

Operativa de arranque de la planta de propulsión de un buque Ro-Pax desde la condición de buque frío

Trabajo Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Cataluña

Trabajo realizado por:

Víctor Miguel Aranda Jara

Dirigido por:

Clara Borén Altés

Grado en Tecnologías Marinas

Barcelona, Julio 2022

Departamento de Ciencias e Ingeniería Náuticas

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es desarrollar de manera práctica la secuencia de arranque de la planta de propulsión de un buque Ro-Pax desde la condición de buque frío hasta la condición de navegación todo avante. Esta operación se llevará a cabo con el simulador de cámara de máquinas de la Facultad de Náutica de Barcelona Wärtsilä Transas ENGINE ROOM SIMULATOR TechSim 5000.

Todas las operaciones que aparecerán en este trabajo se basan en el simulador de la FNB, por consiguiente, la forma de proceder puede que difiera ligeramente con respecto a la operativa real de arranque de la maquinaria de un buque Ro-Pax.

ABSTRACT

The objective of this project is to develop in a practical way the starting sequence of the propulsion plant of a Ro-Pax ship from the cold ship condition to the full ahead navigation condition. This operation will be carried out by means of the engine room simulator of the Facultad de Náutica de Barcelona Wärtsilä Transas ENGINE ROOM SIMULATOR TechSim 5000.

All the operations that will appear in this work are based on the FNB simulator, therefore, the way of proceeding may differ slightly with respect to the real operation of starting the machinery of a Ro-Pax ship.

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este espacio para dar las gracias a todas las personas que me han apoyado y asistido para dar forma a este trabajo. Me gustaría agradecer ante todo a la señorita Clara Borén Altés, mi profesora y tutora de este trabajo, por sus acertados comentarios, cruciales observaciones, sugerencias oportunas y sabias que indudablemente mejoraron la elaboración de este trabajo.

También estoy muy agradecido con los docentes de la Facultad Náutica de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña, UPC) por educarme y transmitirme los conocimientos necesarios para ser un profesional en lo que tanto me apasiona y por su sabiduría y dedicación durante mis años universitarios.

Con mucha satisfacción puedo decir que realizar este trabajo, a pesar de las dificultades encontradas durante su ejecución, ha sido una experiencia muy interesante, enriquecedora y positiva para mí.

Por último, me gustaría agradecer a mis familiares y amigos que han estado presentes no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi persona.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
TABLA DE ABREVIACIONES	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTADO DEL ARTE	3
2.1 RO-PAX.....	3
2.2 SIMULADORES HOMOLOGADOS	4
3. SISTEMAS PRINCIPALES DE LA PLANTA DE PROPULSIÓN DEL BUQUE DE ESTUDIO	7
3.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	8
3.1.1 Descripción del sistema de refrigeración	9
3.2 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AGUA DE MAR	10
3.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ALTA Y BAJA TEMPERATURA DE AGUA DULCE DEL MOTOR PRINCIPAL	11
3.3.1 Intercambiador de calor.....	13
3.3.2 Tanque de expansión	13
3.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ALTA Y BAJA TEMPERATURA DE AGUA DULCE DEL DIÉSEL GENERADOR	14
3.5 SISTEMA DE COMBUSTIBLE.....	16
3.5.1 Descripción del sistema de combustible	17
3.6 SISTEMA DE SERVICIO DE HFO Y MDO.....	18
3.6.1 Combustibles	20
3.7 SISTEMA DE TRASIEGO Y TRATAMIENTO DE HFO	21
3.8 SISTEMA DE TRASIEGO Y TRATAMIENTO DE MDO	22
3.8.1 Tanque de almacenamiento	23
3.8.2 Tanque de sedimentación.....	24
3.8.3 Tanque de servicio diario	24
3.8.4 Tanque de reboses	25
3.8.5 Tanque de lodos.....	25
3.8.6 Bombas de trasiego.....	25
3.9 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	26
3.9.1 Descripción del sistema lubricación.....	28
3.9.2 Sistema de lubricación del motor principal	29
3.9.2.1 Aceite lubricante	30
3.9.2.2 Tanque de almacenamiento de aceite	31
3.9.2.3 Tanque de recolección de aceite.....	31
3.9.2.4 Tanque de servicio de aceite.....	31
3.9.2.5 Bomba de trasiego de aceite lubricante	31
3.9.2.6 Filtro automático de aceite	31
3.9.2.7 Purificadora de aceite lubricante	32
3.10 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	33
3.10.1 Descripción del sistema de aire comprimido	34
3.10.2 Compresor de aire	35
3.10.3 Compresor de aire de cubierta	36
3.10.4 Compresor de aire de emergencia	36
3.10.5 Depósito de aire.....	36
3.11 VENTILACIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS.....	37
3.11.1 Descripción del sistema de ventilación.....	38
4. SISTEMAS AUXILIARES.....	39
4.1 SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO.....	40
4.1.1 Descripción del sistema de aceite térmico.....	41
5. PLANTA ELÉCTRICA	42
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA	43
5.2 COMPONENTES DE LA PLANTA ELÉCTRICA.....	44
5.2.1 Grupo diésel generador.....	44
5.2.2 Generador de emergencia	46
5.2.3 Generador de cola	47
5.2.4 Cuadro de distribución principal.....	49
5.2.5 Cuadro de distribución de emergencia.....	50
5.2.6 Grupo de baterías.....	51
5.2.7 Sincronoscopio	52

5.3 SISTEMA ELÉCTRICO DE EMERGENCIA.....	53
5.3.1 Descripción del sistema eléctrico de emergencia.....	54
5.4 SISTEMA ELÉCTRICO PRINCIPAL.....	55
5.4.1 Descripción del sistema eléctrico principal.....	55
6. OPERATIVA DE ARRANQUE DE LA MAQUINARIA DEL BUQUE DE ESTUDIO.....	56
6.1 PREPARACIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA.....	56
6.2 PREPARACIÓN Y ARRANQUE DE LA PLANTA PROPULSORA.....	66
6.3 PREPARACIÓN Y ARRANQUE DEL SISTEMA DE ACEITE TÉRMICO.....	84
7. CONCLUSIONES.....	88
8. BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Buque Ro-Pax – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	3
Figura 2: Sala de máquinas en 3D – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	6
Figura 3: Sistema de refrigeración – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	9
Figura 4: Sistema de refrigeración por agua de mar – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	10
Figura 5: Sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	11
Figura 6: Bombas de agua dulce de baja temperatura y bombas de agua salada – Fuente: Buque real	12
Figura 7: Intercambiador de calor – Fuente: Word press. Intercambiadores de calor	13
Figura 8: Sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce del diésel generador – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	14
Figura 9: Sistema de generación de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	15
Figura 10: Generador de agua dulce – Fuente: Buque real	15
Figura 11: Vista general del módulo de combustible – Fuente: Buque real	17
Figura 12: Sistema de servicio de combustible – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	18
Figura 13: Bomba BOOSTER – Fuente: Buque real	19
Figura 14: Bomba FEEDER – Fuente: Buque real	19
Figura 15: Sistema de trasiego y tratamiento de HFO – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	21
Figura 16: Sistema de trasiego y tratamiento de MDO – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	22
Figura 17: Motor principal de babor – Fuente: Buque real	27
Figura 18: Vista general del motor principal de babor y estribor – Fuente: Buque real	27
Figura 19: Sistema de lubricación – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	28
Figura 20: Sistema de lubricación del motor principal PORT – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	29
Figura 21: Sistema de lubricación del motor principal STBD – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	30
Figura 22: Dos unidades de filtros automáticos de aceite – Fuente: Buque real	31
Figura 23: Sala de purificadoras – Fuente: Buque real	32
Figura 24: Sistema de aire comprimido – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	34
Figura 25: Compresor de Aire – Fuente: Buque real	35
Figura 26: Sistema de ventilación – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	38
Figura 27: Sistema de aceite térmico – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	41
Figura 28: Esquema eléctrico de la Planta eléctrica del Ro-Pax – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	43
Figura 29: Tres unidades de diésel generadores – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	45
Figura 30: Esquema completo de un generador de cola colocado en el eje de propulsión principal – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	47
Figura 31: Generador de cola – Fuente: Buque real	48
Figura 32: Cuadro del generador de cola – Fuente: Buque real	48
Figura 33: Cuadro de distribución de emergencia – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	50
Figura 34: Panel de carga y descarga del grupo de baterías – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	51
Figura 35: Panel del sincronoscopio – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	52
Figura 36: Sistema eléctrico principal – Fuente: Web Marine Machinery, Engines & Controls	55
Figura 37: Procedimiento de preparación del diésel generador 3 – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	57
Figura 38: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	57
Figura 39: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	58
Figura 40: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	59
Figura 41: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	59
Figura 42: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	61
Figura 43: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	61
Figura 44: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	62
Figura 45: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	62
Figura 46: Procedimiento de arranque del diésel generador 1 – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	63
Figura 47: Proceso de sincronización (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	65
Figura 48: Proceso de sincronización (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	65
Figura 49: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	69
Figura 50: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	69
Figura 51: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	69
Figura 52: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	70
Figura 53: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (5) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	70
Figura 54: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (6) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	71
Figura 55: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (7) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	71
Figura 56: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (8) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	72
Figura 57: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (9) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	72
Figura 58: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (10) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	73
Figura 59: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (11) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	73
Figura 60: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (12) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	73
Figura 61: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (13) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	74
Figura 62: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (14) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	74
Figura 63: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (15) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	75
Figura 64: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (16) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	75
Figura 65: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (17) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	76
Figura 66: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (18) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	76
Figura 67: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (19) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	77
Figura 68: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (20) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	77

Figura 69: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (21) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	78
Figura 70: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (22) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	78
Figura 71: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (23) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	79
Figura 72: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (24) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	79
Figura 73: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	81
Figura 74: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	81
Figura 75: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	82
Figura 76: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	82
Figura 77: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (5) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	83
Figura 78: Procedimiento de preparación del sistema de aceite térmico – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	85
Figura 79: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	85
Figura 80: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	86
Figura 81: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	86
Figura 82: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del buque Ro-Pax – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	1
Tabla 2: Capacidad de las bombas del sistema de refrigeración por agua de mar – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	10
Tabla 3: Capacidad de las bombas del sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	12
Tabla 4: Capacidad de las bombas del sistema de generación de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	15
Tabla 5: Capacidad de las bombas del sistema de servicio de HFO y MDO – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	18
Tabla 6: Capacidad de las bombas y de la purificadora del sistema de lubricación – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	28
Tabla 7: Parámetros de los generadores – Fuente: Manual Wärtsilä Transas	43

TABLA DE ABREVIACIONES

ACB	Air Circuit Breaker
E/G (EG)	Emergency Generator
ECR	Engine Control Room
ESB	Emergency Switch Board
G/E (GE)	Generator Engine
GBX	Gear Box
H.F.O. (HFO)	Heavy Fuel Oil
H.T. (HT)	High Temperature
L.S. (LS)	Low Sulfur
LOP	Local Operating Panel
M.D.O. (MDO)	Marine Diesel Oil
M/E (ME)	Main Engine
MCD	Main Circuit Diagram
MSB (MSBD, MSWB)	Main Switch Board
PID	Proportional Integral Derivative
S.W. (SW)	Sea Water
S/G (SG)	Steering Gear / Shaft Generator
TOH	Thermal Oil Heater
TK	Tank
CMS	Control and Monitoring System
BCC	Bridge Control Console
EmG	Emergency Generator room
MER1	Main Engine Room 1
MER2	Main Engine Room 2
AER	Auxiliary Engines Room
SYS	Mimics of the ship's systems
MCR	Maximum Continuous Rating
PC	Compression Pressure
CBT	Computer Based Training

1. Introducción

Actualmente, el transporte marítimo es el sector más importante en el transporte mundial de mercancías. Eso se debe al hecho de que el transporte marítimo aglutina más del 80% del comercio internacional de mercancías que conectan a Occidente con las nuevas economías asiáticas (Sudeste Asiático, China, Corea, países del Golfo Pérsico, India, entre otras).

También hay que tener en cuenta que el transporte marítimo es el medio de transporte más eficiente desde el punto de vista energético.

Es decir, si tenemos en cuenta la cantidad de carga transportada y las emisiones generadas por cada tonelada transportada por kilómetro recorrido, obtenemos unos resultados que demuestran que el transporte marítimo es el medio de transporte más eficiente energéticamente si lo comparamos con el transporte por carretera, el transporte aéreo e incluso con el transporte con ferrocarril.

Los buques Ro-Pax, es decir, los buques que transportan cargamento rodado (vehículos industriales, camiones o automóviles) y más de 12 pasajeros, suelen navegar distancias cortas, de isla a isla. En España se suelen utilizar para conectar la península con las islas Baleares, las Canarias y con Ceuta y Melilla.

La empresa Wärtsilä TRANSAS ha desarrollado el simulador ERS TechSim 5000 para mejorar la formación de la gente de mar. El objetivo de este simulador es ayudar a los estudiantes de máquinas durante el aprendizaje de su profesión, así como proporcionar conocimientos sobre la construcción de diferentes tipos de buques y sus funciones, ayudándoles de esta manera a comprender mejor la operativa del barco la cual no puede ser cubierta solo de manera teórica.

El simulador proporciona una copia detallada de los sistemas del buque, simula los compartimentos de la sala de máquinas y la maquinaria del buque, lo cual permite que los estudiantes aprendan los diferentes aspectos del barco sin tener que salir del aula, y les permite también realizar diversas operaciones rutinarias en el buque mediante lecciones prácticas.

Todo ello mejora la formación que reciben los alumnos ya que les permite familiarizarse con los equipos y sistemas esenciales, aparatos auxiliares y mecanismos y las unidades del buque. A continuación, se expondrá de manera breve las características generales del buque Ro-Pax de estudio:

Potencia máx continua	4.000 kw a 750 RPM
Eslora total	125 m
Manga de trazado	23,4 m
Calado	5,3 m
Peso muerto	3000 t
Velocidad de servicio	18,8 nudos al 90% MCR

Tabla 1: Características del buque Ro-Pax – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

Este trabajo tendrá diferentes apartados, en cada uno de ellos constará, al principio, una breve introducción sobre el sistema al que hacen referencia, donde se explicará sus necesidades y su cometido a bordo, seguido de una descripción de los componentes presentes en dicho sistema. Por último, se describirán los procedimientos a seguir para su puesta en marcha.

Durante la elaboración de este trabajo se ha considerado imprescindible poner fotos reales de los diferentes equipos de abordaje para mejorar la comprensión que tiene el alumno sobre dichos equipos. Pero debido a ciertas circunstancias se ha pedido no explicitar el nombre del buque.

Los motores principales (ME) del ferry Ro-Pax son dos motores gemelos MAN B&W Marine 8L 32/40 DE con los cilindros en línea, de velocidad media, ciclo de cuatro tiempos, actuación simple, no reversible y de inyección directa. Esto quiere decir que a bordo del barco tendremos 2 motores principales idénticos, uno para la línea de ejes de estribor y otro para babor.

2. Estado del arte

2.1 Ro-Pax

Un buque Ro-Ro es un tipo de buque que transporta cargamento rodado (vehículos industriales, camiones o automóviles) y no necesita hacer uso de grúas para cargar y descargar ya que los vehículos pueden acceder al barco por sus propios medios. Un buque Ro-Pax es similar a un buque Ro-Ro, solo que además de todo lo anterior también puede llevar pasajeros, por eso, es conocido comúnmente como ferry.

Los buques Ro-Pax se suelen utilizar para cubrir distancias pequeñas, de una isla a otra isla. En España se suelen utilizar para conectar la península con el norte de Marruecos, las islas Baleares y las islas Canarias.

La mayoría de los alumnos de máquinas de la Facultad Náutica de Barcelona se embarcan en buques Ro-Ro para realizar sus prácticas; esta es la razón principal por la que se ha escogido este tipo de buque para la realización de este trabajo. De esta manera, los alumnos se pueden familiarizar con la estructura del barco y su maquinaria, así cuando llegue el momento de embarcar en un buque parecido estarán familiarizados con la operativa de la maquinaria a bordo.

Actualmente, se construyen barcos cada vez más eficientes y respetuosos con el medioambiente y los buques Ro-Pax y Ro- Ro no se han quedado atrás. Los últimos modelos de estos tipos de barco botados por astilleros chinos han marcado un hito en cuanto a reducción de emisiones contaminantes y en cuanto a ahorro energético; ganándose así los términos ultra-ecológicos y eco-sostenibles.



Figura 1: Buque Ro-Pax – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

2.2 Simuladores homologados

Los simuladores empleados para la formación de los alumnos deberán de cumplir unas series de normas y requisitos, los cuales son impuestos por el Convenio STCW (La Convención Internacional en Estándares de Formación, Certificación y Vigilancia para la gente de mar).

A continuación, se mostrará un extracto del convenio STCW, correspondiente a *Las enmiendas de Manila de 2010 al Código de Formación, Titulación y Guardia de la Gente de Mar, Parte A, capítulo I, Sección AI/12*.

Estándares generales de desempeño para simuladores usados en formación

Cada parte se asegurará de que cualquier simulador utilizado para el entrenamiento obligatorio deberá:

1. ser adecuado para los objetivos seleccionados y las tareas de formación.
2. ser capaz de simular las capacidades operativas del equipo de a bordo sea cual sea, con un nivel de realismo físico adecuado a los objetivos de formación, e incluir las capacidades, limitaciones y posibles errores de dicho equipo.
3. tener suficiente realismo de comportamiento para permitir que un alumno adquiriera las habilidades apropiadas para los objetivos de la formación.
4. proporcionar un entorno operativo controlado, capaz de producir una variedad de condiciones, que pueden incluir situaciones de emergencia, peligrosas o inusuales relacionadas con los objetivos de la formación.
5. proporcionar una interfaz a través de la cual un alumno pueda interactuar con el equipo, el entorno simulado y, según corresponda, el instructor.
6. permitir que un instructor controle, supervise y registre los ejercicios para informar eficazmente a los alumnos.

Estándares generales de rendimiento para simuladores utilizados en la evaluación de la competencia

Cada parte se asegurará de que todo simulador utilizado para la evaluación de la competencia exigida en virtud del Convenio o para cualquier demostración de pericia continua así requerida deberá:

1. ser capaz de satisfacer los objetivos de evaluación especificados.
2. ser capaz de simular las capacidades operacionales del equipo de a bordo de que se trate hasta un nivel de realismo físico adecuado a los objetivos de la evaluación, e incluir las capacidades, limitaciones y posibles errores de dicho equipo.
3. tener suficiente realismo de comportamiento para permitir que un candidato muestre las habilidades apropiadas para los objetivos de la evaluación.
4. proporcionar una interfaz a través de la cual un candidato pueda interactuar con el equipo y el entorno simulado.
5. proporcionar un entorno operativo controlado, capaz de producir una variedad de condiciones, que pueden incluir situaciones de emergencia, peligrosas o inusuales relacionadas con los objetivos de la evaluación.
6. permitir que un evaluador controle, supervise y registre ejercicios para la evaluación eficaz de la actuación de los candidatos.

El simulador Wärtsilä Transas ERS TechSim 5000 está diseñado para cumplir con los requisitos del Código STCW. El alcance de los objetivos de formación se corresponde a las especificaciones de competencia estándar para el personal del departamento de máquinas que aparece en el Capítulo III del Código STCW, Cursos modelo de la OMI 2.07, 7.02, 7.04.

Este software es una versión ligera con diseños de sistema genéricos, lo que facilita al alumno la familiarización con los sistemas de la sala de máquinas y la planta de energía eléctrica. También brinda experiencia práctica en vigilancia, resolución de problemas y administración de recursos lo cual mejora la formación que reciben los alumnos siendo así más exhaustiva y completa. Esta versión es ideal para escuelas y universidades marítimas.

Los parámetros y las características de los mecanismos y sistemas simulados se corresponden a la vida real, ya que el simulador modela todos los procesos físicos principales (térmicos, mecánicos, hidrodinámicos y eléctricos) en su interacción.

En resumen, la finalidad del simulador es capacitar al personal de guardia de la sala de máquinas con las habilidades necesarias para operar la planta de propulsión y la planta de energía eléctrica de manera correcta.

Las principales ventajas de esta versión del simulador son:

- Sistemas de Control, Monitoreo y Alarma basados en PC.
- Material didáctico y CBT (Computer Based Training) para autoaprendizaje con instrucciones en formato visual y de audio.
- La visualización 3D del espacio de la maquinaria permite a los alumnos moverse a un equipo determinado y operarlo.
- Monitoreo de operación usando parámetros variables.



Figura 2: Sala de máquinas en 3D – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

3. Sistemas principales de la planta de propulsión del buque de estudio

Todos los buques disponen de los sistemas, equipos e instrumentos necesarios para llevar a cabo la misión para la cual han sido diseñados. Además, con la ayuda de dichos dispositivos se puede garantizar el correcto funcionamiento y rendimiento de la maquinaria.

En el buque Ro-Pax están presentes dos tipos de sistemas: los sistemas principales y los sistemas auxiliares. La función del primero es asistir al motor principal y a los motores auxiliares, mediante inyección de combustible, agua para refrigerar, aire comprimido y aceite para lubricar.

La función del segundo es mejorar la estabilidad del buque y evitar escorar, facilitar el cumplimiento de la normativa del MARPOL, satisfacer las necesidades primarias de los pasajeros y de la tripulación, así como modernizar el mantenimiento y la operativa del barco. En definitiva, mejorar la comodidad y el confort a bordo del buque.

Algunos sistemas del buque Ro-Pax funcionan de manera independiente pero hay otros que dependen de un sistema externo para funcionar correctamente, por ejemplo, el sistema de combustible de HFO y el sistema de lubricación dependen del sistema de aceite térmico para conseguir una viscosidad adecuada.

A continuación, se describirá brevemente el funcionamiento de los sistemas principales de la planta propulsora del buque de estudio, así como los componentes a partir de los cuales están formados. Dichos sistemas son imprescindibles para asegurar un buen arranque y funcionamiento de la planta propulsora desde la condición de buque frío.

3.1 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración consiste en hacer circular de forma continua un fluido para absorber el calor del motor y así mantener todos sus componentes dentro del rango de temperaturas de diseño del motor.

Durante el ciclo de trabajo de un motor de combustión interna en su interior se llevan a cabo procesos que pueden llegar a alcanzar temperaturas muy elevadas. Por ejemplo, durante el proceso de compresión de una mezcla combustible y aire (motor Otto) o sólo de aire (motor diésel) la temperatura en el cilindro aumenta debido a que el pistón va comprimiendo de forma gradual la sustancia que tiene en el interior del cilindro. Después, con una chispa (bujía) o sin ella (el aire al comprimirse ha alcanzado temperaturas de hasta 800 grados centígrados) se consigue una combustión, previa inyección del combustible.

La combustión es un proceso químico que genera energía en forma de calor y luz, dicho calor comporta un aumento de la temperatura en el interior del cilindro.

El pistón y el cilindro de un motor deben estar hechos de un material fuerte y resistente ya que a lo largo de su vida útil estarán sometidos a elevadas presiones y temperaturas debido al proceso de combustión.

En la cámara de combustión se alcanzan temperaturas comprendidas entre 1700 y 2500 °C, pero el material (acero, aluminio o aleaciones) del que estarán hecho ciertas partes del motor (cilindro, pistón, culata o las válvulas) tendrán una temperatura de fusión más baja que el rango de temperaturas anterior. Esas partes del motor absorberán parte del calor liberado en la combustión por eso estas partes deberán estar refrigeradas ya que, si no lo están, producirán deformaciones o daños en el motor y, por lo tanto, un mal funcionamiento o pérdidas de eficiencia.

A los sistemas de refrigeración se les exige dos cosas:

La primera es que deben extraer entre el 25% y el 30 % del calor que se genera en la cámara de combustión para que el motor tenga una temperatura adecuada para su buen funcionamiento.

Y la segunda es que deben adaptar/regular la velocidad de refrigeración, es decir, al arrancar el motor se deberá refrigerar de forma lenta y al alcanzar temperaturas elevadas se deberá aumentar la velocidad de refrigeración.

Los elementos de la planta propulsora del barco que necesitan ser refrigerados son: el motor principal y el motor de emergencia.

3.1.1 Descripción del sistema de refrigeración

El sistema de agua de refrigeración del Ro-Pax consta de varios subsistemas, los más importantes son: sistema de refrigeración por agua de mar y de servicios, sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce del motor principal, módulo de refrigeración de baja temperatura de agua dulce de los inyectores y sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce de los diésel generadores.

La bomba de precalentamiento HT se encarga, tal como indica su nombre, de realizar el precalentamiento del motor principal. Tal como se puede observar en la Figura 3, después de la bomba de precalentamiento HT hay un calentador que calienta el agua para precalentar el motor mediante aceite térmico.

A continuación, se define de forma breve los cuatro subsistemas anteriores y sus componentes ya que estos subsistemas son imprescindibles para llevar a cabo la operativa de arranque del motor principal.

Se definirá también el sistema de generación de agua dulce ya que juega un papel muy importante durante la campaña marítima.

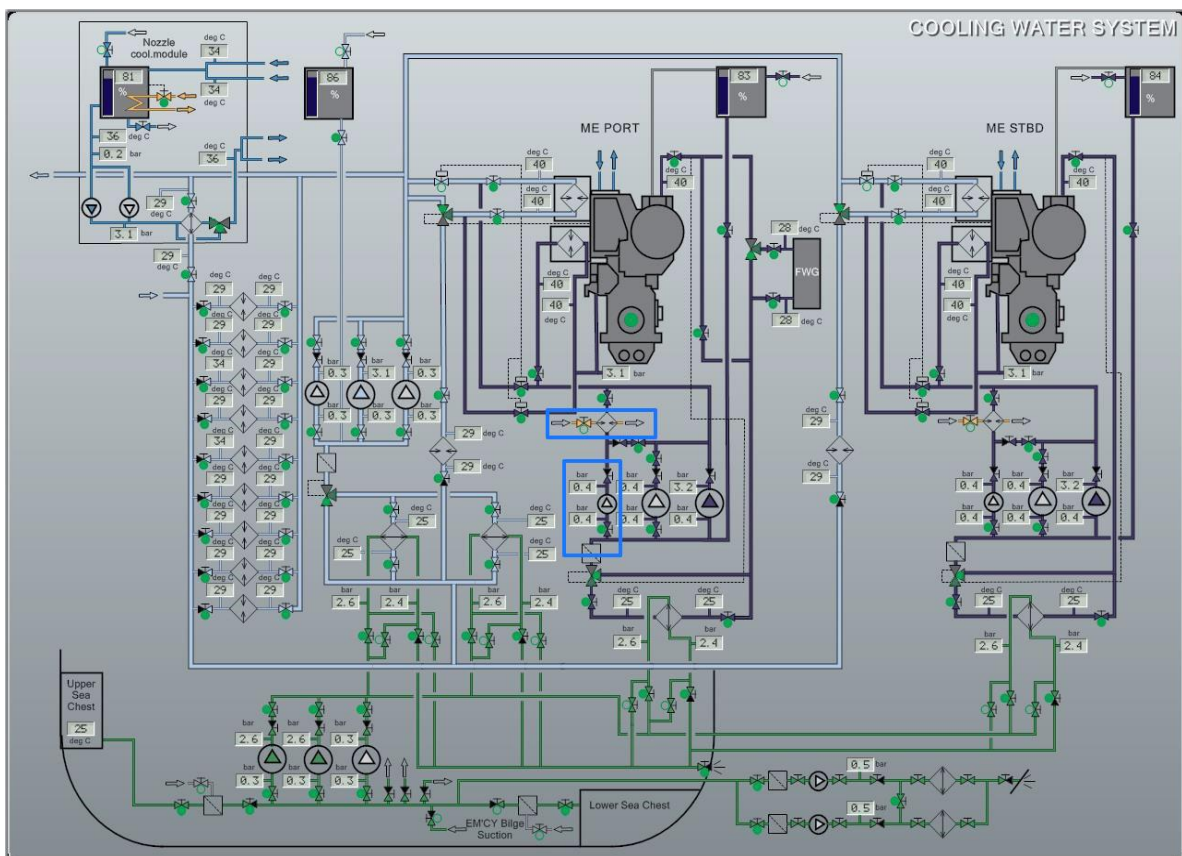


Figura 3: Sistema de refrigeración – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

3.2 Sistema de refrigeración por agua de mar

El sistema de refrigeración por agua de mar funciona de la siguiente manera: el motor se refrigera con agua dulce, dicha agua dulce absorbe el calor del motor. Luego el agua dulce se enfría con la ayuda de un intercambiador de calor de agua salada para volver a circular por el circuito de refrigeración, en otras palabras, el agua de mar se usa para absorber el calor del agua dulce.

El agua de mar presenta unos parámetros químicos (dureza, PH, cloruros y sulfatos) que no son adecuados para la refrigeración ya que nos provocarían efectos negativos en los diferentes equipos y sistemas del barco, tales como erosión y corrosión. Por esta razón se emplea agua dulce en lugar de agua de mar.

Como se puede observar en la Figura 4, este sistema consta de 3 bombas de agua de mar, dos están en funcionamiento y la tercera se encuentra en stand-by. Con la ayuda de las bombas hacemos circular el agua de mar por las tuberías hasta el intercambiador de calor, en donde se usará el agua de mar para enfriar el agua dulce que a su vez enfriará el motor principal, entre otros equipos. Las tres bombas tienen una capacidad de succión de 10 l/s.

La capacidad de las bombas del sistema es el siguiente:

Bomba de refrigeración de SW 1	75 m ³ /h x 2.3 bar
Bomba de refrigeración de SW 2	75 m ³ /h x 2.3 bar
Bomba de refrigeración de SW 3	75 m ³ /h x 2.3 bar

Tabla 2: Capacidad de las bombas del sistema de refrigeración por agua de mar – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

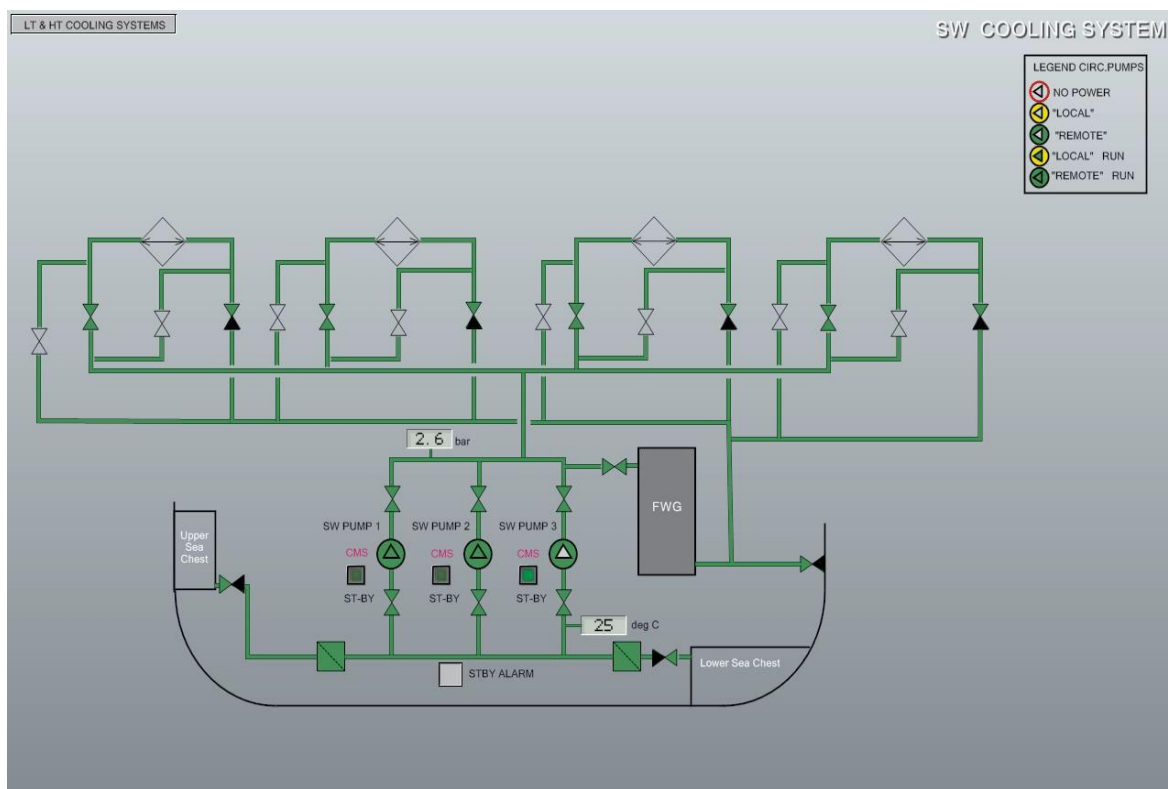


Figura 4: Sistema de refrigeración por agua de mar – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

3.3 Sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce del motor principal

Las líneas LT están coloreadas en azul claro y las líneas HT están coloreadas en azul oscuro.

El agua de refrigeración de alta temperatura trabajará en un rango comprendido entre 75- 95 °C y a baja temperatura trabajará en un rango comprendido entre 35-55 °C.

El sistema de refrigeración de alta temperatura de agua dulce tiene como función principal refrigerar las culatas y los cilindros del motor principal de la línea de ejes de estribor y de la línea de ejes de babor; gracias a esta labor los motores funcionan de manera correcta.

El sistema de refrigeración de baja temperatura de agua dulce tiene como función principal refrigerar el aceite lubricante, el sistema de refrigeración a alta temperatura de agua dulce, los diésel generadores, el motor auxiliar, los equipos auxiliares y los inyectores de combustible.

El módulo de refrigeración de inyectores de combustible se utiliza para proporcionar un flujo continuo de agua de refrigeración a los inyectores para así enfriarlos. Es muy importante que las toberas estén refrigeradas ya que de esta manera se puede reducir su desgaste.

Este sistema consta de 2 bombas que trabajan alternativamente, una en funcionamiento y la otra en stand- by. Esta última se pondrá en marcha en caso de que falle la que está en activo. La bomba activa permite que el agua circule a través de las tuberías, dicha agua es enviada a las diversas unidades de intercambiadores de calor, dónde una parte del calor es absorbido.

La bomba HARBOUR LT CW se usa cuando el barco está atracado en un puerto ya que consume menos energía y también, porque al hacer uso de esta bomba se deja descansar a las dos bombas principales.

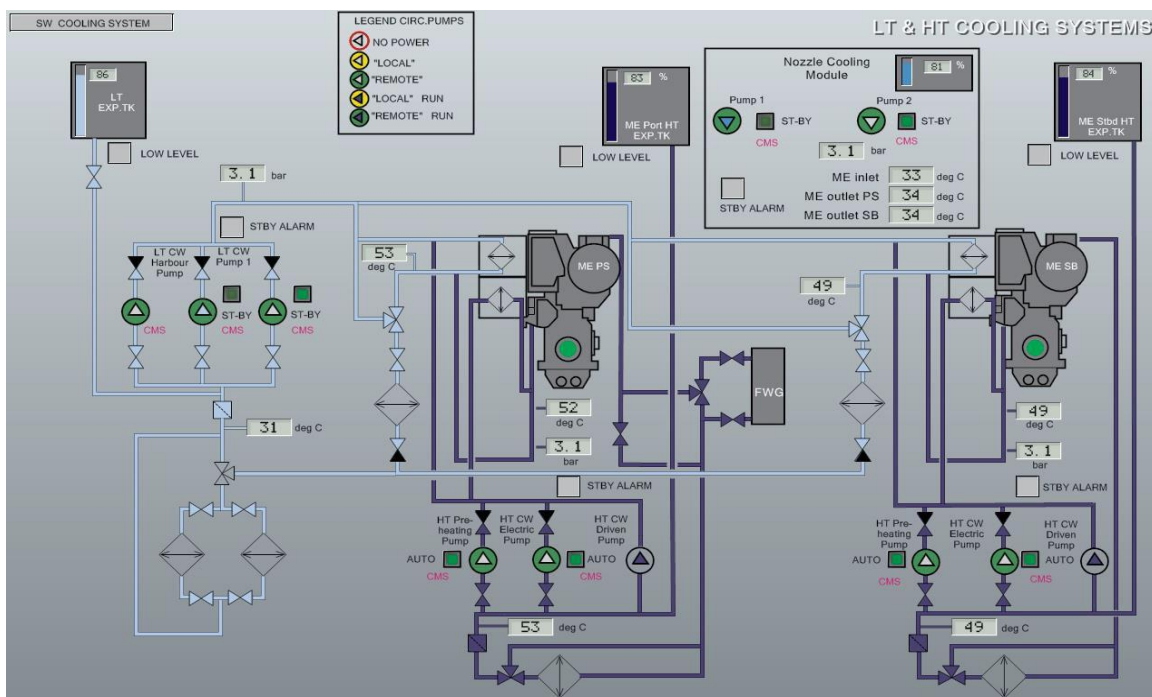


Figura 5: Sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

El sistema consta de los siguientes componentes:

Bomba de precalentamiento HT (PS)	9.6 m ³ /h x 1.2 bar
Bomba de precalentamiento HT (SB)	9.6 m ³ /h x 1.2 bar
Bomba eléctrica HT (PS)	48 m ³ /h x 4.3 bar
Bomba eléctrica HT (SB)	48 m ³ /h x 4.3 bar
Bomba acoplada HT (PS)	48 m ³ /h x 4.3 bar
Bomba acoplada HT (SB)	48 m ³ /h x 4.3 bar
Bomba de puerto LT	200 m ³ /h x 3 bar
Bomba 1 LT	200 m ³ /h x 3 bar
Bomba 2 LT	200 m ³ /h x 3 bar

Tabla 3: Capacidad de las bombas del sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas



Figura 6: Bombas de agua dulce de baja temperatura y bombas de agua salada – Fuente: Buque real

3.3.1 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor se utiliza principalmente para enfriar el agua dulce y el aceite mediante el intercambio de calor entre fluidos fríos y calientes. Este dispositivo está formado por varios tubos, como se muestra en la Figura 7, en los cuales el líquido frío fluye por el interior del tubo y el líquido caliente fluye por el exterior, los dos fluidos no entran en contacto entre sí, pero intercambian de esta forma el calor través de las paredes de los tubos.

