12916:2019+A1:2023	% w/w	<1,0	1,1 max
Manganese, Mn #	UNE-EN 16576:2015	mg/l	<0,5	2,0 max
FAME content				
Range A #	UNE-EN 14078:2014	% v/v	<0,05	7,0 max

Figura 0-1 Especificaciones técnicas de combustible Repsol Diesel Zero e+ 10

