



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Electricidad y Electrónica

“DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA MOTO NAVE UMS (UNATTENDED MACHINERY SPACE) CAR - CARRIER”.

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Electrónico.

Profesor Patrocinante:
Sr. Mario Fox Osses.
Ingeniero Civil en Electricidad.

JAIME ASMED JALIFE DONOSO
MILTON WLADIMIR MATURANA VELÁSQUEZ
VALDIVIA - CHILE
2009

Comisión de Titulación

Sr. Mario Fox O.
Profesor Patrocinante.
Ingeniero civil Electricista.

Sr. Mario Loaiza O.
Profesor Informante.
Ingeniero de Ejecución en Máquinas Marinas.

Sr. Renato Loaiza H.
Profesor Informante.
Ingeniero de Ejecución en Electricidad.

Fecha de Examen de Titulación: _____

Agradecimientos

Mediante este trabajo de titulación, culmina un proceso arduo lleno de mucho sacrificio, entrega, espíritu de cuerpo y prestancia por cumplir con las expectativas planteadas. En nuestro paso por la Universidad Austral de Chile, podemos recordar y agradecer a todos quienes en un momento, nos ayudaron en nuestra formación tanto personal como profesional. En nuestro caso agradecemos en primer lugar a nuestro grupo de estudio que integramos desde primer año junto a Jonathan López Arismendi, con quien enfrentamos momentos de entrega universitaria plena, en múltiples noches analizando, desde problemas de cálculo, hasta el diseño de unidades programables mediante microcontroladores y otros. Cada ramo pasado fue un peldaño que nos acercaba a la meta final, que desde el 2003 hemos perseguido. También tenemos que agradecer la formación profesional que nos entregó el docente del instituto de electricidad y electrónica ing. Ricardo Gutiérrez, quien nos ayudó a construir los firmes cimientos para poder ser buenos profesionales y alcanzar nuestras perspectivas. También recordamos a nuestras familias por el apoyo que se nos brindó en estos cinco años de universidad. Por otra parte también agradecemos la gentileza y la buena disposición que tuvieron con nosotros la tripulación de la M/N Pacific Winner, quienes nos acogieron cordialmente, y nos permitieron desenvolvernos en nuestro campo ocupacional, específicamente agradecemos al departamento de máquinas, con quienes solucionamos muchos problemas. Pensando en cada momento difícil que tuvimos que superar, agradecemos a dios por iluminarnos con sabiduría e inteligencia para poder terminar nuestra carrera dentro del tiempo de cinco años.

Jaime Jalife Donoso agradece a

A la familia por hacer posible el echo terminar mis estudios, cabe recalcar el apoyo de mi padre Jaime, el de mi madre Mercedes, el de mis abuelos, mis tíos y mis hermanas y a mis amigos del liceo, Felipe y Cristian. No es menor el apoyo recibido por amigos en la época de estudio, como Milton, Wendelin, Rubén, Jonathan, Raúl. Estaré siempre agradecido de Dios por haberme dado la oportunidad de empezar y terminar mis estudios.

Milton Maturana Velásquez agradece a

Dios y la virgen por ayudarme a cumplir con mi sueño de ser un profesional para engrandecer este país, también a mi abuelita Eliana Margarita Sanhueza por todo lo que me ha entregado, siempre estaré en deuda con ella. También menciono a mi madre Gilda Velásquez Sanhueza, mis hermanas Marjorie y Barignia. Amigos como Jaime, Jonathan, Rubén, Raúl, Wendelin, Carlos, me enseñaron siempre el afán de estudio, y si este es en grupo mucho mejor. En mi memoria quedarán los grandes momentos en la universidad y el valor para enfrentar las adversidades. Tomo esto como una gran ayuda para mi destino en el futuro.

Resumen.

El presente trabajo de titulación, expone un estudio teórico descriptivo sobre el sistema eléctrico y sus prestaciones abordo de una moto-nave tipo car-carrier. El tema es bastante extenso y es aplicable a varios campos de la ingeniería y la industria, debido a la amplia cantidad de sistemas asociados. El estudio esta enfocado a desmembrar el sistema eléctrico desde un punto de vista de generación, transmisión, distribución y aplicaciones en el buque.

El tema escapa bastante de lo que se ha propuesto normalmente como trabajo de titulación para ingenieros electrónicos. El trabajo muestra en forma indirecta, las competencias que debe reunir un ingeniero electrónico a cargo de todo el sistema eléctrico y de automatización, existente en la moto-nave.

Se debe mencionar que una nave, es una planta industrial la cual esta en servicio las 24 horas del día a full y que además se encuentra en alta mar, lo cual es muy complejo en caso de fallas. Desde la generación eléctrica hasta la distribución, existen innumerables puntos, que fueron acotados lo mas posible, resaltando modelamientos y proveedores tecnológicos con amplia tradición en mercado y reconocidos por casas clasificadoras. El sistema eléctrico en un buque esta dividido por prestaciones para fuerza eléctrica, alumbrado y control automático de sistemas. La plataforma eléctrica debe cubrir todas las necesidades, presentes tanto para la operación de las máquinas como para la tripulación. El punto que hoy en día, es mas dependiente de la energía eléctrica, es la máquina principal, la cual gracias a la evolución tecnológica, ha logrado emigrar de modelos netamente mecánicos MC, hasta modelos netamente eléctricos (propulsión eléctrica). Actualmente las máquinas convencionales de dos y cuatro tiempos están controladas electrónicamente MEC. Esta modalidad interviene todos los circuitos de lubricación, inyección, refrigeración, purificación, vapor, etc, constituyendo una máquina inteligente con tecnología electrónica. Existen paneles de control que reciben información discreta y analoga desde los sensores de campo. Esta información es procesada e intervenida en el campo real gracias a los actuadores eléctricos y electrónicos. Tanto lo sistemas de bombas y válvulas han evolucionado, utilizando electrónica de potencia en la mayoría de sus sistemas de fuerza.

Abstract.

The present thesis project is a theoretical study on the descriptive electric power system and its performance on board a M/N car-carrier ship. The theme is quite extensive and is applicable to various fields of engineering and industry, due to the large number of systems partners. The study is focused to display the electrical system from the generation, transmission, distribution and applications in the ship.

The theme is quite different, in comparison with other proposed of thesis work for electronics engineers. The work shown in an indirect way, the skills required by an electronic engineer in charge of the whole electrical system and automation in the M/N.

It should be mentioned that a ship is a industrial plant which is in service 24 hours full and also found at sea, which is very complex in case of failure. From power generation to distribution, there innumerables points, which were enclosed as much as possible, highlighting modelamientos and technology providers with extensive history in the market and recognized by rating houses. The electrical system on board is divided in various system, as electric power systems, lighting and automatic control systems. The platform should cover all electrical needs, both for the present operation of the machine as for the crew. The point is now more dependent on electricity, is the main machine, which, thanks to technological developments, has managed to emigrate purely mechanical model MC, purely electric models to (electric). Currently, the conventional machines of two and four stroke are electronically controlled MEC. This arrangement involving all circuits lubrication injection, cooling, cleansing, steam, etc, forming an intelligent machine with electronic technology. There are control panels that are discrete and analog information from sensors in the field. This information is processed and intervene in the real thanks to the electrical and electronic equipment. Both the systems have evolved pumps and valves, using power electronics in most of their strength.

Índice general

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Abstract	iv
1. Introducción	1
2. Sistemas de Generación	3
2.1. Generación Mediante Máquinas Diésel	3
2.1.1. Redundancia en los Sistemas de Generación	5
2.2. Motor Diésel Wärtsilä 8L32	9
2.2.1. Sistema humidificación WETPAC	10
2.2.2. Sistema de Inyección de Combustible	10
2.2.3. Sistema de Enfriamiento	11
2.2.4. Sistema de Lubricación	13
2.4. UNIC (Unified Controls)	14
2.4.1. UNIC C1	15
2.4.2. UNIC C2	17
2.5. Automatización de la Planta Eléctrica	19
2.5.1. Introducción de Ethernet	19
2.5.2. Antes de Ethernet	20
2.5.3. Ethernet en la Industria	21
2.5.4. WOIS (Wärtsilä Operator's Interface System)	25
2.5.5. WISE (Wärtsilä Information System Environment)	25
2.6. PMS (Power Management System)	26
2.6.1. Funciones Principales del sistema PMS	27
2.6.2. Control de Potencia	28
2.6.3. Control PI Proporcional e Integral	28
2.7. Integración de los Sistemas de Administración de la Generación (PMS)	29
2.8. Sistema automático central de carga GENA-100	31
2.8.1. Aplicación de gobierno con unidad DEGO II	32
2.8.2 Estructura Interna del GENA - 100	32
2.8.3. Funcionamiento por características internas	32

2.8.4. Sincronización, puesta a línea y control de carga eléctrica.....	33
2.8.5. Control de Frecuencia.....	33
2.8.6. Control para Black Out.....	34
2.9. Generación Eléctrica a través del Generador Shaft.....	35
2.9.1. Sistema PWM para el Generador Shaft (Generador de Cola)	35
2.9.2. Innovador Principio de Operación.....	37
2.9.3. Modulación por ancho de pulso, PWM.....	40
2.9.4. La Distorsión Armónica.....	45
2.9.5. Transistor Bipolar de Compuerta Aislada, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	45
2.9.6. Forma de Onda de Salida.....	46
2.9.7. Generador Shaft en Alta Tensión.....	48
2.9.8. Principio de Operación.....	48
2.9.9. Protección de Corto Circuito.....	50
2.9.10. Funcionamiento del GTO.	51
2.9.11. Protección GTO.....	52
2.9.11. Generador Shaft de MAN B&W.....	60
2.9.12. PTO/GCR (Power Take Off/GearConstant Ratio).....	60
3. Transmisión eléctrica abordo de una M/N car-carrier.....	62
3.1. Sistema de Transmisión eléctrica de la M/N Pacific Winner.....	68
4. Sistema de Distribución eléctrica.....	77
4.1. Distribución de la energía eléctrica.....	78
4.1.1. Sistemas de distribución en buques modernos.....	86
4.2. Sistemas tecnológicos en ELECTRIC SWITCHBOARD.....	91
4.3. Distribución eléctrica cuando la transmisión es H.V (alta tensión).....	97
4.4. Análisis de falla de arco eléctrico.....	109
4.5. Transformador eléctrico para reducción de tensión.....	112
4.6. Especificaciones técnicas para subestaciones eléctricas.....	113
4.7. Nuevos sistemas tecnológicos promovidos por ABB y SIEMENS para plantas eléctricas Full automatización.....	117
4.7.1. Propuesta tecnológica de SIEMENS.....	117
4.7.2. MV generador eléctrico compacto e inteligente.....	119
4.7.3. MV SWITCHBOARD integrados y abiertos.....	119
4.7.4. Sistema de administración para energía descentralizado y seguro.....	119

4.7.5. Drive para transformadores eficiencia/costo.....	119
4.8. Propuesta tecnológica de ABB MARINE.....	121
5. Planta propulsora de las M/N Car Carrier.....	125
5.1.1. Descripción.....	128
5.1.2. Selección de motor principal.....	134
5.2. MAN B & W MAIN ENGINE and AUXILIARY ENGINE.....	139
5.2.1. Máquinas MC de dos tiempos o two-stroke.....	140
5.2.2. Sistema Fuel Oil.....	142
5.2.2.1. Arquitectura del sistema FUEL OIL.....	146
5.2.3. Sistema de refrigeración central por agua.....	150
5.2.4. Sistema aire de partida.....	153
5.2.5. Sistema de aceite de lubricación.....	155
5.2.6. CoCoS computer controlled surveillance.....	155
5.3. Propuesta tecnológica de MAN B & W para máquinas diésel del nuevo milenio.....	157
5.3.1. Concepto de máquina inteligente.....	160
5.3.2. Sistema de alimentación.....	161
5.3.3. Sistema de inyección de combustible.....	162
5.3.4. Sistema actuador para válvula de escape (válvula de desahogo).....	164
5.3.5. Sistema de dominio y control redundante para los mecanismos de inyección.....	166
5.3.6. Sistema de medición de presión en cilindros (PMI).....	168
5.3.7. Lubricación en cilindros con actuadores electrónicos.....	169
5.3.8. Sistemas tecnológicos para control propulsivo de la máquina principal.....	172
5.3.9. Detalle de paneles principales para puente de gobierno.....	177
5.3.9.1. Sistema CPP (control propeller pitch).....	179
5.4. Propulsión Eléctrica.....	183
5.4.1. Convertidores de potencia eléctrica avanzados.....	186
5.4.2. Concepto UMS en las naves car-carrier.....	189
5.4.3. Unidad Controladora EPC-41/400 para sistemas de separadores centrífugos tipo HFO.	189
5.4.4. SAU (Separator Ancillary Unit).....	191
5.4.5. Detalle de una experiencia realizada con una unidad EPC - 41.....	195
5.4.6. Sistema de control automático PID AMOT para control de temperatura agua de chaqueta.....	198

5.4.6.1. Descripción de sistema PID AMOT.....	198
6. Protecciones catódicas para Buques.....	204
6.1. Teoría de funcionamiento.....	204
6.2. Características electroquímicas de los ánodos de sacrificio más usados.....	206
6.3. Intensidad de corriente anódica.....	208
6.4. Análisis y estructuras de funcionamiento según el perfil de ingeniería eléctrica.....	208
6.5. Concepto de corrosión.....	210
6.6. Protecciones catódicas por Corrientes impresas.....	213
6.7. Modelamiento de montaje en buques para protecciones catódicas.....	214
7. Conclusiones.....	218
8. Glosario.....	223
9. Bibliografía.....	224

Capítulo 1.

Introducción.

La ingeniería eléctrica desde antaño, ha estado al servicio de los grandes proyectos con aplicaciones navales. Desde el principio la electricidad era una fuente energética muy útil, partiendo del sistema de generación eléctrica, que era utilizado, solo para alumbrado y algunos arranques eléctricos, en los primeros buques. Luego de las primeras evoluciones tecnológicas, los ingenieros, empezaron a desarrollar el concepto de automatismo, para lo cual el control de variables de proceso, mezclaban varios circuitos de fuente para su accionamiento en módulos actuadores tales como agua, vapor, aire comprimido, circuitos hidráulicos, neumáticos de alta presión y circuitos de lubricación. En las primeras máquinas principales de los navieros, la existencia de sistemas netamente mecánicos respondían a la tecnología existente en ese momento, lo cual limitaba la operabilidad, aumentaba los trabajos de mantención y también se apreciaba una tendencia alta, a riesgos de accidentes. El concepto de máquina principal como el alma del buque, la cual genera la potencia necesaria, para obtener una propulsión, y finalmente el desplazamiento de la enorme masa de hierro flotante.

Desde 1980, la evolución tecnológica, coincide con la llegada de los semiconductores de tres capas dos junturas (transistores). El impacto de la electrónica también influyó en el desarrollo de los primeros sistemas de control automático, con un aspecto bastante robusto y demasiado analógico. El desafío de la ingeniería eléctrica, por otro lado, tomaba los primeros proyectos de potencia para aplicaciones en los sistemas y circuitos antes mencionado.

La convergencia empezó a notarse desde 1995, cuando las plantas propulsoras diésel iniciaban un despegue gracias al desarrollo de los sistemas de automatización desarrollados por la industria electrónica. Las componentes demandaban potencias eléctricas, las cuales eran atendidas por sistemas de generación diésel y los primeros shaft generator. El sistema de distribución eléctrica, empezó a tomar gran importancia en los diseños, ya que las cargas aumentaron considerablemente al incluir motores eléctricos para su uso en bombas y otros en la enorme cantidad de sistemas demandados por la máquina principal, y la disposición de operación del buque.

En el año 2000 la ingeniería eléctrica y electrónica, convergen al desarrollo de automatismo e integración plena, excluyendo el control clásico por aire, líquido hidráulico y otros. La tecnología realizó avances desde la aplicación de motores eléctricos asincrónicos y sincrónicos para la propulsión eléctrica de un buque. Las primeras aplicaciones de esta índole fue en el mundo militar, luego cruceros, LNG y big container. En la actualidad las máquinas principales a base de diésel y bunker (HFO), siguen predominando el mercado y liderazgo en naves, pero el concepto de control automático, sistemas de monitoreo, control de alarmas y mantención, se han hecho mas sofisticados gracias al uso del concepto MEC y máquina inteligente. Proveedores tecnológicos como ABB, SIEMENS, ALPHATRONIC, MAN B & W, HYUNDAI, SULZER, y otros, han sido los grandes propulsores, gracias a sus investigaciones. Actualmente en los buques car carrier la aplicaciones de estas tecnologías son una realidad, como en otros buques cargueros. El concepto UMS, ha pasado a ser el inicio de la modalidad de máquina inteligente, la cual esta mas controlada, permitiendo mejorar ostensiblemente su performance, rendimiento, operación y planes de mantención.

Objetivos Generales.

- Analizar los Sistemas modernos de Generación Eléctrica, presente en las Moto Naves Car Carrier.
- Detallar los Sistemas de Control Automático asociados a la planta electrógena a bordo.
- Dar a Conocer los Sistemas de Control Automático presentes en la planta propulsora diésel.

Objetivos Específicos.

- Estudiar los Generadores Eléctricos empleados en las Moto Naves. Generadores principales, generador SHAFT POWER y generador auxiliar de emergencia.
- Analizar el tipo de control asociado a los generadores de la planta electrógena y planta propulsora, tomando en cuenta alarmas, estados de funcionamiento y puesta en servicio.
- Detallar las Unidades Controladoras y los actuadores eléctricos insertos en los sistemas de separadores centrífugos.

Capítulo 2.

2. Sistema de Generación.

La Administración de los Sistemas de Generación (de sus siglas en inglés PMS) es una parte importante de los equipos de control en el buque. Estos equipos de control están usualmente distribuidos en varias estaciones de control, las cuales pueden ser operadas en forma conjunta y pueden comunicarse entre ellas intercambiando información o bien de forma independiente, en caso una situación especial de emergencia cuando es preciso operar con los breaker del lazo abiertos. La PMS sirve para proporcionar la energía eléctrica cuando es requerida y para prevenir que el sistema se venga a bajo. Los equipos dentro del PMS incluyen a las máquinas, generadores, tableros de distribución eléctrica y controles junto a los equipos de automatización que llevan a cabo cálculos algorítmicos. Antes de ver con detalle el funcionamiento de la PMS, es necesario ver como es el sistema de generación en los buques.

El sistema de Generación a bordo de un buque esta conformado por Generadores, las Cargas Eléctricas y el sistema de Distribución.

2.1 Generación Mediante Máquinas Diésel.

En la figura N°1 se muestra una configuración básica de sistema de generación con un tablero de distribución de media tensión (principalmente de 3.3, 6.6 o 11 KV). Las Máquinas diésel de velocidad media entre 500 y 1000 rpm son comúnmente usadas como los motores principales en las instalaciones generadoras en los buques. Cualidades como, la robustez, fiabilidad, rápida aceptación de carga, baja desviación de la frecuencia y una redundancia obtenida con un numero relativamente grande de unidades instaladas a bordo están los factores entre 4 y 8, además de consumir combustible, por lo cual tiene una gran influencia en la selección como motor primario. Se utilizan transformadores para conseguir el voltaje apropiado para los variadores de frecuencia de la propulsión, que en este caso eléctrica, y para motores eléctricos que usualmente operan el 1500 V con potencias entre 25 y 30 MW. Los Tableros eléctricos de baja tensión alimentan las cargas eléctricas de menor consumo de potencia, como bombas, compresores, ventiladores, con una potencia entre los 100 y 200 KW y en

tensiones de 690 V o 440V. Un especial equipo sensitivo deberá alimentar por medio de un sistema continuo de energía, llamado UPS, el cual suministra una señal sinusoidal con una cantidad muy baja de armónicos, con una baja distorsión de voltaje y corriente.

En la figura N°1, se consideran dos sistemas de generación independiente, uno por el lado izquierdo y otro por la banda de estribor (derecho). Cada sistema posee un propio generador, un tablero de distribución eléctrico de medio voltaje, un tablero de distribución de bajo voltaje y thruster (Generador de empuje con motor eléctrico) con variadores de frecuencia, con un respectivo tablero eléctrico para variar la velocidad de propulsión.

Todos los componentes del Sistema de Generación Eléctrica a bordo de un buque con o sin controladores son interconectados con un sistema de control, ya sea mediante una conexión directa o mediante redes de campo, como fieldbus. Esto proporciona grandes posibilidades para un buen desempeño del sistema de control.

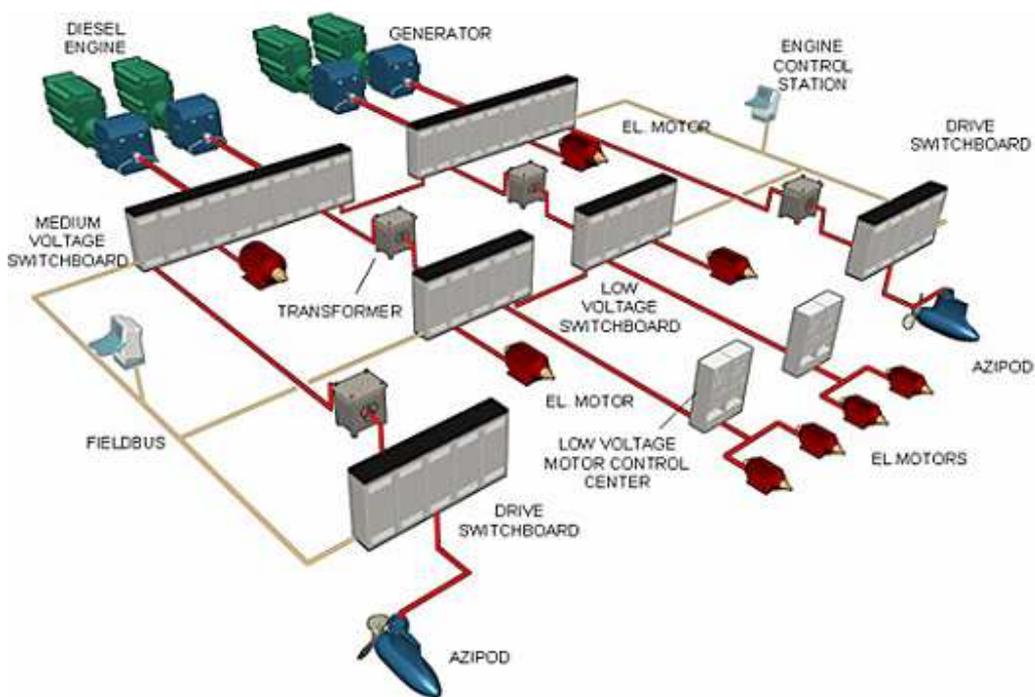


Figura N°1.

El Sistema de Generación se puede dividir principalmente de la siguiente manera:

- Sistema de Generación con motores a combustión diésel o gas.
- Sistema de Distribución Eléctrica en donde se encuentran los tableros de distribución de media tensión y los breakers de línea.
- Por transformadores para alimentar las cargas con voltaje alterno.
- Tableros de distribución de baja tensión y centros de control de motores.
- Variadores de Frecuencia para los motores de propulsión y otros usos, como para bow thruster (hélice de maniobra a proa), bombas, compresores.
- Filtros para reducir los armónicos en la corriente.
- Un sistema UPS (Uninterruptible power supply) para los equipos mas imprescindibles y para algunos sistemas automáticos.
- Motores de bajo y alto voltaje, para varios servicios como, propulsión, hélice de maniobras, compresores, ventiladores.
-

2.1.1. Redundancia en el Sistema de Generación.

Una configuración con dos generadores en cada red representa una mejor solución, puesto que el segundo generador aumenta significativamente la redundancia cuando la nave opera con el lazo que une ambas redes abierto. En este caso la redundancia esta vista desde el punto de la diversificación en la generación, en donde mientras mas generadores y redes de alimentación exista se ve favorecida la eficiencia del sistema, puesto que es mas difícil de que el sistema se quede sin energía eléctrica, por alguna eventual falla. En la figura N° 2, se muestra un diagrama unilineal con cuatro alimentadores, con una red de tensión en 11KV. Cada red posee dos generadores diésel, cada uno de 5.2MW y dos motores impulsores cada uno 3.2 MW.

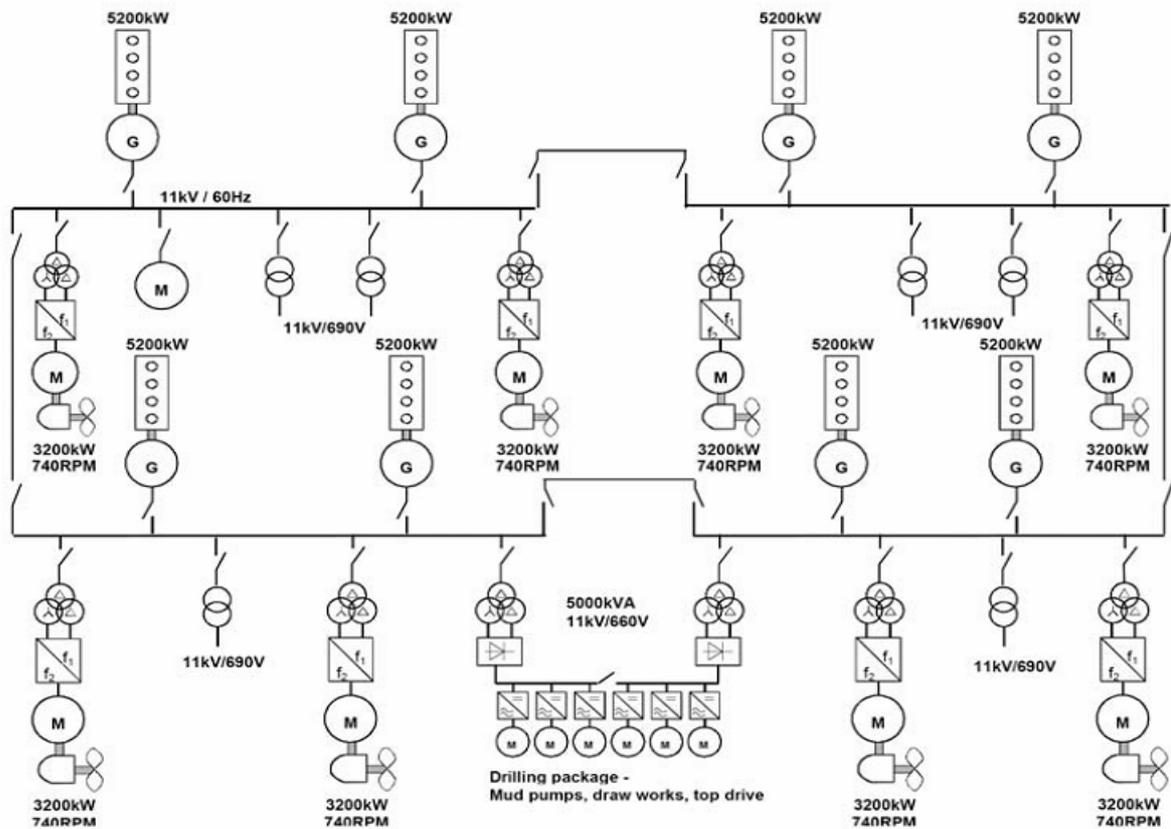


Figura N° 2.

Es común que en los Sistemas de Generación de los buques hallan dos grupos generadores redundantes. Esta configuración es común para buques que son capaces de cambiar de configuración en caso de emergencia. Sin embargo, hay una tendencia de aumentar el número de grupos de generación a bordo de los buques.

Según los requerimientos de la Clase, con respecto a la redundancia en los buques, indica que una sola falla no debe ser la causa para que más de un generador se salga de la línea. En caso de incendio o de inundación en el buque, los grupos generadores redundantes deben ser completamente independientes y aislados, a prueba de agua y del fuego, por medio de mamparo corta fuego de clase A-60, con el cual se asegura que la superficie del mamparo soporte temperaturas entre 140° y 180° C. La nave con un grupo de generación fuera de operación debe ser capaz de mantener estable el sistema, en un diseño pensado para condiciones desfavorables, como tormentas. Son varias las configuraciones que pueden hacer,

que darían la misma redundancia requerida. Si la potencia que se requiere es de 35MW en un diseño nominal y solo existen dos grupos generadores separados e independientes, permitidos según el diseño del sistema, la potencia total del sistema debe ser de 75 MW (35 MW por cada grupo de generación). Pero, si el número de grupo generadores aumenta a tres, la potencia total instalada debe ser de 52,5 MW. En la figura N° 3, se puede ver gráficamente, los grupos generadores para suministrar una potencia nominal de 35 MW, se ve que la potencia total instalada es mayor a la nominal, esto es por el echo de que sea un sistema redundante, por seguridad y para que el sistema tenga un respaldo, con lo cual se evita que el buque quede sin energía eléctrica en caso de una falla en un grupo generador.

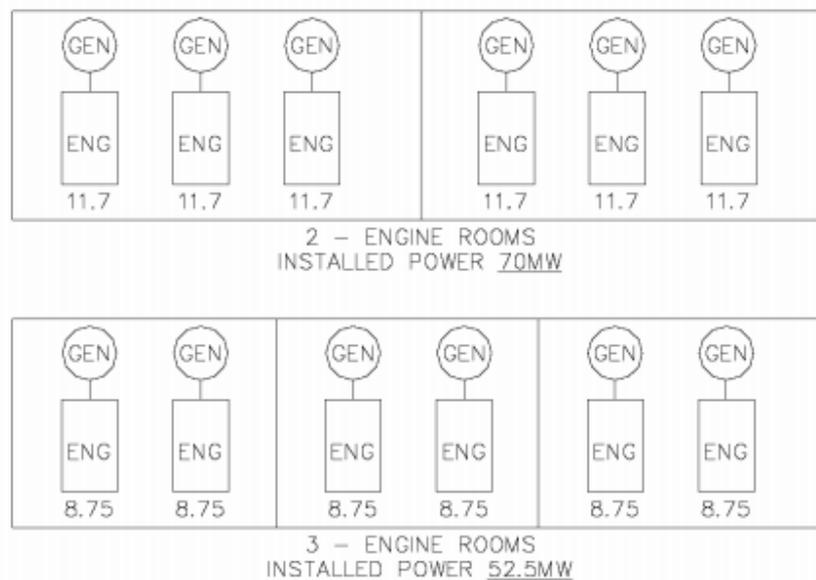


Figura N° 3.

En este tipo de configuración redundante la cantidad de la potencia instalada disminuye con el número de los grupos generadores, según la siguiente ecuación:

$$P_{inst} = P_{req} \cdot \frac{n}{n-1} \quad , \text{ donde: } P_{inst} = \text{Potencia Instalada.}$$

$$P_{req} = \text{Potencia Requerida}$$

n = numero de grupos generadores.

Por lo tanto, según el diseño se decide el número de grupos generadores para tener una óptima potencia instalada para la misma potencia requerida, teniendo en cuenta un aumento en la complejidad de la planta eléctrica y los costos por los grupos auxiliares y los respectivos sistemas de control.

La redundancia en la Planta Eléctrica es un ejemplo de cómo algunas restricciones en el diseño del sistema puede influir en la administración de la generación en la nave. Un rígido sistema de administración y control de la generación va a depender de la configuración, de la potencia instalada y en general en la condiciones de operación de la nave. Si estos factores no han sido considerados correctamente en la etapa de diseño, es irreal pensar que PMS (Power management system) puede funcionar de forma adecuada en iguales condiciones de operación de la nave.

Los motores diésel de velocidad media han sido tradicionalmente considerados como el más apropiado motor para las instalaciones de Generación Eléctrica. Del mismo modo para la propulsión de la nave, sin embargo hoy en día se han explorado otras áreas, como la del gas y la propulsión eléctrica. En la figura N° 4, se muestran dos configuraciones con motores diésel, para la generación de energía eléctrica y para la propulsión.

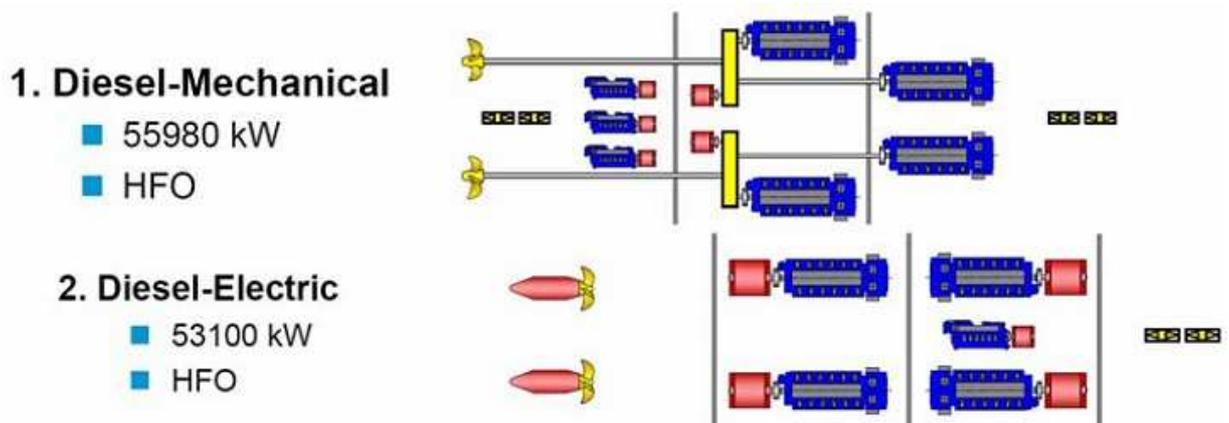


Figura N° 4.

En la figura N° 5, se puede observar que en un primer caso los motores diésel son empleados en la Generación Eléctrica y en la propulsión de la nave, en cambio en el segundo caso los motores diésel son empleados solo para la Generación Eléctrica, mientras que la propulsión de la nave es realizado por medio de un motor de inducción eléctrico.

2.2. Motor Diésel Wärtsilä 8L32.

Esta máquina está diseñada en base a los últimos avances en la tecnología en motores de combustión, está diseñado aplicando método flexible de fabricación y para funcionar largos periodos sin mantención. El motor esta equipado con todos los accesorios necesarios y cuenta con una planificada interfaz que se comunica con la planta eléctrica o con el sistema de control del buque. En la figura N° 5, se muestra el motor **Wärtsilä 8L32**.



Figura N° 5.

Las principales características del Wärtsilä 8L32 que se pueden mencionar son:

- Baja combustión y emisión de NO_x (Óxidos de Nitrógeno)
- Confiabilidad y bajos costos de mantención.
- Presenta un sistema de control integrado y monitoreo o sistema automático básico.
- Reducidos materiales consumables.
- Diámetro de Cilindro 320mm.
- Diámetro de Pistón 400mm.
- Velocidad 720,750 Rpm
- Voltaje 0.4-13.8 KV
- Frecuencia 50-60 Hz
- Eficiencia del generador 0.95%-0.97%

2.2.1. Sistema humidificación WETPAC.

Esta máquina tiene incorporado un sistema de Humidificación WÄRTSILÄ, tecnología desarrollada para la reducción de NO_x (Óxidos de Nitrógeno), llamada WETPAC. El principio de humidificación del WETPAC consiste en introducir agua con cada remesa de aire para reducir la temperatura de la combustión y de tal modo la formación de Óxidos de Nitrógeno. El agua es presurizada e inyectada antes del compresor del turbosoplante. La temperatura alta del aire comprimido evapora el agua, que entra en los cilindros como vapor. Un colector de niebla de agua evita que el agua en forma líquida entre a los cilindros. La máxima reducción típica de NO_x 20-40%, el agua consumida es hasta dos veces el valor del consumo de combustible y aceite.

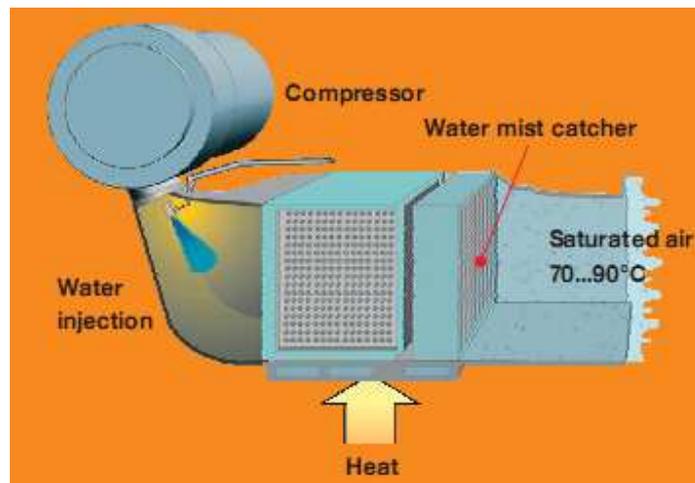


Figura N° 6.

En la figura N° 6, se muestra el esquema del sistema humidificación WETPAC incorporado al motor Wärtsilä 8L32, se puede apreciar que gracias a la compresión y evaporación del agua se logra que la temperatura de la combustión no sobrepase los 90° C.

2.2.2. Sistema de Inyección de Combustible.

El sistema de Inyección de Combustible que está presente en este motor, es diseñado con la última tecnología en seguridad. Este sistema es implementado en base a un Riel Común de Inyección de Combustible, el sistema de riel común presuriza el combustible entregado por las bombas de combustible, en donde el acumulador y los inyectores de combustible son controlados electrónicamente. Las bombas de combustible son controladas por el eje de

distribución, por cada bomba y acumulador se atienden dos cilindros. Los acumuladores adyacentes son conectados con una tubería de un diámetro pequeño, para reducir el riesgo de pulsación en el riel. Este motor puede operar con una o dos bombas de combustible desconectada, siempre y cuando esto sea necesario.

Una característica de seguridad del sistema es el hecho de que no existe presión en la boquilla de los inyectores entre las inyecciones de combustible. Todo el funcionamiento es controlado por el sistema de control embebido de la máquina.

La principal ventaja del sistema común de riel es que la presión de inyección puede ser mantenida a un nivel lo suficientemente alto hasta el tiempo que dure la carga de combustible, lo cual permite una operación con un nivel de emisión de humo reducido.

2.2.3. Sistema de Enfriamiento.

El sistema de Enfriamiento esta dividido en dos circuitos, el de alta temperatura (HT) y el de baja temperatura (LT). La temperatura de la camisa del cilindro y de la culata son controladas mediante el circuito de alta temperatura. El sistema mantiene la temperatura a un nivel elevado, alrededor de los 95°C, para garantizar la ignición y combustión de los combustibles pesados de baja calidad (HFO). En caso de un aumento adicional de temperatura en este circuito, se conectan dos etapas de carga de aire de enfriado. La bomba de agua (HT) y la válvula termostática están integradas al módulo de bombas de servicio. El circuito HT es así virtualmente libre de tuberías.

El circuito LT esta para atender a los componentes de baja temperatura del sistema de enfriamiento por aire y el sistema de enfriamiento del aceite lubricante. Esto esta totalmente integrado con cada parte del motor como la bomba de agua (LT) con el módulo de bombas de servicio, la válvula termostática con el módulo de aceite lubricante y los canales de transferencia del block del motor. En la figura N° 7, se puede ver el esquema del sistema de enfriamiento, en donde se puede observar los dos circuitos.