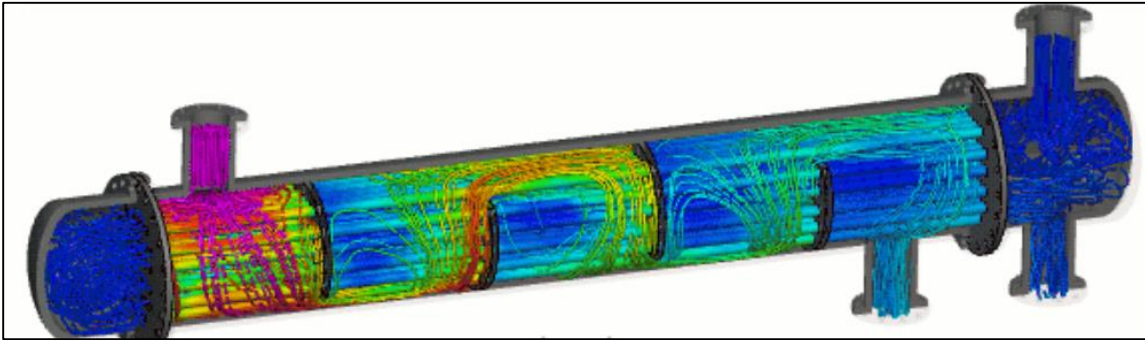


Figura 7: Intercambiador de calor – Fuente: Word press. Intercambiadores de calor

3.3.2 Tanque de expansión

El tanque de expansión forma parte del sistema de refrigeración de agua dulce, tiene varias funciones, pero las más importantes son las siguientes: encargarse del tratamiento químico del agua de refrigeración (añadir aditivos), reponer el agua de refrigeración que se haya evaporado y proporcionar un espacio para que el agua dulce se expanda en el caso de que su temperatura haya aumentado.

3.4 Sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce del diésel generador

La refrigeración del diésel generador se consigue haciendo circular un líquido refrigerante alrededor de los conductos internos del generador. Si no se consigue un enfriamiento adecuado, ciertas partes del generador que están expuestas a temperaturas muy elevadas sufrirán desgastes debido al proceso de combustión del combustible.

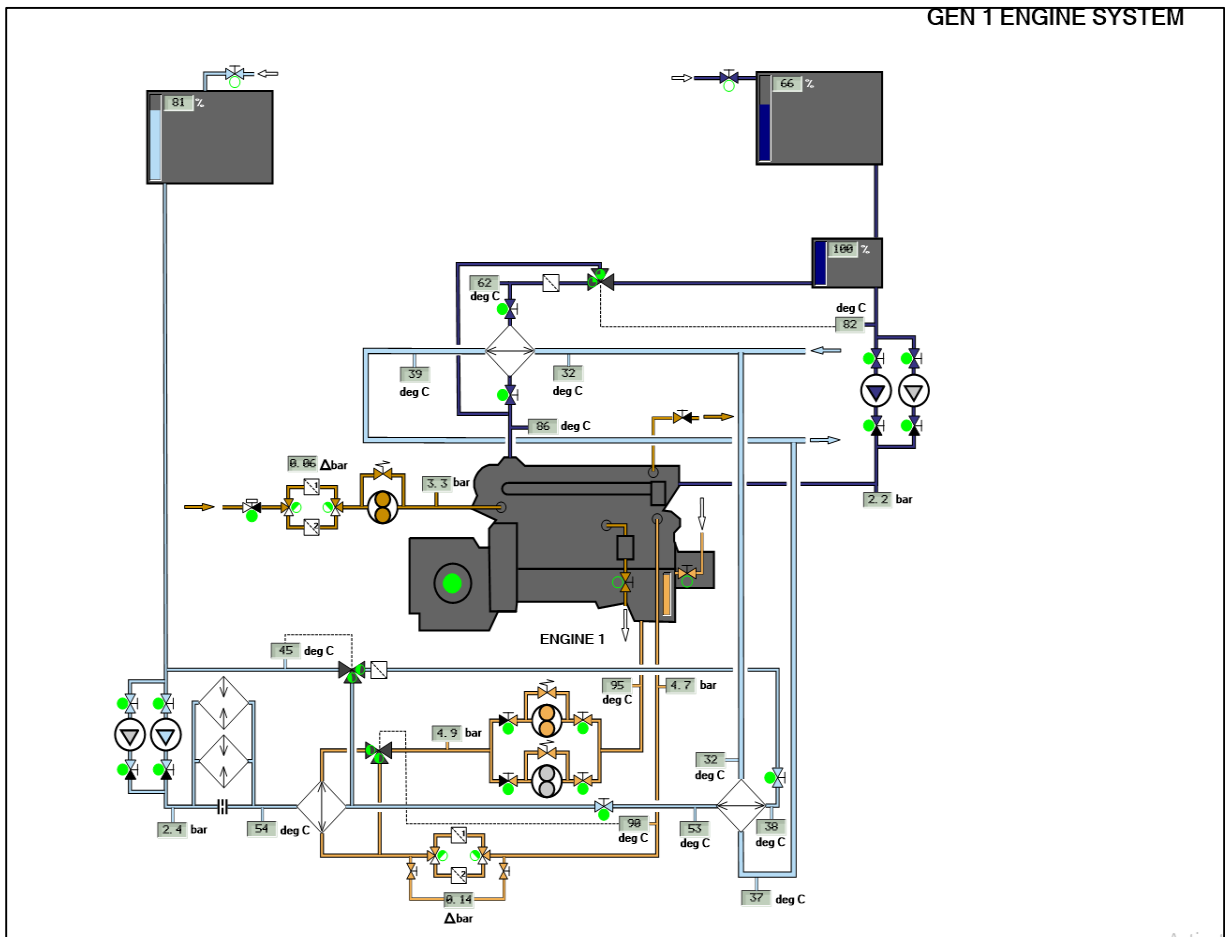


Figura 8: Sistema de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce del diésel generador – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

Sistema de generación de agua dulce

El generador de agua dulce utiliza el calor residual del circuito de refrigeración de agua dulce de alta temperatura para evaporar el agua de mar, se extrae la sal y luego se condensa y el condensado resultante es agua destilada. Esta agua destilada es enviada al salinómetro de electrodos en donde se inicia el análisis del contenido en sal en ppm (partes por millón de sal en agua). Si el resultado es inferior a 6 se bombea el agua hacia el tanque de almacenamiento de estribor o de babor, en caso de salinidad excesiva se recircula el agua hasta que se consiga el resultado deseado.

La capacidad de las bombas del sistema es el siguiente:

Bomba eyectora	36 m ³ /h
Bomba de destilación	1,05 m ³ /h

Tabla 4: Capacidad de las bombas del sistema de generación de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

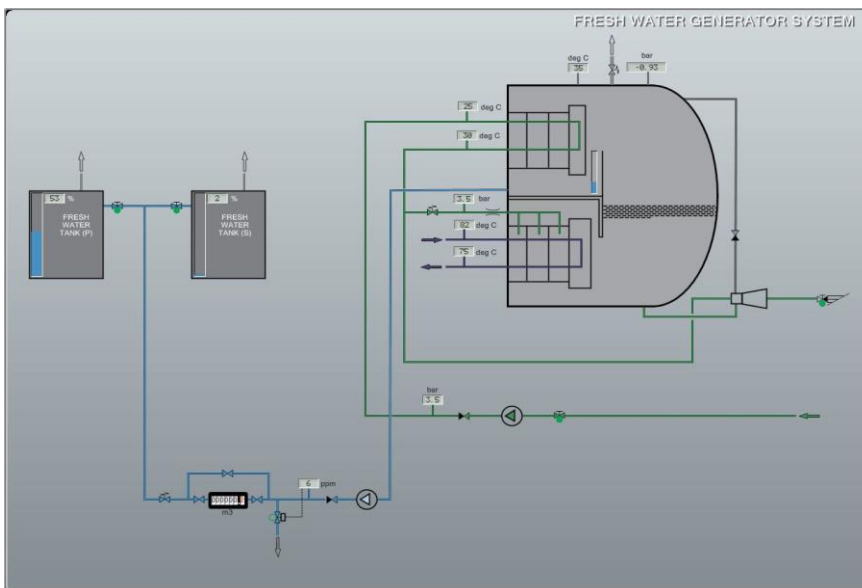


Figura 9: Sistema de generación de agua dulce – Fuente: Manual Wärtsilä Transas



Figura 10: Generador de agua dulce – Fuente: Buque real

3.5 Sistema de combustible

El sistema de combustible de un buque consiste básicamente en almacenar, depurar y suministrar combustible al motor principal para así garantizar el correcto funcionamiento y rendimiento de los equipos propulsores.

Este sistema tiene varias responsabilidades, a continuación, se resumen de forma breve las más importantes:

1. Llenar de combustible los tanques.
2. Almacenar, con el objetivo de aprovechar al máximo el espacio disponible del buque. El combustible se almacena de manera habitual en un tanque de doble fondo o en tanques localizados por debajo de la línea de flotación tanto a babor como en estribor.
3. Realizar el “*bunkering*”, este proceso consiste en abastecer de combustible al barco desde una instalación portuaria, un camión cisterna o con un buque especial destinado a ese fin. Previamente se debe realizar un plan de estudio para distribuir el combustible entre los tanques disponibles a bordo, se hace con el objetivo de evitar pérdidas de estabilidad y, por lo tanto, que el barco escore.
4. Purificación, el combustible antes de ser suministrado a los motores principales y a los motores auxiliares debe pasar por unos procesos de sedimentación, filtración y separación para eliminar las partículas en suspensión o impurezas que puedan estar presentes en el combustible, de esta forma se garantiza la calidad del mismo y se evita dañar los motores propulsores.
5. Suministro, desde el tanque de servicio diario el combustible es aspirado por las bombas de alimentación y es enviado al motor principal y a los motores auxiliares.
6. Medición, para garantizar la seguridad del buque y que sus necesidades sean satisfechas, es necesario conocer en todo momento la capacidad de almacenamiento, la temperatura, presión, densidad, viscosidad, caudal másico, así como otros valores del combustible. Para ello se emplea el uso de indicadores y sensores que nos dan estos datos tan necesarios.

3.5.1 Descripción del sistema de combustible

El sistema de combustible consta de cuatro subsistemas diferentes: sistema de trasiego y tratamiento de HFO, sistema de trasiego y tratamiento de MDO, sistema de purificación de combustible y sistema de suministro de combustible.

A continuación, se definen los anteriores subsistemas ya que son imprescindibles para llevar a cabo la operativa de arranque de motor principal.

El sistema está diseñado para:

- Recibir combustible desde tierra y tener la capacidad de almacenar dicho combustible; los tanques se llenan gracias a la presión ejercida en la tubería de tierra y a la fuerza gravitacional.
- Trasiego de combustible mediante el uso de bombas de trasiego.
- Capacidad de realizar el proceso de decantación de combustibles en los tanques de sedimentación.
- Depuración de combustibles mediante el uso de separadores-purificadoras y llenar de combustible los tanques de servicio diario.
- Prevención de desbordamiento de combustible utilizando el tanque de reboses y enviar el agua y los restos que puedan salir de la purificación al tanque de lodos.

El sistema de combustible funciona con fuel oil pesado (HFO) y diesel marino (MDO). El HFO y MDO con bajo contenido de azufre también se usa en el sistema de combustible.



Figura 11: Vista general del módulo de combustible – Fuente: Buque real

3.6 Sistema de servicio de HFO y MDO

El sistema de servicio del combustible tiene como misión controlar el suministro de combustible que llega a los motores y en realizar el trasiego de combustible entre los diversos tanques disponibles para mantener la estabilidad del buque.

El sistema de combustible del Ro-Pax consta de los siguientes elementos: cuatro tanques de servicio diario de combustible (dos tanques son para la variante de combustible con bajo contenido en azufre), dos bombas FEED y dos bombas BOOSTER, tuberías con válvulas, manómetros y conexiones a los diésel generadores y a otros equipos, un viscosímetro, calentadores, así como varias alarmas en formato visual y sonoro para controlar el consumo diario de combustible.

Las características de los componentes del sistema son los siguientes:

Tanque de servicio L.S HFO N° 1	14 m ³
Tanque de servicio HFO N° 2	14 m ³
Tanque de servicio L.S MDO N° 1	15 m ³
Tanque de servicio MDO N° 2	15 m ³
Bomba FEED HFO N° 1	2 m ³ /h x 2 bar
Bomba FEED HFO N° 2	2 m ³ /h x 2 bar
Bomba BOOSTER HFO N° 1	45 m ³ /h x 3 bar
Bomba BOOSTER HFO N° 2	45 m ³ /h x 3 bar

Tabla 5: Capacidad de las bombas del sistema de servicio de HFO y MDO – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

El sistema está diseñado para que los motores principales puedan trabajar con el combustible purificado de los tanques de servicio de HFO o MDO, por esta razón, el sistema dispone de un *by-pass* para hacer el cambio de combustible en caso de ser necesario.

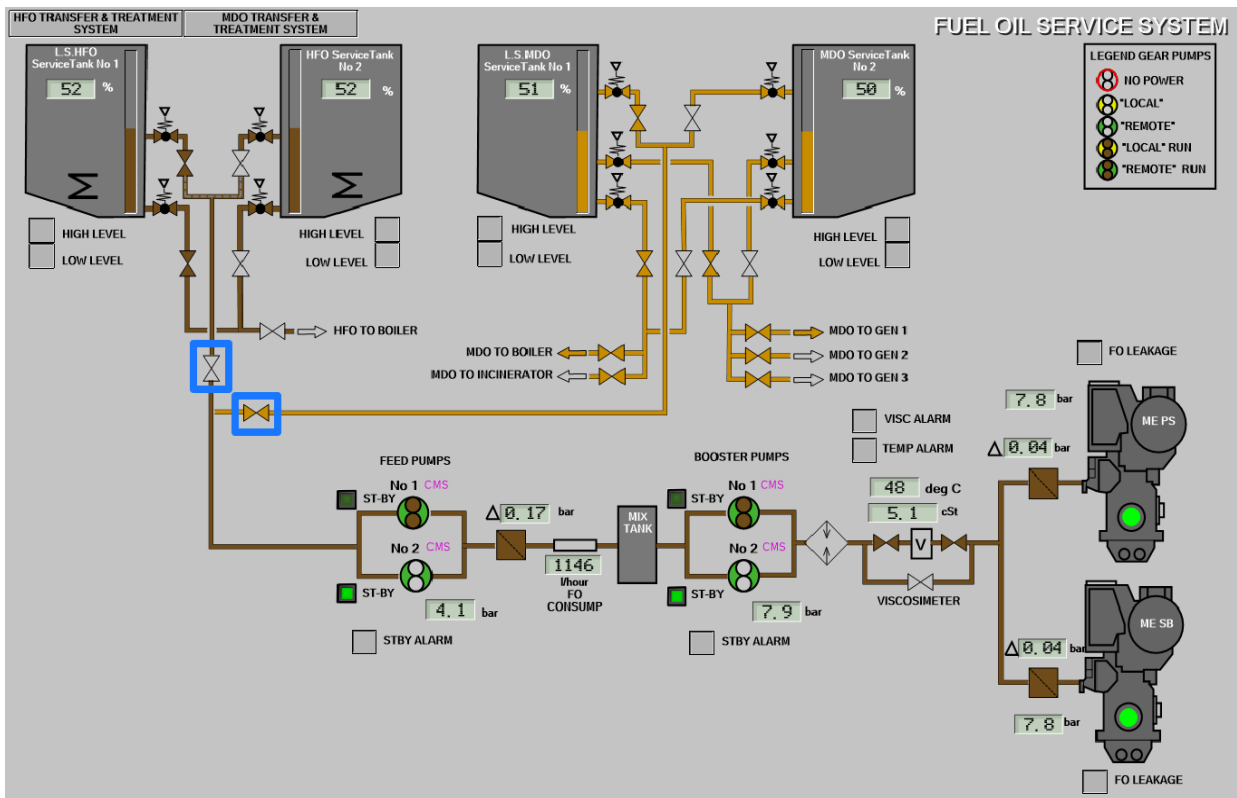


Figura 12: Sistema de servicio de combustible – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

La alimentación de combustible desde los tanques de servicio diario hasta el motor principal se realiza a través de dos fases. La primera fase se realiza con la ayuda de las bombas FEED y la segunda fase con la ayuda de las bombas BOOSTER.



Figura 13: Bomba BOOSTER – Fuente: Buque real



Figura 14: Bomba FEEDER – Fuente: Buque real

3.6.1 Combustibles

En el Ro-Pax se emplea dos tipos de combustibles, uno es el combustible pesado (*Heavy Fuel Oil*, HFO) y el otro es gasóleo marino (*Marine Diesel Oil*, MDO). La principal diferencia entre estos dos es el nivel de viscosidad y el valor económico, siendo el HFO el que tiene un nivel de viscosidad alto y un valor monetario bajo y siendo el MDO el que presenta un nivel de viscosidad bajo y valor monetario alto. Estos dos tipos de combustibles también cuentan con su variante de bajo contenido en azufre, dicha variante tiene un valor monetario más elevado que su versión original.

Durante la estancia de un buque en una instalación portuaria no se permite hacer uso de HFO según el anexo VI del convenio MARPOL, por eso el HFO se emplea para la navegación marítima y el MDO o similares para entrar y salir del puerto.

Tal como se puede observar en la Figura 13 el sistema dispone de combustible con bajo contenido en azufre para navegar por las zonas ECA.

También en el anexo VI del convenio MARPOL se define el termino ECA “Área de Control de Emisiones” (debido a razones técnicas que tienen que ver con sus condiciones oceanográficas, ecológicas y por el tráfico marítimo de la zona) en la cual se debe adoptar procedimientos especiales de carácter obligatorio para prevenir la contaminación atmosférica.

El convenio establece que estas zonas “ECA” cuenten con un nivel de protección superior al de otras zonas marinas. Dichas zonas son las siguientes: la zona del mar del Norte, la zona del mar Báltico, las zonas del mar Caribe de los Estados Unidos (alrededor de Puerto Rico y de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos) y la zona de Norteamérica (que abarca zonas costeras designadas en Estados Unidos y Canadá).

Los indicadores que indican la calidad del combustible son los siguientes: poder calorífico, viscosidad, densidad, punto de inflamación, propiedades de lubricación, la humedad, entre otros. El valor de estos indicadores puede afectar al rendimiento del motor y por lo tanto es crucial que dichos valores estén dentro de un rango aceptable.

Por esta razón, un buen sistema de combustible juega un papel muy importante abordo ya que es imprescindible para aprovechar al máximo el combustible que tengamos y para evitar la aparición de problemas.

3.7 Sistema de trasiego y tratamiento de HFO

El sistema está diseñado para el abastecimiento de combustible desde tierra, almacenamiento de combustible, trasiego a sistemas de servicio de HFO y tratamiento al combustible para mejorar su calidad. También se puede apreciar el procesamiento de HFO con bajo contenido de azufre (L.S.).

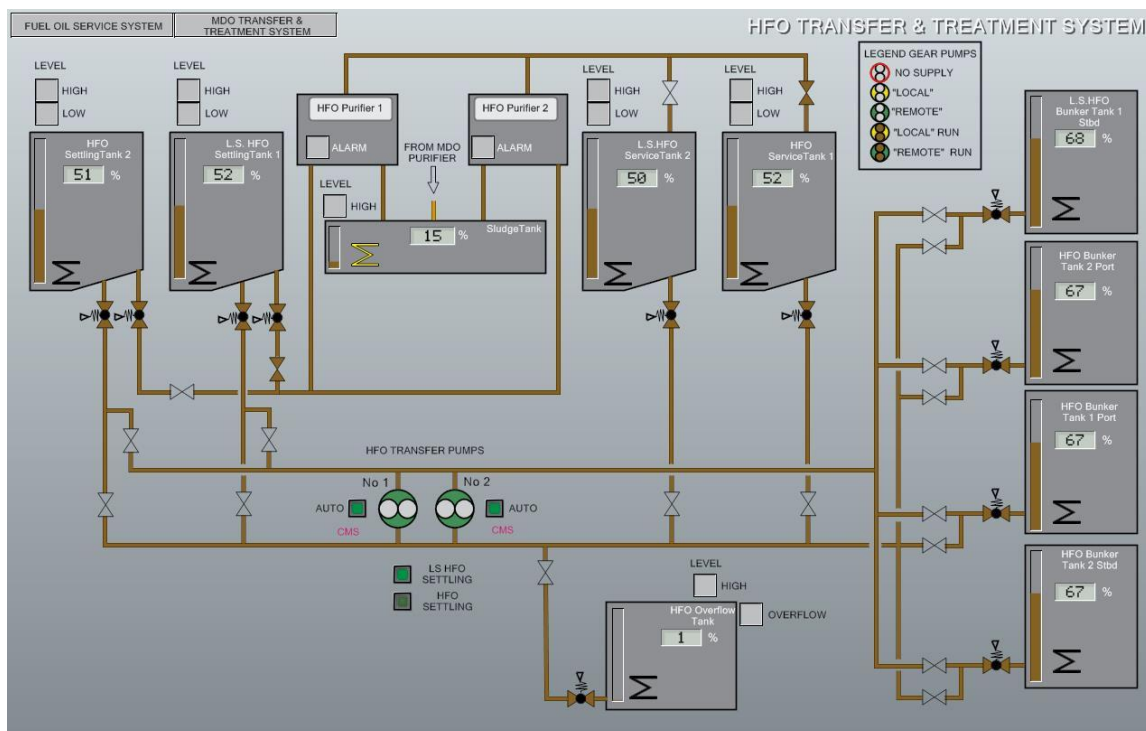


Figura 15: Sistema de trasiego y tratamiento de HFO – Fuente: Manual Wärtstillä Transas

Las purificadoras separan el agua y las partículas sólidas del HFO ubicado en los tanques de sedimentación mediante el uso de la fuerza centrífuga y trasiegan el combustible resultante a los tanques de servicio. La capacidad de la purificadora de HFO es de 1500 l/h.

El agua y los restos que puedan salir de la purificación ingresan al tanque de lodos, dónde el nivel de llenado será controlado mediante el uso de sensores de alto nivel.

El sistema cuenta con 2 purificadoras que pueden funcionar simultáneamente si es necesario. La unidad de control y monitoreo garantiza el funcionamiento de la purificadora sin personal.

El combustible se calienta antes de la separación para disminuir la viscosidad y así conseguir una separación eficiente. La unidad de calefacción se controla mediante PID automático o de forma manual.

El método de sedimentación se basa en la diferencia de densidades entre las partículas sólidas o impurezas del agua y el combustible para que así las impurezas sedimenten, es decir, se depositen en el fondo del tanque desde donde serán drenados y enviados al tanque de lodos.

Cuando el combustible presenta mucha concentración de agua e impurezas se utilizan las purificadoras para obtener un mejor efecto de separación. De esta forma se obtiene un combustible de mejor calidad.

3.8 Sistema de trasiego y tratamiento de MDO

El sistema está diseñado para el abastecimiento de combustible desde tierra, almacenamiento de combustible, trasiego a sistemas de servicio de MDO y para realizar un tratamiento al combustible que mejorara su calidad. También se puede apreciar el procesamiento de MDO con bajo contenido de azufre (L.S.).

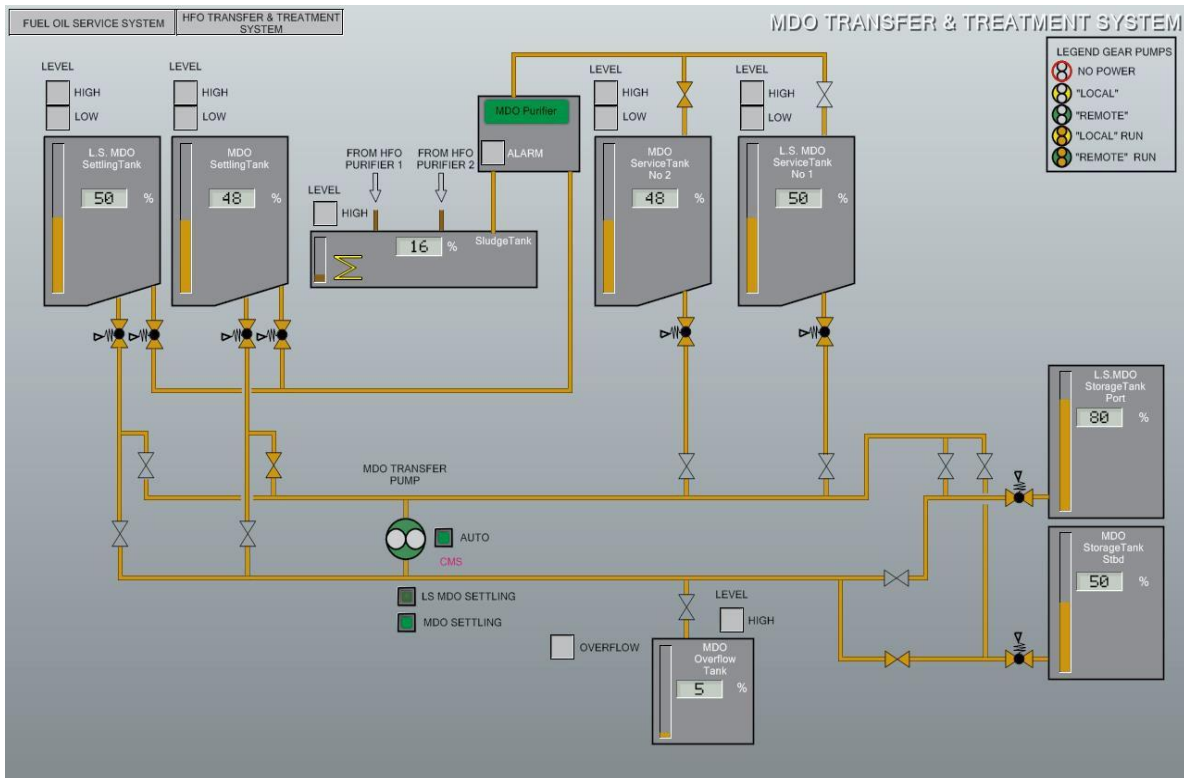


Figura 16: Sistema de trasiego y tratamiento de MDO – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

La purificadora separa el agua y las partículas sólidas del MDO a densidades de hasta 7,5 g/mL a 40°C ubicadas en los tanques de sedimentación mediante el uso de la fuerza centrífuga y trasiega el combustible resultante a los tanques de servicio. La capacidad de la purificadora de MDO es de 1900 L/h.

El agua y los restos que puedan salir de la purificación ingresan al tanque de lodos, dónde el nivel de llenado será controlado mediante el uso de sensores de alto nivel.

La unidad de microprocesador garantiza el funcionamiento de la purificadora sin personal.

El combustible se calienta antes de la separación para disminuir la viscosidad y así conseguir una separación eficiente. La unidad de calefacción se controla mediante PID automático o de forma manual.

3.8.1 Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son un tipo de tanques que se emplean para almacenar los combustibles necesarios con el fin de alimentar a los motores propulsores y motores auxiliares. Normalmente se encuentran localizados en el doble fondo.

Los tanques de combustible están provistos de tubos de aireación, indicadores y sistemas de medición, alarmas en formato sonoro y visual para evitar accidentes, tales como reboses o fugas.

El llenado de combustible se realiza de forma simultánea, es decir, se suministra combustible a los tanques de babor y estribor. De esta forma se evita pérdidas de estabilidad y escoras innecesarias. Cuando finaliza la operación de llenado de este par de tanques se cierran las válvulas poco a poco y, a continuación, se abren las válvulas del siguiente par de tanques, esta operativa se repite hasta llenar todos los tanques que se necesiten para la campaña de navegación.

Durante la operación de llenado, se taponan los imbornales de cubierta para evitar que las fugas de combustible puedan ir a parar al mar y su porcentaje de almacenamiento se controla mediante una sonda de nivel instalada en cada tanque.

La capacidad del tanque de combustible se calcula en función de la autonomía del buque y a este valor se le añade un porcentaje más para tener un margen de seguridad. Se tiene en cuenta los siguientes factores: duración de la campaña de navegación, las condiciones climáticas (variación de la humedad, presión, temperatura...), el consumo y la autonomía de los motores propulsores, entre otros.

Actualmente, los motores principales de los buques de grandes dimensiones utilizan HFO para la navegación marítima y el MDO o similares para entrar y salir del puerto. Debido a la alta viscosidad del HFO, es necesario el empleo de pre-calentadores para que dicho combustible pueda circular por las tuberías. Otra opción viable sería situar los tanques de combustible de HFO lo más cerca posible de la sala de máquinas, de esta manera se podría simplificar la instalación del sistema de tuberías.

3.8.2 Tanque de sedimentación

El objetivo del tanque de sedimentación es recibir el combustible de los tanques de almacenamiento y realizar un tratamiento de sedimentación en dicho combustible.

El proceso de sedimentación consiste en la separación física de las partículas sólidas suspendidas que pueda haber en el combustible, es decir, se consigue que las partículas las cuales son más pesadas que el combustible se asienten en el fondo del tanque debido a la gravedad. Las partículas o impurezas que se han quedado en el fondo del tanque son drenadas al tanque de lodos.

Si después del proceso de sedimentación el combustible aun presenta un nivel alto de concentración de agua e impurezas se hace uso de las purificadoras para obtener un mejor efecto de separación. De esta forma se obtiene un combustible de mejor calidad y se evita daños en el motor principal.

La purificadora aspira el combustible del tanque de sedimentación para realizar la purificación final y luego envía el combustible resultante al tanque de servicio diario. Los tanques mencionados anteriormente suelen estar equipados con un sistema de alimentación automático y con alarmas de alto y bajo nivel.

Por último, el tanque de sedimentación para HFO tiene la misma función que el tanque de sedimentación para MDO, pero con la única diferencia de que el primero necesita un pre-calentador debido a su nivel alto de viscosidad.

3.8.3 Tanque de servicio diario

Este tipo de tanque se emplea para almacenar el combustible que ha sido tratado por la unidad purificadora. El combustible después de haber sido tratado por la purificadora se queda almacenado en el tanque de servicio diario listo para ser usado, desde este tanque se envía el combustible para alimentar al motor principal y a otros equipos esenciales para la operativa de arranque.

Según el reglamento del capítulo II-1/26.11 del convenio SOLAS, los buques que dispongan de motores principales, motores auxiliares y calderas que operen con HFO y los buques que dispongan de motores principales y calderas auxiliares que operen con HFO y de un motor auxiliar que opere con MDO, deberán contar con 2 tanques de servicio diario de capacidad parecida los cuales estarán situados simétricamente en ambos costados del buque para compensar su peso. Cada tanque de servicio diario debe mantener en funcionamiento al menos durante 8 horas al motor principal, motor auxiliar y a la caldera o una disposición equivalente siempre que los sistemas vitales y de propulsión que utilizan dos tipos de combustible admitan cambios rápidos de combustible y sean capaces de funcionar en todas las condiciones normales de funcionamiento en el mar con ambos tipos de combustible (MDO y HFO).

3.8.4 Tanque de reboses

Durante el proceso de llenado de combustible se puede dar la situación de que debido a un descuido algún tanque se llene demasiado de combustible y provoque un rebose.

Para evitar este tipo de situaciones se abren unas válvulas con la finalidad de desviar el combustible acumulado en el interior del tanque hacia el tanque de desbordamiento. Se suele colocar este tipo de tanque en la parte más baja del barco para que de esta forma el combustible desbordado fluya por efecto gravitatorio hacia el tanque de desbordamiento.

El combustible que queda almacenado en el tanque de desbordamiento se puede trasegar a otros tanques de combustible gracias a un sistema de tuberías. Permitiendo de esta manera aprovechar al máximo el combustible que tenemos a bordo.

3.8.5 Tanque de lodos

Se utiliza para almacenar el agua y las impurezas (los lodos) que han sido separadas por la purificadora de combustible. Después, estos residuos son enviados fuera del tanque de lodos para que se inicie su proceso de eliminación. Tal como se puede apreciar en la Figura 16 en el tanque de lodos se depositan tanto las impurezas de HFO como las impurezas de MDO, por esta razón se necesita un calentador ya que tenemos una alta viscosidad en los residuos.

3.8.6 Bombas de trasiego

La finalidad de las bombas de trasiego es transferir el combustible de un tanque a otro tanque haciéndolo circular a través de las tuberías. Las bombas de trasiego están accionadas por un motor eléctrico.

3.9 Sistema de lubricación

La función principal del sistema de lubricación es suministrar aceite lubricante de calidad a la maquinaria del buque. Este aceite tiene propiedades refrigerantes ya que disipa parte del calor acumulado en el interior de la maquinaria y propiedades lubricantes ya que reduce el rozamiento que pueda haber entre piezas en movimiento y, por lo tanto, las posibilidades de que las diferentes partes de la maquinaria sufran daños o deformaciones. Por este motivo, el sistema de aceite lubricante juega un papel vital a bordo de un barco.

El sistema de lubricación suele estar compuesto por: dos tanques de servicio de aceite, un tanque de recolección de aceite, un tanque de almacenamiento de aceite, una bomba de trasiego, dos bombas DRIVEN, dos bombas del motor principal en stand-by, dos bombas de suministro de la purificadora, dos unidades purificadoras, válvulas de control, indicadores de alto y bajo nivel, etc.

El tamaño, el número y la ubicación de los tanques de aceite lubricante varían según el tipo, la finalidad y el tonelaje del buque en el que estemos. Generalmente, este tipo de tanques están colocados a popa de la sala de máquinas.

El sistema de lubricación por aceite puede ser de dos tipos: por cárter húmedo o por cárter seco.

El sistema de lubricación de tipo cárter húmedo consiste en que el aceite se coloca de forma directa en el cárter del motor diésel, durante su funcionamiento, el aceite es bombeado por el propio motor (a través del enfriador de aceite) para lubricar las piezas. Después el aceite fluye de nuevo hacia el cárter por acción gravitatoria, de esta manera se forma un sistema de circulación. Este tipo de sistema es simple y sencillo, normalmente se utiliza para motores pequeños.

En el sistema de lubricación de tipo cárter seco, el aceite es almacenado en un tanque de aceite.

Este último sistema presenta las siguientes formas:

1. El tanque de circulación de aceite se encuentra debajo del cárter. El aceite es aspirado desde dicho tanque, se enfría y se envía a lubricar a las diferentes partes del motor, después vuelve a fluir hacia el fondo del motor por efecto gravitatorio y, por último, regresa al tanque de circulación de aceite.
2. Se instala una bomba de aceite adicional (bomba de aspiración) para bombear el aceite del cárter al tanque de circulación de aceite. El sistema de lubricación de tipo cárter seco mejora las condiciones de trabajo del aceite lubricante y es utilizado comúnmente en los motores diésel grandes y medianos.



Figura 18: Motor principal de babor – Fuente: Buque real



Figura 17: Vista general del motor principal de babor y estribor – Fuente: Buque real

3.9.1 Descripción del sistema lubricación

El sistema de lubricación está diseñado para almacenar, trasegar, purificar y suministrar aceite al motor principal, reductora, “bocina” y a los diésel generadores.

El sistema de lubricación del Ro-Pax consta de cuatro subsistemas: el sistema de lubricación del motor principal (Port y Stbd), el sistema de lubricación del sistema de hélice de paso controlable y de la “bocina”, el sistema de lubricación de los diésel generadores y el sistema de purificación del lubricante.

En este capítulo se definirán solo tres sistemas ya que son los más importantes para el arranque desde la condición de buque frío.

Las bombas de aceite lubricante presentan las siguientes características:

Bomba acopladas LO	120 m ³ /h x 4.5 bar
Bomba Stand-by LO	120 m ³ /h x 4.5 bar
Bomba de trasiego LO	2 m ³ /h x 2 bar
Bomba de alimentación de la purificadora LO	2 m ³ /h x 2 bar
Purificadora 1	2000 l/h
Purificadora 2	2000 l/h

Tabla 6: Capacidad de las bombas y de la purificadora del sistema de lubricación – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

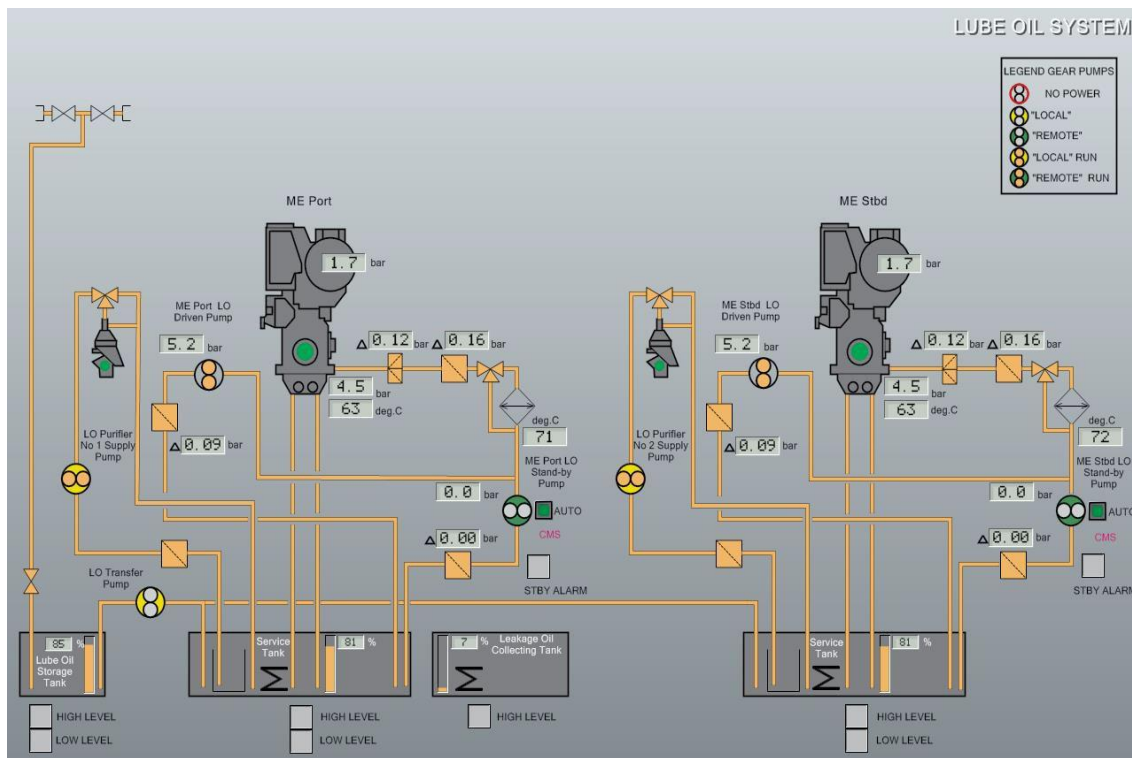


Figura 19: Sistema de lubricación – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

3.9.2 Sistema de lubricación del motor principal

Este sistema se utiliza para almacenar, trasegar, purificar y suministrar aceite al motor principal del buque.

