



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA SECCIÓN DE
NÁUTICA MÁQUINAS Y
RADIOELECTRÓNICA NAVAL

TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2019 – 2020

Ángel Rancel de Diego

“RETROFIT DE UN MOTOR
MARINO CONVENCIONAL A UN
MOTOR DUAL”

“RETROFIT DE UN MOTOR MARINO CONVENCIONAL A UN MOTOR DUAL”



Directores

Federico Padrón Martín

Servando R. Luis León

Autor

Ángel Rancel de Diego

Grado

Tecnologías Marinas

Junio 2020

Dr. Don Federico Padrón Martín, Profesor Doctor tipo I del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, perteneciente a la unidad departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna hace constar que:

D. Ángel Rancel de Diego, ha realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título:

**“RETROFIT DE UN MOTOR MARINO
CONVENCIONAL A UN MOTOR DUAL”**

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta efectos oportunos, expedido y firmo el presente certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 18 de junio de 2020

Fdo. Federico Padrón Martín
Director del Trabajo de Fin de Grado.

Dr. Don Servando R. Luis León, Profesor asociado del área de Ingeniería de los procesos de Fabricación, perteneciente a la unidad departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna hace constar que:

D. Ángel Rancel de Diego, ha realizado el Trabajo de Fin de Grado bajo mi dirección con el título:

**“RETROFIT DE UN MOTOR MARINO
CONVENCIONAL A UN MOTOR DUAL”**

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta efectos oportunos, expedido y firmo el presente certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 18 de junio de 2020.

Fdo. Servando R. Luis León.
Director del Trabajo de Fin de Grado.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría darle las gracias a los profesores que han dirigido este trabajo al **Don Servando R. Luis León** y al **Dr. Don Federico Martín Padrón**, sin ellos esto no hubiese sido posible.

Agradecer a todos los profesores de la Escuela de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval, con los que he aprendido y me he formado a lo largo de estos buenos años.

Por otra parte, agradecer a BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA, OPDR y NAVIERA ARMAS, por haber podido realizar las prácticas en uno de sus barcos, en los que no sólo he adquirido conocimientos por parte de sus profesionales, sino que también he conocido a maravillosas personas que me han guiado por este largo camino. En especial a la tripulación y a los buques V.B RISBAN, dónde comencé la integración en este mundo, y al buque VOLCÁN DE TAMADABA del que hoy emana este **TFG**.

Asimismo, agradecer a ASTICAN y a la DGMM por la información que se me ha suministrado para la elaboración de este **TFG**.

Además, me gustaría agradecer a los compañeros de la Escuela, en especial al “grupito clave” por esos buenos momentos y en el que sin ellos el camino hubiese sido mucho más complicado.

También a mis amigos en especial a mi amigo Alejandro que, aunque no se encuentre entre nosotros siempre lo recordaré, a mi amigo Miguel por ser mi fuente de inspiración en la vida y por siempre mostrarme su apoyo, y a mis amigos Germán y Franco.

Por último, agradecer a mi familia, en especial a mis **padres** y mi **hermana** que siempre han estado ahí cuando los he necesitado y por su gran amor incondicional hacía mi persona.

RESUMEN

Los motores marinos, cuyo combustible principal utilizado es el fuel, son esenciales para la propulsión del buque. Sin embargo, la forma de conseguir la energía necesaria para propulsar el buque está cambiando, con la entrada en vigor de la normativa que establece el nuevo límite de azufre establecido por OMI. Se plantea la utilización de nuevos combustibles alternativos entre los que destaca el GNL, ya son muchas navieras las que se plantean esta opción, aunque también existen otras como son el tratamiento adicional del combustible o el tratamiento de los gases de escape. Cada día se hace más énfasis en la reducción de las emisiones mundiales, y el transporte marítimo tiene un papel importante. Con el fin de abordar el problema, se realizará un estudio de las posibilidades que tiene un buque para operar con GNL, así bien también se estudiará el procedimiento de *retrofit* que hay que seguir para tener la máquina lista y preparada, y que cumpla con la normativa vigente. Así también se realizará un breve estudio de la viabilidad del GNL en el sector marítimo.

Palabras claves: *GNL, motor dual, combustible alternativo, retrofit*

ABSTRACT

The marine engines, which main combustible is fuel, are essential for the propulsion of vessel. However, the way to get the necessary energy to propulse the vessel is changing. This is happening as a result of a new law, creates by OMI, who stablished a new limit of sulfur. They are planning the use of new alternatives ways of using fuel, the most outstanding is the LNG, which is being used by many shipping companies. There are also different ways like the additional treatment of fuel or the treatment of the exhaust gases. Nowadays the reduction of the global gases and the maritime transport have got an important paper. There are going to make a study, valorating the possibilities of the using of LNG on ships, and they are going to analyze the study of the retrofit process, following the steps to keep the machine prepare and ready complying with the normative, to solve the problem. Also a new study relates with the viability of the LNG on the maritime sector will begin

Key words: *LNGs, dual engine fuel/gas, alternative combustible*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.INTRODUCCIÓN.....	26
II. OBJETIVOS	31
III.REVISIÓN Y ANTECEDENTES	28
3.1 TIPOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.....	28
3.1.1 Biocombustibles	28
3.1.2 Combustible base amoniaco	29
3.1.3 Combustible hidrógeno.....	30
3.1.4 Combustibles gaseosos	30
3.2 GAS NATURAL LICUADO	33
3.2.1 Historia del gnl.....	33
3.2.2. Propiedades	35
3.2.3. Proceso de licuefacción y regasificación.....	36
3.2.4. Tipos de suministro.....	37
3.2.5. GNL en europa	37
3.2.5. GNL en españa	38
3.2.6 Buques propulsados por gnl.....	38
3.3 NORMATIVA DE APLICACIÓN	39
3.3.1 Esquema organizaciones gubernamentales.....	40
3.3.2 Esquema organizaciones no gubernamentales.....	40
3.3.3 Normativa omi 1 de enero de 2020.....	41
3.3.4 SOLAS.....	42
3.4.5 MARPOL.....	44
3.4.6 Formación obligatoria de tripulación.....	45
3.4.7 Código IGC.....	45
3.4.8 Código IGF	45

3.4.9 IACS	46
3.4.10 Requisitos de abanderamiento en españa.....	47
3.4 GUÍAS/RECOMENDACIONES	48
3.5 TRANSFORMACIÓN DE BUQUES A GNL.....	48
3.5.1 Baleària	49
3.5.2 Remotorización.....	49
3.5.2.1 Buque nápoles.....	50
3.5.2.2 Abel matutes	51
3.5.2.3 Bahama mama	52
3.5.2.3 Buque sicilia	53
3.5.2.5 Martín i soler.....	55
3.5.2.4 Futuros proyectos.....	55
IV. METODOLOGÍA	59
4.1 DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA	59
4.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO	59
4.3 MARCO REFERENCIAL.....	59
V. RESULTADOS	65
5.1 BUQUE MERCANTE CONVENCIONAL.....	65
5.1.1 Buque volcán de tamadaba	65
5.1.2 Características específicas motor wärtsilä	65
5.1.3 Circuitos del motor existente.....	66
5.1.3.1 Circuito de agua de refrigeración	67
5.1.3.2 Circuito de vapor	69
5.1.3.3 Circuito de agua salada.....	69
5.1.3.4 Exhaustación.....	70
5.1.3.5 Circuito de aire	70
5.1.3.6 Circuito de lubricación	71

5.1.3.7 Circuito de combustible	73
5.2 RETROFIT, REMOTORIZACIÓN, RECONVERSIÓN.	76
5.3 PROS Y CONTRAS REMOTORIZACIÓN Y RECONVERSIÓN.	78
5.4 REMOTORIZACIÓN DEL MOTOR EXISTENTE.....	79
5.4.1 Partes afectadas en la remotorización.....	80
5.4.2 Elección de los equipos	81
5.4.3 Elección del motor	82
5.4.4 Elección del tanque	84
5.4.5 Vaporizador gnl	86
5.4.6 Resultado final	87
5.5 CIRCUITOS EXTERNOS DEL MOTOR.	88
5.5.1 Circuito de agua de refrigeración.....	89
5.5.2 Circuito de vapor	90
5.5.3 Circuito de agua salada	91
5.5.4 Circuito de exhaustación.....	91
5.5.5 Circuito de aire	92
5.5.6 Circuito de lubricación	92
5.5.7 Circuito de combustible	92
5.5.7.1 Circuito de combustible de gas.....	93
5.6 CUADRO RESUMEN	95
5.7 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL GNL.....	95
5.8 VIABILIDAD DE GNL	96
VI. CONCLUSIONES	100
VI. ANEXOS	104
6.1 CÁLCULOS	104
6.1.1 Cálculo de la capacidad del tanque.....	104
6.1.2 Cálculos de CO ₂	105

6.1.3 Cálculos precio de combustible	107
6.2 PLANOS.....	109
6.2.1 Agua dulce refrigeración	110
6.2.2 Vapor	113
6.2.3 Agua salada.....	114
6.2.4 Exhaustación.....	115
6.2.5 Aire de arranque	116
6.2.6 Trasiego de lubricante.....	117
6.2.7 Motor principal lubricante	118
6.2.8 Trasiego combustible.....	121
6.2.9 Motor principal combustible.....	124
6.2.10 Exhaustación modificado.....	127
6.2.11 Combustible gas.....	128
VII. BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA	132

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Buque Pionero del Metano.	34
Ilustración 2: Multi truck to ship.	38
Ilustración 3: Buque Atair.	39
Ilustración 4: Estructura Organizaciones gubernamentales.	40
Ilustración 5: Estructura Organizaciones no gubernamentales.	40
Ilustración 6: Buque Nápoles.	50
Ilustración 7: Buque Bahama Mama.	52
Ilustración 8: Buque Sicilia.	53
Ilustración 9: Buque Martín i Soler.	55
Ilustración 10: Volcán de Tamadaba puerto S/C Tenerife.	60
Ilustración 11: Bombas acopladas al motor agua refrigeración.	68
Ilustración 12: Caldera.	69
Ilustración 13: Bombas de circulación de agua salada.	70
Ilustración 14: Guardacalor.	70
Ilustración 15: Botellas de aire comprimido.	71
Ilustración 16: Bombas de reserva.	72
Ilustración 17: Bombas de trasiego.	74
Ilustración 18: Módulo de depuradoras.	75
Ilustración 19: Postizo de sala de máquinas.	77
Ilustración 20: Características motor dual.	83
Ilustración 21: Tanque opcion A y B.	84
Ilustración 22: Vaporizador.	86
Ilustración 23: Esquema general propuesto.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Exportaciones GNL 2018.....	34
Tabla 2: Importaciones GNL 2018.....	35
Tabla 3: Propiedades GNL.....	36
Tabla 4: Características principales.....	50
Tabla 5: Buque Abel Matutes.....	51
Tabla 6: Características principales.....	52
Tabla 7: Características principales.....	53
Tabla 8: Características principales.....	54
Tabla 9: Características generales.....	60
Tabla 10: Características Principales.....	61
Tabla 11: Características específicas.....	66
Tabla 12: Cuadro resumen.....	95

ÍNDICE PLANOS

1: Plano 1.1	110
2: Plano 1.2	111
3: Plano 1.3	112
4: Plano 2.1	113
5: Plano 3.1	114
6: Plano 4.1	115
7: Plano 5.1	116
8: Plano 6.1	117
9: Plano 7.1	118
10: Plano 7.2	119
11: Plano 7.3	120
12: Plano 8.1	121
13: Plano 8.2	122
14: Plano 8.3	123
15: Plano 9.1	124
16: Plano 9.2	125
17: Plano 9.3	126
18: Plano 10.1	127
19: Plano 11.1	128

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CH₄: Metano.

C₃H₈: Propano.

C₂H₆: Etano.

CEF: Fondos Europeos.

Cl: Cloro.

CO₂: Dióxido de carbono.

DME: Dimetil-eter

DWT: Tonelaje de Peso Muerto.

EN: Norma Europea.

GNL: Gas natural licuado.

GNC: Gas natural comprimido.

GLP: Gases licuados del petróleo.

GT: Arqueo bruto.

GVU: *Gas Valve Unit*.

H.T: Alta temperatura.

HAZOP: La metodología de Análisis Funcional de Operabilidad.

HAZID: Identificación de Peligros.

HFO: Heavy fuel oil.

IACS: Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación.

IGF: Código Internacional de Seguridad para buques que utilicen combustible con bajo punto de inflamación.

ISO: Organización Internacional de Estandarización.

LT: Baja temperatura.

MCI: Motor de combustión interna.

M.M.T.T: *Multi truck to ship*.

MARPOL: Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques.

MSC: Comité de Seguridad Marítima.

NT: Arqueo neto.

P.T.S: *Pipe tos hip*.

S.T.S: *Ship to ship*.

SGMF: Sociedad del gas como combustible marino.

SO₂: Dióxido de azufre.

SOLAS: Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar.

T.T.S: *Truck to ship.*

T^a: Temperatura.

TFG: Trabajo de Fin de Grado.

UNE: Una Norma Española.

ULSFO: *Ultra low sulphur fuel oil*

VLSFO: *Very low sulphur fuel oil*

DEFINICIONES

Naviera: Compañía propietaria de buques mercantes.

Buque: Barco de gran tonelaje con cubierta o cubiertas y una eslora superior a 24 metros.

Arqueo bruto: Volumen total de un buque.

Arqueo neto: Volumen total utilizable de un buque.

Sociedad de clasificación: Organizaciones no gubernamentales que editan normas para la construcción, armamento y mantenimiento de los buques mercantes.

Bunkering: Suministro de combustible a un buque.

Buque Ro – Ro: Buque de carga rodada.

Tonelaje de peso muerto: Es el peso total en toneladas que puede transportar el buque.

NO_x: Es un término para referirse a un grupo de gases muy reactivos.

CONSIDERACIONES

- ❖ Este TFG sigue las normas ISO 80 000 que es una guía para el uso de magnitudes físicas, unidades de medida y fórmulas que involucran documentos de carácter educativo a nivel mundial.

- ❖ En este TFG los números separados por un punto hace referencia a una coma, esto cumple lo nombrado en el punto anterior.

- ❖ Los planos que se encuentran en el capítulo de **VI. ANEXOS** están nominados como plano a.b, el primer dígito significa el número del plano (a) y el segundo dígito hace referencia a la página (b).

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El *retrofit* de un **motor** de combustión interna a **gas** es ya una realidad, a medida que se han ido incrementando las restricciones ante el uso de los combustibles tradicionales en el **sector marítimo**, se han buscado otras energías alternativas con las que cumplir con la normativa medioambiental, y así reducir la contaminación por gases de efecto invernadero.

Sin embargo, también existe otra solución aplicable si se quiere operar con **GNL** que numerosas navieras han utilizado, la más destacada **Baleària**, el **remotorizado**.

Se ha dado un enfoque directo ante las nuevas restricciones de emisiones, con el fin de atajar el problema en un periodo de corto – medio plazo, y que los cambios puedan ser duraderos en el tiempo, sin tener que realizar ningún tratamiento adicional del combustible o incorporar al buque un sistema de limpieza de escape, como puede ser una *Scrubber*.

Este **TFG** está dirigido a todos los lectores, sin importar el conocimiento previo que tengan, con el objetivo de que cualquier persona pueda entender y enriquecerse de nuevos conocimientos como son en este caso el procedimiento que debería de seguir una naviera para realizar un proyecto de tal envergadura.

Lo que se espera de este **TFG** es poder conocer el procedimiento para realizar el *retrofit* de un buque de grandes envergaduras y todo lo que eso implica.

Por último, se hará referencia a la estructura marcada por los capítulos que lo conforman que son los siguientes:

En el capítulo de **Objetivos**, se recogerán los objetivos marcados para este **Trabajo de Fin de Grado**.

En el capítulo de **Revisión y Antecedentes**, se comentará los nuevos combustibles alternativos que están cogiendo fuerza en la actualidad y para el futuro cercano, así

también se explicará el GNL el cual es el combustible que se utilizará en el *retrofit*, también se mencionará toda la normativa que implica y por último se explicará el antes y después de los buques de **Baleària** que ya hicieron dicha reconversión, a modo de ejemplo de viabilidad de proyecto.

En el capítulo de **Metodología**, se explicará cómo se ha trabajado durante el **TFG** y las pautas que se han seguido para desarrollarlo;

En el capítulo **Resultados**, se desarrollará la propuesta que habría que seguir para el *retrofit*, los cambios necesarios a realizar y el impacto que tendrá a nivel ambiental;

En el capítulo de **Conclusión** se demostrará de forma justificable la conclusión a la que se ha llegado en base a los objetivos marcados.

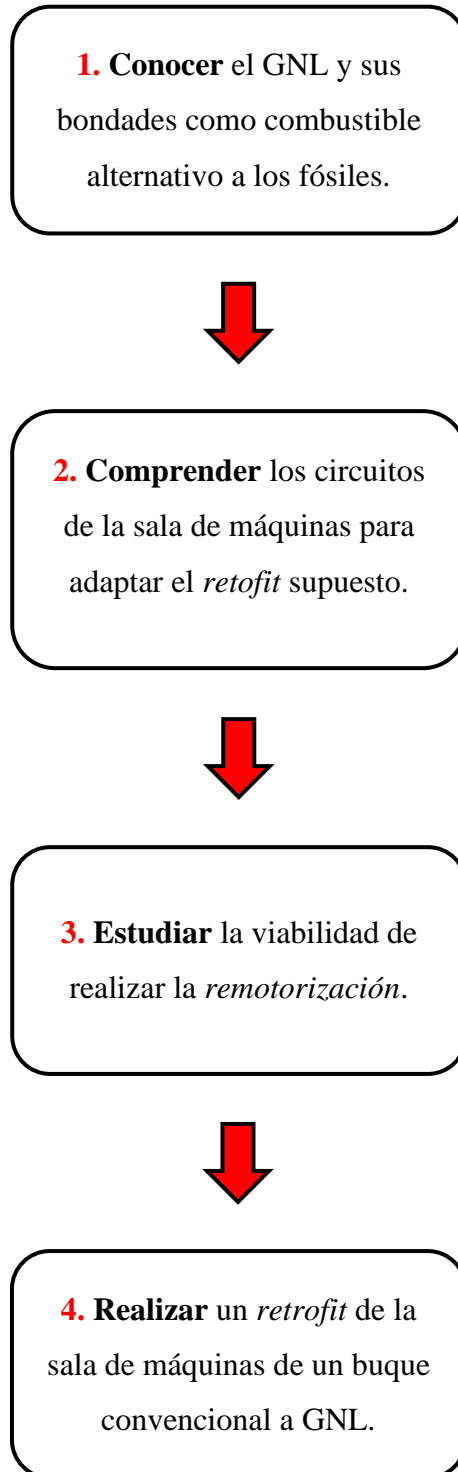
En el capítulo de **Anexos** se desarrollarán una serie de cálculos y unos planos para ayudar a mejorar la comprensión de este **TFG** con objetos sólo docentes.

En el capítulo de **Bibliografía** en la cual aparecerán todas las referencias bibliográficas.

II. OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen en este **Trabajo de Fin de Grado** son:



III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

Este capítulo abarca distintos apartados que para el desarrollo del TFG son ilustrativos para la mejor comprensión del capítulo de V. RESULTADOS.

3.1 TIPOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.

El mundo cada vez está presentando cambios más notables ante la creciente contaminación en que la OMI intenta frenar de forma progresiva, aunque cada año que transcurre establecen normas más restrictivas ante el uso de combustibles contaminantes.

Es por esto, que han surgido nuevas formas de obtener energía reduciendo notablemente con la contaminación y cumpliendo la normativa vigente. Estos combustibles alternativos no son una novedad, llevan siglos con nosotros, pero no ha sido hasta que se han endurecido las normas para hacer uso de ellas.

En este apartado se comentarán los combustibles alternativos más relevantes hoy en día, que poco a poco van cogiendo fuerza en el sector marítimo.

3.1.1 BIOCOMBUSTIBLES

Los **biocombustibles** también denominados **biocarburantes**, se obtienen a través de materia prima a base de biomasa, algunos de ellos son biodiésel, biometano, aceite vegetal hidrogenado, etanol, metanol, etc.

La directiva del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea define **biomasa** como “*la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura (actividades relacionadas con el cultivo, cuidado y explotación de los bosques) y de las industrias conexas (comercio por particulares), incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico*” y diferencia dos tipos de origen agrícola y forestal. [5]

Los biocarburantes en el transporte marítimo siguen desempeñando una aplicación muy baja. Aun así, hay navieras como *CMA – CGM* que, apuestan por ellos, proporcionando **biocombustible marino** a su segunda generación de buques de su flota.

También la naviera *Hapad – Lloyd* está realizando pruebas con el biocombustible, en concreto su buque *Montreal Express*, con el fin de obtener experiencia e información de este biocombustible en sus equipos, en concreto opera con el B20 que es un biodiésel, este biocarburante reduce hasta en un 90% las emisiones de CO₂ en comparativa con los combustibles tradicionales. [6]

Todo lo bueno siempre trae algo malo, los biocombustibles presentan dos grandes inconvenientes precedido uno del otro. En general, el poder calorífico de los biocarburantes es bajo en comparación con los combustibles tradicionales, este sería una desventaja que viene precedida de otra aún mayor. Como el poder calorífico de estos biocarburantes, en general es bajo, requiere una gran aportación de biocombustible lo que significa más cantidad e implica una elevada producción, y que a su vez supone una mayor demanda de cultivos de biomasa (cereales, maíz, remolacha, etc) para la fabricación del combustible y que afecta directamente a la subida de precios de los alimentos y reduciendo la cantidad de estos. [7]

En conclusión, puede ser una solución a corto plazo, pero no la solución más viable en referencia a la utilización de combustibles alternativos.

3.1.2 COMBUSTIBLE BASE AMONIACO

El **amoniaco** es un compuesto químico que se produce de forma natural mediante la descomposición de la materia orgánica, aunque también se puede obtener de forma industrial a través de una reacción de nitrógeno e hidrógeno en forma gaseosa. [8]

Presenta buenas características de almacenamiento y transporte parecido a los combustibles fósiles, pero no libera carbono a la atmósfera por lo que esto fomenta su utilización en el transporte. [9]

En el mundo marítimo ya hay navieras estudiando el uso de amoníaco en sus buques, entre las destaca a naviera japonesa **NYK** con el fin de cumplir presentes y futuras normativas y conseguir cero emisiones.

La **Unión Europea** también se ha implicado, realizando una financiación para un proyecto que consiste en reconvertir un buque, propiedad de la naviera **Eidesvik**, con el fin de que opere con una pila de combustible de amoníaco que aportaría 2 MW de energía.

[10]

3.1.3 COMBUSTIBLE HIDRÓGENO

El hidrógeno es uno de los combustibles más abundantes de la Tierra, se puede almacenarse en estado gaseoso o líquido y distribuirse por gasoductos, y no emite gases de efectos invernaderos en su combustión, generando una combustión limpia. A pesar de esto posee un gran inconveniente, que reside en su coste y dificultad de producción, ya que no es fácil de obtener al no encontrarse de forma aislada en la naturaleza.

El potencial de hidrógeno radica en su uso en una **celda de combustible** compuesta por una membrana en la que se mezclan el hidrógeno y el aire de la atmósfera produciendo corriente eléctrica.

Con esta celda sólo se obtiene corriente eléctrica, por lo que su utilización está limitada a motores eléctricos.

La compañía **Nedstack** está desarrollando el primer buque a hidrógeno que cuenta con una autonomía de dos semanas, aun así, dispone de unos motores diésel que funcionarán en caso necesario.

3.14 COMBUSTIBLES GASEOSOS

Un gas se define como un fluido sin forma ni volumen propio, cuyas partículas se encuentran separadas unas de otras. Si se encierra el gas en un recipiente, este adoptará la forma de dicho recipiente, sin embargo, si se libera al exterior se dispersaría en el espacio.

A parte del combustible GNL, que sus propiedades y características se explicarán en apartados posteriores, también existen otros tipos de combustibles gaseosos aplicables al ámbito marítimo.

Los más destacados son los siguientes:

- Metanol (CH₃ – OH):

El **metanol**, se produce mediante un proceso catalítico a partir de hidrógeno y monóxido de carbono. La reacción se produce a altas temperaturas y presiones, y se necesita reactores industriales grandes y complicados.

El metanol presenta un **poder calorífico** de **20 MJ/kg** respecto a otros combustible este poder calorífico es bajo. Por lo que se necesitará más del doble de volumen para conseguir el mismo poder calorífico que el gas natural licuado.

El proceso más utilizado la obtención del metanol a través de gas natural y vapor de agua. Entre las impurezas que presenta el metanol destaca el agua, la acetona y el etanol.

Uno de los grandes fabricantes de motores marinos, **MAN Diesel & Turbo**, ha conseguido dar un paso relevante en la construcción de motores cuyo combustible es el metanol. El buque tanque, *Takaroa Sun*, que se dedica al transporte de metanol también está equipado con tecnología de motor combustible dual de dos tiempo capaz de que el buque opere con el mismo compuesto químico. [11], [12], [13]

- Dimetil éter (DME):

El **DME** de fórmula química H₃C – O – CH₃, es un gas incoloro e inodoro a temperatura y presión ambiental. Se obtiene principalmente a través de deshidratación del metanol. Se almacena y maneja de forma líquida bajo presión o en depósitos refrigerados.

Las ventajas destacables que presenta el **DME** son: no es un fluido corrosivo, tóxico, cancerígeno, no produce el llamado efecto invernadero y tampoco ozono, posee

unas propiedades detonantes parecidas a las de un gasóleo diésel, en cuanto al aspecto medioambiental presenta emisiones de NOx muy bajas ajustando la inyección y no emite gases, etc.

Mientras que sus desventajas, se destaca una baja densidad y bajo poder calorífico **29 MJ/kg**, es agresivo con los elastómeros, con lo que conlleva un riesgo de fugas a través de juntas, sus propiedades lubricantes son malas, es un gas muy inflamable, etc. [11]

- Gas licuado del petróleo:

El gas licuado del petróleo se compone de diversas mezclas de propano y butano que alcanzan el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica. Estos gases pueden encontrarse formando parte del crudo y del gas natural, aunque también existe la posibilidad de obtenerlo en varios procesos de refinería.

Son gases incoloros e inodoros, no tóxicos y con un alto rendimiento energético, siendo el poder calorífico mínimo del butano de **45.7 MJ/kg** y el del propano de **46.3 MJ/kg**.

Antes de nombrar los diferentes métodos para la obtención del **GLP**, se definirá que es el *cracking* del petróleo.