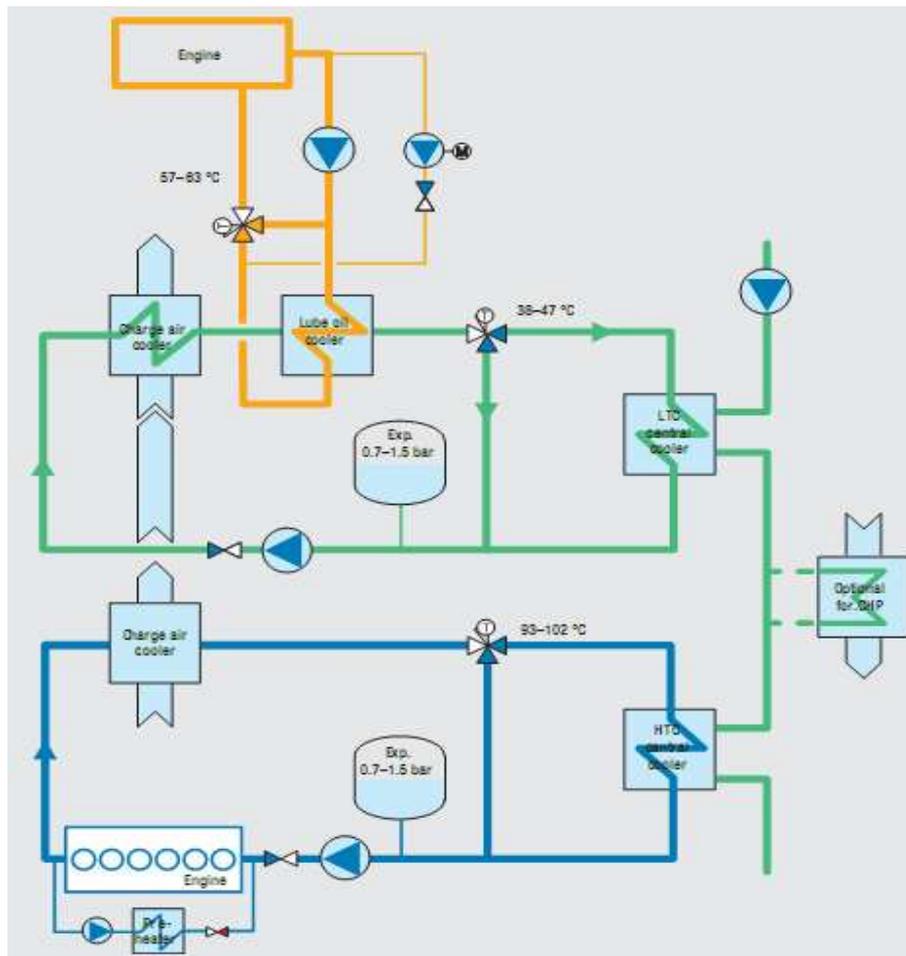


Figura N° 7.

En la figura N° 7, se puede observar que en la parte superior del diagrama corresponde al circuito de baja temperatura LT, en donde se puede destacar que la temperatura del aceite lubricante se mantiene entre los 57 y 63 °C y donde la temperatura del enfriador por aire se mantiene entre los 38 y 47 °C, cuando la temperatura baja del rango la termo válvula de tres vías cierra el paso del agua hacia el LTC (Low Temperature Control), haciendo recircular el agua hasta que se llegue al nivel de temperatura normal. La parte inferior del diagrama corresponde al circuito de alta, el cual controla la temperatura de las camisas del motor y de las culatas, con un rango de ajuste de temperatura en 93 y 102 °C, se puede ver que este circuito posee un precalentador en caso de que la temperatura baje del umbral. En este caso la termoválvula de tres vías también puede dejar recirculando el agua cuando la temperatura baja de los rangos aceptables, para el funcionamiento del motor.

2.2.4. Sistema de Lubricación.

El Sistema de Lubricación de Aceite de todo motor Wärtsilä está constituido por una bomba principal, una bomba prelubricadora, sistema de enfriamiento, filtro de flujo y filtro centrifugo. La máquina también puede estar equipada con un rodaje especial de filtros antes de cada cojinete principal. Las bombas, las válvulas de regulación de presión y de seguridad están integradas dentro de un módulo ubicado en un extremo libre de la máquina. El filtro, el enfriador y las termoválvulas componen otro módulo. En los motores en línea esto se localiza siempre cuidadosamente en la parte trasera del motor mientras que en los motores en V en el volante o en un extremo libre de la máquina, dependiendo de la posición del turbocompresor.

La filtración de aceite lubricante está basado en un sistema de filtro de enjuague automático, el cual requiere el mínimo de mantención. Los componentes del filtro están fabricados para soportar altas temperaturas.

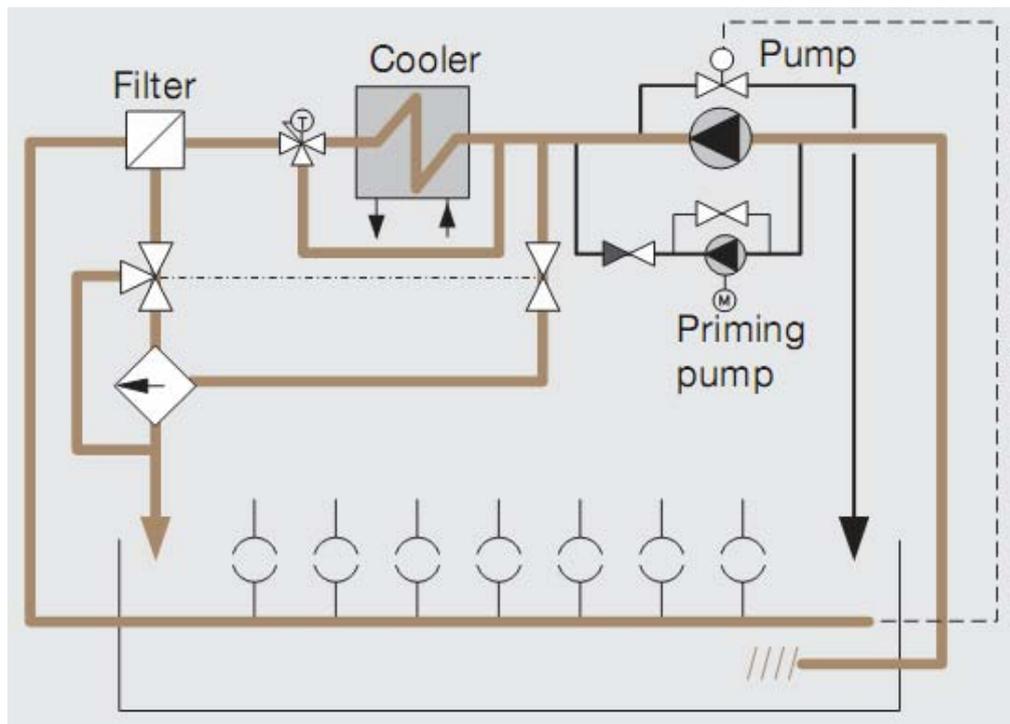


Figura N° 8.

En la figura N° 8, se muestra el esquema del sistema de lubricación del Motor Diésel Wärtsilä 8L32. Donde se pueden observar el filtro, el sistema de enfriamiento, las válvulas, y las bombas. Se puede ver que a la salida del filtro y a la entrada del Enfriador se encuentra ubicado una

termo válvula de tres vías, en caso de que no sea necesario que el aceite pase por el enfriador, cierra el paso a este, haciendo recircular el aceite.

2.3. UNIC (Unified Control).

Un Sistema de Control Unificado, es una confiable solución para controles industriales robustos. Para unirse un avanzado control embebido con un equipamiento industrial pesado de forma segura y de manera confiable, requiere una solución única de diseño que incluye algunas estrategias poco convencionales, que no son de uso común en las industrias.

La operación de las máquinas modernas de 4 tiempos, principalmente depende en gran medida del avanzado control electrónico embebido. Esto solo se cumple para todo los tipos de maquinaria que fabrica Wärtsilä. Todos hoy en día se benefician del avanzado control para la seguridad. El Wärtsilä Unified Controls (UNIC) provee un fiable sistema de control electrónico para las necesidades de la automatización de la maquinaria presente en la planta eléctrica.

Con los requerimientos para que el rendimiento y el funcionamiento aumenten, el uso de controladores electrónicos se ve incrementado en muchas áreas de la tecnología naval. Con el control "smart" es posible de una mejor manera medir y controlar los motores, mas rápido y con menos equipamientos que antes. Las posibilidades ofrecidas por un control smart que se están desarrollando continuamente, permiten la adquisición de más datos, las que son obtenidas de las mismas medidas que antes que se implementara este tipo de control, lo cual conlleva a una mejora en el rendimiento, y una manera mas simple y lógica para operar la máquina en forma manual.

La fiabilidad es el requerimiento fundamental en el diseño del sistema UNIC. Sin embargo, para apoyar diferentes aplicaciones y usos, la flexibilidad y la capacidad de aumentar el rendimiento del sistema son muy importantes. Esto es aplicable a todos los tipos y tamaños de motores Wärtsilä.

Diferentes aplicaciones de los motores son manejadas por diferentes variantes del sistema UNIC, los que van desde el UNIC C1 hasta el UNIC C3, con el hardware, el software y la funcionalidad de acuerdo al tipo de aplicación. Las mismas características usadas en el sistema

básico son reutilizadas en los sistemas más complejos. Para alcanzar esta capacidad de conversión a escala el sistema está basado en un bus, donde las funciones pueden ser añadidas de forma simple, y el sistema se extiende para cubrir demandas más complejas.

El motor Wärtsilä 8L32 está equipado con el sistema de control automático Wärtsilä Unified Controls (UNIC). También está presente en los diversos sistemas disponibles para los motores del tipo Wärtsilä 32, estos son controlados por los sistemas UNIC C1 y C2.

2.3.1. UNIC C1.

En el sistema automático UNIC C1, el control y la seguridad, que son los aspectos fundamentales del motor, son manejados por el sistema control y administración embebido. Este incluye un sistema de control de velocidad y de carga, también un sistema de protección contra sobrevelocidad, posee un control de la presión del aceite lubricante y de la temperatura del agua de enfriamiento.

El sistema UNIC C1 provee las siguientes funciones:

- Control de Seguridad: de sobre velocidad, de la presión del aceite lubricante, de la temperatura del agua de enfriamiento.
- Monitoreo Local Básico.
- Control de velocidad y control de carga: control electrónica de velocidad, mediante el Módulo Principal de Control (de sus siglas en inglés MCM), en caso que el motor esté equipado con el actuador, en caso contrario por un gobernador mecánico.
- Control de Partida y parada del motor.

El diseño del sistema de control automático del motor Wärtsilä 8L32 se caracteriza en el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Permite aumentar la confiabilidad de la máquina, gracias a los componentes insertos en el motor, como los sensores, diseñados específicamente para el entorno en que funciona el motor.

- Reduce el cableado alrededor del motor, con un punto bien definido de interconexiones y una estandarizada interfase.
- Proporciona un alto rendimiento con un optimizado y probado control.

En la figura N° 9, se muestra los dispositivos de control de la unidad UNIC C1 que están presentes en el motor. En donde se pueden observar los siguientes módulos de control:

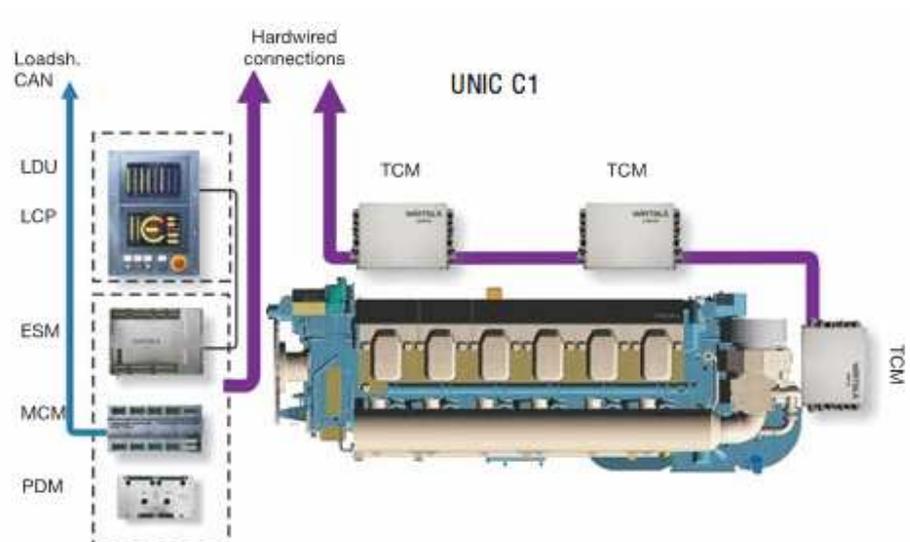


Figura N° 9.

LDU: Unidad Local de Display: En esta unidad se pueden observar los parámetros relevantes del motor y de la generación.

LCP: Panel Local de Control: En cargo del control de partida y parada de la máquina.

ESM: Módulo de Seguridad del Motor: Controla las paradas de emergencia del motor, debido a sobre velocidad, debido a un aumento en la temperatura y de la presión del aceite lubricante.

MCM: Módulo de Control Principal: Proporciona el control de la velocidad en forma electrónica, y el control de la carga a la que el generador puede estar sometido.

PDM: Módulo de Distribución de Eléctrica.

TCM: Módulo de Termocuplas: Estos son los módulos encargados de recibir las señales de las termocuplas, para monitorear las temperaturas en el sistema de refrigeración por agua, la del aceite lubricante.

2.3.2. UNIC C2.

El sistema automático UNIC C2 provee un completo control y monitoreo al motor. El sistema UNIC C2 esta basado en un sistema bus de comunicaciones que monitorea y donde la función de control es dispuesta cerca del punto de medición. Estos dos modos de implementación colaboran a la simplificación del cableado para dar la partida o parada del motor. En forma adicional, la avanzada función del sistema, para el diagnóstico y el control, permiten que aumente el rendimiento y la fiabilidad del sistema, esto colabora a que se reduzcan los componentes necesarios para parar el motor.

El sistema UNIC C2 esta diseñado para proveer las siguientes funciones:

- Un completo sistema de seguridad para el motor.
- Monitoreo Local Completo, incluyendo todas las lecturas de eventos y diagnósticos.
- Control de Velocidad y de carga, (mediante un control electrónico de velocidad).
- Completo control del motor, incluyendo la partida y parada del motor, reducción de carga mediante una solicitud.
- Disposición de una señal de alarma.
- Sistema Completo de diagnóstico.
- Interfase Fieldbus

El sistema de control del motor es diseñado para cumplir con las siguientes prestaciones:

- Provee un sistema compacto de control embebido y un sistema de administración para ahorrar el espacio.

- Reduce la Instalación de dispositivos y el tiempo de puesta en servicio de motor, debido a la implementación de una simple interfase basada en la red de campo fieldbus.
- Consigue aumentar la confiabilidad del sistema, con el uso de componentes como sensores, diseñados especialmente para trabajar en el ambiente del motor.
- Se reduce considerablemente el cableado alrededor del motor gracias a la implementación de una arquitectura basada en un bus de comunicaciones, con un punto específico y definido de interconexión, con un hardware estandarizado e interfaz fieldbus.
- Colabora al aumento del rendimiento con un optimizado control.

Los componentes del UNIC C2 poseen el mismo diseño mecánico que el UNIC C1, y por lo tanto se pueden adaptar componentes del UNIC C1 al UNIC C2 fácilmente. Componentes comunes y funcionalidad son elementos que simplifican la familiarización del operador con el sistema. La lógica de recambio usada en todos los diseños de componentes del UNIC.

En la figura N° 10, se muestra los módulos de control que están presentes en la UNIC C2, y que controlan el funcionamiento del motor.

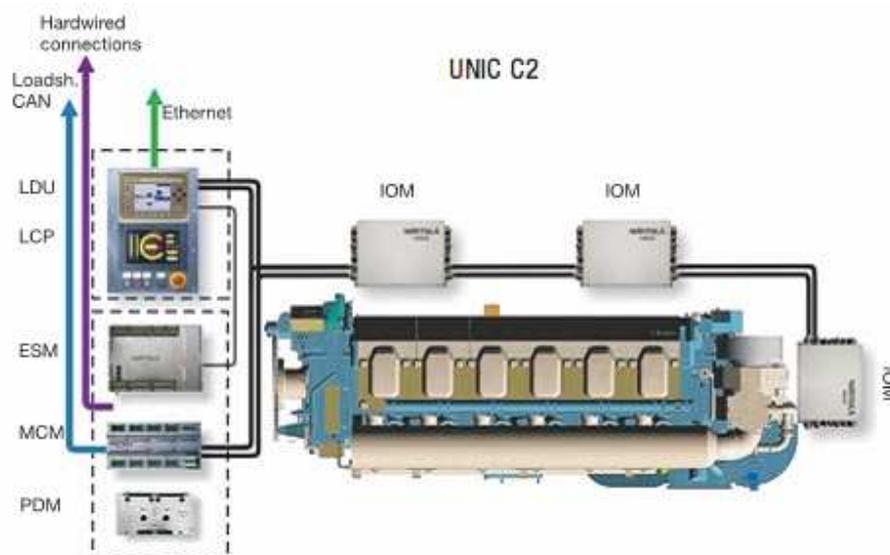


Figura N° 10.

En la figura N° 10, se puede observar que en la Unidad UNIC C2 están presente módulos de entrada y salidas (IMO), se puede ver que todos los módulos están conectados entre sí por un bus de comunicación, en este caso se trata la red de campo fieldbus. Además se observa que desde la unidad LCP (Local Control Panel) sale una red Ethernet, la cual ha sido integrado a los sistemas de control automático de las máquinas Wärtsilä's, como una solución para la conectividad entre los sistemas a bordo de un buque. También se puede ver que la conexión para hardware es suministrado solo por el Módulo de Control Principal (MCM), a diferencia que en el caso de el UNIC C1 las conexiones para hardware salen desde el MCM y de los módulos para las termocuplas (TCM).

2.4. Automatización de la Planta Eléctrica.

Para cualquier planta de procesos, la posibilidad de tener una rápida y fácil disponibilidad de la información, puede ser crucial si ocurren perturbaciones no previstas en la planta de proceso, ya sea de causa interna o externa.

Ser capaz de tomar una inmediata acción dinámica puede marcar una vital diferencia para la operación. El análisis y diagnóstico son características de las plantas eléctricas de Wärtsilä's, diseñadas para permitir una normal operación y para mantener una elevada productividad.

2.4.1. Introducción de Ethernet.

Diagnósticos y todos los datos detallados necesarios en plantas de operación moderna requieren un mayor ancho de banda para las comunicaciones, de la que había disponible anteriormente. Ethernet, el mismo sistema de comunicación usado en las redes de oficinas, ahora es usado en dispositivos de automatización para proporcionar mucho más información que con solo un dato de control regular. La automatización ha tenido como resultado de la introducción de Ethernet, una enorme alza en su desarrollo.

Hoy en día, Ethernet es más que simplemente la red de datos usada por Wärtsilä en sus soluciones de automatización en las plantas eléctricas, es la interconexión que une y conecta

los distintos dispositivos de los sistemas de control y relaciona los diagnósticos que definen las posibilidades para interactuar con el control del proceso.

Ethernet es el estándar de redes de área local masivamente empleado, el cual posee un acceso al medio por CSMA/CD. Ethernet define las características de cableado y señalización del nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de datos del modelo OSI.

CSMA/CD corresponde al Acceso Múltiple con Censado de Portadora y Detección de Colisiones, en este método los dispositivos de red que tienen datos para transmitir funcionan en el modo de escucha antes de transmitir, con esto cuando un nodo desea enviar datos, primero debe corroborar si los medios de la red están desocupados o no.

2.4.2. Antes de Ethernet.

Las soluciones para la comunicación en la automatización antes de Ethernet fueron basados en buses de comunicación serie RS485/RS232, con el tradicional cableado para los módulos de entrada y salida.

El bus de comunicaciones era lo bastante confiable, pero bastante lento para grandes distancias (RS-485: desde 35Mbit/s hasta 10 metros de distancia y 100Kbit/s a 1200 metros), pero muy ajustado. Normalmente se puede utilizar un solo tipo de protocolo de comunicación por un cable.

El uso de la comunicación mediante el bus serie fue pensada mas que nada en la comunicación tradicional de pequeñas cantidades de bit de información y valores análogos, no obstante el ancho de banda no fue suficiente para los diagnósticos, imágenes o incluso la transferencia de datos de video.

2.4.3. Ethernet en la industria.

La automatización industrial no conocía mucho acerca Ethernet hasta el comienzo de su utilización en 1990. En aquel entonces fue utilizado principalmente para la comunicación entre los computadores. El primer PLC con comunicación Ethernet fue implementado a mediados de 1990, pero no fue hasta el 2000 en que se pudo encontrar el puerto RJ-45 de Ethernet en las entradas de los PLC. Hoy en día, es difícil que fabricante de PLC no agregue el soporte de comunicación Ethernet por defecto o por lo menos como opción. El termino Ethernet Industrial, hace referencia al uso del protocolo Ethernet en un entorno industrial, para la automatización y el control de un proceso.

Este desarrollo también ha incluido a los tipos de switches industrial, acces point WLAN, routers y firewall. Es también muy común que para los variadores de frecuencia, y para los equipos de los tableros de distribución eléctrica tal como los relés de protección y las unidades de monitoreo de energía eléctrica, tengan un directa comunicación Ethernet. La mayor diferencia entre los equipos de Ethernet Industrial y el de uso común en las oficinas, es el nivel de tensión de la fuente de alimentación, en el caso industrial esta basado en 24 VDC, y con un diseño más robusto, adecuado para soportar vibraciones y variaciones de temperatura.

Desde el 2003, ha sido el estándar de comunicación para todos los principales componentes de control de Wärtsilä, como solución en la implementación de sistemas de control automático.

Las actuales ventajas han excedido con creces las expectativas:

- Se incremento la velocidad de transmisión de datos desde 9.6 kbit/s (RS232) a 10 y 100Mbit/s.
- Abarca mayores distancias, especialmente con el uso de fibra óptica, la cual es muy resistente a las interferencias.
- La accesibilidad, los dispositivos conectados puede ser accedidos con componentes estándares, también se puede tener acceso y configurarlos de forma remota.
- Aumentan los tipos y cantidad de diagnósticos, y las posibilidades de localizar las fallas, gracias a la rapidez y rendimiento de las comunicaciones.
- Da la posibilidad de crear una red de topología anillo, con una significativa redundancia.

- Varios protocolos pueden ser usados en la misma red física, para diferentes necesidades de comunicación.

Para las Plantas de Generación Wärtsilä, que son usualmente conectadas por redes de distribución eléctrica, una de las características importantes es la incorporación a uno de los protocolos, un clock de sincronización para los componentes de control de la planta eléctrica. Al mismo tiempo, también puede ser sincronizado opcionalmente al timer Server de un GPS (Global Positioning System). El timer Server es una red de la cual lee el tiempo real de un reloj de referencia y distribuye esta información a los dispositivos que están adheridos a esta red. En el caso de los GPS, estos usan un master clock atómico, el cual da una alta presión al clock de sincronización. De este modo se asegura de que el clock en sistema automático de la planta eléctrica es el mismo para las subestaciones de distribución y para los componentes de los tableros de distribución eléctrica.

Gracias al clock de sincronización, es adaptada la función de un sellado de tiempo o un SOE (Secuencia de Eventos), con esto todos los principales controladores, alarmas y eventos en el sistema son sellados en una fuente de alta resolución, y listado en el WOIS (Wärtsilä Operator's Interface System), donde las alarmas son listadas en secuencia correcta. El sellado de tiempo es un mecanismo que permite corroborar que determinados datos han existido y no fueron alterados en un instante específico de tiempo en el tiempo, en el fondo se realiza un sello de tiempo a un dato o a un documento.

La combinación de un clock exacto en los dispositivos, alarmas y eventos con un sellado de tiempo, es una ayuda obvia durante cualquier análisis en profundidad.

Un ejemplo de la ventaja de Ethernet, es el análisis de los transientes en las líneas de transmisión eléctrica. Además del WOIS y del WISE (Wärtsilä Information System Environment), computadores y PLCs, los tableros de relés de protección y las unidades de monitoreo de la generación eléctrica, son todos conectados a la red Ethernet. Con la introducción de la unidad UNIC en el sistema de control automático de las máquinas, la mayoría de las máquinas también son conectadas mediante la red Ethernet.

El siguiente ejemplo de la integración de dispositivos con Ethernet, esta basado en los análisis de transientes en las líneas de transmisión eléctrica por defecto, los cuales poseen las siguientes características:

- Relés de Protección conectados a Ethernet, configurados con una estándar de grabación de interferencias, en caso de que ocurran transientes, existen 12 canales para guardar la mayoría de las medidas eléctricas relevantes con una resolución de 20ms.
- El Sistema de Información del Medio Wäartsilä (WISE) verifica en la plataforma computacional si hay cualquier información o dato, debido a alguna posible grabación de un transiente vía Ethernet.
- Los datos transferidos desde la protección de relés hacia el computador de WISE, automáticamente configura un archivo de datos de formato COMTRADE, cuyo formato es comúnmente empleado en la subestación de análisis y medidas, y en las redes de distribución eléctrica.
- Para los transiente guardados por la desconexión de un breaker se crea un archivo COMTRADE, el cual es automáticamente guardado en el disco duro del WISE, con un tiempo de sellado, para un posterior análisis.
- El operador puede abrir el archivo del transiente guardado con la herramienta configurada con la protección de relés, instalada por defecto en los computadores de WISE.

En la figura N° 11 se muestra el esquema de una planta eléctrica, con todo el control automático asociado a la planta de procesos, donde se puede ver que la máquina es controlada por el sistema UNIC, y en donde las redes de comunicación entre los dispositivos de control están soportadas mediante Ethernet.

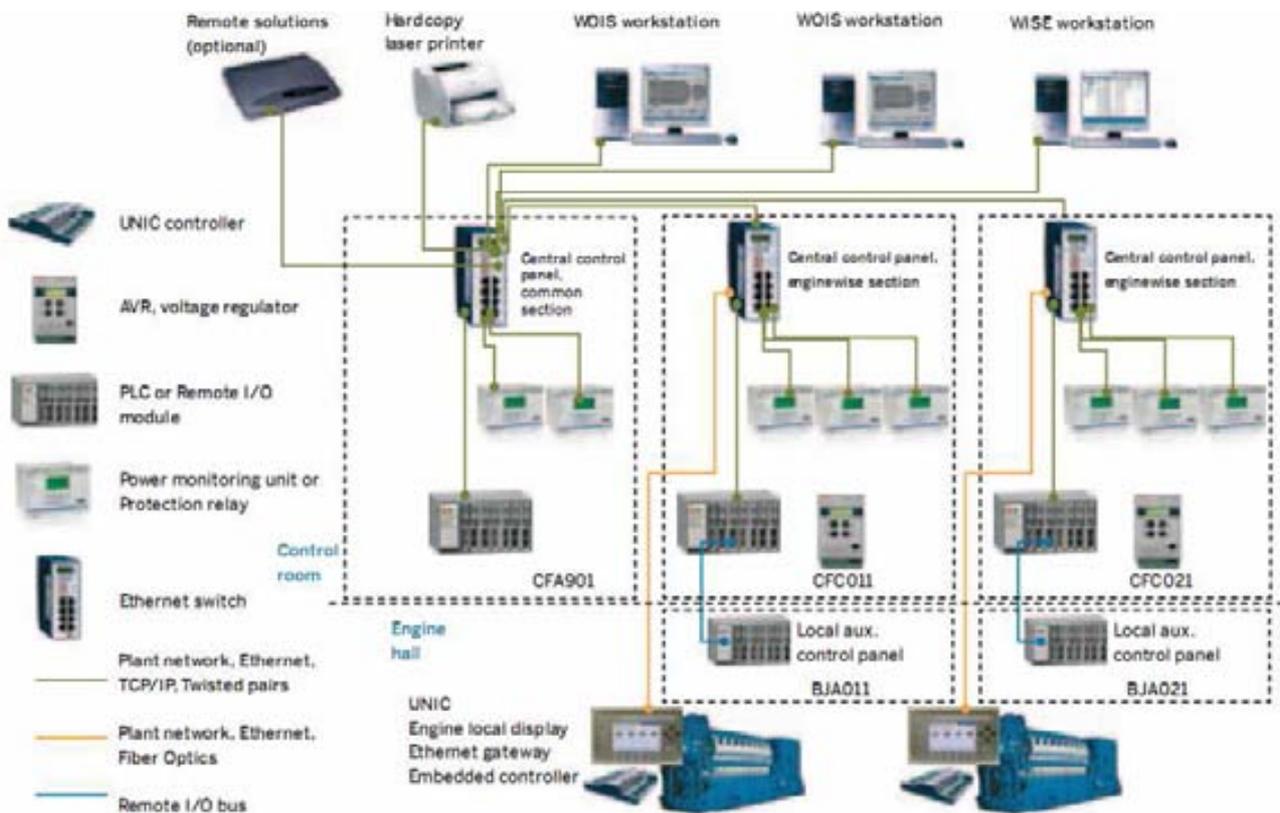


Figura N° 11.

En la figura N° 11, se pueden apreciar los diferentes niveles de comunicación que están presentes en una planta de generación eléctrica Wärtsilä. En donde se ve que desde el sistema UNIC la comunicación hacia el panel de control central, se hace mediante la red de la planta eléctrica, la cual es soportada por Ethernet mediante el uso de fibra óptica. El enlace entre los paneles locales de control auxiliar y los PLCs es realizado mediante un bus remoto de entradas y salidas. La comunicación desde los PLC hacia los paneles de control central es realizada por medio de la red de la planta que es soportada por Ethernet mediante el uso de cable de par trenzado. Por ultimo el enlace desde el Switch Ethernet común, hacia las estaciones de trabajo WISE y WOSE es soportada por medio de la red Ethernet de la planta, cableada en par trenzado.

2.4.4. WOIS (Wärtsilä Operator's Interface System).

El sistema Interfaz para el operador Wärtsilä (WOIS) contiene páginas para acceder al proceso, listas de eventos y alarmas, y muestra reportes instantáneos, mediante una sencilla plataforma.

La unidad WOIS es capaz de almacenar todos los registros de las medidas análogas durante 180 días. Y de almacenar los registros de las alarmas y eventos durante 180 días. Las alarmas y los eventos son mostrados con el sellado de tiempo, en milisegundos.

Los registros de los datos, son almacenados a razón de una muestra, cada 1 o 2 segundos, basados en la filosofía de banda muerta, lo cual significa que los datos se registran cuando ocurren cambios en el proceso. De este modo la razón de los registros de los datos es lo suficiente para analizar la mayoría de los acontecimientos que ocurren en el sistema.

Los PCs de WOIS usan la sincronización de clock sobre Ethernet, según el protocolo NTP (Network Time Protocol). Este protocolo es el mismo que se utiliza en Internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos a través de ruteo de paquetes en redes con latencia variable. NTP utiliza un algoritmo en la escala UTC (Tiempo Universal Coordinado).

2.4.5. WISE (Wärtsilä Information System Environment).

Sistema de Información del Medio Wärtsilä trabaja como una plataforma para los múltiples usos relacionados con el control de planta generadora.

WISE esta basado en un programa browser o navegador que sirve como un sistema reportador y una plataforma para otras aplicaciones.

Los informes técnicos suministran a los operadores de la planta generadora los datos principales de la planta, de forma periódica, diaria, semanal, mensual y anual.

El diario de operaciones electrónico puede sustituir al antiguo formato de papel. El diario de operaciones puede ser fácilmente revisado con la función "search".

Categoría de mantenimiento (CBM) recibe la información a través de WISE.

Las grabaciones de transientes en la protección de relés se almacenan automáticamente en la estación de trabajo WISE.

2.5. PMS (Power Management System).

El sistema PMS desarrollado por ABB y basado en la Plataforma Industrial IT, es una solución que permite lograr la estabilidad de funcionamiento, de modo que la instalación eléctrica puede resistir mayores perturbaciones originadas dentro o fuera de la planta. Esta aplicación no sólo contiene la tradicional funcionalidad SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), sino también una serie completa de soluciones eléctricas, entre las cuales están el control de potencia y la restricción de cargas.

PMS se basa en el sistema de automatización ampliada Industrial IT Extended Automation System 800xA, desarrollado por ABB para supervisar, controlar y proteger todas las secciones de una planta de proceso industrial. Esta plataforma común Industrial IT proporciona funciones de control y una interfaz de ventana única, flexible y organizada, que permite a los operadores trabajar eficientemente. La arquitectura del sistema se basa en la tecnología Aspect Object TM patentada por ABB. Los Objetos de Aspectos relacionan datos de la planta (aspectos), tales como definiciones E/S, planos técnicos, gráficos o tendencias con activos concretos de la planta (objetos). Este sistema soporta la gestión y el control total de la planta, superando las limitaciones propias de los sistemas distribuidos de control tradicionales.

El sistema PMS posee funciones avanzadas de filtrado inteligente de alarmas, análisis de coherencia y guía del operador reducen las necesidades de intervención por parte de éste y, lo que es más importante, garantizan que no se pueda intervenir de forma errónea. Además utiliza cálculos matriciales avanzados para determinar contingencias de la red eléctrica, que se han de calcular en cuestión de milisegundos tras el cambio de posición de un interruptor automático y, por consiguiente, se determinan mediante lógica compleja.

Este sistema posee la función Network Determination calcula las contingencias de la red eléctrica a partir de esta matriz: calcula una matriz 'reducida' de la red. El número de filas de esta matriz reducida es igual al número de subredes (o islas) de la red eléctrica. La matriz

reducida es utilizada por las funciones siguientes: Control de Potencia, para calcular la energía importada y generada y equilibrar cargas en subredes; Restricción de Carga, para calcular desequilibrios entre la potencia disponible y la requerida; y Sincronización, para comprobar que las fuentes de energía (red pública y generadores) están disponibles para lograr la sincronización.

2.5.1 Funciones Principales del sistema PMS.

La función principal del PMS es asegurar que exista la suficiente energía eléctrica para una condición de funcionamiento normal de la nave. El PMS previene la posibilidad de que la nave se quede sin energía eléctrica, debido al constante monitoreo a las líneas de distribución eléctrica y al apropiado procedimiento del encendido y del apagado de los generadores. Si la energía eléctrica disponible es menor a la demandada el PMS automáticamente le da la señal de partida al siguiente generador, conectándolo a la red y sincronizando a con los demás generadores en la línea. Para esto proporciona un conjunto integrado de funciones de control, supervisión y gestión para la generación, distribución y suministro de energía eléctrica.

Además de las funciones tradicionales de adquisición de datos SCADA, el permite desarrollar las siguientes operaciones:

- Control de generadores: en donde se incluye la integración con el regulador y el controlador de excitación.
- Control de interruptores automáticos: que incluye la integración con relés de protección, supervisión de sucesos y sincronización de tiempos con 1ms de resolución. La sincronización entre dos "islas" eléctricas ha de ser ejecutada y comprobado por el sistema PMS antes que se cierre un interruptor. Los generadores utilizados para la sincronización se pueden seleccionar manual o automáticamente. De esto se encarga la función sincronización.
- Control de motores: que incluye la integración con centros de control de motores, sincronización temporal, pre-arranque automático secuencial y supervisión de su re-aceleración después de restringir la carga o en estado de sub-tensión.

- Determinación de contingencias (Network Determination): Esta función y la de control de modos son importantes para las funciones de control de potencia, restricción de carga y sincronización.

2.5.2. Control de Potencia.

El objetivo de esta función es mantener estable el funcionamiento, lo que conlleva al reparto de la demanda de potencia activa y reactiva entre los diferentes generadores, de modo que los puntos de trabajo de los grupos de generadores estén lo mas alejado posible de la frontera determinada en los diagramas de potencia activa v/s potencia reactiva. Así se consigue que la planta pueda soportar mayores perturbaciones.

Como parte del sistema de control, el módulo de control de potencia activa proporciona control de frecuencia y control del flujo de potencia activa. Supervisa la configuración actual de la red y envía un punto de ajuste de la potencia activa a los generadores implicados para mantener la frecuencia de las barra de distribución eléctrica en un valor predefinido en caso de que la red concreta quede aislada o mantener un flujo de potencia activa con una red particular conectada a otra red.

El Aspecto de Control de Potencia Activa decide si es aplicable el control de frecuencia o el control del flujo de potencia. Esta decisión depende de la configuración real de la red. Esto significa que no es necesaria la interacción con el operador tras un cambio de configuración de la red. Los puntos de ajuste de la potencia activa son enviados a todos los generadores implicados, por ejemplo a los que actúan en régimen automático.

2.5.3. Control PI (Proporcional e Integral).

En la entrada del elemento de control PI se ingresa un desajuste de potencia. La salida del elemento de control aumenta/disminuye mientras existe un desajuste de potencia en la entada de éste. El operador puede asignar a cada generador un factor de participación, que determina hasta qué punto el generador contribuirá con el control de potencia. Para determinar el valor de participación mas adecuado, se pueden considerar los factores calculados a partir de los datos

de control disponibles. Existen factores de participación para el control de potencia activa y reactiva.

El elemento de control de potencia puede utilizarse para controlar la potencia activa y reactiva, la frecuencia o el flujo de potencia activa y reactiva.

En el control principal se utiliza un transformador cuando éste participa en el control de la tensión o del flujo de potencia reactiva. El control del transformador mantiene la tensión o el flujo de potencia reactiva en el valor de ajuste deseado y la diferencia entre punto de ajuste y punto de trabajo (valor medido) es reducida al mínimo por el control AVR de los generadores participantes. Los parámetros de control para el ahorro e integración del tiempo se ajustan de modo que prevalezca el control del transformador.

2.6. Integración de los Sistemas de Administración de la Generación (PMS).

En la figura N° 12, se muestra el concepto de sistema de control integrado con redes entre la estaciones de operación, PLCs y Thruster controlado. Las estaciones de control de proceso, (PCS) o Unidades Remotas Procesadoras (RPU) son PLCs, los cuales comparten la información con cada uno y algunos de ellos son parte de la PMS. Todos son parte del Sistema de Control Integrado.

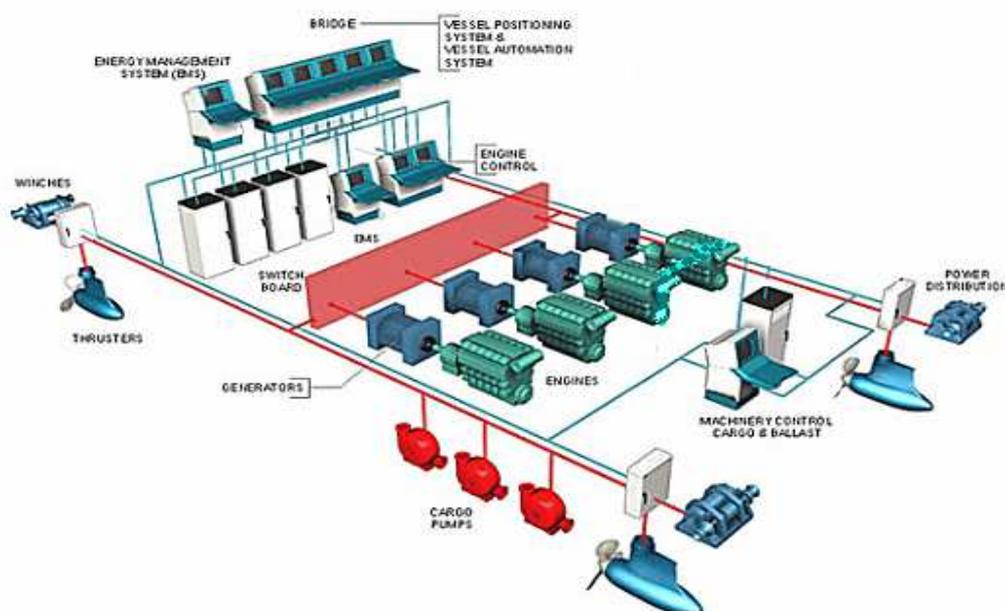


Figura N° 12.