El sistema presenta los siguientes elementos: una bomba de alimentación de la purificadora, una unidad purificadora, un tanque de recolección de aceite, un tanque de servicio, un tanque de almacenamiento, una bomba de trasiego, una bomba eléctrica en stand by, una bomba acoplada, una bomba de aceite de cilindros, filtros, válvulas, manómetros, indicadores de presión y temperatura, entre otros.

Como a bordo del buque tenemos dos motores gemelos, cada motor deberá de disponer de sus propios componentes ya que son independientes, por lo tanto, se necesitará el doble de la cantidad de elementos que he mencionado anteriormente.

La purificadora tiene una bomba de alimentación para aspirar el aceite lubricante del tanque de servicio, a continuación, se inicia el proceso de purificación del aceite, al acabarlo se envía el aceite purificado al tanque de servicio. Después, el aceite purificado es bombeado, mediante la bomba de trasiego, al filtro automático antes de ser suministrado al motor principal.

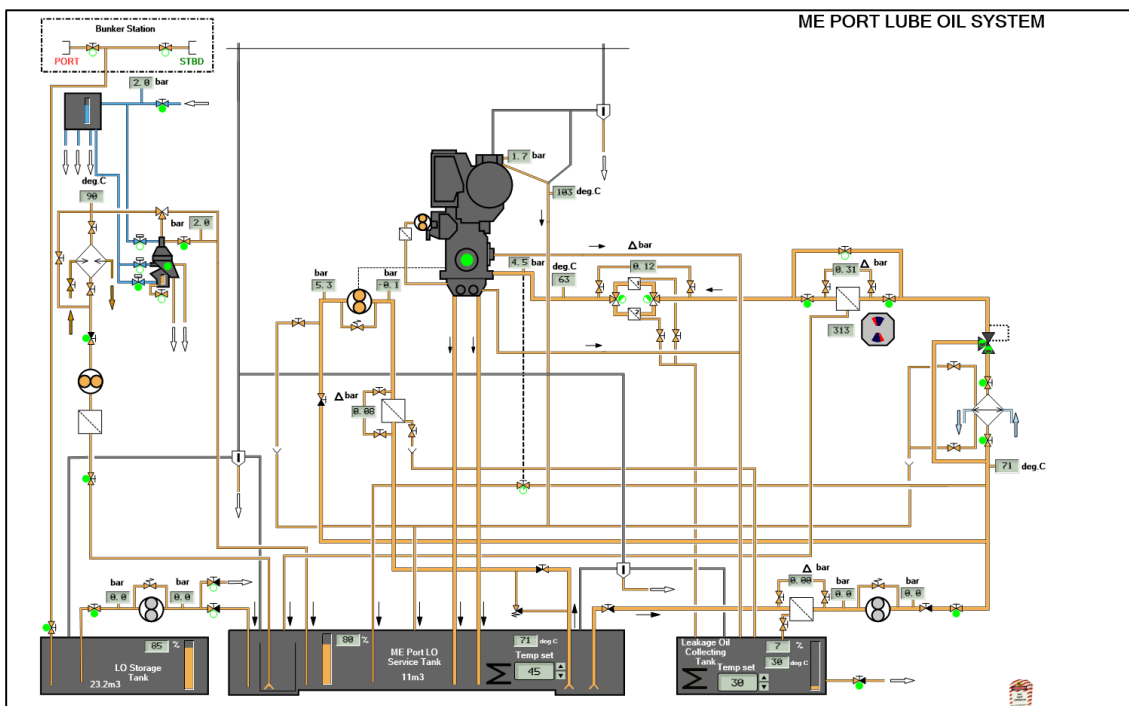


Figura 20: Sistema de lubricación del motor principal PORT – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

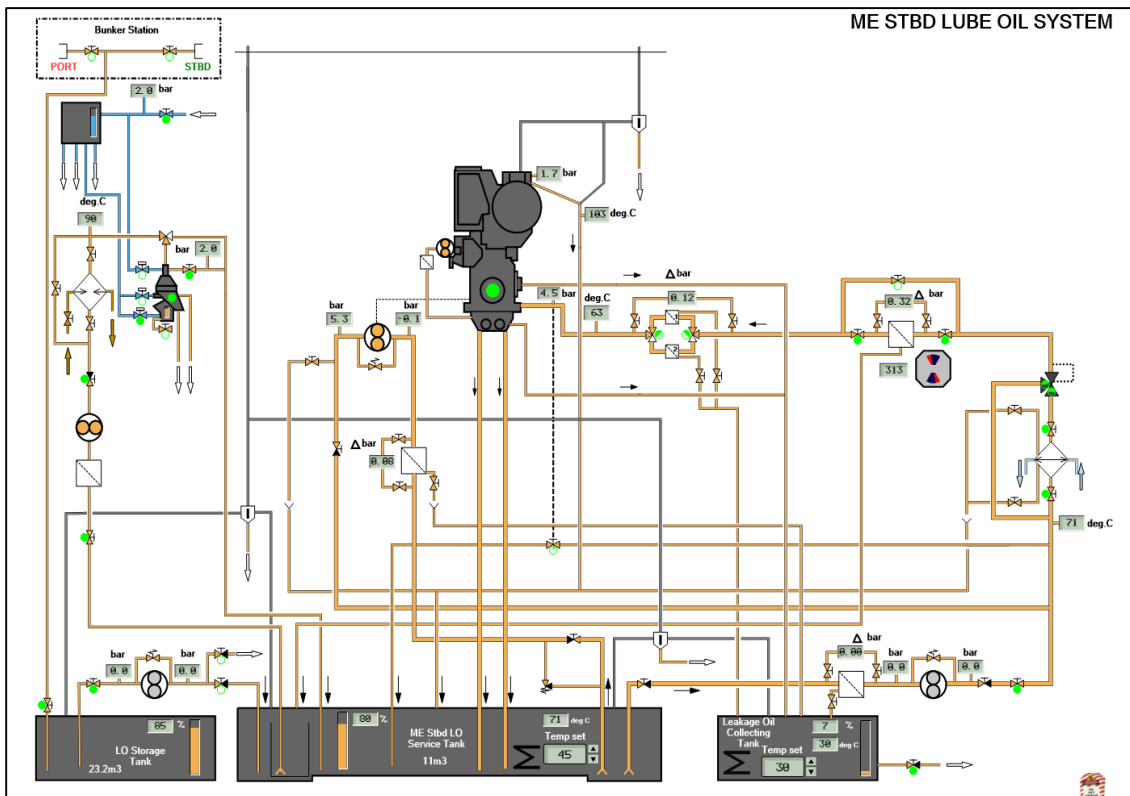


Figura 21: Sistema de lubricación del motor principal STBD – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

3.9.2.1 Aceite lubricante

El aceite lubricante es una sustancia que se emplea en diferentes tipos de máquinas para reducir el desgaste y la fricción, facilitando de esta manera el movimiento de las piezas mecanizadas y evitando que sufran daños o deformaciones. El aceite también tiene propiedades refrigerantes ya que disipa parte del calor acumulado en el interior de la maquinaria, propiedades de amortiguación y sellado, previene la aparición de la oxidación, entre otros.

A continuación, se resume de forma breve los factores que hay que tener en cuenta a la hora de elegir el aceite lubricante:

- 1) La temperatura ambiente influye en la manera de fluir del aceite lubricante. La viscosidad del aceite lubricante que se usa en los barcos que navegan en zona caliente (clima tropical o de verano) debe ser alta, mientras que la viscosidad del aceite lubricante que se usa en los barcos que navegan en zona fría (clima de invierno) debe ser baja.
- 2) Se debe usar aceite lubricante de alta viscosidad si el acoplamiento de fricción está sometido a una alta presión por metro cuadrado de fricción. Pero hay que tener en cuenta que el aceite lubricante de alta viscosidad es de difícil eliminación.
- 3) Si el acoplamiento de fricción tiene una gran holgura o una superficie de fricción rugosa, debemos usar un aceite lubricante de alta viscosidad ya que de esta manera se puede garantizar una película continua de aceite durante todo su funcionamiento.
- 4) Si la velocidad de las piezas mecanizadas es alta, el calor generado por la fricción aumenta considerablemente y, por lo tanto, la viscosidad del aceite lubricante que tenemos que usar debe ser alta.

3.9.2.2 Tanque de almacenamiento de aceite

En este tipo de tanque se almacena el aceite que se va a utilizar durante la campaña de navegación, está provisto de alarmas de alto y bajo nivel en formato sonoro y visual para evitar accidentes, así como de un indicador de nivel.

3.9.2.3 Tanque de recolección de aceite

Este tipo de tanque se emplea para recolectar las pérdidas de aceite que puedan tener los otros tanques, las tuberías o las líneas de alimentación de aceite lubricante. Se iniciará el proceso de oxidación y corrosión en cualquier superficie metálica que este expuesta a la humedad y al oxígeno, por esta razón, aparecerán fugas de aceite en donde haya indicios de corrosión. Está provisto de alarmas de alto nivel en formato sonoro y visual para evitar reboses.

3.9.2.4 Tanque de servicio de aceite

Este tipo de tanque se emplea para almacenar el aceite que ha sido tratado por la purificadora. El aceite después de haber sido tratado por la purificadora se queda almacenado en el tanque de servicio listo para ser usado, desde este tanque se bombea el aceite purificado al filtro automático antes de ser enviado al motor principal.

3.9.2.5 Bomba de trasiego de aceite lubricante

El objetivo de la bomba de trasiego es transferir el aceite lubricante de un tanque a otro tanque haciéndolo circular a través de las tuberías.

3.9.2.6 Filtro automático de aceite

El filtro se emplea para retener las partículas sólidas en suspensión o impurezas pequeñas que estén presentes en el aceite, después este aceite filtrado fluye directamente al motor principal.



Figura 22: Dos unidades de filtros automáticos de aceite – Fuente: Buque real

3.9.2.7 Purificadora de aceite lubricante

La capacidad de la purificadora es de 2000 l/h y trabaja con un voltaje de 440 V en corriente alterna.

El objetivo de la purificadora es separar el agua y las partículas sólidas en suspensión del aceite lubricante ubicado en los tanques de servicio y luego transferir el aceite purificado nuevamente a los tanques de servicio.



Figura 23: Sala de purificadoras – Fuente: Buque real

3.10 Sistema de aire comprimido

El sistema de aire comprimido forma parte de los sistemas auxiliares que están presentes en el buque Ro-Pax. Este sistema está diseñado para generar y suministrar aire comprimido a los sistemas del barco mediante la ayuda del subsistema de aire comprimido de arranque y del subsistema de aire de servicio y control.

El sistema consta de los siguientes componentes: dos depósitos principales de aire, un depósito auxiliar de aire, un depósito de aire de servicio de cubierta, un depósito de aire de cierre de emergencia, dos compresores de aire de arranque, válvulas automáticas, indicadores digitales de presión, indicadores de alarma en formato visual y sonoro en caso de que un compresor se detenga por un fallo, así como otros.

Los motores propulsores se ponen en marcha cuando se les suministra aire comprimido a los cilindros, por este motivo un suministro de aire comprimido se almacena en depósitos de aire o en “botellas” listas para su uso inmediato. El subsistema de aire comprimido de arranque suele tener enclavamientos para evitar el arranque si todo no está en orden.

El subsistema de aire comprimido de arranque cuenta con unos dispositivos para evitar acumulaciones de agua o de aceite, ya que esto provocaría la aparición de corrosiones y, también, de explosiones ya que juntar aceite lubricante y aire comprimido puede provocar que se forme una mezcla explosiva. Por esta razón, el aire comprimido debe estar seco y limpio de partículas sólidas y de aceite, para así garantizar el buen funcionamiento de los diversos componentes que forman parte del sistema de aire comprimido.

3.10.1 Descripción del sistema de aire comprimido

El subsistema de aire comprimido de arranque produce y suministra aire comprimido para arrancar el motor principal (ME) y los diésel generadores (DE). Los motores propulsores se arrancan por medio de aire comprimido con una presión nominal de 3 MPa (30 bar). El arranque se realiza por inyección directa de aire en los cilindros a través de las válvulas de aire de arranque situadas en las culatas de los motores.

El subsistema de aire de servicio y control produce y suministra aire comprimido para los mecanismos neumáticos (válvulas, bombas, tuberías, boquillas, uniones...) y para los dispositivos de control y seguridad (cuando la presión en el depósito de aire es inferior a 7.5 bar, el compresor se pone en marcha automáticamente).

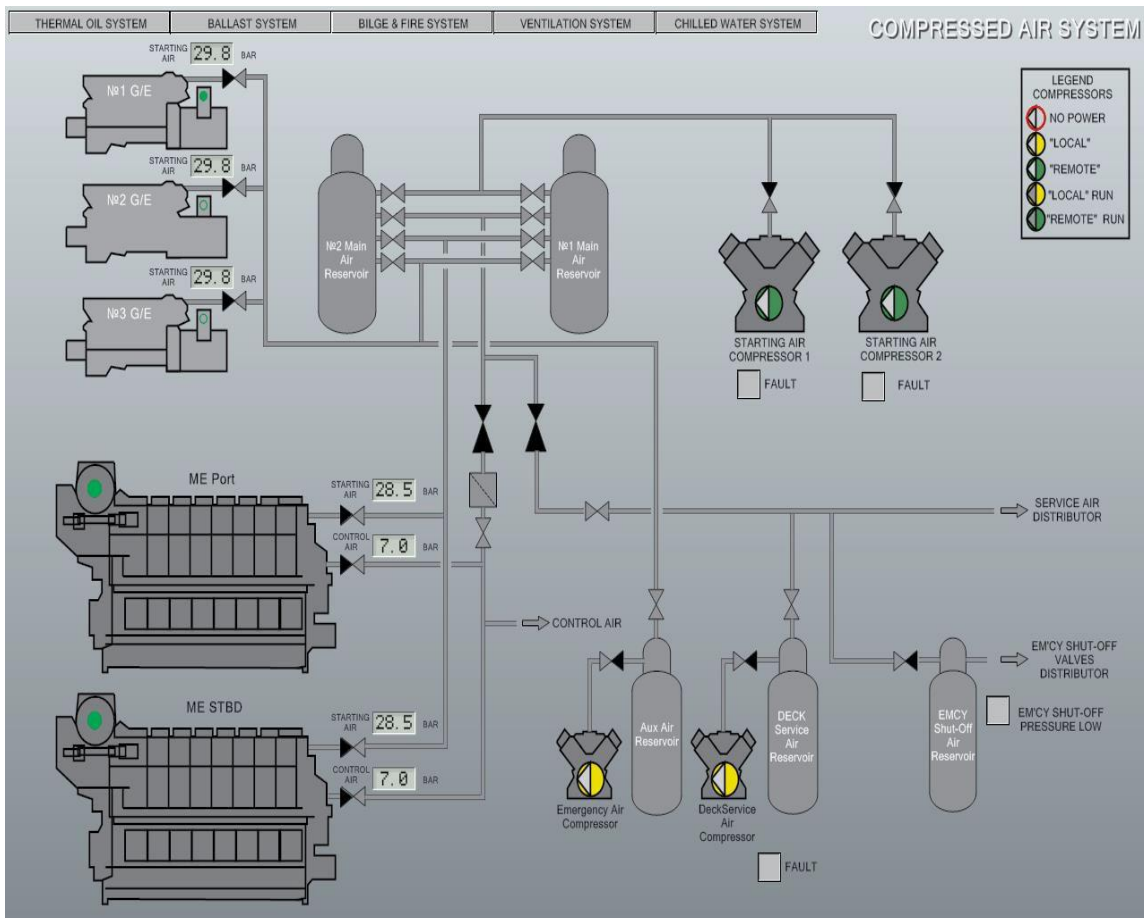


Figura 24: Sistema de aire comprimido – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

3.10.2 Compresor de aire

El compresor de aire es un dispositivo mecánico que se encarga de transformar la energía eléctrica o mecánica en energía de presión, es decir, en forma de aire a presión. Este dispositivo funciona según los principios de la termodinámica: reduce el volumen del aire, pero esta reducción en el volumen da como resultado que la presión del aire aumente sin que haya ninguna diferencia de temperatura.

El compresor comprime el aire y almacena este aire presurizado en una botella o en un depósito de aire. Cuando este aire presurizado se inyecta al motor a través de una válvula o de cualquier otro equipo, hace que el motor arranque.

El compresor que más se suele utilizar en la industria marina es el compresor de aire de pistón alternativo. Este tipo de compresor está formado por los siguientes componentes: una fuente de energía, un sistema de refrigeración, aceite lubricante, aire, una válvula de succión y una de válvula de descarga. Durante su proceso de funcionamiento, el pistón está conectado al lado alto y bajo de la línea de succión y a la línea de descarga. El cigüeñal gira, lo que a su vez hace girar el pistón. El pistón al moverse hacia abajo reduce la presión en el cilindro, la diferencia de presión abrirá la válvula de succión. El pistón es bajado por el cigüeñal giratorio y el cilindro se llena con aire a baja presión.

Ahora el pistón se mueve alternativamente hacia arriba y este movimiento ascendente comienza a acumular presión y hace que se cierre la válvula de succión. Cuando el aire es presurizado a un valor específico, la válvula de descarga se abre y el aire presurizado comienza a moverse a través de la línea de descarga y se almacena en la botella de aire.



Figura 25: Compresor de Aire – Fuente: Buque real

3.10.3 Compresor de aire de cubierta

El compresor de aire de cubierta se emplea para uso en cubierta y como compresor de aire de servicio. Este tipo de compresor es de capacidad baja ya que la presión requerida para el aire de servicio está en el rango de 6 a 8 bar.

3.10.4 Compresor de aire de emergencia

El compresor de aire de emergencia se usa para arrancar el motor auxiliar en el momento que haya una emergencia o cuando el compresor de aire de arranque falle en llenar el depósito de aire principal.

3.10.5 Depósito de aire

Es un recipiente o “botella” en donde se almacena el aire presurizado que proviene de los compresores. Después, este aire presurizado es suministrado a los sistemas del barco según se corresponda con las necesidades del buque durante la campaña de navegación.

3.11 Ventilación de la cámara de máquinas

El propósito del sistema de ventilación del buque es el de reducir la aparición de moho, prevenir la acumulación de vapores nocivos o explosivos y para equilibrar la humedad en los diversos espacios del barco. También se utiliza para proporcionar una atmósfera que sea agradable y adecuada para la tripulación, la maquinaria, la carga, las provisiones del barco y para los pasajeros.

El aire se distribuye por medio de una red de conductos y tuberías adecuadas a la estructura y al espacio limitado del barco. El tipo de ventilación que se utiliza depende de la naturaleza del espacio y del servicio del buque.

Los buques están equipados con sistemas de ventilación forzada ya que la ventilación natural se usa para algunos talleres y tiendas de pequeñas dimensiones, pero no es práctica para las áreas de trabajo donde hay maquinaria o donde están situadas muchas personas.

Se suelen utilizar ventiladores de flujo axial debido a que tienen un rendimiento alto, un diseño robusto, un consumo eléctrico relativamente constante en los diferentes puntos de trabajo (máximo $\pm 10\%$) y producen poco ruido y vibraciones.

Dichos ventiladores proporcionan aire a las distintas plataformas de trabajo a través de conductos y tuberías. El aire caliente sube por el centro y sale a través de rejillas o aberturas, generalmente por la chimenea.

El sistema de ventilación consta de cuatro ventiladores para la sala de máquinas, cuatro ventiladores para **la cubierta de coches** de estribor y cuatro ventiladores para la **cubierta de coches** de babor. Los dos últimos tienen ventiladores reversibles, es decir, que pueden hacer tanto la función de suministrar como de extraer aire. En cambio, la sala de máquinas tiene 2 ventiladores reversibles y dos irreversible, es decir, que solo hacen la función de suministrar aire.

3.11.1 Descripción del sistema de ventilación

Los espacios de máquinas están ventilados por sistemas de ventilación forzada. Los ventiladores de suministro y de extracción del sistema de ventilación forzada mantienen una ligera depresión o presión negativa dentro de los espacios de máquinas.

Se llama “*depresión*” al hecho de tener dentro del buque una presión inferior a la del exterior. Para conseguir la depresión deseada es indispensable poder controlar con exactitud tanto la extracción de aire como el suministro de aire, ya que la depresión se consigue ajustando la relación entre la salida y la entrada de aire. La depresión se encarga de que el aire contaminado no pueda pasar a los espacios de alojamiento y a las salas públicas.

Los ventiladores están montados en varias salas y cerca de la carcasa exterior de la chimenea por medio de módulos con soporte resistente y aislamiento acústico. Todos los conductos, tanto de suministro como de extracción de aire, están equipados con amortiguadores.

El aire de extracción es expulsado cerca de la carcasa exterior de la chimenea a través de tomas diseñadas para limitar la transmisión de ruido a la cubierta abierta a la intemperie. El aire de admisión es conducido a los espacios de máquinas con un sistema de distribución el cual está dentro del espacio que ofrece las salidas de aire fresco para así garantizar la máxima circulación de aire.

Todos los ventiladores de suministro y extracción están conectados a la alarma de incendios/ sistema de extinción de incendios con CO2 para proporcionar una "parada de emergencia" en caso de incendio. Los ventiladores se pueden controlar de forma remota o de forma manual, por lo tanto, en caso de que alguna de las dos formas de activación anteriores falle siempre se podrá contar con la otra para la puesta en servicio.

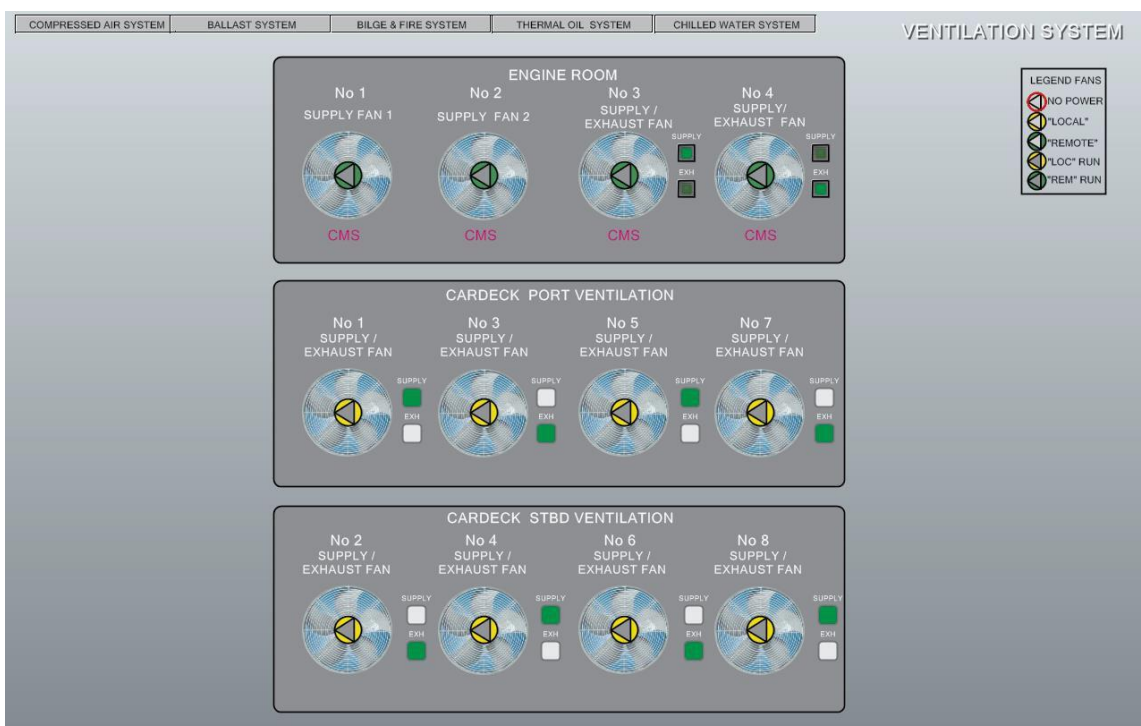


Figura 26: Sistema de ventilación – Fuente: Manual Wårtsilå Transas

4. Sistemas auxiliares

Toda la maquinaria de la sala de máquinas que ayuda, facilita o apoya el funcionamiento de la planta propulsora son considerados como sistemas auxiliares, sin la participación de algunos de ellos el motor principal no podría funcionar durante mucho tiempo.

Los siguientes sistemas auxiliares están presentes en el buque Ro-Pax:

- Sistema de hombre muerto
- Sistema de aire comprimido de servicio
- Sistema de aceite térmico
- Sistema depurador de gases de la combustión (Scrubber)
- Sistema de sentina y contra incendios
- Sistema de tratamiento de aguas residuales
- Sistema de manejo de carga
- Sistema de lastre
- Sistema de aire acondicionado
- Sistema de ventilación
- Sistema de aparato de gobierno
- Sistema de enfriamiento de suministros
- Sistema hidráulico de los estabilizadores de aletas;
- Hélice de proa

Más adelante, se define de forma breve el sistema de aceite térmico y sus componentes ya que dicho sistema es indispensable para llevar a cabo la operativa de arranque de la planta propulsora.

4.1 Sistema de aceite térmico

En los barcos es necesario un medio de transferencia de calor donde el calentamiento directo de un proceso no es prácticamente posible, por este motivo, se utiliza el sistema de aceite térmico.

La implementación de un sistema de aceite térmico en el buque puede proporcionar ahorros significativos de combustible, así como una reducción de la carga de trabajo ya que dicho sistema es conocido por su larga vida útil, bajo mantenimiento y alta eficiencia.

El sistema de aceite térmico se aplica habitualmente para calentar el combustible (HFO) de los barcos, de esta manera el combustible consigue la viscosidad adecuada para fluir sin problemas a través de las tuberías y para ser correctamente pulverizado por los inyectores del motor. También se usa para calentar el aceite lubricante de los tanques de servicio, tal como se puede apreciar en la Figura 27.

Este tipo de sistema ha reemplazado a los sistemas tradicionales de vapor o agua, ya que funciona a una presión muy baja, lo cual minimiza los riesgos de peligro. También ofrece una mayor eficiencia y elimina los problemas de corrosión y congelamiento. Por no mencionar que está especialmente diseñado para recuperar la máxima energía posible de los gases de combustión del motor principal del barco.

El sistema de aceite térmico está compuesto por dos economizadores, una caldera de aceite, dos bombas de circulación de aceite térmico, tuberías con válvulas e indicadores digitales de temperatura, presión y caída de presión, entre otros.

4.1.1 Descripción del sistema de aceite térmico

En los sistemas de fluidos térmicos, el calor se transfiere a los consumidores por medio de un fluido de transferencia, generalmente un aceite mineral.

El sistema de aceite térmico se utiliza en los barcos para transferir energía térmica (suministrar calor) a varios tipos de consumidores, por ejemplo, tanques de HFO, tanques de sedimentación, purificadoras de combustible y para calentar todo tipo de carga (productos derivados del petróleo, productos químicos, entre otros).

Dos bombas hacen circular el aceite a través del sistema cerrado, pasando a través del calentador y de los economizadores hasta llegar a los consumidores. Después el aceite vuelve al sistema a través de la tubería de retorno y el ciclo vuelve a comenzar.

Como se ha mencionado antes, se aprovechan los gases de combustión del motor principal para calentar el aceite térmico. Cuando esto no es suficiente para que el aceite térmico alcance la temperatura deseada, se pone en marcha la caldera de aceite. Con la ayuda de esta caldera conseguimos que el aceite térmico alcance esa temperatura deseada.

El aceite permanece en fase líquida durante todo el proceso, lo que permite altas temperaturas con las presiones más bajas posibles. La simplicidad del sistema y la naturaleza no corrosiva del aceite hacen de dicho sistema una solución muy confiable, de bajo mantenimiento, alto rendimiento y respetuoso con el medio ambiente. Por último, se utiliza un tanque de expansión para compensar el aumento de volumen del fluido térmico.

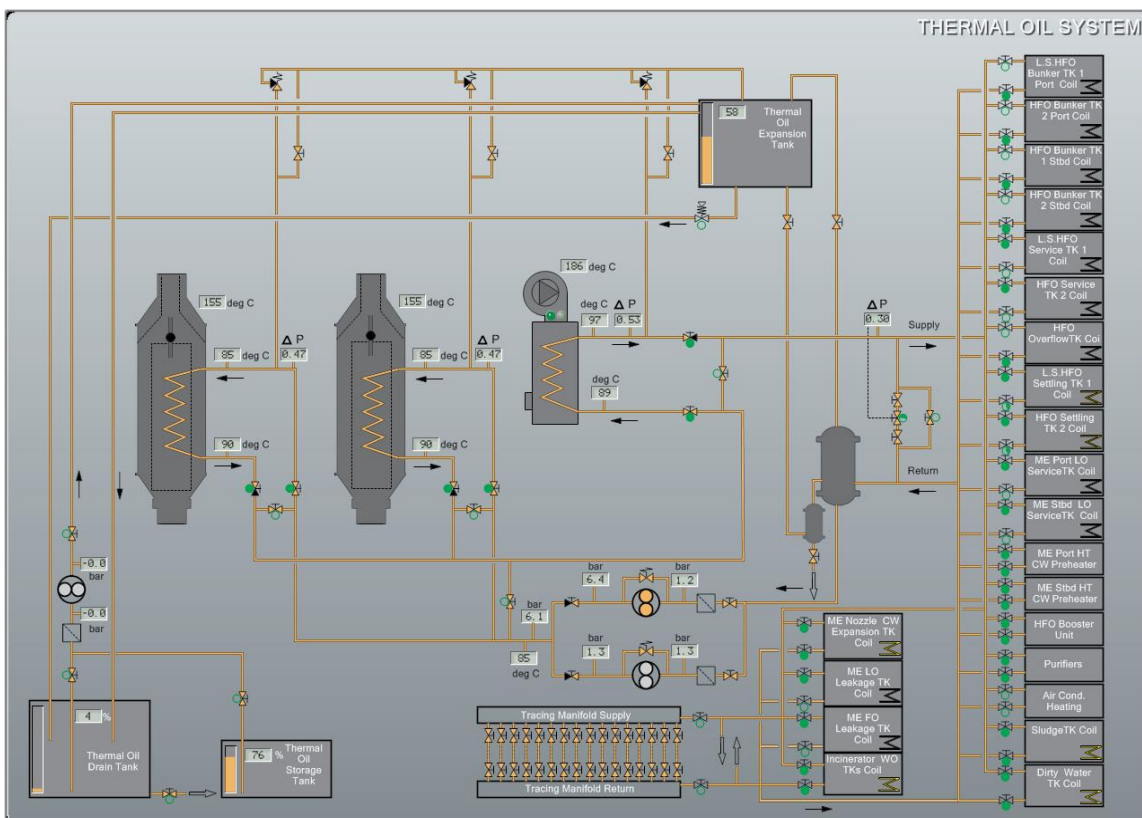


Figura 27: Sistema de aceite térmico – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

5. Planta eléctrica

Con el paso del tiempo el diseño de los sistemas de propulsión, potencia y control de los buques ha sufrido cambios y avances significativos. Por no mencionar que, a causa de la rápida expansión de las capacidades de las computadoras, las redes de comunicaciones y los microprocesadores, la integración de sistemas que tradicionalmente eran independientes y autónomos ya no solo es factible, sino que además se está convirtiendo en un estándar dentro de la industria marítima.

Las interconexiones de los diversos sistemas que se encuentran en una embarcación se han vuelto cada vez más complejas, lo que hace que el diseño, la construcción y los componentes de una embarcación se hayan tenido que actualizar y modernizar para hacer frente a este reto.

Debido a la implementación de sistemas automatizados en los buques cada vez es más frecuente encontrar equipos marinos que consumen energía eléctrica para realizar su cometido. La energía eléctrica es esencial para la operatividad y la navegación del buque, por esta razón, es necesario disponer a bordo de una fuente de suministro constante de electricidad.

En el buque Ro-Pax disponemos de un sistema autónomo de generación de energía eléctrica con el cual debemos satisfacer las demandas de energía eléctrica para poder realizar las actividades habituales del buque, en otras palabras, la electricidad se genera, suministra y distribuye a bordo del barco hasta llegar a los consumidores eléctricos.

La generación de electricidad marina se puede realizar a bordo de los barcos mediante diésel generadores, de cola o turbogeneradores.

Una planta eléctrica en mal estado puede acarrear serios problemas cuando navegamos, mantenerla siempre en un estado óptimo evitará que surjan fallos inesperados o situaciones de emergencia. Además, la planta eléctrica de la que dispongamos a bordo deberá de cumplir una serie de requisitos de calidad, fiabilidad y seguridad.

En el siguiente apartado se explica de forma breve los diferentes equipos eléctricos que son necesarios para levantar la planta eléctrica (restablecer la energía) desde la condición de buque frío.

5.1 Descripción de la Planta eléctrica

El sistema de energía eléctrica del barco está diseñado para satisfacer las demandas de energía eléctrica en condiciones estándar y de emergencia. Dicho sistema consiste en la planta eléctrica, la red eléctrica y los consumidores de energía. La red eléctrica del buque a su vez está formada por cuadros de distribución (cuadro de distribución principal, MSB y cuadro de distribución de emergencia o tablero de interruptores de emergencia, ESB) y cables eléctricos.

La planta eléctrica del Ro-Pax está formada por un generador de cola, tres diésel generadores, un generador de emergencia, el cuadro de distribución principal (MSB), cuadro eléctrico de emergencia (ESB), cuatro transformadores y un grupo de baterías.

Los parámetros de los generadores son los siguientes:

Generador de cola	440 V, 1160 kW, 1800 A, 60 Hz, 1800 RPM
3x Diésel generadores	750 kVA, 600 kW, 440 V, 1000 A, 60 Hz, 1200 RPM
Generador de emergencia	330 kVA, 260 kW, 440 V, 450 A, 60 Hz, 1800 RPM

Tabla 7: Parámetros de los generadores – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

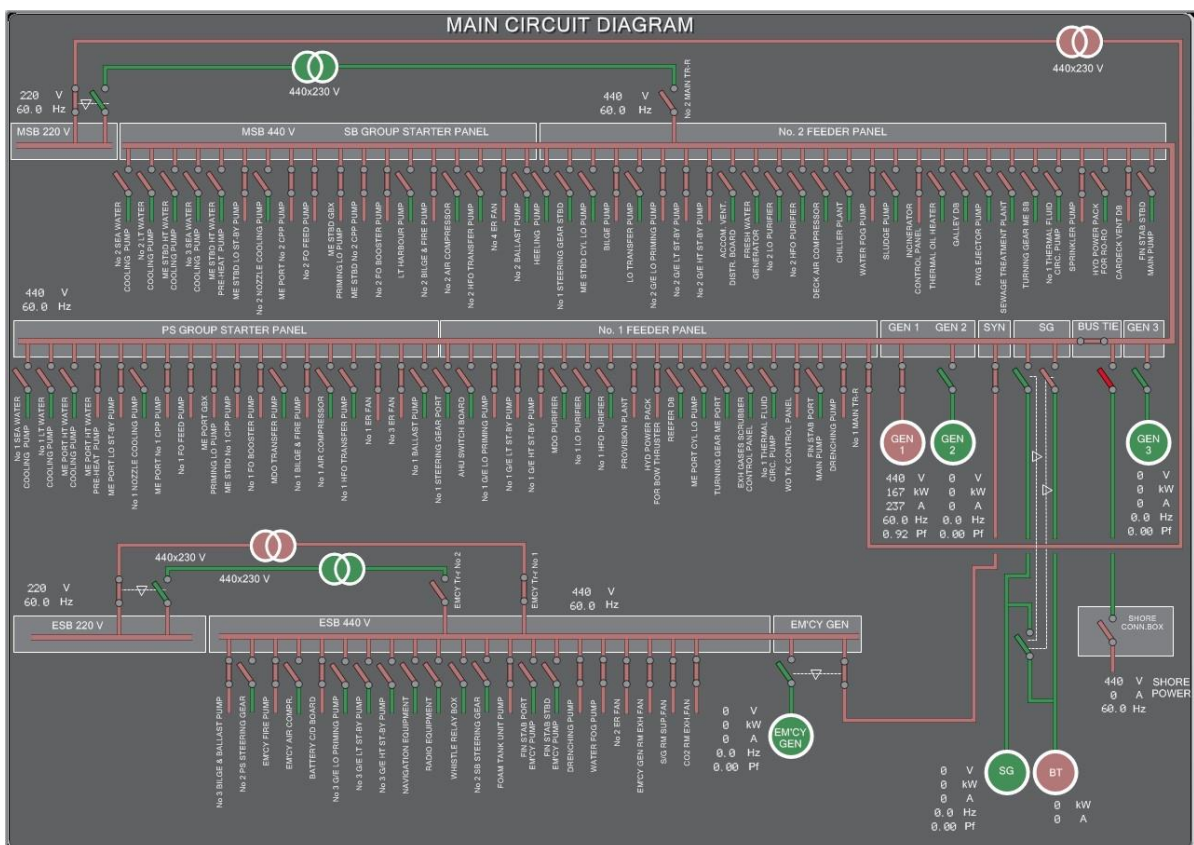


Figura 28: Esquema eléctrico de la Planta eléctrica del Ro-Pax – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

5.2 Componentes de la planta eléctrica

5.2.1 Grupo diésel generador

El generador funciona según el principio de que cuando varía un campo magnético alrededor de un conductor, se induce una corriente en dicho conductor.