El *cracking* del petróleo es la descomposición térmica del petróleo, en la cual se produce la liberación de hidrocarburos de alto peso molecular con generación de otros más livianos.

Estos procesos los podemos enumerar de la siguiente forma:

- 1) *Reformado catalítico*: Nafta para producir etileno y propileno El rendimiento en GLP es de 5 – 10%.
- 2) *Cracking catalítico*: Gasóleo para producir etileno y propileno para petroquímica El rendimiento en GLP es del 5 – 12%.

- 3) *Steam cracking*: Gasóleo para producir etileno y propileno. El rendimiento en GLP es del 23 – 30%.
- 4) *Polimerización y alquilación*: Butenos para producir gasolinas. El rendimiento en GLP es del 10 – 15%.
- 5) *Cracking térmico*: Gasóleo y fuelóleo para producir gasolina. El rendimiento en GLP es del 10 – 20%.
- 6) *Coking visbreaking*: Gasóleo pesado y residuo para producir coque. El rendimiento en GLP es del 5 – 10%.

El poder calorífico mínimo del **GLP** es **46 MJ/kg**, debido a que el propano y butano, como se comentó anteriormente, presentan un poder calorífico elevado. [12], [14]

3.2 GAS NATURAL LICUADO

Como uno de los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado es conocer el GNL a continuación se explicará que es, de dónde viene, como se obtiene y otros aspectos relacionados con el GNL.

3.2.1 HISTORIA DEL GNL

En el siglo XIX **Michael Faraday** tuvo las primeras experiencias por convertir el metano al estado líquido. En 1873 se construyó el primer compresor con capacidad para licuar gas por **Karl Von Linde**.

La primera planta de **GNL** fue construida en 1940 en **Estados Unidos**, pero no fue hasta la década de los 50 que el **GNL** fue transportado por mar, por la compañía **Continental Oil**. En 1959, el buque denominado *Pionero del Metano*, partió desde Luisiana rumbo a Gran Bretaña siendo el primer buque que transportaba GNL por vía marítima. [15]



Ilustración 1: Buque Pionero del Metano.

Fuente [16]

A partir de entonces, el **GNL** ha notado un continuo crecimiento a nivel mundial habiendo alcanzado su pico de crecimiento más alto entre 1960 – 1980.

Surgiría el primer gran proveedor en el mundo del **GNL**, Trinidad y Tobago.

Los primeros productores del GNL fueron Malasia y Australia, posteriormente les siguieron Argelia, Indonesia y Qatar. En cuanto a la demanda, el primer país fue Japón teniendo unas grandes importaciones de **GNL**, unos años más tardes China e India liderarían las importaciones de Asia, sumando entre ambas el 70%. [15]

En el año 2018 las importaciones y exportaciones a nivel mundial presentaban la clasificación siguiente:

Exportaciones por país en 2018		
Puesto	País	Cantidad (metro cúbico)
1º	Qatar	104.772
2º	Australia	91.774
3º	Malasia	32.989
4º	Estados Unidos	28.401
5º	Nigeria	27.807
6º	Rusia	24.890
7º	Indonesia	20.784
8º	Trinidad y Tobago	16.791

Tabla 1: Exportaciones GNL 2018.

Fuente [17]

Importación por país en 2018		
Puesto	País	Cantidad (metro cúbico)
1°	Japón	112.984
2°	China	73.482
3°	Corea del Sur	60.201
4°	India	30.582
5°	Taiwán	22.795
6°	España	15.007
7°	Francia	13.110
8°	Turquía	11.496

Tabla 2: Importaciones GNL 2018.

Fuente [17]

La comercialización del **GNL** seguirá creciendo en los años venideros, y se prevé que en 2024 Estados Unidos liderará las exportaciones, seguido de Australia y Rusia.

3.2.2. PROPIEDADES

El **GNL**, es un gas natural en fase líquida a una temperatura de -160°C , por lo que se considera un líquido criogénico. Se compone principalmente de CH_4 , pero también contiene otros componentes como son C_3H_8 , C_2H_6 , N_2 y CO_2 entre ellos.

Recordemos, se considera líquido criogénico a los gases que se mantienen en estado líquido a muy baja temperatura, inferior a -100°C .

El **GNL** se almacena en estado líquido debido al menor volumen que ocupa en este estado, ya que, **por cada litro almacenado se obtienen cerca de 570 litros de gas natural en estado gaseoso a temperatura ambiente.** [18]

Es importante no confundir el **GNL** con el **GNC**, siendo ambos parecidos, pero muy diferentes el uno del otro. La diferencia radica principalmente, en que el **GNL** es un gas natural que ha sido almacenado en estado líquido a baja temperatura, mientras que el **GNC** es un gas natural almacenado a altas presiones, que oscilan entre 200 y 250 bar. Es decir, mientras uno se almacena en fase líquida el otro se almacena en fase gaseosa. [19]

Las propiedades más relevantes del GNL en condiciones normales, 1 atm y 0°C, son las siguientes:

PROPIEDADES GNL		
	Propiedad	Unidad
T ^a de autoignición	540	°C
T ^a de ebullición	-160	°C
Punto de congelación	-182	°C
Densidad	460	Kg/m ³
Densidad relativa del vapor a T ^a ambiente	0.6	
Calor de combustión	11900	Kcal/kg
Peso específico líquido	0.450	
Peso molecular	16	

Tabla 3: Propiedades GNL.

Fuente [18]

3.2.3. PROCESO DE LICUEFACCIÓN Y REGASIFICACIÓN

El proceso de **licuefacción** es el proceso en el cual se consigue cambiar el estado de gas a líquido del GNL, reduciendo así su volumen y facilitar su transporte.

Este proceso se realiza en varias fases que son las siguientes:

1. La primera etapa consiste en extraer el CO₂ y el agua existente en el mismo.
2. La segunda etapa consiste en realizar deshidratación y filtrado, que se consigue extrayendo la humedad al gas hasta lograr valores menores a 1 ppm.
3. Por último, se llega a la etapa de licuefacción, dónde se produce el enfriamiento necesario para conseguir esta última. Posteriormente se procede a almacenarlo en tanques adecuados como son los tanques de paredes dobles a presión atmosférica.

Una vez almacenado el GNL es transportado por los metaneros. Una vez que el buque ha llegado al lugar de destino, el GNL debe ser gasificado en una planta de **regasificación**. El GNL se trasiega a un tanque de almacenamiento de doble-pared a presión atmosférica, para posteriormente trasegarlo con una bomba a alta presión a través de diferentes partes de la terminal donde es calentado en un ambiente controlado, con aire a temperatura ambiente o con agua de mar e incluso circulándolo por tuberías calentadas por agua, dando lugar a la regasificación. [20]

3.2.4. TIPOS DE SUMINISTRO

El buque puede suministrarse de GNL de varias formas que son las siguientes:

- **Pipe to ship:** Consiste en que el buque se abastece con GNL desde una terminal ubicada en el muelle.
- **Ship to ship:** Consiste en el suministro de un buque a otro, existen dos tipos de buques para este tipo de suministro que son gabarra multi – combustible y buque específico de suministro de GNL.
- **Truck to ship:** Este proceso se basa en el suministro de GNL al barco desde un camión cisterna, si fueran varios camiones se denominaría **multitruck to ship**. [21]

3.2.5. GNL EN EUROPA

Europa apuesta por el GNL, no sólo a nivel marítimo sino también a nivel terrestre. Europa cuenta con más de 200 estaciones de combustible de GNL, y se prevé que en 2030 se llegue a las 2 000 estaciones en toda la Unión Europea.

Así **Europa**, cumplirá uno de los objetivos de los Estados miembros que se describen en la Directiva sobre infraestructuras de combustibles alternativos (2014/94/UE). Lo que supone un impacto directo a nivel marítimo, incrementando así el transporte del GNL y el aumento de nuevos buques metaneros, con el fin de suministrar a toda Europa. [22]

3.2.5. GNL EN ESPAÑA

Actualmente España, es un referente en Europa dónde se han realizado más de 150 operaciones de *bunkering* de GNL. España está ganando flexibilidad y eficiencia mediante estas operaciones, que se realizan a través de camiones cisterna también denominada del inglés *truck to ship*.

En el año 2019, el puerto de Huelva realizó un total de 16 operaciones de suministro de GNL, siendo pioneros en la técnica *Multi Truck to Ship*, reduciendo el tiempo de suministro en hasta un 70% de la operación total. Esta técnica consiste en abastecer al buque con varios camiones cisterna.

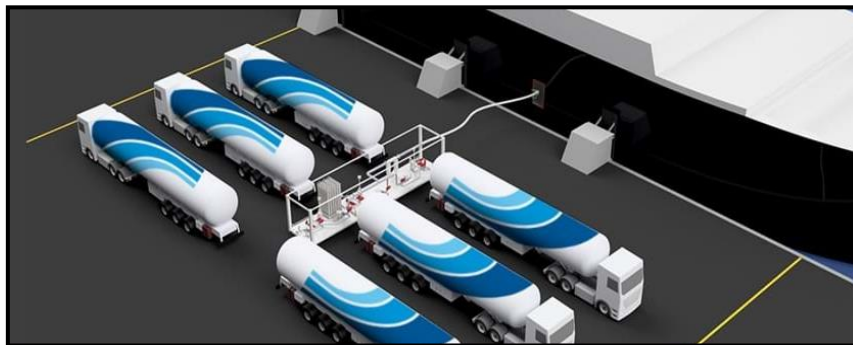


Ilustración 2: Multi truck to ship.

Fuente [25]

En **España** operan 6 buques propulsados por GNL, se prevé que en los años venideros incremente a 11 buques. En el mundo hay más de 170 y otros 120 se encuentran listos para navegar, mientras que otros 70 buques se encuentran bajo pedido para construirse. [23], [24]

3.2.6 BUQUES PROPULSADOS POR GNL

En la actualidad, hay numerosas navieras que están introduciendo el GNL en sus barcos, ya sea realizando una *reconversión* del motor, para que pueda operar con GNL o buques de nueva construcción que son propulsados por este gas.

La naviera *United European Car Carriers* encarga 3 buques híbridos a GNL y baterías de la clase **ECO**. [26]

También en el año 2019 se produjo la botadura del buque *Atair*, convirtiéndose en el primer buque de exploración propulsado por GNL. [27]

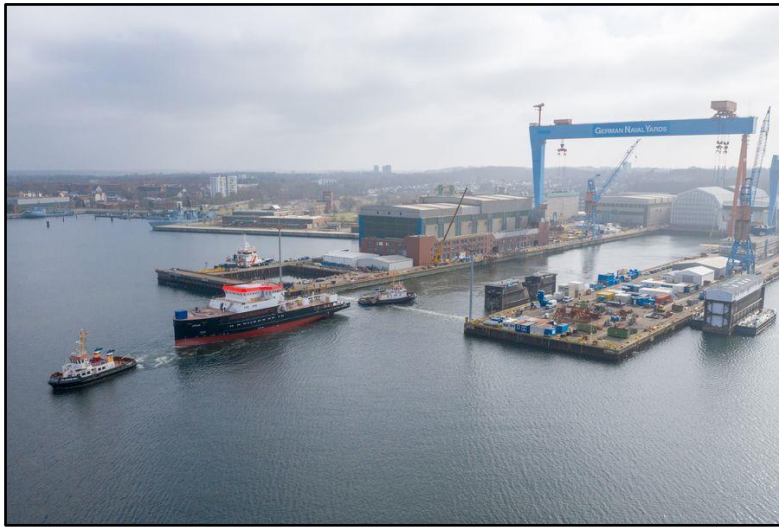


Ilustración 3: Buque Atair.

Fuente [27]

Mitsubishi Shipbuilding Co. Ltd firmó un contrato para la construcción de dos ferrys propulsados por GNL, ambos buques serán entregados a principios de 2023. [28]

La naviera *Costa Costa*, incorporó a su flota el buque AIDAnova siendo el primer crucero de mundo propulsado por GNL. [29]

También la naviera **Hapag Lloyd** transformará su buque portacontenedores para que pueda operar tanto con GNL o con ULSFO. [30]

3.3 NORMATIVA DE APLICACIÓN

En este capítulo se comentará la normativa de cumplimiento obligatorio y las de no obligatorio como las guías o recomendaciones.

3.3.1 ESQUEMA ORGANIZACIONES GUBERNAMENTALES

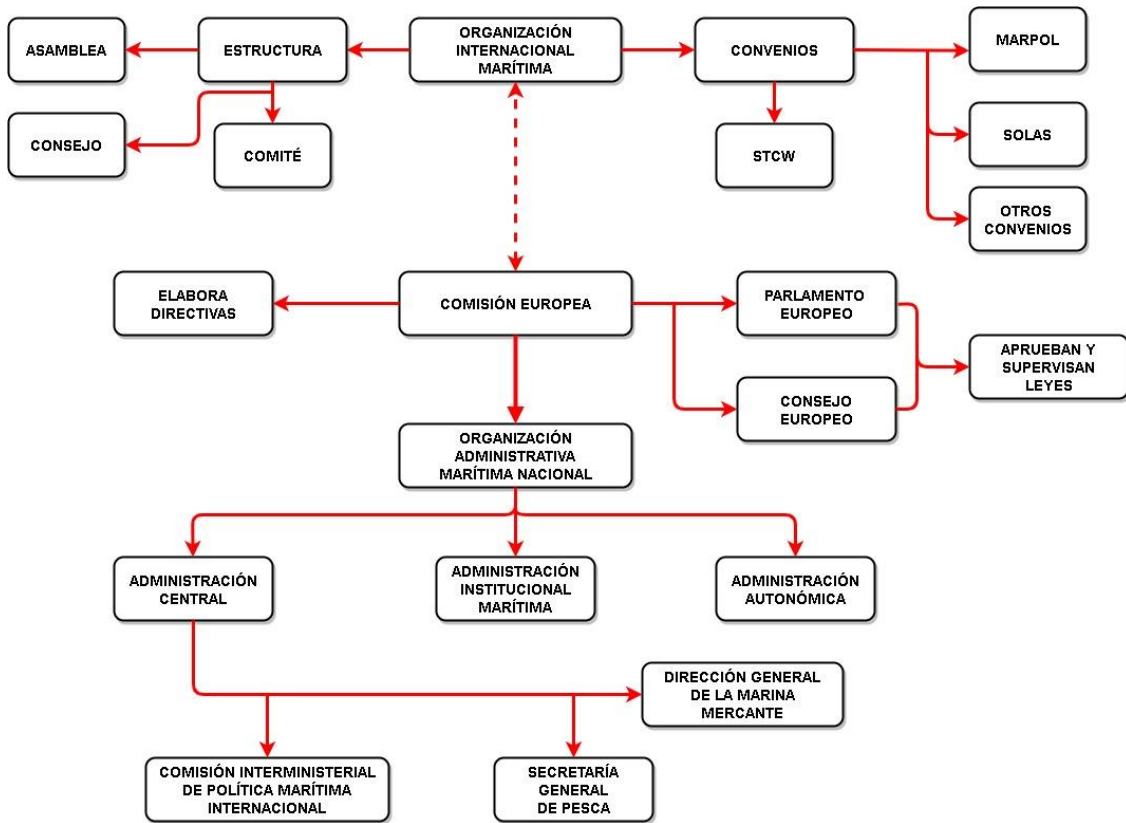


Ilustración 4: Estructura Organizaciones gubernamentales.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 ESQUEMA ORGANIZACIONES NO GUBERNAMENTALES

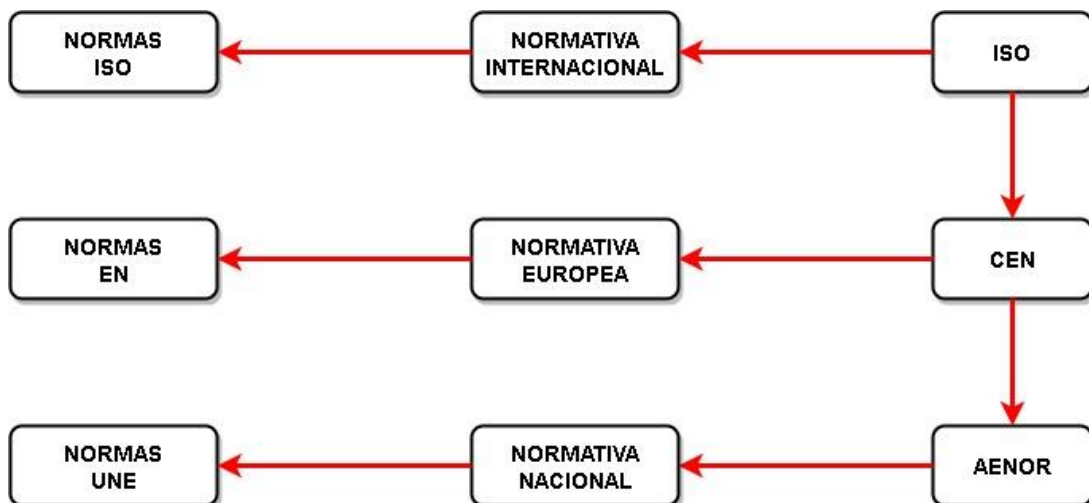


Ilustración 5: Estructura Organizaciones no gubernamentales

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 NORMATIVA OMI 1 DE ENERO DE 2020

Antes de que entrase en vigor esta nueva normativa, el contenido en azufre en los combustibles fósiles no debía exceder del 3.50% masas/masa, entrada en vigor el 1 de enero de 2012.

En el año 2016 la **OMI**, implantó que la nueva normativa, de reducir el contenido en azufre al 0.5% masa/masa entraría en vigor a partir del 1 de enero de 2020.

Que afectará al combustible utilizado tanto en los motores principales, auxiliares o calderas.

La nueva normativa del **1 de enero de 2020** marcada por OMI en la que cita que el límite máximo del contenido de azufre no debe exceder de 0.50% masa/masa, aplicado a cualquier territorio fuera de una zona ECA (zona especial). En caso de las zonas ECAS el límite en contenido en azufre no debe superar el 0.10% masa/masa. [31]

Recordemos que, los óxidos de azufre son un grupo de gases compuestos por trióxido de azufre (SO_3) y dióxido de azufre (SO_2), siendo este último el más trascendente.

El SO_2 es un gas incoloro, de olor desagradable y no inflamable. Se trata de una sustancia reductora, que con el tiempo y en contacto con el aire y la humedad, se convierte en SO_3 que puede ser transformado a ácido sulfúrico.

El dióxido de azufre repercute en la salud humana, afectando al sistema respiratorio y cardiovascular. Cuando el SO_2 se combina con las partículas que se encuentran en el aire o con la humedad del aire, formando ácido sulfúrico, produciendo la denominada lluvia ácida que tiene un efecto perjudicial en el medio – ambiente. [32]

La **OMI** propone varias formas de cumplir con la normativa que son las siguientes:

- Usando fuelóleo de bajo contenido en azufre, se pueden dividir en dos tipos:

- a. Fuelóleo muy bajo contenido en azufre (ULSFO), máximo 0.10% masa/masa.
 - b. Fuelóleo bajo contenido en azufre (VLSFO), máximo 0.50% masa/masa.
- Usando una *Scrubber* para limpiar los gases de escape antes de que sean liberados a la atmósfera.
 - Utilizando un gas como combustible, ya que al inflamarse las emisiones de óxidos de azufre son insignificantes, como por ejemplo el gas natural licuado.
 - Otro combustible propuesto es el metanol, para la utilización de servicios de navegación marítima de corta duración.

Así para regular que los buques cumplen con la nueva norma establecida, OMI exigirá una nota de entrega de combustible, que contendrá el contenido de azufre del fuelóleo suministrado, y si fuera necesario se obtendrán muestras para la verificación de que cumple con la normativa vigente.

Además, la **OMI** establece que los Estados de Abanderamientos tendrán que expedir a los buques un Certificado internacional de prevención atmosférica de la contaminación.

Se especifica que en el **Convenio MARPOL** se establecerán sanciones para aquellos buques que no cumplan con la nueva normativa establecida.

La OMI destaca al Gas Natural Licuado como combustible del **futuro inmediato** para el transporte marítimo. [31]

3.3.4 SOLAS

El **Convenio SOLAS**, adoptó su primera versión en 1914, en respuesta a la catástrofe del *Titanic*, la segunda en 1929, la tercera en 1948, y la cuarta en 1960. Posteriormente se adoptó una nueva versión el 1 de noviembre de 1974, y entró en vigor el 25 de mayo de 1980. En la actualidad se encuentra vigente el **Convenio SOLAS**, 1974, enmendado.

El principal objetivo del **Convenio SOLAS** es establecer normas mínimas relativas a la construcción, el equipo y la utilización de los buques, compatibles con su seguridad.

Para ello el Convenio establece 14 capítulos que son los siguientes: [33]

- I. Disposiciones generales.
- II. (1) construcción – compartimento y estabilidad, instalaciones de máquina e instalaciones eléctricas.
- II. (2) prevención, detección y extinción.
- III. Dispositivos y medios de salvamento.
- IV. Radiocomunicaciones.
- V. Seguridad en la navegación.
- VI. Transporte de cargas.
- VII. Transporte de mercancías peligrosas.
- VIII. Buques nucleares.
- IX. Gestión de la seguridad operacional de los buques.
- X. Medidas de seguridad aplicadas a las naves de gran velocidad.
- XI. (1) Medidas especiales para incrementar la seguridad marítima.
- XI. (2) Medidas especiales para incrementar la protección marítima.
- XII. Medidas de seguridad aplicables a graneleros.
- XIII. Enmiendas.

A la hora de realizar la *conversión* y *remotorización* del motor también hay que tener en cuenta la normativa del Convenio SOLAS capítulo II-1 que hace referencia a la construcción-estructura, compartimentado y estabilidad, instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas.

En este capítulo expone las reglas que han de seguirse para que el buque tenga la resistencia, integridad y estabilidad adecuada para reducir al mínimo el riesgo de pérdida del buque y la contaminación al medio marino debido a un fallo estructural.

También se debe tener en consideración el capítulo II-2 que hace referencia a las disposiciones detalladas de seguridad contra incendios aplicables a todos los buques.

3.4.5 MARPOL

El **Convenio internacional MARPOL**, es el principal Convenio internacional sobre la prevención de la contaminación del medio marino por los buques a causa de factores de funcionamiento o accidentales. En este Convenio hay más de 140 países suscritos y sus reglas afecta al menos al 97% de los buques mundiales.

El **Convenio MARPOL** fue adoptado el 2 de noviembre de 1973 en la sede de la **OMI**. El protocolo se adoptó en respuesta al gran número de accidentes de buques tanque ocurrido

En el Convenio se establecen reglas cuyo objeto es prevenir y reducir al mínimo la contaminación ocasionada por los buques, tanto accidental como procedente de las operaciones normales.

Este Convenio, hay suscritos más de 140 países y afecta al 97% de los buques que navegan por todo el mundo.

El **Convenio MARPOL** incluye 6 anexos técnicos que son los siguientes: [34]

- Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.
- Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.
- Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.
- Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.
- Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques.
- Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por los buques.

En la normativa expuesta, MARPOL, habría que tener en cuenta el primer anexo I y VI que se establecen las reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos y reglas para prevenir la contaminación ocasionada por los buques.

3.4.6 FORMACIÓN OBLIGATORIA DE TRIPULACIÓN

En la resolución del 21 de septiembre de 2016, de la **Dirección General de la Marina Mercante**, se obliga a la tripulación cuyo buque consuma GNL como combustible, deben tener los certificados básicos y avanzado según corresponda.

La formación básica es obligatoria para toda la tripulación, sin embargo, la formación avanzada sólo es obligatoria para toda persona responsable de las precauciones y utilización de combustibles, y de los sistemas de combustible del buque, esta norma está regida por el **Código IGF**. [35]

3.4.7 CÓDIGO IGC

El **código IGC** afecta a los buques construidos a partir del 1 de julio de 1986, este código afecta a los **buques que transportan** gas licuado a granel.

El propósito de este código es proporcionar un estándar internacional para el transporte seguro por mar del gas licuado. [36]

3.4.8 CÓDIGO IGF

El **Código IGF** establece el diseño, la construcción de nuevos buques y la transformación de buques existentes que quieran usar un combustible con bajo punto de inflamación como por ejemplo el GNL.

El **Código IGF** se compone de 15 capítulos y se compone también de dos anexos.

1. Preámbulo.
2. Generalidades.
3. Objetivo y prescripciones funcionales.

4. Prescripciones generales.
5. Proyecto y disposición del buque.
6. Sistema de contención de combustible.
7. Proyecto general de tuberías y materiales.
8. Toma de combustible.
9. Suministro de combustible a los dispositivos de consumo.
10. Generación de potencia, incluida la propulsión y otros dispositivos de consumo de gas.
11. Seguridad contra incendios.
12. Prevención de explosiones.
13. Ventilación.
14. Instalaciones eléctricas.
15. Sistema de control, vigilancia y seguridad.

Anexo. Norma para la utilización de las metodologías de estado límite en el proyecto de los sistemas de contención de combustible de características innovadoras.

Parte A-1. Prescripciones específicas relativas a los buques que utilicen gas natural como combustible.

Parte B-1. Fabricación, calidad y pruebas.

Parte C-1. Ejercicios y prácticas de emergencia.

Anexo. Nota de entrega de combustible GNL.

Parte D. [37]

El **Código IGF** es de suma importancia para buques que quieran u operen con GNL como combustible, excluyendo los buques gaseros que se rigen por el **Código IGC**.

3.4.9 IACS

El objetivo de las **sociedades de clasificación** es proporcionar clasificación y servicios legales y asistencia a la industria marítima y los organismos reguladores en lo que respecta a la seguridad marítima y prevención de la contaminación. [38]

La **IACS** se apoya en el Código IGF y en los Convenios que establece la OMI. También ha elaborado una guía con recomendaciones técnicas para garantizar la seguridad de las operaciones de *bunkering* de GNL, en la que toma como referencia las actuales operaciones de *bunkering* que se llevan a cabo con el fuel.

Esta guía se compone de 3 capítulos que se componen de varias secciones y un anexo que consta de 2 secciones: [39]

- Capítulo 1: General.
 - Sección 1: Aplicación.
 - Sección 2: Definiciones, aplicaciones estándar y reglas.
 - Sección 3: Métodos de *bunkering*.
 - Sección 4: Responsabilidades durante el *bunkering* de GNL.
 - Sección 5: Requerimientos técnicos para los sistemas de *bunkering*.
- Capítulo 2: Evaluación de riesgo.
 - Sección 1: Evaluación de riesgo en las operaciones de *bunkering* d GNL.
 - Sección 2: Protección y zonas de seguridad.
- Capítulo 3: Requisitos funcionales y generales para la operación de *bunkering* GNL.
 - Sección 1: Fase *pre-bunkering*.
 - Sección 2: Fase *bunkering*.
 - Sección 3: Fase de finalización *bunkering*.
- Anexo: Orientación sobre HAZID y HAZOP para las operaciones de *bunkering* de GNL.
 - Sección 1: HAZID para *bunkering* de GNL.
 - Sección 2: HAZOP para operaciones de *bunkering* GNL. [39]

3.4.10 REQUISITOS DE ABANDERAMIENTO EN ESPAÑA

Los buques que utilicen **GNL** como combustible y estén abanderados en España deben cumplir los requisitos técnicos establecidos en el **Real Decreto 1161/1982**.