Todas las sub-estaciones PMS, es decir, las Estaciones de Control de Proceso (PCS) son parte del PMS, las cuales realizan cálculos del Sistema de Administración de Generación basados en la información recibida desde su propio segmento del bus de comunicación, también comparten información con las demás estaciones. Cuando la nave debe continuar operando con el enlace de las barras de distribución (bus-tie) abierto (con esto el sistema de generación queda dividido en dos o mas subsistemas aislados), cada sistema de generación tendrá su propia subestación PMS, cada subestación puede actuar como una unidad autónoma. De esta manera el sistema no depende del computador central.

En la figura N° 13, se muestra la arquitectura del Sistema de Administración de Generación, se pueden observar que esta dividido en dos segmentos, el primero esta formado por los tableros de distribución eléctrica, donde se encuentra ubicada cada unidad de control de los generadores diésel, también se encuentran dos unidades de procesamiento remoto para los dos grupos de generación, dos unidades de procesamiento remoto para controlar y coordinar las señales de las estaciones de operaciones respectivas. En la otra área se encuentra el control de la embarcación, en donde se encuentran dos unidades de procesamiento remoto y una estación de operación.

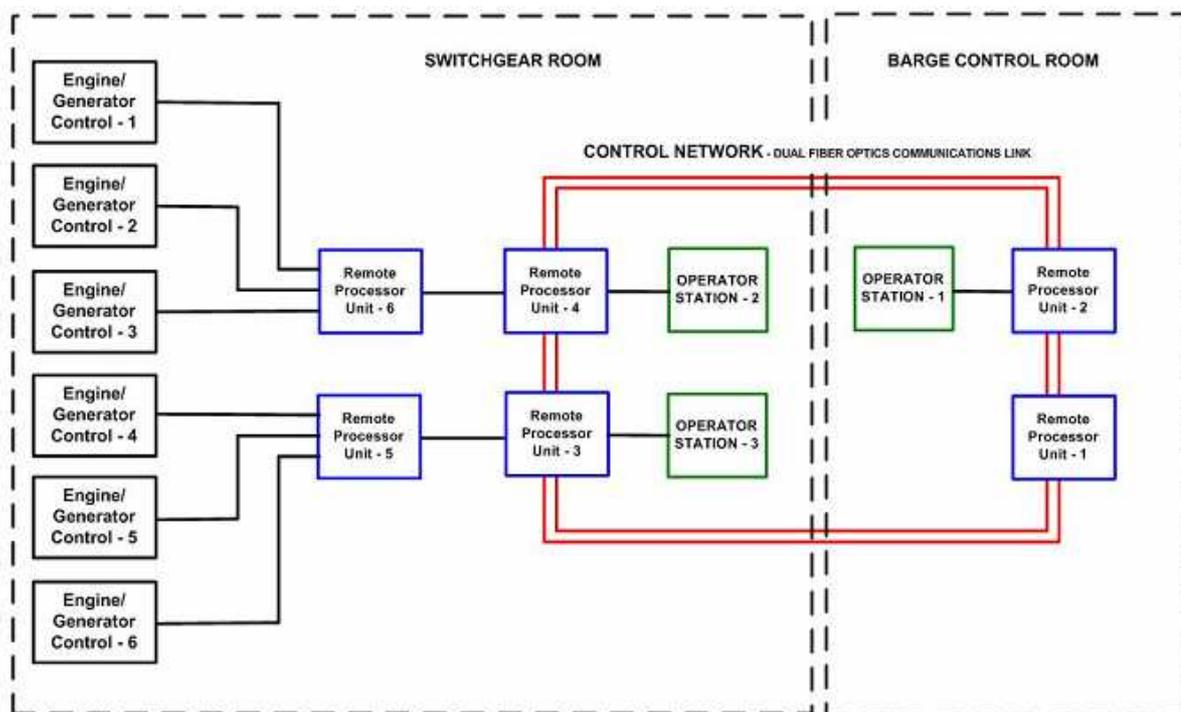


Figura N° 13.

Se puede ver que en este caso la planta de generación esta compuesta por seis generadores, en donde están divididos en grupos de tres generadores, con lo cual se deja en manifiesto la filosofía de redundancia, con la que están diseñadas hoy en día las plantas eléctricas a bordo de las naves. Por tal razón cada grupo tiene su propia unidad de procesamiento remota. En el caso de la comunicación entre las unidades de procesamiento remoto 1-2-3-4 se puede observar que se usa un enlace mediante fibra óptica, para aumentar el rendimiento del sistema.

2.7. Sistema automático central de carga GENA – 100.

Este sistema es comúnmente incorporado en la consola en la sala de control de máquinas, perteneciente al fabricante ABB. El sistema es un telecomando de central eléctrica para generadores diésel que reúne las características básicas de diseño según, ABB master marine. Dentro de la gama de características que posee el sistema, es importante considerar un modelamiento semiflexible, el cual cuenta con protecciones y control de alarmas para el dominio de control independiente por generador. Dentro de las funciones y especificaciones se encuentran:

- BLACK OUT. Control de partida e ingreso a la línea de carga de los generadores, en forma automática.
- FREQUENCY CONTROL. Control de lazo cerrado de la frecuencia de generación en este caso 60Hz, esto se logra actuando sobre la velocidad de giro en el rotor.
- SYNCHRONIZE GENERATOR. Control de sincronismo para repartición de carga.
- SOFTWARE INTERNAL FOR SYSTEM. Valido para un PC IBM.
- DUAL ROD. Configurable para doble barra.
- HAND/AUTO. Doble modo.
- LOAD CONTROL HAND/AUTO. Sistema de control de carga.
- DIGITAL CONTROL SPEED.
- CONTROL ON SYSTEM. Monitoreo y control sobre lubricación en bombas.
- NUMBER OF GENERATOR IN LINE. Control de generadores en línea de carga.
- FUNCTION PTP (POWER TAKE OFF). Control de ingreso automático a la línea por aumento de carga eléctrica.

- COMUNICACION WITH ABB MASTER-GATE.

2.7.1. Aplicación de gobierno con unidad DEGO II.

Dentro de las soluciones de ingeniería, para el control de velocidad, es muy viable la aplicabilidad de la regulación electrónica por lazo cerrado. Un modelo característico es la unidad DEGO II del fabricante ABB.

Utilizando las unidades DEGO II y GENA 100, es posible controlar la velocidad de giro para la generación, mediante un sistema retroalimentado o de lazo cerrado, en el cual la unidad actuada sería el DEGO II, este operaría como un brazo hidráulico que controlaría el aumento y disminución de velocidad, acorde a lo que mida y controle el GENA 100.

2.7.2. Estructura Interna del GENA - 100.

La unidad está compuesta por varias PCB, las cuales se intercomunican entre sí y con el sistema ABB MASTER-GATE. El bus de comunicación interno se le conoce como MASTER 200. Las PCB constituyen el sistema de control de alarmas, gobierno, control de carga y otros. A continuación se muestra una figura con un diagrama en bloques de la composición interna y la serie que acompaña a la PCB y los buses de comunicación.

- Interface unit 1,2,3 DSTX 150.
- Unidad transformadora DSTX 151-152
- Relé de comando DSTX – 153.
- Bus de comunicación MASTER – 200.
- Cuatro PCB DSDC - 150 en la realidad.
- Unidad DSHP – 150.

2.7.3. Funcionamiento por características internas.

Entre la gama de propiedades que posee la unidad GENA-100, mencionaremos las más relevantes a continuación.

2.7.4. Sincronización, puesta a línea y control de carga eléctrica.

Como se ha mencionado, este sistema posee dos condiciones una manual y otra automática. En la posición manual no es mucho lo que se debe explicar ya que el control del sistema ya no pasa por el GENA – 100, ya que los controles son transferidos inmediatamente al TDF Y C de cada generador, en los cuales a través de control clásico vía contactores se sincronizan y se conectan a la línea uno a uno, lo mismo ocurre con el control de carga eléctrica. En modo automático, el GENA – 100 siempre se esta sincronizando con la BARRA principal del TDF, la cual distribuye la energía al buque. También es posible realizar una prueba de sincronismo mediante un switch test, en el cual 16 LED ubicados en la parte frontal de las unidades DSDC – 150 muestrean el estado de sincronismo. La puesta a la línea se realiza mediante una señal de control hacia la protección MAIN SWITCH POWER que posee cada generador, la cual tiene un actuador motorizado el cual sube o baja acorde a la necesidad o decisión del GENA – 100. Una vez en la línea se inicia el proceso automático de regulación de carga el cual es casi imperceptible en el proceso de marcha y conexión a la línea.

2.7.5. Control de Frecuencia.

Es posible controlar las fluctuaciones de frecuencia que puedan existir en la generación, esto se logra controlando las variaciones de velocidad angular teniendo presente el funcionamiento asincrónico.

En caso de variaciones en la velocidad angular en RPM, el sistema mantiene la desviación para el valor básico nominal, esto también posee un origen en la carga eléctrica dinámica. Existe un rango o margen de error +/- 2%, el cual es exponencialmente suave para mantener el valor deseado.

En algunos casos asincrónicos la regulación de velocidad controla mutuamente las variaciones de velocidad, manteniendo una frecuencia aproximadamente constante.

2.7.6. Control para Black Out.

En caso de una eventual caída de tensión muy significativa para el sistema de generación eléctrica, la unidad GENA – 100 posee puesta en marcha inmediata de otro generador, con la finalidad de mantener la tensión nominal presente en las barras principales.

Para esto debe considerarse la posición del conmutador de secuencia para partida, el cuál va alternando cualquiera de los cuatro generadores que se poseen en la planta de generación. La idea es que al momento de salir de la línea un generador, otro que continua su secuencia inicia su puesta en marcha y se enclava a la línea, antes de que el generador con falla se salga, manteniendo la estabilidad del sistema. En líneas reales este sistema no esta funcionando al 100%, además posee la irregularidad de tiempos para continuar la secuencia de partida.

Medición de potencia eléctrica generada.

Esto se logra mediante transductores que operan proporcional a la potencia activa, y que son controlados mediante señales analógicas.

Protecciones y tolerancias.

Esta función esta enfocada a dos variables, una el factor o valor de seguridad que para el equipo es de 200KW y la otra es la parada por límite de seguridad, el cual es de 1400 KW.

Control load demand.

En este sistema cuenta con un control preprogramado, el cual esta predesignado por características de diseño del sistema. Posee varias modalidades de control por ejemplo la de PTO para el caso de uso de hélices de maniobras BOW THRUSTER. Posee un control sobre el mínimo de generadores en línea para satisfacer las necesidades de carga eléctrica.

2.8. Generación Eléctrica a través del Generador Shaft.

En general en los buques de última generación, existen dos formas de producir energía eléctrica, las cuales son mediante Generadores Eléctricos en base a motores de combustión diésel, y por otro lado están los tipos de generadores eléctricos mediante el aprovechamiento de la potencia del eje de la planta propulsora de la nave, a través del Generador Shaft.

2.8.1. Sistema PWM para el Generador Shaft (Generador de Cola) De SAM Electronics.

El Generador Shaft a bordo de los Buques Car Carrier, al igual que en los demás, es un sistema concebido para economizar los costos a causa de la generación de potencia eléctrica. Los cuales han sido empleados por años en buques modernos, esto es, debido a la gran variedad de ventajas que se obtienen con este tipo de generación. Con este tipo de generación se produce una considerable baja en los gastos económicos producidos por el consumo de combustible y una mejora en la eficiencia de la máquina principal.

Se reducen los costos, debido a la mantención y de lubricación, de los motores de combustión, por la notoria reducción en el tiempo de operación del grupo auxiliar de generación. Y se reducen el tamaño de estos motores diésel, bajando los costos en la inversión inicial de estos. Además de los beneficios de una operación segura para el personal, junto con un bajo nivel de ruido en las dependencias de la sala de máquinas.

Los Generadores Shaft a bordo de los buques son movidos mecánicamente, por el eje de la planta propulsora. Con esto se logra energizar las maquinarias empleadas a bordo. La potencia generada posee un desempeño adecuado, aun cuando existan cambios en la velocidad de propulsión del eje, por ejemplo cuando la nave viaja a diferentes rangos de velocidad.

En la figura N° 14, se muestra el diagrama del acople mecánico del eje al alternador, por medio de la caja de velocidades, la cual ajusta la RPM, del eje a las del generador.

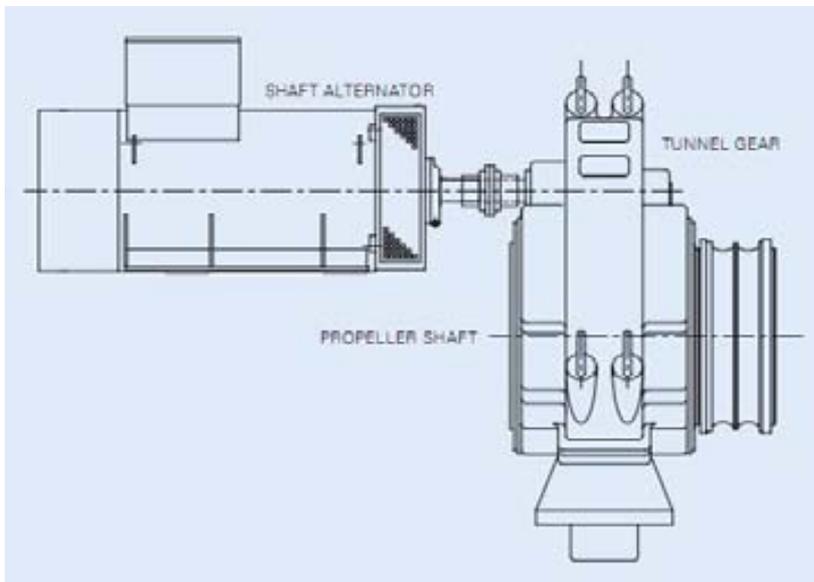


Figura N°14.

Los requerimientos básicos aplicados para naves con hélices de paso fijo, como también para naves con hélices de paso variable donde por razones de optimización de la eficiencia de la hélice; ambas, la velocidad de la planta propulsora y el paso de la hélice, son cambiadas. Así, la operación del Alternador Shaft es también posible durante las maniobras de la nave, con lo cual es posible alimentar los grandes consumos de energía eléctrica, como es el caso de las hélices de maniobra, bow thruster y stern thruster.

Para reducir los costos del Sistema Controlador del Alternador Shaft, sin perjudicar las ventajas de tal sistema, se opta por diseñar un sistema en base a PWM.

Usado un convertidor PWM con una moderna tecnología IGBT, es posible implementar un Sistema Controlador de Alternador Shaft, sin un compensador síncrono. Este sistema es nuevo, también disponible con un estándar alternador síncrono. Una moderna tecnología y componentes estándar reducidos, permiten una reducción de los costos.

Están presentes los Convertidores de Frecuencia PWM, sistema de enfriado por agua, para la alimentación electrónica, no posee un tratamiento interno para el agua de enfriado, mayor potencia de generación, y una mejor eficiencia, un alternador estándar síncrono sin escobillas, reducido volumen y peso, menos cables de control y de fuerza, bajos costos, gran sistema de

control convertidor a digital. Excelente THD (Total Harmonic Distortion), debido a la gran cantidad de pulsos en frecuencia de los IGBT.

2.8.2. Innovador Principio de Operación.

Alternador Sincrónico Sin Escobillas, con caja de velocidades tipo túnel.

En esencia el alternador síncrono consiste en un electroimán girando, llamado rotor, al lado de una bobina, estator conectado en estrella en el cual por efecto de la rotación del rotor va a inducir tensión trifásica en el estator, para esto tiene que haber una velocidad relativa entre el rotor (también llamado campo) y el estator (o armadura). Para que ocurra esto es necesario que se aplique corriente continua al embobinado del rotor, mediante la cual se produce un campo magnético en el rotor. Como el rotor del generador se impulsará por medio de un motor primario, en este caso el eje de la planta propulsora, se produce un campo magnético rotatorio dentro de la máquina. Este campo magnético rotatorio induce un sistema trifásico de voltaje dentro del embobinado del estator del generador. En las máquinas antiguas era común que el devanado de corriente continua sobre la estructura giratoria del campo fuese conectado a una fuente externa por medio de anillos deslizantes y escobillas. Sin embargo, en la actualidad se acostumbra, a una excitación por medio de diodos giratorios. En este caso la corriente continua es suministrada sin escobillas, es decir consta de una auto excitación, implementada por una fuente montada en el eje del generador, formada por tres diodos rectificadores, con lo cual se aprovecha la misma corriente inducida, la cual se rectifica, alimentando los devanados del rotor con corriente continua.

El Alternador Shaft suministra al inversor la potencia eléctrica, a través del diodo rectificador, con lo que se obtiene una señal de corriente continua pulsante. De ahí pasa la señal por el inversor, diseñado con la tecnología PWM, el cual suministra la principal potencia activa y reactiva, y entrega corriente de cortocircuito según las reglas de clasificación. Así, un compensador síncrono no es necesario para este sistema. La distorsión armónica es reducida significativamente, bajo los límites de las reglas de clasificación, por el control y la integración del filtro LCL (bobina, capacitor, bobina), para PWM.

El Sistema de Alternador Shaft es capaz de suministrar hasta la potencia nominal, a un voltaje constante y un frecuencia dentro del 60% y 100% del rango de velocidad de planta propulsora.

Especialmente para arreglos con un eje extremadamente pequeño y con poco espacio, el Alternador Shaft puede ser implementado mediante una caja de velocidades tipo túnel montada entre la planta propulsora de baja velocidad y la hélice.

En la figura N° 15, se muestra la configuración del alternador Shaft, en donde se muestran todos sus bloques, tanto las partes mecánicas como los bloques eléctricos y electrónicos.

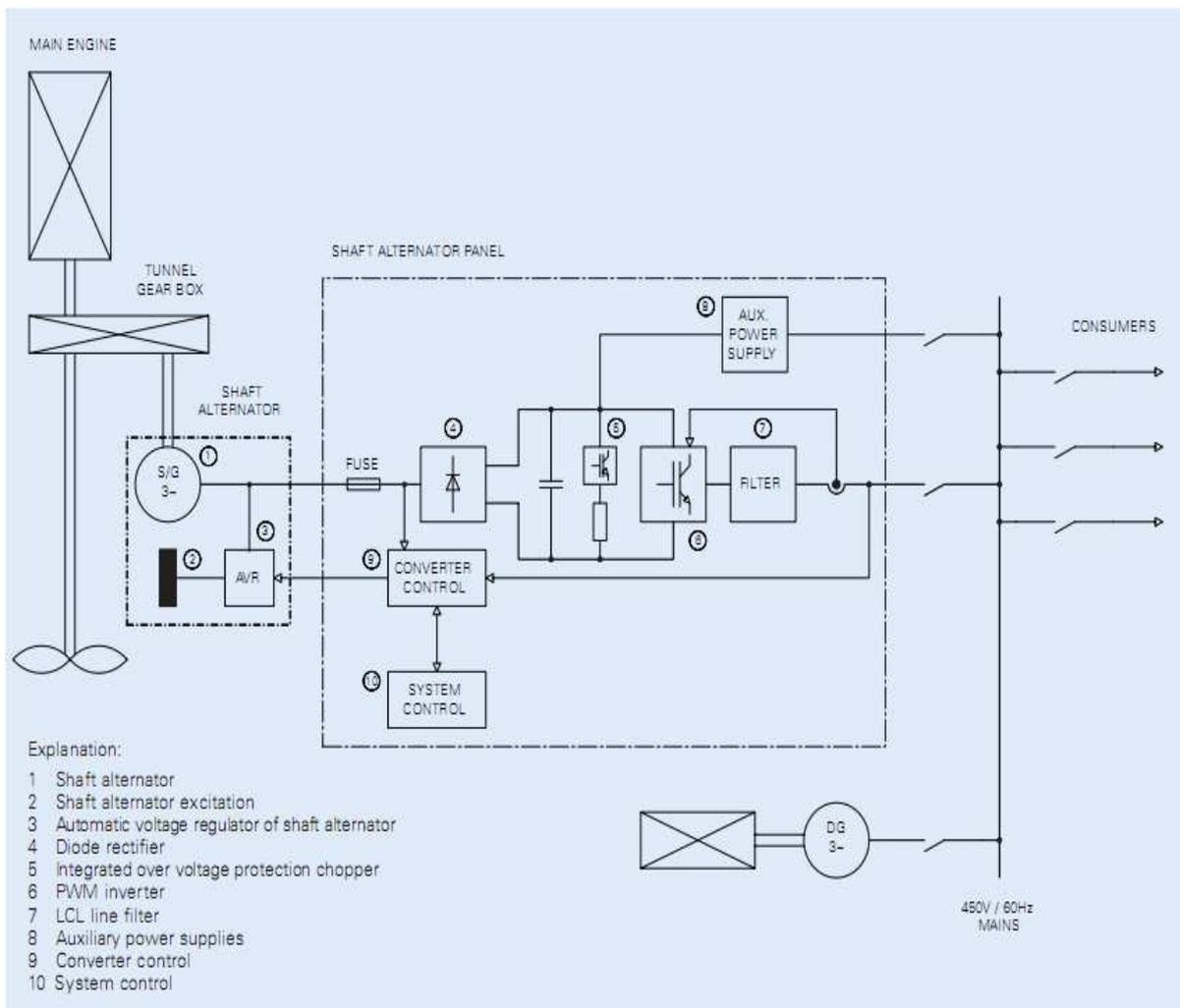


Fig. N° 15.

Se aprecia en la figura N° 15, que al eje de la máquina principal se le acopla una caja mecánica que ajustara la velocidad necesaria para que funcione correctamente el generador. Luego se observa el Regulador Automático de Voltaje, con cual se ajustara el nivel de tensión requerido a la salida del generador. Después se observan los bloques de la electrónica inserta en el sistema, en donde se aprecia el puente rectificador, el Inversor PWM, el Filtro LCL, y el Control del convertor entre otros. En este caso el voltaje generado es de 450 V, con una frecuencia de 60Hz. La conexión es de tipo estrella.

En las figuras N° 16, se muestra la parte frontal del diseño del Panel del Inversor y en la figura N° 17, se muestra la parte trasera. En este caso el Sistema del Generador Shaft entrega una potencia promedio de 1200 KW y una potencia aparente de 1500 KVA.

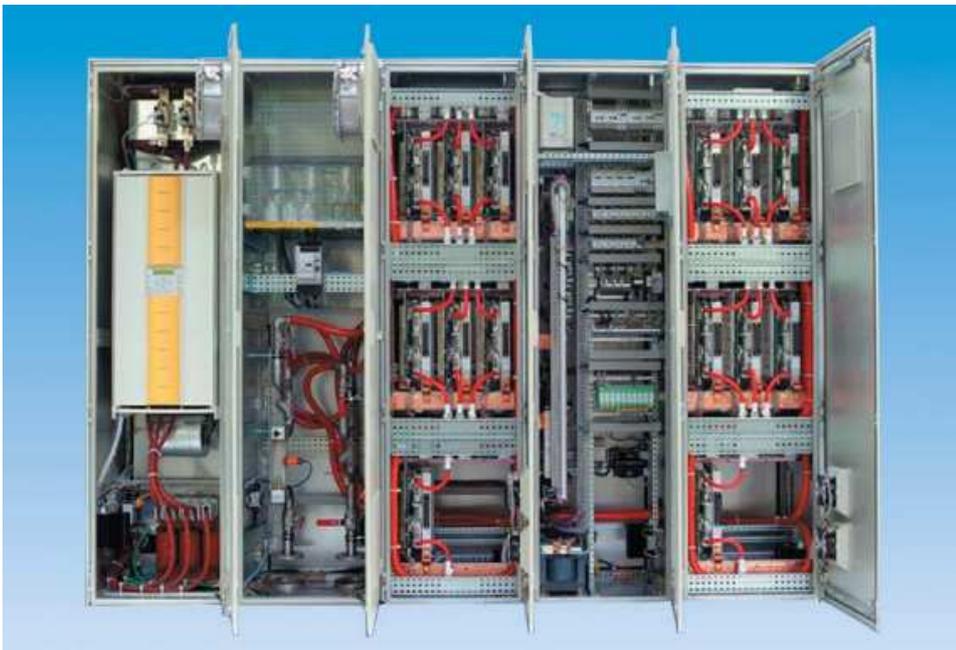


Fig. N° 16.



Figura N° 17.

2.8.3 Modulación por ancho de pulso, PWM

En la mayoría de los inversores de C.C. a C.A. se opta por emplear la modulación por ancho de pulsos, PWM. Para mejorar el contenido de los armónicos a la salida del inversor. Existe diferentes formas de operación PWM, dentro las cuales destacan: La de Pulso único con referencia lineal o senoidal, Pulsos Múltiples idénticos con referencia lineal constante, Pulsos Múltiples no idénticos con referencia senoidal, con referencia senoidal modificada y con control vectorial. En general la más empleada es la de pulsos múltiples no idénticos con referencia senoidal, y en este caso se emplea esta.

En la figura N°18, se muestra la configuración de un circuito básico de control PWM.

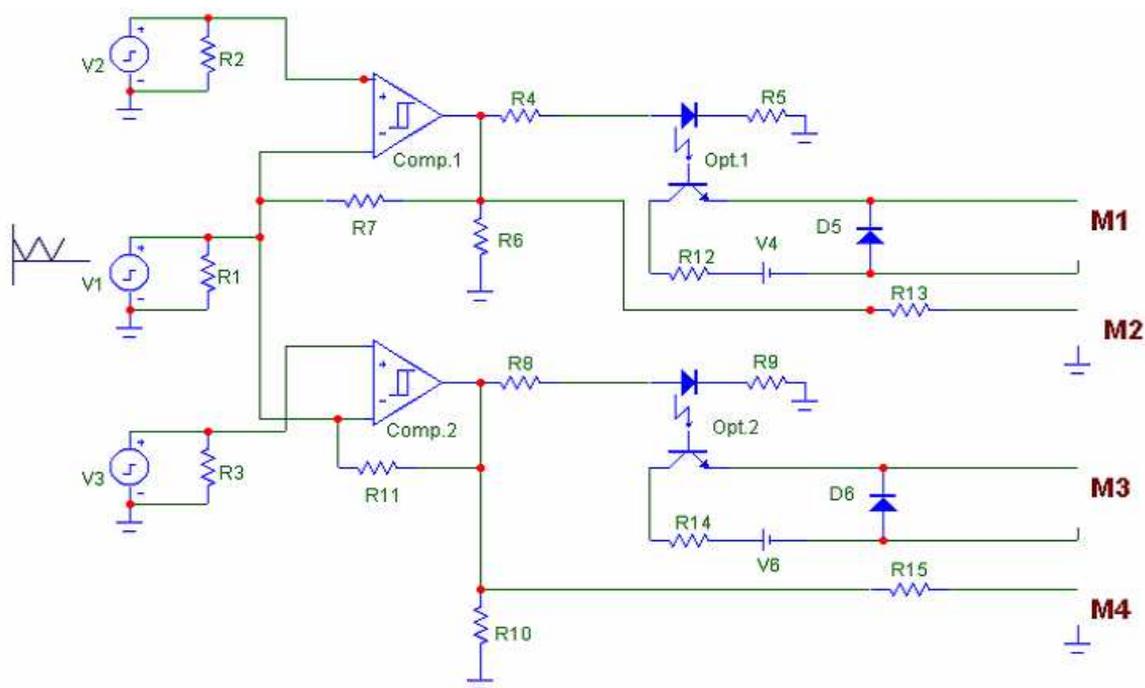


Fig. N°18.

En la figura se observa que la señal triangular de la portadora se genera en la fuente V1 y las fuentes de referencia son generadas en V2 y V3, en este caso en V2 se genera el semiperiodo positivo de la referencia, en tanto en V3 se genera el semiperiodo negativo.

Lo que se hace realmente es comparar la tensión de referencia senoidal de baja frecuencia, la cual es una imagen de la tensión deseada, con la señal triangular simétrica de alta frecuencia, cuya frecuencia determina la frecuencia de conmutación. El comparador 1 durante el semiperiodo positivo produce una señal de salida positiva cuando la referencia V_2 es mayor que la portadora y un nivel cero en el caso que la referencia sea menor que la portadora, ocurre similarmente en el comparador 2 durante el semiperiodo negativo. La salida del comparador 1 se aplica a los gates de los transistores M1 y M2 al mismo tiempo, de forma similar la salida del comparador 2 sobre M3 y M4.

Es necesario que la señal triangular, tenga una frecuencia de por lo menos 20 veces superior a la máxima frecuencia de la onda de referencia, para que se obtenga una reproducción aceptable de la señal sobre una carga, luego de haber pasado por el respectivo filtro. Entonces, la señal resultante de dicha comparación nos generará la lógica para abrir o cerrar los semiconductores de potencia.

En la figura N° 19, se muestra la modulación de una onda senoidal, produciendo una señal de salida con dos niveles, cuya frecuencia es la de la onda triangular.

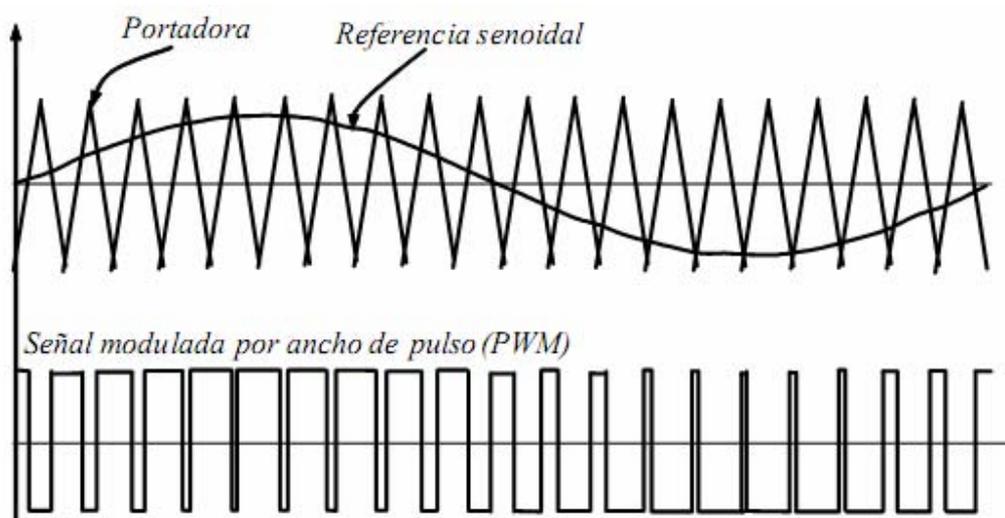


Figura N° 19.

A partir de la señal PWM se generan los pulsos de apertura y cierre de los conmutadores. En el caso que se tenga una señal PWM de nivel alto, se cierran la pareja de conmutadores que

tengan esa respectiva polaridad, en el caso contrario se cierra la pareja de conmutadores con dicha polaridad. Por lo tanto, la tensión de salida, que es aplicada a la carga, es formada por una sucesión de ondas rectangulares de igual amplitud que la tensión de alimentación en corriente continua. En tanto el contenido de armónicos de la tensión de salida se desplaza hacia las frecuencias altas, con lo cual se hace más sencillo filtrar esos armónicos.

Para una mejor observación, en la figura N° 20, se muestra la señal PWM en un cuarto de la

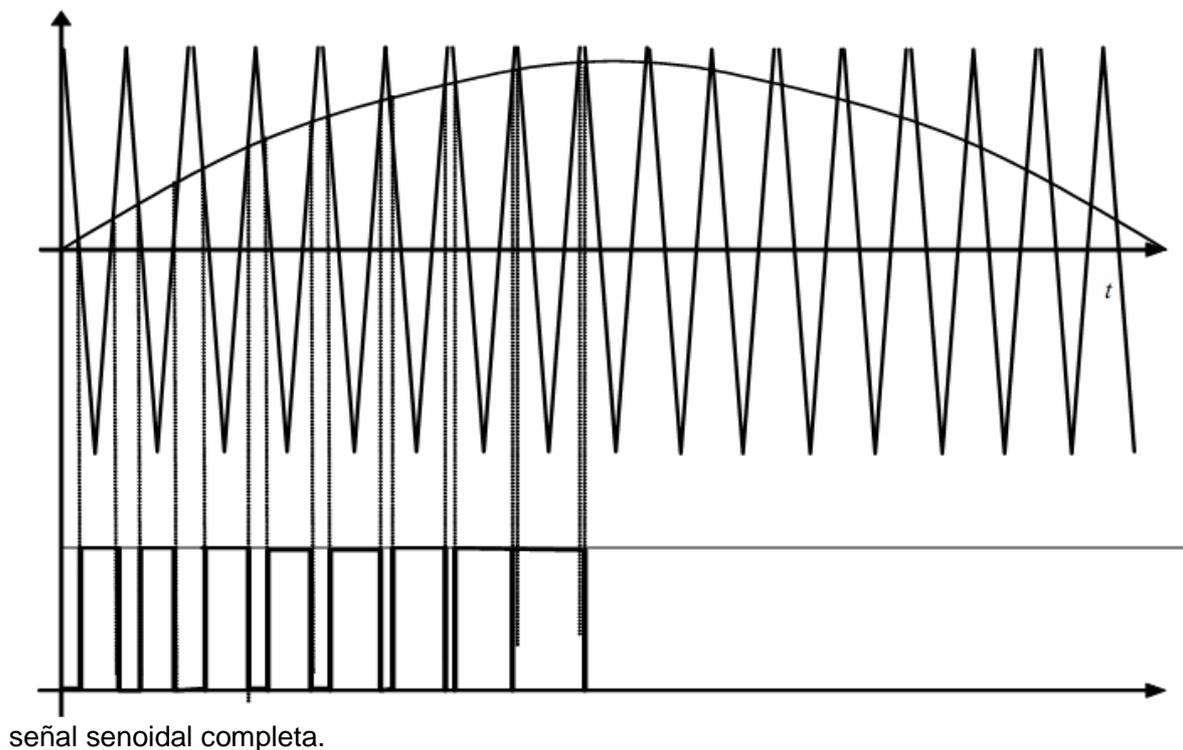


Figura N° 20.

En el caso de la modulación de anchura de pulso (PWM), se observa que el pulso se hace más largo cuando se tiene que generar más voltaje y más corto cuando el voltaje se acerca a cero. El pulso mantiene una frecuencia estable y los armónicos producidos por esta alta frecuencia son eliminados por el filtro de salida, la eficacia de este filtro depende de la diferencia de frecuencia entre la portadora (onda cuadrada de alta frecuencia la cual puede ser de 12.800Hz) y la modulada (onda senoidal de baja frecuencia 50Hz).

Entonces un filtro pasa bajos con una frecuencia de corte por encima de la frecuencia de referencia es perfectamente capaz de producir una atenuación bastante considerable, en componentes en la banda de los KHz.

La modulación con pulsos múltiples no idénticos con referencia senoidal, tiene la ventaja de que los armónicos, más importante en valor, de menor orden que aparecen tiene una frecuencia cercana a la de la portadora (f_p). Por lo tanto las armónicas de menor orden que están presentes responden a la siguiente ecuación:

$n = 2p \pm k$ con $k = 1, 3, 5, \dots$, donde p es la cantidad de pulsos de salida en un semiperiodo.

Por tanto los armónicos menores a $2p-1$ no existen, en este caso.

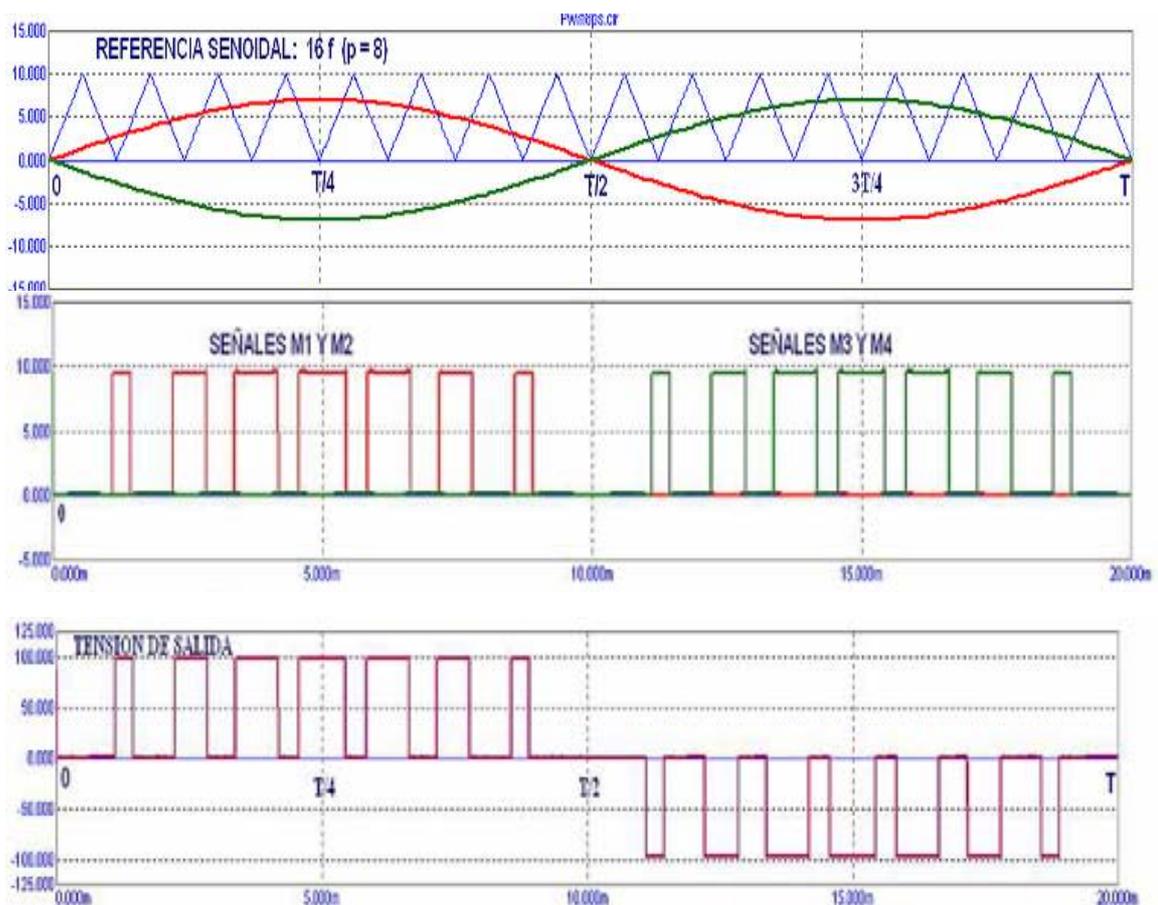


Figura N°21.

En la figura N°21, se muestra una señal de salida con 7 pulsos, con 8 pulsos de la portadora, con un índice de modulación de amplitud $M= 0.7$. Hay que notar que en este caso la onda triangular utilizada es de valores positivos, desde un máximo hasta cero, es también posible implementar, una señal triangular que oscile desde un punto máximo positivo hasta un mínimo negativo en forma simétrica respecto al eje de tiempos, obteniéndose resultados similares.