Esta máquina consta de un conjunto estacionario de conductores enrollados en bobinas sobre un núcleo de hierro. Esto se conoce como el estator. Un imán giratorio llamado rotor gira dentro de este estator produciendo un campo magnético. Este campo atraviesa el conductor, generando una corriente inducida (FEM) o fuerza electromagnética a medida que la fuerza mecánica hace que el rotor gire.

El campo magnético se genera por inducción (en un alternador sin escobillas) y por un devanado del rotor energizado por corriente continua a través de anillos colectores y escobillas.

El diésel generador es una máquina que utiliza combustible fósil como fuente de energía para generar energía eléctrica. Se usa diésel para alimentar el motor del generador debido a que es una fuente de energía más segura que la gasolina, dado que es menos volátil y tiene un punto de inflamación mucho más elevado. Por no mencionar que el combustible diésel es más económico.

El tipo y número de diésel generadores a bordo dependerá del tamaño del buque y de su equipamiento eléctrico y electrónico. Si se tienen en cuenta estos factores se obtendrá un sistema seguro, funcional y económico.

El buque Ro-pax consta de 3 diésel generadores los cuales se pueden configurar como stand-by mientras que uno o dos generadores están en activo. Los generadores que están en activo se usan para proporcionar energía eléctrica a todos los equipos eléctricos del buque, dejando a los generadores que están en modo stand-by para hacer frente a cualquier carga inusualmente alta o para proporcionar seguridad durante las maniobras.

Si se requiere una inspección o se detecta algún problema en el generador que está de servicio, entonces el generador que está en modo stand-by se inicia de manera automática y reemplaza al generador que está de servicio. De esta manera, se evita un “blackout” (la caída de la planta eléctrica) ya que ofrece a la tripulación un tiempo considerable para tratar de resolver la avería que pueda haber en el suministro eléctrico.

El abastecimiento de los diésel generadores se realiza con combustible purificado de los tanques de servicio de MDO.

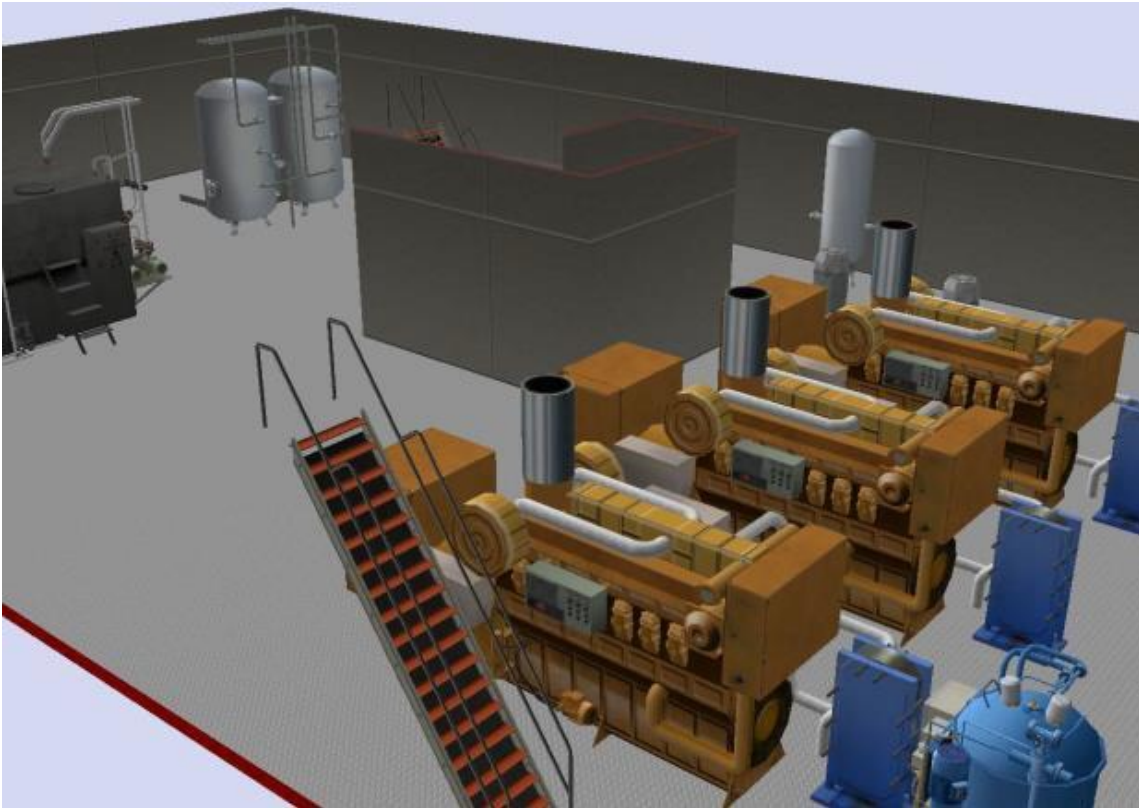


Figura 29: Tres unidades de diésel generadores – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

5.2.2 Generador de emergencia

El propósito del generador de emergencia es suministrar energía eléctrica a los servicios esenciales, de emergencia, en caso de que falle la energía eléctrica principal del buque. Se tiene que iniciar y luego conectarse al cuadro de distribución de emergencia lo más rápido posible, en un intervalo de tiempo inferior a 45 segundos. Esta máquina continuará en funcionamiento hasta que la tripulación subsane el fallo y se restablezca el suministro principal de energía eléctrica.

Por esta razón, se requiere que el generador de emergencia sea de arranque automático, completamente independiente del resto de sistemas del buque, con depósito de combustible propio, unidades independientes de refrigeración, doble sistema de arranque (de forma automática y manual) y con un cuadro de distribución de emergencia.

Generalmente, cuando se inicia el proceso de arranque en frío, el primer arranque no suele tener éxito, por este motivo, el arrancador automático se programa para que arranque tres veces durante un periodo de 30 segundos. Después de tres arranques fallidos, el proceso se detiene y se emite una alarma.

El depósito de combustible debe tener capacidad para abastecer de combustible al generador de emergencia para que funcione a plena carga durante un número determinado de horas. Para los buques de carga el tiempo es de 18 horas, para los buques de pasaje son 36 horas y para las embarcaciones de servicios especiales son 12 horas.

Los servicios de emergencia comprenden la comunicación interna y externa, la bomba contraincendios de emergencia, la bomba de achique de emergencia, la bomba de rociadores, el alumbrado de transición, el alumbrado de emergencia, las luces de navegación, la detección de incendios, incluidas las alarmas, el aparato de gobierno y las puertas estancas, entre otros.

El arranque del generador de emergencia consigue que la sala de máquinas del buque vuelva a funcionar en el caso de que todos los generadores y, por supuesto, el motor principal se haya detenido y los recipientes de aire y las baterías estén vacíos.

Los cuadros de distribución de emergencia que dispongan de controles a distancia desde el cuadro de distribución principal deben tener dichos controles diseñados de forma que la avería del cuadro de distribución principal o de los cables entre el cuadro de distribución de emergencia y el cuadro de distribución principal no afecte al funcionamiento del generador de emergencia.

Los generadores de emergencia deben ser inspeccionados de forma periódica ya que dependemos de ellos en caso de avería, incendio o inundación para mantener los servicios de navegación, seguridad y alumbrado de emergencia.

5.2.3 Generador de cola

El buque Ro-Pax está equipado con un generador de cola que está colocado en el eje de propulsión principal del buque. La instalación de dicho generador se puede realizar directamente en el eje de propulsión principal o, también, añadiendo una reductora al eje de propulsión principal.

El generador de cola (SG) se puede arrancar cuando el motor principal del buque se acelera y se configura a una velocidad apropiada para que dicho generador suministre corriente trifásica de voltaje y frecuencia útil a la red eléctrica del buque. Por este motivo, el único momento en que el generador de cola puede usarse para suministrar energía es cuando el barco está navegando a una velocidad constante (en modo RPM constante).

Como el generador de cola es accionado por el motor principal, la variación de la velocidad de dicho motor afecta a la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, la velocidad de un buque varía cuando está navegando en aguas con tráfico marítimo, durante el cruce de canales, al entrar y salir del puerto, etc. Estas situaciones dan como resultado una variación en el voltaje y la frecuencia de la energía eléctrica producida por el generador de cola. Para evitar este tipo de problemas se suele instalar un convertidor de frecuencias lo cual permite que a velocidades variables del motor principal se pueda suministrar una corriente trifásica de voltaje y frecuencia constante a la red eléctrica.

La mayoría de los barcos operan a 440 V y 60 Hz. Este tipo de generador suministra energía eléctrica al cuadro de distribución principal y luego este mecanismo lo envía a los servicios esenciales del buque. En el buque Ro-Pax no es posible el funcionamiento en paralelo de los diésel generadores y del generador de cola, esta última afirmación aparece reflejada en el manual del Ro-Pax. Es necesario realizar una serie de pruebas para verificar dicha afirmación puesto que parece una incoherencia.

Una de las ventajas de instalar un generador de cola en un barco es que dicho generador es más eficiente a la hora de producir la misma cantidad de energía eléctrica que a través de otro equipo más pequeño, además aumentaría la carga total del motor principal haciendo que se aproximara al valor de carga óptima, dónde el punto de consumo de HFO es mínimo. Otras de las ventajas serían: reducción de emisiones de ruido, reducción de horas de trabajo de los diésel generadores y reducción ligera del consumo total de combustible. Por último, el generador de cola es también conocido como una fuente de energía verde ya que no quema ningún combustible adicional para generar energía eléctrica.

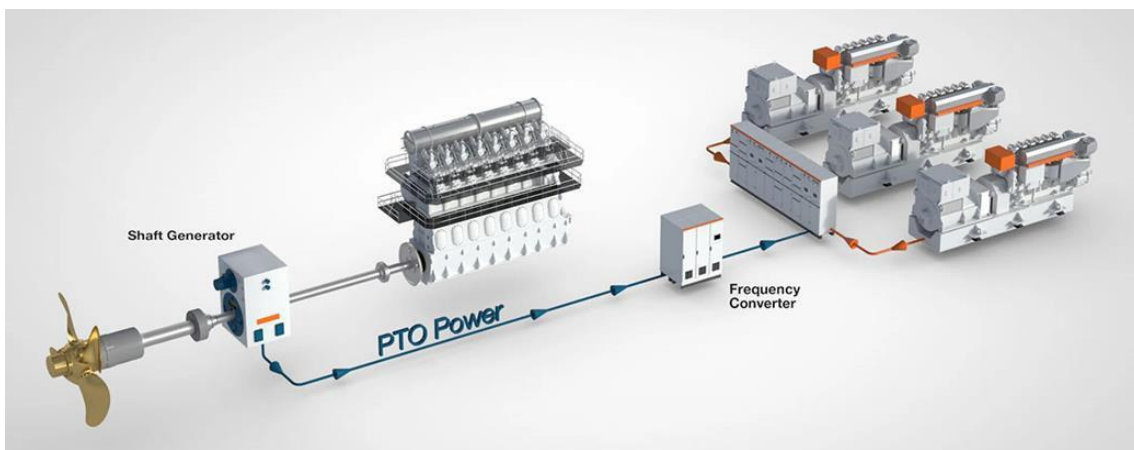


Figura 30: Esquema completo de un generador de cola colocado en el eje de propulsión principal – Fuente: Manual Wärtsilä Transas



Figura 31: Generador de cola – Fuente: Buque real



Figura 32: Cuadro del generador de cola – Fuente: Buque real

5.2.4 Cuadro de distribución principal

El cuadro de distribución principal es un conjunto integrado de controles de conmutación, indicadores y dispositivos de protección, instrumentos de medición y equipos reguladores, en definitiva, es un elemento necesario para controlar de forma centralizada y eficiente a los equipos eléctricos y diésel generadores. Dicho cuadro es alimentado directamente por la fuente principal de energía eléctrica y está diseñado para distribuir energía eléctrica a los consumidores de energía del buque.

El cuadro de distribución principal se encuentra generalmente en la sala de máquinas. Este lugar normalmente está situado por debajo de la línea de flotación del barco, por consiguiente, en caso de inundación o incendio es muy probable que los generadores principales y el cuadro de distribución principal queden inhabilitados.

Es muy importante aislar cualquier tipo de fallo o avería en un sistema eléctrico que recibe energía desde el cuadro de distribución principal (MSB) ya que de lo contrario el mencionado fallo afectará a todos los demás sistemas conectados al cuadro de distribución principal. Si no se realiza un aislamiento, incluso un cortocircuito en un sistema pequeño puede provocar un “Black Out”.

Por esta razón, se usan diferentes dispositivos de seguridad y se instalan en el cuadro de distribución principal. Esto garantiza el funcionamiento seguro y eficiente de los equipos y sistemas esenciales del buque, además de garantizar la seguridad de la tripulación frente a descargas eléctricas.

Si ocurriera un fallo en algún lugar, un dispositivo de protección apropiado en el cuadro de distribución se activará para desconectar el circuito averiado.

Los dispositivos de seguridad más importantes instalados en el cuadro de distribución principal son:

- **Fusibles:** se emplean principalmente para la protección contra los cortocircuitos. Si la corriente que pasa por el circuito excede el valor seguro, el material del fusible se derrite y aísla el MSB del sistema averiado.
- **Disyuntores:** consiste en un dispositivo de apagado automático que se activa durante una anomalía en el circuito eléctrico, especialmente durante sobrecargas o cortocircuitos.

A pesar del uso de estos dispositivos, se tiene que realizar un mantenimiento de forma periódica ya que dicho mantenimiento juega un papel importante en la seguridad del cuadro de distribución principal.

Por último, el cuadro de distribución principal dispone de varios dispositivos de monitoreo y medición, por ejemplo, amperímetros, voltímetros, medidores de frecuencia, vatímetros, sincroscopio, ohmímetro, etc.

5.2.5 Cuadro de distribución de emergencia

El cuadro de distribución de emergencia es un elemento que se utiliza durante la avería de la fuente principal de energía eléctrica, también se utiliza en condiciones normales pero en este tipo de situaciones dicho cuadro es alimentado por uno de los diésel generadores principales.

En caso de emergencia, este panel es alimentado directamente por el diésel generador de emergencia y está diseñado para distribuir energía eléctrica a los servicios de emergencia (sistemas esenciales de iluminación, seguridad y comunicación).

Para garantizar que en cualquier caso de emergencia (como un incendio o una inundación) el generador de emergencia y el cuadro de distribución de emergencia no se vean afectados y sean de fácil acceso, deben estar ubicados por encima de la línea de flotación, por ejemplo, en la cubierta principal, completamente aislados del espacio de máquinas y cerca de la zona trasera del mamparo de colisión.

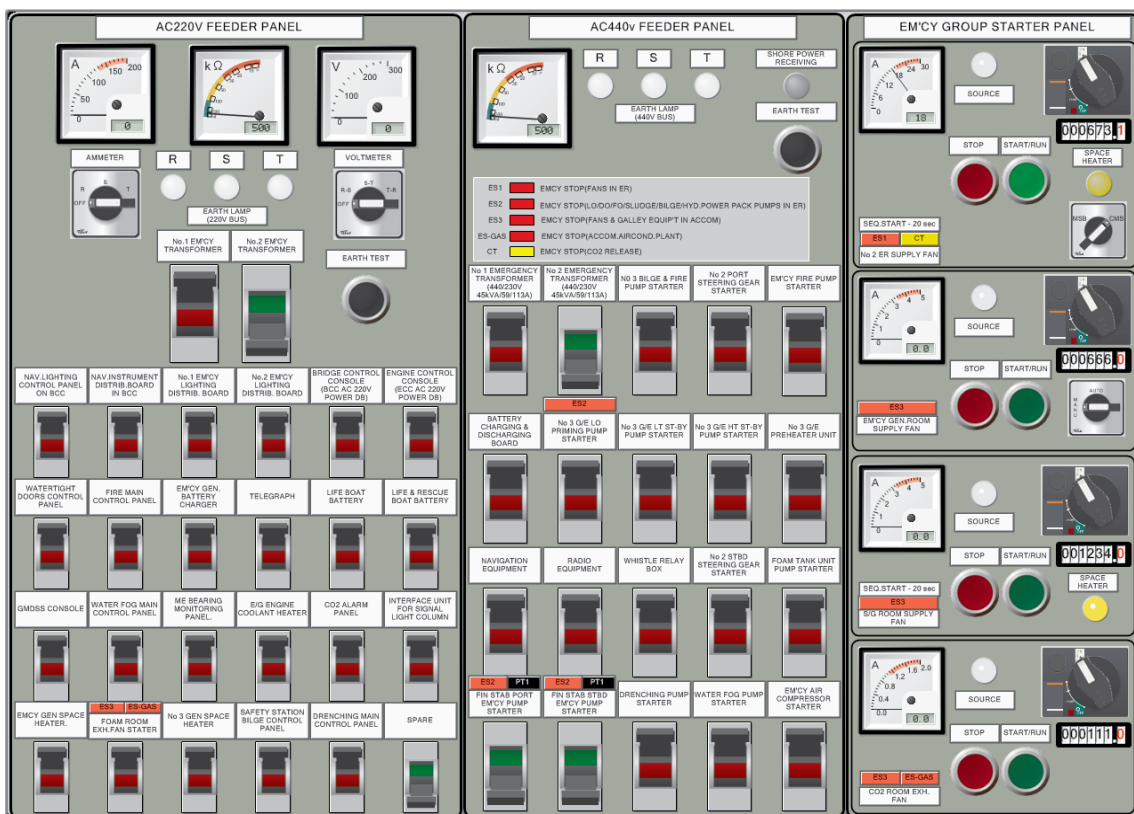


Figura 33: Cuadro de distribución de emergencia – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

5.2.6 Grupo de baterías

El buque Ro-Pax consta de un grupo de baterías recargables junto con varios circuitos y dispositivos de control.

En las baterías, la energía eléctrica se puede almacenar a través de un proceso químico. Al invertir este proceso, la energía se puede recuperar como energía de CC.

Las baterías son una excelente herramienta para almacenar electricidad y se pueden utilizar como una fuente de energía. Por esta razón, se suelen usar en caso de apagones, incendios y en otros tipos de situaciones de emergencia. También se pueden usar regularmente para proporcionar un suministro de CC de bajo voltaje a ciertos equipos y sistemas, tales como, instrumentos de comunicación, navegación, iluminación y señalización de emergencia, entre otros. Por lo tanto, las baterías se mantienen cargadas para usarse en caso de emergencia o necesidad de energía temporal.

Para proporcionar los servicios anteriores, se debe elegir el tamaño y el tipo de batería apropiada (plomo, iones de litio) y se les tiene que dar un mantenimiento adecuado y de forma regular.

Hay que tener en cuenta que las baterías solo pueden suministrar energía eléctrica para una demanda determinada durante un período de tiempo definido, según el tipo de batería pueden dar corriente a los equipos entre 18 a 36 horas.

Los grupos grandes de baterías necesitan ventilación a prueba de explosiones y enfriamiento para evitar el sobrecalentamiento. Por eso, las baterías están colocadas en una cubierta en donde hay suficientes aberturas para que ingrese el aire fresco. El hecho de conseguir una buena ventilación es de suma importancia para el mantenimiento de las baterías.

El objetivo de las baterías es generar un suministro eléctrico estable y seguro ya sea de forma individual o en combinación con uno o más diésel generadores (sistema híbrido).

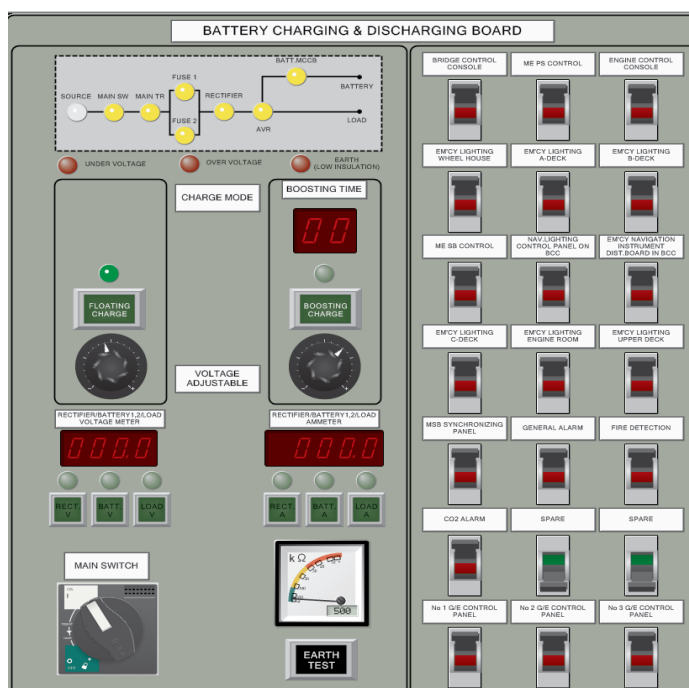


Figura 34: Panel de carga y descarga del grupo de baterías – Fuente: Manual Wärtsilä Transas

5.2.7 Sincronoscopio

El sincronoscopio es un aparato que sirve para apreciar si dos máquinas eléctricas tienen la misma secuencia de fases, la misma frecuencia, el mismo voltaje y el mismo ángulo de fase. Además, la sincronización de los generadores se lleva a cabo con la ayuda del sincronoscopio.

Un generador no puede ser conectado a la red eléctrica del buque a menos que los valores de los parámetros anteriores coincidan con los valores de los parámetros del generador que ya está alimentado a la red.

Si el indicador del sincronoscopio se mueve en el sentido de las agujas del reloj, significa que el generador entrante está girando más rápido que el generador que ya está alimentando la red. En cambio, si el piloto rojo del sincronoscopio se mueve en el sentido contrario a las agujas del reloj, significa que el generador entrante está girando más lento que el generador que ya está alimentando la red. Por esta razón, es vital que los valores de frecuencia, voltaje, ángulo y secuencia de fase sean prácticamente idénticos entre estos dos generadores para así poder efectuar una sincronización de manera correcta.

Existen varias situaciones en las cuales es necesario realizar un proceso de sincronización, a continuación, se definirán algunas de ellas:

- Para facilitar el reparto de la carga y así evitar el desgaste de los generadores debido a una carga excesiva.
- Para detener uno de los generadores por mantenimiento o avería y se debe de arrancar otro en su lugar. Esta acción se tiene que llevar a cabo cuando se está trabajando en paralelo para evitar la caída de la planta eléctrica.
- Para entrar o salir del puerto o navegar por vías estrechas de difícil acceso, se requiere el funcionamiento en paralelo de al menos 2 generadores para poder ejecutar dichas maniobras con seguridad.

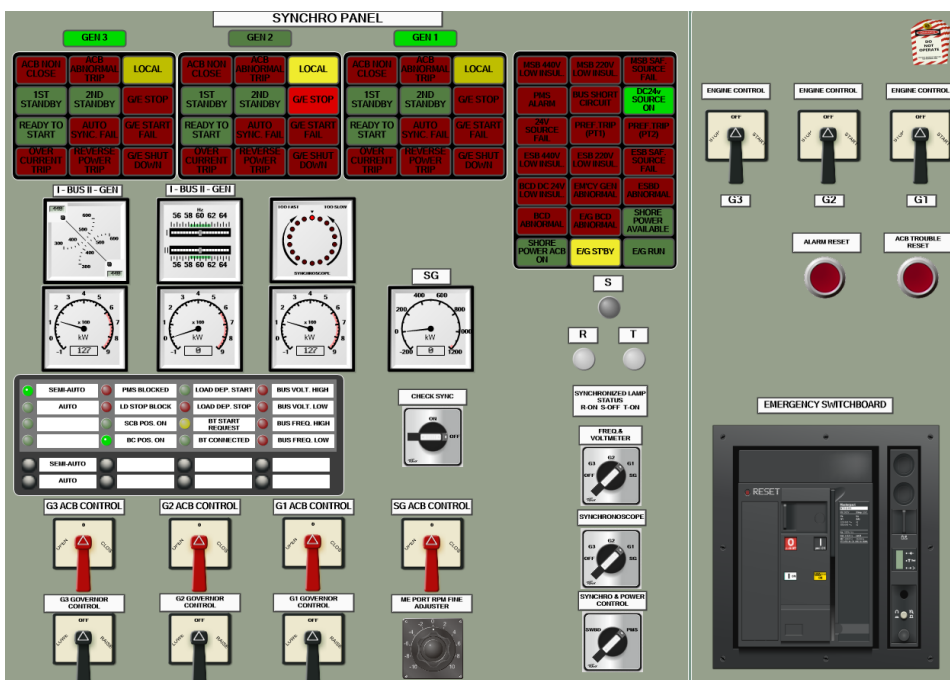


Figura 35: Panel del sincronoscopio – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

5.3 Sistema eléctrico de emergencia

La finalidad del sistema eléctrico de emergencia es proporcionar energía eléctrica de manera automática e inmediata a unos equipos y sistemas determinados los cuales son esenciales y vitales para la navegación. En otras palabras, es un sistema de energía eléctrica de reserva el cual entra en funcionamiento cuando se produce un fallo en la red eléctrica del buque.

Según el SOLAS todos los buques de pasajeros y de carga tienen que estar provistos de fuentes de energía eléctrica de emergencia, dichas fuentes se deberán de iniciar y conectar de forma automática en un rango de tiempo inferior a 45 segundos.

El generador de emergencia y su tablero de interruptores de emergencia están colocados en un compartimento exterior, alejado de la sala de máquinas. Todo ello para minimizar el riesgo de inundaciones (por encima de la línea de flotación), mantener una cierta independencia del resto de la instalación y del cableado principal y que dicha zona en caso de emergencia o fallo sea de fácil acceso.

El panel de interruptores de emergencia se encarga de distribuir la energía eléctrica que proviene del generador de emergencia a los servicios esenciales del barco después de un fallo o corte en la fuente de alimentación principal.

Los equipos y dispositivos que son suministrados con energía eléctrica del generador de emergencia suelen ser los siguientes:

- Iluminación de emergencia en habitación, pasillos, escaleras, salidas, ascensores, cubierta de los botes salvavidas, sala de máquinas, etc.
- Equipos de navegación
- Aparato de gobierno
- Bomba contra incendios de emergencia
- Compresor de aire de emergencia
- Grupo de baterías
- Sistema de alarma y detección de incendios
- Equipos de comunicación (radio)
- Lámpara de señalización diurna y tifón
- Alarma general
- Puertas estancas
- Todo el equipo de comunicación interna

5.3.1 Descripción del sistema eléctrico de emergencia

El sistema eléctrico de emergencia consiste en uno o más diésel generadores de emergencia, un panel eléctrico de emergencia, un grupo de baterías de emergencia y su panel de carga y descarga. La capacidad del conjunto de baterías de emergencia debe garantizar un suministro de energía no inferior a dos horas.

El generador diésel de emergencia se suele denominar como fuente de reserva principal y el conjunto de baterías de emergencia como fuente de reserva secundaria.

Se debe realizar un mantenimiento periódico (teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante) del sistema eléctrico de emergencia para garantizar que los grupos electrógenos y el cableado eléctrico funciona de manera correcta cuando reciben energía eléctrica del generador diésel de emergencia.

El generador diésel de emergencia está diseñado para funcionar de manera totalmente automática. Pero también se puede poner en marcha de manera manual, este método se usa principalmente para fines de inspección y mantenimiento, así como para dar una idea general de lo que se puede hacer en caso de que falle el circuito de control automático.

5.4 Sistema eléctrico principal

El sistema eléctrico principal está diseñado para suministrar energía eléctrica a los equipos o dispositivos eléctricos del barco durante las distintas condiciones de trabajo, tales como operaciones de carga y descarga, amarre y desamarre, estiba y desestiba, trasbordo de mercancías, tratamiento de residuos, navegación y fondeo.

El sistema está desarrollado de tal manera que, en todas las condiciones normales de operación, la energía se distribuye desde el cuadro de distribución principal.

5.4.1 Descripción del sistema eléctrico principal

Para garantizar la seguridad y la fiabilidad del suministro de energía eléctrica del buque, se suele disponer de dos o más diésel generadores (los valores de seguridad y fiabilidad aumentan exponencialmente si disponemos de más de dos generadores), para satisfacer las necesidades de energía eléctrica de todos los equipos eléctricos de a bordo.

El sistema eléctrico principal del buque Ro-pax dispone de tres diésel generadores y de un generador de cola (*shaft generator*) para producir energía eléctrica. Además, el sistema dispone del cuadro de distribución principal para controlar, supervisar y proteger a los generadores y equipos eléctricos.

La red eléctrica del barco está diseñada para entregar la energía eléctrica que proviene de la planta de energía eléctrica a los consumidores. La red eléctrica del barco suministra a los consumidores con corriente trifásica de 440 V y frecuencia de 60 Hz la cual es producida por los diésel generadores o los generadores de cola.

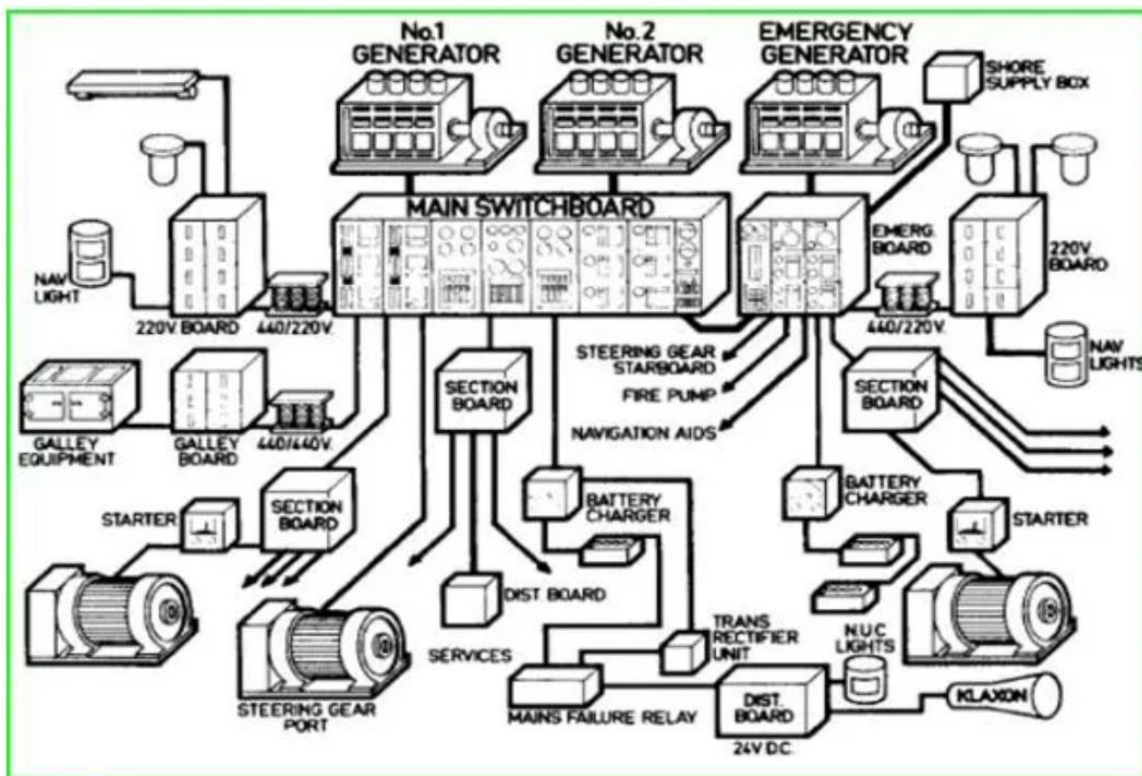


Figura 36: Sistema eléctrico principal – Fuente: Web Marine Machinery, Engines & Controls

6. Operativa de arranque de la maquinaria del buque de estudio

En este apartado se describirán los pasos a seguir para realizar la operativa de arranque de la planta de propulsión del buque Ro-Pax desde la condición de buque frío. Es decir, cuando todos los equipos y sistemas del buque estén inactivos y se reciba energía eléctrica por parte del generador de emergencia o desde tierra.

Para poder realizar el arranque de la planta propulsora primero se debe de poner en marcha la planta eléctrica, en otras palabras, el cuadro de distribución principal debe de recibir energía eléctrica procedente de los diésel generadores.

6.1 Preparación de la planta eléctrica

Antes de proceder con el arranque de los diésel generadores se debe comprobar que el nivel de aceite lubricante, depósitos de aire comprimido, agua de refrigeración de alta y baja temperatura de agua dulce y del tanque de combustible estén dentro de un rango determinado de trabajo. Si se arrancan los diésel generadores y no se cumple lo mencionado anteriormente, entonces se producirá un fallo en el arranque y, por consiguiente, deformaciones o daños en la maquinaria.

Normalmente se debería de verificar que a los diésel generadores les llega combustible antes de arrancarlos, pero esta acción ya no es necesaria debido a que los motores de los diésel generadores llevan una bomba de combustible acoplada que levanta presión cuando el motor gira y las válvulas de suministro de dicho combustible son automáticas. Por este motivo, ya no es necesario llevar a cabo dicha verificación.

También se debe de comprobar que se han realizado las siguientes acciones:

1. Ir al panel **LOP GE 3 (AER→ Generator Engine 3)**, seleccionar la posición AUTO en las bombas ST-BY LT, ST-BY HT y PRELUB.
2. Ir al panel **EM'CY GEN ENGINE LOP (EmG→ EM'CY DE LOP)**, mover OPERATION SWITCH a posición AUTO.
3. Ir a **EMERGENCY GENERATOR PANEL (EmG→ EMCY Gen Panel)**, el ACB MAIN SWBD SOURCE debería de estar abierto ya que venimos de una condición de buque frío pero si no lo está hay pulsar el botón O en MAIN SWBD SOURCE.
4. Esperar que la bombilla GEN.RUN se ilumine.
5. Pulsar el botón I de EM'CY GEN para suministrar energía al ESB.
6. Ir a **MAIN CIRCUIT DIAGRAM (MSB→ MCD)**, comprobar que el generador de emergencia está conectado a la red.