Recalcan que el SOLAS se aplica a todos los buques mercantes nacionales.

Los **buques gaseros** que estén o quieran abanderarse en España deben cumplir el capítulo VII del SOLAS Parte C. Este capítulo es aplicado a los buques gaseros construidos a partir del 1 de julio de 1986, incluido los de arque inferior a 500 toneladas.

Los **buques** que utilicen **GNL** como **combustible** deben de cumplir el capítulo II – 1, Parte G y deben cumplir las prescripciones del Código IGF. [40]

3.4 GUÍAS/RECOMENDACIONES

Las Organizaciones mundiales y nacionales, así como diversas empresas han creado guías de recomendaciones a seguir para realizar el *bunkering* u operar con GNL como combustible.

Algunas de ellas son las siguientes:

- La norma UNE-EN ISO 20519:2017, guía específica para aquellos buques que operan con Gas Natural como combustible, pero no lo transportan.
- Gas como combustible marino – una guía introductoria hecha por SGMF.
- Guía de Recomendación Técnica de suministro de gas natural licuado como combustible marino de Gasnam.
- Anexo I Procedimiento TTS de Gasnam.
- Anexo II Procedimientos STS de Gasnam.
- Anexo III Procedimiento PTS de Gasnam. [41]
- Lloyd’s Register *Rules and Regulations for the Classification of Natural Gas Fuelled Ships*. [42]
- ISO/FDIS 23306 *Specification of liquefied natural gas as a fuel for marine applications*. [43]
- Classnk *Rules and Guidance LNG fuel*. [44]

3.5 TRANSFORMACIÓN DE BUQUES A GNL

Con el fin de cumplir la normativa establecida y la futura que vendrá impuesta por la **OMI**, cada vez hay más navieras que apuestan por el *retrofit*, en concreto **Baleària** que

ha dado un golpe sobre la mesa invirtiendo una gran suma de dinero en *reconvertir* (para operar con GNL) parte de su flota.

3.5.1 BALEÀRIA

Baleària es una empresa española dedicada al transporte marítimo de pasaje y de carga, su flota se compone de más de 20 buques. Tiene su sede en Alicante y está presidida por **Adolfo Utor**.

Son pioneros en la utilización del GNL, y para el año 2021 alcanzaran los 9 buques a gas, entre nuevas construcciones y *remotorización* de sus buques lo que supondrá una inversión grande con el fin de amortizarlo en el futuro. [45]

3.5.2 REMOTORIZACIÓN

En el año 2018 se publicó una noticia en la que naviera **Baleària** invertiría más de 60 millones de euros en *remotorizar* a gas natural 5 de sus buques. En el que preveían una reducción anual de aproximadamente de 45 mil toneladas de CO₂ y 4 mil toneladas de NO_x y la eliminación total de las emisiones de azufre y partículas.

El primero de esos 5 buques sería el *Nápoles*, seguido de *Abel Matutes* y *Sicilia* siendo su tercer buque impulsado por GNL. Añadirán un 6 buque a su flota de *remotorización* pero este último no está sufragado por la CEF.

La naviera se ha propuesto como objetivo a corto plazo que la mitad de su flota sea propulsada por motores duales de GNL, y a largo plazo que para el año 2030 toda su flota este propulsada por estos motores. [46]

3.5.2.1 BUQUE NÁPOLES



Ilustración 6: Buque Nápoles.

Fuente [47]

En el año 2002 se construyó el buque *Partenope*, años más tarde se incorporó a la naviera **Baleària** renombrado como *Nápoles* en el año 2015, es un tipo de buque Ferry y su primera línea fue entre Ibiza y Barcelona. [48]

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Bandera	Chipre
Eslora	186 m
Manga	27 m
Velocidad	20.8 nudos
GT	23975
DWT	7500 t
Año de construcción	2002

Tabla 4: Características principales

Fuente [48]

Antes de la **remotorización** el buque *Nápoles* operaba con sus dos motores principales MAN9L48/60, estos motores serían sustituidos por los motores duales MAN9L51/60DF con una potencia entre ambos de 18 900 kW, así mismo esto traerá consigo la instalación de un tanque de **GNL** con capacidad de 440 m³ de la compañía de **Wärtsilä** que dispone de una autonomía de 1 200 millas. [47], [49]

Con esta **remotorización** el buque *Nápoles* ha conseguido eliminar totalmente las emisiones de SOx que suponen unas 76 t/año y con ello reducir las emisiones de CO₂ en 9 100 t/año y las NOx en 900 t/año.

Esto supondría una importante inversión para la naviera de 12 millones de euros, lo que implicaba que por buque tendrían que invertir aproximadamente 12 millones de euros dando resultado como se comentó con anterioridad a una cifra superior a los 60 millones de euros. El 20% de la inversión sería sufragado por la CEF de la Unión Europea. [49]

3.5.2.2 ABEL MATUTES



Tabla 5: Buque Abel Matutes

Fuente [50]

El buque *Abel Matutes* opera desde el año 2010, tiene una capacidad de 850 pasajeros, 247 coches y 2 300 metros lineales. [50]

En el año 2019 el buque *Abel Matutes* fue **remotorizado** a GNL, el buque presenta las siguientes características.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Bandera	España
Eslora	190 m
Manga	26 m
GT	29670
DWT	10863
Tipo de buque	Pasajeros/ Ro – Ro
Año de construcción	2010
Velocidad media	21 nudos

Tabla 6: Características principales

Fuente [51]

El buque *Abel Matutes* de **Baleària** ha incorporado dos tanques de 178 m³ de gas natural licuado. Como en el buque *Nápoles*, la **remotorización** consiste en cambiar sus dos motores principales actuales que son MAK 9M43C a motores duales MAK9M46DF con el fin de que opere con **GNL**. Con esta **remotorización** el buque *Abel Matutes* se convertiría el segundo propulsado por **GNL** de la naviera **Baleària**. [52]

3.5.2.3 BAHAMA MAMA



Ilustración 7: Buque Bahama Mama.

Fuente [53]

El buque *Bahamas Mama* es el tercero que ha realizado la **remotorización** para operar con GNL.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Bandera	Malta
Tipo	Pasajeros/Ro – Ro
Eslora	155 m
Manga	24 m
GT	20 238
DWT	3 520
Año de construcción	2009

Tabla 7: Características principales.

Fuente [54]

Como en los otros buques, se ha cambiado los dos motores que tenía MAK 9M43C por otros motores duales 9M46DF que operan con GNL. Eliminando así las emisiones de azufre y partículas y reduciendo las emisiones de CO₂ Y NO_x.

Se han instalado dos tanques de almacenaje de GNL de 140 m³ cada uno, situados en la zona de popa de la cubierta superior. Estos tanques le permiten al buque tener una autonomía de 750 millas náuticas. [53]

3.5.2.3 BUQUE SICILIA



Ilustración 8: Buque Sicilia.

Fuente [55]

El buque *Sicilia* se convertirá en el cuarto buque propulsado por GNL de la naviera **Baleária**, y estará listo para operar en junio de este mismo año.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Bandera	Chipre
Tipo	Pasaje/ Ro – Ro
Eslora	186 m
Manga	26 m
GT	24 409
DWT	7 000 t
Año de construcción	2002

Tabla 8: Características principales.

Fuente [56]

Los trabajos consistirían, como en los buques anteriores, en **remotorizar** el buque cambiando los motores MAN9L48/60 a motores dual 9L51/60DF, esto lo han hecho con la ayuda técnica de **MAN Energy Solutions**, estos motores duales pueden consumir fuelóleo, GNL y diésel.

En este buque se instalará un tanque con una capacidad de 425m³, lo cual le permite una autonomía de 1 100 millas. La **remotorización** le permite reducir en un 30% las emisiones de CO₂ y un 85% las de NO_x.

Con el objeto de tener las emisiones y el consumo controlados se han instalado una serie de sensores que permiten **monitorizar en tiempo real**. En el año 2022 se prevé que cinco buques de su flota tengan esta monitorización. [55]

3.5.2.5 MARTÍN I SOLER



Ilustración 9: Buque Martín i Soler.

Fuente [57]

El buque *Martin i Soler* sería el quinto buque **remotorizado** para ser propulsado con GNL, está previsto que dicha **remotorización** se realice este mismo año. El buque cuenta con dos motores diésel de cuatro tiempos con una potencia máxima cada uno de 9 000 kW. [57]

3.5.2.4 FUTUROS PROYECTOS

Baleària cuenta con dos buques propulsados por GNL el buque *Hypatia de Alejandría* y el *Marie Curie* ambos operando actualmente, y espera un tercer buque.

También está en construcción el catamarán de alta velocidad *Eleanor Roosevelt* propulsado con GNL. El buque tendrá una eslora de 123 m y una manga de 28 m, una capacidad de pasaje de 1 200 personas y un máximo de 450 coches. En cuanto a la propulsión será equipado con cuatro motores **Wärtsilä** con una potencia de 8 800 kW cada uno dándole al buque una velocidad media de 35 nudos. [58]

IV. METODOLOGÍA

IV. METODOLOGÍA

Este capítulo se ha dividido en tres apartados que son los siguientes: documentación bibliográfica, metodología del trabajo de campo y marco referencial.

4.1 DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado se recogen toda la documentación consultada como son páginas web, planos, manuales, informes, libros técnicos de texto, etc. Además de los conocimientos adquiridos en mi periodo de prácticas. Para los aspectos técnicos se ha recurrido a los manuales, decreto ley y documentación de internet.

4.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO

La realización de este **TFG** viene de mi experiencia en un trabajo de campo que se basó en conocer y entender los sistemas esenciales a bordo para el correcto funcionamiento de los motores principales de un buque, y las modificaciones que se deben realizar para la *remotorización* y el *retrofit* de la sala de máquinas para operar con **GNL**, también se han recopilado fotografías propias para una mejor visualización de los elementos explicados.

4.3 MARCO REFERENCIAL

El **marco referencial** de este **Trabajo de Fin de Grado** es el buque *Volcán de Tamadaba* perteneciente a la Naviera Armas. Donde he tenido la fortuna de realizar parte de mis prácticas profesionales y poder realizar el presente trabajo.



Ilustración 10: Volcán de Tamadaba puerto S/C Tenerife.

Fuente: Trabajo de campo.

El buque *Volcán de Tamadaba* se construyó en el astillero Hijos de J. Barrera, Vigo y en el año 2006 se procedió a su botadura, se incorporó a la flota de Naviera Armas en 2007, junto con su buque gemelo el buque *Volcán de Tijarafe*. Disponen de 966 plazas para pasajeros, capacidad para 300 coches y de 1 500 metros lineales para carga rodada.

Las características generales del buque *Volcán de Tamadaba* están recogidas en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Buque	Volcán de Tamadaba
Tipo	RO – PAX
Matrícula	Las Palmas de Gran Canaria
IMO	9360506
Distintivo de llamada	E – A – O – G
Año de construcción	2007
Astillero	Hijos de J. Barrera
Sociedad de clasificación	Bereau Veritas
Fecha de servicio	2007
Naviera	Naviera Armas

Tabla 9: Características generales.

Fuente: Elaboración propia.

Procedemos con las características principales del buque **Volcán de Tamadaba** en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora	154.51 m
Manga	24.20 m
Puntal	8.35 m
Calado	5.7 m
Calado de verano	5.5 m
GT (ARQUEO BRUTO)	199766 tn
NT (ARQUEO NETO)	60516 tn
Velocidad de servicio	24.5 nudos
Potencia	23 400 kW
Capacidad de pasaje	966 personas
Número de camarotes	56
Número de camas	206
Línea de carga rodada	1500 m
Capacidad de vehículos	300

Tabla 10: Características Principales.

Fuente: Elaboración propia.

V. RESULTADOS

V. RESULTADOS

En este capítulo se expondrán los resultados de todo el TFG.

5.1 BUQUE MERCANTE CONVENCIONAL

En este apartado se explicará, una sala de máquinas de un buque mercante convencional que opera con combustibles líquidos, en este caso se ha elegido para este TFG uno de los buques donde he tenido la suerte de realizar las prácticas profesionales embarcado como alumno de máquinas. como buque referencia *Volcán de Tamadaba* de NAVIERA ARMAS.

5.1.1 BUQUE VOLCÁN DE TAMADABA

Como se ha explicado en el capítulo de metodología, fue aquí en el *Volcán de Tamadaba* dónde me surgió la posible idea de *remotorizar* MCI el buque, ya que con los tiempos que corren el GNL es una de las mejores opciones que se bajaran hoy en día en el mercado. [59]

En este apartado no se entrará en detalle del funcionamiento de los equipos del buque, pero si se comentará los grandes rasgos del motor actual, **Wärtsilä 12V46**, y también se explicará los circuitos externos al motor que componen la sala de máquinas.

También cabe mencionar que todos los circuitos externos al motor se encuentran en la sala de máquinas.

5.1.2 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS MOTOR WÄRTSILÄ

Para visualizar mejor las características específicas del motor existente lo realizaremos a través de una tabla que se mostrará a continuación:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES. MOTOR EXISTENTE	
Marca	Wärtsilä
Modelo	12V46
Potencia	2 x 11 700 kW
Ciclos	4 Tiempos
Revoluciones	500 rpm
Número de cilindros	12
Disposición	V a 45°
Diámetro del cilindro	460 mm
Carrera	580 mm
Cilindrada por cilindro	96.41
Combustible	Fuel oil pesado / Diésel
Tipo de inyección	Directa
Velocidad del motor	Media
Sobrealimentación	Turbocompresor
Tipo de cárter	Seco
Volumen de aceite lubricante cárter	370 L
Volumen de aceite en tanque	17.7 m ³
Presión de inyección	600 bar
Volumen apróx. Agua refrigerante	
A.T	1700 L
B.T	200 L

Tabla 11: Características específicas.

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha explicado con anterioridad, no se explican los circuitos internos del MCI, ya que lo que influye en el *retrofit* es precisamente lo externo.

A continuación, explicaremos de la forma más concisa posible los circuitos externos al motor que si tienen un impacto directo en el *retrofit* de la sala de máquinas.

5.1.3 CIRCUITOS DEL MOTOR EXISTENTE.

Los circuitos externos que podemos encontrar en buque convencional serán los siguientes listados a continuación:

- Circuito de agua dulce refrigeración.
- Circuito de vapor.
- Circuito de agua salada refrigeración primaria.
- Circuito de exhaustación.
- Circuito de aire

- Circuito de lubricación.
- Circuito de combustible.

Con el fin de facilitar la comprensión de estos circuitos se han elaborado planos básicos para entender mejor la planta, se tratará de explicar de manera concisa y general para proporcionar una lectura sencilla.

5.1.3.1 CIRCUITO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN

El agua de refrigeración se utiliza para refrigerar el motor y evitar las temperaturas muy elevadas.

En el **plano 1.1** se muestra el circuito de agua de refrigeración de forma general, este circuito es de agua centralizada.

En el **plano 1.2** podemos distinguir dos tipos de agua de motor, una corresponde a la línea de baja temperatura (color cian) y la otra al circuito de alta temperatura (color azul).

El circuito de agua del motor se compone de 3 enfriadores, en funcionamiento normal 2 de ellos son para enfriar el agua de los motores principales, mientras que el restante se utiliza para enfriar el agua de los motores auxiliares. Los enfriadores se pueden comunicar entre sí, por tanto, en condiciones normales las válvulas [3], [5] y [6] han de estar cerradas. El agua pasa por la válvula [10] que es una válvula termostática y es la encargada de regular la temperatura a la salida en función del *set point* (es el valor deseado).

Una vez que el agua pasa por los enfriadores retorna al motor, una parte del caudal es aspirada por la bomba acoplada de baja temperatura (5) y la otra por la bomba acoplada de alta temperatura (6).



Ilustración 11: Bombas acopladas al motor agua refrigeración.

Fuente: Trabajo de campo

El agua es aspirada por las bombas acopladas, posteriormente pasa por el enfriador de aire de barrido, el agua de baja temperatura que sale del motor vuelve a los enfriadores mientras que el agua de alta temperatura puede retornar a los enfriadores o en caso de que no saliera suficientemente caliente se puede retornar a través de la válvula termostática [9] al motor.

Cuando el buque ha salido de puerto y se encuentra en alta mar, se ponen en marcha los evaporadores para producir agua destilada, se aprovecha el agua caliente del motor y se hace pasar por estos, para ello se estrangula la válvula [2] y se abren las válvulas de entrada y descarga de los evaporadores.

Se ha explicado el funcionamiento del circuito de agua del motor cuando este está arrancando, pero ahora se explicará cuando el motor se encuentra parado. La gran diferencia es que, en vez de enfriar el agua de los motores, habría que calentarla para tener una temperatura adecuada en los motores, en este caso son 65°C.

En el **plano 1.3**, se muestra el circuito de agua cuando el motor está parado, para mantener la temperatura adecuada en los motores esta se hace pasar por los precalentadores de vapor, la bomba arranca automáticamente al parar los motores y se abre la válvula de entrada.

En una hipotética situación que se quisiera vaciar el motor, habría que aislar el motor cerrando las válvulas correspondientes y una vez hecho esto, habría que abrir la válvula [7] cuyo conducto va a parar al tanque de vaciado de agua de motor (8).

5.1.3.2 CIRCUITO DE VAPOR

El sistema de vapor, **plano 2.1**, de mantener la temperatura adecuada a otros sistemas como son combustible, aceite, agua del motor.

El vapor es generado por la caldera (1), siguiendo el circuito de vapor, una vez que es generado pasa por los economizadores (2), posteriormente se distribuye por los pianos de válvulas [1], [2], [3] dónde llega a los equipos y depósitos representados, también se distribuye por los pre-calentadores de agua del motor (7).



Ilustración 12: Caldera.

Fuente: Trabajo de campo.

5.1.3.3 CIRCUITO DE AGUA SALADA

El sistema de agua salada representa el sistema más sencillo de todos, el agua salada se encarga de enfriar el agua dulce y esta a su vez refrigera los elementos del motor.

En el **plano 3.1** se muestra el circuito de agua salada, básicamente consta de 3 bombas eléctricas que aspiran de un colector común y la descargan en los enfriadores centrales y posteriormente se descarga al mar. El agua salada entra por las tomas de mar bajas a un depósito, luego el agua pasa por unos filtros para posteriormente mandarla al colector común.



Ilustración 13: Bombas de circulación de agua salada.

Fuente: Trabajo de campo.

Cuando el motor principal se encuentra parado, se realiza un retrolavado que consiste en invertir el sentido del fluido del agua salada, como se muestra en el **plano 3.1** habría que cerrar las válvulas [1] y abrir las válvulas [2].

5.1.3.4 EXHAUSTACIÓN

Este circuito es sencillo como se muestra en el **plano 4.1**, consta de dos silenciosos (2), dos economizadores (3) y el exterior (3)



Ilustración 14: Guardacalor

Fuente: Trabajo de campo.

5.1.3.5 CIRCUITO DE AIRE

El sistema de aire se compone de tres tipos que son los siguientes: aire de arranque (30 bar) es utilizado como su propio nombre indica para arrancar los motores, el aire de control se usa en los motores y para el suministro de aire a la unidad de alimentación de

agua, también tiene otros usos como accionar las válvulas neumáticas (7 bar), el aire de trabajo es utilizado, por ejemplo, en las tomas de aire de las cubiertas, en las válvulas de rociadores de garajes (7 bar).

El aire de arranque es generado por los compresores principales (5), **plano 5.1**, y descargado en las botellas de arranque (4) cuya capacidad es de 2000 litros y con una presión de 30 bar como máximo.



Ilustración 15: Botellas de aire comprimido.

Fuente: Trabajo de campo.

El aire de control y trabajo es generado por los compresores de baja (3), normalmente, uno de los compresores se encarga de suministrar el aire de trabajo mientras que el otro se encarga del aire de control. Los compresores de baja también tienen su propia botella, cuya capacidad es de 125 litros. Los compresores de baja están comunicados con las botellas de arranque (4), esta válvula normalmente permanece abierta [2].

La diferencia del aire de trabajo respecto al aire de control es que este último se hace pasar por un filtro secador (7), que se encarga de limpiar el aire de impurezas como pueden ser partículas, agua en fase líquidas, bacterias.

5.1.3.6 CIRCUITO DE LUBRICACIÓN

El circuito de lubricación se utiliza básicamente para tener todos los equipos lubricados. En este **TFG** nos centraremos en el trasiego de lubricante a los tanques de almacén y al motor principal.

El sistema de lubricación de trasiego consta como se muestra en el **plano 6.1**, de dos tomas de lubricación una a cada banda. El lubricante es descargado al tanque almacén cuya capacidad es de 18.8 m³.

Una vez que el aceite se encuentra en el tanque almacén, este es trasegado a los tanques de retorno (4) del motor principal por medio de una electrobomba (5), a su vez es aspirado por las bombas purificadoras del motor principal (6) y descargada a las depuradoras de aceite (2), para posteriormente descargarlo de nuevo a los tanques de retorno (4).

Cuando el motor se encuentra en marcha, **plano 7.2**, la bomba de pre – lubricación para y arranca la bomba acoplada al motor (7), en caso de que fuera necesario arrancaría la de reserva (5), esta aspira del tanque de retorno (8), posteriormente el aceite es enviado al enfriador (4), luego pasa por el filtro automático (3) y seguidamente por el filtro dúplex, que son dos filtros simples idénticos conectados entre sí, (2) y justo antes de entrar al motor pasa por un amortiguador que se encarga de evitar las sobrepresiones.

Si se produjeran derrames, estos caerían en una bandeja dónde sería enviado a un tanque de derrames (9).



Ilustración 16: Bombas de reserva.

Fuente: Trabajo de campo.

Cuando el motor está parado, **plano 7.3**, la bomba de pre – lubricación (6) arranca aspira del tanque de retorno (8) y es mandado al motor, si fuera necesario pasaría por el enfriador de aceite (4) esto está controlado por una válvula termostática.

5.1.3.7 CIRCUITO DE COMBUSTIBLE

El combustible es la fuente de energía que el motor necesita para poder operar. El motor transforma esta energía química en energía térmica y esta a su vez es transformada en energía mecánica.

El circuito es esencial para el buen funcionamiento del motor, es por eso que a continuación lo explicaremos.

Este buque cuenta con dos tanques de almacén de fuelóleo con una capacidad máxima cada uno de 187 m³, un tanque de sedimentación cuya capacidad máxima es de 129.1 m³ y con dos tanques de uso diario de fuelóleo con una capacidad máxima cada uno de 47.6 m³. También cuenta con un tanque almacén diésel cuya capacidad máxima es de 56,8 m³ y con un tanque de uso diario con una capacidad de 12,7 m³.

Una de las razones de por qué un buque convencional consume dos tipos de combustible es por razones económicas ya que el fuelóleo es mucho más barato que el diésel, por razones ecológicas debido a que, en algunas zonas, por normativa, sería necesario utilizar combustibles más limpios y también el diésel se utiliza para el motor de emergencia.

Para poder trasegar de forma líquida el fuelóleo, este debe de tener una temperatura adecuada, para ello se utiliza vapor.

El **plano 8.1**, hace referencia al circuito de trasiego de combustible a los tanques de combustibles y a las depuradoras, en este plano se muestra de forma general todas las líneas del circuito que lo conforman, a continuación, se desglosará y se realizará una explicación más detallada.

En el **plano 8.2**, se muestra únicamente el trasiego de combustible desde la toma hasta los almacenes, tanto de diésel como de fuelóleo.

El *bunker* de combustible se puede realizar por ambas bandas. En caso de que los tanques llegaran a su nivel máximo y no se haya detenido el trasiego, el combustible sobrante irá a parar a los tanques (12) y (14), en caso de fuelóleo iría al tanque (12) y si fuera diésel iría al tanque (14).

Una vez acabado el *bunker* de combustible, se procede a trasegar el combustible de los tanques almacén a los tanques de uso diario. En el **plano 8.3**, se muestra este circuito.

Antes de realizar cualquier trasiego se debe comprobar que las válvulas correspondientes estén abiertas, en este caso se deberán abrir las que se encuentran en el plano de válvulas [7], considerando que la de los tanques ya se encuentran abiertas se procede a realizar el trasiego.

En caso de que se quisiera realizar un trasiego para el fuelóleo y posteriormente para el diésel habría que hacer lo siguiente:

Primero se bombea el combustible, fuelóleo, desde los tanques almacén (11), al tanque de sedimentación (4) a través de la bomba de trasiego (7). Una vez que el combustible se encuentre en el tanque de sedimentación es trasegado por las bombas (9) y posteriormente pasa por el módulo de depuradoras (9) para seguidamente trasegarlo a los tanques de uso diario (5).



Ilustración 17: Bombas de trasiego.

Fuente: Trabajo de campo.

En el caso de trasegar diésel se realiza también desde el tanque de almacén, pero con la diferencia que este es trasegado directamente por el módulo de bombas (8) hasta la depuradora, una vez depurado el combustible es mandado a los tanques de uso diario, también parte del combustible se manda a un tanque de emergencia (2), para ello la válvula de combustible [2] debe de permanecer abierta. Una vez llenado este tanque la válvula mencionada se cierra, en caso de que fuera necesario este combustible se puede trasegar directamente a los tanques de uso diario, a través de la bomba de trasiego diésel oil (6).



Ilustración 18: Módulo de depuradoras.

Fuente: Trabajo de campo.

Las bombas *Feeders* son las encargadas de trasegar el combustible hasta la entrada del módulo para luego trasegarlo al tanque de mezcla (se utiliza para retornar el combustible sobrante), dónde previamente pasa por los filtros, siendo uno manual y el otro automático, normalmente se utiliza este último. Para que el combustible mantenga la temperatura adecuada y la viscosidad es calentado con un calentador de vapor o eléctrico, luego es aspirado por las bombas *booster* desde el tanque de mezclas hasta el motor pasando previamente por unos filtros dúplex.

Los módulos se pueden comunicar a través de la válvula [3], para un funcionamiento normal esta válvula debe de permanecer cerrada.

En caso de que se produjera un rebose, este iría a parar al tanque de reboses fuel (8).