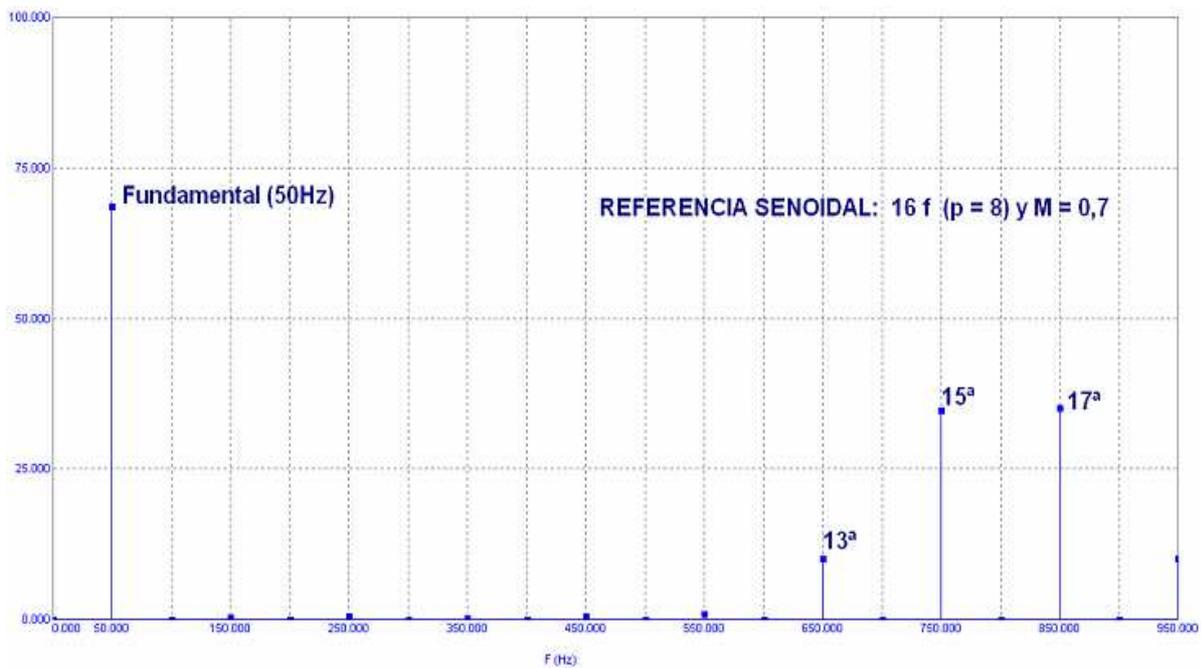


Figura N°22.

En la figura N° 22, se muestran los armónicos presentes en el espectro de frecuencia, a la salida del inversor, se puede observar que los armónicos que aparecen están cercanos a la frecuencia de la portadora, de acuerdo a la ecuación mencionada anteriormente. Con esta característica se hace sencillo filtrar los armónicos, reduciendo la distorsión por estos. Mientras mayor sea la frecuencia de la portadora, mayor será el valor de p (el número de pulsos a la salida), por lo tanto, menor será el valor de armónicos para la onda de salida.

El valor eficaz de la onda de salida está dado por la siguiente ecuación:

$$V = E \sqrt{\sum_{m=1}^p \frac{\delta_m}{\pi}} \quad , \quad \text{Donde } \delta_m \text{ es el ancho del pulso.}$$

Es necesario conocer el coeficiente B_n de Fourier, que resulta.

$$B_n = \sum_{m=1}^p \frac{2.E}{n\pi} \cdot \text{Sen} \frac{n.\delta_m}{2} \left[\text{Sen}.n(\alpha_m + \frac{\delta_m}{2}) - \text{Sen}.n(\pi + \alpha_m + \frac{\delta_m}{2}) \right]$$

2.8.4. La Distorsión Armónica

Esta es una relación, del valor eficaz de todas las armónicas presentes, respecto del valor de la armónica fundamental.

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2,3,4,5,\dots}^{\infty} V_n^2}}{V_1}$$

Si la tensión de salida tiene un valor eficaz V y la fundamental es V_1 , el valor eficaz que resalta de todas las armónicas presentes se puede calcular de la siguiente manera:

$$V_n = \sqrt{V^2 - V_1^2}$$

2.8.5. Transistor Bipolar de Compuerta Aislada, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

En este caso se opta por emplear un semiconductor de potencia como el IGBT, puesto que es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. Y por sus características, las cuales combinan los atributos del transistor BJT y MOSFET. Posee una compuerta tipo MOSFET y por lo tanto tiene una alta impedancia de entrada. La tensión de control de puerta es de unos 15V, esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta.

El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT. El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 KHz y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones.

Es un componente de tres terminales, el Gate, Colector y el Emisor, su símbolo se puede ver en la figura N°23.

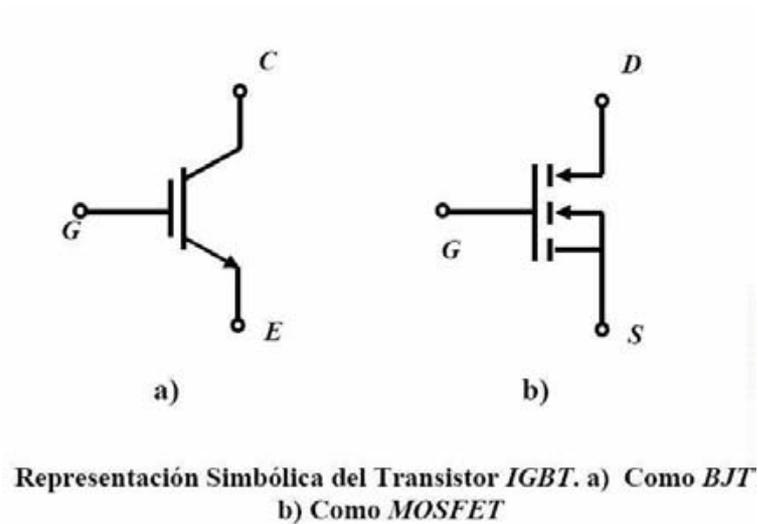


Figura N°23.

Se puede ver que existe una simbología que representa al IGBT, desde el punto de vista del Transistor BJT, y desde la perspectiva de los transistores MOSFET.

2.8.6. Forma de Onda de Salida.

Se obtiene una excelente onda sinusoidal a la salida. Debido a la alta frecuencia de los pulsos y al principio de modulación por ancho de pulsos, PWM, el convertidor IGBT es capaz de entregar una señal de voltaje con una excelente forma sinusoidal.

Así las ondas de los armónicos presente son reducidos significativamente, bajo los límites de la sociedad de clasificación y las principales cualidades son excelentes sin medidas adicionales, como sería el caso de filtros externos.

Posee un microprocesador que adapta el comportamiento del voltaje y de la frecuencia recuperando los valores nominales, en caso del dinamismo o no de las cargas eléctricas, con lo cual cambia al uso del alternador diésel. Esto asegurará realmente la operación paralela de los alternadores diésel y del Alternador Shaft, bajo todas las condiciones de la carga.

En caso de corto circuito, el conversor es capaz de suministrar una suficiente corriente de cortocircuito para quemar los fusibles presentes o para tripear las protecciones termomagnéticas, sin que se vea interrumpido el suministro principal de energía.

En la figura N°24, se muestra la señal sinusoidal de salida del inversor.

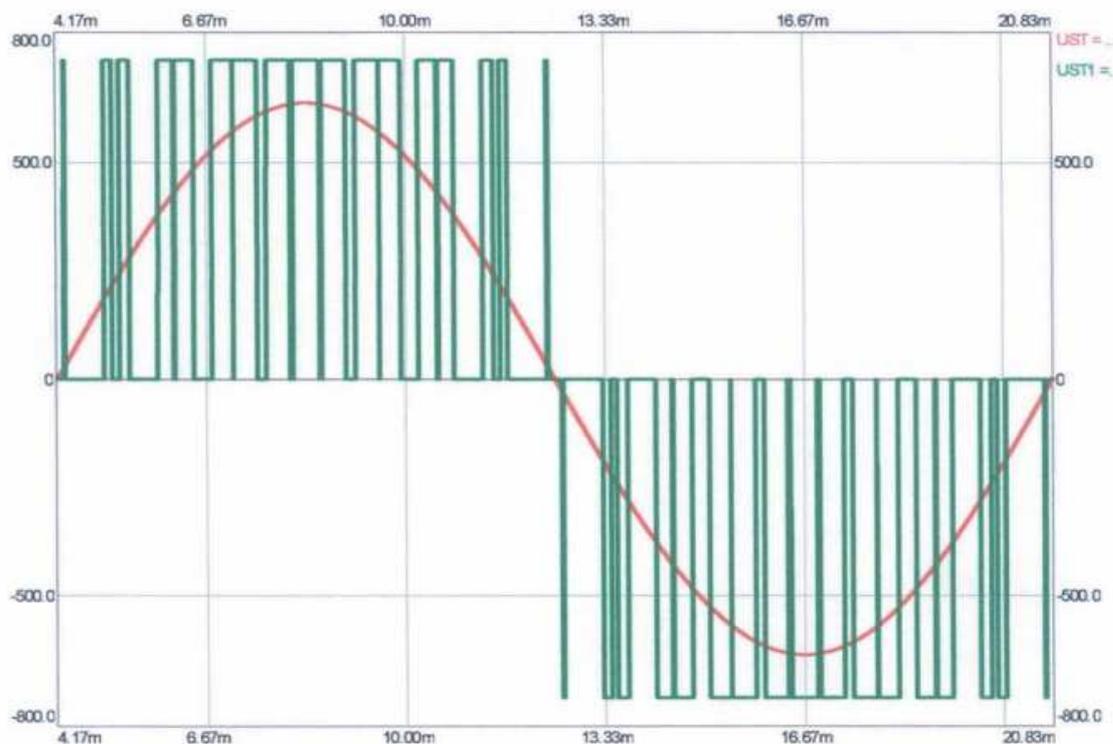


Figura N°24

En la figura N° 24, los pulsos de salida, que son los que finalmente reconstruye la señal senoidal, debido al control que se ejerce a los IGBT, dándole las señales de control para que conmuten, de acuerdo a la comparación que se lleva a cabo, entre la señal portadora y la señal

de referencia, de forma de onda senoidal. Con lo cual se obtiene alrededor del 90% de rendimiento en el sistema.

2.8.7. Generador Shaft en Alta Tensión.

Debido a la nueva generación de buques, con cada vez mas consumo eléctrico, como son los casos de los CarCarrier de 6000TEU. Es necesario que se aumente la potencia eléctrica generada, entonces para suplir esta demanda descontrolada de potencia, es una prioridad que los Generadores Shaft aumente su capacidad de producción de energía eléctrica. En este caso para reducir el rango de las corrientes y el nivel de las corrientes de cortocircuito, es permisible la implementación de Generadores Shaft en rangos de potencia entre los 4000 y 10000 KW, los cuales son diseñados con una tecnología apropiada para niveles de alto voltaje.

Como es sabido, la gran mayoría de las máquinas eléctricas, deben ser alimentadas con un voltaje constante y a una frecuencia constante, aun cuando la planta propulsora cambia de velocidad, en cuyos casos el buque navega a diferentes rangos de velocidad o en caso de que la velocidad de la hélice fluctúe por grandes turbulencias que pueden haber en los océanos.

Algunas de las ventajas de la nueva generación de los Sistemas de Generadores Shaft de SAM Electronics, que cabe destacar son las siguientes:

Entregan una potencia eléctrica entre los 4000-10000KW, con un rango de voltaje entre 3-10 KV. Incluyen la tecnología de convertidores de frecuencia para altos voltajes. No es necesaria la utilización de transformadores elevadores. Se garantiza una generación de energía más económica proporcional para una mejor eficiencia.

2.8.8 Principio de Operación.

El sistema del Generador Shaft esta diseñado para suministrar directamente 6600 V, sin utilizar un transformador elevador, con un duplex reactor para reducir el contenido de los armónicos.

La potencia activa requerida por las principales cargas es suministrada por el Alternador Shaft, con corriente trifásica y empleando un variador de frecuencia. La corriente trifásica rectificada por un puente de diodos, con lo cual se obtiene corriente continua. A su vez el inversor suministra a las redes de tensión corriente trifásica con frecuencia constante, controlado por un controlador de frecuencia, el cual varía la excitación del generador Shaft si la carga eléctrica o la velocidad de la planta propulsora han sido modificadas.

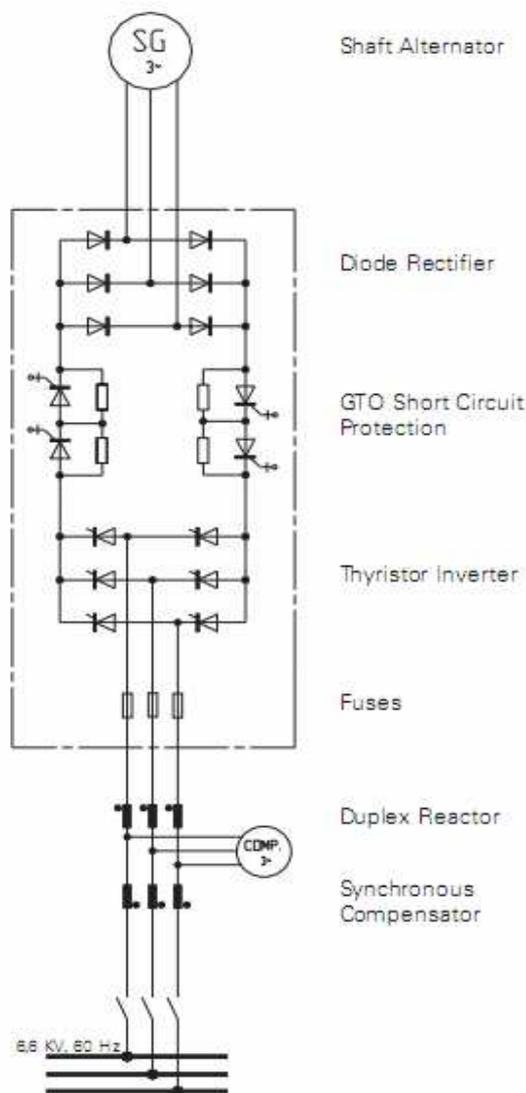


Figura N° 25.

En la figura N°25, se muestra el diagrama del sistema del Generador Shaft, en donde se observa los distintos bloques que lo componen. Como es el caso de la etapa de los diodos rectificadores, en la cual se convierte la tensión generada en corriente continua, luego esta la etapa de protección en caso de corto circuito en la línea de tensión, después se observa el Inversor el encargado de convertir la DC en AC, para que la energía eléctrica sea utilizada por la gran mayoría de cargas eléctricas.

2.8.9. Protección de Corto Circuito.

Una rápida acción del sistema de protección GTO, conectado en el circuito de corriente continua, protege a los diodos rectificadores, a los tiristores del inversor y los fusibles, en caso que el inversor se bloquee, debido a fallas en el dispositivo de disparo o en caso de corto circuito en los conductores de tensión. Para esto, las exigentes características de los conductores esta garantizado en todos los estados operacionales de los sistemas de los generadores Shaft como para la operación con generadores diésel.

Un tiristor GTO es un dispositivo de estado sólido, el cual puede apagarse por una pulsación suficientemente grande en su compuerta de entrada, aun si la corriente I_D (corriente inversa) excede a la corriente I_H (corriente de mantenimiento).

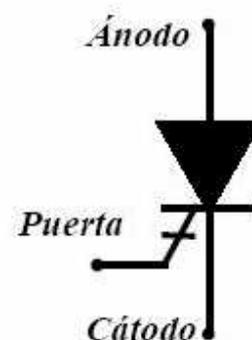
Un GTO requiere una mayor corriente de compuerta para el encendido, que un SCR común. Para grandes sistemas de potencia se requieren grandes niveles de corriente de compuerta del orden de los 10 A o más. Para apagarlos se necesita una gran pulsación de corriente negativa de entre 20 y 30 ms de duración. El nivel de este pulso de corriente negativa debe ser de un cuarto o sexto de la corriente que pasa por el dispositivo.

Algunas de las Características del GTO son:

El disparo se realiza mediante un $V_G > 0$.

El bloqueo se realiza mediante un $V_G < 0$.

La ventaja del bloqueo por puerta es que no es necesario un circuito de bloque forzado, como los SCR.



Puesto que la corriente de puerta tiene que ser mucho mayor por lo que el generador de pulsos debe ser más robusto.

El GTO con respecto al SCR disipa menos potencia.

2.8.10. Funcionamiento del GTO.

En tanto el GTO se encuentre apagado y no exista una señal en el gate, el dispositivo se bloquea para cualquier polaridad en el ánodo, pero hay presente una corriente de fuga (I_A). Con un voltaje en directa el GTO se bloquea hasta que un voltaje de ruptura $V_{AK}=V_{B0}$ es alcanzado. En este punto existe un proceso dinámico de encendido, $V_{AK}=3V$ y la corriente I_A es determinada por la carga. Cuando el GTO se apaga y con la aplicación de un voltaje en inversa, solo una pequeña corriente de fuga I_A está presente. Una polarización en inversa V_{AK} puede ser alcanzada cuando ocurra un corte. El valor del voltaje de ruptura inverso depende del método de fabricación para la creación de una regeneración interna para facilitar el proceso de apagado.

Con un voltaje de polarización directa aplicado en el ánodo y un pulso de corriente positiva aplicada al gate, el GTO es encendido y permanece en este estado. En esta condición, hay dos formas de apagarlo, una forma es reduciendo la corriente de ánodo I_A por medios externos hasta un valor menor a la corriente de mantenimiento I_H , en donde la acción regenerativa no es efectiva. La segunda forma de apagarlo es por medio de un pulso en el gate, y este es el método más recomendable porque proporciona un mejor control en el apagado del dispositivo.

La ganancia se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\beta_{off} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}$$

Para conseguir cortar al GTO, con una corriente por la puerta, debe ser lo mayor posible, para ello lo ideal es que $\alpha_2=1$ (lo mayor posible), y $\alpha_1=0$ (lo menor posible).

2.8.11. Protección GTO.

Es típico que se utilicen dispositivos de estado sólido para limitar las corrientes de cortocircuito, estos dispositivos trabajan como switches de alta velocidad, los cuales pueden ser tiristores como el GTO, un breaker o bien un switch de bajo costo, estos elementos limitadores de corriente y de voltaje, operan como circuitos de control y detección de sobre corrientes, y los cuales puede ser configurados en paralelo o en serie.

En la configuración en serie los tiristores GTOs están dispuestos en serie con un switch mecánico para conmutar la carga y con un dispositivo de aislamiento. Normalmente, el switch permanece cerrado y el GTO esta en estado de conducción, transportando la corriente de carga. Un vez que es detecta una falla por el circuito de control, es enviada una señal de apagado al GTO, abriendo el circuito en forma instantánea dentro de 1 ms. Al mismo tiempo, la corriente de falla es conmutada hacia una impedancia limitadora de corriente, la cual es normalmente resistiva. Un elemento limitador de voltaje como el Zno (zinc-oxide arrester) es usado para atenuar los repentinos ascensos del voltaje a través del GTO cuanto es apagado por la recepción de la señal. En caso que quede remanentes de corriente de falla limitada dentro de un tiempo específico, el dispositivo se resetea automáticamente, enviando la señal de apagado al GTO. Cuando la falla es controlada aguas abajo del dispositivo, el switch mecánico abre y los aparatos aislantes de la línea de tensión y la protección de potencial de sobrecarga quedan fuera.

Como se ha visto, los tiristores GTO siempre están en el circuito durante no existan condiciones de falla, transportando la corriente de carga. Sin embargo, el hecho de que los tiristores estén en conducción, provoca una caída de tensión y provoca un aumento del calor en el circuito, debido a las pérdidas internas en los tiristores. Consecuentemente, esta sobre calentamiento es un problema, por lo cual es necesario disponer de un eficiente sistema de enfriado, para evitar este problema.

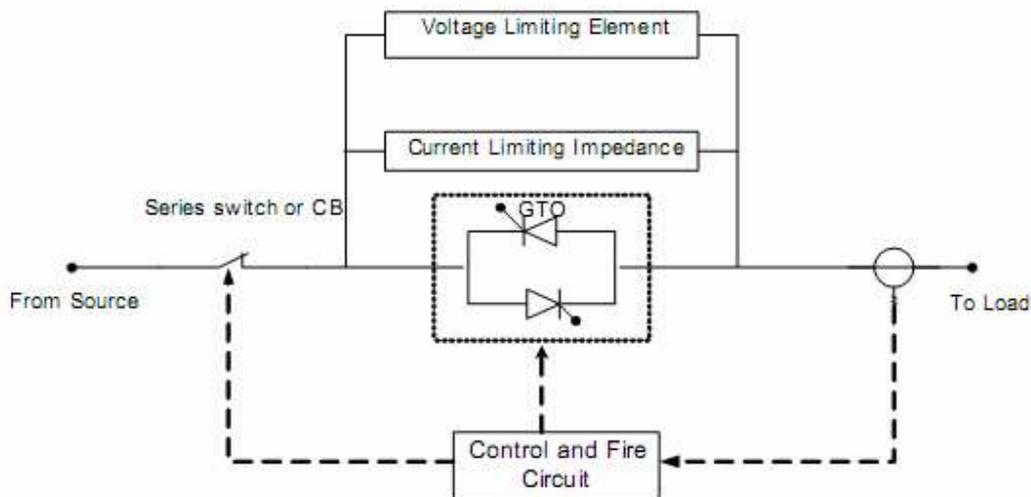


Figura N° 26.

En la figura N° 26, se muestra el diagrama en bloques de la configuración de la protección GTO en serie a la línea de tensión, en donde se aprecia el elemento limitador de voltaje, la impedancia limitadora de corriente, el circuito de control, y el switch mecánico que esta en serie al sistema de protección GTO. Este tipo de configuración está diseñado para trabajar en rangos de 2KVrms/400Arms, ha sido promovido y probado en sub-estaciones de 6.6Kv, consiguiendo limitar la corriente a una velocidad de respuesta de aproximadamente 1ms.

La configuración paralela esta compuesta por un circuito breaker al vacío (VCB) conectado en paralelo con el tiristor GTO. El VCB tiene la capacidad de interrumpir el paso de la corriente casi en forma instantánea y con el GTO conectado en paralelo, puede manejar grandes niveles de corriente hasta 60 KA, durante el tiempo que dure la falla. La gran rapidez de operación del el dispositivo permite detectar a tiempo una falla en el circuito y gracias a una gran rapidez del circuito breaker, se logra neutralizar, también mediante la disminución en el tiempo de conmutación de la corriente desde VCB hacia el GTO a través del lazo del circuito de reducción inductivo.

Se han tenido buenos resultados con este tipo de configuración, en sistemas de distribución y generación en 400V/60Hz, con un tiempo de actuación de menos de 1ms en el control de la corriente de falla en el sistema.

En la figura N° 27 se muestra la configuración paralela compuesta por el circuito breaker al vacío (VCB) conectado en paralelo con el tiristor GTO.

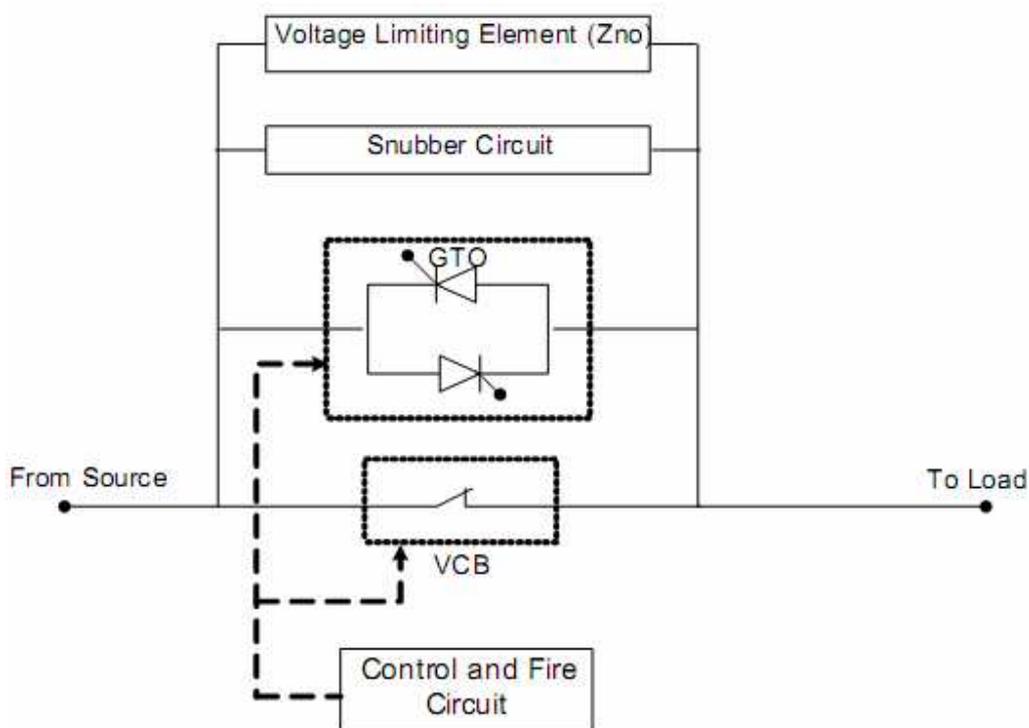


Figura N° 27.

El circuito de detección de falla detecta la repentina alza en la corriente y envía la señal de encendido al GTO y envía simultáneamente la señal para que abra el VCB. Al recibir la señal de apertura, el VCB utiliza la repulsión electromagnética para que los contactos se abran rápidamente y la corriente de cortocircuito sea desviada hacia los GTO. El arco de corriente que pasa a través de los contactos produce un arco de voltaje que interactúa con la fuerza electromotriz. El arco de voltaje reduce la corriente de falla y contribuye para la conmutación de la corriente hacia el GTO. Cuando la corriente de cortocircuito es completamente conmutada, el GTO interrumpe la corriente instantáneamente al recibir la señal de apagado. La energía

remanente de la corriente de falla es disipada a través del elemento Zno como calor. El elemento Zno también suprime los sobrevoltaje que pudiera haber en el VCB y en el GTO durante el periodo de interrupción de la corriente.

En la figura N° 28, se muestra la secuencia de operación de la configuración en paralelo. Donde se observa que una vez que es detectada una falla se envía la señal de encendido a los GTO, luego el VCB abre el circuito, generando un arco eléctrico, conmutando la corriente desde el VCB hacia el GTO, y por último el GTO es apagado, completando la interrupción de la corriente.

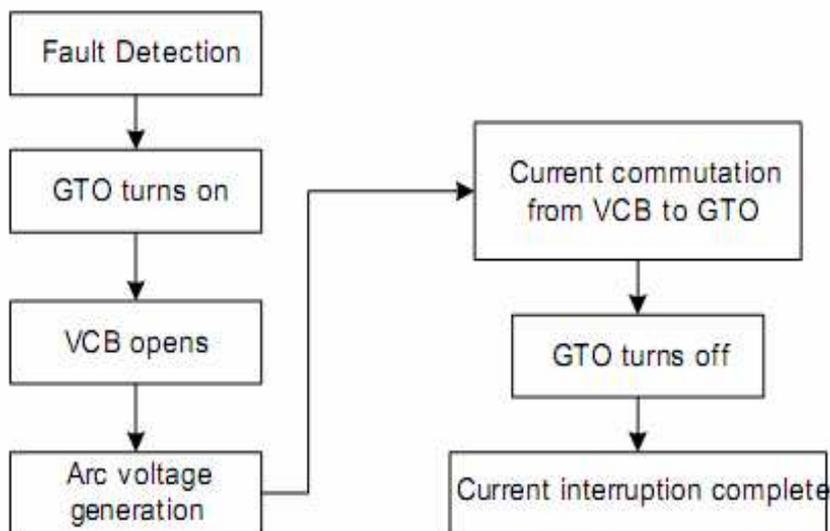


Figura N° 28.

Debido a la incorporación de un rápido VCB en paralelo a los GTOs, este sistema puede manejar corrientes de cortocircuito de hasta 60KA en menos de 1ms. Puesto que los GTOs no están conduciendo la corriente de carga continuamente, la necesidad de un sistema costoso de enfriamiento es obviada. El circuito de control permite un funcionamiento independiente, similar a un control remoto, para controlar remotamente las operaciones de conmutación y el envío de la orden de cerrado.

En la práctica en general, durante el curso de la interrupción de la corriente se observan transientes de sobrevoltaje, propios de la operación de los circuitos snubber, además se observa una distribución desigual de corriente entre dos GTOs en paralelo.

Un dispositivo de este tipo ha sido desarrollado para trabajar en un sistema de distribución de 400V y ha sido puesto a prueba, con un rendimiento satisfactorio. Sin embargo, estudios adicionales confirman, el diseño en alto voltaje y la eficiencia versus costo son necesarios antes de la instalación de el dispositivo.

Potencia Reactiva.

La potencia reactiva requerida por la líneas de tensión y por el inversor es suministrado por un compensador sincrónico, el cual opera como un motor sincrónico, tomando del sistema de Generador Shaft solamente potencia activa para sus propias pérdidas.

El compensador sincrónico y el regulador automático de voltaje (AVR) operan de la misma manera como si se tratase de un generador diésel, cuando mantienen las líneas de tensión a un valor de voltaje constante. El compensador suministra la corriente de cortocircuito en caso de cortocircuito en las líneas de tensión.

El compensador sincrónico, es simplemente un motor sincrónico funcionando en vacío sin carga mecánica, operándolo de forma sobreexcitada, de este modo la máquina se vuelve capacitiva, en caso que este subexcitada se habla de una máquina inductiva. Debido a que un motor sincrónico sobreexcitado es más estable y presenta un mejor factor de potencia, se utilizan para estabilizar un sistema eléctrico.

Trabajando de esta forma el motor absorbe potencia reactiva solamente (VAR), disminuyendo la potencia aparente absorbida (VA) y mejorando el factor de potencia. Además, de esta manera libera potencia útil, ya que es posible agregar potencia activa sin que aumente la potencia aparente original en módulo, solo cambiaría su fase, mejorando nuevamente el factor de potencia.

En estas condiciones, sobreexcitando la máquina, está genera una corriente adelantada en 90° con respecto a la tensión, según se puede apreciar en el diagrama vectorial de la figura N° 29, y en donde la corriente sería:

$$I = (E_0 - U) / X_s$$

X_s : reactancia síncrona

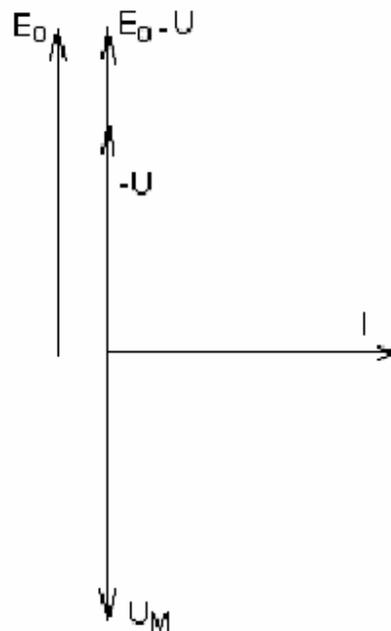


Figura N° 29.

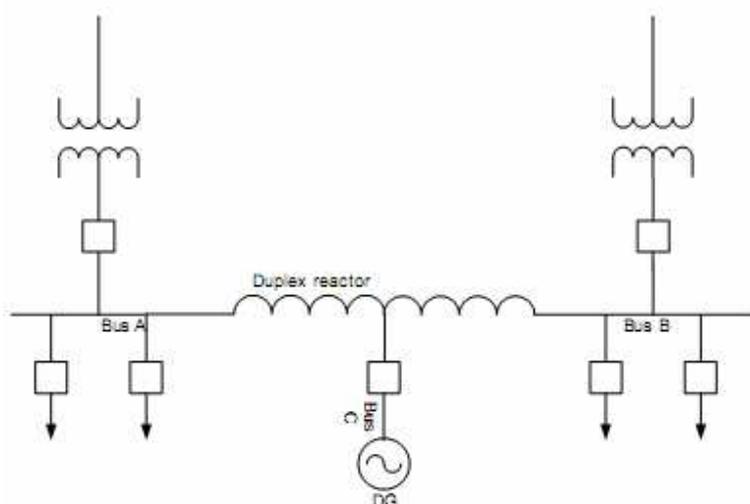
La máquina síncrona gira sin poderse aprovechar energía mecánica útil de su eje, si así fuera el desfase ya no sería de 90°, y dejaría de trabajar como condensador.

Armónicos.

El duplex reactor y el compensador síncrono son los sistemas que están dispuestos a la salida del sistema del Generador Shaft, los cuales aseguran que las líneas de tensión tengan una forma de onda sinusoidal con un factor distorsión armónica máximo de 8%. En el fondo estos elementos se comportan como un filtro, en donde el duplex reactor entrega la parte inductiva y el compensador suministra lo equivalente a la parte capacitaba, en conjunto eliminan a los armónicos.

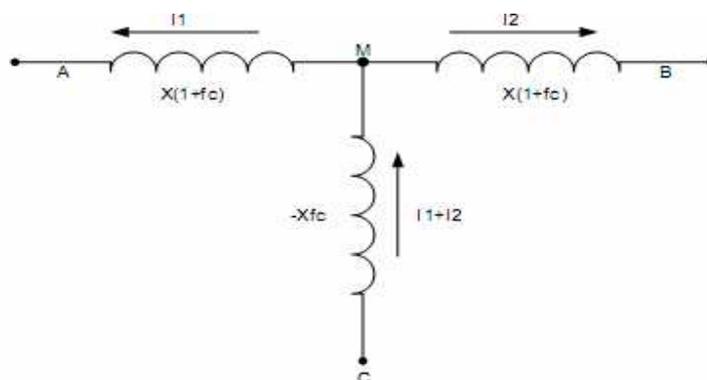
El duplex reactor fue usado por primera vez hace 50 años atrás, para la generación de energía eléctrica en una planta industrial. Esencialmente, un duplex reactor es un reactor con punto medio, usado como limitador de corriente trifásica, el cual puede ser usado entre dos buses de distribución y una planta local de generación. En la figura N° 30, se observa una configuración típica. Se observan dos reactores idénticos por fase, con el acoplamiento del flujo oponiéndose a cada uno. Como resultado, la reactancia equivalente en serie de los dos reactores es mayor que la suma de la reactancia de los dos reactores.

Figura N° 30.



En la figura N° 31, se muestra el modelo del circuito equivalente del duplex reactor. Como se ve, la reactancia es negativa en la rama común del modelo, por el sentido de la corriente. Esto cancelaría técnicamente una porción de la reactancia durante el normal funcionamiento del sistema. Sin embargo, cuando hay una falla en cualquier lado del reactor, el factor mutuo de acoplamiento contribuye para limitar la corriente, debido a que la corriente de falla se encuentra con la reactancia, la cual se opone al paso de la corriente.

Figura N° 31.



Fc: corresponde al factor de acoplamiento, este indica la cantidad de flujo existente entre los inductores. A medida que decrece la separación entre los inductores, se incrementa el valor del factor de acoplamiento. En este caso el valor típico de fc esta entro de 0.4 y 0.5.

Se puede decir que las perdidas reactivas y las caídas del voltaje, están por debajo de una condición de carga balanceada, sin embargo estas son reducidas directamente con el factor de acoplamiento, en cambio las perdidas resistivas no son considerables. En general, las perdidas reactivas están asociadas a el duplex reactor son mínimas en comparación a dos reactores limitadores, de la misma características en corriente.

En la figura N° 32, se puede ver el panel del Generador Shaft, en donde están presentes los sistemas de rectificación, de protección contra cortocircuito GTO, el Inversor, de enfriamiento y de control.



Figura N° 32.

El sistema de Generación mediante el Generador Shaft es capaz de operar en paralelo, sin ninguna restricción, con el set de generadores diésel.

2.8.11. Generador Shaft de MAN B&W.

Básicamente, en la fabricación de la compañía MAN B&W Diesel, el modelo más sencillo y económico que se distingue en los Generadores Shaft es:

PTO/GCR (Power Take Off/Gear Constant Ratio), Posee un acoplamiento flexible, engranaje elevador, posee un acoplamiento rígido ante la torsión, y un alternador.

2.8.12. PTO/GCR (Power Take Off/GearConstant Ratio).

La traducción es español es algo así como Toma de Potencia, con una Relación de Transmisión Constante. Este tipo de generador es el más simple de los que se pueden encontrar en el mercado, no han sido incorporados sistemas control de velocidad o de control de frecuencia. En la mayoría de los casos, el PTO/GCR es usado para generar potencia eléctrica a una frecuencia constante durante el viaje de la nave. Como se sabe la frecuencia producida por el alternador es proporcional a la velocidad de la planta propulsora, por lo cual en este caso la máquina principal debe operar a una velocidad constante. Esto es solo posible si existe instalado un control de hélice variable, CPP, Control Pitch Propeller. El paso de la hélice, la velocidad de esta y por lo tanto la de la planta propulsora, son ajustados de acuerdo con la velocidad requerida por la nave y a las resistencias que actúan en la nave.

Es posible que el PTO/GCR pueda ser empleado para generación de energía eléctrica con frecuencia variable, entre los 50 y 60 Hz, para esto debe ser permitido que la velocidad de la planta propulsora, varíe entre el 83% y el 100%, según sea el máximo rango de trabajo de la planta propulsora. Sin embargo, esto implica que ciertas cargas eléctricas sensibles a las variaciones de frecuencia, deban ser provistas de energía eléctrica a través de variadores de frecuencia. El funcionamiento a largo plazo, con una frecuencia variable es usado en pocos casos.

El PTO/GCR es incapaz de funcionar en paralelo con las máquinas auxiliares, por periodos prolongados, debido a las pequeñas variaciones de velocidad la planta propulsora, que ocurren incluso en el modo de velocidad constante del control del paso de la hélice, CPP. Consecuentemente, el PTO/GCR es usado frecuentemente para suministrar energía eléctrica a

toda la carga eléctrica, durante el viaje y con los generadores diésel fuera de operación. Durante las maniobras, que involucre una reducción de la velocidad de la planta propulsora, el PTO/GCR puede ser empleado por separado de la fuente de energía proveniente de los generadores diésel, para energizar el bow thruster (hélice de maniobra a proa), la cual puede funcionar con una frecuencia variable. Mientras que los generadores diésel suministran energía a todas las otras cargas eléctricas.

La operación de la máquina a una velocidad constante, significa una reducción en la eficiencia de la hélice, lo cual implica una reducción en la carga de la propulsión, comparado con el funcionamiento mediante un control del paso de la hélice, en un modo combinado (reducida velocidad o reducida propulsión) o ajustando el paso de la hélice. La eficiencia térmica del motor principal es un poco menor a una velocidad constante que en un modo combinado.

En la Figura N° 33, se muestra el concepto de optimización de espacio, que se incorpora en este tipo de Generadores, en este caso el alternador se coloca horizontalmente entre la caja de engranajes elevadora de velocidad y la parte frontal de motor principal, así se optimiza el espacio ocupado por acoplador flexible.