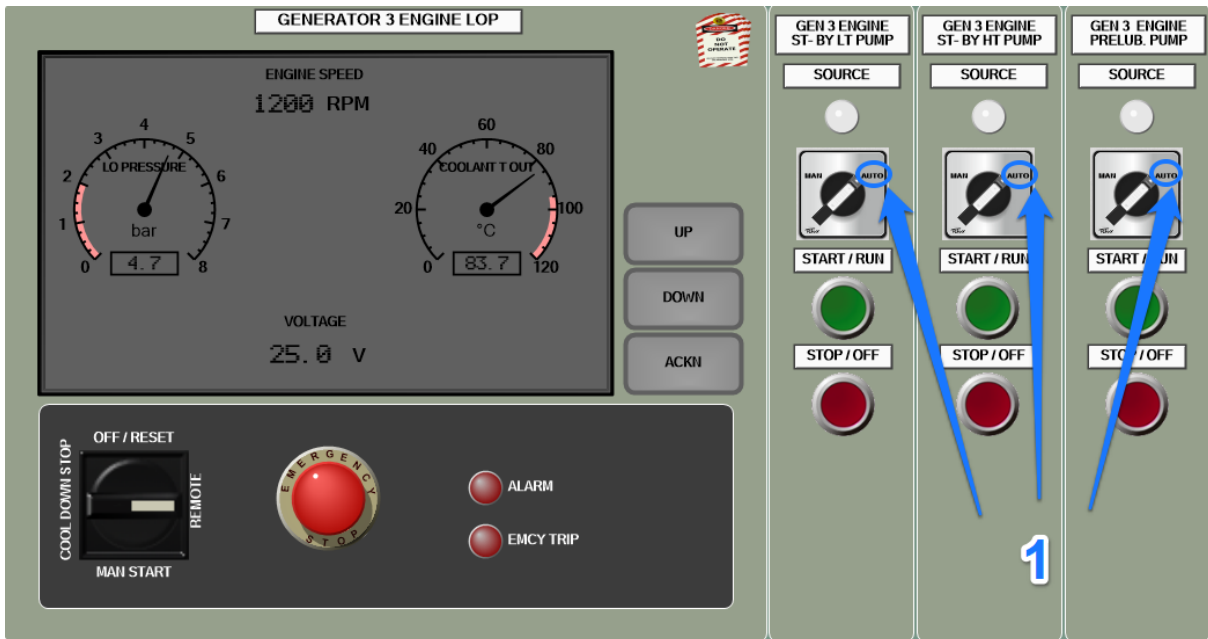


Figura 37: Procedimiento de preparación del diésel generador 3 – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

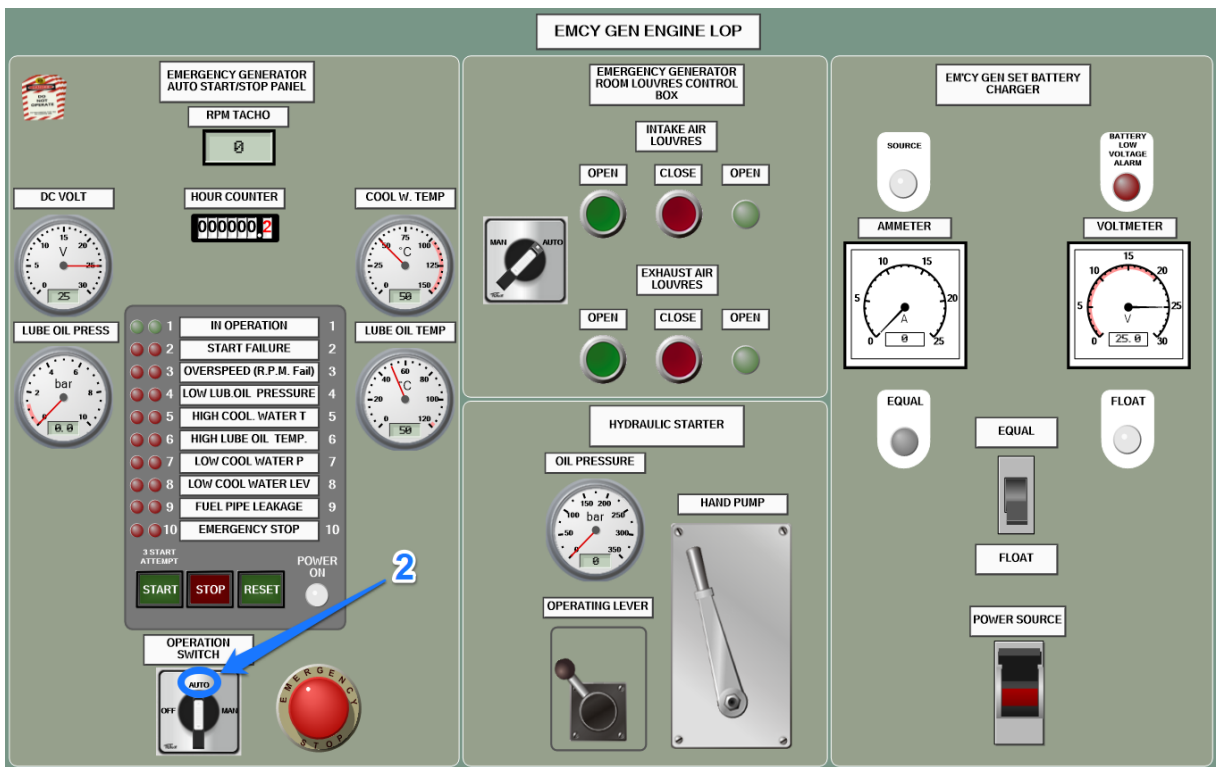


Figura 38: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

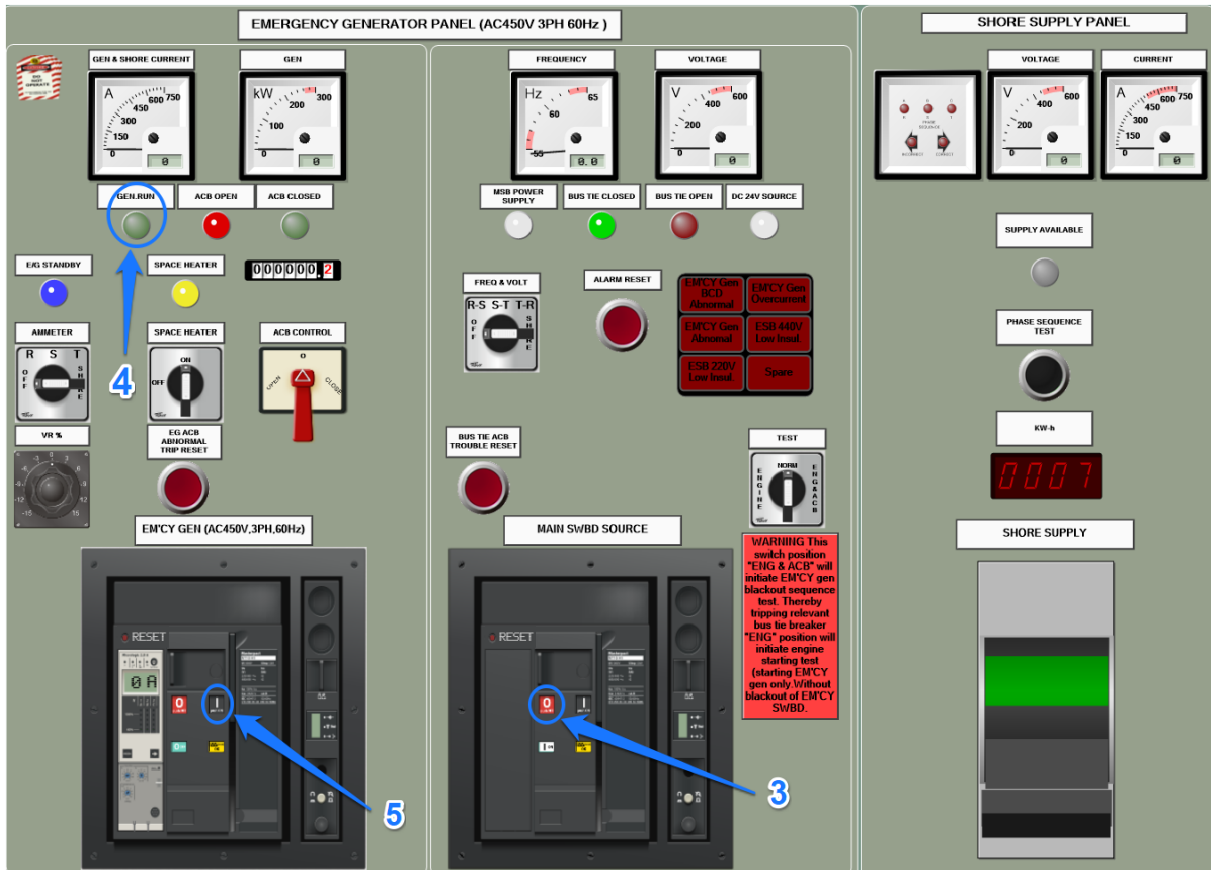


Figura 39: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

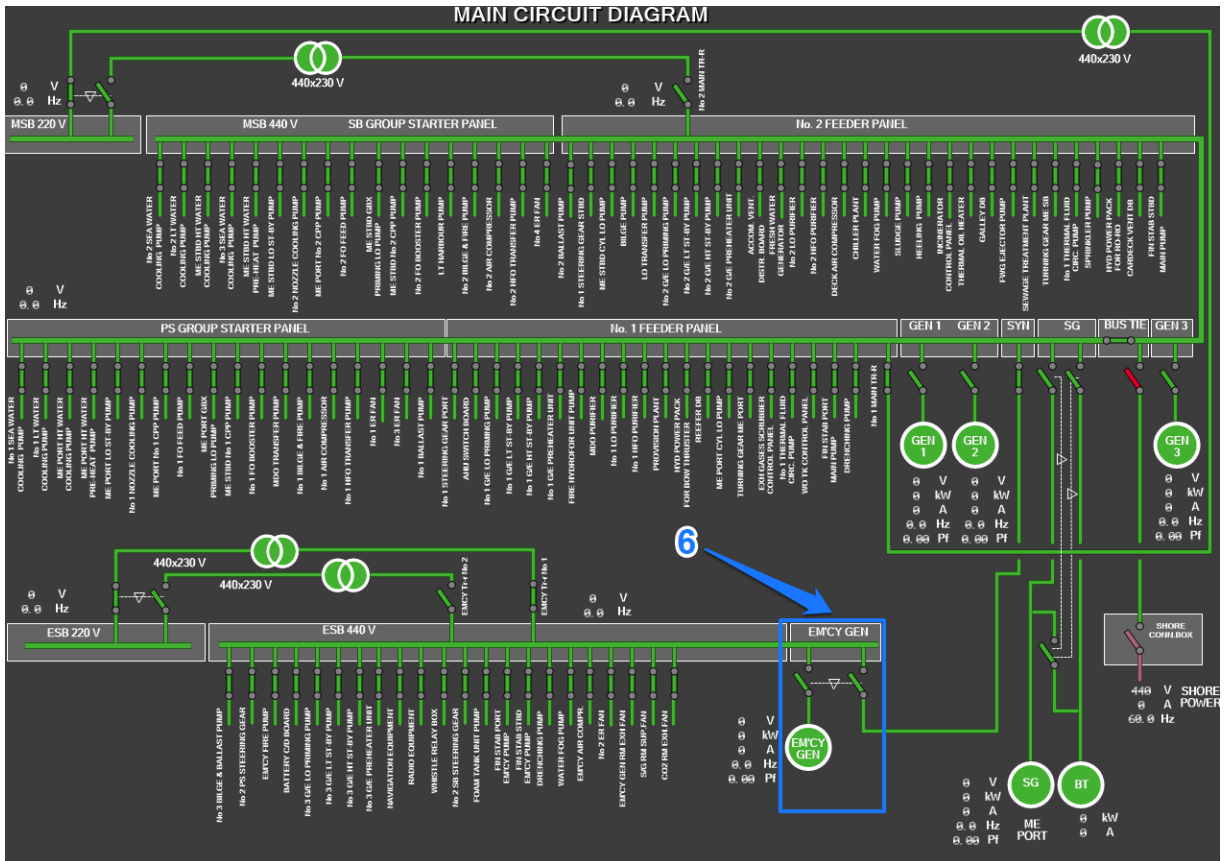


Figura 40: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

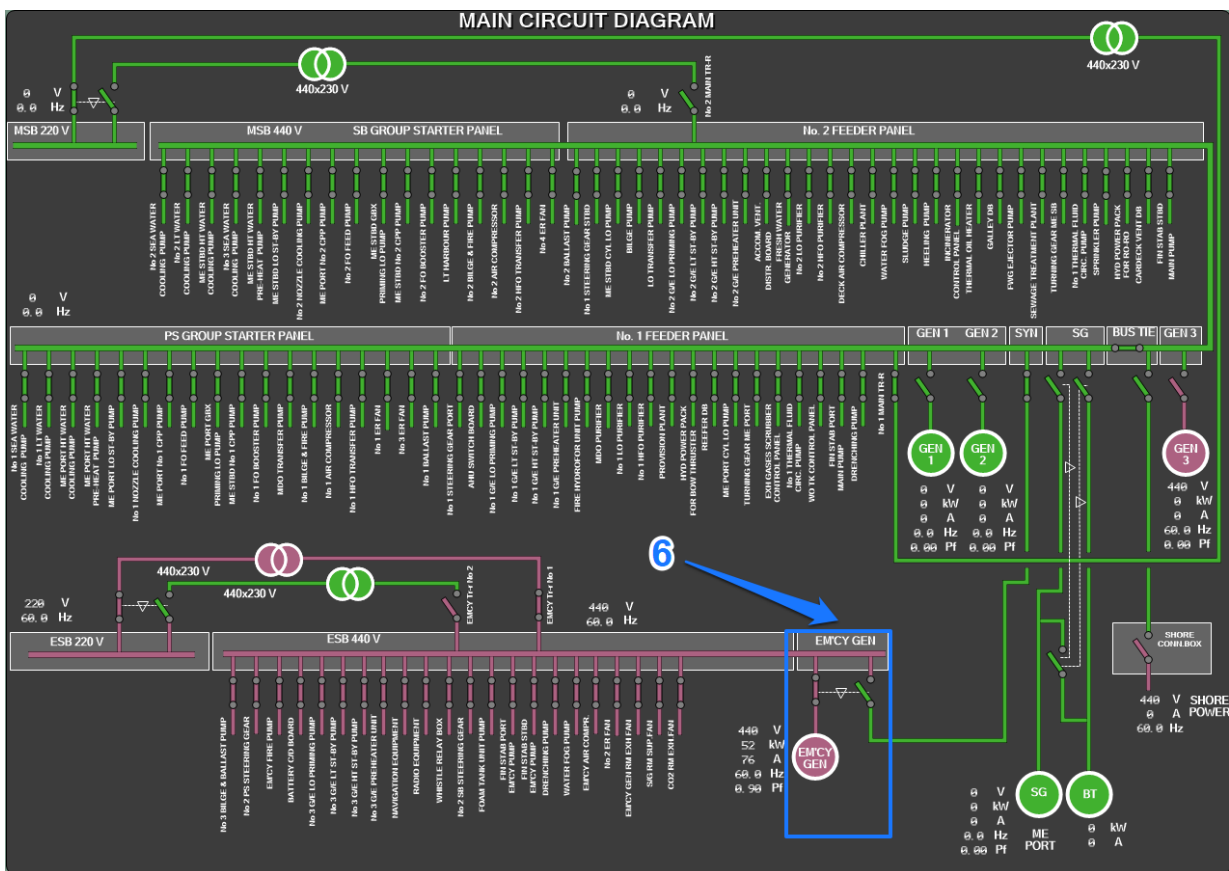


Figura 41: Procedimiento de preparación del generador de emergencia (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

El procedimiento anterior es para preparar el diésel generador 3, para preparar los diésel generadores 1 y 2 se tiene que llevar acabo solo la primera acción. Como el generador de emergencia solo permite el arranque del diésel generador 3, tal como aparece reflejado en el MCD (Main Circuit Diagram), se empieza la operativa arrancando dicho generador.

A continuación, se explicará el procedimiento para arrancar y operar el diésel generador 3:

1. Ir a **BUS TIE PANEL (MSB → MSB Gen 3, Bus Tie Panel)**, verificar que el interruptor SHORE MCCB está abierto. De esta manera nos aseguramos de que no se está recibiendo energía eléctrica desde tierra.
2. Ir al panel **LOP GE 3 (AER → Generator Engine 3 LOP)**, seleccionar la posición MAN START. A continuación, esperar que el indicador del panel ENGINE SPEED llegue al valor de 1200 RPM. Por último, seleccionar la posición REMOTE.
3. Ir a **SYNCHRO PANEL (MSB → Synchro Panel)**, seleccionar la opción OFF en CHECK SYNC; girar la manija roja de G3 ACB CONTROL hasta la posición de CLOSE y mantener esta posición hasta que la bombilla GEN 3 se ilumine. Otra opción sería pulsar el botón I en N°3 GENERATOR ACB y esperar que la bombilla GEN.RUN se ilumine.
4. Ir a **MAIN CIRCUIT DIAGRAM (MSB → MCD)**, comprobar que el GEN 3 está conectado a MSB. I también comprobar que el generador de emergencia se ha desconectado de manera automática.

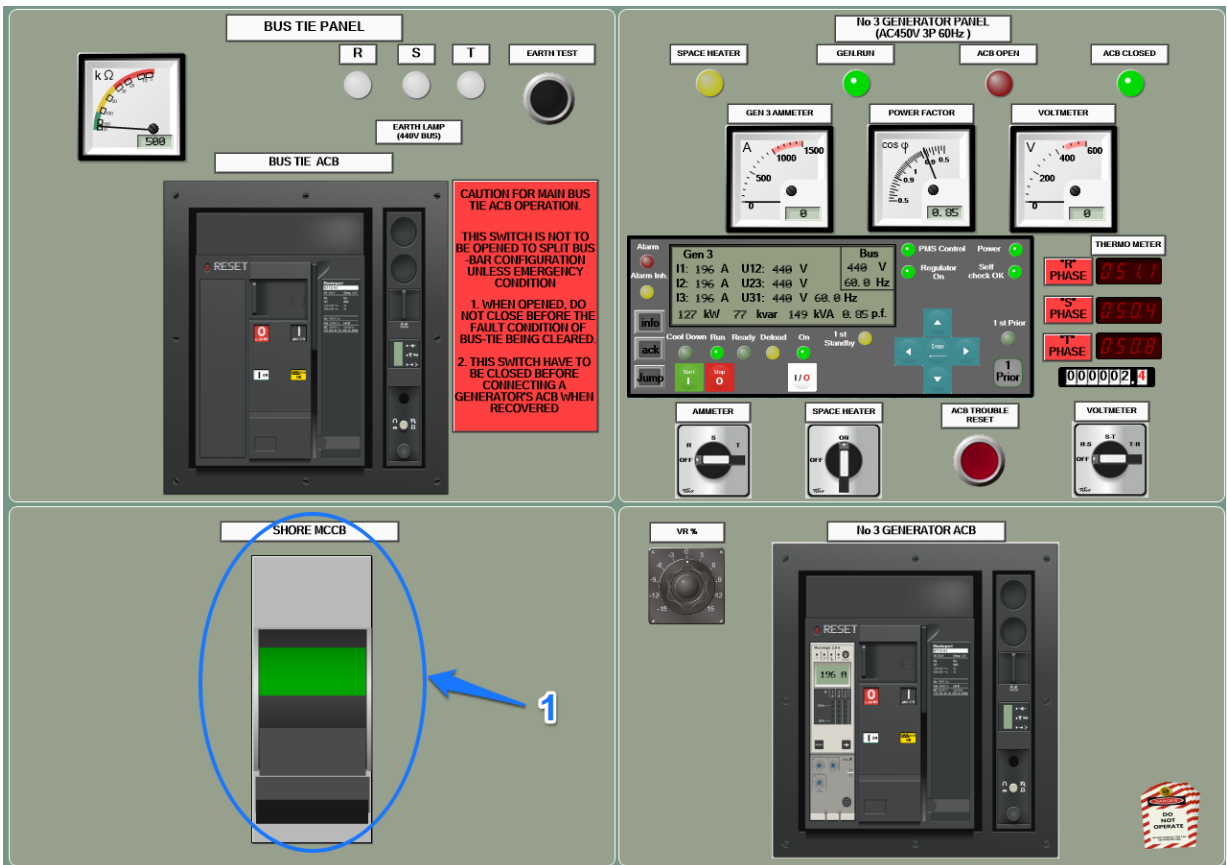


Figura 42: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

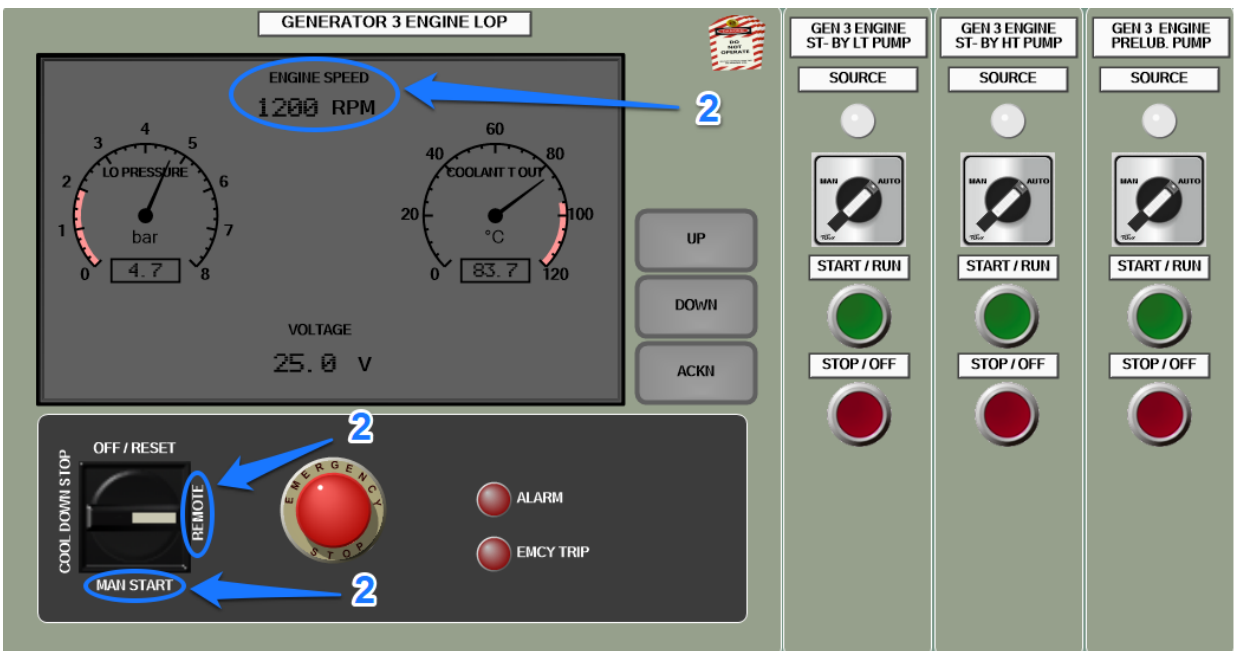


Figura 43: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

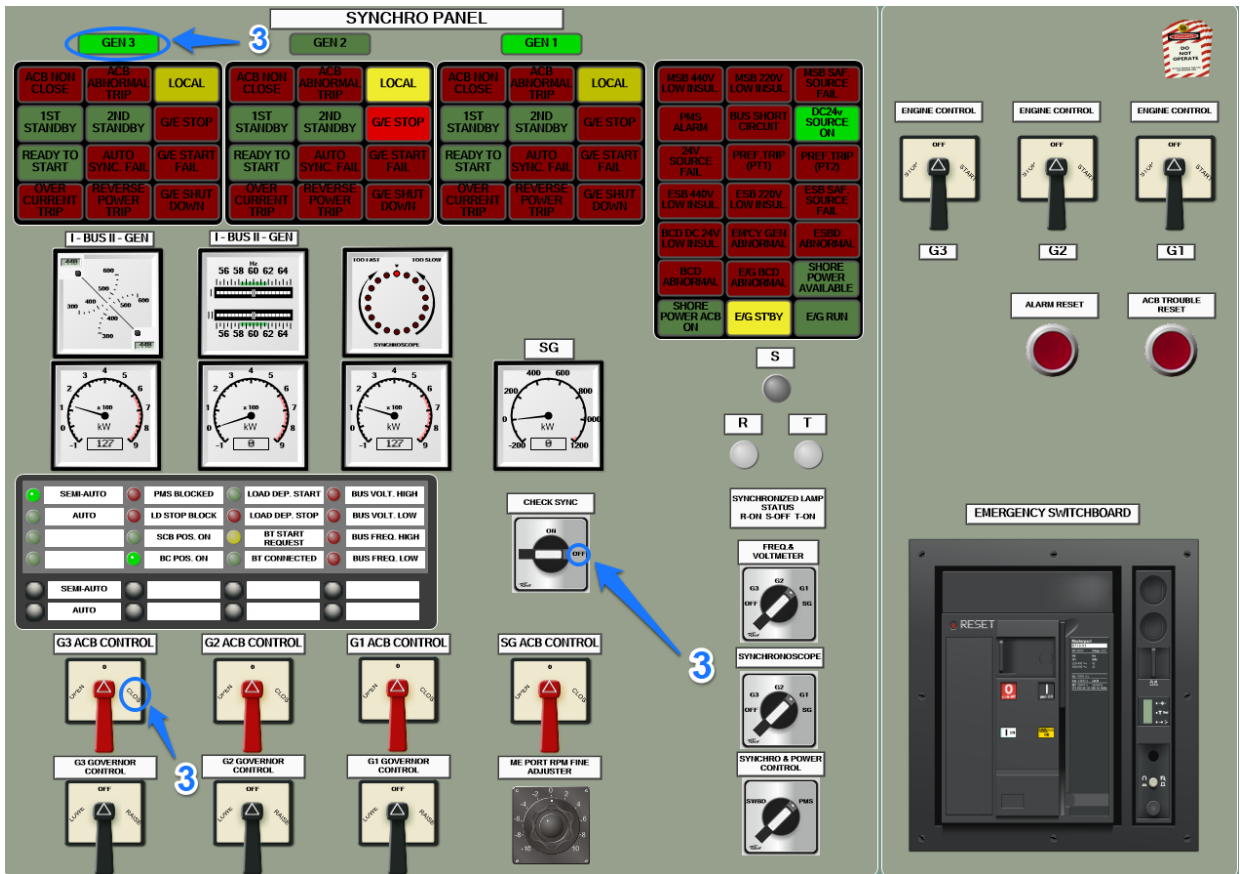


Figura 44: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

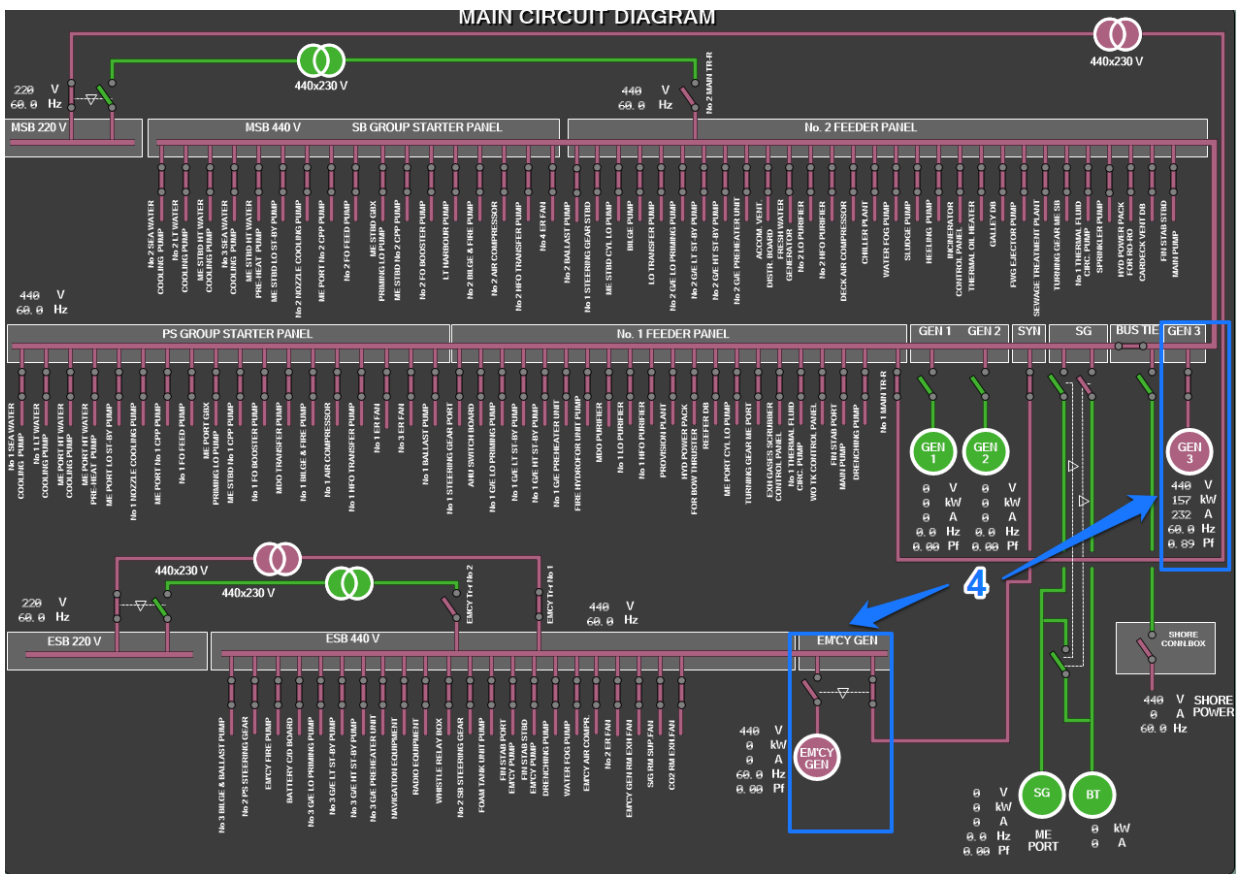


Figura 45: Procedimiento de arranque del diésel generador 3 (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

En nuestro buque de estudio disponemos de tres generadores, por lo tanto, para realizar el arranque de la planta propulsora sin problemas es recomendable arrancar al menos dos diésel generadores. Se arrancará el GE 1 y se sincronizará con el GE 3.

Otra opción sería programar una secuencia de arranque, esta opción consiste en hacer que los diésel generadores lleven a cabo arranques y paradas respectivamente de acuerdo con la prioridad de arranque/parada que se haya programado. La función de arranque/parada se basa en un cálculo de cuántos diésel generadores se necesitan para satisfacer la demanda de energía real en la barra colectora.

Antes de proceder con la sincronización, se han realizar las siguientes acciones:

1. Ir al panel **LOP GE 1 (AER → Generator Engine 1 LOP)**, seleccionar la posición AUTO en las bombas ST-BY LT, ST-BY HT y PRELUB.
2. En el mismo panel que antes, seleccionar la posición MAN START. A continuación, esperar que el indicador del panel ENGINE SPEED llegue al valor de 1200 RPM. Por último, seleccionar la posición REMOTE.

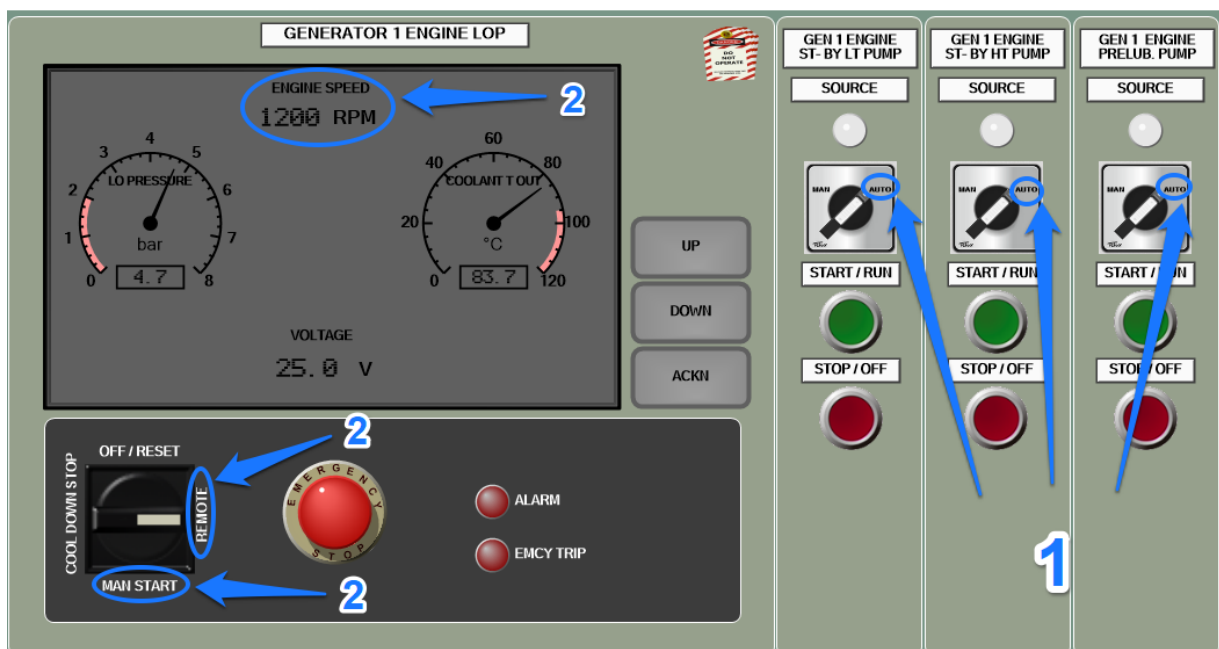


Figura 46: Procedimiento de arranque del diésel generador 1 – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

A continuación, se explicarán las acciones que se han de llevar a cabo para realizar el proceso de sincronización:

1. Ir a **SYNCHRO PANEL** (**MSB** → **Synchro Panel**), seleccionar la posición SWBD en SYNCHRO&POWER CONTROL.
2. Seleccionar G1 en SYNCHRONOSCOPE y FREQ&VOLTMETER.
3. Comprobar que los valores de voltaje y frecuencia del GE 1 que queremos conectar son iguales que los valores del generador que alimenta la red del barco (GE 3). En caso de necesitar una mejor comprobación ir N°1 GENERATOR PANEL (**MSB**→ **MSB Gen 1 Panel**) en donde se presentan de manera numérica los parámetros de dicho generador.
4. Actuar sobre la manija negra G1 Governor Control para seleccionar la opción LOWER o RAISE, de esta manera se podrá ajustar las condiciones del GE 1 hasta que la luz roja del sincronoscopio gire muy lentamente en el sentido de las agujas del reloj.
5. Esperar que la luz roja del sincronoscopio esté en la posición de las 12 menos cinco, entonces girar el G1 ACB CONTROL a posición CLOSE y mantener esta posición hasta que la bombilla GEN 1 se ilumine.
6. Seleccionar la posición PMS en SYNCHRO & POWER CONTROL. De esta manera la carga eléctrica se repartirá automáticamente entre GE 3 y GE 1.
7. Por último, ir a **MAIN CIRCUIT DIAGRAM** (**MSB**→ **MCD**) y comprobar que GE 1 está conectado a la red.

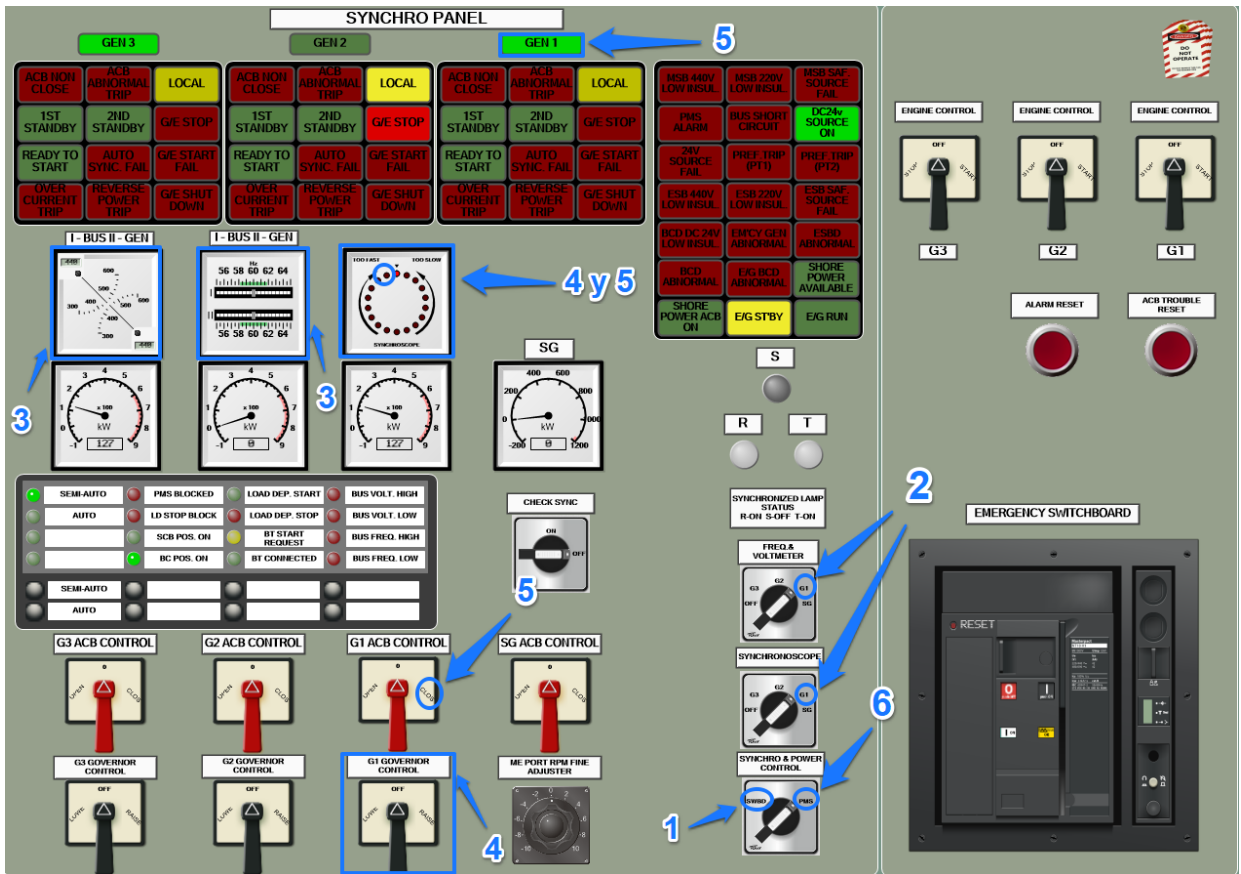


Figura 47: Proceso de sincronización (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

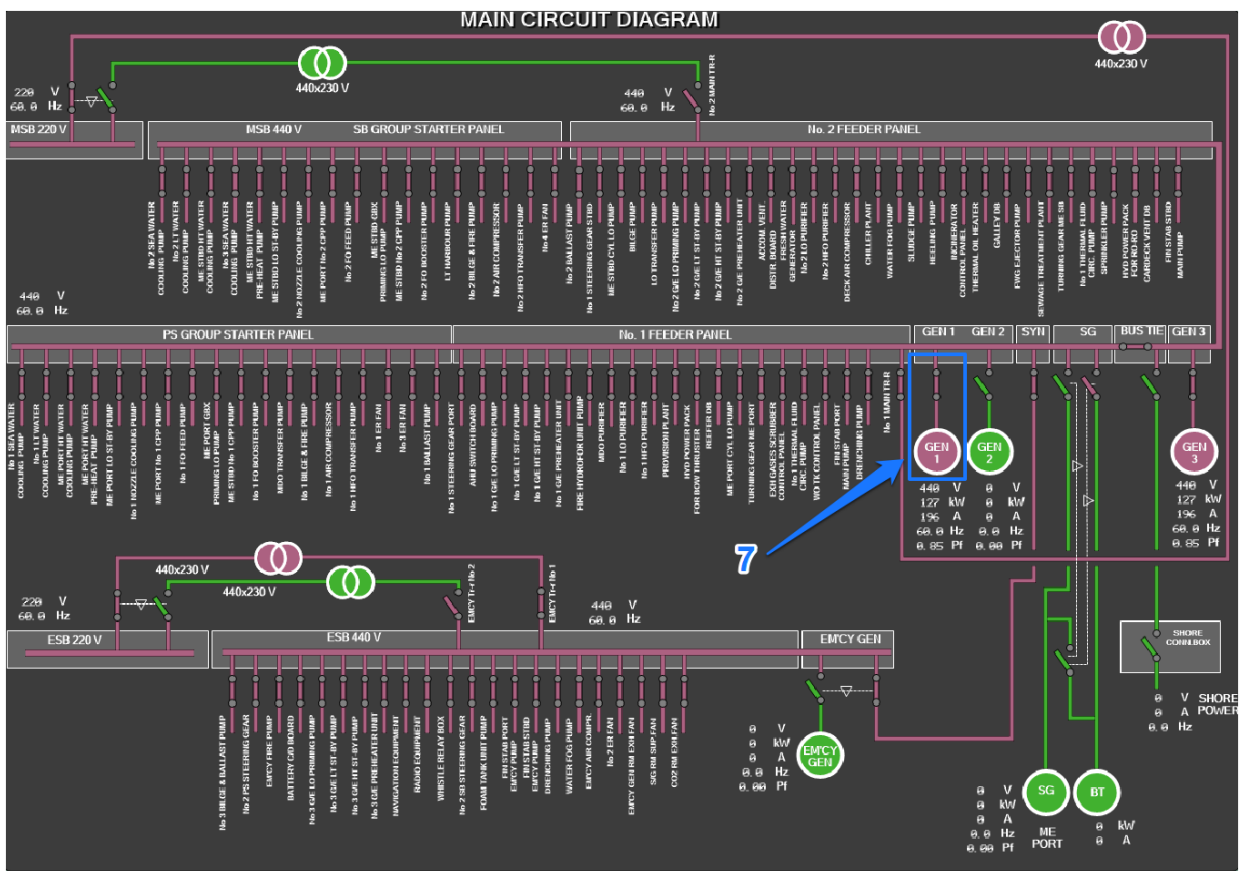


Figura 48: Proceso de sincronización (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

6.2 Preparación y arranque de la planta propulsora

Una vez se han completado de forma satisfactoria las acciones anteriores (la planta eléctrica se ha puesto en funcionamiento), se realiza el proceso de arranque de la planta propulsora. Pero, previamente se han de preparar unos sistemas determinados del barco para poder llevar a cabo el arranque de la planta propulsora sin que surjan fallos o averías.