Este tipo de filtros contiene un diferencial de presión, lo que mide es la presión a la entrada y a la salida de los filtros. Si el filtro estuviera sucio u obstruido la presión a la entrada aumenta y se reflejaría en el medidor de presión.

En el plano ya mencionado se muestra el circuito de diésel, en caso de que se quisiera operar el motor con diésel, se deberá cambiar de posición las válvulas de tres vías [1] y los calentadores no serían necesarios por lo tanto se aislarían, ya que la temperatura de inflamabilidad (es a temperatura mínima que una sustancia necesita para que se produzca la combustión) del diésel es de aproximadamente de 90°C. Posteriormente pasaría por los filtros dúplex y luego entraría al motor.

El motor también cuenta con un retorno de combustible sobrante, mostrado en el **plano 9.3** el circuito de retorno de combustible.

El combustible fuelóleo sobrante puede ser trasegado a los motores auxiliares para ello la válvula [5], [7] y [10] deben estar abiertas, en caso de que se quiera retornar el combustible a un solo módulo se deberán abrir o cerrar, según correspondan, las válvulas [4], [5], [6], [7] y la válvula [10] ha de permanecer cerrada. También se puede retornar el combustible al tanque de mezclas o al tanque de uso diarios, para ello la válvula de tres vías [2] ha de estar en la posición deseada.

5.2 RETROFIT, REMOTORIZACIÓN, RECONVERSIÓN.

Para ubicarnos en el **Trabajo de Fin de Grado**, explicaremos en qué consiste un *retrofit*, *remotorización* y *reconversión* que pueden ser muy parecidas, pero tienen un matiz de diferencia.

El *retrofit*, traducido al español significa modernizar, cuando en el transporte marítimo hablamos de *retrofit* no sólo significa modernizar el buque sino también se puede referir a mejorar cualquier equipo, bien añadiéndole mejoras o cambiarlo por uno mejor. En este punto podemos definir el *retrofit* como una implementación de nuevas tecnologías o mejoras a los sistemas antiguos.

La **remotorización** en términos generales significa sustituir los motores actuales que tiene el buque por otros, normalmente nuevos. Mientras que la **reconversión** consiste en como su propio nombre indica en reconvertir, en este caso un motor, que está diseñado para que opere con un determinado combustible, para que pueda trabajar con otro, en este caso sería transformar un motor existente que opera con combustibles líquido para que opere con combustibles gaseosos como el GNL.

Como hemos explicado anteriormente la **remotorización** y la reconversión de un motor tienen grandes diferencias, pero comparten un rasgo que no ha sido nombrado, y es que ambos términos necesitan modificar la planta propulsora, en el caso de un buque, la sala de máquinas. Y es aquí donde entra el **retrofit**, que en este caso tendríamos que realizar una transformación de la sala de máquinas con el fin de adaptarla y que el buque pueda operar con GNL como combustible de forma normal.

Existe otra opción, posiblemente lleve una inversión de capital mucho mayor, pero tiene la ventaja de que contaríamos con una sala de máquinas totalmente nueva. Esta opción se denomina **postizo** y consistiría en cortar hasta la altura de la sala de máquinas y añadir una sala de máquinas nueva, como si fuera una pieza de un puzle.

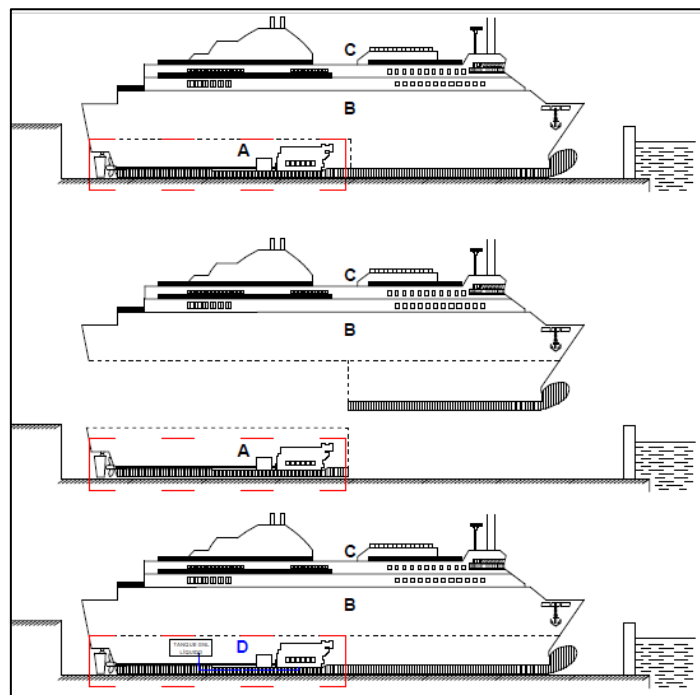


Ilustración 19: Postizo de sala de máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

Esta idea ya se utilizaba en los petroleros de los años 80, estos petroleros estaban propulsados por turbinas de vapor y querían cambiar su planta propulsora a motores diésel. Lo que llevó a cortar los buques y unir las nuevas partes a esto por medio de soldadura.

5.3 PROS Y CONTRAS REMOTORIZACIÓN Y RECONVERSIÓN.

Como se ha comentado en el apartado anterior la gran diferencia entre una *reconversión* y una *remotorización* es que, en la primera se cambian los componentes de un mismo motor para que pueda operar con gas y en la segunda se cambia directamente todo el motor y se ponen otros duales.

Ambas tienen en común que han que realizar un *retrofit* de la sala de máquinas, así como instalar los nuevos tanques de **GNL** y multitud de cosas más que se comentarán en otros subcapítulos.

Ahora deberíamos preguntarnos ¿qué es lo más viable una reconversión del motor o una *remotorización*?

Esta pregunta es clave para cualquiera naviera que quiera que sus buques operen con gas y así convertirlos en buques sostenibles medio ambientalmente.

Sin entrar en detalles técnicos podemos sacar una conclusión al respecto, está claro que ambos métodos tienen desventajas y ventajas, pero si tuviéramos que poner en una balanza si realizar una *remotorización* o una reconversión ¿por cuál nos decantaríamos?

Focalizándonos en los pros y contras de ambos, hay uno que se vería totalmente favorecido.

Aquí se trata de ver más de dónde la vista alcanza, es decir, tenemos que focalizarnos en el futuro.

La **reconversión** tiene su gran fuerte en la inversión que hay que hacer que será mucho menor que la de la **remotorización**, pero hasta ahí podríamos decir que esa sería su ventaja. En cuanto a las desventajas, empezando por la primera es que el motor, aunque lo hayamos transformado a gas y se componga de nuevos elementos, lo que es el motor en sí sigue siendo viejo y a eso habría que añadir el diseño complejo de ingeniería lo que su valor aumentaría considerablemente.

Sin embargo, si ahora nos centramos en la **remotorización** es cierto que hay que desembolsar una gran suma de dinero por los motores, pero sería motores nuevos y con todo lo que eso conlleva como por ejemplo la garantía que da el fabricante por x años. Con esta ventaja aparece la siguiente, no tendríamos que realizar grandes mantenimientos ya que como se dijo en este mismo párrafo se trata de algo nuevo.

También hay que comentar que uno a ambos, con los dos métodos obtendríamos, positivamente, un buque que opera de forma sostenible medio ambientalmente, pero con la desventaja de que no todos los puertos tienen terminales de abastecimiento de GNL y la gran desventaja es que ambos comparten un **retrofit** de toda la planta propulsora por lo que aumentaría el costo de la instalación.

Por tanto, podemos deducir que lo que le falta a uno lo tiene el otro, mientras que en la reconversión la inversión de capital no es muy grande en la **remotorización** sí, pero mientras uno en todo su conjunto es nuevo en otro sólo habría nuevos componentes.

Como se comentó al principio, hay que verlo con percepción de futuro por lo que nos decantaríamos por la **remotorización**, ya que nos asegura fiabilidad, seguridad y calidad.

5.4 REMOTORIZACIÓN DEL MOTOR EXISTENTE.

En este apartado se explicará el procedimiento a seguir para **remotorizar** el motor principal de un buque mercante para que pueda operar con GNL como combustible. Esto es un trabajo descriptivo y supuesto. No pertenece a una ejecución real. Simplemente y como objeto de este **TFG** nos vamos a plantear en este apartado del capítulo de resultados,

los elementos que entendemos son imprescindibles en el **remotorizado** planteado y en la posterior variación en la instalación de la sala de máquinas, adaptando equipos y circuitos al nuevo motor que es lo que entendemos por **retrofit**.

5.4.1 PARTES AFECTADAS EN LA REMOTORIZACIÓN

Un Proyecto de estas características abarca mucho terreno, tanto documentos que se ven afectados como la disposición general del buque, así mismo también afecta a un sinnúmero de equipos y modificaciones que deben de realizarse en el buque.

Esto no es objeto de este **TFG**, ya que un Proyecto de tales características sería objeto de un proyecto de ingeniería. Pero a pesar de esto, si vamos a comentar que equipos, documentación o modificaciones que habría que se verían afectadas.

En este apartado como se ha comentado en el párrafo anterior se dará una lista de las modificaciones más generales del buque.

Los principales documentos afectados del buque son:

- Disposición General: Revisión y actualización del documento original.
- Libro de estabilidad intacta y en averías.
- Balance eléctrico.
- Balance eléctrico de emergencia.
- Diagrama unifilar de potencia.
- Listado de equipos.
- Disposición General de equipos **retrofit** a gas.

En cuanto a los cálculos de reforzado estructural se verían afectados:

- Estructura Polín y reforzado tanque GNL.
- Estructura estación bunker GNL.
- Mástil de venteo y reforzados.
- Disposiciones estructurales.
- Disposición y reforzado de cáncamos de maniobra.

- Disposición de equipos en puente de gobierno.
- Diagrama unifilar de distribución eléctrica.
- Diagrama de cableado de cuadro principal.
- Cálculo de características de nuevos ventiladores.
- Esquema de ventilación de escape.
- Esquema de ventilación general.
- Sistema de alimentación de combustible.

También ha de elaborarse una ingeniería de detalle del proyecto en base a los planos funcionales.

- Planos de fabricación de ventilación.
- Planos de ruteado de conductos y tubería de ventilación.
- Ruteado de canalizaciones eléctricas principales.
- Listado de cables.
- Materiales instalación y fabricación eléctrica.
- Isometría de fabricación de tubería.
- Anidados de piezas y ficheros.
- Resolución de interferencias de nuevos servicios con elementos existentes.
- Disposición de pasantes eléctricos y principales.

Como se ha comentado este Trabajo de Fin de Grado recoge de forma muy general las modificaciones o equipos que habría que instalar, así mismo el camino escogido para este Trabajo de Fin de Grado no es el único posible.

5.4.2 ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

En este apartado 5.4.2 de este **TFG**. Desearíamos destacar que elementos y/o equipos nuevos serían necesarios instalar en el buque dentro de los circuitos esenciales de la planta de propulsión que son necesarios añadir a la planta existente. Tomada la decisión de hacer un *remotorizado* de un motor Fuel/Diésel existente a un **motor dual** Fuel-Diésel/gas, para ello introducimos al lector de este **TFG**, en los citados elementos que son necesarios para que ese nuevo motor dual preste las exigencias requeridas por el motor seleccionado.

Podemos destacar, de forma general, tres equipos o elementos que si son de vital importancia que son:

- Elección del motor.
- Elección del tanque.
- Elección del vaporizador.

No es objeto de este **TFG**, pero al añadir este nuevo circuito y motor y estos nuevos equipos en el *retrofit* del buque, sería necesario adaptar el buque a las nuevas condiciones de estabilidad y de seguridad, ya que aparece en escena un nuevo combustible cual es el GNL. Combustible que entendemos como posible solución a los retos medioambientales que **sufre el sector marítimo día a día en la búsqueda de las cero emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.**

5.4.3 ELECCIÓN DEL MOTOR

En primer lugar, antes de cualquier cambio se debe elegir el motor que de reemplazo por el que el buque tiene actualmente.

Para evitar inconvenientes que puedan surgir, el motor elegido tendrá unas características y peso similares al que se encuentra actualmente en el buque.

El motor elegido será el motor **Wärtsilä** 12V46DF (es un motor dual fuel-diésel/gas, genérico para este **TFG**. No está basado en ningún criterio formalizado. Simplemente se ha elegido como modelo de desarrollo para este TFG) este presenta las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES. MOTOR DUAL PROPUESTO.	
Marca	Wärtsilä
Modelo	12V46DF
Potencia	2 x 13 740 kW
Ciclos	4 Tiempos
Revoluciones	600 rpm
Número de cilindros	12
Disposición	V a 45°
Diámetro del cilindro	460 mm
Carrera	580 mm
Cilindrada por cilindro	96.41 L/cyl
Combustible	Fuelóleo/gas
Peso	184 t
Velocidad del motor	Media
Sobrealimentación	Turbocompresor
Tipo de cárter	Seco
Presión de arranque mínima	15 bar
Volumen de aceite lubricante	22.5 m3
Volumen apróx. Agua refrigerante	
A.T	2 000 L
B.T	-

Ilustración 20: Características motor dual.

Fuente: elaboración propia.

Se ha elegido este motor debido a que presenta las mismas características exceptuando la velocidad del motor, pero esta se puede regular con lo que el motor podría operar en las mismas condiciones. Con esto nos evitaríamos tener que cambiar otros elementos o equipos del buque como puede ser la reductora, el eje, etc.

El funcionamiento básico del motor es parecido a un motor convencional, la gran diferencia radica en que en vez de quemar fuelóleo o diésel quema gas, aunque para ayudar en el encendido se utiliza diésel. Pero estos motores están optimizados para funcionar con gas.

También cabe la posibilidad, de si surge cualquier riesgo de seguridad, el motor está diseñado y equipado con unos sensores y controladores que si detectan cualquier riesgo el motor deja de trabajar con gas y cambia a un combustible convencional como puede ser diésel o fuelóleo pesado.

5.4.4 ELECCIÓN DEL TANQUE

Este es un punto importante, ya que hay varias formas de añadir el tanque de GNL.

Podemos diferenciar dos formas, una más costosa que la otra, aunque va a depender en gran medida de cada buque en particular, así como por ejemplo la autonomía que se quiera dar al buque o si el buque cada semana atraca en un puerto, etc.

Así podemos diferenciar dos formas de añadir los tanques de GNL. Estas dos opciones las vamos a denominar opción A y B.

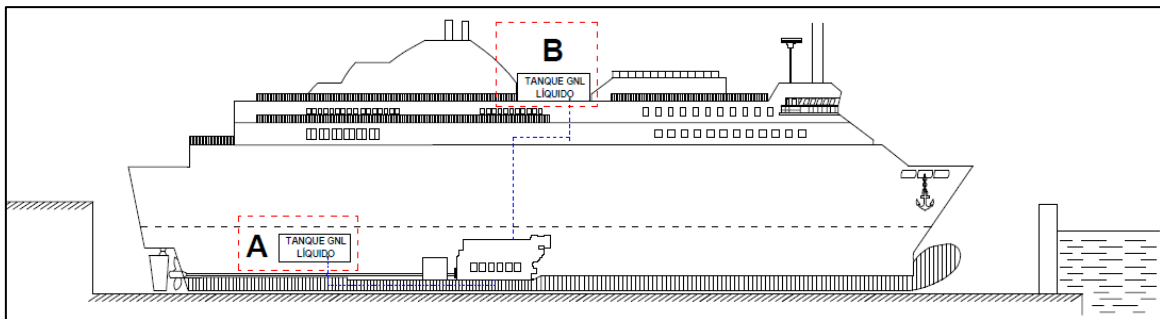


Ilustración 21: Tanque opción A y B

Fuente: elaboración propia

La **opción A** forma es instalar un nuevo tanque en el buque que forme parte de su casco, este camino aparte de suponer un elevado costo también hay que añadirle que hay que realizar grandes modificaciones en el buque, así mismo vamos a abordar algunas de ellas.

Los puntos que considerar a la hora de instalar el nuevo tanque de GNL y que esté incorporado en el casco son las siguientes:

- Reforzado en cubiertas y tanques de doble fondo.
- Recorte de las cubiertas para acomodar el nuevo tanque y modificación de esta.
- Instalación del nuevo tanque de GNL en su ubicación definitiva.
 - Realizando una cesárea en el costado del buque.
 - Fabricación de una estructura de acero para el nuevo tanque.

- Instalar mamparos entre las cubiertas para aislar el tanque del resto de la bodega.
- Construcción e instalación de un mástil de venteo.
- Tuberías de gas.
- Sistema de ventilación.
- Sistema de ventilación de escapes.
- Sistema de nitrógeno (sistema frigorífico).
- Sistema de gas inerte.
- Sistema de glicol.
- Sistema de combustible piloto.
- Sistema de refrigeración.
- Otros accesorios.

Como se ha acaba de comprobar de esta forma requiere muchas más modificaciones y grandes aspectos para tener en cuenta.

La **opción B** que elegir sería la instalación de dos tanques independientes que estaría situados en la cubierta superior del buque, con el fin de ahorrar espacio y evitar realizar modificaciones en el casco del buque lo que elevaría el costo del Proyecto.

Los tanques para instalar serían dos tanques independiente OMI tipo C, cuya estructura y contención del combustible está sujeto a la normativa aplicable en este caso.

Estos tanques presentan la ventaja, como se ha estado comentando, de que no hay que realizar ninguna modificación en el casco, con el cálculo que se ha realizado en el apartado **6.1.1 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE** podemos considerar que ambos tanques dispondrán de una capacidad cada uno de 200 m³.

También cabe destacar que para la segunda opción B se necesita instalar un sistema de nitrógeno que es el encargado de mantener el tanque de combustible de GNL líquido a la temperatura adecuada, por tanto, este sistema tendría la función de refrigerar el tanque.

Con esta razón se ha mencionado que va a depender en gran medida de lo que quiera el armador con cada buque y cuál sería la opción más rentable.

5.4.5 VAPORIZADOR GNL

La siguiente elección consiste en elegir el *vaporizador*, en este caso no entraremos en detalle, pero si diremos que existen actualmente varios tipos de vaporizadores, algunos de ellos son *vaporizador* calentado por agua de mar, por vapor, combustión sumergida, aire ambiental, fluidos intermedios.

La función del *vaporizador* es simple, aunque su funcionamiento es más complejo se tratará de dar una idea general. Consiste en *vaporizar* (cambio de estado de líquido a gaseoso) el GNL, almacenado como líquido, a gas antes de la entrada al motor. Por tanto, el *vaporizador* opera como un intercambiador de calor, como se comentó en el párrafo anterior esta transferencia de calor se puede conseguir de diferentes formas es por eso por lo que existen varios tipos, dependiendo de la planta y de las condiciones ambientales de cada buque se elijará uno u otro.

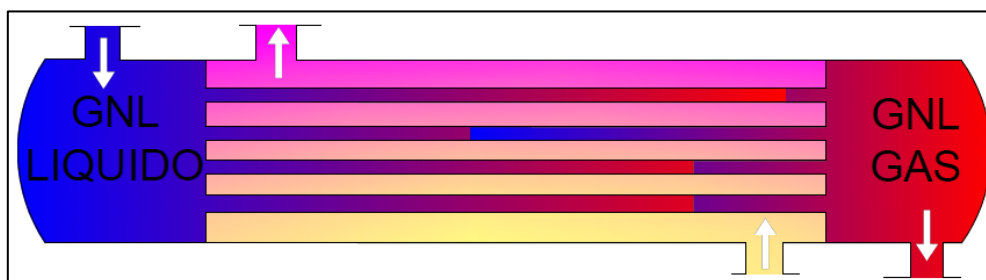


Ilustración 22: Vaporizador.

Fuente: Elaboración propia.

En algunos *vaporizadores* el contacto es directo mientras que en otros el contacto es indirecto, esto quiere decir que mientras en los de contacto directo se utiliza un fluido para calentar el GNL y se vaporice, en los indirectos se utiliza un elemento intermedio o fluido intermedio. Ambos casos son buenos, siempre y cuando se adapte a la instalación.

Como los elementos anteriores esto va a depender de la ubicación dónde opere el buque, del espacio que se tenga dentro del propio buque y de los otros elementos.

Generalmente, los *vaporizadores* más utilizados son:

- Calentado por agua de mar: Tiene la ventaja de que el agua de mar siempre está a disposición del buque, hay que añadirle también que hay que tener en cuenta las condiciones de temperatura del agua de mar, ya que no es lo mismo la temperatura del mar en las Islas Canarias que en la Antártida. Esta opción no es la más adecuada por el alto riesgo de corrosión a largo plazo.
- Calentado por aire ambiental: Este tipo de *vaporizador* se usa sobre todo en los buques gaseros.
- Calentado por fluidos intermedios: En este tipo es calentado por agua dulce que se mezcla con glicol (ya que dispone de un bajo punto de congelación) para que las líneas de tubería no se congelen. Es ideal para ahorrar espacio, pero va a suponer otras modificaciones.

Se debe recordar que el GNL se almacena a temperaturas criogénicas lo que quiere decir, que se encuentra en estado líquido a temperaturas inferiores a los 100 grados bajo cero.

5.4.6 RESULTADO FINAL

Una vez que hemos visto los equipos que son indispensable para operar con GNL en un buque, veremos en el esquema siguiente como quedaría el conjunto de estos elementos.

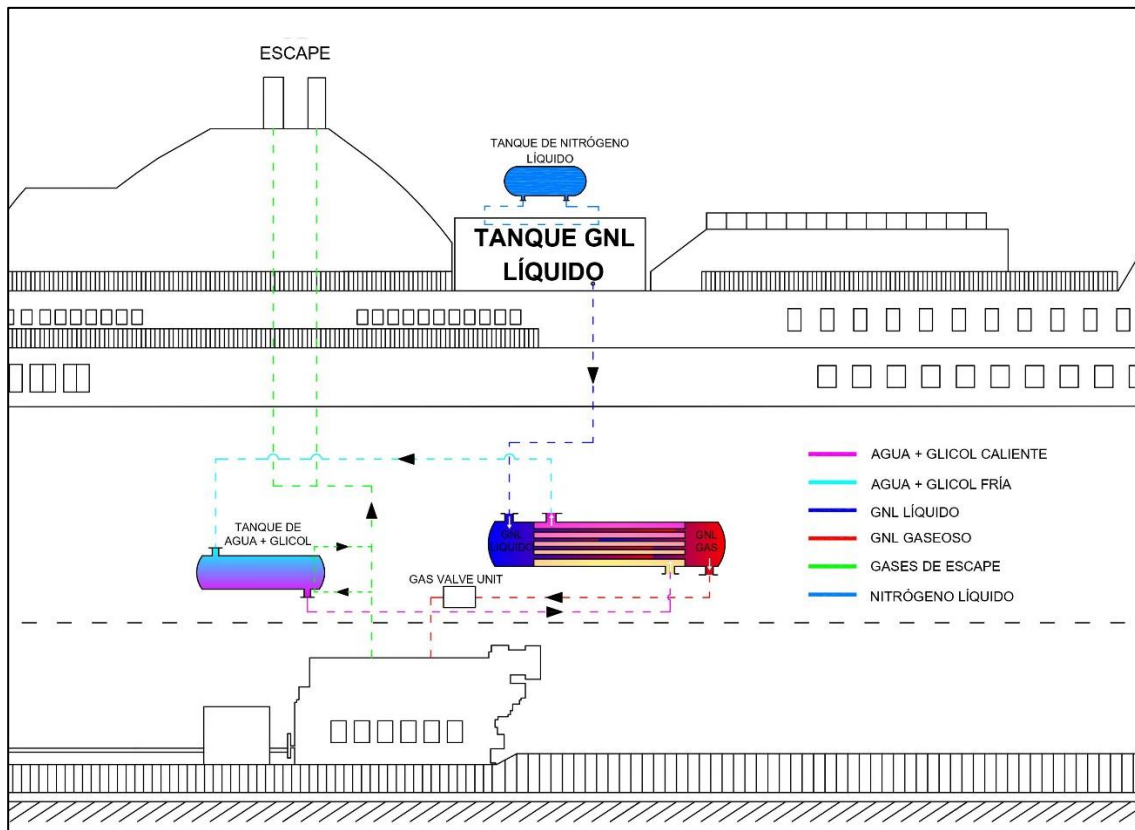


Ilustración 23: Esquema general propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

5.5 CIRCUITOS EXTERNOS DEL MOTOR.

A la hora de realizar la **remotorización** también hay que considerar las modificaciones de los circuitos externos que influyen directamente en la **remotorización**.

Está claro que el circuito más perjudicado será el circuito de combustible, pero los otros circuitos también se necesitará realizar cambios, estas permutaciones las comentaremos, pero sin meternos de lleno en ellas, ya que centrarse en otros sistemas es motivo de otro **TFG**.

A pesar de lo comentado en el párrafo anterior, se comentarán los equipos o las posibles modificaciones que habría que realizar en los sistemas.

Pese a la **remotorización** y al **retrofit** que implica, se siguen manteniendo los circuitos, sin embargo, si hay que matizar algunas cuestiones.

Así como se ha comentado con anterioridad los circuitos externos son los siguientes:

- Circuito de agua Refrigeración.
- Circuito de vapor.
- Circuito de agua salada.
- Circuito de exhaustación.
- Circuito de aire
- Circuito de lubricación.
- Circuito de combustible.

5.5.1 CIRCUITO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN

El circuito de agua de refrigeración actual es un circuito centralizado, esto quiere decir que el agua de los dos motores es compartida y se encuentra en el mismo circuito.

El agua centralizada estaría bien si el buque contase con un solo motor principal, pero al contar con dos motores esto no es recomendable, así mismo el fabricante recomienda que para los buques *multimotor* el sistema de agua de refrigeración sea no centralizado.

El circuito de agua centralizada generalmente tiene un funcionamiento/rendimiento peor que uno no centralizado, así mismo también si se produjera una pérdida de agua esto afectaría a los dos motores.

Por tanto, se propone cambiar el circuito a un circuito de agua de refrigeración no centralizado, esto facilita ajustar los flujos individuales de agua de refrigeración a cada motor.

A la hora de modificar el circuito externo de agua de refrigeración también habría que tener en cuenta que los equipos cumplan con los valores de demanda.

5.5.2 CIRCUITO DE VAPOR

En el circuito de vapor hay que realizar varias consideraciones.

El vapor se utilizaba principalmente para mantener el fuel a buena temperatura para poder trasegarlo, debido a que la viscosidad de fuel es muy elevada. Como el buque no va a operar con fuel porque se va a realizar una *remotorización* a motores dual diésel/gas, y también considerando que este es un buque de pasaje entonces el circuito de vapor no tendría mucha utilidad.