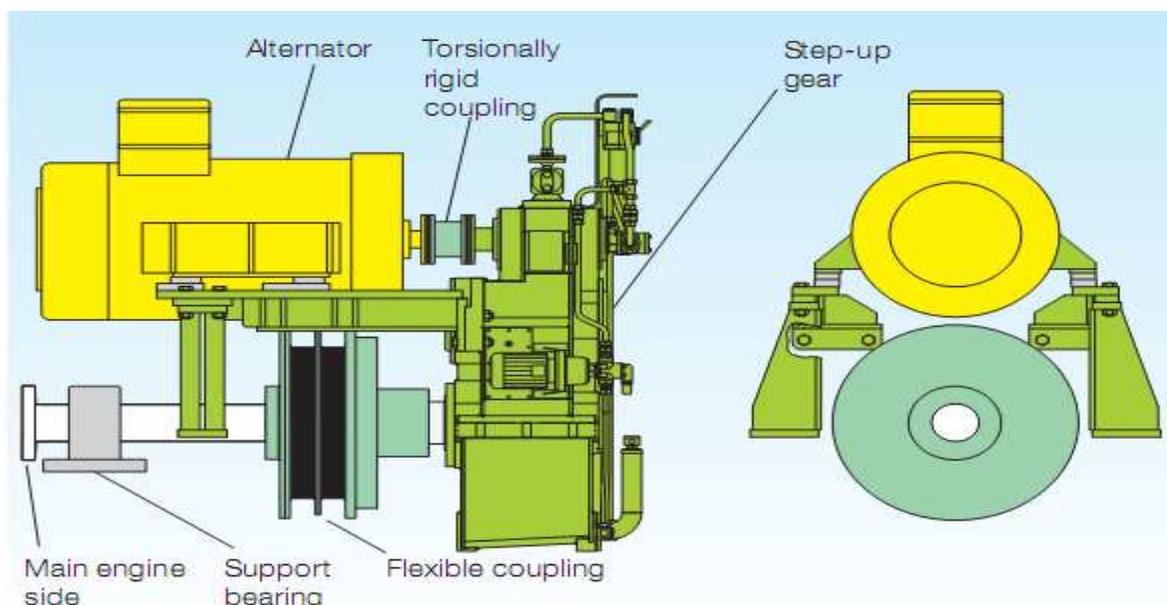


Figura N° 33.

Capítulo 3.

3. Transmisión eléctrica abordo de una M/N car-carrier.

La transmisión eléctrica a bordo de un buque, dependerá directamente del tipo de alternadores que la planta generadora posea, así como también la norma de construcción del buque. Para poder entender esto se hace referencia al factor de generación, el cual comprende el tipo de generador, tensión de trabajo y frecuencia de salida. Estos factores determinarán el uso de interfaces intermedias, ya que al igual que en sistemas terrestres, es normal encontrar transmisiones eléctricas en HV (alto voltaje) 3.3 KV o 6.6 KV con excitaciones en A.C tanto a 50 como en 60 Hz. También es usada la transmisión en D.C, esta última es poco frecuente pero en modelamientos de algunos buques igual esta presente. También existe la transmisión en A.C LV (bajo voltaje), esto comprende tensiones entre 380 - 660 VAC. La decisión final del tipo de norma a usar para transmitir electricidad dependerá de la norma europea o USA, básicamente es conveniente mencionar que todas poseen sus ventajas pero es muy frecuente la transmisión LV.

Como se hablo en el capitulo de generación eléctrica, la mayoría de los buques optan por generar en delta o en algunos casos la generación es estrella, pero su punto común (línea neutro) no es aterrizado al casco del buque por motivos de seguridad, no existe la puesta a tierra, lo cual se detallara mas adelante. Por lo tanto en la mayoría de los casos, la transmisión eléctrica contempla tres líneas de fuerza eléctrica. Todo conductor eléctrico esta canalizado sobre BPC (bandeja porta conductores) y EPC (escalerilla porta conductores) la cual es expuesta, por lo que aumenta la capacidad de transporte de carga, ya que el conductor eléctrico solo posee como interfaz con el aire solo su medio aislante. En muchos casos la energía eléctrica posee serias pérdidas por efecto JOULE, el cual se hace más incidente si la transmisión es LV, debido a que las corrientes que circulan por los conductores son muy altas, debido a la demanda de potencia.

La siguiente figura N° 34, muestra la forma física de un típico conductor concéntrico usado en transmisión eléctrica de LV. Debemos mencionar igualmente, que cuando se habla de transmisión eléctrica a bordo, estamos referidos a las líneas que nacen desde los generadores

hasta las barras principales ubicadas en un tablero o gabinete principal de fuerza eléctrica. Desde las barras hacia la carga se entiende como sistema de distribución de energía eléctrica, en el cual se contempla desde la protección del alimentador general, hasta las distribuciones por circuito.

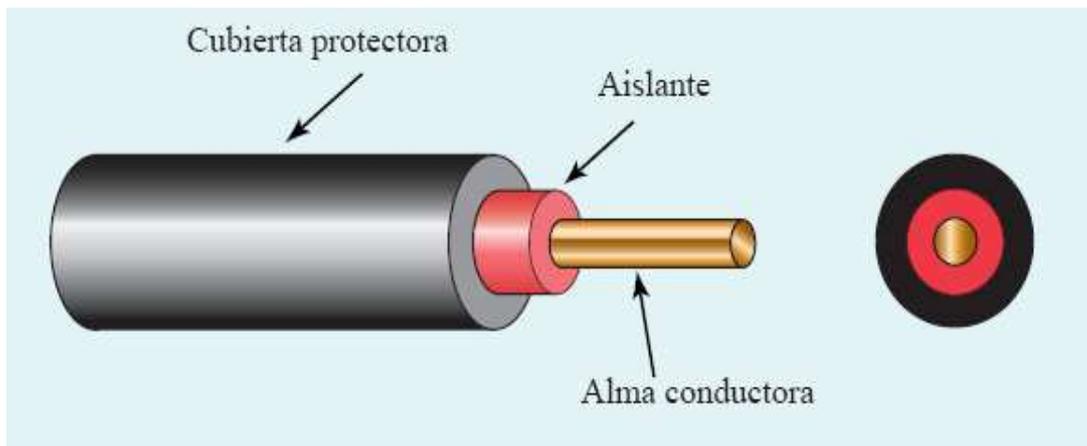


Figura N° 34.

Como se logra apreciar en la figura N° 34, el punto que mas resalta de este conductor, es la cubierta protectora, la cual protege la integridad de la aislación y del material conductor contra daños mecánicos, tales como raspaduras, golpes, etc.

Si las protecciones mecánicas son de acero, latón u otro material resistente, a ésta se le denomina "armadura". La gran desventaja que presenta es su poca elasticidad y flexibilidad, lo cual complica su montaje y conexionado en sus puntos de bornes.

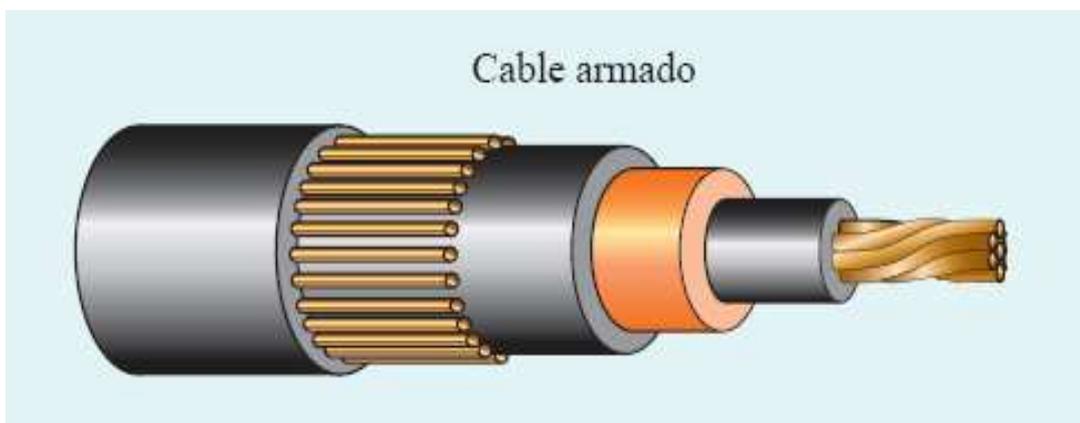


Figura N° 35.

En la figura N° 35, se muestra un tipo de conductor que posee una mayor flexibilidad, ya que está constituido por hilos de cobre trenzados. Posee una férrea cubierta conductora y además posee una protección eléctrica para su puesta a tierra. Esta malla permite dar la seguridad necesaria, para las instalaciones expuestas en la sala de máquinas.

Es importante mencionar que el tipo y dimensionado de conductores eléctricos, es el mismo establecido por **NEMA, IEEE, etc.** Por lo cual la diferencia de los conductores radica directamente en su capa de aislamiento, la cual para poder ser utilizada en medios marinos debe poseer las siguientes características.

- Poseer una alta resistencia a impacto. Esto se debe a los lugares de trabajo específicos, ya que en la planta diésel es frecuente encontrar faenas de mantenimiento como de reparaciones, en donde existe una serie de elementos cortantes, presencia de virutas, traqueteo mecánico, etc.
- La rigidez dieléctrica del conductor eléctrico, debe estar dimensionada por lo menos 2 a 3 veces la tensión nominal de trabajo. Esto garantiza la seguridad y evita el efecto de corona y ruptura del medio aislante (ionización).
- Por seguridad debe estar recubierto por una capa de PVC (cubierta externa).
- La temperatura en grados Celsius, que es capaz de soportar tanto a baja como a plena carga.

Teniendo en cuenta estas características, podemos mencionar algunos conductores eléctricos usados en la transmisión eléctrica y así como otros usados para las cargas eléctricas. Por lo general el tipo de conductor eléctrico usado en la industria marina, es de sección AWG, teniendo una gran variedad de aislamientos según su uso, como se detallan algunos:

THW: aislamiento usado para ambientes secos y húmedos, para ser canalizado en tuberías, EPC Y BPC. Su temperatura máxima de uso es de 75 °C. Tensión de servicio 600V.

THWN: aislamiento usado para ambientes secos y húmedos, resistente a líquidos combustibles, grasas, etc. Tensión de trabajo 600 V a 75 °C. posee chaqueta interior de nylon.

THHN: alisamiento apto para ser usado en ambientes secos y húmedos, no posee limitantes para su canalización. Tensión de trabajo 600 V con temperatura de trabajo máxima de 90 °C para ambientes secos y 75 °C para ambientes húmedos.

EVALEX FREETOX: usado para ambientes tanto secos como húmedos, en interiores canalizados. Es retardante a la llama, se quema sin emitir gases tóxicos ideal para ambientes cerrados.

A continuación se detalla una tabla típica con el dimensionado de conductores eléctricos teniendo presente su tensión de trabajo y corriente **In** de trabajo.

**INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES AISLADOS
SECCIONES AWG, TEMPERATURA AMBIENTE 30°C**

Nominal mm ²	AWG	Temperatura de servicio		
		60°C Tipos TW, UF	75°C Tipos THW, THWN, TTU, TTMU, PT, PW	90°C Tipos THHN, XTU, XTMU, EVA, USE-RHH, USE-RHHM, ET, EN
2,08	14	20	20	25
3,31	12	25	25	30
5,26	10	30	35	40
8,37		40	50	55
13,3	6	55	65	70
21,15	4	70	85	95
26,67	3	85	100	110
33,62	2	95	115	130
42,41	1	110	130	150
53,49	1/0	125	150	170
67,42	2/0	145	175	195
85,01	3/0	165	200	225
107,2	4/0	195	230	260
127	250MCM	215	255	290
152	300MCM	240	285	320
177,3	350MCM	250	310	350
202,7	400MCM	280	355	380
253,4	500MCM	320	380	430
304	600MCM	355	420	475
354,7	700MCM	385	460	520
380	750MCM	400	475	535
405,4	800MCM	410	490	555
456	900MCM	435	520	585
506,7	1000MCM	455	545	615
633,4	1250MCM	495	590	665
750,1	1500MCM	520	625	705
886,7	1750MCM	545	650	735
1013	2000MCM	560	665	750

Figura N° 36.

Los conductores eléctricos que se detallaron en la figura N° 36, son para su uso en LV, ya que su tensión máxima de trabajo esta muy lejos de 2KV. Mas adelante hablaremos de los conductores eléctricos usados en HV.

Los medios de soporte de los conductores eléctricos, son por lo general BPC Y EPC, las cuales por lo general son de aluminio o acero galvanizado. En muchas salas de máquinas estas recorren los contornos y puntos altos para que las líneas de transmisión eléctrica no queden expuestas. Por lo general estos soportes se encuentran aterrizados a maza con la finalidad de evitar fugas y shock eléctrico. A continuación se muestran las formas físicas de estos medios para transporte de las líneas de transmisión a bordo de naves.



Figura N° 37.

La figura N° 37, muestra la clásica EPC (escalerilla porta conductores) metálica, la cual lleva líneas de transmisión eléctrica en LV (low voltaje), esta es la forma clásica de canalización. Esta imagen fue obtenida en la M / N Pacific Winner salida de fuerza para la sala de control.



Figura N° 38.

La figura N° 38, muestra una EPC plegable, mucho mas cómoda para su maniobrabilidad, posee un diseño de ingeniería moderna, uso de materiales orgánicos ecológicos ISO 14000.

En el siguiente apartado, se analizará la transmisión eléctrica real a bordo de una motonave, la cual posee muchos aspectos de los que se han mencionado.

3.1. Sistema de Transmisión eléctrica de la M/N Pacific Winner.

El sistema de transmisión eléctrica en este buque, esta asociado a 4 conductores eléctricos, lo cual se conoce como sistema tetrafilar. La sección de estos conductores es de 2 por 500 MCM, el conductor eléctrico es de tipo THW recubierto por PVC, con blindaje metálico (este blindaje esta aterrizado para protección de shock eléctrico, producto de descarga o ruptura de rigidez dieléctrica). La transmisión eléctrica iniciada desde la 2 y 4 plataforma de la máquina principal hasta la sala de control, es de tipo canalizada de baja altura (líneas 1,5 mts de plataforma), lo cual representa un riesgo inminente de deterioro por tiempo o por traqueteo mecánico, lo cual es muy común en cubiertas de trabajo permanente. Este sistema de transmisión aprovecha la interacción directa con el aire con interfaz del medio aislante, lo cual permite mejorar la capacidad de transporte de carga eléctrica.

La transmisión eléctrica se realiza en la misma tensión generada (440 VAC R. M. S) el recorrido se puede aproximar a unos 120 Mts, a través de EPC (escalerilla eléctrica porta conductores) con dimensiones de 100 * 500* (m.m), 2mm de espesor de material galvanizado. Otra propiedad que poseen los conductores, es la de poseer un doble polímero recubierto con PVC.

Los puntos de distribución eléctrica llegan al CABINET MAIN SWITCH POWER, el cuál posee varios paneles de distribución.

La transmisión eléctrica en los gabinetes eléctricos principales, se realiza mediante el uso de BARRAS ELECTRICAS MIXTAS (escalonadas y paralelas) con una corriente de ruptura de 30 K(A). Las siguientes figuras muestran la configuración típica desde la planta de generación hasta su distribución, además se puede apreciar la distribución de fuerza eléctrica en los paneles generales de MAIN SWITCHBOARD. Las siguientes figuras muestran la representación real desde la toma de tensión desde la planta generadora diésel, transporte de líneas y punto de llegada al MAIN SWITCHBOARD OR ELECTRICAL FORCE DISTRIBUTION CABINET.



Figura N° 39.

En la figura N° 39, se muestra la salida de la connection - box, la cuál esta tomada directamente desde el estator del generador, la red eléctrica también contempla distribución para el control. Esta planta esta ubicada en la plataforma número dos, la EPC es troncal hasta el ELECTRICAL FORCE DISTRIBUTION CABINET.



Figura N° 40.

La figura N° 40, aparece la EPC troncal de líneas de fuerza eléctrica, la cual se aprecia en mal estado, esto se debe a que generalmente se realizan muchos trabajos de soldadura para su reparación, debido a la fatiga de material que presenta la EPC debido a los años. La vista es de tipo aérea perteneciente a la plataforma de culatas.



Figura N° 41.

La figura N° 41, muestra la distribución de fuerza eléctrica en el interior del MAIN SWITCHBOARD. Existe una combinación de barras escalonadas, paralelas y transversales. La corriente de ruptura es de 30K(A).



Figura N° 42.

La última figura N° 42, muestra la típica temperatura en las barras de distribución, la cual es variable de acuerdo a la carga demandada, en este caso existe una demanda de 470 KW. Se debe mencionar que la temperatura de la sala de control, donde se encuentra el MAIN SWITCHBOARD era de aprox. 20 °C, esto se logra al sistema de climatización que posee la sala.

Como es normal en cualquier sistema eléctrico, las pérdidas por efecto joule en los conductores eléctricos, es una variable muy difícil de proyectar y de establecer un rango. En el caso de los generadores es muy difícil realizar una medición ya que estos están siempre operativos y otros se encuentran stand-by. Otro factor más complejo es la carga dinámica, ya que la complejidad del funcionamiento del buque tanto en la planta de propulsión diésel, así como sus sub. Sistemas, están constantemente conmutando en ON/OFF, los cuales poseen una característica inductiva. Esto repercute seriamente en el factor de potencia, por lo cual las

perdidas en las líneas son muy variadas. En algunos periodos, sobre todo cuando el buque se encuentra en maniobras, las cargas aumentan bastante por uso de cargas motorizadas como BOW THRUSTER y otros. Por esta razón las pérdidas en línea pueden aproximarse a 10 o 15 % de la potencia entregada. Mediante la siguiente ecuación nos permite establecer los siguientes patrones.

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\sigma - \varphi).$$

Considerando todas las variables en valores (R. M. S).

Donde $\cos(\sigma - \varphi) = F.P$, factor de potencia.

Las pérdidas por efecto joule es calculable por: $P_i = I^2 \cdot R$.

Donde:

$$P_i = (P/V \cdot F.P)^2 \cdot R.$$

Si V es constante en su magnitud.

Si la carga es de característica resistiva $F.P = 1$.

Para cargas inductivas, donde la expresión de impedancia $Z = R + j\omega L$.

Con $j\omega L$ incrementándose o disminuyendo.

La parte real resistiva R es constante.

Por lo tanto varía dinámicamente Q que es la potencia reactiva. Lo cual incide en la variación de S , dado que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{y} \quad F.P = \frac{P}{S}$$

Entonces la expresión final de las Pérdidas en la línea considerando R invariante, es la siguiente:

$$P_i = \left(\frac{P}{V \cdot F.P} \right)^2 \cdot R.$$

Pero como tratamos con sistemas reales, debemos tomar la característica de la respuesta del conductor eléctrico, respecto a la temperatura, la cual aporta una nueva variable, que es mucho más dinámica. En el caso del cobre la característica es de tipo PTC, es decir coeficiente térmico positivo, a mayor temperatura mayor resistencia. Esto es perjudicial en la sala de máquinas, ya que en zonas calidas la temperatura llega al rango de 60 – 67 °C.

En estos casos es necesario calcular la desviación térmica y resistiva, por lo general se realiza mediante el uso de software para ingeniería, pero también es posible utilizar la relación para el cobre, obtenida de la relación rectilínea de la curva de respuesta mediante la semejanza de triángulos.

$$\frac{R1}{R2} = \frac{234.5 + T1}{234.5 + T2} \quad \text{Considere las temperaturas T1 y T2 en grados Celsius.}$$

T1 es la temperatura inicial junto con R1, por lo general esta la entrega el fabricante como valor referencial. R2 y T2 son los nuevos valores que se desean encontrar para saber el nuevo comportamiento del conductor eléctrico.

La forma de transmisión eléctrica en buques modernos, no ha experimentados mayores cambios, ya que la ciencia del sistema recae en el empleo de medios de canalización, niveles de tensión, selección de conductores acordes a las corrientes de trabajo y tensión.

Por lo general el tendido para la transmisión de fuerza eléctrica, es aéreo y soportado, además el trayecto no comprende distancias muy extensas.

Conductores eléctricos para Alta tensión.

Debemos considerar que si la transmisión eléctrica es superior a 1 KV, estamos en presencia de alta tensión. Por lo general se contempla que la máxima tensión de alto voltaje no debe ser superior a los 11 KV.

A continuación presentamos una tabla con los valores típicos usados en transmisión eléctrica para alto voltaje.

Nominal system voltage kV	Rated voltage for equipment kV	Nominal frequency Hz
3,0 3,3	3,6	50 or 60
6,0 6,6	7,2	
10 11	12	

Debemos mencionar que siempre debe existir segregación entre alto y bajo voltaje, debido a las tensiones de inducción que aparecen. Por lo tanto debe considerarse medios libres los de alta tensión, debidamente canalizados, idealmente en BPC sin presencia cercana de líneas de baja tensión.

Por lo general estos conductores eléctricos, se emplean si el sistema de generación es de 3.3, 6.6 KV. En el mercado existe una gran cantidad de conductores a disposición del diseñador o ingeniero eléctrico en mantención. Un punto importante a considerar, es que el conductor eléctrico debe estar reconocido o certificado por las casas clasificadoras correspondientes (ABS, NAV, BUREAU VERITAS, etc). De esta forma debemos considerar varios patrones a seguir como mínima distancia por pérdida de aislamiento, esto se debe a la alta tensión la cual en algunos medios es capaz de romper la rigidez dieléctrica de los medios. La siguiente tabla establece aquellos rangos de acuerdo a las exigencias de las casas clasificadoras.

Rated voltage kV	Minimum clearance mm
3 - 3,3	55
6 - 6,6	90
10 - 11	120

Por otro lado dentro de la gran gama de especificaciones de las casas clasificadoras, aparecen las pruebas o ensayos necesarios para realizar a las líneas de transmisión, las cuales

deben responder acorde a la siguiente tabla, en la cual aparece la tensión de prueba para cada conductor acorde a su tensión de rigidez.

Rated voltage of the equipment kV	Test voltage kV
3,6	10
7,2	20
12	28

A continuación se muestra la figura N° 43, con un conductor eléctrico para alta tensión.



Figura N° 43.

Esta vista es frontal y pertenece a un cable de alta tensión de manufactura ABB, con tensión máxima aplicable 15 KV. Como podemos ver el conductor está fuertemente aislada, por un material aislante y luego recubierto por PVC, además posee una película de cobre para su protección contra ionizaciones, y además posee 2 cubiertas contra traqueteo mecánico.



Figura N° 44.

Esta vista de la figura N° 44, es transversal a un conductor de la familia ASEA división marina, este conductor posee mas protección contra posibles daños y deterioros en superficie de trabajo o ambientes muy corrosivos. Al igual que el conductor anterior este posee un material conductor muy rígido, por lo cual se hace muy difícil su maniobrabilidad.

Capítulo 4.

4. Sistema de Distribución Eléctrica.

El sistema de distribución eléctrica a bordo de una nave, es bastante sencillo de explicar. Se inicia con un punto central, al cual convergen todos los alimentadores generales o líneas de transmisión provenientes de la planta generadora. Debemos mencionar igualmente que existen otros puntos más que se conectan a la línea los cuales provienen de sistemas de emergencias. Por lo general se posee un sistema de respaldo, ante la falta de suministro eléctrico, debido la importancia primordial de la energía eléctrica en el buque. Muchos de estos sistemas contemplan grupos electrógenos diésel con detector de tensión en red, los cuales toman la decisión de entrar a la línea en caso de ausencia de tensión. También existe un sistema con respaldo mediante banco de baterías, por lo general esta red es de 110 a 220 Volt D.C. todos estos alimentadores convergen a diversos puntos de suministros los cuales mediante control automático se disponen para entrar en servicio.

Para hablar de la distribución eléctrica es necesario tomar en cuenta los valores de la tensión de transmisión o forma de transmisión, ya sea en alta o baja tensión.

En la transmisión en alta tensión es necesario incluir todo un sistema para adaptar la tensión a los valores demandados por la carga. Este sistema por lo general se usa cuando alguna máquina o motor eléctrico, por características de diseño necesita una elevada tensión, e inclusive cuando la planta generadora se encuentra a distancias muy grandes de la carga (finalidad de disminuir las pérdidas en la línea por efecto joule).

En el caso de la transmisión a bajo voltaje, la distribución de la energía eléctrica es muy fácil de realizarla, ya que como esta a nivel de tensión de carga, solo basta distribuir en los gabinetes eléctricos las líneas generales protecciones y alimentadores de fuerza eléctrica y alumbrado.

Por esta razón se analizara la distribución eléctrica a modo general y en eventuales casos específicos según la característica de diseño y tomando en cuenta los sistemas de emergencias.

4.1. Distribución de la energía eléctrica.

Distribución eléctrica cuando la transmisión es de L.V (baja tensión).

El inicio de la aplicabilidad de la energía eléctrica en los buques se inició hace mucho tiempo, en donde lo principal era suministrar energía a los sistemas de iluminación y cargas eléctricas de muy bajo consumo, por lo cual no se hacia tan indispensable un sistema tan complejo para la distribución. En inicio con instrumentos analógicos y palancas de apertura y cierre se controlaba la energía eléctrica. La siguiente figura N° 45, muestra uno de los primeros SWITCHBOARD ELECTRIC, el cual es de 1925 aprox.

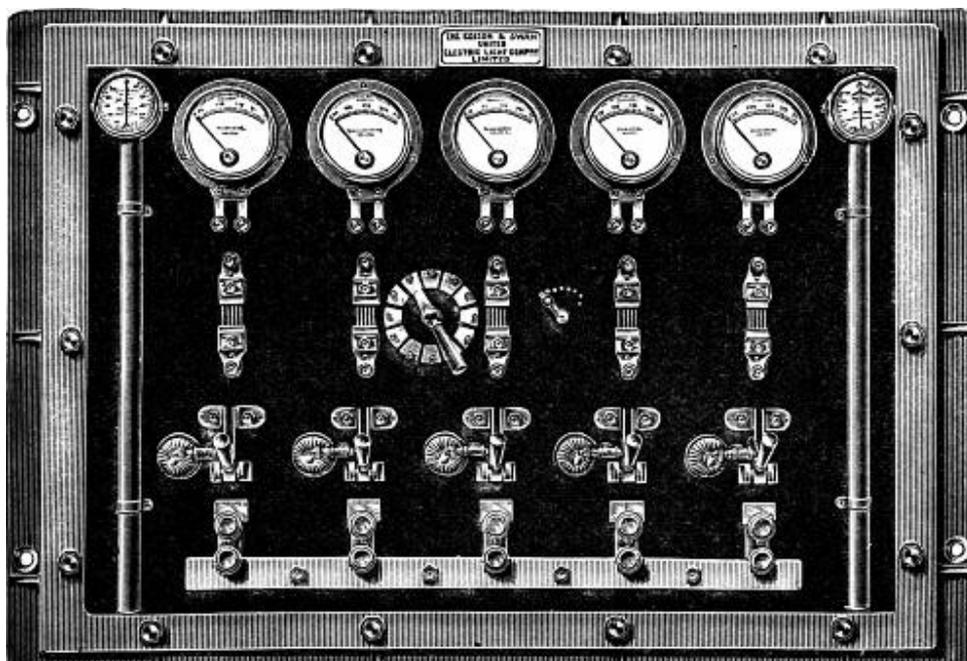


Figura N° 45.

Al pasar de los años y los avances tecnológicos, se hizo necesario diseñar sistemas mas complementarios y cuya finalidad sea multifuncional, ya que se requerían aplicaciones tanto en la planta propulsora diésel como en los sistemas de gobierno. Por lo tanto los diseños de ingeniería, se basaron en la planta generadora y las formas de tomar esta energía y distribuirla acorde a los consumos eléctricos, de esta perspectiva apareció el modelo clásico para generación, transmisión y distribución eléctrica a bordo de motonaves. En muchos casos este sistema sufre cambios, los cuales se deben a los niveles de tensión y protecciones asociadas.

El común de los buques posee este tipo de diseño eléctrico, en el cual al valor de tensión generada, se transmite al sistema de distribución, donde se procede a repartir la energía eléctrica, con sus debidos arranques eléctricos protegidos. En la siguiente figura N° 46, se muestra en detalle una planta generadora, donde esta presente el sistema de transmisión y distribución eléctrica. Cabe mencionar que el modelamiento es bastante clásico, pero aún se continúa utilizando por los diseñadores de proyectos de estas magnitudes.

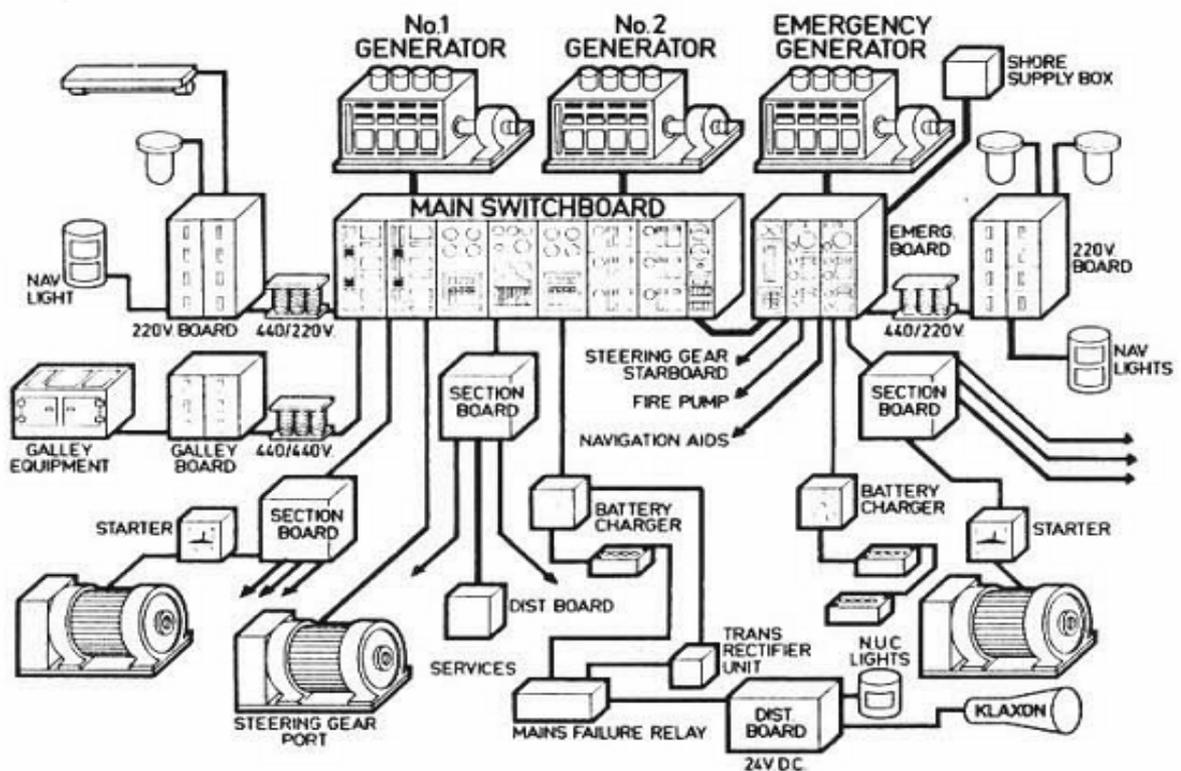


Figura N° 46.

En esta figura N° 46, se puede observar la presencia de tres generadores eléctricos, cuya tensión es transmitida directamente al panel MAIN SWITCHBOARD OR ELECTRICAL FORCE DISTRIBUTION CABINET, el cual constituye la matriz del sistema de distribución a bordo. Como se puede observar para los sistemas de alumbrado existe un transformador reductor de tensión conectado en delta tanto en el primario como secundario de este. Cada sistema de alumbrado posee gabinetes de distribución eléctrica en 220 o 115 VAC, según corresponda.

Los sistemas de fuerza eléctrica, son motores de inducción en la mayoría de los casos, los cuales son comandados por sus tableros de fuerza y control, llegándoles una tensión de fuerza de 440 VAC en este caso. Como interfaz cada uno de estos posee un partidor eléctrico, el cual puede ser electromecánico o electrónico (Soft Starter o frequency convert) en algunos casos para los sistemas mas modernos.

El siguiente es un diagrama eléctrico unilineal que corresponde a lo planteado anteriormente.

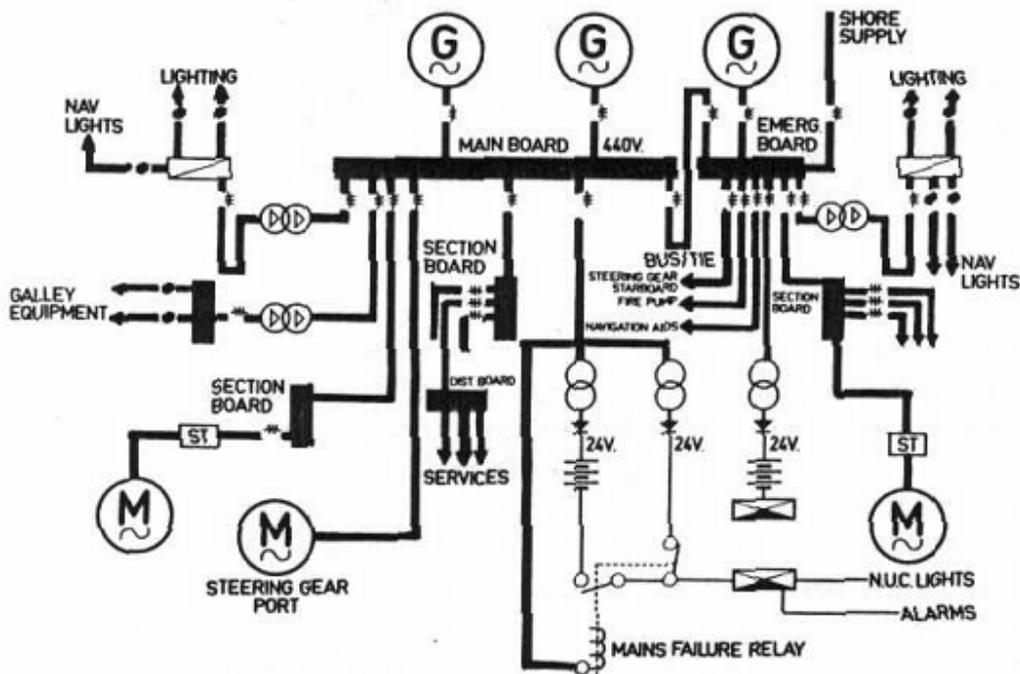


Figura N° 47.

En algunos sistemas de distribución, se incluyen paneles generales, tanto para la distribución de fuerza eléctrica, alumbrado, sistemas de control y telecomunicaciones. Para el

caso de los tableros generales de distribución estos poseen protecciones termomagnéticas para los alimentadores de energía de cada sistema. Además poseen sistema de control asociado tanto con corrientes débiles, como tensión de control que fluctúa entre 115 – 220 VAC.

La gran divergencia con los sistemas modernos de los antiguos, radica en la presencia de electrónica en todos los sistemas, interconectados mediante buses de comunicación y protocolos. A continuación se muestra la figura N° 48, la cual es característica de un tablero de fuerza y control clásico, que posee una data de 1987.



Figura N° 48.

Esta figura representa una parte de los tableros de distribución eléctrica, existentes en ENGINE CONTROL ROOM (sala de control máquinas), el modelamiento de distribución obedece a una data 1986, pero contempla las normas de seguridad y estándares que permite la operabilidad en la navegación.

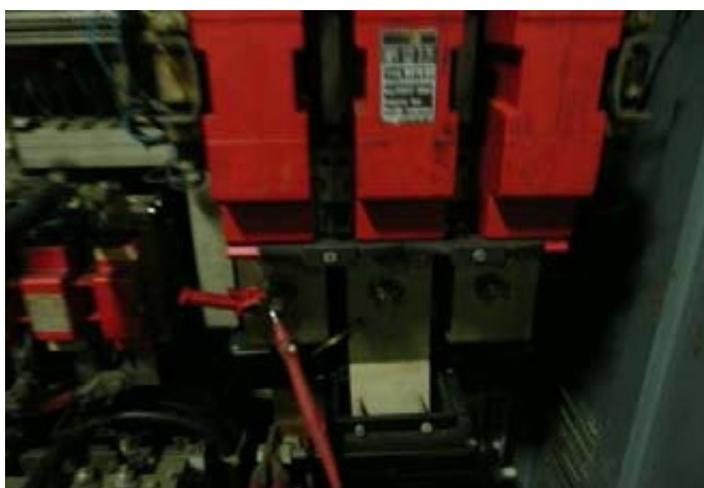


Figura N° 49.

En esta figura N° 49, se muestra un arranque eléctrico para una hélice de maniobra BOW THRUSTER, el cual esta compuesto en la práctica por un gabinete auto-soportado de 2000*2000*900 mm Como se puede observar existe una gran cantidad de elementos electromecánicos asociados tanto para la partida como para la etapa de fuerza eléctrica. Esta fotografía fue obtenida de la sala de hélice de maniobra en proa a bordo del buque Pacific Winner.

La siguiente figura N° 50, muestra un tablero de fuerza y control de una caldera a petróleo. Los puntos mas tecnológicos se obtienen al mirar el sistema generador de secuencia, el cual esta programado para controlar las etapas de ventilación, apertura 100% lampa de comando, cerrado de lampa, regulación, inicio de inyección de petróleo, regulación, ignición de arco eléctrico y regulación del fogón.



Figura N° 50.

El TDF Y C, que se muestra en la figura N° 50, Posee una gran cantidad de contactores eléctricos, temporizadores neumáticos y relé eléctricos. Además se logra apreciar protecciones termomagnéticas, lo cual no es muy común en buques de los años 80.

La vista interna en los tableros de distribución de fuerza se muestra a continuación en las siguientes figuras.



Figura N° 51.

La figura N° 51, muestra la distribución eléctrica en 440 VAC (RMS) 60Hz, a través de barras paralelas, triples para poder dar soporte a la corriente demandada en el buque, que en algunos casos son 2700 (A). El modelamiento de barras paralelas recorre 9 paneles de fuerza, en donde se distribuye hacia las protecciones termomagnéticas, las cuales son dimensionadas acorde a la carga. Las principales protecciones son las que protegen los generadores eléctricos, estas son 1150 – 1250 (A). En este caso la planta de generación contaba con tres generadores diésel y un SHAFT GENERATOR. En casos de puerto y maniobras, se hace necesario el uso de tres generadores en la línea para poder entregar la potencia demandada, en estos casos la corriente es FULL, pero variante teniendo un peak sobre 2900 (A), debido a la maquinaria involucrada.

La siguiente figura N° 52, muestra la típica protección termomagnética abordo, la cual es de la marca SACE, esta es la protección de los generadores, además posee un control asociado

que permite enclavar al generador a la línea o sacarlo según sea la necesidad, para esto se hablará mas adelante de los sistemas de control, en este caso todo se asociaba a una sistema llamado GENA 100, el cual aparte de realizar la sincronización para entrar a la línea, se encarga de equilibrar las cargas eléctricas. Estos breaker son motorizados y localmente posee un mando para su uso en manual.



Figura N° 52.

La vista posterior del Breaker se muestra a continuación, en esta se puede ver asociado unos fusibles, cuya finalidad es proteger la líneas de fuerza en baja potencia que se requieren para monitorear las magnitudes eléctricas del generador, esta asociado a un Analizador de redes eléctricas. También se puede observar los aislantes y estructura mecánica que es bastante robusta.



Figura N° 53.

Por último se muestra la distribución eléctrica por barras mixtas figura N° 54 (escalonadas, paralelas y transversales), que se emplea para distribuir fuerza eléctrica a otras protecciones que energizan otros circuitos eléctricos que son de menor consumo y cumplen otra finalidad.



Figura N° 54.