En este ejemplo se va alimentar el motor principal con MDO, más adelante se cambiará este tipo de combustible por HFO. Por este motivo, se deja preparado el sistema de trasiego y tratamiento de HFO para que al realizar el cambio de combustible este se efectúe sin problemas. La operativa de cambio de combustible se explicará más adelante.

Si el motor principal consume HFO, entonces se tiene que arrancar el sistema de aceite térmico puesto que es preciso aumentar la temperatura del HFO para que este combustible consiga la viscosidad adecuada para ser correctamente pulverizado por los inyectores del motor.

Es preciso señalar que la caldera de aceite térmico es necesaria para precalentar el motor principal sobre todo si dicho motor se está parado durante varias horas. Por esta razón, la primera cosa que se debería de hacer antes de iniciar el proceso de arranque del motor, es arrancar la caldera de aceite térmico (ver apartado 3.1.1).

Hay que tener en cuenta que la planta propulsora del Ro-Pax consiste en dos motores gemelos, por lo tanto, se deberán de arrancar ambos motores, así como los equipos correspondientes a cada motor.

A continuación, se explicará las acciones que se han de desempeñar para preparar el arranque de la planta propulsora:

1. Ir al panel **COOLING WATER PUMP LOCAL CONTROLS** (**MER1**→ **CW Pumps LOP**), seleccionar la posición REMOTE en todas las bombas que aparecen descritas en este sitio.
2. Ir al panel **FEED & BOOSTER PUMPS LOCAL CONTROL** (**MER1**→ **FO Pumps LOP**), seleccionar la posición REMOTE en todas las bombas que aparecen descritas en este sitio.
3. Ir al panel **ME PORT CPP GBX PUMPS LOCAL CONTROL** (**MER1**→ **CPP ME PORT LOP**) y **ME STBD CPP GBX PUMPS LOCAL CONTROL** (**MER1**→ **CPP ME STBD LOP**), seleccionar la posición REMOTE en todas las bombas que aparecen descritas en estos dos lugares.
4. Ir al panel **LO PUMP LOCAL CONTROL** (**MER1**→ **LO, Sludge Pumps LOP**), seleccionar la posición REMOTE en las bombas stand by.
5. Ir al panel **ENGINE ROOM VENTILATION** (**MER1**→ **ER Ventilation LOP**), seleccionar la posición REMOTE en todos los ventiladores que aparecen descritos en este lugar.
6. Ir al panel **FO TRANSFER PUMPS LOCAL CONTROL** (**MER1**→ **FO Transfer Pumps LOP**), seleccionar la posición REMOTE en las bombas de trasiego de HFO 1 y HFO 2.
7. Ir al panel **MAIN AIR COMPRESSOR LOCAL CONTROL** (**MER2**→ **Air Compressors LOP**), seleccionar la posición REMOTE en el compresor principal de aire N° 1 y N° 2.

8. Ir al panel **DECK COMPRESSOR (MER2 → Air Compressors LOP)**, seleccionar la posición AUTO en MODE.
9. Ir al panel **MSB PS STARTERS 440 V N° 1 (MSB → MSB PS GSP Panel 1)** y **MSB SB STARTERS 440 V N° 1 (MSB → MSB SB GSP Panel 1)**, todas las bombas que aparecen en estos dos sitios deben estar en modo de control CMS (Control Monitoring System) para que se puedan operar desde la sala de control. **Atención:** por motivos de practicidad no se han puesto flechas señalando todas las posiciones CMS, se da por entendido que todos los selectores que tengan la posición CMS marcada con una esfera azul tienen que girar dicho selector hacia esa posición.
10. Ir al panel **MSB PS STARTERS 440 V N° 2 (MSB → MSB PS GSP Panel 2)**, todas las bombas y ventiladores que aparecen en este lugar deben estar en modo de control CMS.
11. Ir al panel **MSB SB STARTERS 440 V N° 2 (MSB → MSB SB GSP Panel 2)**, todas las bombas y ventiladores que aparecen en este lugar deben estar en modo de control CMS.
12. Ir a **EM'CY GROUP STARTER PANEL (EmG → ESB Consumers)**, colocar en modo de control CMS el N° 2 ER SUPPLY FAN.
13. Ir a la pestaña **MDO TRANSFER & TREATMENT SYSTEM (CMS → SYSTEMS)**, activar el botón AUTO de la bomba de trasiego MDO. Elegir el tipo de combustible (MDO o MDO con bajo contenido de azufre) con el que se va a trabajar. Por último, seleccionar los tanques que van a ser utilizados para hacer el trasiego de combustible, esta acción se lleva a cabo abriendo las respectivas válvulas mediante un clic. Si la válvula está en formato transparente significa que está cerrada, en cambio, si aparece en formato de color está abierta.
14. Ir a la pestaña **HFO TRANSFER & TREATMENT SYSTEM (CMS → SYSTEMS)**, activar el botón AUTO de las bombas de trasiego HFO N° 1 y N° 2. Elegir el tipo de combustible (HFO o HFO con bajo contenido de azufre) con el que se va a trabajar. Por último, seleccionar los tanques que van a ser utilizados para hacer el trasiego de combustible, esta acción se lleva a cabo abriendo las respectivas válvulas mediante un clic. Si la válvula está en formato transparente significa que está cerrada, en cambio, si aparece en formato de color está abierta.
15. Ir a la pestaña **FUEL OIL SERVICE SYSTEM (CMS → SYSTEMS)**, arrancar mediante un clic FEED PUMP N° 1 y la BOOSTER PUMP N° 1. Después, activar el botón ST-BY en FEED PUMP N° 2 y la BOOSTER PUMP N° 2.
16. Ir a la pestaña **LUBE OIL SYSTEM (CMS → SYSTEMS)**, activar el botón AUTO de las bombas ME Port LO Stand-by y ME Stbd LO Stand-by.
17. Ir a la pestaña **CPP SYSTEM (CMS → SYSTEMS)**, arrancar mediante un clic CPP Port PUMP N° 1 y CPP STBD PUMP N° 1. Después, activar el botón ST-BY en CPP Port PUMP N° 2 y CPP STBD PUMP N° 2. Por último, activar el botón AUTO en las bombas GBX Port Electric Priming LO y GBX Stbd Electric Priming LO.
18. Ir a la pestaña **SW COOLING SYSTEM (CMS → SYSTEMS)**, arrancar mediante un clic SW PUMP 1 y SW PUMP 2. Después, activar el botón ST-BY de SW PUMP 3.

19. Ir a la pestaña **LT & HT COOLING SYSTEMS (CMS→ SYSTEMS)**, arrancar mediante un clic LT CW PUMP 1 y Nozzle Cooling Module PUMP 1. A continuación, activar el botón ST-BY de LT CW Pump 2 y Nozzle Cooling Module Pump 2. Por último, activar el botón AUTO en HT CW Electric Pump y HT Pre-heating Pump tanto en el motor de estribor como en el de babor. Debido a la poca apreciación del color azul claro, es recomendable ir a la pestaña COOLING WATER SYSTEM para comprobar que las bombas anteriores tienen presión de descarga.
20. Ir a la pestaña **VENTILATION SYSTEM (CMS→ SYSTEMS)**, activar el botón SUPPLY del ventilador N° 3 y el botón EXH del ventilador N° 4 situados en ENGINE ROOM. Después, arrancar mediante un clic el ventilador N° 1 y N° 2 situados también en ENGINE ROOM.
21. Por último, ir al panel **CARDECK VENTILATION STARTERS (ESB→ ESB Consumers)**, mantener pulsado estos dos botones verdes hasta que se iluminen para arrancar el ventilador N° 3 y N° 4 situados en CARDECK PORT VENTILATION y CARDECK STBD VENTILATION respectivamente. De esta manera, el ventilador N° 3 estará en modo SUPPLY y el N° 4 en modo EXHAUST, *como se puede observar en esta pestaña el simulador tiene varios errores tipográficos ya que nombra a todos los ventiladores como N°2.*

Siempre que se vaya a arrancar bombas desde las pestañas de los sistemas principales del barco, se tiene que comprobar la leyenda que aparece en la esquina superior derecha. De esta manera, se puede verificar in situ la situación en que se encuentra la bomba.

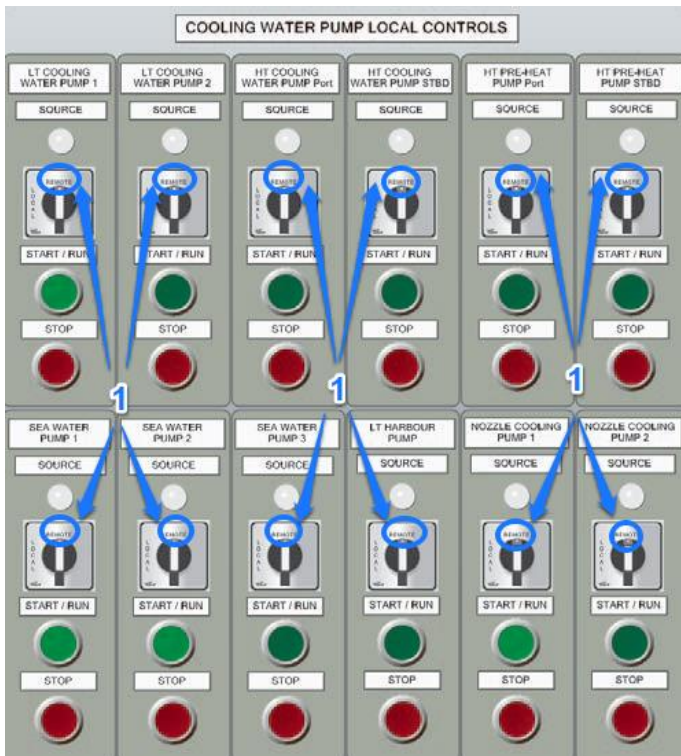


Figura 49: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

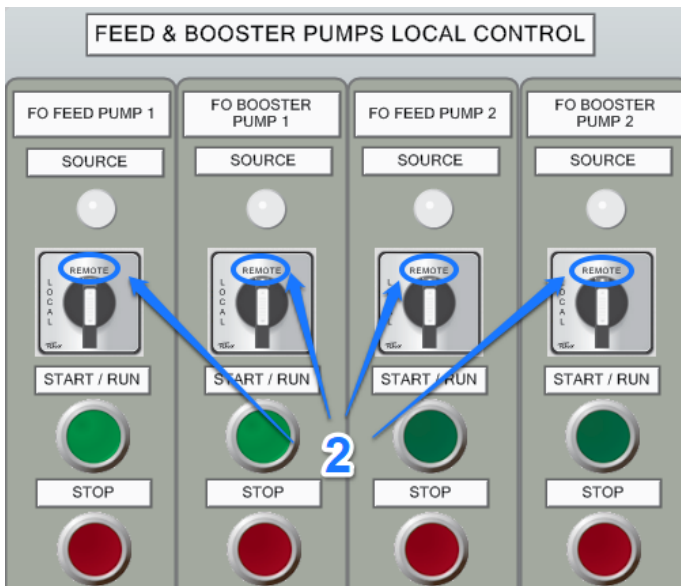


Figura 50: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

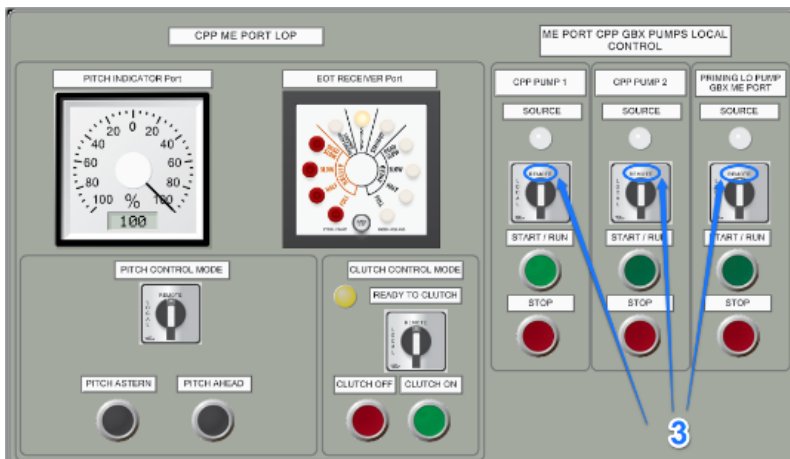


Figura 51: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

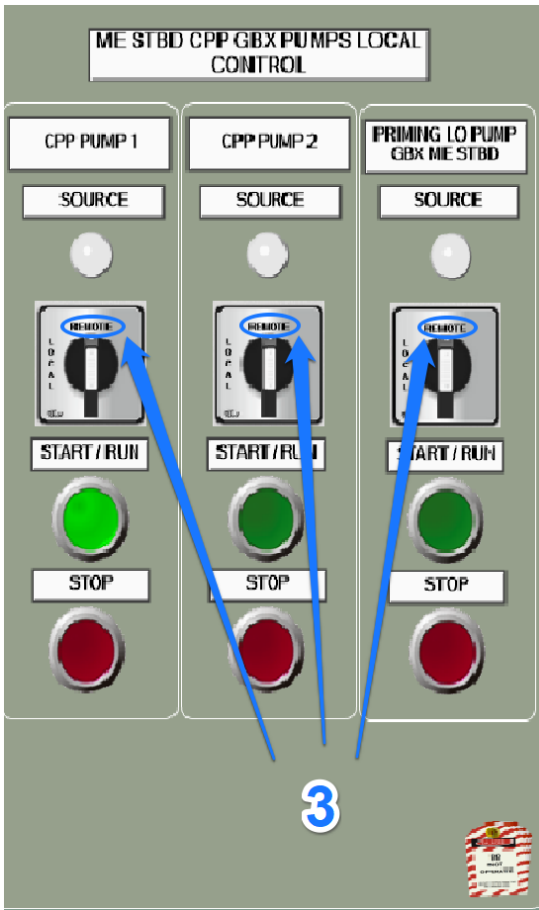


Figura 52: Procedimiento de preparaci3n de la planta propulsora (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de m3quinas

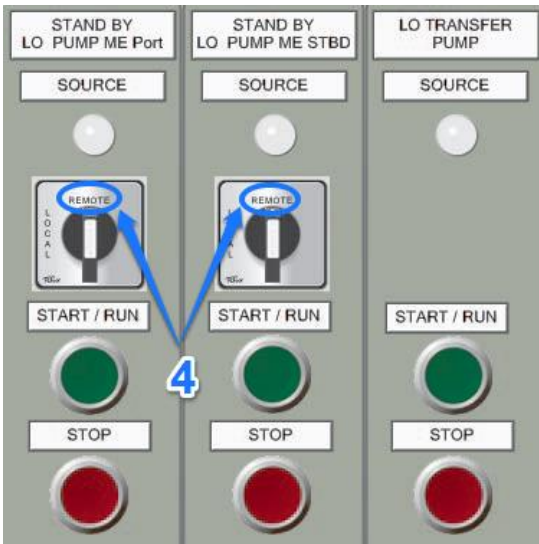


Figura 53: Procedimiento de preparaci3n de la planta propulsora (5) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de m3quinas

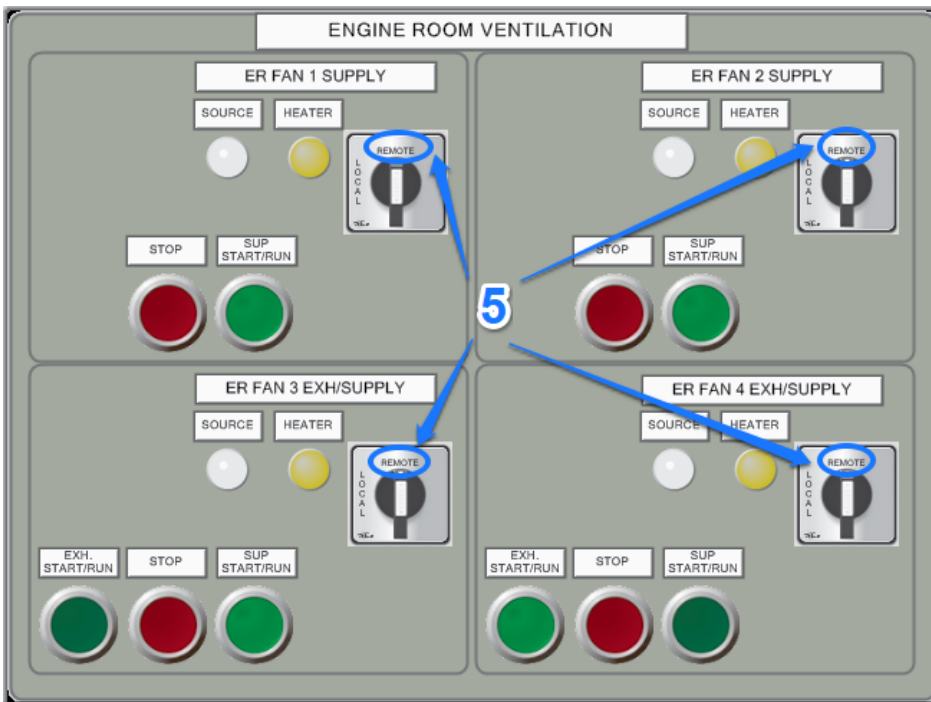


Figura 54: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (6) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

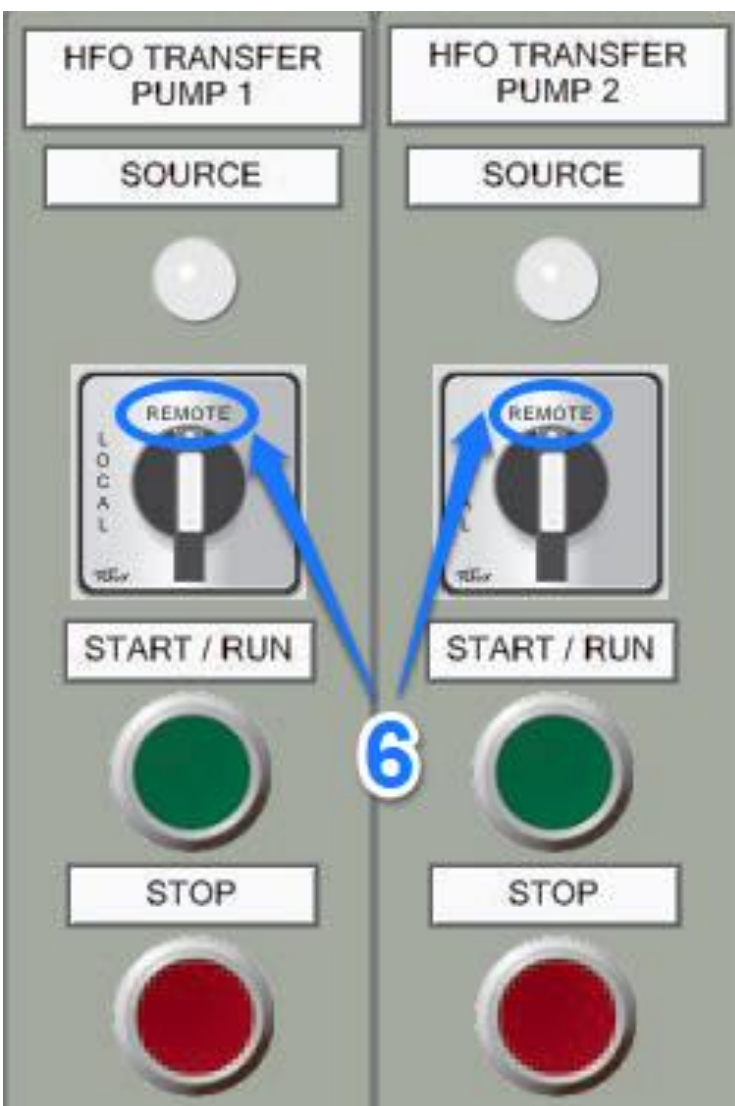


Figura 55: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (7) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

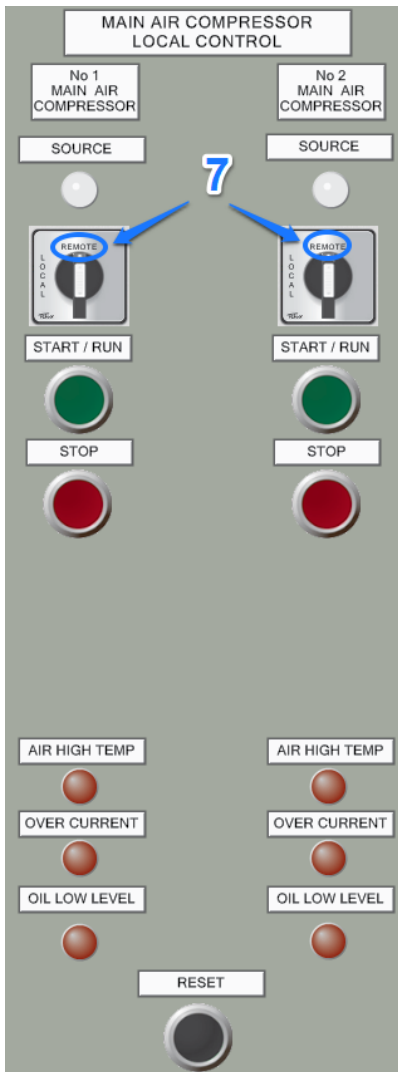


Figura 56: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (8) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

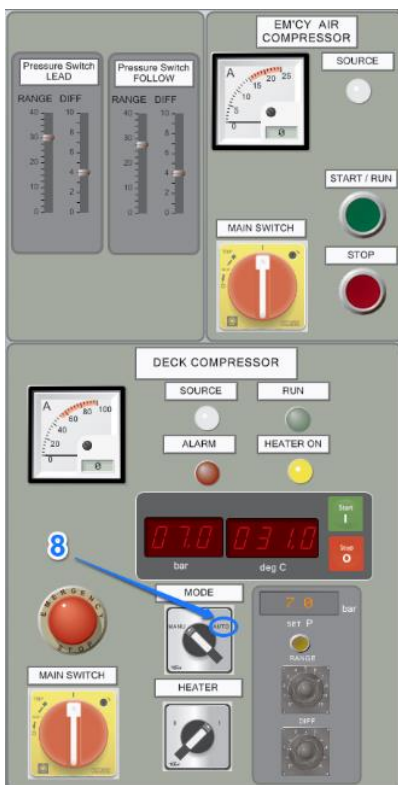


Figura 57: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (9) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

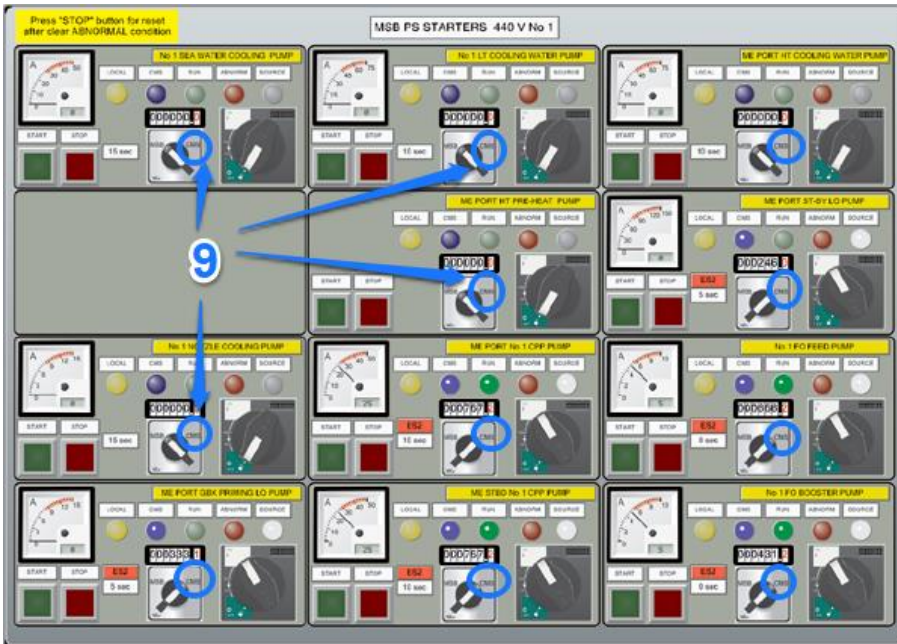


Figura 58: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (10) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

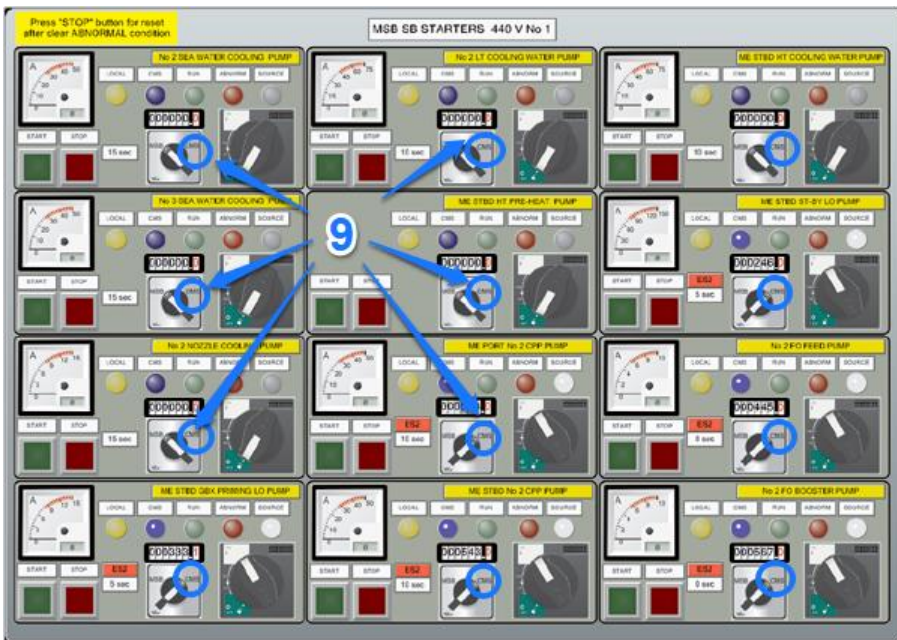


Figura 59: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (11) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

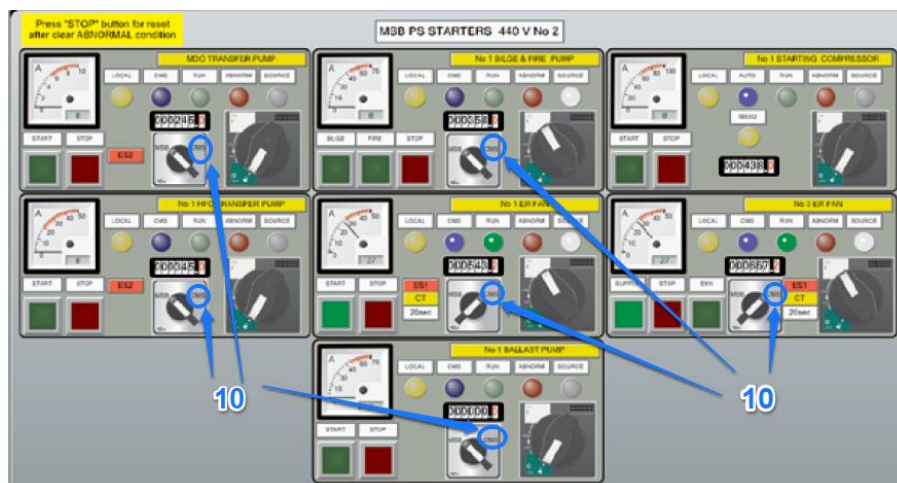


Figura 60: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (12) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

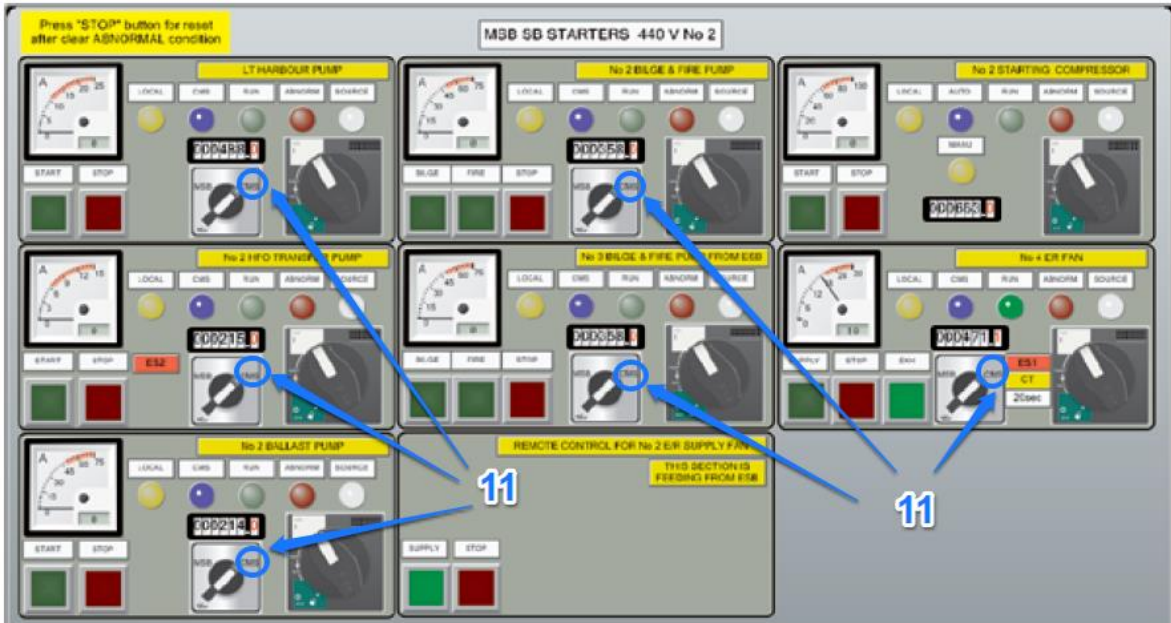


Figura 61: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (13) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

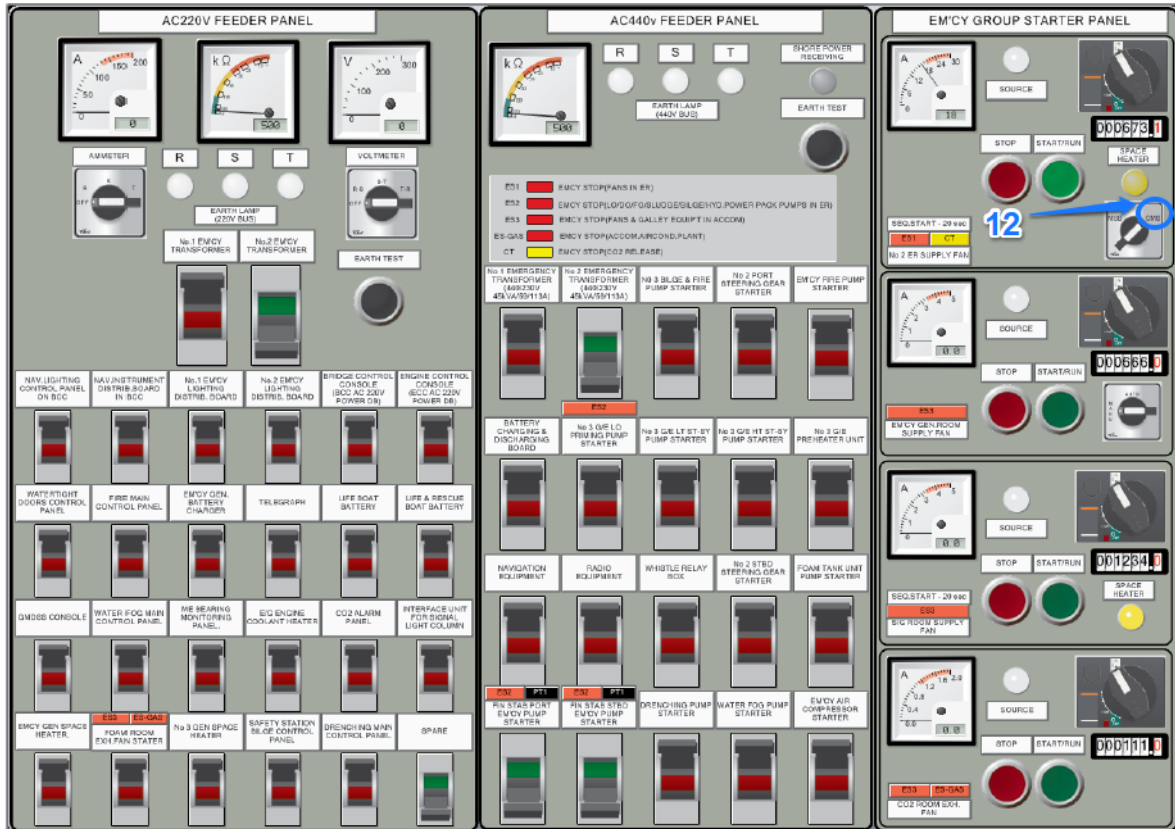


Figura 62: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (14) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

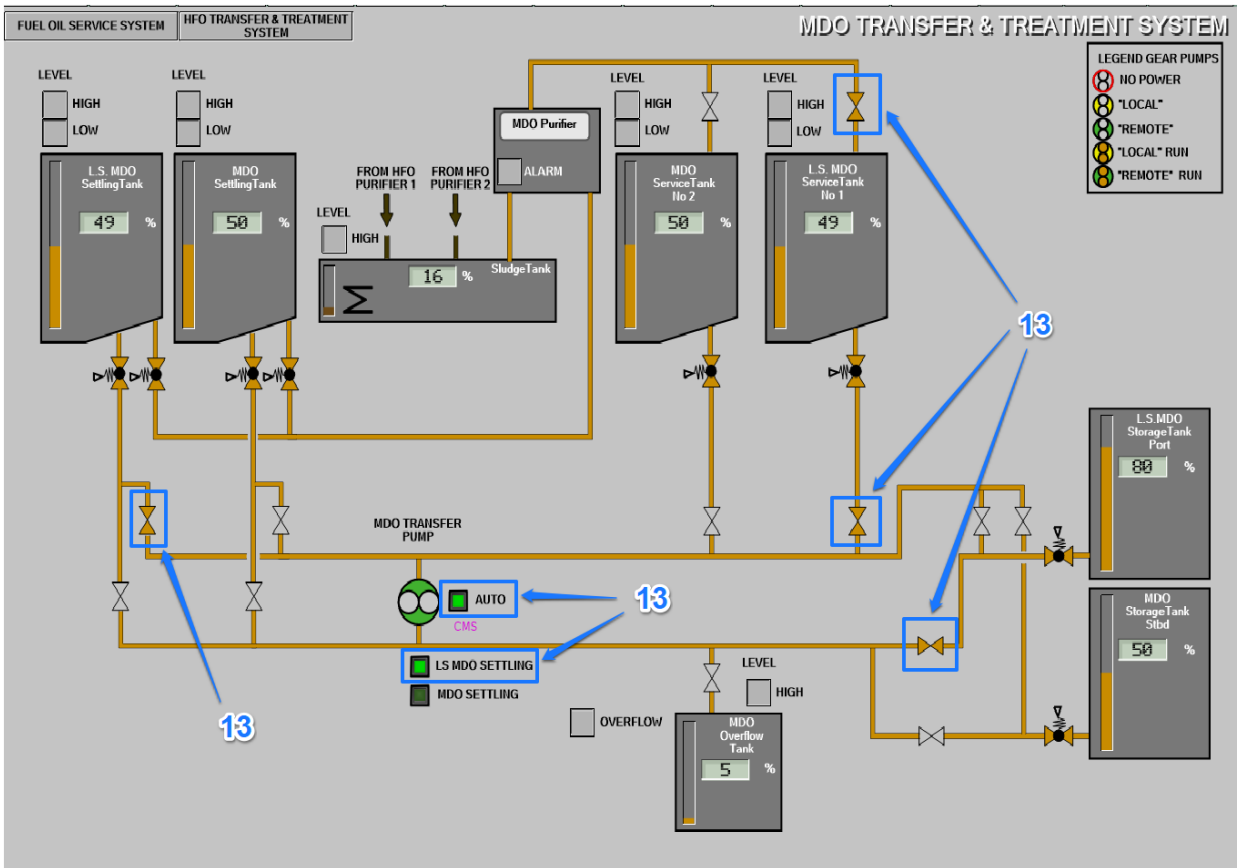


Figura 63: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (15) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