Sin embargo, el vapor no sólo se utiliza para calentar el fuel también se utiliza para calentar el agua de refrigeración cuando el motor se encuentra parado, para el tanque de lodos, así también como se podría utilizar en los intercambiadores de calor o en el vaporizador para transformar el GNL líquido a gas.

Entonces teniendo estas dos situaciones habría valorar y estudiar la viabilidad que tiene el circuito de vapor, ya que quitar el circuito de vapor supone un coste y mantenerlo supone otro ya que para obtener el vapor se necesita un quemador que utiliza combustible, así también habría que realizar mantenimiento a los equipos.

También existe una tercera opción intermedia, que sería dejar el circuito de vapor, pero no darle uso, aunque esto como se comentó en el párrafo anterior involucraría un mantenimiento, en este caso sería mínimo.

En este TFG se va a optar por dejar el circuito de vapor, pero dándole un mantenimiento mínimo y en las ubicaciones dónde se utilizaba vapor para calentar otros fluidos se sustituirían por calentadores eléctricos.

El circuito de vapor se ha decidido dejar porque el motor dual elegido tiene la posibilidad de trabajar con fuelóleo pesado, por lo que si en algún momento se quisiera trabajar con fuelóleo se tendría las líneas de vapor para calentar este combustible, así todo lo que ello implica como los tanques de rebose de combustible, tanques de almacenamiento, tanque de lodos, etc.

5.5.3 CIRCUITO DE AGUA SALADA

El circuito de agua salada prácticamente se dejaría tal cual, lo único que habría que tener en cuenta es que las bombas cumplan con los valores de demanda.

5.5.4 CIRCUITO DE EXHAUSTACIÓN

Este circuito se vería modificado, como el circuito de vapor sería anulado los economizadores que se encuentran el circuito externo de exhaustación habría que anularlos también o quitarlos.

El fabricante del motor indica que las tuberías de los gases de escape deben de ser lo más rectas posibles para evitar contrapresiones. Por tanto, si se dejarán los economizadores habría que baipasear las tuberías de escape de los economizadores y para ello habría que tener en cuenta que las curvas deben de realizarse con el mayor diámetro posible de curvatura.

También hay que considerar que, aunque se haya dejado el circuito de vapor, hay que valorar la utilidad que se le dará los economizadores.

En este caso los vamos a quitar para evitar las complicaciones que puedan surgir a la hora de instalar el nuevo circuito de exhaustación, ya que se considera que los economizadores no tendrán la utilidad que tenían antes al prescindir el circuito de vapor.

Como se muestra en el **plano 10.1** el circuito de exhaustación se compondría de los siguientes elementos:

- El motor principal.
- Ventilador centrífugo.
- Discos de ruptura.

El ventilador centrífugo, como indica el fabricante, es necesario para purgar la línea de tuberías de escape. Esto es un requisito de las sociedades de clasificación para que te certifiquen. El ventilador centrífugo tiene que cumplir los valores mínimos que indica el fabricante.

Los discos de ruptura son dispositivos de seguridad para aliviar instantáneamente las sobrepresiones. Cuando el sistema o circuito alcanza una presión por encima de la presión tarada del disco, se rompe liberando esa presión y evitando males mayores. Esto requiere un cálculo o una simulación para elegir el disco de ruptura correcto.

También se debe tener en cuenta que este alivio de presión se debe descargar en un lugar seguro y libre de explosiones. Una vez que el disco de ruptura es abierto no puede cerrarse nuevamente, habría que reemplazarlo por otro.

5.5.5 CIRCUITO DE AIRE

El circuito de aire tampoco presentaría cambios relevantes, a excepción de los equipos siempre y cuando no cumplan con los requisitos. Estos requerimientos están sujetos a las sociedades de clasificación que son los que establecen estos valores.

5.5.6 CIRCUITO DE LUBRICACIÓN

Al igual que el circuito de aire, el circuito de lubricación tampoco presentaría modificaciones importantes, salvo los equipos u elementos siempre que estos no cumplan con los requisitos exigidos por el fabricante.

El aceite lubricante utilizado debe ser de clase de viscosidad SAE 40 y tener un índice mínimo de viscosidad de 95.

5.5.7 CIRCUITO DE COMBUSTIBLE

Este sistema es el más importante, ya que habría que añadir el circuito de combustible. Con respecto al circuito actual de combustible se dejarán todos los elementos debido a que en un futuro se podría utilizar el fuel, en caso de que fuera necesario y para modificar lo menos posible la estructura del buque.

Lo que, si hubiera que tener en cuenta que habría que adaptar los circuitos actuales a este motor, haciendo las debidas correcciones y modificaciones.

Queda aclarar que en caso de que sea necesario el combustible a utilizar será el diésel mientras que queda en segundo lugar el fuel, si se diera la situación que por cualquier motivo falla el sistema de diésel siempre queda la opción de utilizar fuel.

En este caso, como se utilizará diésel se puede observar en los planos de combustible 8, y como se ha venido explicando durante todo el **TFG** el circuito de diésel no necesita ser calentado para que se pueda trasegar, por tanto, los calentadores tanto de vapor como eléctricos no tendrían ninguna utilidad, sin embargo, como se ha comentado en el párrafo anterior esos equipos no se tocarán por si en un futuro se vuelve a utilizar fuel.

Como se ha comentado en el apartado **5.4.2 ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS**, primordialmente los equipos que debe tener un circuito de combustible son el motor que es indispensable, el tanque de **GNL** y el *vaporizador*. Como se ha dicho estos equipos son los esenciales, pero también el circuito de gas está compuesto por otros equipos o elementos que veremos a continuación.

Así bien, ahora se dará comienzo a los nuevos equipos que aparte de los denominados primordiales son también necesarios para poder operar con este combustible.

5.5.7.1 CIRCUITO DE COMBUSTIBLE DE GAS

En este apartado se explicará el circuito de gas elegido como propuesta, así como los equipos necesarios que lo componen para que opere con normalidad.

Así podemos visualizar este circuito en el **plano 11.1**, lo explicaremos a continuación:

Como se muestra en el plano podemos diferenciar 4 grupos, siendo el (1) la estación de abastecimiento o también llamado en inglés *bunkering* en esta estación es la interconexión entre el buque o camión cisterna que suministra el GNL y el tanque de

GNL que se encuentra en el buque. Se debe recordar que el suministro se produce en estado líquido a través de las mangueras de suministro.

Antes de iniciar la operación de suministro se deben cumplir una serie de condiciones océano – meteorológicas, iluminarias y condiciones generales de seguridad.

Así mismo tanto el buque receptor de suministro como el emisor deben de rellenar una serie de *check – list* previos al suministro y posteriores a la operación.

Como se ha explicado en apartados anteriores la operación de suministro o *bunkering*, debe de cumplir con la normativa establecida por las sociedades de clasificación y por el código IGF.

Una vez que haya concluido la operación de abastecimiento podemos partir del taque GNL.

El combustible GNL que se encuentra en el tanque es aspirado por la bomba criogénica sumergida que se encuentra dentro del tanque, es aspirada por esta para mandar el fluido hasta las bombas criogénicas de alta presión.

Las bombas criogénicas son bombas especializadas en bombear fluidos criogénicos, de forma muy genérica y sin entrar en detalles la bomba criogénica trabaja en vacío y lo que hace es que atrapa los gases y los vapores y los condensa en una superficie fría.

Posteriormente el GNL es bombeado al *vaporizador* dónde completa su fase de transformación de estado líquido a estado gaseoso, por último, pasa por el **GVU**, de forma muy general, el objetivo principal del **GVU** es controlar la presión de alimentación de gas al motor y garantizar un cierre rápido, seguro y fiable del suministro de gas. Una vez que el GNL ha pasado por el **GVU** es dirigido al motor

5.6 CUADRO RESUMEN

A continuación, se mostrará una tabla a modo resumen de todo lo comentado, así se podrá diferenciar el circuito anterior al actual.

INSTALACIÓN ACTUAL	RETROFIT	OBSERVACIONES
A/D	Permanece	Se modifica el sistema de A/D centralizado por un sistema no centralizado
VAPOR	Permanece	Se prescinde del circuito de vapor
A/S	Permanece	Los equipos están sujetos a la normativa.
EXHAUSTACIÓN	Permanece	Instalación de los discos de ruptura, un ventilador centrífugo y se baipasean los economizadores.
AIRE	Permanece	Los equipos están sujetos a la normativa.
LUBIRCACIÓN	Permanece	Los equipos están sujetos a la normativa.
COMBUSTIBLE	Permanece	Permanece el sistema de combustible actual y se añade también el circuito de combustible de gas.

Tabla 12: Cuadro resumen.

Fuente: Elaboración propia.

Todos estos cambios influyen en la seguridad y en la estabilidad del buque, pero no es objeto de este TFG.

5.7 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL GNL

El GNL es el combustible, actualmente, perfecto para el sector marítimo ya que tiene unas numerosas ventajas, pero lo que más valor tiene es el impacto medioambiental.

Como se sabe los combustibles tradicionales perjudican de forma directa en el medioambiente, y a pesar de que el transporte marítimo es uno de los más eficiente también genera millones de toneladas de CO₂.

El GNL también produce CO₂, pero con la gran diferencia que las emisiones de CO₂ son menores, casi un 30%, que las del fuelóleo. Cabe recordar que el CO₂ contribuye al conocido efecto invernadero lo que incrementa la temperatura del planeta Tierra. Así mismo, el metano es peor contaminante que el CO₂, pero teniendo en cuenta el gas emitido a la atmósfera es casi inexistente.

En el capítulo de anexo en el apartado **6.1.2 CÁLCULOS DE CO₂**, como se muestra en el cálculo el kg de CO₂ emitido por el GNL es menor que por el fuelóleo ligero para una **misma potencia**.

Tampoco hay que olvidar las emisiones de SO₂ que es el causante de la lluvia ácida, el impacto que tiene el fuelóleo respecto al GNL es más de 2 000 veces mayor que el GNL.

Es importante mencionar la nueva normativa y no sólo eso, sino que con el paso de los años se hará más restrictiva con el fin de que el transporte marítimo contamine lo menos posible. Como se ha comentado en apartados anteriores, la **OMI** ya ha dejado claro que para el año 2050 se pretende que los buques emitan la mitad del total de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Es por todo lo comentado en este apartado que en este momento el GNL es una de las mejores soluciones, es cierto que se está probando con otras energías alternativas, pero hoy en día la más experimentada es esta.

5.8 VIABILIDAD DE GNL

Podemos concluir con este apartado del capítulo de resultados haciendo una reflexión con los datos que disponemos actualmente, con las explicaciones y los cálculos que se han hecho a lo largo del **TFG**.

El GNL frente al fuelóleo supone, como se ha dicho ya en repetidas ocasiones, un avance en la lucha contra la contaminación, pero no sólo eso, sino que también supone un ahorro de capital.

Aunque es cierto que para poder operar con GNL se debe invertir un capital considerable, tanto si se quiere realizar una **remotorización** o una reconversión del motor o en un caso excepcional instalar una nueva sala de máquinas postiza, hay que observar esta inversión con percepción de futuro, es decir, como cualquier inversión en los primeros años se tendrán pérdidas y con el paso del tiempo se amortizará ese capital invertido, como se ha demostrado en el apartado **6.1.3 CÁLCULOS PRECIO DE COMBUSTIBLE** se puede sacar una conclusión clara, con el GNL se ahorra un capital importante al año.

V. CONCLUSIÓN

VI. CONCLUSIONES

Con este capítulo se concluirá el contenido de este TFG en el que se reflexionará sobre los objetivos marcados y como los hemos ido desglosando.

1. Hemos hecho un breve repaso de la historia del GNL desde su comienzo en el mercado hasta la actualidad, indicando sus propiedades y lo que implica utilizarlo como combustible. Se ha visto el impacto que tiene en Europa tanto en el futuro como en la actualidad, y como se ha explicado España es una de las referentes a nivel mundial de importaciones de GNL. Así se puede destacar que hemos visto como hoy en día cada vez hay más navieras que optan por el GNL con el fin de cumplir la normativa y evitar, en medida de lo posible, ser contaminantes del medio – ambiente.
2. Hemos conocido el buque actual de forma genérica referente a la máquina, sobre todo se ha hecho énfasis en conocer los circuitos de los que se componen y como se debe operar cada uno, ya que son los que a la hora de realizar la **remotorización** se verán afectados.
3. Hemos estudiado la viabilidad que tiene la **remotorización** y comparándola con la reconversión de un motor, llegando a la conclusión que ambas tienen que realizar un **retrofit** de toda la sala de máquinas, así como adaptar los circuitos y los equipos o elementos que los componen, también hemos destacado la diferencia que existe entre la **remotorización** y la reconversión de un motor, así como los pros y contras de cada uno.
4. Hemos explicado todos los factores que hay que tener en cuenta para realizar un **retrofit** de la sala de máquinas, como se ha explicado no es un proyecto fácil. Así bien se ha estudiado cuales son los equipos principales que se deben elegir y cuáles son los circuitos que sufren alguna modificación, dando mayor relevancia al circuito de combustible, ya que, aunque el circuito actual no sufra grandes modificaciones sí que habría que instalar un circuito de gas que cumpla con toda la normativa y los requisitos de seguridad.

VI. ANEXOS

VI. ANEXOS

En este capítulo se expondrán los planos y los cálculos que ayudan a mejorar la compresión del proyecto.

6.1 CÁLCULOS

Cabe destacar que es un cálculo supuesto y que está claro que a la hora de realizar dicho cálculo depende de más factores.

6.1.1 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE

Tomando como referencia los datos de **Baleária**, si sabemos que dos tanques de 140 m^3 cada uno disponen de una autonomía de 750 millas, podemos hallar el volumen que queremos que disponga nuestro tanque.

Cabe destacar que esto es un supuesto, ya que no disponemos de la información necesaria para realizar el cálculo real y esto dependería de otros factores como son por ejemplo el consumo del motor.

Nosotros queremos que nuestro buque tenga una autonomía de 1 000 millas náuticas, debido a que este buque cubre las líneas de las Islas Canarias y esta autonomía sería suficiente.

$$\begin{aligned} 2 * 140 \text{ m}^3 &\rightarrow 750 \text{ millas} \\ x &\rightarrow 1\ 000 \text{ millas} \end{aligned}$$

De esta regla obtenemos lo siguiente:

$$\frac{2 * 140 \text{ m}^3 * 1\ 000 \text{ millas}}{750 \text{ millas}} = 373.333 \text{ m}^3$$

Aproximadamente podemos decir que necesitamos un total de 373 m^3 , si dividimos esa cantidad entre dos tanques obtendríamos un valor de 186.5 m^3 .

Para saber cuántas toneladas de GNL equivalen a m^3 utilizamos la siguiente equivalencia:

1 tonelada de GNL líquido ocupa $2.232 m^3$, por tanto, podemos hallar las toneladas que necesitamos para nuestros dos tanques.

$$\begin{aligned} 1 t &\rightarrow 2.232 m^3 \\ x &\rightarrow 186.5 m^3 \end{aligned}$$

Con esta regla podemos deducir lo siguiente:

$$\frac{1 t * 186.5 m^3}{2.232 m^3} = 83.55 t$$

Estas toneladas obtenidas serian por tanque, como se instalarán dos tanques el resultado total seria de 167.1 toneladas de GNL líquido.

6.1.2 CÁLCULOS DE CO₂

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se ha elegido un factor de emisión recogido en *La Guía para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero* y los consumos se han elegido de los manuales de los motores de Wärtsilä. [60][61]

Sabiendo que el fuelóleo ligero tiene un factor de emisión (Es un valor representativo que vincula la cantidad de contaminante emitido con una actividad asociada) de 3.151 kg de CO₂/kg de fuelóleo ligero y que el GNL tiene un factor de 2.750 kg de CO₂/kg de GNL.

También se debe saber el consumo de cada motor, partiendo de que el motor convencional consume para una carga del 85% consume 173 g/kWh y el motor dual 178.2 g/kWh.

Con estos datos podemos deducir lo siguiente:

Consumo del **motor convencional**.

$$173 \frac{g}{kWh} * \left(\frac{1 kg}{1000 g} \right) = 0.173 \frac{kg}{kWh}$$

Consumo del **motor dual**.

$$178 \frac{g}{kWh} * \left(\frac{1 kg}{1000 g} \right) = 0.178 \frac{kg}{kWh}$$

Sabiendo lo anterior y aplicando el factor de CO₂

$$0.173 \frac{kg}{kWh} * 3.151 \frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de fuel\u00f3leo}} = 0.5451 \frac{kg \text{ de } CO_2}{kWh}$$

$$0.178 \frac{kg}{kWh} * 2.750 \frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de GNL}} = 0.4895 \frac{kg \text{ de } CO_2}{kWh}$$

Si el resultado anterior lo multiplicamos por la potencia, conoceremos lo producido CO₂ por kWh, cabe destacar que este c\u00e1lculo se debe realizar para la **misma potencia** para poder realizar la comparaci\u00f3n.

Supongamos que ambos motores tienen la misma potencia 13 740 kW, ahora con estos datos procedemos a realizar el c\u00e1lculo:

Motor convencional.

$$0.5451 \frac{kg \text{ de } CO_2}{kWh} * 13\,740 \text{ kW} = 7\,489.67 \frac{kg \text{ de } CO_2}{h}$$

Motor dual.

$$0.4895 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kWh}} * 13\,740 \text{ kW} = 6\,725.73 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{h}}$$

6.1.3 CÁLCULOS PRECIO DE COMBUSTIBLE

En este **TFG** los cálculos se realizarán para el mismo volumen de combustible tanto para HFO como para el GNL.

En enero de este mismo año el fuelóleo bajo en azufre tenía un precio en el mercado de 688.5 \$ lo que en euros equivale a 609.13 € mientras que el GNL es un 20% más barato por lo que su precio es de 550.8 \$ y en euros 487.30 €.

Esto supuso el pico más alto al precio del combustible de fuelóleo. En marzo de 2020 el precio del fuelóleo se estaba estabilizando hasta alcanzar los 480 \$ con una equivalencia de 424 € mientras que para el GNL sería de 384 \$ que equivale a 339 €.

Actualmente con la pandemia mundial del COVID – 19 el precio del fuelóleo se desplomó hasta los 205 \$ en euros equivale a 181 €, estamos hablando de precios muy bajos.

Lo que significa que el mercado aún no se ha estabilizado, por lo que en este **TFG** tomaremos como valor representativo el precio del mes de marzo.

Un punto importante que hay que considerar es el volumen que ocupa un combustible respecto al otro, mientras que el fuelóleo ocupa por cada tonelada 0.952 m³ el GNL ocupa 2.232 m³ por cada tonelada.

Habiendo realizado los cálculos de los tanques, sabemos que el buque actual tiene una capacidad por tanque de 187 m³ de fuelóleo, si ambos tanques los cargamos por debajo de la mitad, hasta equiparlos con el GNL a 167.1 toneladas.

Si tomamos como referencia la densidad del fuelóleo, independientemente si es bajo en azufre o no, como 1.05 kg/l y sabemos que es igual a decir 1.05 t/m³, podemos calcular las toneladas por tanque.

$$1.05 \frac{t}{m^3} = \frac{1 t}{v}; v = \frac{1 t}{1.05 \left(\frac{t}{m^3}\right)} = 0.952 m^3$$

Por tanto, deduciendo de la siguiente regla

$$\begin{aligned} 1 t &\rightarrow 0.952 m^3 \\ 167.1 t &\rightarrow x m^3 \end{aligned}$$

Obtenemos que la capacidad a rellenar de un tanque de fuelóleo que sería de 79.53 m³ si lo pasamos a toneladas serían 83.55 toneladas y multiplicado por los dos tanques sería 167.1 toneladas totales.

Si sabemos que 1 tonelada de fuelóleo bajo en azufre tenía en marzo de este mismo año, un precio de 424 €, el gasto por hacer *bunkering* una vez saldría por 70 850.4 €.

Sin embargo, si realizamos el cálculo para el GNL, sabemos que el precio por tonelada es de 339 €, y sabemos que hacer *bunkering* de los dos tanques una vez sería 167.1 t, podemos deducir que el *bunkering* costaría un capital de 56 646.9 €.

Si consideramos que el buque hace *bunkering* una vez a la semana, al año se producirían los siguientes gastos:

Un año tiene 54 semanas, nosotros ya sabemos lo que nos cuesta el *bunkering* en una semana, por tanto, habría que multiplicar lo que cuesta en 1 semana por 54 semanas.

Entonces deducimos lo siguiente:

En 1 semana el gasto de fuelóleo bajo en azufre significaría de 70 850.4 €, al año supondría un gasto de **3 825 921.6 €**.

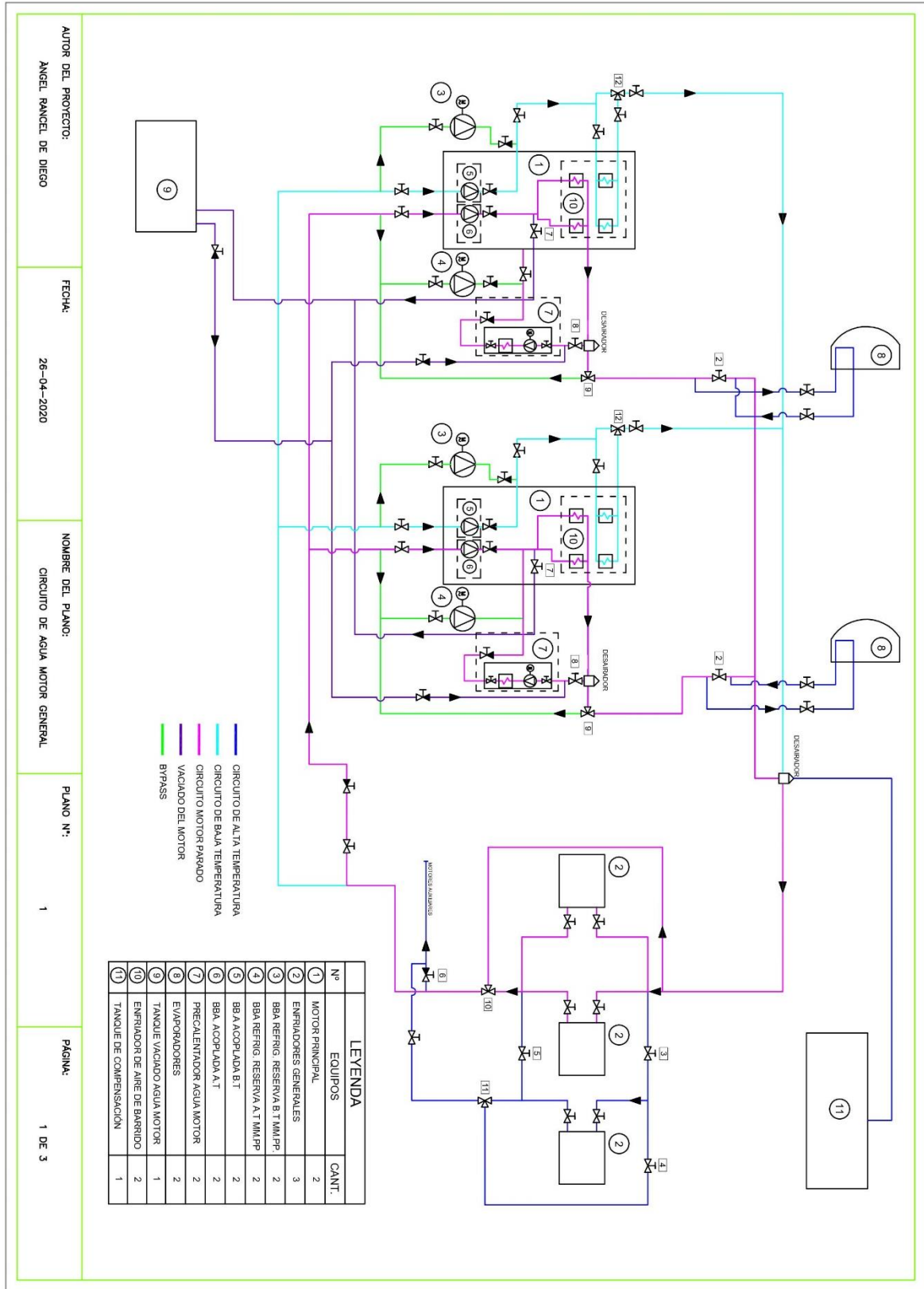
1 semana de GNL significa un gasto de 56 646.9 €, al año supondría un gasto de **3 058 932.6 €**.

Lo que supone un ahorro de **766 989 €** al año.

6.2 PLANOS

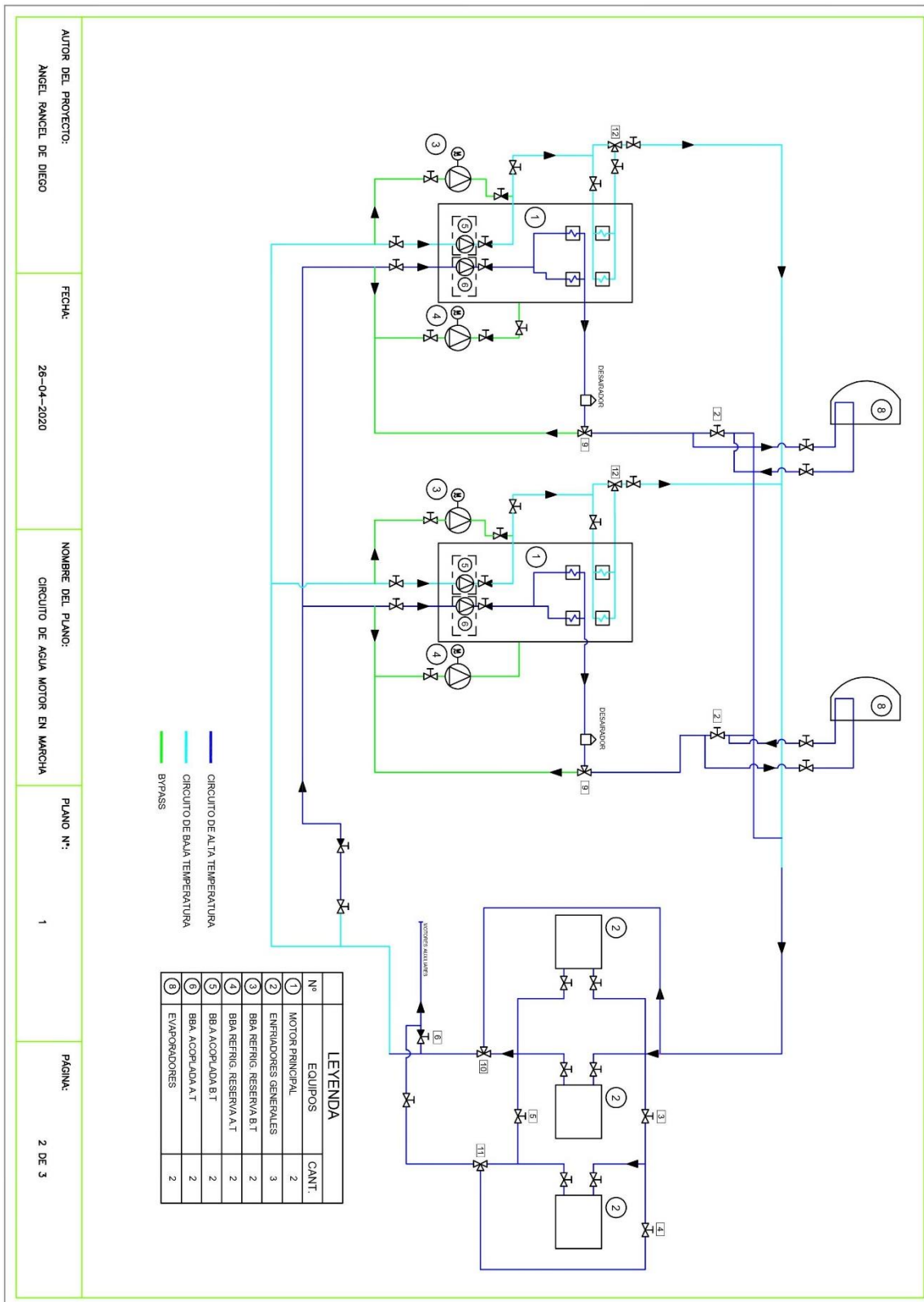
En este apartado se expondrán los planos que son necesarios para facilitar la comprensión del trabajo.