4.1.1. Sistemas de distribución en buques modernos.

Al pasar el tiempo, los sistemas eléctricos no han sufrido muchas modificaciones, tanto los sistemas de protección y la característica de diseño sigue prácticamente intacta. Se ha reducido el tamaño de las protecciones, y existe una gran aparición de sistemas electrónicos en los gabinetes, los cuales reducen bastante, la circuitería electromecánica asociada, que era muy común en antaño. Muchos sistemas eléctricos, han desarrollado una evolución, que favorece la mantención y recambio de estos. He ahí la importancia de los sistemas electrónicos, los cuales permite, una rápida reparación, a partir de la sustitución de PCB de control, además de buses de comunicación FIELDBUS, PROFIELDBUS, MODBUS, DEVICE CONTROL NET, etc. Los cuales permiten controlar y monitorear en forma digital y a través de HMI el comportamiento de cargas eléctricas, estados de funcionamiento, temperaturas, fugas de corriente, mejoramiento del factor de potencia, etc.

A continuación se muestra la figura N° 55, con gabinetes de distribución (SWITCHBOARD), que se usan en plantas eléctricas. Estos por lo general están ubicados en la sala de control.



Figura N° 55.

En la figura N° 55, se muestra un sistema SWITCHBOARD perteneciente a un buque patrullero, estos gabinetes manejan una potencia instalada de 500KW, mucho menor en comparación con buques car -carrier u otros cargueros. Esta figura nos permite dimensionar un cambio tecnológico medurado en comparación con las tecnologías mas modernas que ha continuación se mostrarán.



Figura N° 56.

La figura N° 56, muestra paneles de distribución eléctrica, con una calidad y performance de primera generación, correspondiente a la marca SIEMENS división MARINE, los cuales poseen sistemas de protección digitalizados, con redes de control de campo (FIELD NETWORK), además poseen soporte de red y visualización de carga (analizador de redes eléctricas) por protección, a su vez poseen interruptor de paso o seccionador-maniobras para mantenciones en líneas.



Figura N° 57.



Figura N° 58.

La figura N° 58, muestra una planta de distribución eléctrica de última generación, de la línea ABB división marina. Podemos ver dos RAG de tableros de distribución, los cuales se intercomunican vía subterránea. En la parte de fondo se logra ver el acceso a la subestación eléctrica reductora de tensión HV a LV. Los dos breaker principales se logran apreciar en la parte inicial. Estos poseen módulos de tipo digital y programable. Son de tipo al vacío. Las celdas de transferencia eléctrica se encuentran en la sala de subestación eléctrica. Los partidores principales y barras repartidoras se inician en los tableros de fuerza contiguos.

Esta imagen representa la planta eléctrica de un buque car-carrier moderno M/N FEDORA, el cual contó con la supervisión de ABB para el soporte de ingeniería eléctrica y electrónica. Posee una potencia instalada de 25MW, su propulsión es híbrida, y representa uno de los últimos adelantos de la ingeniería naval. Actualmente se encuentra en navegación, a su 100% de capacidad.

En la figura N° 57, se puede observar parte de un switchboard, ubicado en la salida a caja escala al interior de una motonave carrier. Este posee distribución de fuerza en 440 VAC (RMS) y protecciones para alimentadores de circuitos motorizados. Se puede observar que el gabinete es muy semejante a la arquitectura de los años 80, ya que posee botoneras eléctricas, pero a su vez posee controladores digitales. Esta es una solución eléctrica ofrecida por IPS MARINE la cual posee 20 años en la industria marina.

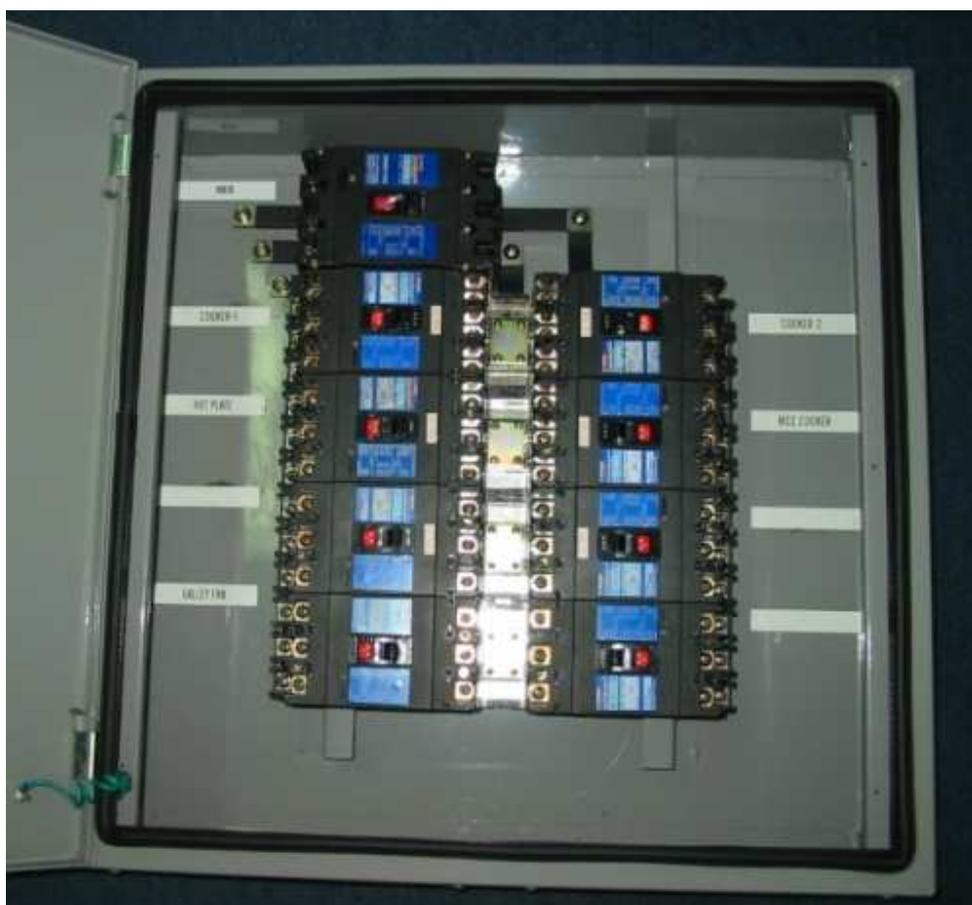


Figura N° 59.

La figura N° 59, muestra un tablero de distribución de fuerza auxiliar, ubicado en terreno, por lo cual su arranque eléctrico nace desde el ELECTRIC SWITCHBOARD. En este panel sólo existe fuerza eléctrica, por lo cual se hace segregación de esta hacia los tableros de fuerza para bombas eléctricas o cargas resistivas como el carter, etc.

El diagrama unilineal de control de la figura N° 61, muestra los interruptores de conmutación y sus controladores. Además se observa control electromecánico.

4.2. Sistemas tecnológicos en ELECTRIC SWITCHBOARD.

Como se detalló anteriormente, en la actualidad existe una variedad de dispositivos que se utilizan tanto para la protección, monitoreo, control de alarmas e integración de puntos para los paneles de distribución. En este apartado hablaremos de algunos componentes los cuales son muy utilizados en los sistemas. Anexo a esto podemos añadir que la planta generadora posee su propio control externo integrado a estos paneles, en muchas instalaciones eléctricas marinas, es normal apreciar una gran cantidad de proveedores de tecnologías, por lo cual los paneles de distribución en cuanto a los sistemas de control, solo es permisible la comunicación, gracias a los protocolos de comunicación estándares que también son usados en industrias.

Interruptor BREAKER para baja tensión.

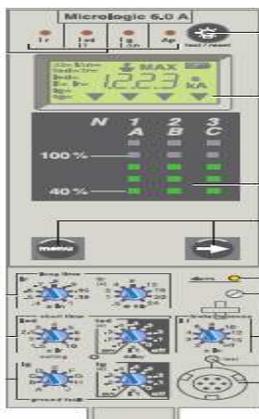
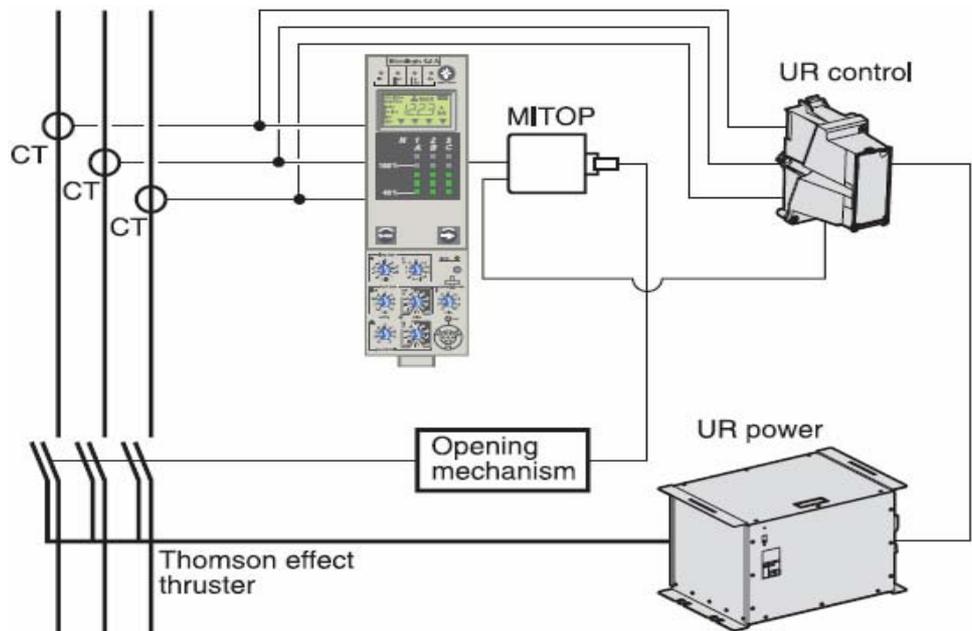


Figura N° 62.

La curva de corriente v/s tiempo, nos permite ver la diferencial de corriente que se provoca cuando ocurre un cortocircuito, también se logra apreciar el tiempo de quiebre.

La siguiente figura N° 64, muestra el diagrama para el mecanismo de apertura y acción ante un cortocircuito. Debemos mencionar que el efecto Thomson o bobina Thomson, consiste en una bobina primaria montada contra un disco sólido formando el secundario de una bobina presionada al encender. La energía electrostática es almacenada en capacitores. Posteriormente esta energía es liberada al sistema, produciendo una gran corriente de inducción en el secundario o disco, permitiendo una fuera resultante.

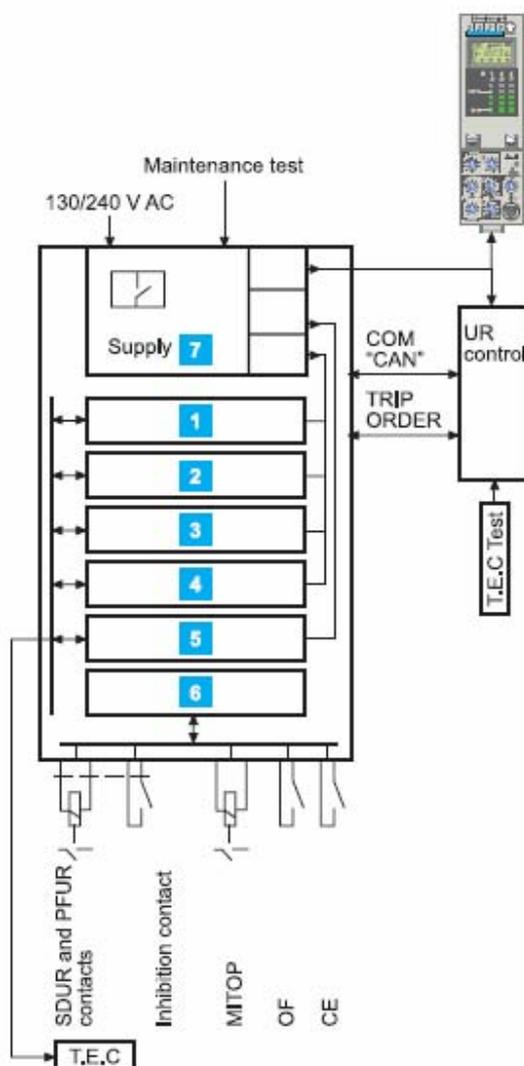
Figura N° 64.



El modelamiento comprende eventos de grandes magnitudes, es decir corrientes altas en cortocircuito. En el caso de sobrecarga o cortocircuito para corrientes bajas, el dado de operación es similar, salvo la operación del módulo UR y la unidad de potencia para UR. Por lo tanto no hay efecto thomson y solo opera el mecanismo de potencia.

La unidad de control micrologic, posee una unidad de display que permite monitorear en tiempo real magnitudes eléctricas, es una versión proveída por una protección contra falla de tierra. Posee protección contra sobrecargas eléctricas usando long - delay para valores RMS. Posee memoria de retención de datos para antes y después de tripear en caso de falla. Posee potenciómetros de regulación y pantalla LCD.

Figura N° 65.



Formato físico de la regleta de conexión interna para la interconexión de periféricos. En tanto los sistemas de potencias, contactos secos, módulos auxiliares. Los contactos de ignición y otros para apertura y cierre. Estos van añadidos al sistema de micrologic que es el sistema

inteligente. A su vez se detallan unas figuras de otros accesorios útiles que son usados para completar el bus de comunicación, mantención, pruebas y detección de fallas.



Interfaz potencia. Dual hardware. Interfaz RJ -45 Adaptador RS-232 / USB 2.0.
Analizador de redes trifásicas para panel.

Este elemento es incorporado en la consola de la sala de control de máquinas, anexo ha esto es también usado en cada tablero eléctrico de fuerza y control. La finalidad de esto es monitorear en tiempo real las variaciones en magnitudes eléctricas. Pese a que muchos breaker poseen incorporado algunos de estos módulos, se hace más seguro, y además es exigido por algunas casas clasificadoras este tipo de instrumento dentro del banco de instrumentos, considerando algunos como patrones. A continuación se muestra la forma física de este instrumento cuyas sigla es en inglés son three phase electric power analyser.

Figura N° 66.



Este instrumento es conocido en ABB como ANR. El cual es capaz de medir y grabar patrones de las redes eléctricas, las cuales se encuentra monitoreando. Posee una pantalla de LCD gráfica, en la cual se puede observar valores, tiempos, cruces por cero, etc. Algunas de las características se mencionan a continuación.

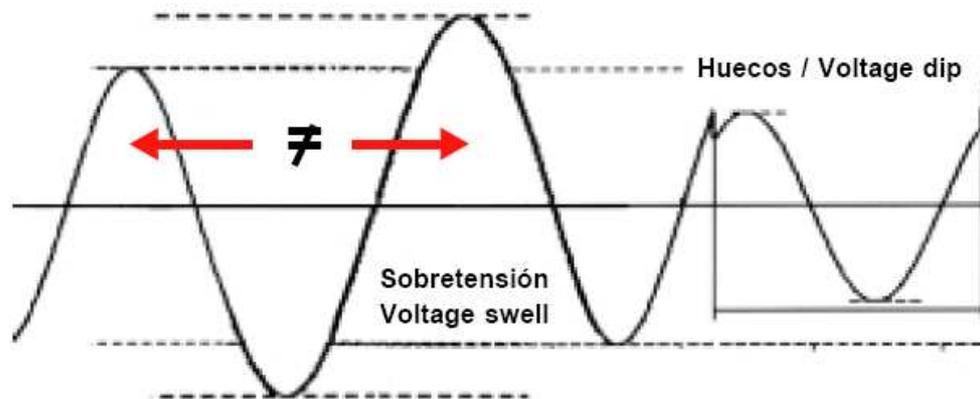
- Alta performance. Registro de las mediciones y análisis de mas de 60 parámetros eléctricos.
- Precisión. Tanto la tensión como corriente es medida en valores RMS, es posible readecuar a valores peak, con la precisión de 0,5%.
- Optimización y costos de energía. Precisión y análisis historial de consumos, salidas de control para medios actuadores.
- Análisis de variaciones de tensión, interrupciones en la fuente de poder, componentes armónicas hasta la numero 31.
- Comunicación. Salidas programables, análogas - digitales. salidas para comando impulso y alarmas. Adquisición de datos vía Profibus, Modbus, código ASCII y protocolo Ethernet.
- Flexibilidad. Es compacto y expandible vía módulos de integración SLOT.

Figura
Nº 67.



Diagrama de aplicación de la tecnología entre switchboar y engine control rooms.

Figura
Nº 68.



En la figura Nº 68, se logra apreciar la sobre - tensión, que es capaz de analizar en hasta 20 ms hasta 60 s. Estas son aumentos eficaces de hasta 15%. Típico problemas en las generaciones eléctricas con carga muy dinámica. También se logra apreciar el otro lado del concepto, en lo referido a tensiones de hueco perteneciente a atenuaciones 16% en tiempos cortos y rápidos 2ms hasta 60 s.

4.3. Distribución eléctrica cuando la transmisión es H.V (alta tensión).

Básicamente el sistema de distribución es el mismo que se explicaba en el apartado anterior, la gran diferencia radica en la llegada a los gabinetes de distribución, ya que necesariamente se necesita adaptar la tensión según las exigencias de la carga eléctrica. Por otro lado puede que se necesite un arranque eléctrico protegido para alguna carga inductiva o resistiva. Como es el caso de BOW-thruster u otro. Para poder realizar este punto es necesario recurrir a la etapa que se desarrolla a continuación.

Adaptación de tensión para sistemas HT a LT.

En algunos buques, el sistema de transmisión eléctrica se realiza en tensiones 3.3 -6.6 - 12 - 24 KV. Por lo cual antes de llegar al sistema de distribución, se realiza una adaptación de tensiones mediante una subestación eléctrica, con transformadores de potencia del orden de varios KVA. Estos transformadores por supuestos están protegidos por sistemas de celdas eléctricas, en las cuales se realiza la transferencia de energía y cortes de estos para realizar las

mantenciones y ensayos correspondientes. Por lo general estos transformadores poseen un tipo de instalación física conocida como pad - mounter.

A continuación se muestra un sistema de transferencia de energía para media alta tensión, lo cual es muy parecido a los utilizados en proyectos eléctricos como edificios, la diferencia radica en las certificaciones que poseen por lo general debe estar reconocida la marca por una casa clasificadora como ABS u otras.



Figura N° 69.

El sistema de celda de transferencia que se muestra en la figura N° 69, pertenece a la prestigiosa marca ABB división marina industrial, posee altos estándares de calidad, su gabinete metálico es aprueba de explosión. Esta línea pertenece a una línea clásica la cual es más robusta. Sus características de entrada pertenece a 3.3 KV a 24 KV corrientes de entrada 2 a 5 KA, con una corriente de ruptura de aproximadamente 30 KA.



Figura N° 70.

Esta figura N° 70, muestra una celda de transferencia primaria para media- alta tensión marca ABB, esta nueva serie es una estándar con alta performance, a prueba de arco interno, posee aislamiento de aire en todos los puntos activos de alta tensión, separación en barras por gabinetes hasta llegar al interruptor seccionador de fuerza eléctrica posee una unidad de control electrónico asistido para monitoreo y accionamiento REF 542 PLUS.

El siguiente recuadro muestra las características eléctricas en detalle de la celda anterior.

Características técnicas

Tensión asignada	[kV]	12	17,5	24
Tensión de aislamiento asignada	[kV]	12	17,5	24
Tensión de prueba (50-60 Hz/1 min)	[kV]	28	38	50
Tensión soportada de impulso	[kV]	75	95	125
Frecuencia asignada	[Hz]	50-60	50-60	50-60
Intensidad asignada de barras principales (1)	[A]	400/630/800/1250	400/630/800/1250	400/630/800/1250
Intensidad térmica asignada (1)				
• interruptores automáticos	[A]	630	630	630
• interruptores-seccionadores	[A]	400/630	400/630	400/630
• seccionadores	[A]	400/630	400/630	400/630
Intensidad asignada de corta duración (1 s)				
• P1/F, ASR, A, R, Rac, M, P2, P3	[kA]	12,5-16-20-25	12,5-16-20-25	12,5-16-20-25
Intensidad de cresta				
• P1/F, ASR, A, R, Rac, M, P2, P3	[kA]	31,5-40-50-63	31,5-40-50-63	31,5-40-50-63
Resistencia al arco interno				
Anchura celda				
• 500 - 750 mm	[kA x 0,5 s]	12,5 - 16 - 20	12,5 - 16 - 20	12,5 - 16 - 20
• 500 - 750 mm	[kA x 1 s]	12,5 - 16	12,5 - 16	12,5 - 16
• 375 mm	[kA x 0,5 s]	12,5 - 16 ⁽²⁾	12,5 - 16 ⁽²⁾	12,5 - 16 ⁽²⁾
• 375 mm	[kA x 1 s]	12,5	12,5	12,5

La característica de datos asignados, toman de referencia una temperatura ambiente de 40 ° C.

Dentro de la serie de modelos se encuentran, los modelos UniMIX, los cuales son más modernos, fabricados en brindar la protección y seguridad en las mantenciones y maniobras de encendido. La siguiente figura N° 71, muestra una celda de cuadros de media alta tensión de la serie UniMIX marca ABB.

Figura N° 71.



Esta celda cumple con las normas eléctricas estandarizadas, tales como IEC 62271-200, IEN 62271-200, certificación para servicio continuado LSC2A. Sus rangos de temperatura fluctúan entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, humedad relativa del aire 95 % sin condensación y su postura de trabajo en superficies menores a 1000 M.S.N.M.

La siguiente figura N° 72, muestra la distribución interna de las celdas y su toma para líneas de alta tensión.

Figura N° 72.



Los compartimientos poseen esta toma para tensión, las cuales son conductoras en las terminales que están sobre la superficie roja. El material dieléctrico usado para aislar, posee una rigidez dieléctrica de 30KV aprox.

Figura N° 73.

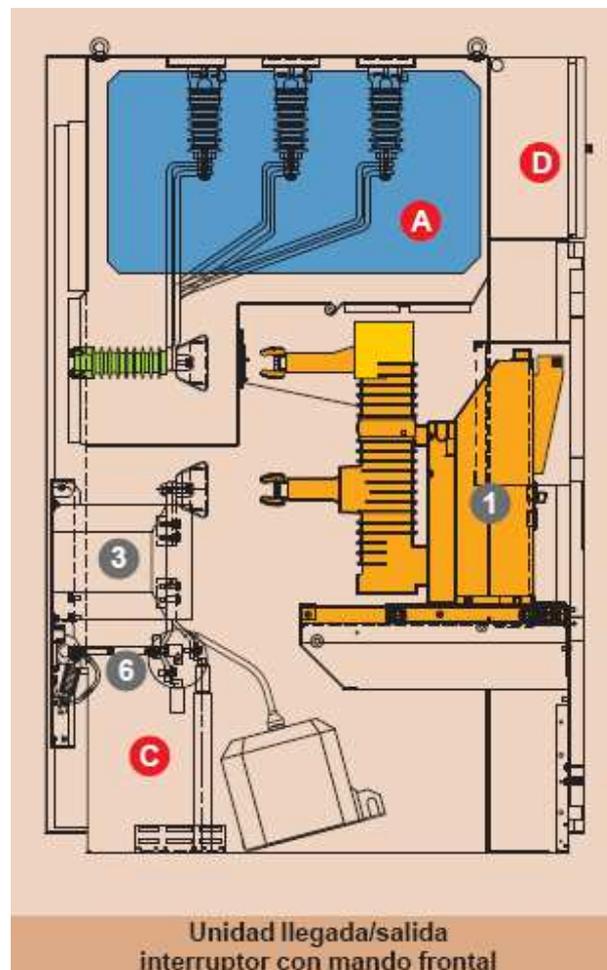


En esta figura N° 73, se observa los seccionadores de línea, que están muy bien protegidos y aislados, ya que su característica es el vacío, se encuentran herméticos en el interior de las celdas.

La estructura de cada unidad está íntegramente realizada con chapas metálicas pregalvanizadas. Cada unidad está constituida por varios compartimientos segregados

metálicamente entre sí. Cada unidad está preparada con específicos agujeros para la fijación en el pavimento y posee cierre de fondo con específicas aperturas para que pasen los cables de media tensión. Todas las unidades poseen puerta con enclavamiento mecánico que permite la apertura de la puerta sólo en condiciones de seguridad. Si no está previsto el compartimiento de baja tensión (auxiliares de mando), es posible alcanzar el compartimiento barras además que desde el techo también desde el frente desmontando el respectivo revestimiento metálico. En cada unidad está previsto un específico canal metálico para la segregación entre los circuitos de baja tensión y los de media tensión. Se puede pedir para completar el producto de base, una caja donde llegan los cables desde arriba, sólo para las versiones estándar hasta 3000 A.

Figura N° 74.



Esta figura N° 74, muestra una representación de la vista lateral de una celda la cual esta representada y compuesta de la siguiente forma:

- A – Compartimiento de BARRAS.
- C - Compartimiento de LINEAS.
- D – Compartimientos para módulos auxiliares.
- 1 – Interruptor de protección general.
- 3 – Transformadores de corriente.
- 5 – Seccionados de tierra.

Interruptor general en vacío.

Dentro de la variedad de las componentes que posee la celda eléctrica, uno de los más importantes es la protección eléctrica, que comercialmente se le conoce como Interruptor en vacío. Dentro de la amplia gama de dispositivos ABB, cuenta con interruptores para estas finalidades, los cuales son de la familia UniMIX. Algunos tipos son:

- VD4 / UniMix - F.
- VD4 / UniMix - R.
- Aislado en gas tipo HD4 / UniMix - F.
- Aislado en gas HD4 / UniMix - R.

La extracción de los interruptores puede verificarse solo en condiciones de seguridad, es decir con seccionador de aislamiento abierto y seccionador de tierra cerrado. El sistema de interrupción de estos interruptores requiere una limitada energía para la maniobra. Los interruptores de la serie VD4 y HD4 son particularmente idóneos para la protección y el mando de los transformadores y para la protección de las líneas de distribución, etc. Los interruptores VD4 / UniMix - F, VD4 / UniMix - R y HD4 / UniMix -F, HD4 / UniMix –R, pueden equiparse con sensores de corriente para la alimentación del dispositivo de protección instalado a bordo, el interruptor PR521 (autoalimentado) o PR521/DK (con alimentación auxiliar) según la normativa Enel DK5600 ed. IV-Marzo 2004.

A continuación se muestran representaciones físicas de los interruptores más típicamente comerciales en el campo de trabajo.



Figura N° 75.



Figura N° 76.

La siguiente tabla de características eléctricas, muestra en detalle las bondades y limitaciones de los interruptores en cuestión.

		VD4/UniMix-F 12 HD4/UniMix-F 12	VD4/UniMix-F 17 HD4/UniMix-F 17	VD4/UniMix-F 24 HD4/UniMix-F 24
Tensión nominal y de aislamiento	kV	12	17,5	24
Tensión nominal y de aislamiento	kV (50Hz)	28	38	50
Tensión de ensayo	kV	75	95	125
Frecuencia nominal	Hz	50-60	50-60	50-60
Corriente nominal	A (40 °C)	630	630	630
Poder de corte	kA	12,5	12,5	12,5
		16	16	16
		20	20	20
		25	25 (2)	-
Corriente de breve duración admisible nomina (3 s)	kA	12,5	12,5	12,5
		16	16	16
		20	20	20 (1)
		25	25 (2)	-
Poder de cierre	kAp	31,5	31,5	31,5
		40	40	40
		50	50	50
		63	63 (2)	-
Sequenza operazioni	VD4/R	O-0,3min-CO-3min-CO/O-0,3s-CO-3min-CO		
	HD4/R	O-0,3min-CO-3min-CO/O-0,3s-CO-15s-CO		
Tiempo de apertura	ms	45	45	45
Duración del arco	ms	10-15	10-15	10-15
Tiempo de interrupción total	ms	55-60	55-60	55-60
Duración de cierre	ms	80	80	80
Presión nominal SF6 (solo HD4)	kPa	380	380	380
Catálogo técnico	VD4/R	1VCP000263	1VCP000263	1VCP000263
	HD4/R	1VCP000028	1VCP000028	1VCP000028

(1) Probado en cuadro a
25 kA x 1 s.
(2) Sólo VD4/R.

Interruptores de maniobra-seccionadores.

Estos SWITCH son un punto muy importante en las celdas eléctricas, ya que constituyen, el sistema de seguridad para la realización de mantención del sistema aguas debajo de este, es decir permite aislar la etapa de alta tensión de la carga, incluyendo el interruptor en vacío. Al realizar la maniobra de desconexión, queda sin energía el sistema, además por seguridad los puntos no activos se descargan a GND. Dentro de la gran familia de ABB se encuentra la serie SHS2, 4 estos son de tres posiciones con aislamiento en gas SF6 y caja de acero inoxidable. La instalación de este tipo de equipos determina la segregación metálica y puesta a tierra entre el

compartimiento barras y el compartimiento línea de la unidad garantizando la máxima seguridad para el personal en caso de intervención en el compartimiento línea incluso con las barras principales bajo tensión, por ejemplo para la sustitución de uno o varios fusibles o el control de los cables.

El mando resulta directamente accesible desde el frente y permite la instalación/sustitución de los accesorios, además se ofrecen con mando manual o motorizado con maniobra independiente del operador (SHS2/T1) o con mando manual o motorizado de energía acumulada (SHS2/T2). El SHS2/T2 con mando motorizado se puede suministrar con relé de apertura para mando a distancia (a pedido). El interruptor de maniobra-seccionador puede emplearse combinado con fusibles, por ejemplo para la protección de transformadores. En la siguiente figura N° 77, muestra un típico interruptor de maniobra-seccionador.

Figura
N° 77.



Unidad REF 542 PLUS.

Esta unidad de control permite la integración de todas las funciones secundarias relativas un módulo individual equipado con autodiagnóstico. Gracias a la flexibilidad de su software, la unidad puede satisfacer una amplia gama de exigencias de instalación. La elevada funcionalidad de la unidad REF 542 plus está soportada por una interfaz usuario simple y fácil de utilizar. Gracias al empleo de la unidad REF 542 plus cada panel de medición tensión UniMix

se convierte en una unidad integrada y autónoma capaz de cubrir todas las funciones requeridas.

En la siguiente figura N° 78, se muestra el panel frontal para dialogo hombre máquina.

Figura N° 78.



Las características principales de esta unidad son las siguientes:

- integración de todas las funciones en un único instrumento: protección, medición, maniobra, señalización, enclavamiento, automatización y comunicación.
- única interfaz entre cuadro y operador para todos los paneles de la instalación: línea, transformador, motor, generador, bancos de ajuste de fase, acoplador, unidades de medición.
- única tipología de los repuestos y accesorios, una sola unidad hardware.
- reducido mantenimiento: drástica reducción del mantenimiento preventivo, gran reducción de los defectos causados por manipulaciones y errores.
- fácil modificación y adecuación de las funciones a través del software de configuración de la unidad, incluso con el cuadro en servicio.

La posibilidad de conexión directa del cuadro con el sistema de gestión de la instalación, realiza cabalmente, y a los más altos niveles, el concepto de instalación integrada.

Riesgos por falla de arco eléctrico en celdas de transferencia para media alta tensión.

Es importante tener en cuenta que los sistemas de media-alta tensión, poseen un punto muy delicado, el cual esta ligado a los golpes eléctricos y explosiones producto de fallas al interior de las celdas. A pesar que estos sistemas son mucho más efectivos debido a las bajas perdidas por efecto JOULE. Debido a que los daños ocasionados por arco eléctrico, son tan grandes hacia el personal y los sistemas, se han unido el OSHA, NFPA Y IEEE para analizar y establecer medidas que ayuden a minimizar estos riesgos y mitigar los efectos que puedan ocasionar al personal de trabajo.

Causas más comunes de falla de arco eléctrico en celdas de transferencia (switchgear).

- Pérdida del aislamiento eléctrico producto de altas temperaturas.
- Bajo aislamiento debido a la presencia de polvo, agentes contaminantes, líquidos u otros, inclusive el traqueteo mecánico.
- Error humano, una de las fallas más típicas debido a una mala comprensión de las instrucciones de operación, o no seguir el plan de mantenimiento asignados por el departamento de ingeniería eléctrica en servicio.

4.4. Análisis de falla de arco eléctrico.

- a- Fase de compresión. Esta se inicia en el instante $T = 0$ cuando el arco eléctrico empieza a quemar no puede seguir incrementándose.
- b- Fase de expansión. Esta empieza cuando la máxima presión ha sido alcanzada y la presión de alivio esta abierta, con un periodo entre 5 a 10 m Segundos.
- c- Fase de emisión. Ocurre cuando la presión de alivio esta en contacto directo con el aire.
- d- Fase térmica. Un arco eléctrico emite radiación por la altas temperaturas (10000 a 20000 ° K en el centro). Esta energía térmica durante esta fase se fusiona, y vaporiza partes de la celda. Los grandes daños ocurren durante esta etapa por la radiación térmica que constituye un gran peligro.

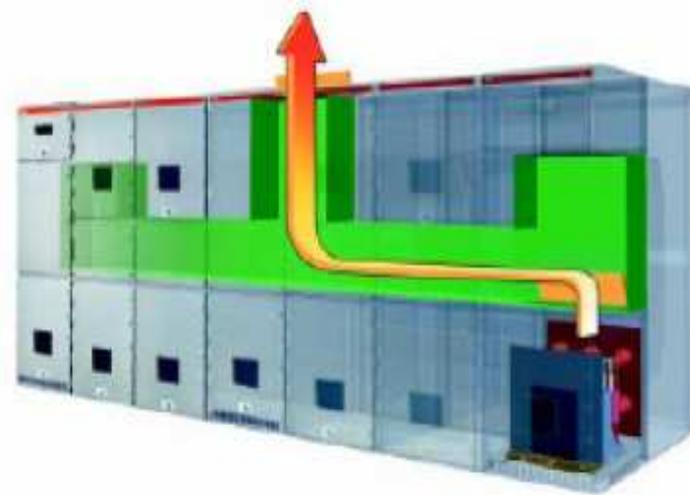
Gracias a los estudios realizados acerca de la incidencia de la radiación térmica en los arcos eléctricos, traducido en índices de energía. Un índice de energía de 40 calorías/Cm² constituye un peligro inminente. Por lo cual se establece el uso de equipamiento de alta resistencia para evitar estos impactos, además deben estar provistos de control de switch general con mando a distancia y los protocolos de seguridad adecuados para minimizar la magnitud y tiempo de una falla de arco eléctrico.

Característica de diseño de celdas de transferencia con resistencia a fallas de arco eléctrico. La resistencia al arco eléctrico que posee una celda, es propia de la característica de diseño de cada fabricante, la cual debe converger a los siguientes puntos:

- Construcción robusta con la finalidad de poder contener la presión del arco eléctrico interno y compartimientos diseñados para la evacuación de gases producto de la incidencia energética.
- El gabinete debe poseer un sistema de apertura por presión en caso que la energía liberada sea demasiada.
- Los gabinetes deben poseer ventilación no forzada en régimen permanente para evitar el deterioro del armamento eléctrico debido a las altas temperaturas, pero en caso de evento debe poseer un cerrado automáticos de estas lampas.
- Debe poseer puertas en los diferentes paneles frontales, tanto BREAKER como acceso a compartimientos.

La siguiente figura N° 79, muestra una característica de diseño adoptada por ABB, en la cual se puede observar con claridad los puntos explicados anteriormente.

Figura
Nº 79.



En la siguiente figura Nº 79, muestra una celda eléctrica que se encuentra a modo de prueba en un laboratorio, la tensión fue de 15KV, y la magnitud de los posibles daños se pueden observar a continuación:

Figura
Nº 80.



Algunos estándares de diseño se pueden encontrar en EEMAC G14-1, IEEE C37.20.7-2001, Anexo A para IEEE C37.20.7-2001.

4.5. Transformador eléctrico para reducción de tensión.

Como es de suponer a tensiones muy elevadas se hace necesario reducir la tensión, por lo cual se requiere un medio electromagnético que realice este trabajo, es ahí donde interviene el transformador eléctrico. Dado que las tensiones son HV en el primario, se requiere máxima seguridad en sus bornes, e idealmente con conexiones no expuestas. A continuación se muestra un transformador eléctrico usado para adaptar sistemas HV a LV.

Figura N° 81.



Los transformadores en versión estándar son diseñados para uso en clima templado y pueden ser instalados en el exterior o en el interior. Las sobrecargas admisibles están de acuerdo a IEC. Los transformadores MDT pueden ser de tipo hermético (la caja está completamente llenada con aceite) o dotados de conservador de aceite. Ambos tipos están equipados con paredes de aletas flexibles que permiten la refrigeración suficiente del transformador, y para los transformadores de tipo hermético, compensa, además, los cambios de volumen de aceite durante el calentamiento. Una ventaja de los transformadores de tipo hermético es que el aceite no entra en contacto con la atmósfera evitando así análisis periódicos del aceite.

Figura N° 82.



Esta figura N° 82, muestra un transformador reductor de tensión, el cual cuenta con un control de comando local vía una TOUCH-SCREEN (HMI), mediante es posible monitorear el estado de funcionamiento, alarmas, reset de alarmas y medida de perdidas internas, así como temperatura interna y núcleo del transformador eléctrico. Posee fuertes normas de seguridad, esta bajo resguardo hermético. Además posee la opción de añadir un ventilador eléctrico, para inyectar aire forzado, controlado vía el HMI.

4.6. Especificaciones técnicas para subestaciones eléctricas.

El uso de transformadores en los sistemas ya sea de baja o alta tensión, debe cumplir con una serie de medidas, que han sido normadas acorde a las casas clasificadoras tales como ABS, DNV, BUREAU VERITAS, etc. Como se comprende una subestación eléctrica esta comprendida por un transformador eléctrico, empleado para adaptar las tensiones para su uso en las cargas eléctricas. En el caso de los sistemas de HV las subestaciones eléctricas deben comprender una celda de transferencia eléctrica tanto en el primario como el secundario del transformador eléctrico.

Las normativas se detallan a continuación.

- Construcción.
 - Los embobinados deben estar separados a una distancia de dos veces el espesor de uno de ellos.

 - Los transformadores por lo general se consideran secos, es decir enfriado solo por aire.

 - Cuando el sistema de enfriamiento forzado esta habilitado en el transformador, debe poseer una alarma, que monitoree este efecto en caso de fallas.(las variaciones térmicas que ocurren, en caso de haber pasado de un estado controlado a un estado de alta temperatura, afecta ostensiblemente los embobinados, ya que para una misma demanda de potencia aumentan las perdidas por efecto JOULE en los embobinados)

 - Los transformadores enfriados por líquidos deben cumplir con bajos niveles de toxicidad, no debe ser dispersado en caso de pendientes (en caso de balances excesivos en navegación), poseer dispositivos para la temperatura, presión de alivio, indicadores de nivel a la vista y alarma de bajo - alto nivel.

 - El armazón externo del transformador, debe cumplir las normas de protección de gabinetes (IP 55, IP60, IP 65).

- Terminales.
 - Los terminales para conexión deben ser fijos y apropiados, accesibles con un lugar con el espacio suficiente para su trabajo y que se pueda cablear sin problemas.

- Variaciones de tensión, condiciones de cortocircuito y conexión en paralelo.
 - Para resistencias de carga bajas, la caída de tensión desde el vacío hasta plena carga no debe exceder 2,5 %.

 - Para transformadores de potencias menores a 5KVA por fase, la caída de tensión no debe exceder 2,5%.

- En caso de cortocircuito en el secundario, la construcción del transformador debe garantizar corrientes de rupturas altas, sin generar daños tanto térmicos como mecánicos, debido a la exigencia. Para el caso de transformadores 1MW o mayores, esto debe estar garantizado por una prueba o material técnico aprobado.