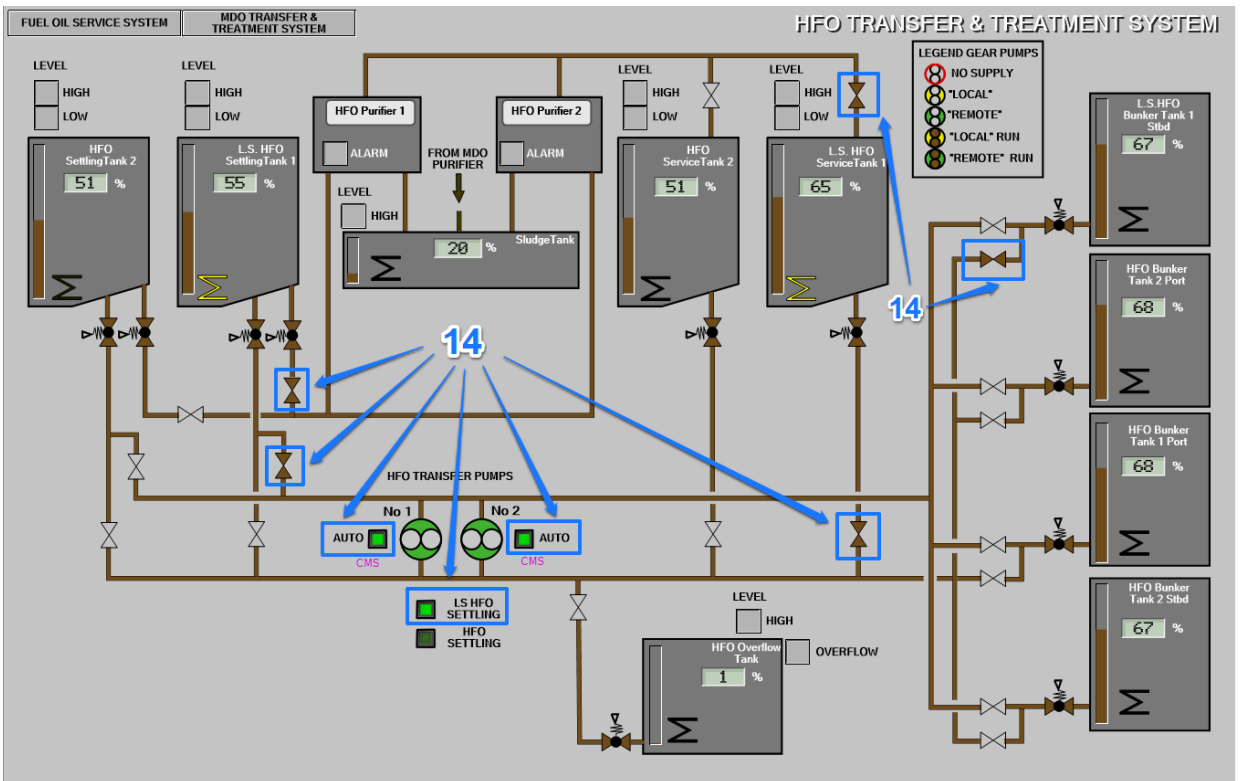


Figura 64: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (16) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

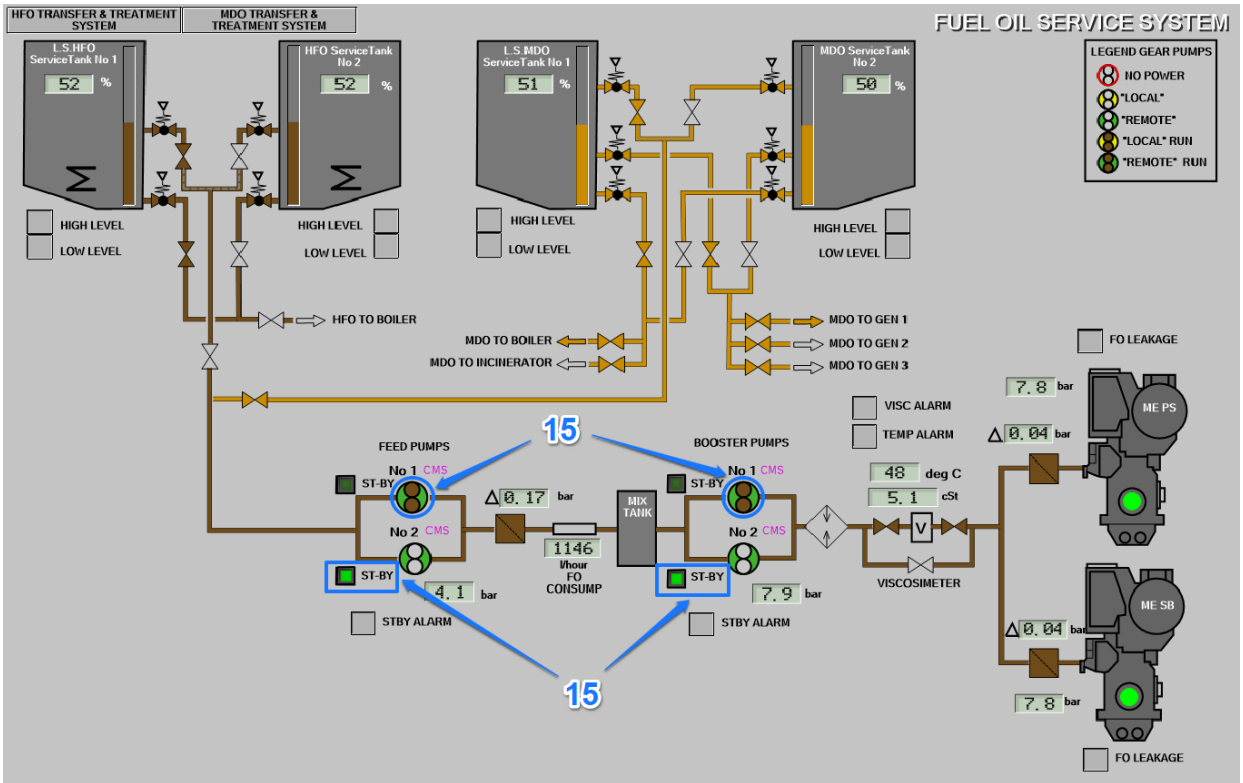


Figura 65: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (17) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

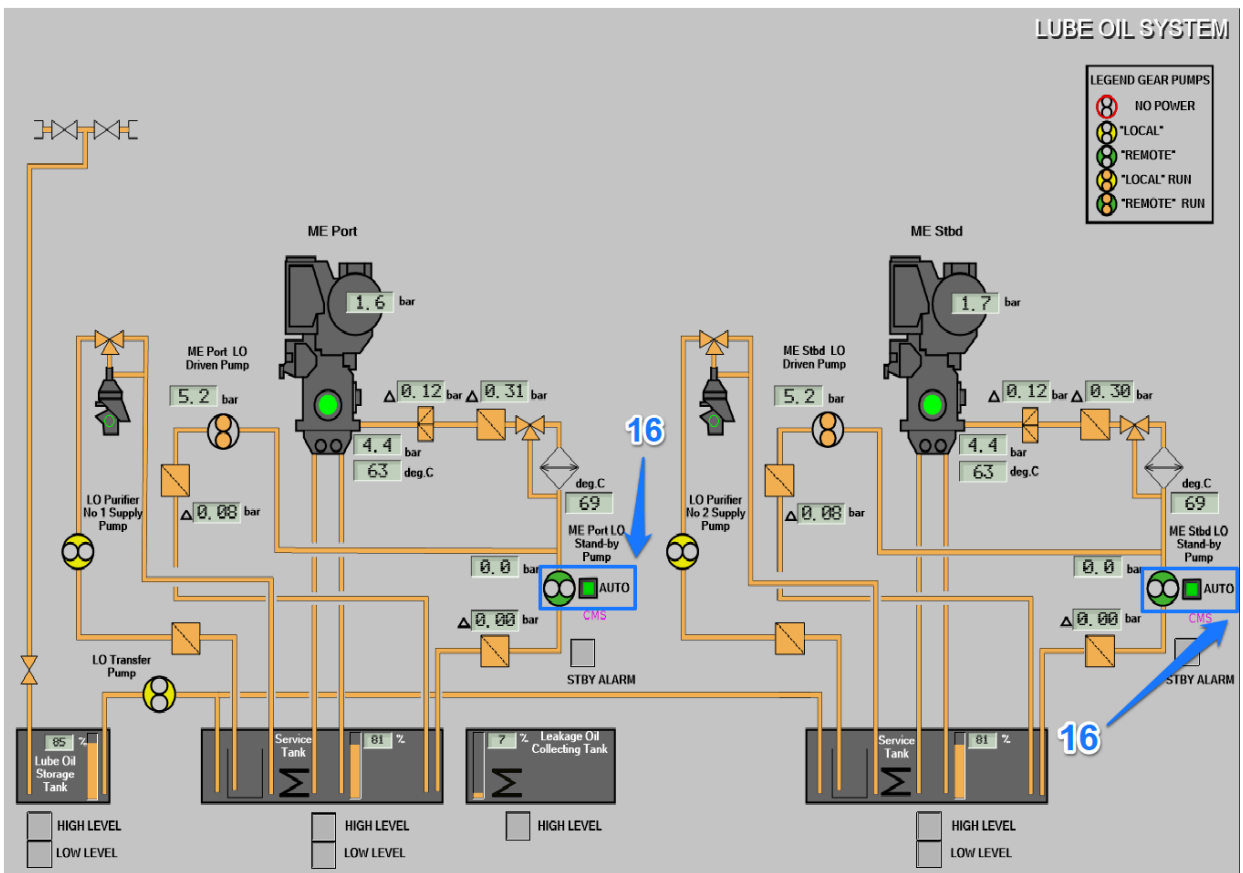


Figura 66: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (18) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

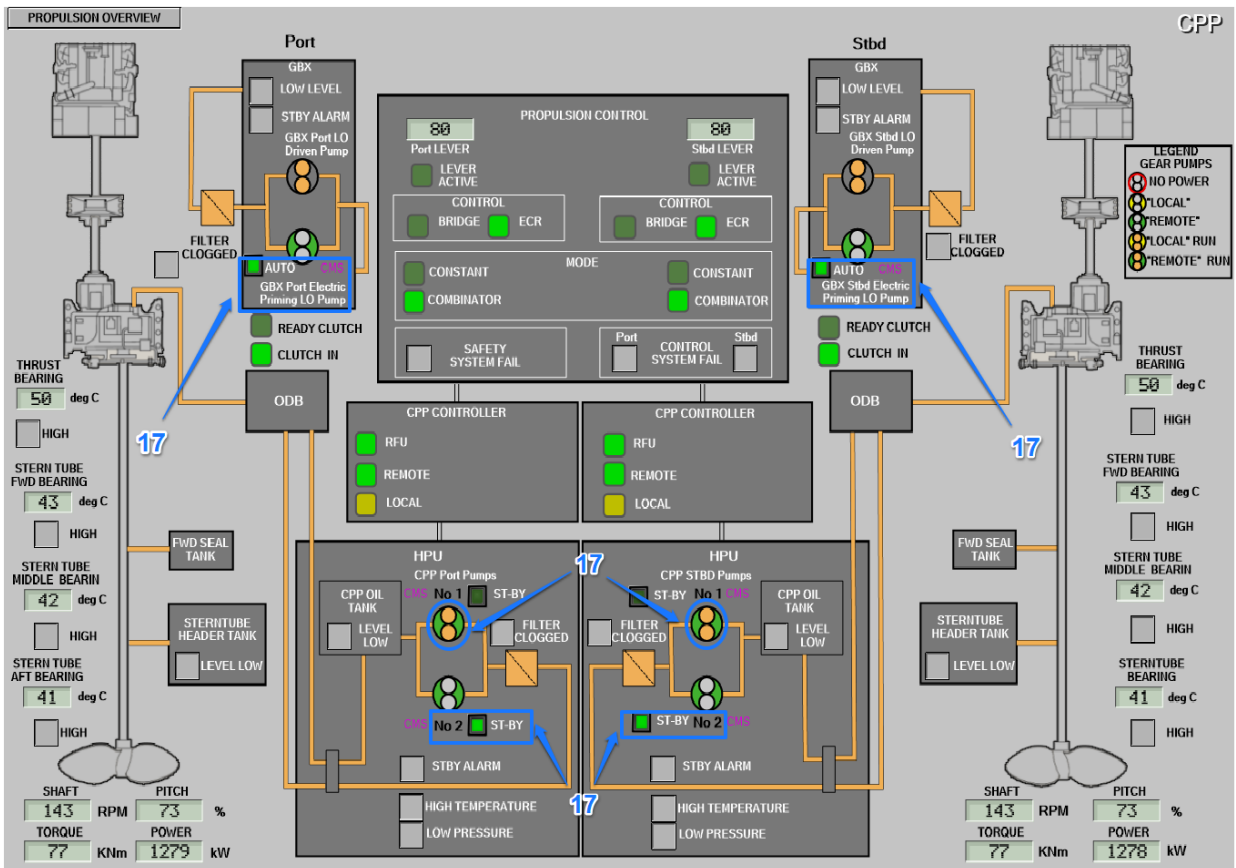


Figura 67: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (19) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

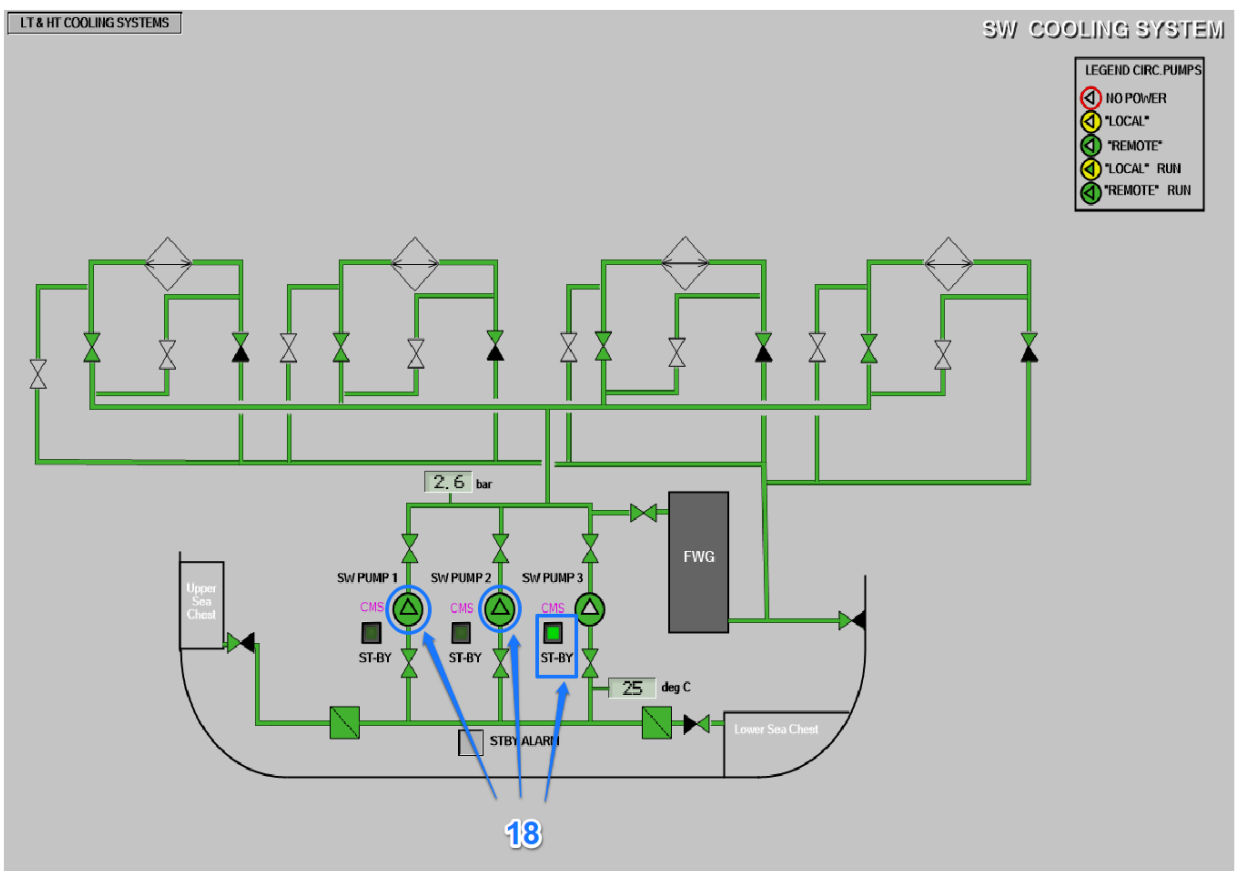


Figura 68: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (20) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

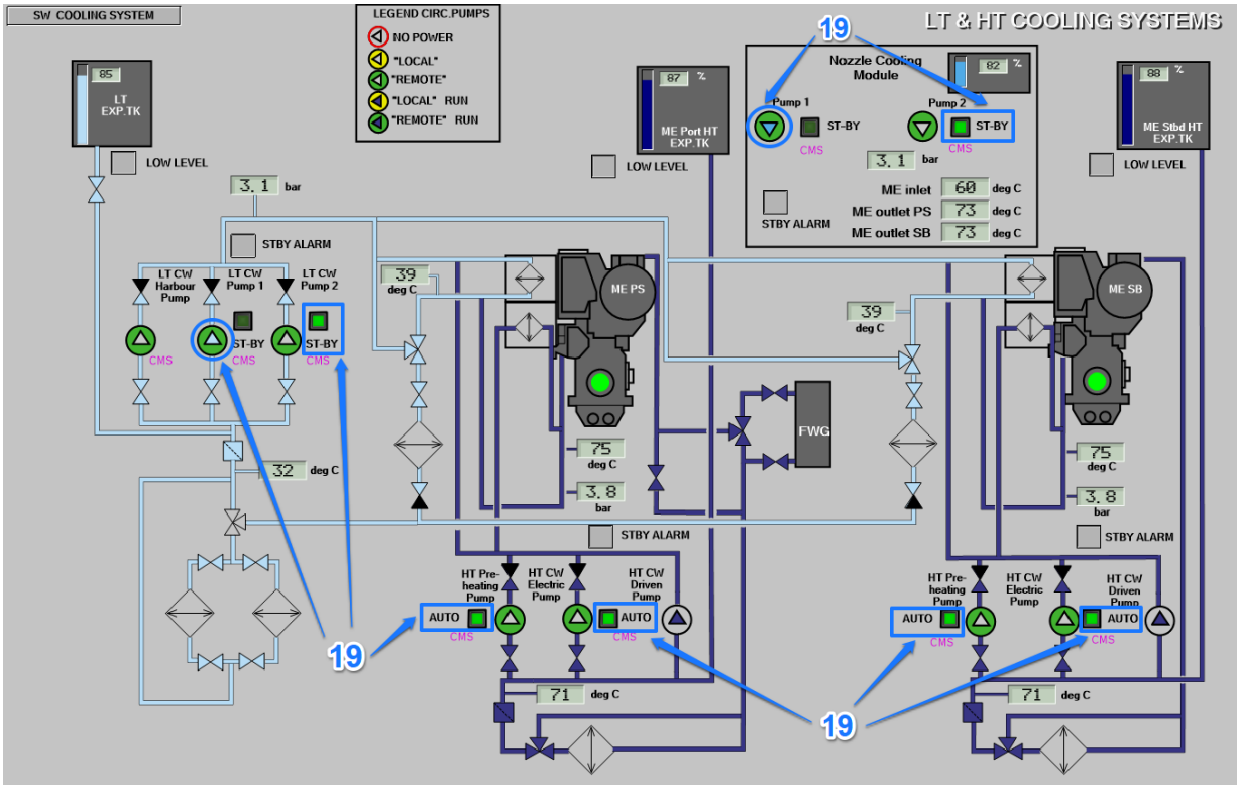


Figura 69: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (21) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

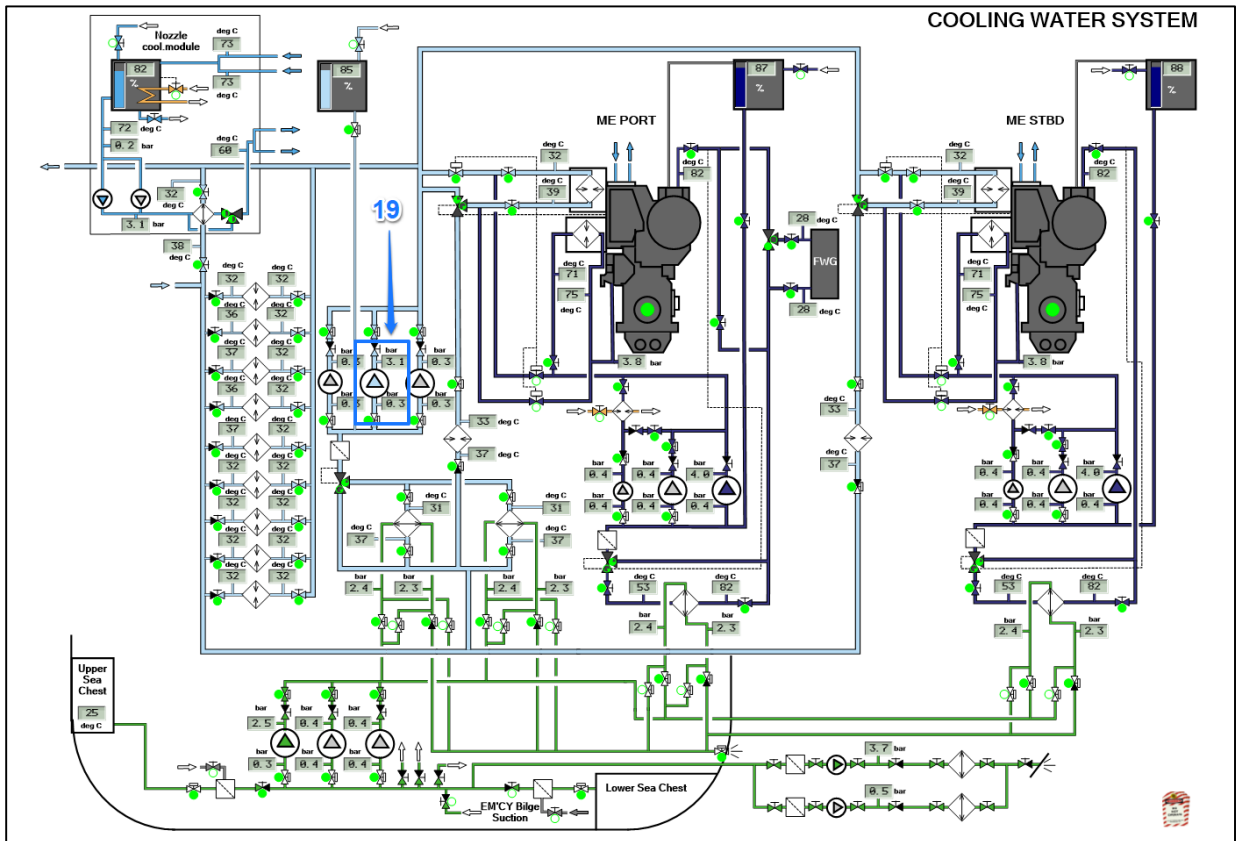


Figura 70: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (22) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

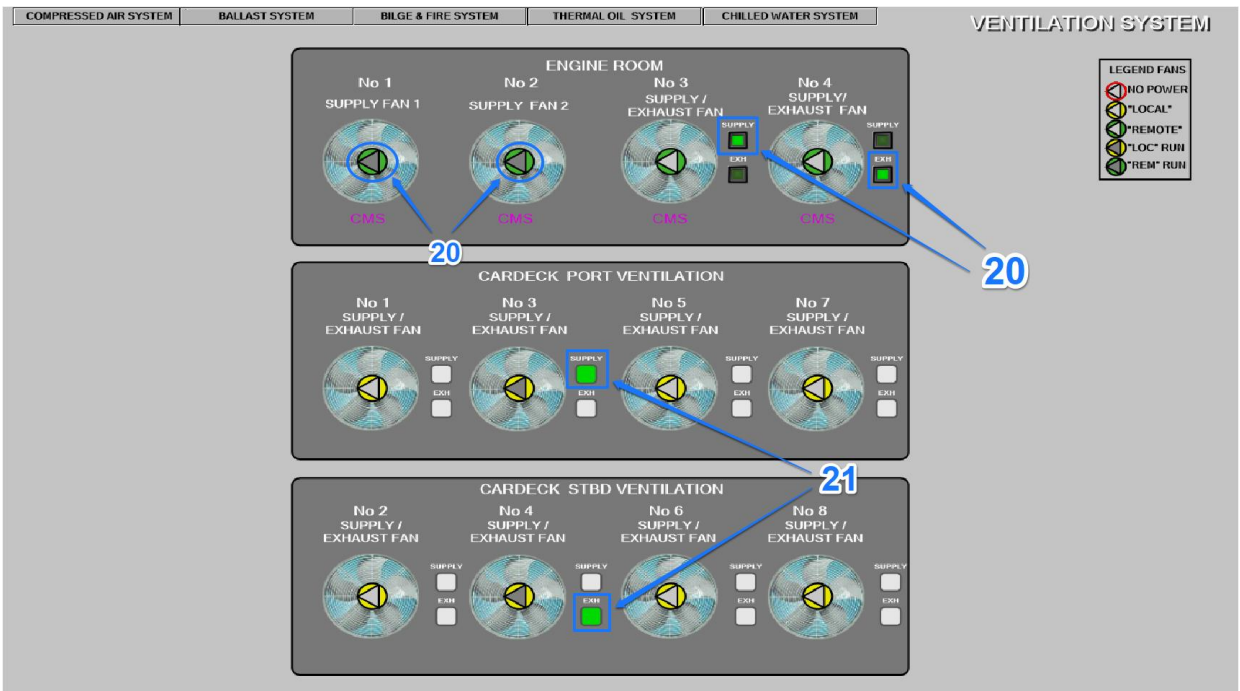


Figura 71: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (23) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

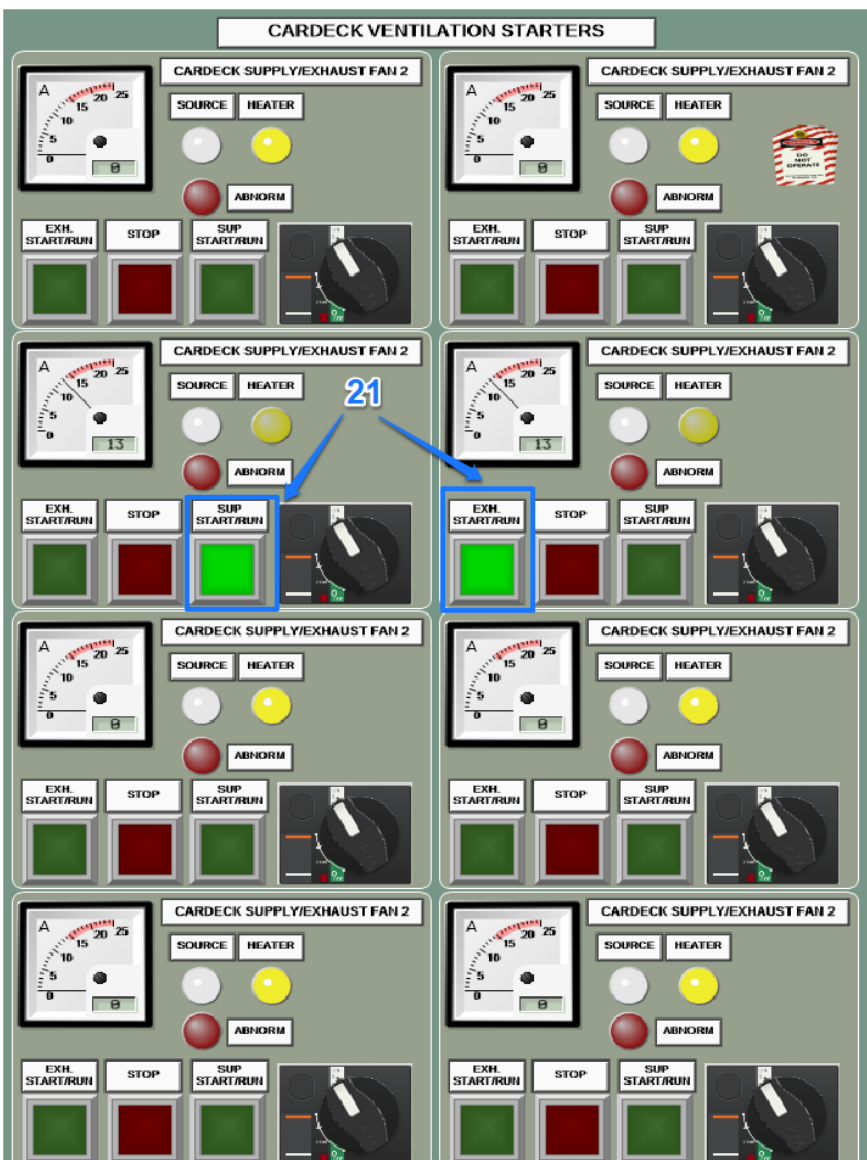


Figura 72: Procedimiento de preparación de la planta propulsora (24) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

Si todas las preparaciones previas se han ejecutado de forma satisfactoria, se puede iniciar el arranque de la planta propulsora.

A continuación, se explicará el procedimiento de arranque desde el panel de control local del motor principal.

1. Ir al panel **ME PORT LOCAL (MER1→ ME Local Panel)**, mover el selector LOCAL CONTROL a posición LOCAL, se encenderá la bombilla LOCAL CONTROL.
2. Esperar hasta que la bombilla READY TO START se ilumine.
3. Mantener pulsado un rato el botón START, luego dicho botón parpadea durante unos segundos y se ilumina de manera continua cuando el motor principal esta arrancado.
4. Por último, mover LOCAL CONTROL a posición ECR, la bombilla LOCAL CONTROL se apagará. Esta secuencia de acciones, se debe de repetir en **ME STBD LOCAL (MER1→ ME Local Panel)** para arrancar el motor de estribor.
5. Ir al panel **ECR PROPULSION CONTROL (ECR→ ECR Propulsion Control)**, mantener pulsado el botón CLUTCH IN (embragar la hélice con paso 0) hasta que se ilumine dicho botón. Luego se encenderá la bombilla PITCH ZERO. Esta acción se tiene que hacer en los dos motores, ME PORT y ME STBD.
6. Mover los telégrafos de ambos motores avante o atrás según la maniobra a realizar, para realizar la maniobra de giro se tiene que mover uno de los telégrafos a posición avante y el otro a posición atrás y para invertir el sentido del giro se tiene que invertir las posiciones de los telégrafos anteriores. Luego ver como el motor incrementa revoluciones.
7. Ir al panel **BRIDGE PROPULSION CONTROL (BCC→ Bridge Propulsion Control)**, luego ver como la velocidad aumenta.
8. Para activar la válvula de bypass que permite cambiar el tipo de combustible que consume el motor principal, hay que ir al panel **ECR PROPULSION CONTROL (ECR→ ECR Propulsion Control)** y mover el selector FUEL OIL hacia la posición de HFO. Después, ir a la pestaña **FUEL OIL SERVICE SYSTEM (CMS→ SYSTEMS)** y verificar que combustible se está suministrando al motor principal.