6.2.1 AGUA DULCE REFRIGERACIÓN



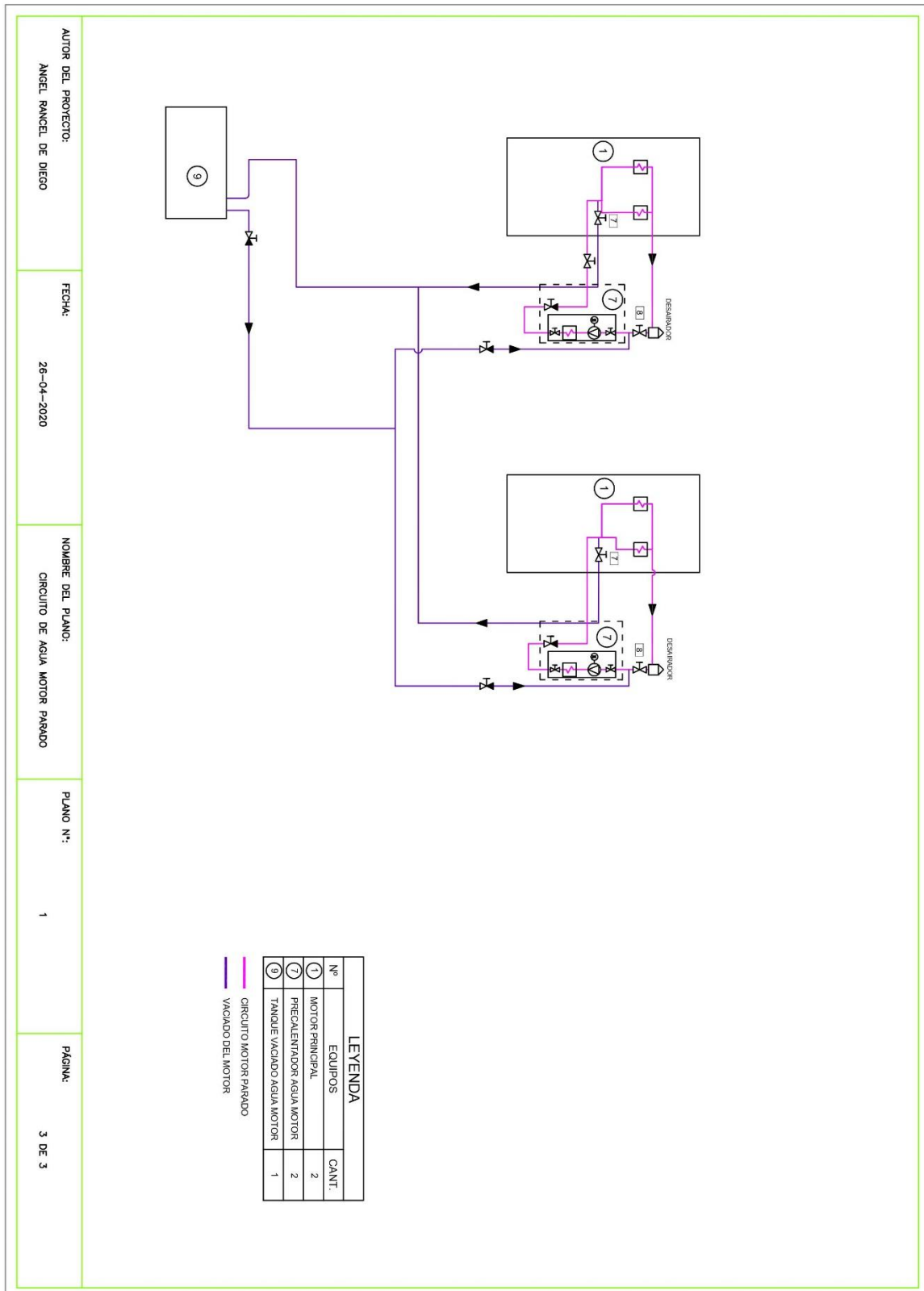
1: Plano 1.1

Fuente: Elaboración propia.



2: Plano 1.2

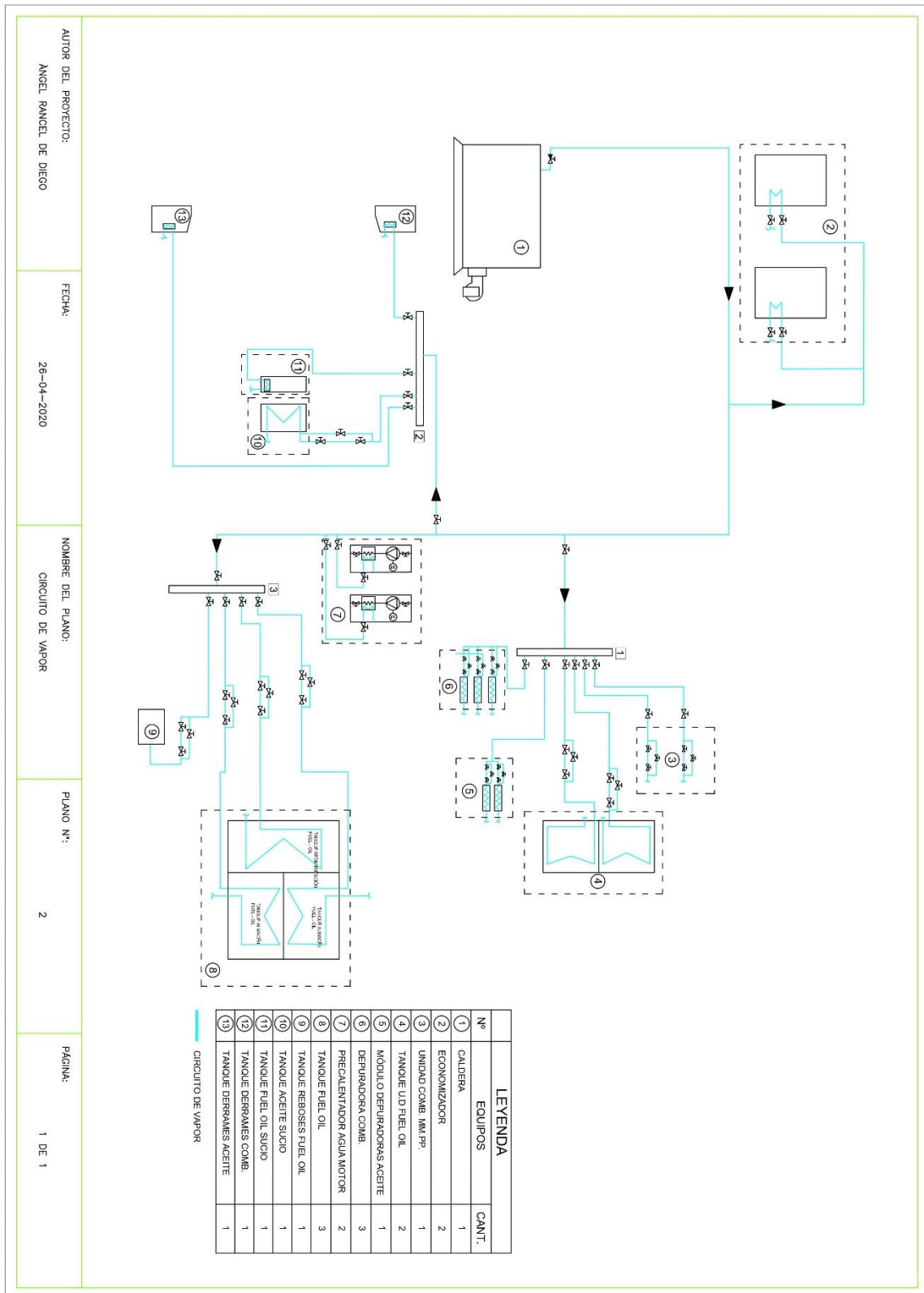
Fuente: Elaboración propia.



3: Plano 1.3

Fuente: Elaboración propia

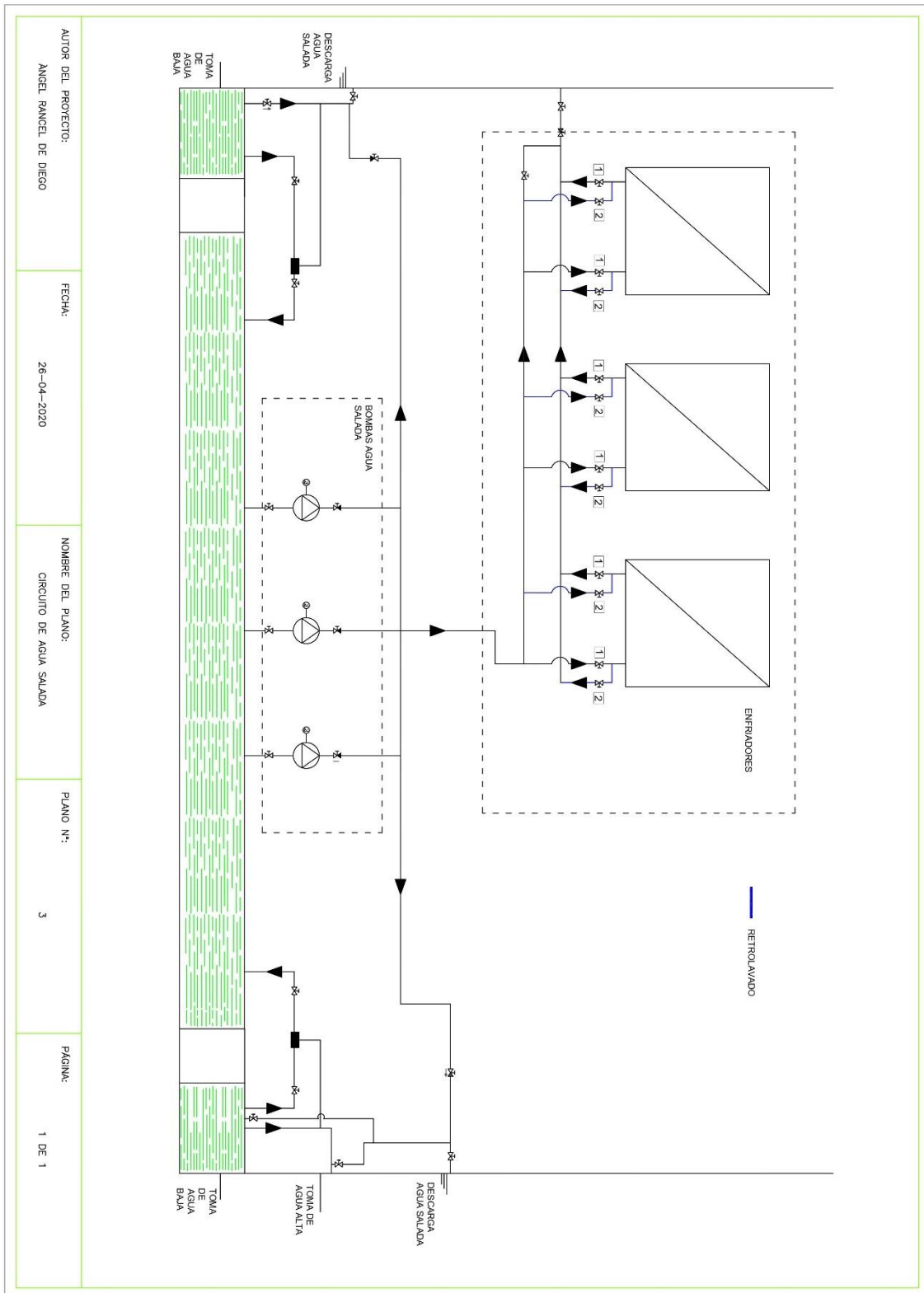
6.2.2 VAPOR



4: Plano 2.1

Fuente: Elaboración propia.

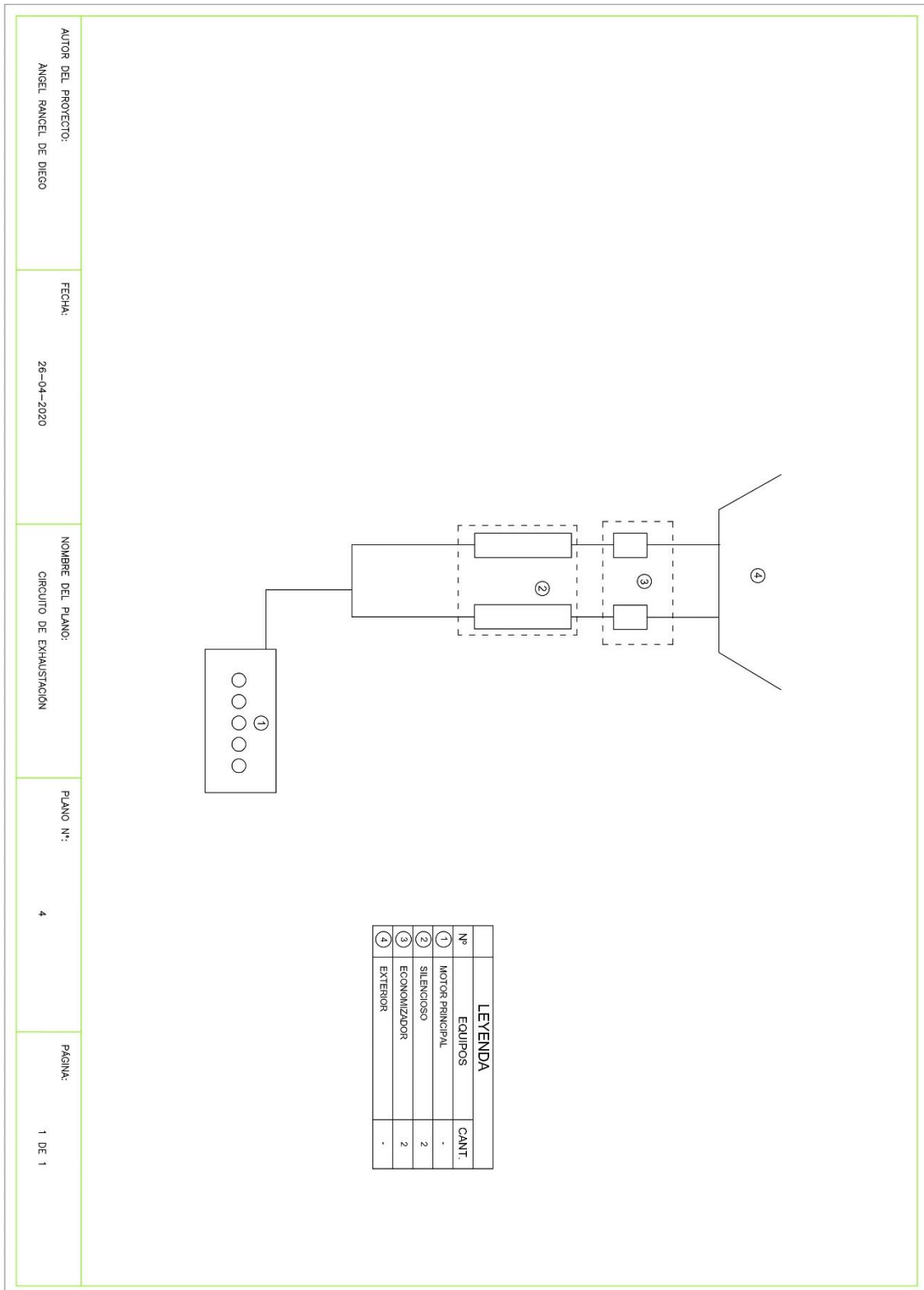
6.2.3 AGUA SALADA



5: Plano 3.1

Fuente: Elaboración propia.

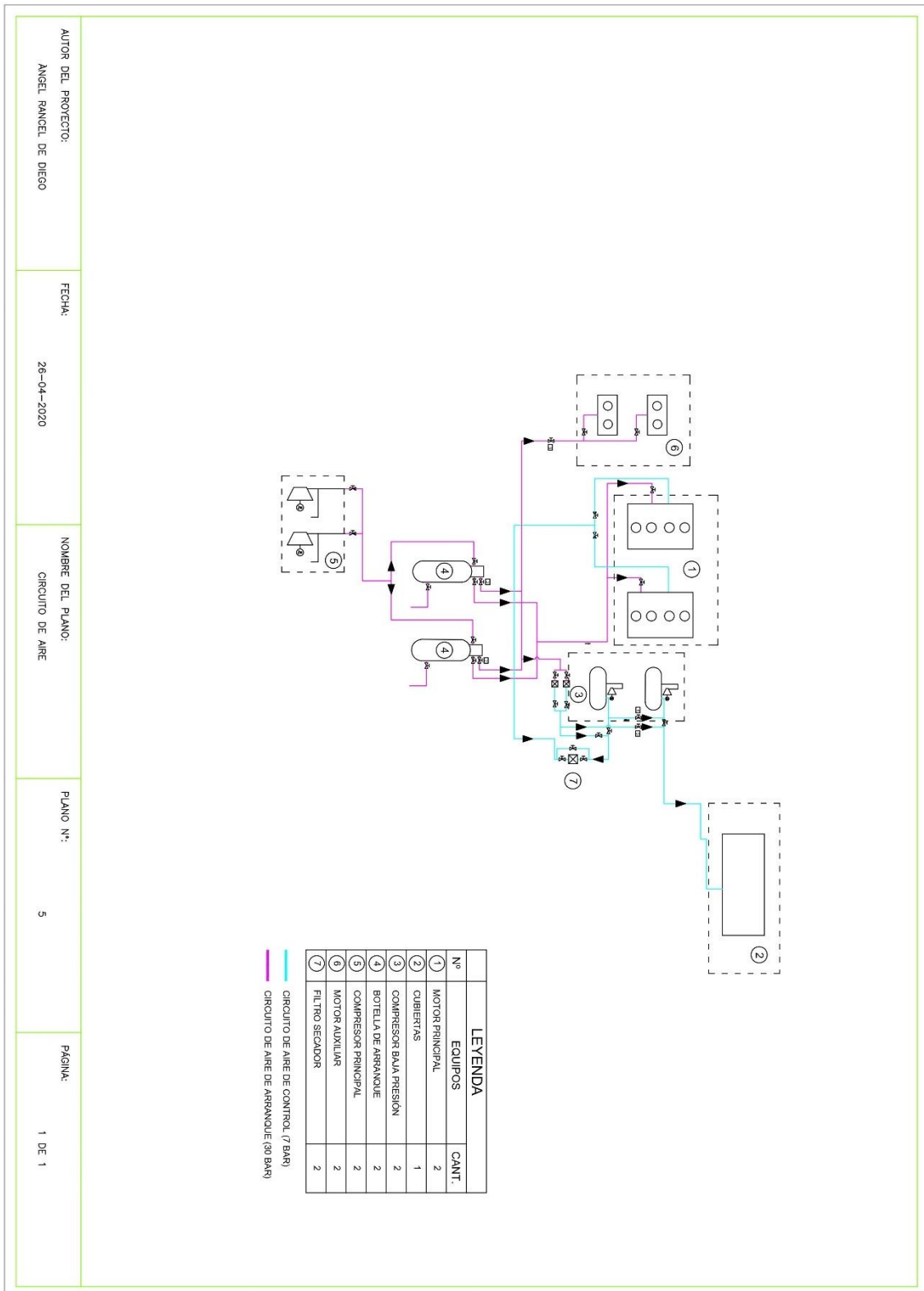
6.2.4 EXHAUSTACIÓN



6: Plano 4.1

Fuente: Elaboración propia.

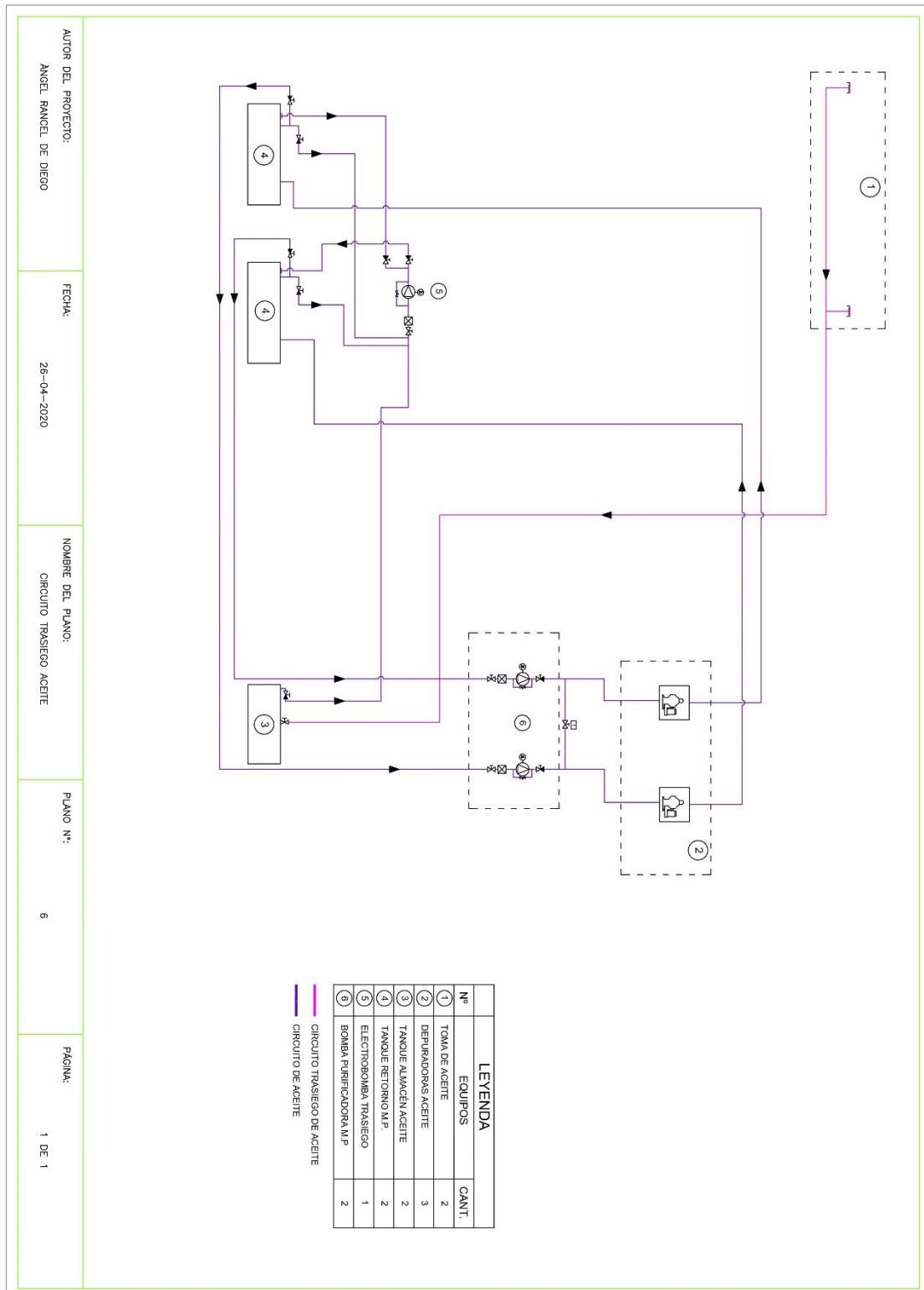
6.2.5 AIRE DE ARRANQUE



7: Plano 5.1

Fuente: Elaboración propia.