- La conexión en paralelo de los secundarios de los transformadores será posible, acorde a los rangos de trabajo, tensión, frecuencia etc. Las expresiones para las impedancias en corto circuito deben ser expresadas en porcentajes entre 0,9 – 1,1 %. Además la potencia nominal del transformador eléctrico de menor potencia debe ser mayor o igual a la mitad de la capacidad del transformador de mayor potencia.

- Aislamiento eléctrico y temperatura máxima permitida (temperatura rise).
- Los embobinados refrigerados con aire forzado, deben ser resistentes a humedad y otros contaminantes que puedan existir en el ambiente.

- Los límites permisibles para la temperatura máxima permitida, tomando en cuenta una temperatura ambiente de 45 ° C, se muestran en la siguiente tabla.

Temperature rise limits for transformers

N°	Part of machine	Temperature rise by class of insulation °C				
		A	E	B	F	H
1	Windings	55	70	75	95	120
2	Cores and other parts: a) in contact with the windings b) not in contact with the windings	a) the same values as for the windings b) in no case is the temperature to reach values such as to damage either the core itself or other adjacent parts or materials				

Las temperaturas mostradas en la tabla corresponden a mediciones empíricas realizadas en los embobinados y núcleo usando una optocupla como instrumento de medición.

- En el caso de transformadores de tipo seco enfriados por sistemas externo de líquido para enfriamiento, los límites permisibles de temperatura de rise, con una temperatura de agua de mar de 32 °C, se consideraran 13 °C más que los especificados en la tabla anterior.
- En el caso de transformadores enfriados por líquidos internos, se consideraran dos casos, el primero si el líquido es enfriado por aire 55 ° C, el segundo si el líquido es enfriado por agua 68 ° C.
- Pruebas de aislamiento eléctrico.
 - La prueba puede ser aplicada entre los embobinados del núcleo y el gabinete eléctrico, en todas debe marcar el aislamiento nominal o mayor a la especificada por el fabricante.
 - El valor RMS de la tensión de prueba (prueba general para puesta en servicio) deberá ser igual a $2U + 1000V$, estableciendo un mínimo de tensión de 2500 V. En la ecuación se expresa U como la tensión nominal de los embobinados. Esta tensión de prueba deberá ser aplicada por lo menos un minuto al sistema.
 - Parcialmente los embobinados reparados, deben ser testeado al 75 % de la tensión de prueba que se utiliza para medir aislamiento a máquinas operativas 100%.
 - La resistencia de aislamiento de un transformador nuevo, seco y limpio, medido luego de alcanzar la temperatura de rise, o cerca de la temperatura nominal de trabajo, a una tensión de prueba de 500V DC, no debe ser menor a 5 MΩ .

Según la sociedad de casas clasificadoras, se establece la siguiente tabla para protocolos.

Rated supply voltage U_n (V)	Test voltage U_n (V)	Min. insulation resistance	
		before test M ohms	after test M ohms
$U_n \leq 65$	$2 \times U_n$ min. 24V	10	1,0
$U_n > 65$	500	100	10

Rated voltage Un (V)	Test voltage (A.C. voltage 50 or 60Hz) (V)
Up to 65	$2 \times Un + 500$
66 to 250	1500
251 to 500	2000
501 to 690	2500

4.7. Nuevos sistemas tecnológicos promovidos por ABB y SIEMENS para plantas eléctricas Full automatización.

La planta eléctrica es una de las matrices más relevantes en un buque. Hoy en día la calidad de estas y el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica a bordo, ha dado una nueva mentalidad en proyectos de ingeniería, en la cual la ingeniería eléctrica y electrónica, cumple un gran rol, por lo cual los profesionales del mañana, deberán estar preparados para el trabajo sistemático, en equipos multidisciplinados, para el diseño y mantenimientos de naves. ABB junto a su departamento de ingeniería y diseño, división marina, ha desarrollado la idea de promover la propulsión eléctrica, la cual ha dado grandes resultados en buques tipo LNG, CONTAINERS, CRUISE. Esta planta de propulsión eléctrica, ha ayudado a los ingenieros eléctricos para aprovechar mucho mejor la tensión a bordo, debido a que antiguamente las pérdidas en líneas eléctricas, eran muy altas por lo tanto el poder disipativo por efecto joule era muy alto, lo cual degeneraba bastante el rendimiento de la planta de generación, en muchos casos bajo el 60%. Esto era más elocuente con máquinas de inducción que se usan para steering gear, bow thruster, ballast pump, etc.

4.7.1. Propuesta tecnológica de SIEMENS.

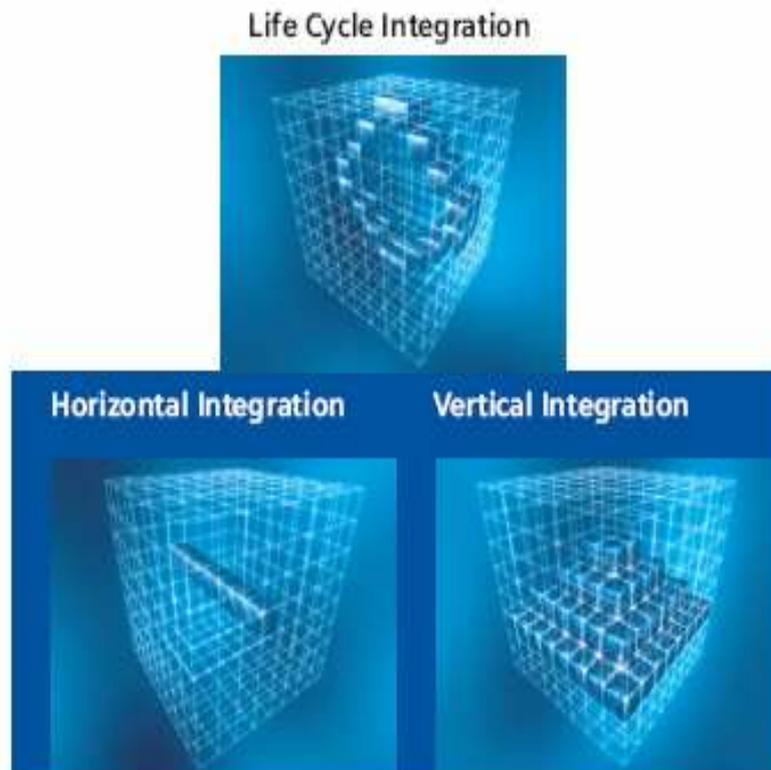
La prestigiosa marca SIEMENS ha desarrollado una propuesta tecnológica, que busca mejorar la performance de integración para motonaves. La solución se define en tres puntos para modo de comprensión:

- Horizontal. Amplio mejoramiento en las operaciones de la motonave.
- Vertical. Integración de la información de datos en la motonave y administración de seguridad punto a punto, ayudando hacer más fácil la toma de decisiones.

- En el diseño optimizado para mejorar y preservar las mantenciones en el tiempo, elevando el ciclo de vida de cada motonave, aplicando alta ingeniería de automatización.

La unión de estos puntos permite dar una solución tridimensional en el campo de las motonaves, teniendo como núcleo principal la aplicación de redes tecnológicas.

Figura N° 83.



Las materias de diseño técnico con aplicaciones para buques LNG están basados en los sistemas de hardware y software de alta calidad cumpliendo de más las normas. Esta aplicación para el equipamiento desde la automatización hasta el control de procesos, incluyendo TRANSSHIPMENT, unidad usada para el monitoreo y administración de carga local y a distancia. Siemens lleva más de 125 años participando en la construcción de buques, aportando tecnología, ingeniería y supervisión técnica. Por lo cual cuenta con el respaldo y calidad para dar la seguridad plena de sus proyectos ingenieriles.

4.7.2. MV generador eléctrico compacto e inteligente.

El generador sincrónico trifásico, auto-excitado y auto-controlado pasado en la excitación sin escobillas. Posee los patrones matemáticos que garantizan su funcionamiento y empleo con varias fuerzas mecánicas en su eje (versatilidad).

4.7.3. MV SWITCHBOARD integrados y abiertos.

Los paneles de distribución para la industria marina, están diseñados como un completo sistema modular, lo cual los vuelve una solución extremadamente efectiva en términos de costos. Sus diseños se encuentran hasta tensiones de 24 kV, con interruptores breaker con corrientes de ruptura de hasta 50 kA. Los diseños contemplan como sistema de seguridad, el vacío tanto en celdas, switchboard, breaker, para aislamiento del medio en caso de arco eléctrico, falla a puesta a tierra. Resistente al alto impacto de accidentes por descarga eléctrica o sobre corrientes sobre lo nominal. Posee la integración de SIPROTEC, el cual es un relé multi-funcional tanto para el control, protección reduciendo el cableado empleando sistemas de redes redundantes. Lo último pero no menor es el NXAIR para SWITCHGEAR para un mínimo de 10 años, estos fueron diseñados extremadamente amigables para el usuario.

4.7.4. Sistema de administración para energía descentralizado y seguro.

Este está basado en un sistema de estructura descentralizada. Este es físicamente integrado al sistema de generación y transmisión en alto voltaje HV, incorporado con seguridad para evitar fallas e incluso por tolerancia.

4.7.5. Drive para transformadores eficiencia /costo.

Es una perfecta solución a bajo costo, la cual cumple la función de aislamiento entre la red eléctrica y las máquinas de alto consumo (bow thruster, ballast pump, propulsión eléctrica, etc). Se implementan embobinados para la atenuación de armónicos THD, los cuales son instalados en orden para conseguir deltas de tiempo de 24Hr en la red eléctrica. El transformador está

hecho por resina y otros, además es enfriado por aire-agua y dos unidades externas, Posee protección IP 44.

La siguiente figura N° 84, muestra un ejemplo de la propuesta siemens para buques modernos.

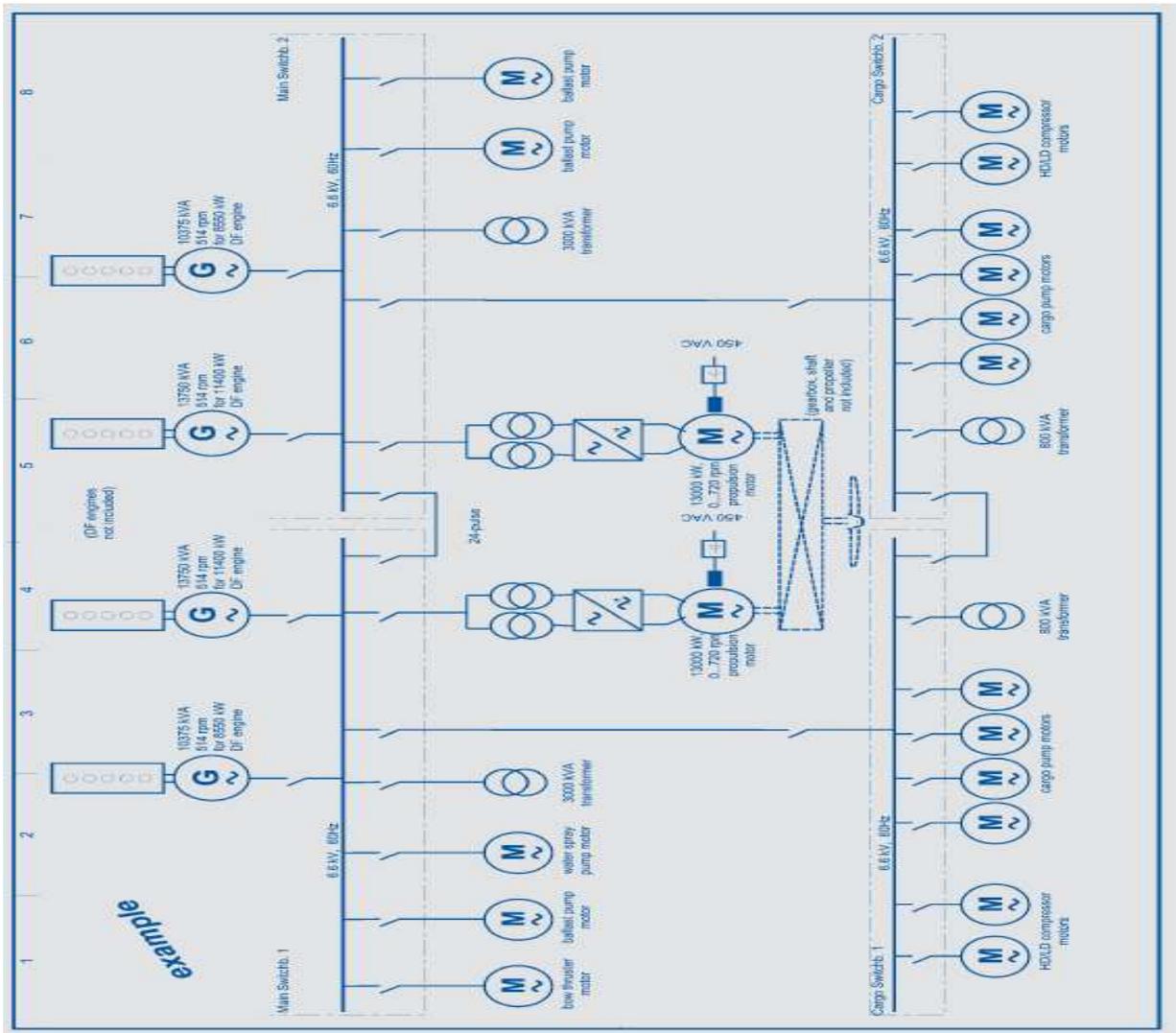


Figura N° 84.

El sistema ha sido aplicado a buques LNG, CONTAINER, CRUSEROS. La idea es más ambiciosa, ya que basándose en el uso de la energía eléctrica es permisible realizar los cambios estructurales para la propulsión convencional, usando los antecedentes del crudo es perfectamente viable esta idea de ingeniería.

El detalle de la etapa de propulsión será detallada en el capítulo que compete a este tema. Lo más relevante de esta visión de SIEMENS es la idea de elevar la tensión de generación por lo cual las pérdidas por líneas de transmisión serán menores, además aprovechando esta alta tensión ha decidido diseñar e implementar máquinas de alto rendimiento para su función en HV, por lo cual las cargas se equiparan, mejorando la eficiencia y rendimiento del sistema en términos de aprovechamiento de la energía. Debido que a esta tensión se logra mayor potencia y es posible mejorar la performance de los sistemas en HV vía el empleo de DRIVE CONVERT para motores, es aquí donde la electrónica y electricidad se funcionan en un solo equipo.

4.8. Propuesta tecnológica de ABB MARINE.

Una de las marcas con más experiencia en este rubro, debido a su penetración en el mercado aportando tecnología y perspectivas de diseño, esa es ABB. Esta prestigiosa marca comparada solo con SIEMENS, por años ha incentivado el desarrollo y performance de la energía eléctrica abordo. Tanto los sistemas de potencia como la planta propulsora son los pilares fundamentales, para sus diseños, en aplicaciones LNG y CONTAINER de nueva generación. Al igual que Siemens ofrecen soluciones muy tecnológicas con alto rendimiento. La problemática inicial, es la alta inversión inicial que requieren estos grandes proyectos de ingeniería, lo cual involucra accesorios y profesionales de primer nivel, por lo tanto se requiere una mirada al futuro y de largo plazo. Con la escasez y altos costos del crudo muchas empresas están optando por el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica en propulsión y otros, realizando estudios e implementaciones de paneles solares y otros.

ABB ha participado en la construcción de buques en los astilleros de DAEWOO, SAMSUNG, HYUNDAI, etc. En todos estos ha proporcionado sus servicios de ingeniería en diseño, detalle, proveedora de tecnología, inspección y apoyo para certificaciones. Además ha desempeñado un rol de soporte técnico vigente para la sociedad de casas clasificadoras. Este amplio currículum vuelve a ABB MARINE como una empresa prestigiosa en el campo naviero.

A continuación se muestra una fotografía tomada a un LNG, en astilleros asiáticos, en el cual participo ABB dando el soporte técnico y tecnológico. El cual se detallará posteriormente.

Figura N° 85.



ABB system:

- MV Main Switchboards
- MV Cargo Switchboards
- Auto Start Transformer for Bow Thruster
- Earth-fault Supervision System
- MV Distribution Transformers
- Short Circuit Calculation
- Capacity Current Calculation
- Relay Coordination
- Voltage Drop / Motor Starting Análisis.

Otra motonave en la cual ha participado ABB es PROVALYS terminado en el año 2006, este buque posee la característica de dual, o sea diésel-eléctrico. Este fue el primero en su categoría antes de la cadena de naves que hoy existen.

Figura N° 86.



ABB system:

- Prime movers, i.e. dual fuel diesel engines.
- Prime mover driven generators.
- Main switchboard to distribute the generated power to the various consumers.
- Propulsion transformers.
- Frequency converters.
- Electric propulsion motors.
- Propeller(s).

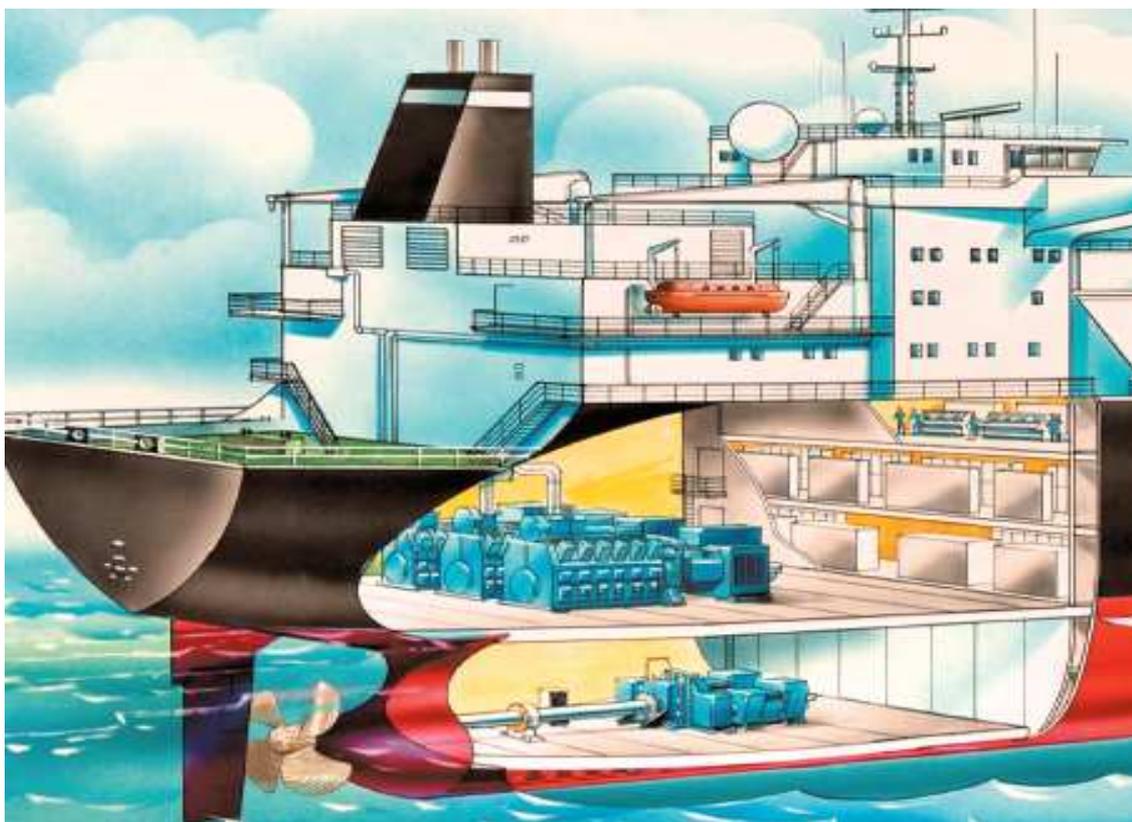


Figura N° 87.

Esta imagen muestra la sala de máquinas de un buque asesorado por ABB. En la parte superior se puede observar la planta generadora eléctrica diésel, conformada por tres

generadores. En el mismo nivel se logra apreciar la planta de distribución eléctrica conformada por switchgear y switchboard. También se logra apreciar la sala de control para personal de mantenimiento. En la parte inferior, se logra apreciar la planta de propulsión eléctrica compuesta por dos motores sincrónicos de 15MW. La transmisión eléctrica es underground, por lo cual mejora la vista de las sala de máquinas. El ruido es muy atenuado en relación a buques con máquinas clásicas con propulsión diésel. La capacidad del buque es 153.000 m³. La velocidad nominal puede llegar a 25-30 nudos.

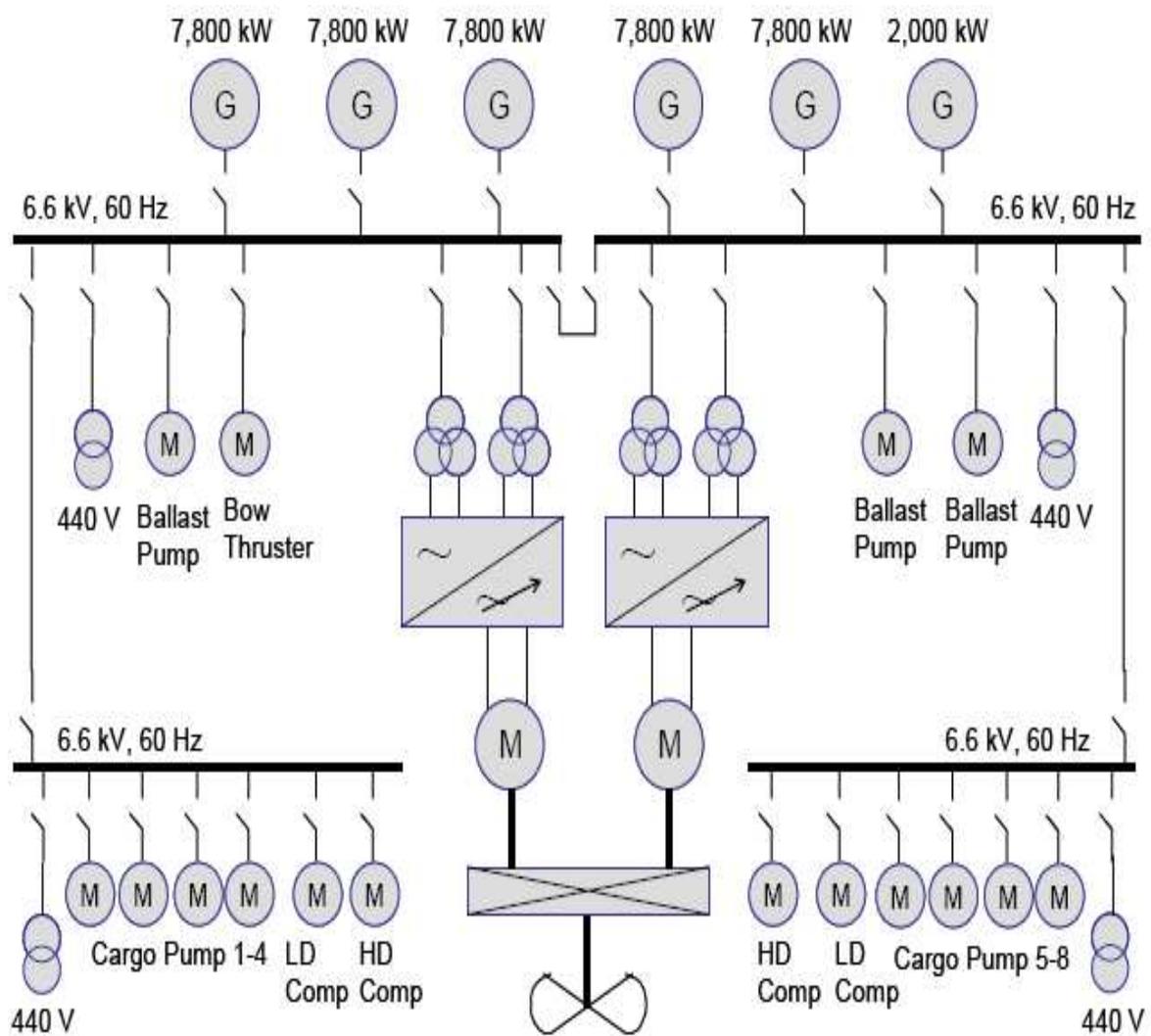


Figura N° 88.

Este es el diagrama de la planta eléctrica y la planta de propulsión eléctrica. Todos los sistemas asociados a una convergencia de red eléctrica HV. La planta de generación diésel posee tres generadores para la puesta nominal y tres de respaldo en caso de falla, los cuales están controlados y sincronizados para entrar en funcionamiento, líneas de red eléctrica en caso de falla, además poseen un sistema de programación los cuales van rotando los generadores ya sea en horas de trabajo, días, meses. El mantenimiento esta sujeto a HMI y otros.

Capítulo 5.

5. Planta propulsora de las M/N Car Carrier.

La planta propulsora de un buque, esta compuesta por la máquina principal, transmisiones mecánicas, sistemas de abastecimiento de petróleo en caso de máquinas Bunker, sistemas de enfriamiento HT - LT, eje de transmisión, CPP en caso de pala variable o paso variable de la hélice de propulsión. La planta propulsora ha ido variando tecnológicamente en los últimos años, debido a la aparición de la ingeniería electrónica y sus sistemas mínimos, los cuales unidos a los sistemas de automatización, permiten monitorear, controlar alarmas y actuar sobre variables, de forma más precisas. En la actualidad se habla de MEC (máquina controlada electrónicamente), este concepto ha revolucionado a las industrias dedicadas por años al diseño y construcción de motores principales. Actualmente estas son más compactas debido al cambio tecnológico y la minimización de sistemas remplazados por otros más controlados. A su vez con el paso del tiempo se ha llegado a cambiar completamente la planta propulsora, por sistemas híbridos, sistemas a gas, sistemas netamente eléctricos con alto rendimiento y viabilidad en el tiempo. Hoy en día se dispone de múltiples soluciones para la planta propulsora. También se han hecho nuevos adelantos en términos de las hélices, tanto de propulsión como de maniobras. En este apartado se hablará de las componentes de la máquina principal y sus subsistemas, además se detallará el CPP y hélice de propulsión, poniendo principal énfasis en los sistemas electrónicos para su control.

MAIN ENGINE.

La máquina principal, es la componente más importante del buque, ya que esta permite generar la potencia mecánica necesaria para la propulsión M/N, de esta forma se logra desplazar la masa de hierro. La máquina principal esta compuesta por el motor principal, subsistemas y otros periféricos. Para empezar este punto, se procederá a detallar una clasificación de motores principales, del punto de vista mecánico, siempre como sistemas clásicos.

A continuación se detallarán las tipologías más típicas de sistemas generadores de potencia mecánica para propulsión:

- Motor diésel. Es un motor térmico que funciona según el ciclo termodinámico de igual nombre. La diferencia con respecto a otro tipo de motores de explosión, es que los diésel comprimen fuertemente el aire aspirado hasta alcanzar una temperatura que permite el encendido espontáneo del combustible al ser inyectado. Son las plantas más comunes en construcción naval, representando aproximadamente el 90% del total, debido a su economía de funcionamiento y flexibilidad de opciones.
- Diésel lento. Trabajan hasta 400 RPM y suelen ser los que desarrollan la mayor potencia. La lentitud del régimen de RPM se debe al límite que impone la inercia de sus enormes partes móviles. Suelen ser reversibles, requiriendo la parada del motor. (rápido, medio, lento).
- Diésel semi-rápido y rápido. Trabajan entre 400 y 900 RPM los primeros y los segundos hasta 2000 RPM, estos últimos son notablemente más pequeños que los anteriores al bajar su relación peso potencia hasta los 3 Kg / CV, frente a los 20 Kg / CV de los lentos. Su rango de potencias es también menor, cubriendo una gama hasta aproximadamente 8000 CV.
- Turbina de vapor + generador de vapor. Consiste en una cámara a través de la cual circula vapor a elevada presión y temperatura, impulsando el movimiento de unas paletas que están unidas a un rotor. Para mejorar su rendimiento suelen dividirse en

dos cuerpos (alta y baja presión de vapor). Requieren de un sistema adicional de generación de vapor (caldera o reactor nuclear). El rendimiento y empacho del sistema completo es sensiblemente peor que en el caso del motor diésel.

- Turbina de gas. Su principio de funcionamiento consiste en la compresión y combustión de aire, y accionamiento de unas ruedas de paletas coaxiales por el gas resultante. Sus principales características son su baja relación peso/potencia y el gran consumo específico frente a otro tipo de instalaciones. Este segundo hecho restringe su uso prácticamente a instalaciones que exigen la obtención de una gran potencia durante un periodo reducido de funcionamiento, y en combinación con otro tipo de generadores de potencia.

- Otros sistemas. Existen diferentes disposiciones de sistemas de generación de potencia, los cuales son mixtos, estos combinan diferentes elementos, para aprovechar las ventajas de todos ellos y funcionar en cualquier régimen con un rendimiento óptimo. En algunos casos estas instalaciones incorporan motores eléctricos, que permiten un gran control de la relación potencia/revoluciones, combinan motores diésel y turbinas de gas.

Un diagrama típico para poder observar el sistema de la planta propulsora es el que se muestra a continuación. Adjunto a este aparece una terminología la cual esta vinculada a las potencias que se pueden observar en varios puntos del sistema. Esto es un punto importante, ya que al ingeniero electrónico, le permite saber en que posiciones están dispuestos los instrumentos de medición para estas potencias, como también permite conocer el tipo de transductor que se requiere y la posición física de estos sensores.

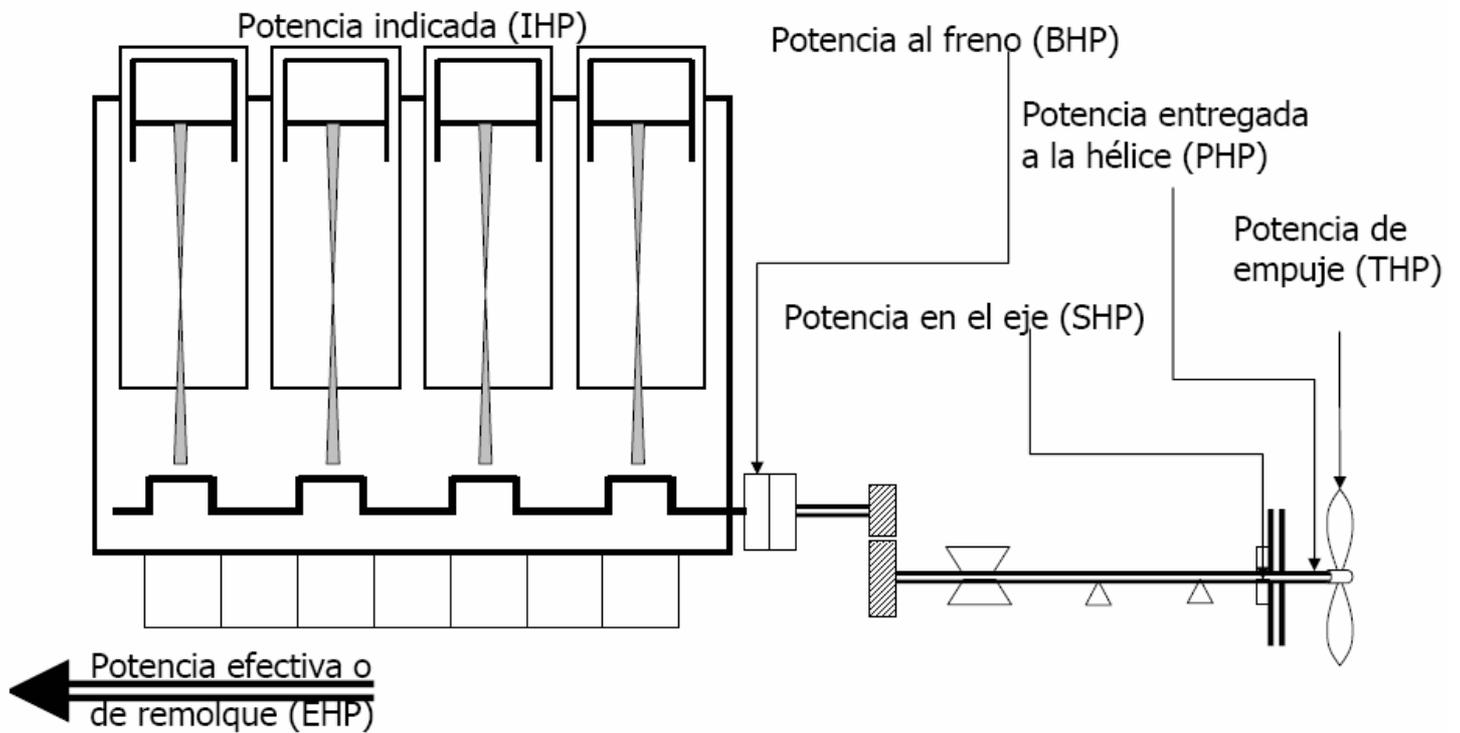


Figura N° 89.

En esta figura N° 89, se muestra una representación de un motor principal, transmisión mecánica por eje y hélice de propulsión. A continuación se detalla la nomenclatura que hace mención a las potencias desarrolladas en los puntos de la figura.

5.1.1. Descripción.

- **Potencia indicada:** (IHP = Indicated Horsepower) es la potencia del ciclo térmico del motor.
- **Potencia al freno:** (BHP = Brake Horsepower) es la potencia del motor, medida en el acoplamiento del motor al eje (por medio de un freno).

- Potencia en el eje: (SHP = Shaft Horsepower) es la potencia transmitida a través del eje (medida con un torsiómetro tan cerca de la hélice como sea posible).
- Potencia entregada a la hélice: (PHP = Propeller Horsepower) es la potencia entregada a la hélice (descontando las pérdidas en el eje de la anterior).
- Potencia de empuje: (THP = Transformed Horsepower) es la potencia transformada por la hélice (se obtiene descontando su rendimiento de la potencia a la hélice).
- Potencia efectiva o de remolque: (EHP = Effective Horsepower) es la potencia que realmente se emplea en mover el barco o la potencia que sería necesario emplear para remolcar el barco a la velocidad de proyecto (puede obtenerse descontando de la anterior las pérdidas debidas a la forma del barco, apéndices, etc).

Teniendo presente estos conceptos, es posible comprender las siguientes relaciones que son relevantes en la máquina principal.

- Rendimiento del motor (η_{Motor}): El rendimiento del motor nos indica su eficiencia en convertir la energía generada en los pistones en potencia mecánica.

$$\eta(motor) = \frac{BHP}{IHP}$$

- Rendimiento mecánico de la línea de ejes (η_m): El rendimiento del motor nos indica su eficacia en convertir la energía generada en los pistones en potencia mecánica.

$$\eta(m) = \frac{PHP}{BHP}$$

- Rendimiento propulsivo: (η_p): Este rendimiento nos da la idea de eficacia propulsiva del proyecto y se compone de cuatro factores, el rendimiento del casco (η_h),

el rendimiento del propulsor (η), el rendimiento rotativo relativo (η_{rr}) y el rendimiento mecánico de la línea de ejes (η_m).

$$\eta (p) = \eta_h \bullet \eta_{oo} \bullet \eta(\text{inter}).$$

$$\eta (\text{inter}) = \eta_{rr} \bullet \eta_m.$$

$$\eta (p) = \frac{EHP}{BHP} = \eta_m \bullet \frac{EHP}{PHP}.$$

La necesidad de obtener el valor del rendimiento propulsivo está en la determinación de la potencia del motor (BHP), la cual es básica para el proyecto del buque. Para su determinación experimental son necesarios tres tipos de ensayos.

1.- Ensayo de Remolque. Permite determinar de la curva del coeficiente de resistencia (CT) - velocidad del modelo y extrapolación de estos datos a la escala del buque.

$$C = \frac{R}{\rho \frac{1}{2} S V^2}$$

Donde R, es la resistencia al avance, ρ es la densidad del agua, S el área mojada del modelo o buque, según corresponda y V es la velocidad del modelo o buque.

La teoría clásica supone que,

$$C_T^{Modelo} = (1+k) C_F^{Rn^{Modelo}} + C_R^{Fn^{Modelo}}$$

$$C_T^{Buque} = (1+k) C_F^{Rn^{Buque}} + C_R^{Fn^{Buque}}$$

Donde k es el factor de forma,

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10}(Rn) - 2)^2}, Rn = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}, Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

El ensayo de remolque se lleva a cabo de manera que $F_n_{\text{Modelo}} = F_n_{\text{Buque}}$ y permite estimar el factor de forma k , a partir de los datos de los ensayos para bajos valores de F_n_{Modelo} , donde CR es aproximadamente cero. Finalmente es posible obtener CT_{Buque} a partir de k , la ley del coeficiente de fricción de la placa plana (CF) y teniendo en cuenta que $CR_{\text{Buque}} = CR_{\text{Modelo}}$.

2.- Ensayo del Propulsor Aislado. Se usa para la determinación del rendimiento de la hélice. Para ello se miden los coeficientes de empuje (K_T) y de par (K_Q) para diferentes grados de avance (J) de la hélice.

$$J = \frac{V_A}{n \cdot D}, K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}, K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

Donde V_A es la velocidad de avance de la hélice, n sus revoluciones por segundo, D su diámetro y T , Q los valores medidos de empuje y par motor, respectivamente.

De esta manera, el rendimiento de la hélice se calcula por,

$$\eta_o = \frac{V_A \cdot T}{2\pi \cdot n \cdot Q} = \frac{J}{2\pi} \frac{K_T}{K_Q}$$

Evidentemente, los anteriores valores, obtenidos directamente para el modelo, también deben extrapolarse a la escala del buque, para lo que existen diversas técnicas que no se incluyen aquí, dado su alto grado de complejidad.

3.- Ensayo de Autopropulsión para la determinación del rendimiento del casco y rotativo relativo. En este ensayo se miden el empuje de la hélice y par motor entregado, de igual manera que en el ensayo del propulsor aislado, observando que para un mismo valor de K_T , el valor correspondiente de K_Q difiere entre los dos ensayos. De esta manera, se define el rendimiento rotativo relativo como,

$$\eta_{rr} = \frac{K_Q^{AP}}{K_Q^{PA}}$$

Donde AP se refiere al ensayo de autopropulsión y PA al del propulsor aislado. Por otra parte, a partir del valor medido de K_T , podemos determinar el valor de J correspondiente a partir de los datos del ensayo del propulsor aislado. Este valor nos permite determinar el denominado factor de estela (w) que mide la velocidad de avance real del agua que llega a la hélice, en relación a la velocidad de avance del buque según,

$$w = \frac{V - V_A}{V} = 1 - \frac{J \cdot D \cdot n}{V}$$

Los anteriores parámetros (η_{rr} y w) también están sujetos a efectos de escala por lo que deben ser corregidos. Esta corrección no se incluye aquí. Además, se comprueba experimentalmente que para una velocidad de avance del buque, en el ensayo de autopropulsión, el empuje que suministra la hélice es mayor que el valor de la resistencia del casco, obtenido en el ensayo de remolque, para la misma velocidad. Este efecto se mide por el denominado coeficiente de succión,

$$t = \frac{T - R}{T}$$

A partir de los coeficientes anteriores, se define el rendimiento del casco como,

$$\eta_h = \frac{1 - t}{1 - w} = \frac{EHP}{THP}$$

Finalmente, el rendimiento propulsivo se calcula como:

$$\eta_p = \eta_m \cdot \frac{EHP}{PHP} = \eta_m \cdot \left[\frac{R \cdot V}{V_A \cdot T} \right] \cdot \left[\frac{2\pi \cdot n^{AP} \cdot Q^{AP}}{2\pi \cdot n^{PA} \cdot Q^{PA}} \right] \cdot \left[\frac{V_A \cdot T}{2\pi \cdot n^{AP} \cdot Q^{AP}} \right] = \eta_m \cdot \eta_h \cdot \eta_{rr} \cdot \eta_o$$

También es posible estimar el rendimiento propulsivo de un diseño, sin recurrir a ensayos experimentales.