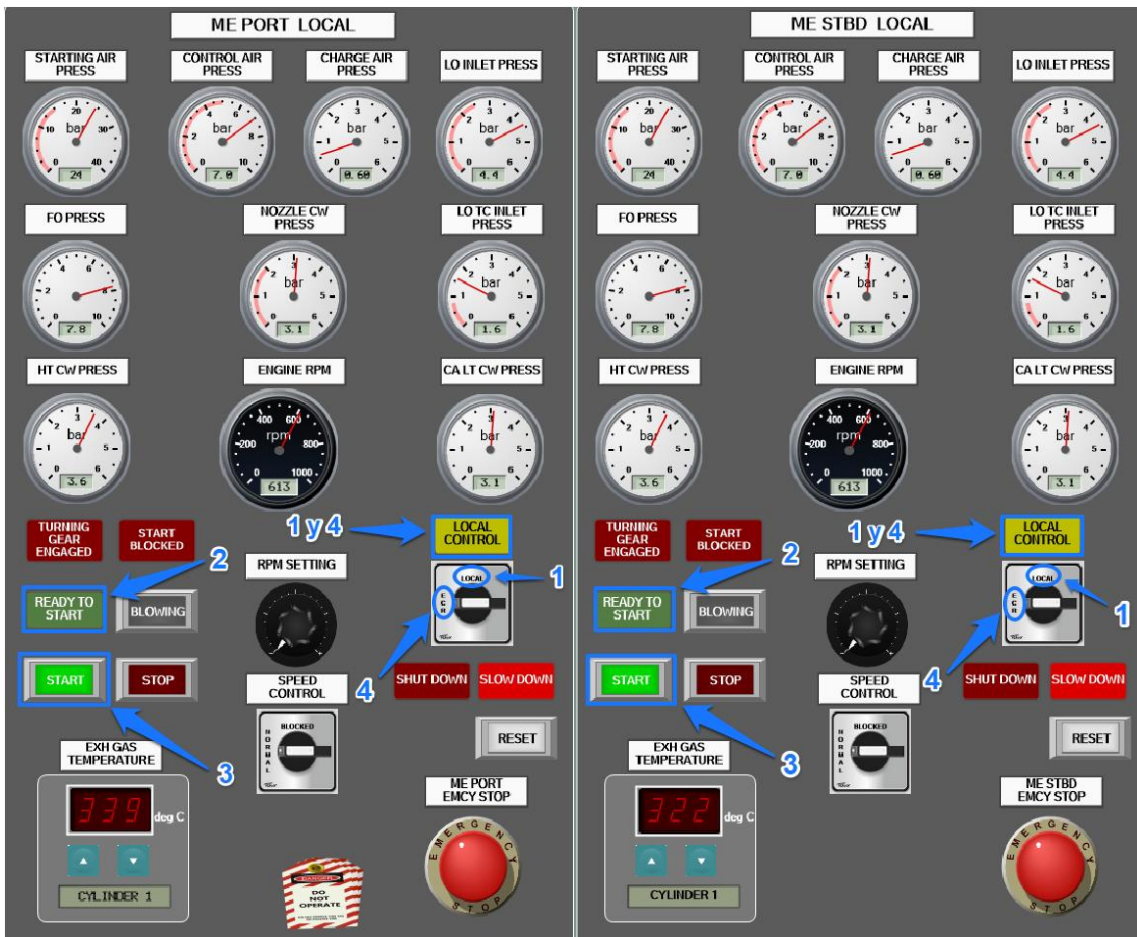


Figura 73: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

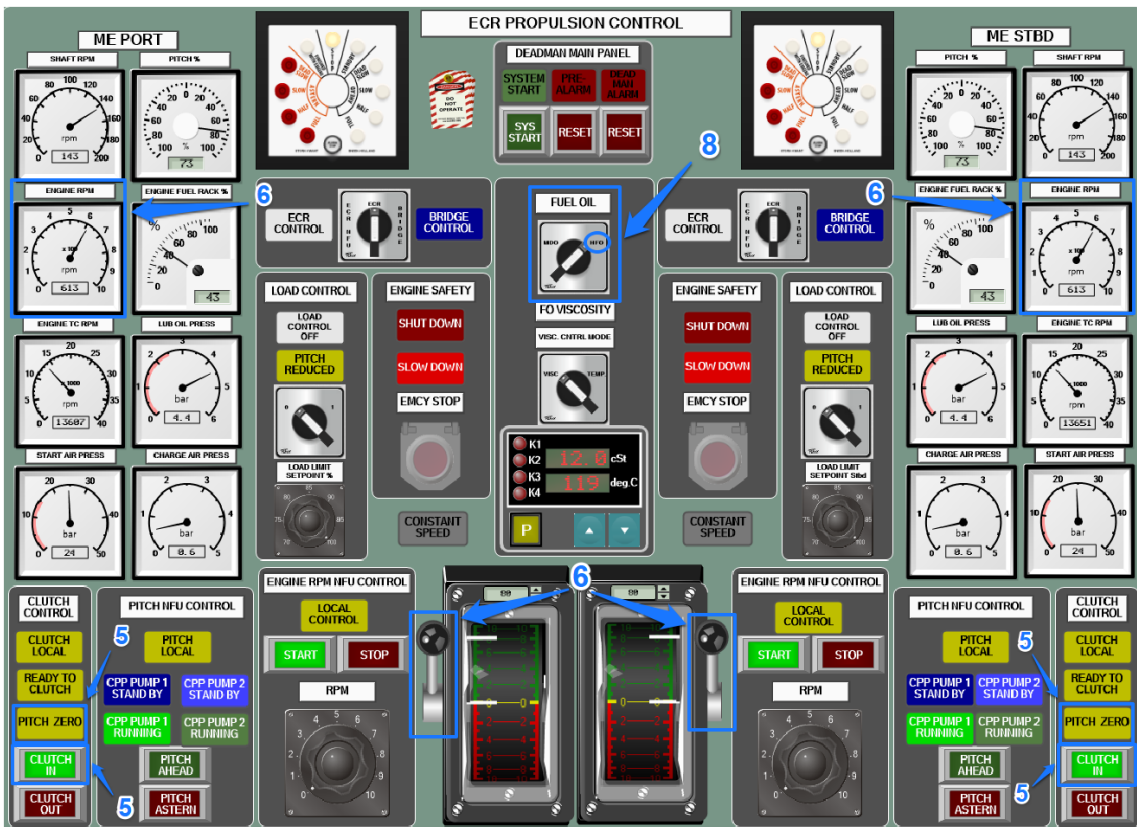


Figura 74: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

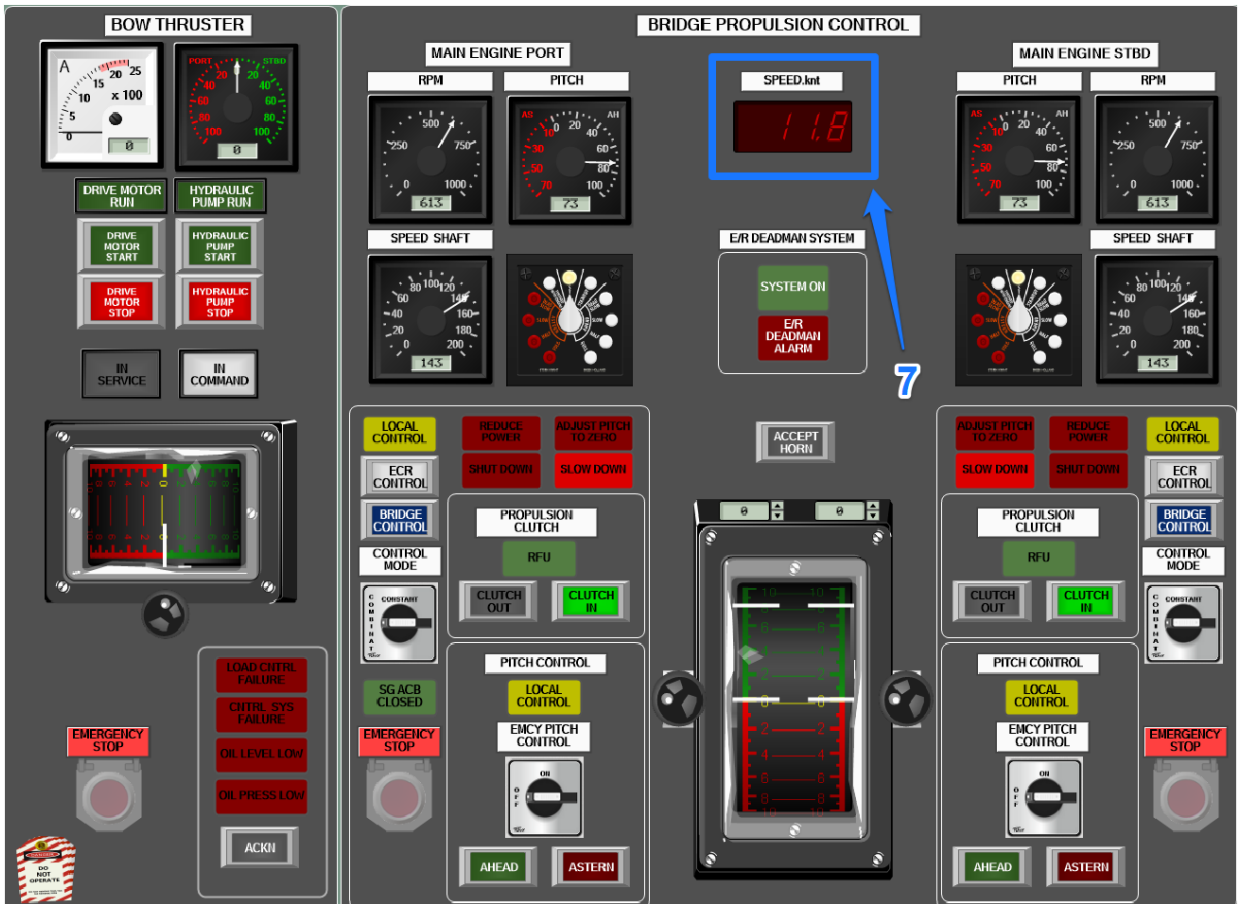


Figura 75: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

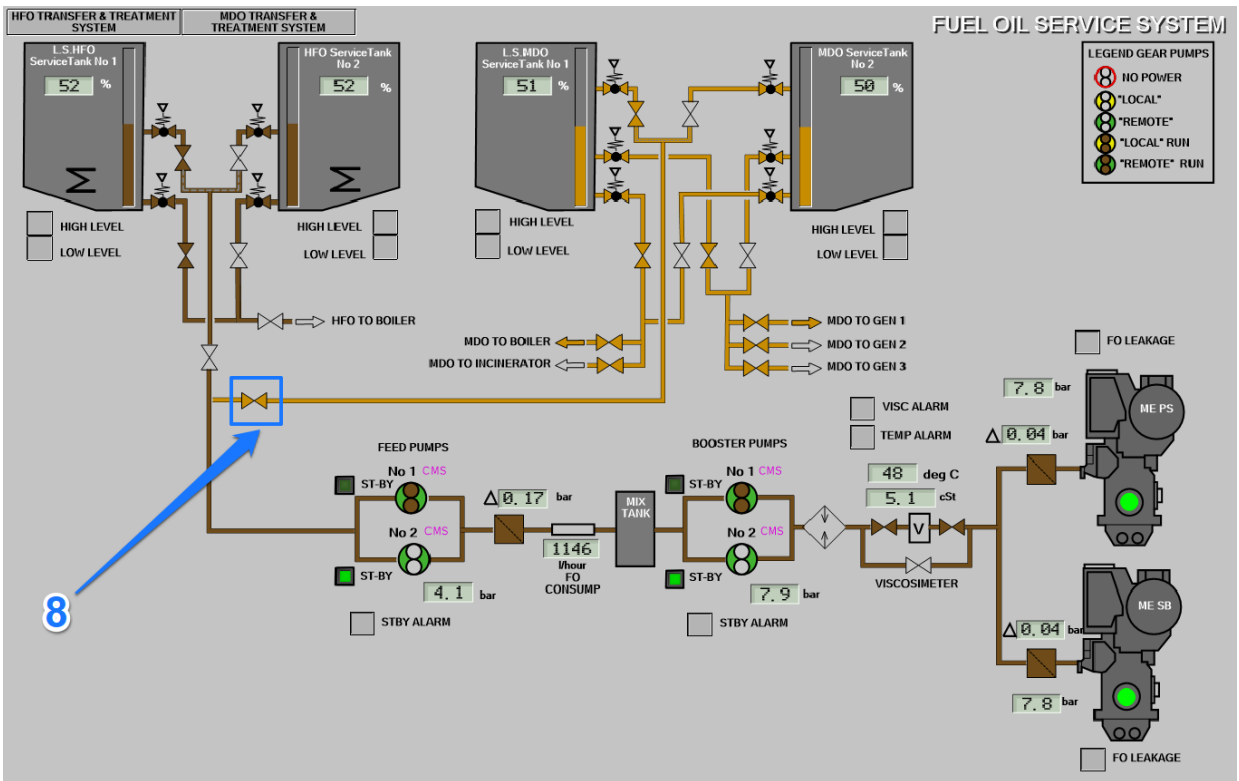


Figura 76: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

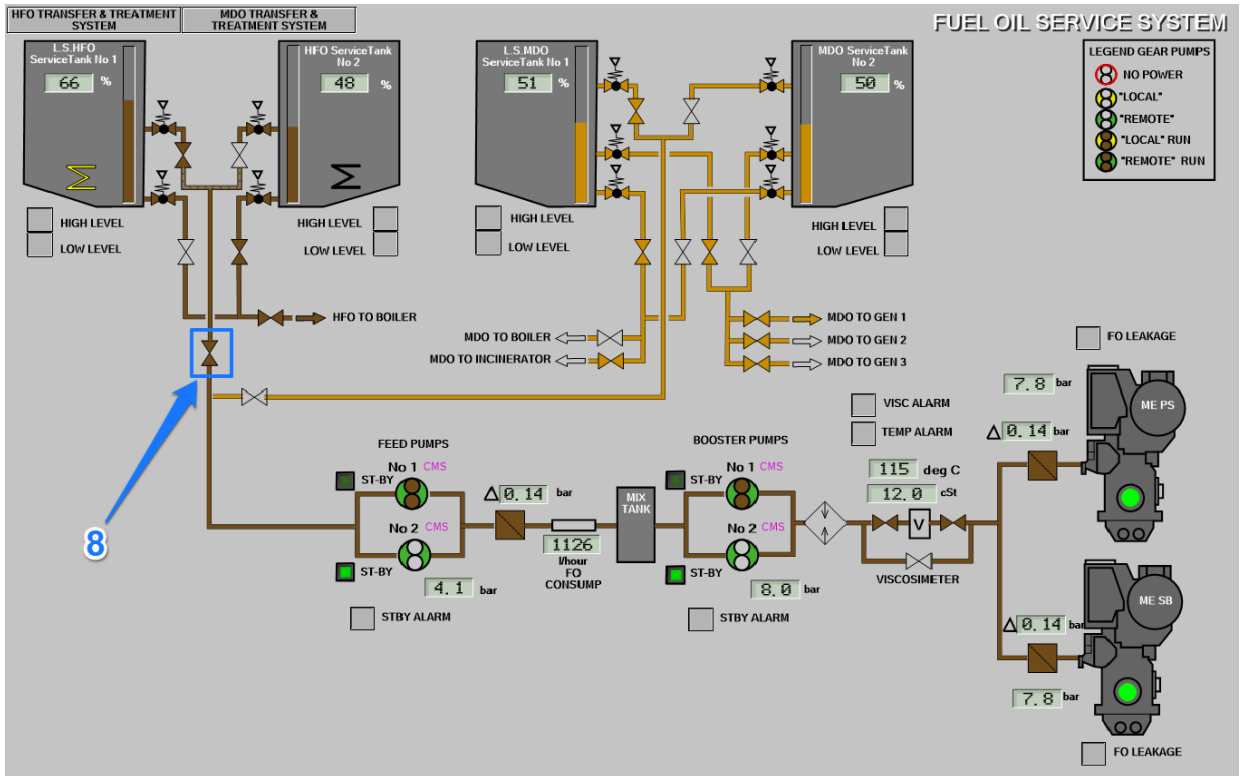


Figura 77: Procedimiento de arranque de la planta propulsora (5) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

6.3 Preparación y arranque del sistema de aceite térmico

A continuación, se definen los pasos a seguir para preparar y arrancar el sistema de aceite térmico. Este sistema se emplea cuando el combustible consumido por la planta propulsora se cambia de MDO a HFO, es necesario calentar el combustible para que este consiga la viscosidad adecuada para fluir mejor a través de las tuberías y del motor principal, entre otras razones.

1. Ir al panel **THERMAL FLUID PUMP 1 (MER2 → TOH Circ Pumps LOP)**, seleccionar la posición I en MAIN SWITCH y esperar que la bombilla SOURCE se ilumine.
2. Seleccionar la posición 1 en HEATING y esperar que la bombilla HEATING CIRC. PUMP 1 ON se ilumine.
3. Seleccionar la posición MANU en MODE SELECT, esperar que la bombilla HEATING CIRC. PUMP 1 ON se apague y se ilumine la bombilla CIRC.PUMP 1 RUN.
4. Repetir la secuencia anterior en **THERMAL FLUID PUMP 2 (MER2 → TOH Circ Pumps LOP)**, esperar 5 segundos y seleccionar la posición ST-BY en MODE SELECT.
5. Ir al panel **OIL FIRE THERMAL FLUID BOILER (MER2 → Thermal Oil Heater LOP)**, seleccionar la posición I en MAIN SWITCH y esperar que la bombilla SOURCE se ilumine.
6. Seleccionar la posición 1 (MANUAL) en FUEL OIL PUMP 1 y esperar que la bombilla FUEL OIL PUMP 1 IN OPERATION se encienda.
7. Seleccionar la posición 3 (STAND BY) en FUEL OIL PUMP 2.
8. Seleccionar la posición 2 (AUTOMATIC) en BURNER CONTROL.
9. Con el último selector de la derecha, seleccionar la posición 2.
10. Hacer clic en el botón RESET SAFETY CIRCUIT y esperar el encendido de la bombilla BURNER IN OPERATION. Dependiendo del combustible que se esté usando en ese preciso momento se encenderá la bombilla MDO IN OPERATION o HFO IN OPERATION.
11. Ir a la pestaña **HFO TRANSFER & TREATMENT SYSTEM (SYS→ HFO TRANSFER & TREATMENT SYSTEM)**, aumentar la temperatura del tanque de sedimentación L.S HFO y tanque de servicio L.S HFO mediante las flechas de sus respectivos SET POINT. A continuación, los respectivos serpentines de los tanques anteriores se volverán amarillos, lo cual es indicio de que se está calentando el combustible. Es necesario que el HFO alcance los 80 °C en estos dos tanques, pero si hiciese falta se puede alcanzar temperaturas más elevadas. La temperatura del combustible dentro del tanque se refleja en la pantalla situada en la esquina superior izquierda. Por último, hay que tener en cuenta que el incremento de temperatura necesita algo de tiempo para que se produzca.
12. Ir a **THERMAL OIL SYSTEM (SYS→ THERMAL OIL SYSTEM)**, ver como el aceite térmico aumenta de temperatura y es enviado a los consumidores.

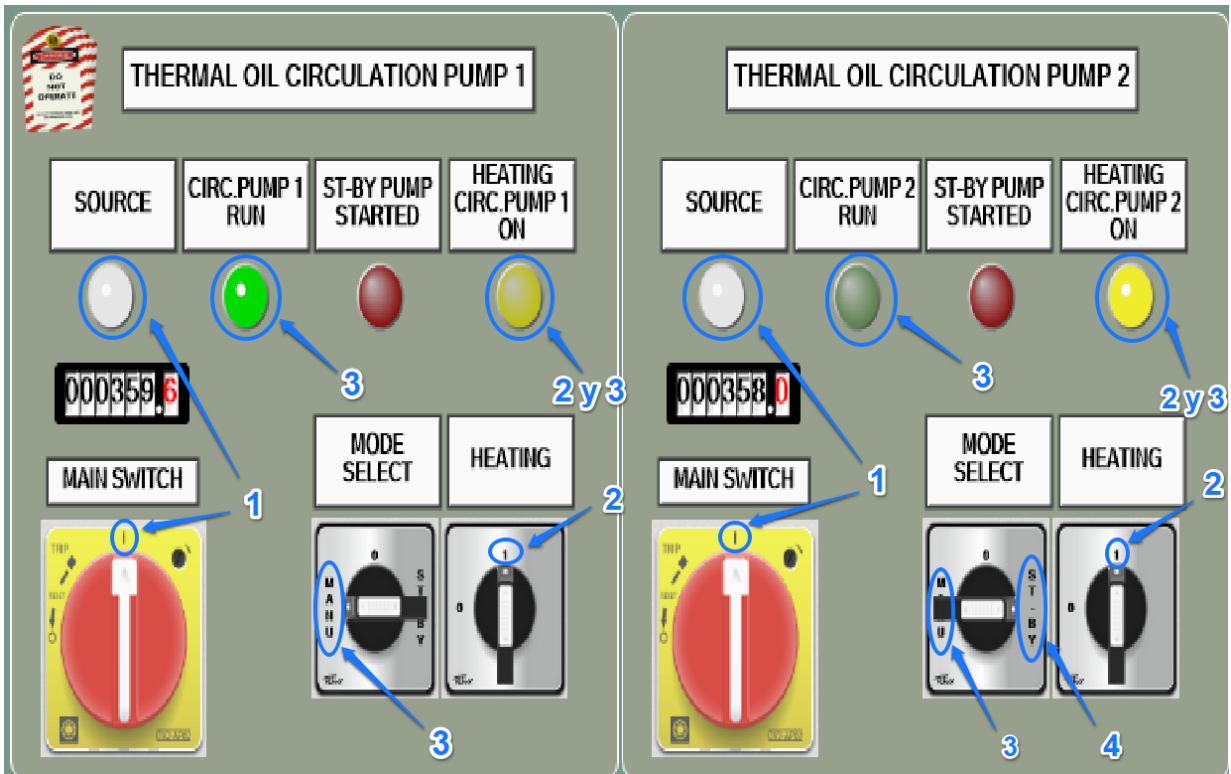


Figura 78: Procedimiento de preparación del sistema de aceite térmico – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

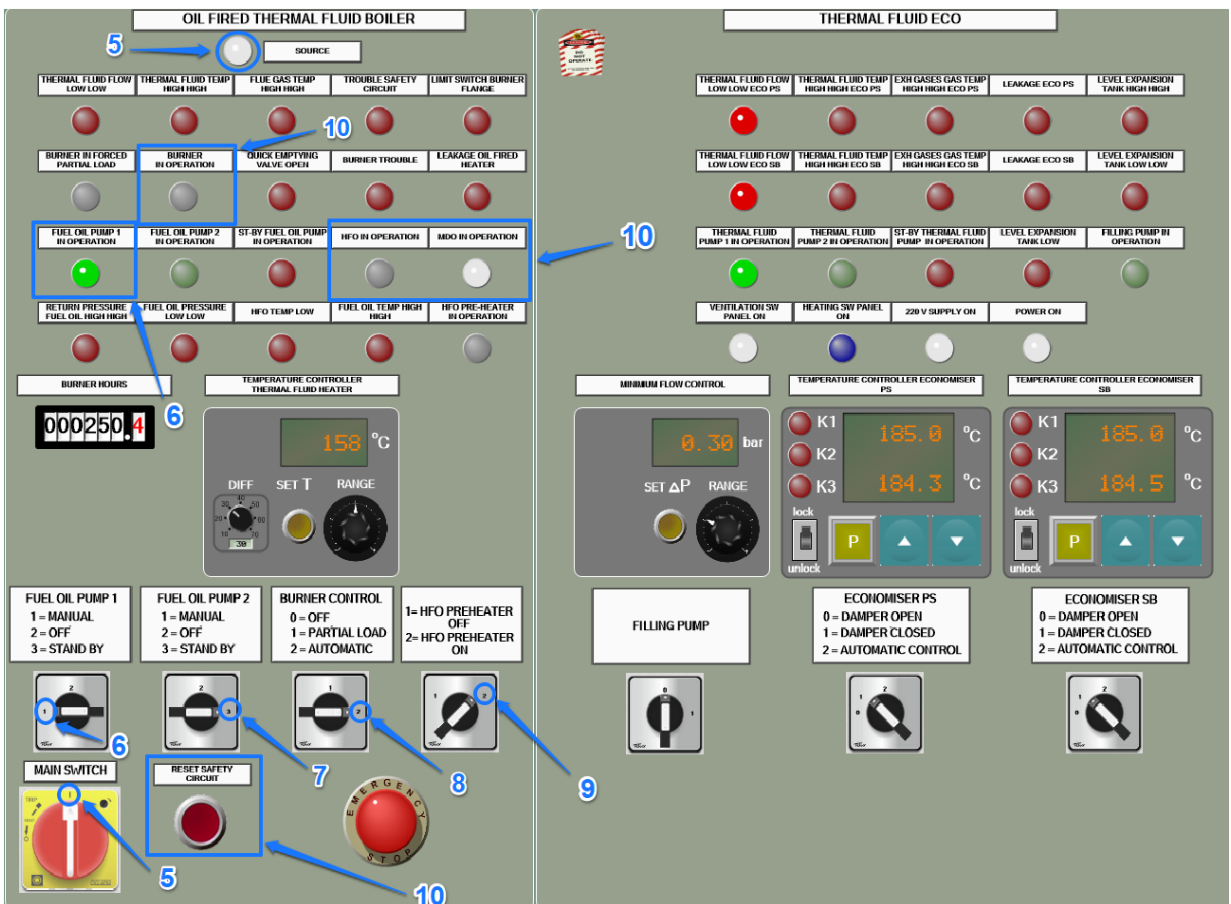


Figura 79: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (1) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

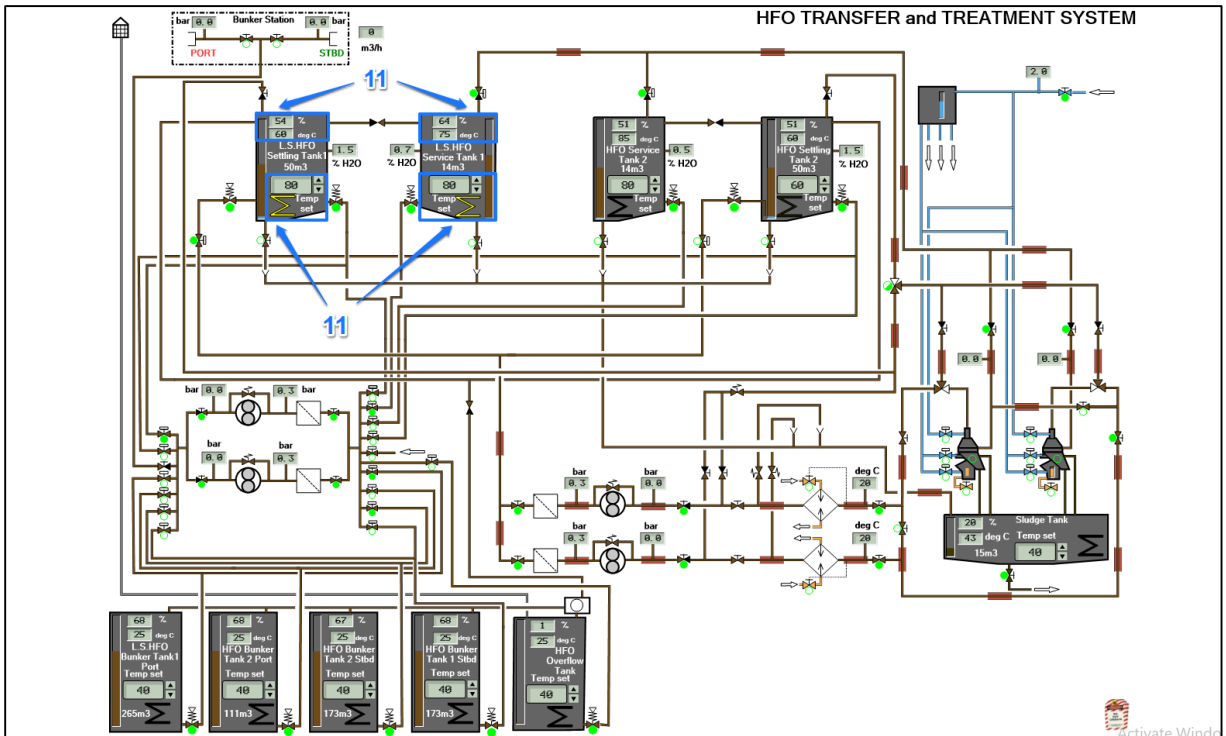


Figura 80: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (2) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

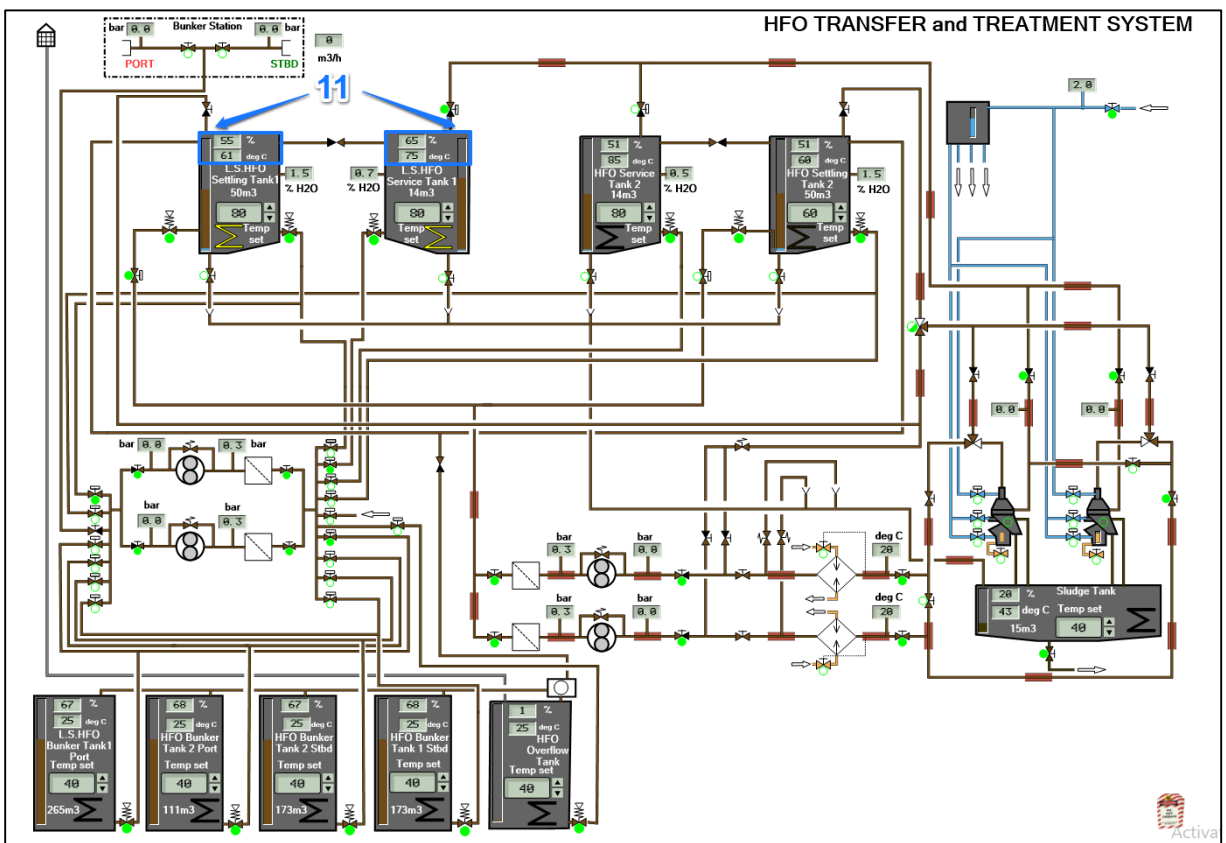


Figura 81: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (3) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

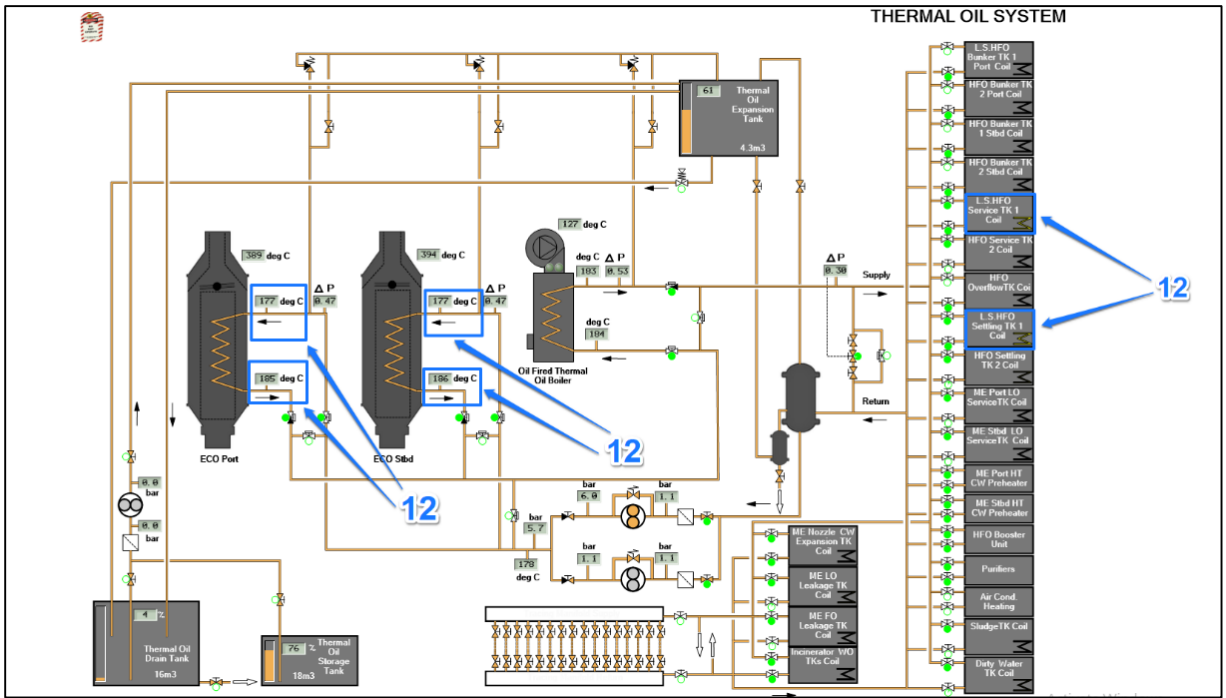


Figura 82: Procedimiento de arranque del sistema de aceite térmico (4) – Fuente: Captura de pantalla del simulador de máquinas

7. Conclusiones

Como se ha mencionado anteriormente, el simulador juega un papel fundamental durante la formación del alumno de máquinas ya que complementa los conocimientos teóricos adquiridos por el alumno durante su trayectoria por la Facultad Náutica de Barcelona con ejercicios prácticos. Dichos ejercicios permiten que el alumno se familiarice con la secuencia de arranque y operativa de los diferentes equipos y sistemas del buque, así como de los procesos de inspección y mantenimiento que se han de implementar para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria. Por no mencionar, el aumento de la capacidad de pensamiento flexible del alumno ya que al someterlo a situaciones de fallos o averías se fomentará su capacidad de resolución de problemas. A causa de esto el alumno de máquinas está mejor capacitado y entrenado para poder operar de manera óptima la planta de propulsión y la planta de energía eléctrica.

El buque Ro-Pax consta de varios sistemas y equipos, algunos de los cuales son de reciente implementación, por ejemplo, el sistema de aceite térmico, los scrubbers, entre otros. Para operar de manera factible estos sistemas y equipos es necesario contar con más actividades y metodologías de aprendizaje. Por este motivo, en este proyecto se ha expuesto una secuencia de arranque simple y asequible de la planta propulsora.

El simulador de sala de máquinas de la Facultad de Náutica de Barcelona, Wärtsilä Transas ENGINE ROOM SIMULATOR, ha sido renovado recientemente, se ha actualizado tanto el software como el hardware. Así que dicho simulador ahora goza de grandes ventajas y facilidades comparado con su antecesor, por este motivo, es esencial y prioritario que todos los alumnos del Grado de Tecnologías Marinas realicen el máximo número posible de ejercicios prácticos en los cuales se simule todo tipo de situaciones y contextos de emergencia, peligro o inusuales que se puedan producir en un buque. El simulador nos va a permitir practicar en un entorno seguro, absolutamente libre de riesgos. Además, podremos repetir los ejercicios prácticos tantas veces como deseemos y conocer cuáles han sido nuestros errores durante su desarrollo.

Para este trabajo se plantea como objetivo desarrollar la secuencia de arranque de la planta de propulsión de un buque Ro-Pax desde la condición de buque frío hasta la condición de navegación todo avante. Para lograr el objetivo se realiza una recopilación, organización y análisis de información que estuviese relacionada con los buques Ro-Pax para mejorar o aumentar la comprensión que se tenía sobre ellos. Una vez acabada esa tarea se procede a plasmar esos conocimientos teóricos en el simulador de la sala de máquinas para facilitar y agilizar el desarrollo de la secuencia de arranque de la planta propulsora.

Cabe mencionar que durante la ejecución de este trabajo se encontraron problemas y errores en el manual del Ro-Pax proporcionado por Wärtsilä Transas los cuales se pudieron solventar gracias a la paciencia, constancia y tolerancia tanto del alumno como del tutor.

En definitiva, el hecho de emplear un simulador es una forma de aprender y practicar de manera interactiva, divertida y, lo más importante, eficiente. Por no mencionar que los alumnos de máquinas cuantas más horas de entrenamiento en el simulador tengan mejor será su formación y, por consiguiente, más experiencia de trabajo lo cual es muy valorado por las compañías navieras.

8. Bibliografía

- [1]Rodríguez Vidal, Carlos. *Tecnologia-maritima. Motores marinos lentos* [Consultado el 16 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://tecnologia-maritima.blogspot.com/2018/09/motores-marinos-lentos-caracteristicas.html>
- [2]Mathur, Anmol. *Compressed Air Line On Ships*. [Consultado el 16 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.marineinsight.com/tech/air-compressor/compressed-air-line-on-ships/>
- [3]Kaushik, Mohit. *Efficiency of Air Compressor and Uses of Compressed Air on a Ship*. [Consultado el 16 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.marineinsight.com/tech/air-compressor/efficiency-of-air-compressor-and-uses-of-compressed-air-on-a-ship/>
- [4]Kantharia, Raunek. *Why is Cargo Ventilation Important on Ships*. [Consultado el 16 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.marineinsight.com/marine-safety/why-is-cargo-ventilation-important-on-ships/>
- [5]Michaud, Ralph. *Cadena de suministro, Finnlines ya tiene a punto su nuevo buque ro-ro híbrido eco-sostenible* [Consultado el 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/finnlines-ya-tiene-a-punto-su-nuevo-buque-ro-ro-hibrido-eco-sostenible/>
- [6]Machinery Spaces. *Machinery space ventilation on board cargo ships*. [Consultado el 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://www.machineryspaces.com/ventilation-methods.html>
- [7]HEINEN & HOPMAN. *Marine Ventilation Systems*. [Consultado el 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://heinenhopman.com/en/marine-ventilation-systems/>
- [8]Wankhede, Anish. *What is Marine Electricity And How It is Generated*. [Consultado el 18 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-marine-electricity/>
- [9]Konotherm. *Cargo and fuel heating for seagoing vessels*. [Consultado el 18 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.konotherm.com/en/thermal-oil-heating-systems-seagoing-inland-shipping/>
- [10]Liu, Yipei. *Operativa de la maquinaria de un buque petrolero desde la condición de buque frío*. [Consultado el 15 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/355992>
- [11]Global heat transfer. *Heat Transfer Fluid for Marine Applications*. [Consultado el 15 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://globalhtf.com/application/marine/>
- [12]Leduc, Martin. *Ship's electrical system described* [Consultado el 28 de febrero de 2022]. Disponible en: https://www.dieselduck.info/machine/03%20electricity/electrical_sys.htm

- [13] Marine Engineering. *Emergency Generator on Ships*. [Consultado el 28 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://marineengineeringonline.com/emergency-generator-on-ships/>
- [14] Machinery Spaces. *Emergency power supply & Shaft Alternators for ships machinery operation*. [Consultado el 28 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://www.machineryspaces.com/emergency-power-supply.html>
- [15] Bright Hub Engineering. *Emergency Power System of Marine Electrical Systems: Emergency Generator Backups & More for Ships*. [Consultado el 28 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/24519-guide-to-emergency-power-system-on-ships/>
- [16] Electro technical officer. *All about generator – ship major component*. [Consultado el 28 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://electrotechnical-officer.com/all-about-generator-ship-major-component/>
- [17] Wankhede, Anish. *How is power supplied on board a ship* [Consultado el 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/cesarerivas/how-is-power-supplied-on-board-a-ship>
- [18] Govindasamy, Ram. *Ship's emergency power*. [Consultado el 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://dieselship.com/marine-technical-articles/marine-electro-technology/ships-emergency-power/>
- [19] Safety 4 sea. *Breakdown of diesel generators due to carelessness*. [Consultado el 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://safety4sea.com/case-study-breakdown-of-diesel-generators-due-to-carelessness/>
- [20] Electro technical officer. *All about emergency generator on ship*. [Consultado el 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://electrotechnical-officer.com/all-about-emergency-generator-on-ship/>
- [21] Ship fever. *All About Emergency Generator on Ships*. [Consultado el 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://shipfever.com/emergency-generator-on-ships/>
- [22] Escandell Tur, Jose Angel; Arrazola Méndez, Francisco José. *Análisis del sistema centralizado de refrigeración de aplicación en buques de tipo Ro-pax* [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: Facultad Náutica de Barcelona (UPC).
- [23] Wärtsilä Transas. *Wärtsilä Shaft Generator Systems*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/marine/products/electrical-and-power-systems/shaft-generator>
- [24] Varela Dokú, Francisco. *Prácticas académicas realizadas en los buques A: B/C "Pinazo", B: Ro/ro "Don Fernando"* [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: Facultad Náutica de Barcelona (UPC)

- [25]Cummins Generator Technologies. *Marine Shaft Generators*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.stamford-avk.com/sites/stamfordavk/files/AGN039_C.pdf
- [26]Electro technical officer. *What is ship's electrical system*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://electrotechnical-officer.com/ships-electrical-system/>
- [27]Wankhede, Anish. *What is Marine Electricity And How It is Generated*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-marine-electricity/>
- [28]Wärtsilä Transas. *Electric Propulsion Systems*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/marine/products/electrical-and-power-systems/electric-propulsion/electric-propulsion-systems>
- [29]Wärtsilä Transas. *Full electric vessels*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/marine/products/electrical-and-power-systems/full-electric-vessels>
- [30]Novo Hernández, Juan Carlos. *Descripción, explotación y mantenimiento de la instalación energética del buque ro-ro Don Fernando* [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: Facultad Náutica de Barcelona (UPC).
- [31]Electro technical officer. *All about main switchboard on ship*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://electrotechnical-officer.com/all-about-main-switchboard-on-ship/>
- [32]Wärtsilä Transas. *Switchboards*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/switchboards>
- [33]Kaushik, Mohit. *What are the Main Safety Devices for Main Switch Board on Ship*. Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-are-the-main-safety-devices-for-main-switch-board-on-ship/>
- [34]Marine Engineering. *Construction of a Main Switch Board (MSB) used in Ships*. [Consultado el 6 de abril de 2022]. Disponible en: <https://marineengineeringonline.com/construction-main-switch-board-msb-used-ships/>
- [35]Boned Marí, Juan Miguel. *Análisis y redimensionado de un sistema de combustible a partir del remolcador "Willy-T" y el buque Ro-Pax "Murillo"*. [Consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17383/AN%c3%81LISIS%20Y%20REDIMENSIONAMIENTO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20COMBUSTIBLE-P.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [36]Bright Hub Engineering. *Marine Electrical Power Distribution System*. [Consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.brighthouseengineering.com/marine-engines-machinery/93979-marine-electrical-power-distribution/>

- [37]Larrañaga Dopico, Álvaro. *Buque tanque volga-don max de productos petrolíferos y quimiqueros tipo II*. Universidad de la Coruña. [Consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/15858?locale-attribute=es>
- [38]The IMO-Vega. *SOLAS Consolidated Edition*. [Consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://vp.imo.org/Customer/Subscriptions/IMOVega/MemberPages/Contents.aspx?nodeId=IDEAF50532>
- [39]The IMO-Vega. *MARPOL Consolidated Edition*. [Consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://vp.imo.org/Customer/Subscriptions/IMOVega/MemberPages/Contents.aspx?nodeId=ID707ACFC1>
- [40]The IMO-Vega. *STCW Convention Consolidated Edition*. [Consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://vp.imo.org/Customer/Subscriptions/IMOVega/MemberPages/Contents.aspx?nodeId=ID4343E14E>
- [41]Neydra Cedeño. *Sistema de Alimentación de Combustible de un Buque*. Universidad Marítima Internacional de Panamá. [Consultado el 23 de abril de 2022]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/sistema-de-combustible-de-un-buque-pdf-free.html>
- [42]Alfa Laval Iberia S.A Alfa Laval. *Servicio marítimo de Alfa Laval* [Consultado el 12 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.alfalaval.com/industries/marine-transportation/marine/>
- [43]Avila Barris, Rossend. *Prácticas en barco* [Consultado el 26 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8853/Pr%C3%A1cticas%20de%20embarque%20CFLMN.pdf>
- [44]Transas Ltd (2014). *Engine Room Simulator 5000 TechSim Vessel Model "Ro-Pax Ferry "*. Trainee Manual Wärtsilä Transas [Consultado casi todos los días].