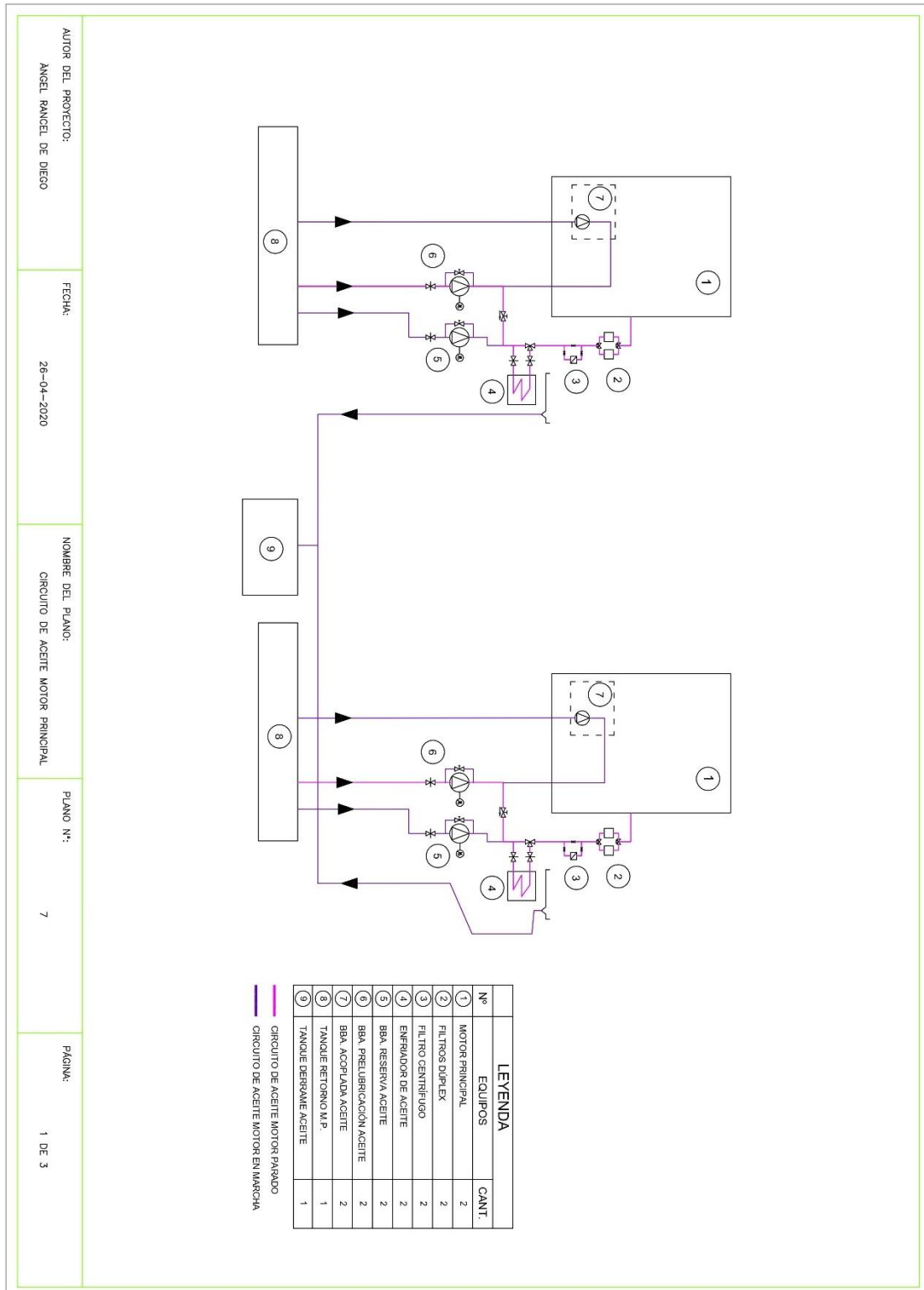
6.2.6 TRASIEGO DE LUBRICANTE



8: Plano 6.1

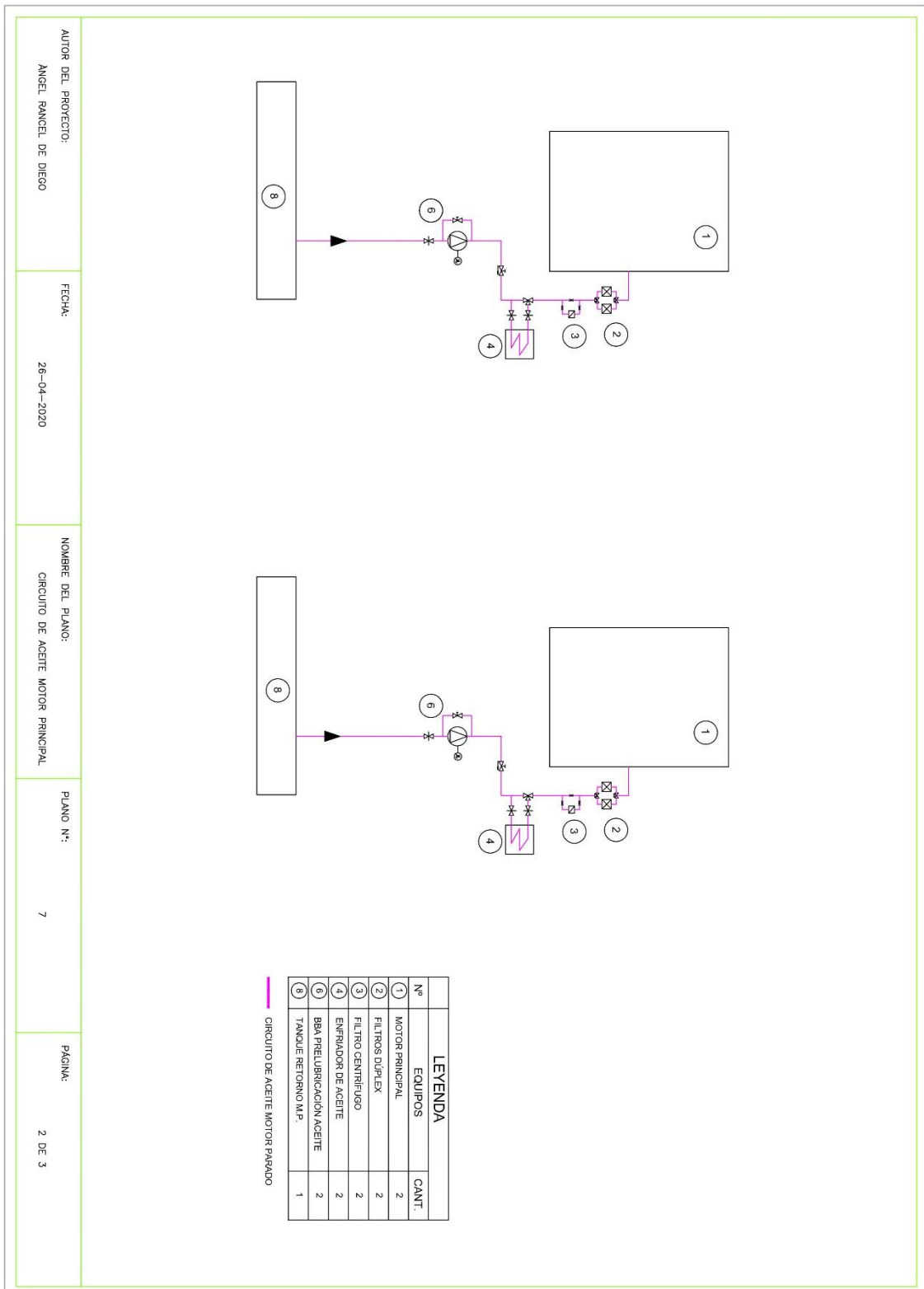
Fuente: Elaboración propia.

6.2.7 MOTOR PRINCIPAL LUBRICANTE



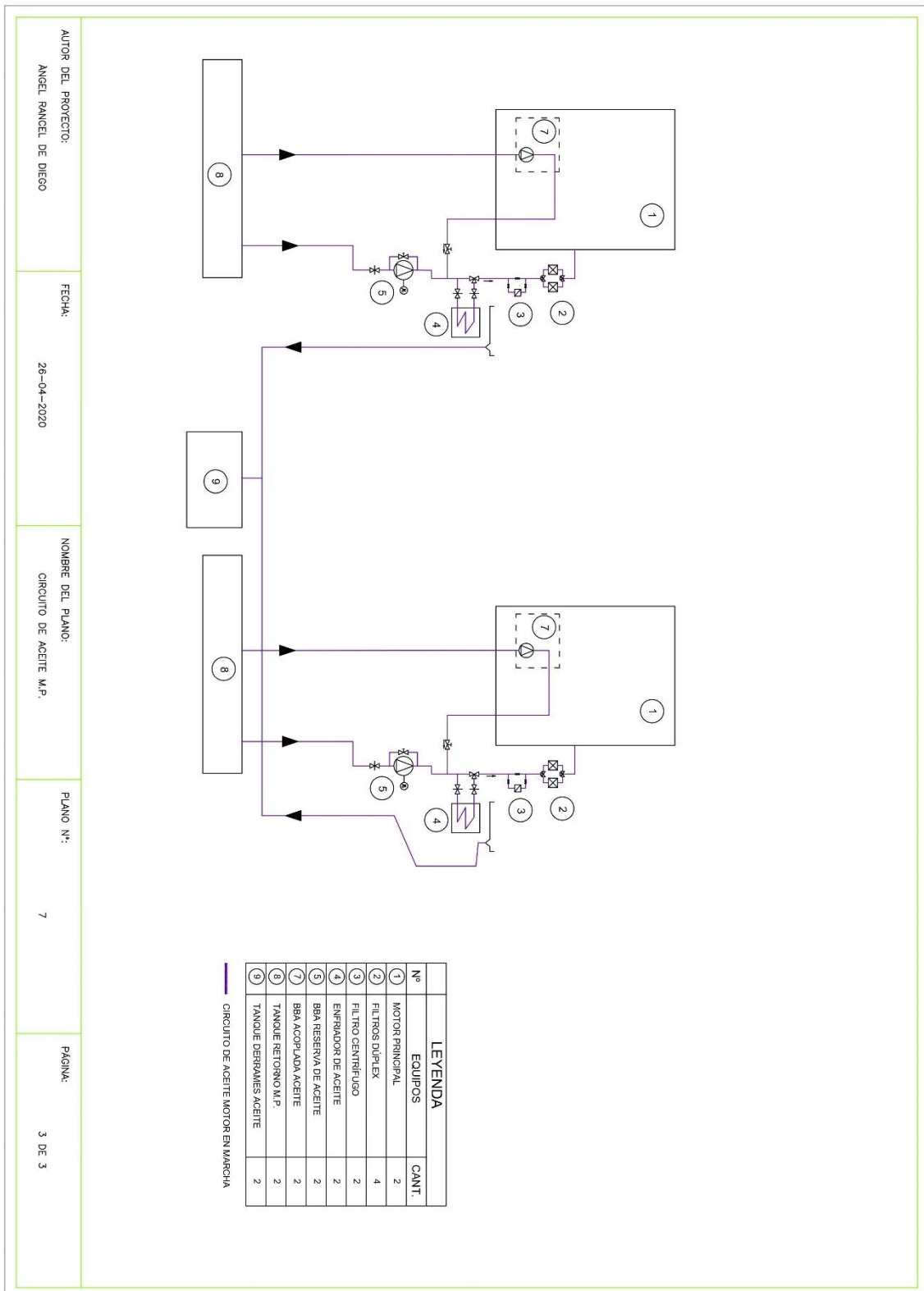
9: Plano 7.1

Fuente: Elaboración propia.



10: Plano 7.2

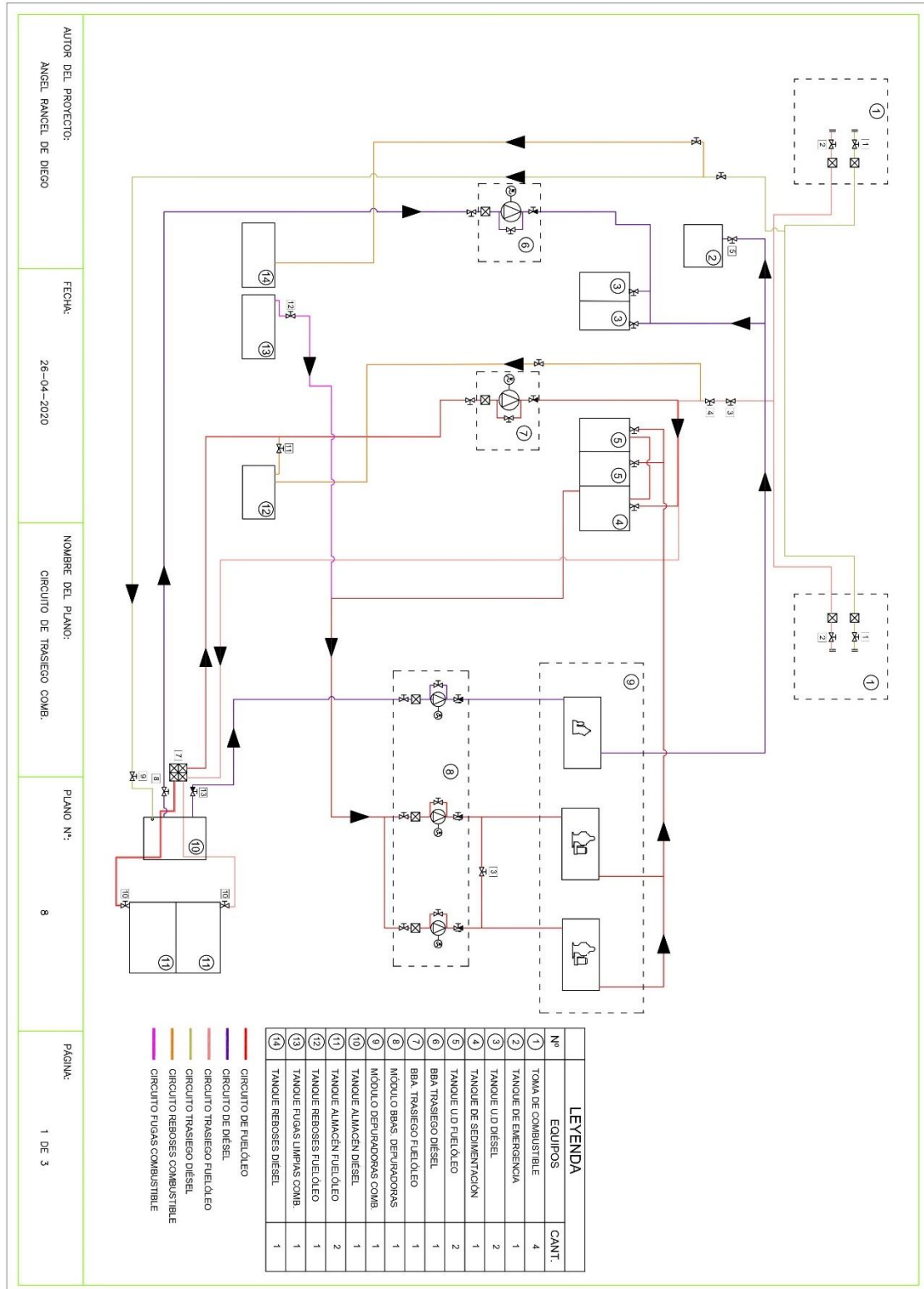
Fuente: Elaboración propia.



11: Plano 7.3

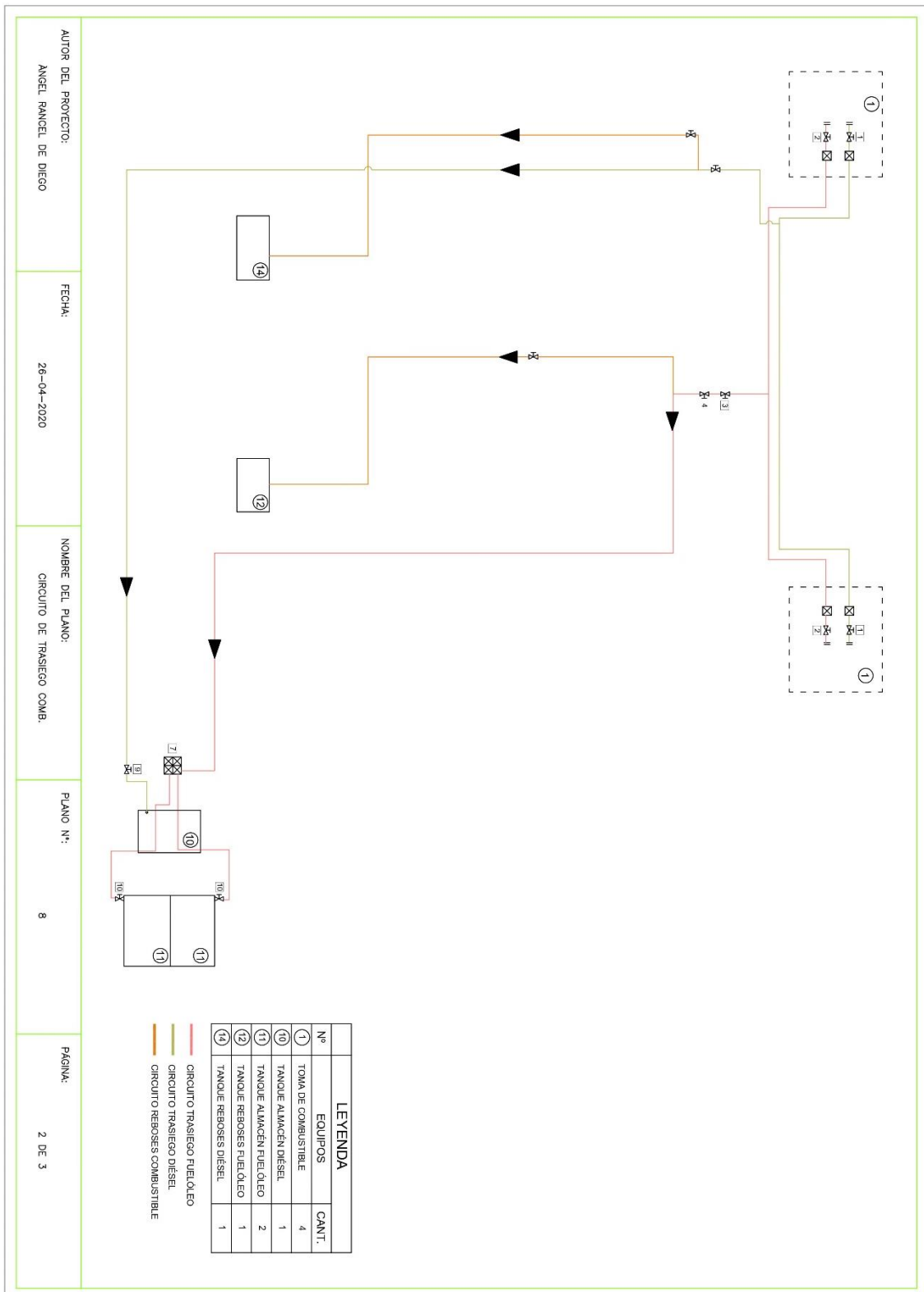
Fuente: Elaboración propia.

6.2.8 TRASIEGO COMBUSTIBLE



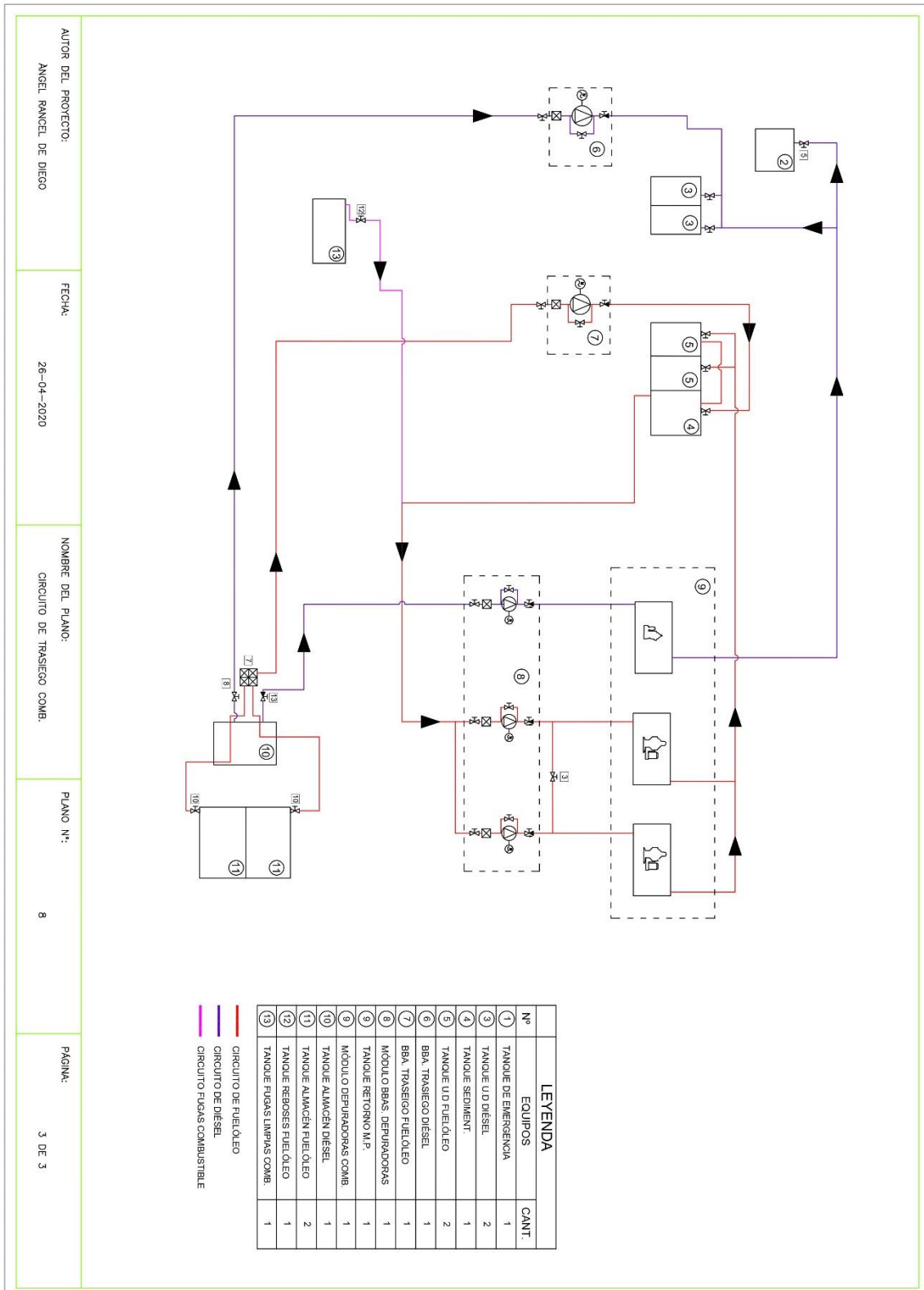
12: Plano 8.1

Fuente: Elaboración propia.



13: Plano 8.2

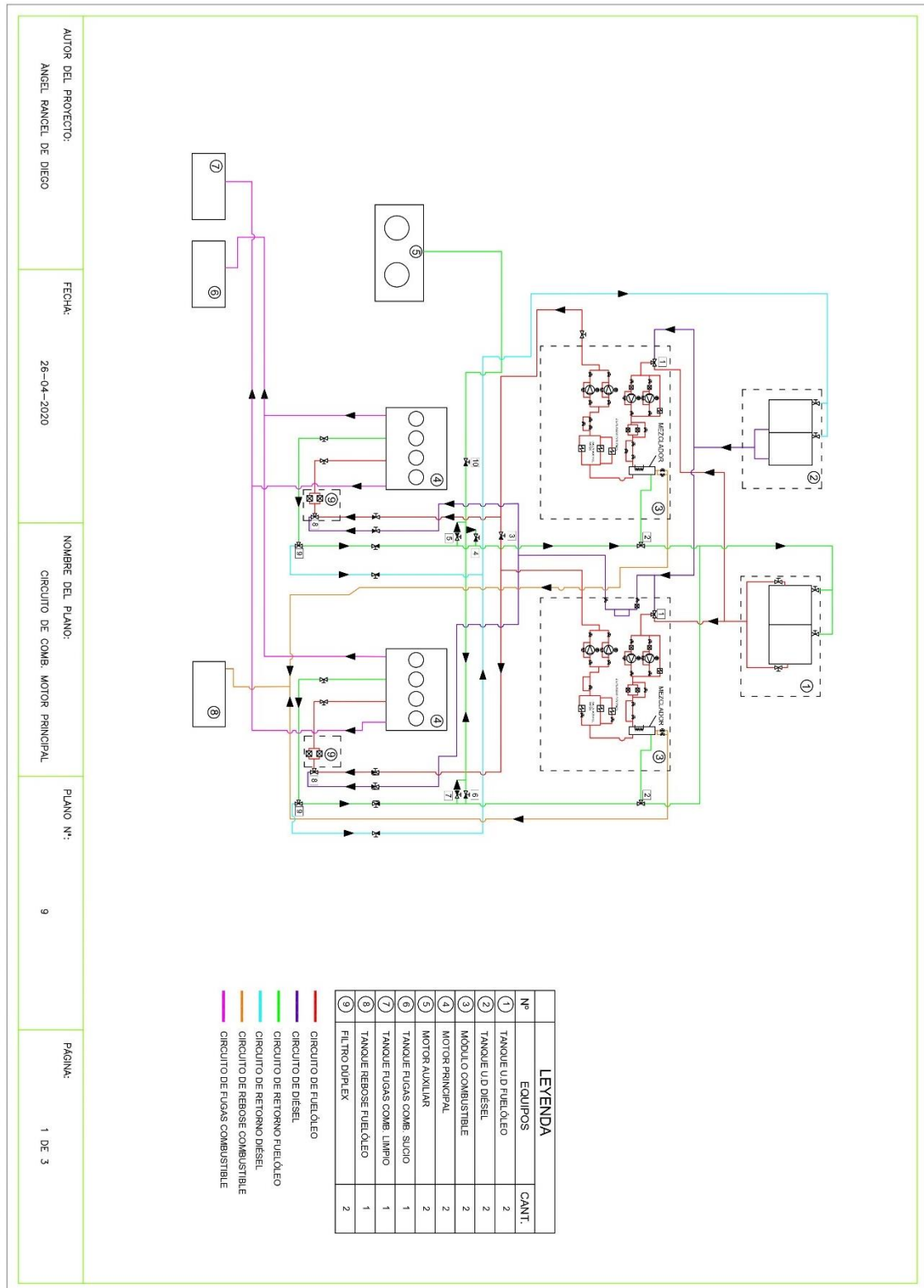
Fuente: Elaboración propia.



14: Plano 8.3

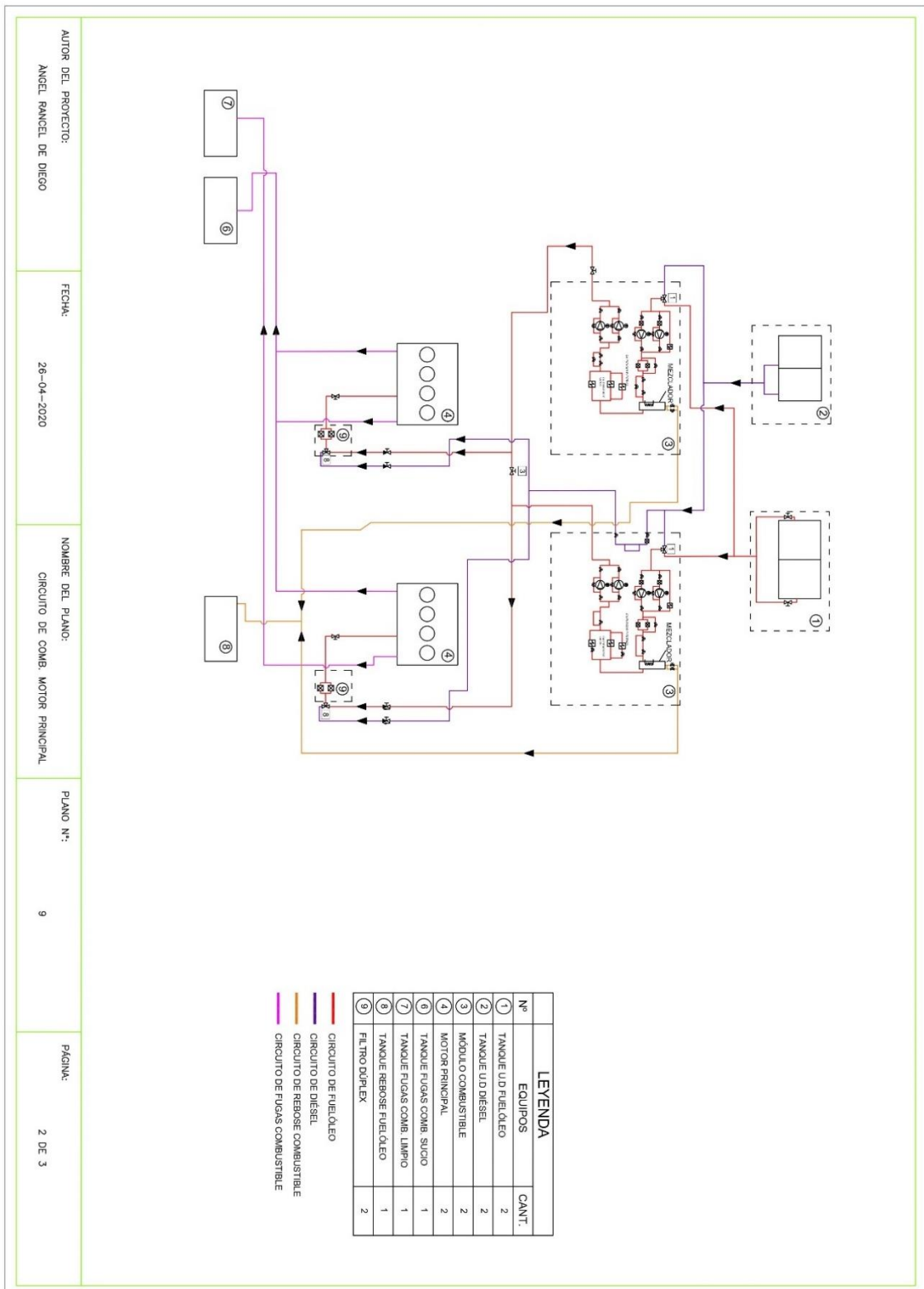
Fuente: Elaboración propia.

6.2.9 MOTOR PRINCIPAL COMBUSTIBLE



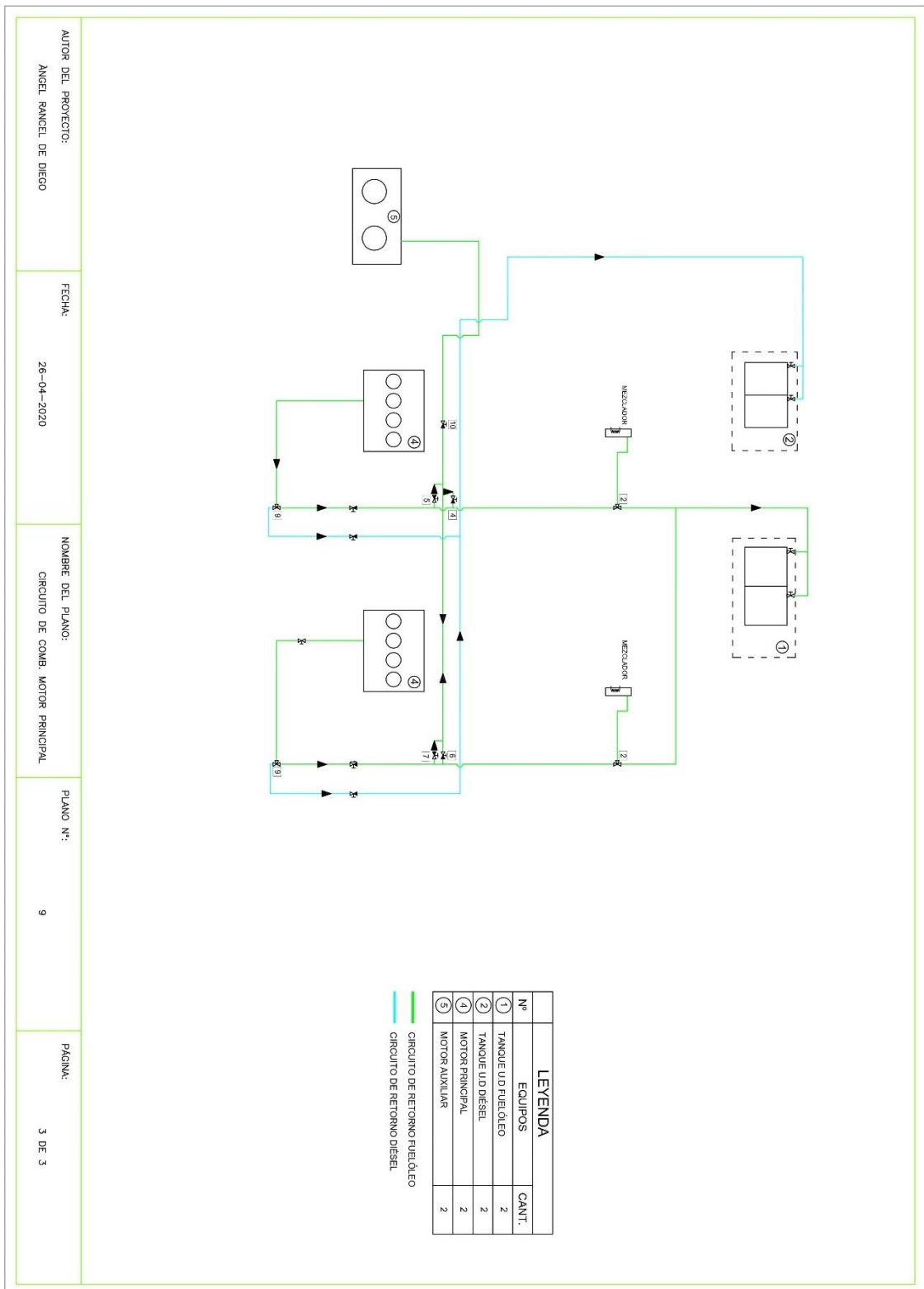
15: Plano 9.1

Fuente: Elaboración propia.



16: Plano 9.2

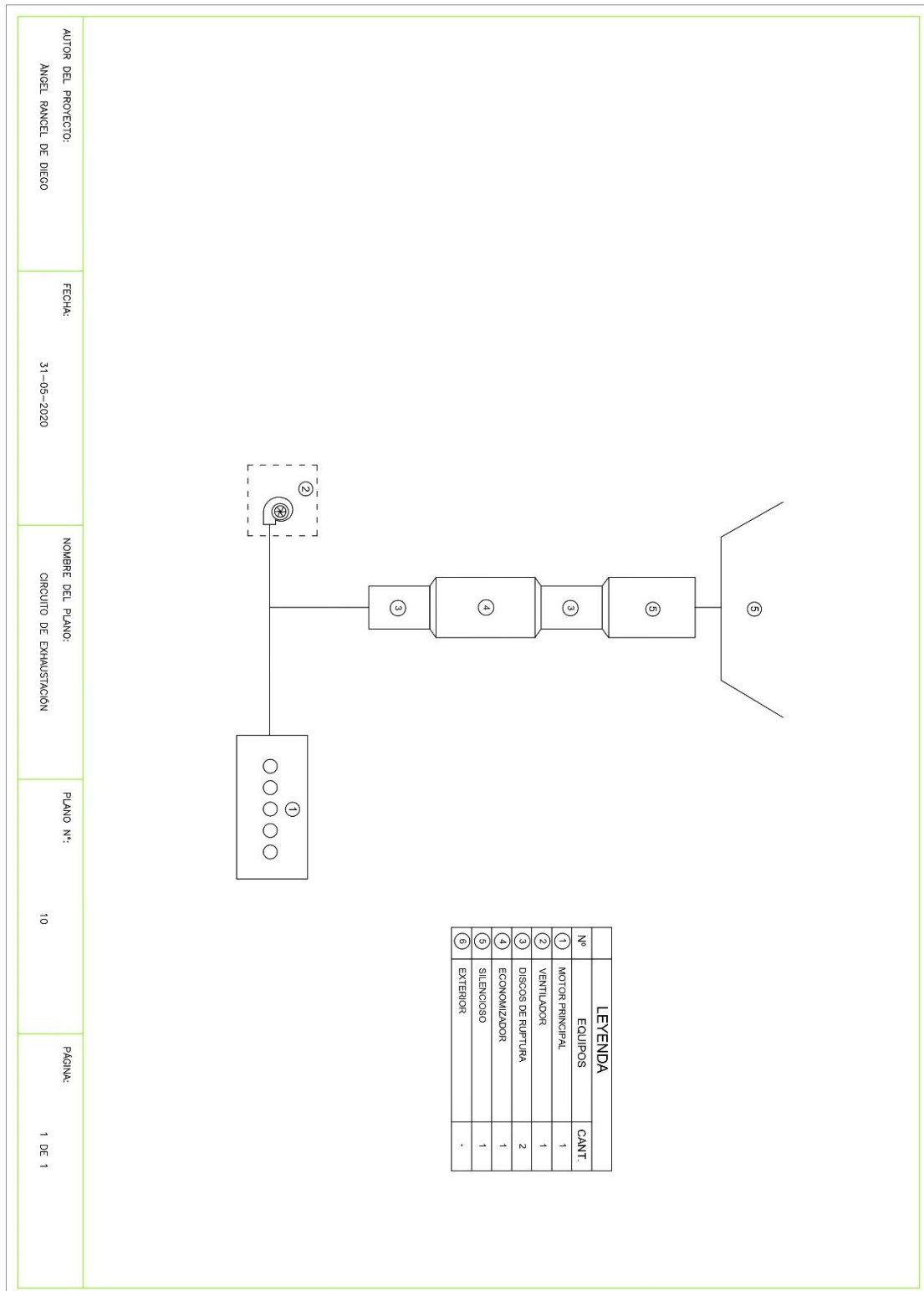
Fuente: Elaboración propia.



17: Plano 9.3

Fuente: Elaboración propia.

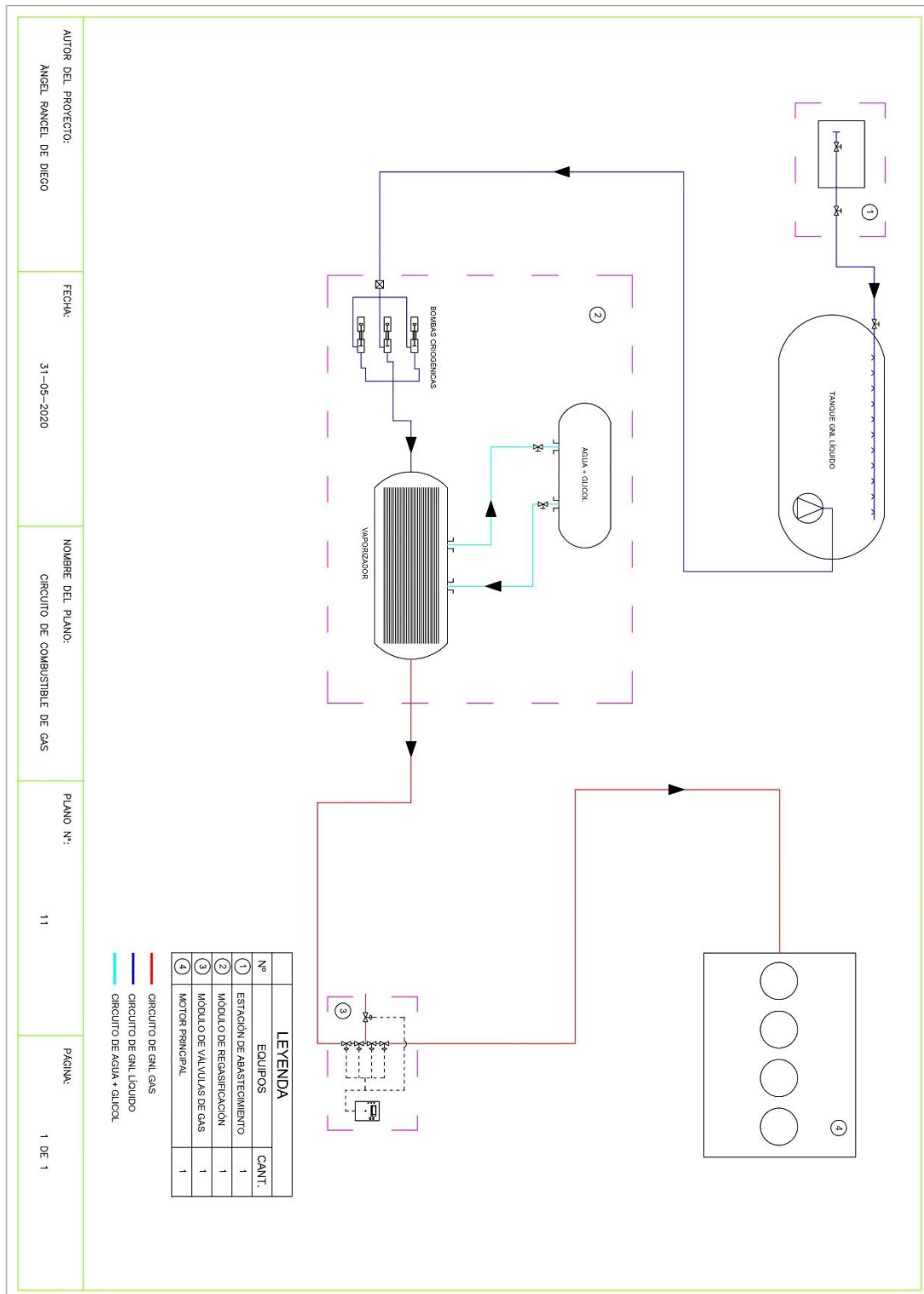
6.2.10 EXHAUSTACIÓN MODIFICADO



18: Plano 10.1

Fuente: Elaboración propia.

6.2.11 COMBUSTIBLE GAS



19: Plano 11.1
Fuente: Elaboración propia.

VII. BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA

VII. BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA

Dra Peña Fabiani, (2006/2007). *Electrónica de potencias*.

[1]

<https://mfabiani.webs.ull.es/EP-Nautica/EP-index.htm> (consultado enero 2020).

Universidad de La Laguna. *Logotipos*.

[2]

<https://mfabiani.webs.ull.es/EP-Nautica/EP-index.htm> (consultado enero 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo, (4 de mayo de 2019). *La remotorización del buque “Abel Matutes” finalizará en junio*.

[3]

<https://www.puentedemando.com/la-remotorizacion-del-buque-abel-matutes-finalizara-en-junio/> (consultado enero 2020).

Real Academia de Ingeniería. *Diccionario*.

[4]

<http://diccionario.raing.es/es> (consultado 2020)

El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, (11 de diciembre de 2018). *Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*.

[5]

<https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf> (consultado febrero 2020).

Mundo Marítimo, (04 de febrero de 2020). *Hapag – Lloyd abastece a buque de su flota con nuevo biocombustible*.

[6]

<https://www.mundomaritimo.cl/noticias/hapag-lloyd-abastece-a-buque-de-su-flota-con-nuevo-biocombustible> (consultado febrero 2020).

Silvio Sánchez Arango, (27 de julio de 2013). *Ventajas y desventajas de los biocombustibles.*

[7]

<https://ecosiglos.com/biocombustibles-entre-el-bien-y-el-mal/> (consultado febrero 2020).

Fluideco, (29 de noviembre de 2019) *¿Qué es el amoníaco, ¿cómo se obtiene y para qué se utiliza?*

[8]

<https://fluideco.com/amoniac-utilidades-usos/> (consultado febrero 2020).

José A. Roca (29 de junio de 2018). *Siemens prueba el amoníaco como forma de almacenamiento de energía para renovables.*

[9]

<https://elperiodicodelaenergia.com/siemens-prueba-el-amoniac-como-forma-de-almacenamiento-de-energia-para-renovables/> (consultado febrero 2020).

Spanishports, (3 de febrero de 2020). *Se multiplican los proyectos para usar el amoníaco como combustible marino sin emisiones.*

[10]

<http://www.spanishports.es/texto-diario/mostrar/1692297/multiplican-proyectos-usar-amoniac-como-combustible-marino-emisiones> (consultado febrero 2020).

Rene Aga, (2 de mayo de 2002). *El dimetil éter como nuevo combustible diésel limpio.*

[11]

https://www.researchgate.net/publication/293740948_El_dimetil_eter_DME_como_nuevo_combustible_limpio

MAN Diésel y Turbo. *Motor Dual Fuel – Desarrollado en la Manera Correcta.*

[12]

<https://powerplants.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider7/technical-papers/5510-0169-00ppr.pdf?sfvrsn=22> (consultado febrero de 2020).

Cadena de Suministro, (06 de abril de 2015). *El metanol como combustible marítimo de la mano de MAN Diésel y Turbo.*

[13]

<https://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-metanol-como-combustible-maritimo-de-la-mano-de-man-diesel-turbo/> (consultado febrero de 2020).

Gases Licuado del Petróleo. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

[14]

<https://energia.gob.es/glp/Paginas/Index.aspx> (consultado febrero 2020).

Craig Pirrong, (15 de enero de 2014). *Cincuenta años de la industria del gas natural licuado a nivel mundial.*

[15]

https://www.trafigura.com/media/1501/2014_trafigura_fifty_years_of_global_lng_spanish.pdf (consultado marzo de 2020).

Miriam Vázquez, (22 de enero de 2019). *Se cumplen 60 años del primer metanero del mundo.*

[16]

<http://elmercantil.com/2019/01/22/se-cumplen-60-anos-del-primer-metanero-del-mundo/> (consultado marzo de 2020).

CLNG, (julio de 2019). *Natural gas supply association world natural gas statistics.*

[17]

<https://lngfacts.org/wp-content/uploads/2019/07/2018-World-LNG-Importers-and-Exporters-by-Country.pdf> (consultado marzo de 2020).

Enagas. *Ficha de datos de seguridad.*

[18]

<https://www.ecosmep.com/cabecera/upload/fichas/4702.pdf> (consultado marzo 2020).

Gasnam. *¿Cuál es la diferencia entre el GNL y GNC, y que uso se le da a cada uno de ellos?*

[19]

<https://gasnam.es/cual-es-la-diferencia-entre-el-gnl-y-gnc-y-que-uso-se-le-da-cada-uno-de-ellos/> (consultado marzo 2020).

Registroscdt. *El gas natural licuado.*

[20]

http://registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/9222317231366707083documento_sobre_gas_natural_licuado.pdf (consultado marzo 2020).

Gasnam. *Bunkering GNL.*

[21]

<https://gasnam.es/maritimo/bunkering-gnl/> (consultado marzo 2020).

Gasnam, (16 de mayo de 2019). *Ya hay en Europa más de 200 estaciones operativas de GNL y 3 630 de GNC.*

[22]

<https://gasnam.es/ya-hay-en-europa-mas-de-200-estaciones-operativas-de-gnl-y-3630-de-gnc/> (consultado marzo 2020).

Heconomía, (04 de marzo de 2020). *El Puerto se consolida como referente en las operaciones de abastecimiento de GNL con 16 suministros en 2019.*

[23]

<http://www.heconomia.es/volatil.asp?o=-62841262> (consultado marzo 2020).

Gasnam, (13 de enero de 2020). *España se sitúa en 2019 como un referente en suministro de GNL como combustible a buques.*

[24]

<https://gasnam.es/espana-se-situa-en-2019-como-referente-en-suministro-de-gnl-a-buques/> (consultado marzo 2020).

Makeen, (6 de julio de 2017). *Movable, multiple truck to ship bunkering solution.*

[25]

<http://www.makeenenergy.com/home/news/movable-multiple-truck-to-ship-lng-bunkering-solution/> (consultado marzo 2020).

Anave. *UEEC encarga un tercer car carrier híbrido a GNL y baterías.*

[26]

<https://anave.es/prensa/ultimas-noticias/2234-uecc-encarga-un-tercer-car-carrier-hibrido-a-gnl-y-baterias> (consultado abril 2020).

Revista Ingeniería Naval. *Flotado el primer buque de exploración propulsado por GNL.*

[27]

<https://sectormaritimo.es/flotado-el-primer-buque-de-exploracion-propulsado-por-lng> (consultado abril 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo, (30 de diciembre de 2019). *MOL encarga los dos primeros ferries japoneses a gas natural.*

[28]

<https://www.puentedemando.com/mol-encarga-los-dos-primeros-ferries-japoneses-a-gas-natural/> (consultado abril 2020).

Travel Manager España, (29 de mayo de 2019). *Así es el primer crucero propulsado por GNL.*

[29]

<https://revistatravelmanager.com/crucero-gas/> (consultado marzo 2020).

RM Forwarding, (10 de febrero de 2019). *Hapag Lloyd convertirá buque de 15 000 teus a GNL.*

[30]

<http://rm-forwarding.com/2019/02/10/hapag-lloyd-convertira-buque-gnl/> (consultado marzo 2020).

OMI. *Preguntas frecuentes el límite mundial de contenido de azufre de 2020.*

[31]

<http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ.pdf> (consultado abril 2020).

Óxidos de azufre. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

[32]

<http://www.prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html> (consultado abril 2020).

OMI. *Convenio internacional para la seguridad de la vida en el mar, 1974 (Convenio SOLAS).*

[33]

[http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (consultado abril 2020).

OMI. *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL).*

[34]

[http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) (consultado abril 2020).

Boletín Oficial del Estado, (15 de octubre de 2016). *Otras disposiciones.* Ministerio de Fomento.

[35]

<https://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/10/BOE-A-2016-9510.pdf> (consultado abril 2020).

OMI. *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)*.

[36]

<http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/ChemicalPollution/Paginas/IGCCCode.aspx> (consultado abril 2020).

MSC, (11 de junio de 2015). *Código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación*.

[37]

<https://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/10/MSC.39195.pdf> (consultado abril 2020).

IACS. *Classification societies what, why and how?*

[38]

<http://www.iacs.org.uk/media/3785/iacs-class-what-why-how.pdf> (consultado abril 2020).

IACS, (junio de 2016). *Rec 142 LNG Bunkering Guidelines*.

[39]

<http://www.iacs.org.uk/search-result?query=LNG> (consultado abril 2020).

Dirección General de la Marina Mercante.

[40]

(consultado abril 2020).

Gasnam. *Reglamentación*.

[41]

<https://gasnam.es/maritimo/reglamentacion/> (consultado abril 2020)

Lloyd’s Register. *Rules and Regulations*.

[42]

<https://www.lr.org/en/rules-regulations/#> (consultado abril 2020).

Organización Internacional de Estandarización. *ISO/FDIS 23306 Specification of liquefied natural gas as a fuel for marine applications.*

[43]

<https://www.iso.org/standard/75199.html> (consultado abril de 2020).

ClassNK. *Rules and Guidance LNG fuel.*

[44]

https://www.classnk.or.jp/account/en/Rules_Guidance/ (consultado abril 2020).

Baleària. *Grupo Baleària.*

[45]

<https://www.balearia.com/es/grupo-balearia> (consultado abril 2020)

El vigía, (30 de julio de 2018). *Baleària invertirá 60 millones de euros en remotorizar a gas natural cinco de sus buques.*

[46]

<http://elvigia.com/balearia-invertira-60-millones-de-euros-en-remotorizar-a-gas-natural-cinco-de-sus-buques/> (consultado mayo 2020).

Puerto Canarias, (20 de noviembre de 2018). *Se inician los trabajos de remotorización a GNL del ferry Nápoles de Baleària.*

[47]

<https://puertocanarias.com/es/node/1019> (consultado mayo 2020.).

VesselFinder. *Información.*

[48]

<https://www.vesselfinder.com/es/vessels/NAPOLLES-IMO-9243423-MMSI-209106000>

(consultado mayo 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo, (1 de septiembre de 2018). *La remotorización del buque Nápoles se hará en Gibraltar.*

[49]

<https://www.puentedemando.com/la-remotorizacion-del-buque-napoles-se-hara-en-gibraltar/> (consultado mayo 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo, (4 de julio de 2019). *El ferry Abel Matutes retorna al servicio con motores duales.*

[50]

<https://www.puentedemando.com/el-ferry-abel-matutes-retorna-al-servicio-con-motores-duales/> (consultado mayo 2020).

VesselFinder. *Información.*

[51]

<https://www.vesselfinder.com/es/vessels/ABEL-MATUTES-IMO-9441130-MMSI-224402000> (consultado mayo 2020).

Portel, (13 de mayo de 2019). *El ferry Abel Matutes de Baleària ya cuenta con los tanques de GNL.*

[52]

<https://www.portel.es/es/blog/el-ferry-abel-matutes-de-balearia-ya-cuenta-con-los-tanques-de-gnl> (consultado mayo 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo, (1 de octubre de 2019). *Comienza la remotorización a gas del ferry Bahama Mama.*

[53]

<https://www.puentedemando.com/comienza-la-remotorizacion-a-gas-del-ferry-bahama-mama/> (consultado mayo 2020).

VesselFinder. *Información.*

[54]

<https://www.vesselfinder.com/es/vessels/BAHAMA-MAMA-IMO-9441142-MMSI-248218000> (consultado mayo 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo (02 de marzo de 2020). *El ferry Sicilia será remotorizado a gas en Portugal.*

[55]

<https://www.puentedemando.com/el-ferry-sicilia-sera-remotorizado-a-gas-en-portugal/> (consultado mayo 2020).

VesselFinder. *Información.*

[56]

<https://www.vesselfinder.com/es/vessels/SICILIA-IMO-9261542-MMSI-209115000>

(consultado mayo 2020).

Cadena de suministro, (07 de febrero de 2019). *El ferry Martín i Soler de Baleària cumple una década navegando.*

[57]

<https://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-ferry-martin-i-soler-de-balearia-cumple-una-decada-navegando/> (consultado mayo 2020).

Juan Carlos Díaz Lorenzo, (29 de junio de 2019). *Armón comienza la construcción del catamarán de Baleària.*

[58]

<https://www.puentedemando.com/armon-comienza-la-construccion-del-catamaran-de-balearia/> (consultado mayo 2020).

Samuel Bonilla Reyes (junio de 2016). *Explicación – etapas para la remotorización de un MCI en una planta de propulsión genérica.*

[59]

<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/2526?show=full> (consultado mayo 2020).

Generalitat de Catalunya. Comisión interdepartamental del cambio Climático, (marzo de 2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).*

[60]

<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

(consultado mayo 2020).

Wärtsilä. Manual de motor 12V46 y manual de motor 12V46DF.

[61]

<https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-46df>