Existen diversos métodos estadísticos, entre los cuales el más conocido es el desarrollado por Holtrop y Menen, que permiten calcular a partir de las dimensiones características y otros datos generales del buque, los siguientes parámetros: k, w, t y η_{rr} .

Las características de la hélice pueden calcularse con bastante exactitud a partir de los datos de series sistemáticas, entre las que destaca la serie B (o la más reciente BB). A partir de sus características, podemos calcular las de una hélice cualquiera, mediante expresiones del tipo,

$$K_T = K_T^{serieB} + 0.3 \cdot \Delta C_D \frac{H \cdot c_{0.75} \cdot Z}{D^2}$$

$$K_Q = K_Q^{serieB} - 0.25 \cdot \Delta C_D \frac{c_{0.75} \cdot Z}{D}$$

Donde H, D son el paso y el diámetro de la hélice, Z el número de palas, c 0.75 la cuerda de la pala en la estación 0.75 D/2 y ΔCD es el incremento en el coeficiente de resistencia del perfil de la sección.

A modo de mejorar y compactar estas ecuaciones, se realiza el empleo de software para ingeniería, en el cual vía lenguaje C o C++, se realiza el recálculo de estas variables usando el método de Holtrop y Menen.

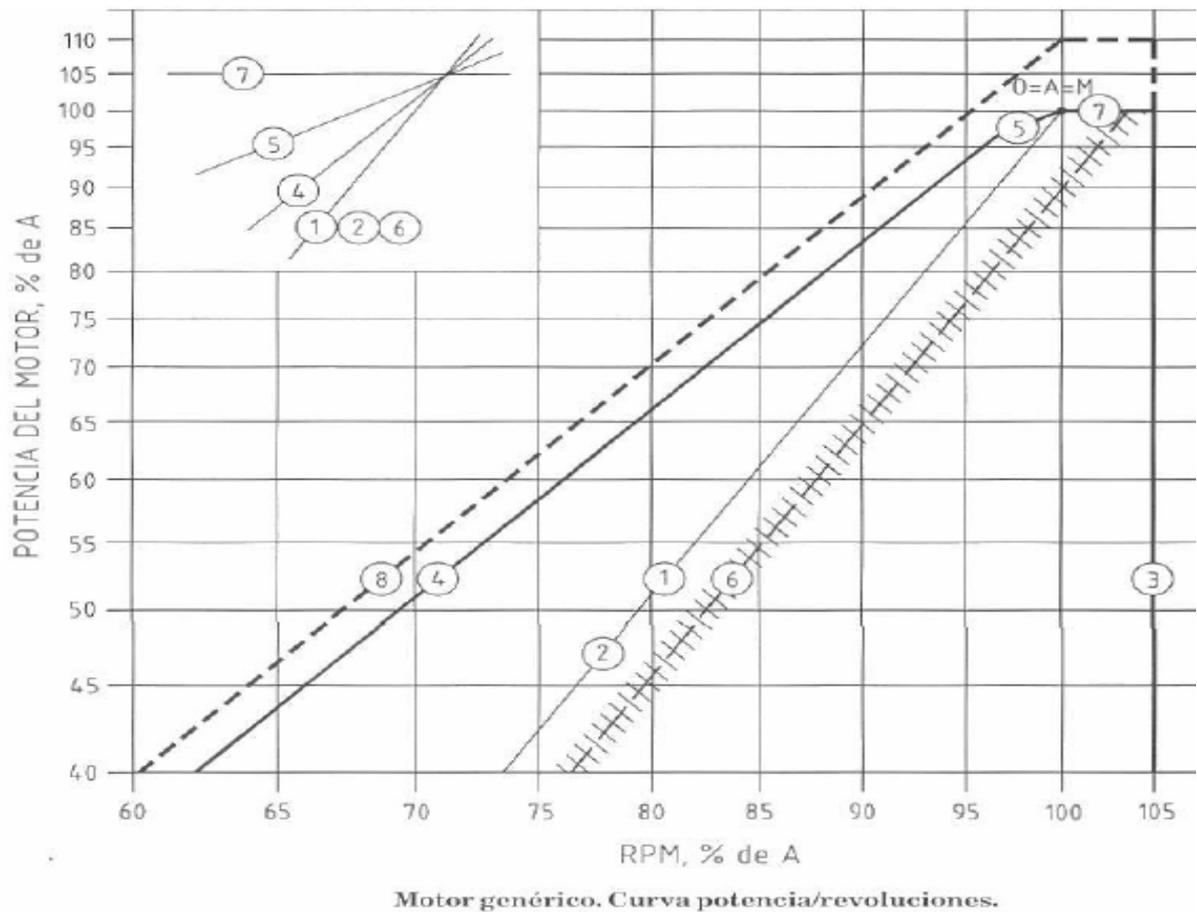
La potencia propulsiva que se debe instalar en el buque viene entonces definida por:

$$BHP = \eta_p \cdot EHP = \eta_p \cdot R \cdot V$$

- Donde V es la velocidad de proyecto, y R es la resistencia al avance para esa velocidad.
- Una vez calculada la potencia propulsiva necesaria para la condición de navegación especificada, se habrá de elegir el motor propulsor, dentro de la gama disponible.
- La potencia deberá aumentarse en aquellos casos en los que se desee incorporar alguna toma de potencia adicional como PTO (power take off).
- Por otra parte la potencia pico del motor propulsor que se instalará, deberá superar en un 15% (aproximadamente) la potencia calculada, con el objetivo de que la situación de navegación en mar se cumplan los criterios de velocidad exigidos (margen de mar).
- Asimismo se acostumbra a aumentar en un margen del 10% adicional el valor la potencia instalada, para disminuir los costos de mantenimiento del motor.

5.1.2. Selección de motor principal.

En este punto de acuerdo a una serie de criterios, se resume el método de selección de motor principal teniendo en cuenta estos puntos, además se hace necesario mostrar la siguiente gráfica que establece la relación potencia v/s velocidad.

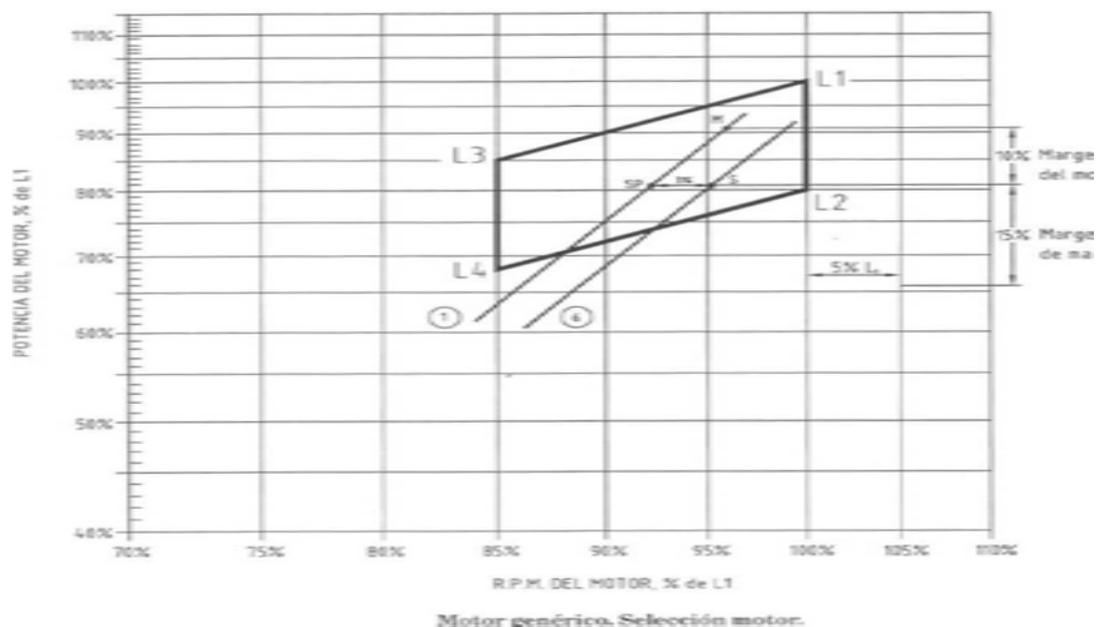


La gráfica, muestra la zona de funcionamiento posible de un motor genérico, el cual esta directamente acoplado a la hélice.

- El punto M es el punto de referencia (100% MCR al 100% de las revoluciones), en el que el rendimiento del motor es máximo.
- La curva 6 corresponde a la potencia absorbida por el propulsor en situación de pruebas ($P = K \cdot \text{RPM}^3$), mientras que la primera corresponde a la situación real de navegación (aproximadamente un 3% más de potencia a las mismas revoluciones).
- El área de funcionamiento del motor está limitada por las curvas:

- 3.- Límite de velocidad del motor.
- 4.- Límite par / velocidad.
- 5.- Límite por presión media efectiva.
- 7.- Límite de potencia continua.
- 8.- Límite de sobrecarga.

Teniendo presente esto, es posible acudir a la gráfica de rectas que se muestra a continuación.



La gráfica, muestra la zona de selección (L1, L2, L3, L4) de un motor genérico, tal y como aparece en los catálogos.

Para cada familia de motores se disponen de gráficos donde los cuadriláteros compuestos, por L1- L2 - L3 - L4 se solapan y se desplazan, acorde al requerimiento.

Se elegirá un motor que contenga en el interior del cuadrilátero el punto de MCR requerida (M), estando lo más cerca posible de L1 (máximo rendimiento).

El punto S, sobre la línea 6, corresponde a la condición de proyecto de la hélice, y el SP a la misma potencia pero en la línea 1. El punto M, es para de selección del motor, y se obtiene aumentando en un 10% la potencia absorbida a partir del punto SP.

Por otro lado los proveedores de tecnologías en el mundo, poseen curvas comerciales, en las cuales se pueden confiar, lo requerido acorde al diseño deseado. También poseen tabulaciones las cuales buscan minimizar el trabajo del grupo de ingeniería que decide el uso de un determinado motor, acorde a sus exigencias.

En la siguiente figura N° 90, se muestra una representación de una máquina principal típica en las M/N sin importar su carga.



Figura N° 90.

Esta imagen corresponde a una máquina principal o motor principal moderno, el cual es mucho más compacto que los de antaño, esto se logra al apreciar en la plataforma número 1, una mínima cantidad de componentes. También es importante mencionar que el número de plataformas también es bastante menor, al ser mas compacto facilita su entendimiento en unidades sistémicas.

A continuación se muestra una figura en donde se aprecia la última plataforma de la máquina principal perteneciente a la M/N Pacific Winner, en ella se puede observar el eje en rotación y las transmisiones mecánicas. También aparece el sistema de acoplamiento y multiplicador de velocidad angular para el shaft generator power, que se encuentra en la parte posterior de la fotografía.



Figura N° 91.

En el mercado existen varias empresas como HYUNDAI, MAN B & W, SULZER MARINE, Copenhagen (MBD-K), los cuales llevan años en el mercado y aportando tecnologías al mundo

otras fuentes de propulsión, debido a este punto y a la brecha tecnológica, que enmarca a los profesionales del día de hoy, muchas empresas dedicada a estas máquinas de propulsión, han apostado al desarrollo tecnológico por parte de métodos electrónicos, usando ingeniería informática, sistemas de cálculo numérico avanzado en 3 dimensiones y herramientas de hardware avanzado para proyectar nuevos estilos de máquinas denominadas MEC (máquina controlada electrónicamente), previamente asesorados por departamentos de electrónicos y eléctricos, en algunos casos con alianzas de empresas electrónicas.

En los siguientes puntos se hablará de la máquina principal tomando los puntos de vista del fabricante MAN B & W. Primero se entregará una descripción de la máquina principal, sus máquinas auxiliares y subsistemas aliados, tomando en cuenta algunas condiciones de trabajo y restricciones propuestas por el fabricante, posteriormente familiarizados con el lenguaje técnico hablaremos de las propuestas tecnológicas de esta empresa y terminaremos hablando de la propulsión eléctrica.

5.2. MAN B & W MAIN ENGINE and AUXILIARY ENGINE.

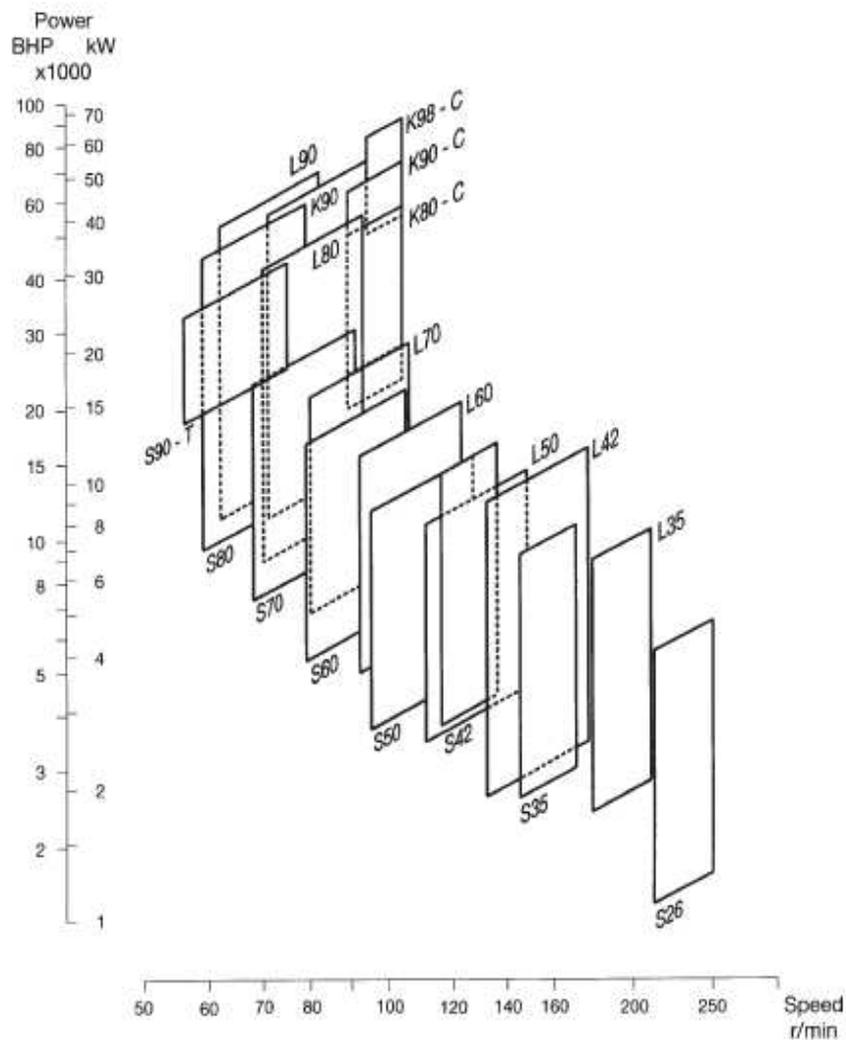
Cuando una M/N requiere potencia mecánica, el perfil de lo requerido, debe ser evaluado y determinado, empleando los sentidos de carga de propulsión y carga eléctrica, posteriormente el siguiente pasó para el diseño y configuración de sala de máquinas, debe incluir los aspectos de ser óptima en el sentido de instalación, operación y mantención.

La forma de arco característica de la sala de máquinas, favorece la operación y mantención, lo cual se intenta realizar sin perder las características de seguridad a bordo. En un futuro, se deberá cumplir con un aspecto cada vez más riguroso, como son las regulaciones para emisiones de gases.

El sistema de combustible unificado, es la prueba que muestra que el sistema fuel oil, el sistema de refrigeración por agua y el sistema de aire comprimido, son una plena integración, minimizando componentes y uso de espacios, bajando los costos, y proporcionando una simple operación y mantención.

5.2.1 Máquinas MC de dos tiempos o two-stroke.

Las máquinas MC (mechanically controlled) han estado en el mercado por años, durante ese tiempo se han vendido más de 3500 máquinas. Internacionalmente ha sido reconocida como las primeras en aplicaciones navieras. Estas máquinas no necesitan mayor introducción debido a su vasta experiencia. La siguiente gráfica, muestra las rectas que posee MAN B & W para estas máquinas.

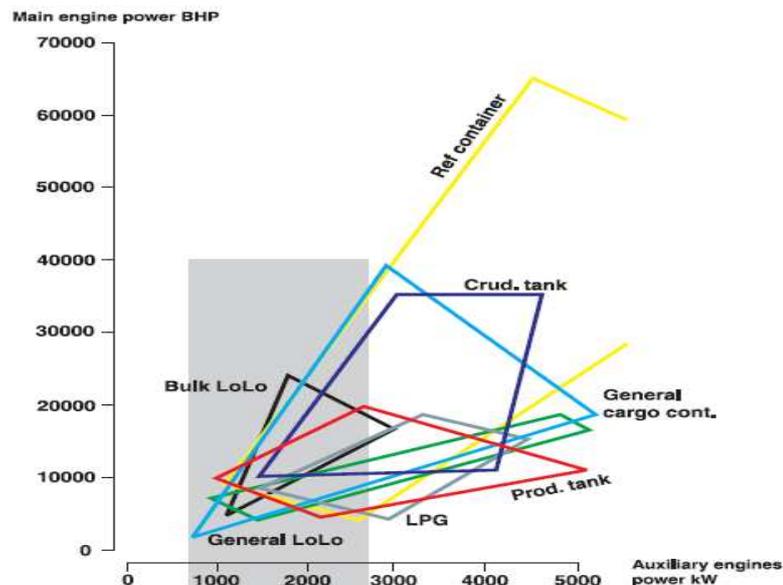


El programa de este tipo de máquinas ha sido promovido por su fácil comprensión, es por ello que el mercado ha sido fuertemente penetrado por estas máquinas. En la siguiente tabla se muestra el resumen de máquinas.

Type	No. of engines	
	On order or delivered	In service
90MC	121	71
80MC	339	307
70MC	456	369
60MC	1,046	891
50MC	686	495
42MC	132	106
35MC	634	524
26MC	131	115
Total	3,545	2,878
Total = 52,188,000 BHP ~ 38,384,000 kW		

MC engines on order and in service as at 1st September, 1995

Existen otras máquinas auxiliares de cuatro tiempos four-stroke GenSet, las cuales hacen referencia a máquinas mecánicas para generadores eléctricos. MAN B & W, se ha caracterizado durante años por sus prestaciones navales e ingeniería mecánica de alto nivel. Es necesario mencionar que el proyecto eléctrico se dimensiona directamente proporcional a la potencia requerida por la máquina principal y componentes externos. Esta dependencia se relaciona directamente con el tipo de buque, debido a las existencias de sistemas bow thruster, sistema FAN, aire condensado, etc. Esto se resume y aprecia mucho mejor en la siguiente gráfica BHP de la máquina principal v/s potencia eléctrica, dependiendo del perfil de carga del buque.



Los buques Car Carrier, han evolucionado tecnológicamente, pero también se encuentran dentro de las naves que más consumen energía eléctrica. Debido al sistema de iluminación, que constituyen entre 400 y 950 KW. Mas los consumos de sistemas de ventilación, grúas, plataformas deslizantes, RAMPA, etc.

Un punto no mencionado es la basta clasificación de máquinas principales, en función de la velocidad. MAN B&W distingue los siguientes tipos:

- Máquina de baja velocidad: esta pertenece al grupo de dos ciclos de tiempo, estas poseen bastante torque y fuerza de propulsión.
- Máquina de media velocidad: esta corresponde a velocidades mayores respecto de la anterior, pero con menos fuerza propulsiva. Su uso esta ligado a cruceros y otros sistemas navieros, en donde la velocidad es más predominante que la fuerza propulsiva.

En los siguientes puntos se analizará los aspectos fundamentales de los sistemas ligados a máquinas MC y sus características principales.

5.2.2. Sistema Fuel Oil.

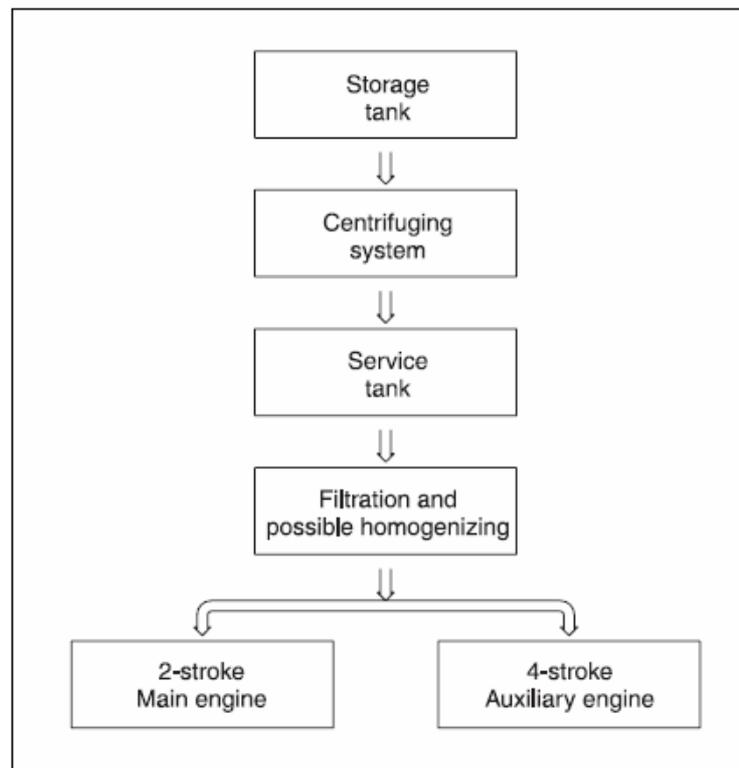
En este sistema se hará referencia, directamente al sistema Unifuel (sistema de combustible unificado), con aplicaciones en máquinas de baja velocidad de dos tiempos. También se tomará en cuenta la planta diésel de cuatro tiempos para generadores eléctricos diésel GenSet, llamados máquinas auxiliares.

El sistema posee referencias ISO 8217, BS 6843 y CIMAC, lo que garantiza su funcionamiento. En estos puntos desprendemos los máximos grados RMH 55 y K55, existe también un estándar especial BSMA 100 en el cual el límite es M9.

Este sistema basado en la experiencia de este servicio, y como suplemento a los estándares mencionados, MAN B & W posee una guía de especificaciones para FUEL OIL, la cual se muestra a continuación.

Density 15°C	kg/m ³	991 *
Kinematic viscosity at 100°C	cSt	55
at 50°C	cSt	700
Flash point	°C	≥60
Pour point	°C	30
Carbon residue	%(m/m)	22
Ash	%(m/m)	0.15
Total sediment after ageing	%(m/m)	0.10
Water	%(v/v)	1.0
Sulphur	%(m/m)	5.0
Vanadium	mg/kg	600
Aluminium+ silicon	mg/kg	80
Equal to ISO 8217/CIMAC - H55		
* 1010 provided automatic modern clarifiers are installed		

Dada las características de este sistema, es conveniente tener presente el siguiente diagrama de flujo, el cual muestra el concepto de tratamiento de HEAVY FUEL OIL. Esto es típico en la mayoría de los buques, pero en algunos casos puntuales, existe un cambio en la máquina principal, en el cual se conecta directamente al tanque de almacenamiento, teniendo lógicamente presente, algunos filtros.



Heavy fuel oil treatment concept

Como podemos ver en el diagrama de flujo, el bloque inicial es el estanque de almacenamiento, en el cual es depositado el combustible cuando es cargado en puerto. Posteriormente continúa el sistema de centrifugado o conocido en ingeniería como SEPARADOR CENTRIFUGO, en este caso el combustible es tratado, de tal forma que mediante el uso de la fuerza centrífuga, pueda perder todas las partículas y otras impurezas. Una vez tratado, se deposita en el estanque de servicio, que es la parte final del proceso, es de aquí en donde se realiza el consumo de combustible (fuel) para el funcionamiento nominal. No siempre se añade una etapa de filtros y homogenización de combustibles, en este caso la empresa MAN B & W cuenta con ello.

El uso de sistemas de purificación de combustibles, recae en la necesidad de eliminar las impurezas presentes en el combustible, que puedan producir daños en circuitos, bombas de combustibles, válvulas, etc.

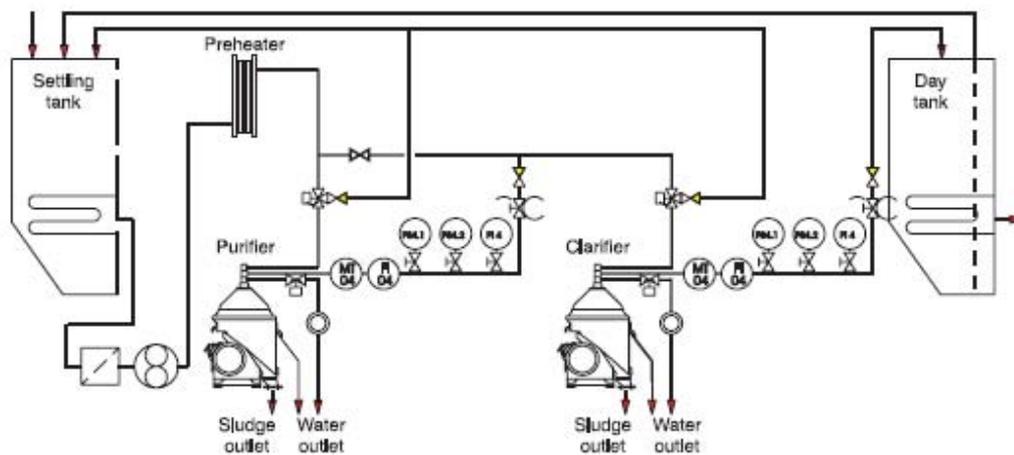
Efectivamente el limpiado de impurezas solo puede ser logrado mediante el uso de separadores centrífugos. Los resultados experimentales en el tratamiento centrífugo han mostrado que un buen limpiado se obtiene con la eliminación de finos catalíticos, esto se logra con el uso en serie de purificado/clarificador. Esta recomendación es válida para separadores centrífugos convencionales. Para tipos más modernos, lo adecuado es el tratamiento de combustible con densidades altas como 991 Kg/m^3 con 15° C , a esto se une seguir las recomendaciones de los fabricantes según el uso de instrucciones específicas.

Por otro lado algunos FUEL OIL incorporan grados de combustible sin un límite de densidad y también que el valor nominal es de 991 Kg/m^3 , es ocasionalmente excedido. Por esta razón, se debe hacer empleo de un sistema de tratamiento de combustibles para densidades altas. Con estos separadores se puede separar el agua y combustible, el empleo de agua se hace necesario sobretodo en densidades de combustibles 1010 Kg / m^3 .

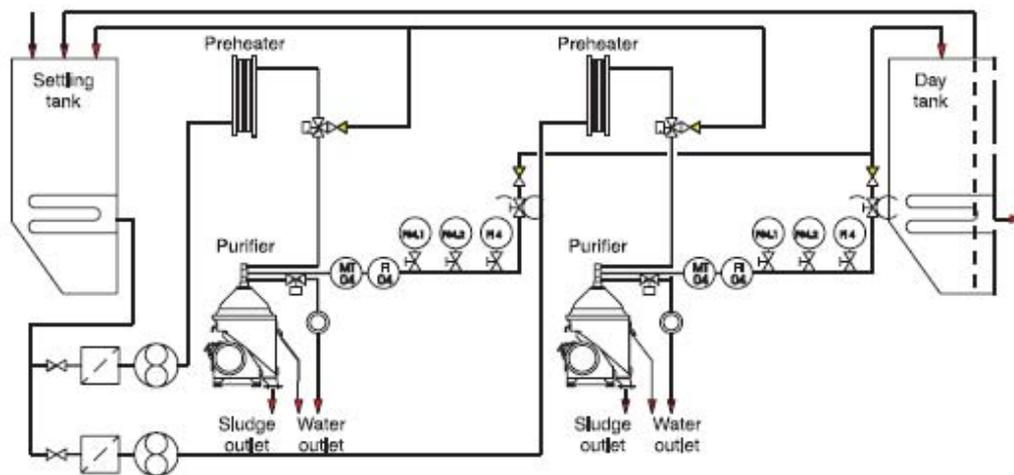
Así los combustibles con densidades altas también son compatibles con las máquinas principales y auxiliares, solo es necesario un apropiado sistema de separación centrífuga. Este sistema podría ser diseñado e instalado en serie o en paralelo, acorde al fabricante y especificaciones técnicas.

A continuación se muestran diagramas de conexión para el sistema de separación por fuerza centrífuga, el cual es usado abordo, teniendo presente las aplicabilidades y competencias de cada uno.

Figura N° 92.



In Series



In Parallel

En la figura N° 92, se muestran las conexiones típicas de los sistemas de separadores centrífugos para combustible. En la primera se observa un sistema que aprovecha la existencia de un solo HEATER, en su primer separador, la conexión es de tipo purificador, por lo cual el combustible que ingresa del estanque de almacenamiento es tratado, de tal forma que pierda la

mayoría de agentes externos al combustible, posteriormente en cascada se encuentra un clarificador, que realiza un trabajo similar al purificador, la función principal es asegurarse que el combustible este libre de impurezas, por lo general este sistema serie se utiliza con FUEL OIL de alta viscosidad y densidad, o sea heavy fuel oil. En el caso de la conexión paralela, se tienen sistemas de separación con todos los elementos, su uso es considerado muy progresivo para máquinas que combinan velocidad y propulsión, esta relación obliga el consumo de combustible en grandes cantidades, por lo cual se procede a purificar en cantidades muy grandes el combustible del estanque de almacenamiento, e inmediatamente llevarlo al estanque de servicio, para su uso en los circuitos de combustibles correspondientes. En algunos casos en la conexión en paralelo, uno de los separadores centrífugos se usa en standby, es decir en caso de falla entra inmediatamente el otro, para mantener siempre el estanque de servicio en condiciones optimas. También por operabilidad y mantenciones, es posible el funcionamiento alternativo, por ejemplo, un mes funciona uno, y al mes siguiente otro, esto es muy usado, en los planes de operación a bordo.

En otro apartado se hablará más específico de este punto, para evaluar funcionamientos, fabricantes y modos de automatismos.

5.2.2.1. Arquitectura del sistema FUEL OIL.

La arquitectura del sistema, parte por definirse como un sistema común en el plano de operabilidad, en donde ambos combustibles heavy fuel oil y diésel pueden ser usados. La matriz de este sistema, es la presurización, lo cual tiene como propósito primario evitar ebulliciones y cavidades en el sistema, que puedan ocurrir cuando el combustible heavy fuel oil es calentado para lograr la viscosidad necesaria en el rango de 10 a 15 cSt requeridos para la inyección. Existe un circuito de diésel oil destinado prioritariamente a las máquinas de cuatro ciclos de trabajo (máquinas auxiliares) y otro que va hacia la máquina principal. Por otro lado, no esta demás de mencionar la presencia de bombas en los circuitos que permitan la circulación y la mantención de presión en los circuitos. También existe enfocado a lo anterior una bomba reforzadora en el circuito de diésel oil.

La siguiente figura N° 93, muestra el diagrama de funcionamiento del circuito de combustible FUEL OIL, en el cual se puede apreciar en forma clara y especifica los circuitos

DIESEL y HEAVY FUEL OIL, el tratamiento por circuito y los recorridos por máquina principal y los auxiliares.

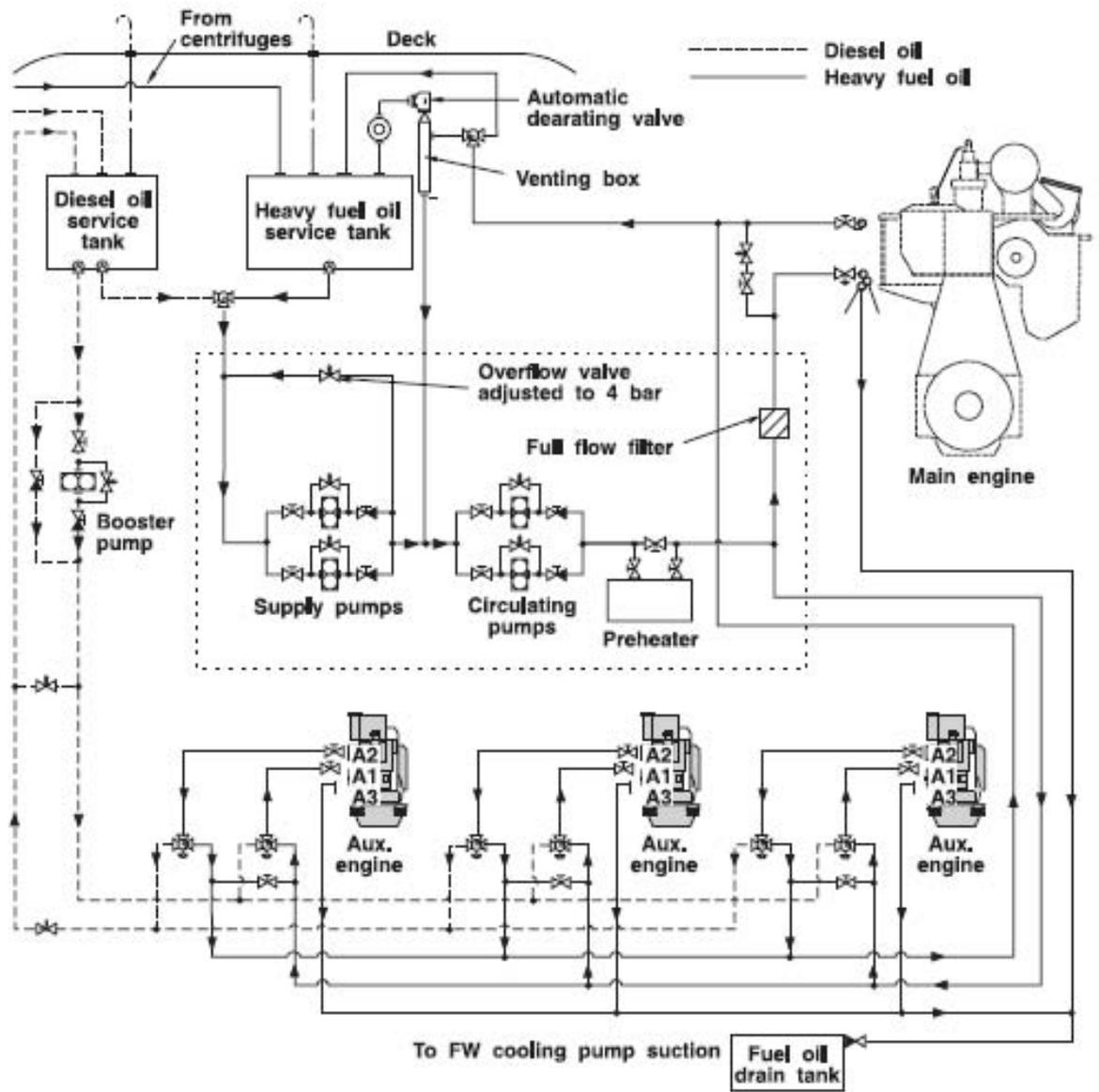


Figura N° 93.

La unidad sistémica que se muestra en este punto se hace necesario seccionarla en modos de trabajo, así como muchos sistemas, ya que el rol es diferente en navegación y en puerto. También en un análisis más riguroso se debería tomar en cuenta las maniobras y cambios de velocidad. A continuación se enfocará una descripción acorde al funcionamiento en mar y puertos.

Operación en navegación: El combustible desde el estanque Bunker, debe ser tratado con separadores centrífugos antes de llegar al estanque de servicio, donde ingresa al sistema de alimentación.

En el sistema de alimentación, el combustible es impulsado por bombas alimentadoras, ingresando al sistema de alimentación a una presión de 4 bar. Este sistema puede incluir un filtro fino, para mínimas impurezas. Todo overflow (manifor para corte en caso de derrame) desde las bombas alimentadoras esta recirculando en el By pass piping (desvió por tuberías), que incorpora la válvula overflow mostrando en orden para mantener la admisión de presión constante en el circuito de circulación, sin considerar el consumo actual.

Las bombas en el circuito de circulación, aumentan la presión de el fuel oil desde el sistema de alimentación a una entrada constante de 7 a 8 bar antes de la máquina. La entrada de presión en el nivel específico por una válvula overflow accionada por mecanismo de resorte, localizada en la máquina principal. El controlador de temperatura para la viscosidad, esta ligado al PRE calentador (preheater), el cual aumenta la temperatura del HEAVY FUEL OIL hasta alcanzar la viscosidad necesaria (aumento de la temperatura baja la viscosidad de combustibles pesados como bunker y otros). Para proteger los componentes del sistema de inyección en la máquina principal un full-flow filter de 50μ , debe ser instalado como cierre para la máquina principal.

Los excesos de alimentación de FUEL OIL para las máquinas, es recirculado vía la caja de venteo, donde los gases si existen, son retirados por una válvula de alivio, para evitar cavidades en el sistema.

La flexibilidad del sistema hace posible la operación de una máquina auxiliar diésel por medios de control remoto o mando a distancia que incidan directamente en sus válvulas de tres vías 3 - way.

Una bomba reforzadora o de apoyo booster pump para el circuito de alimentación diésel destinado a las máquinas auxiliares, posee el rol de alimentadora y además debe evitar cualquier retorno de excesos al estanque. En caso de un black-out esta bomba debe poseer la posibilidad de puesta en marcha por sistema de compresión de aire o por el sistema de emergencia (generador eléctrico de emergencia).

Una válvula de tres vías, es instalada antes de cada una de las máquinas auxiliares, con la finalidad de poder cambiar entre la presurización y abrir MDO (marine diésel oil).

En caso de un evento de black-out, las válvulas de tres vías de cada una de las máquinas auxiliares deben cambiar automáticamente al modo MDO (sistema de alimentación). La tubería interna de las máquinas auxiliares, pueden entonces dentro de algunos segundos ser chorreadas con MDO y estar lista para una partida rápida.

Operación en puertos: En las operaciones en puerto la máquina principal se encuentra detenida, no obstante, se hace necesario la potencia de las máquinas auxiliares (planta generadora diésel para sistema eléctrico), en donde una bomba recirculadora mantiene la presión en el circuito de HEAVY FUEL OIL. La operación de esta bomba evita que las tuberías se tapen, debido a la alta densidad de los combustibles (circuito alimentador para la máquina principal). Mencionaremos que se recurre a maniobras con el personal para manipular válvulas manuales, para permitir el paso de circuitos de diésel, destinados a la planta generadora, como el bloqueo del circuito alimentador de combustible para la máquina principal.

La línea bypass con la válvula overflow entre la entrada y la salida de la máquina principal, permite la manipulación para recorrido del sistema en revisiones periódicas. En este caso la válvula overflow pasaría a ser interna de la máquina principal.

5.2.3. Sistema de refrigeración central por agua.

El sistema de refrigeración central, es una alternativa para el sistema convencional de enfriamiento por agua de mar. Basado en algunos principios de diseño como la localización del enfriador, control de flujo y pre-calentador, pero con un enfriador central y un set adicional de bombas.

Los trabajos de mantención son minimizados por el uso de un enfriador central, el cual es el único componente que esta en contacto con el agua de mar. Todas las otras partes del sistema usan agua fresca acorde a las especificaciones MAN B & W.

A continuación se muestra el siguiente diagrama de funcionamiento del sistema de enfriamiento por agua que se describe en este punto.

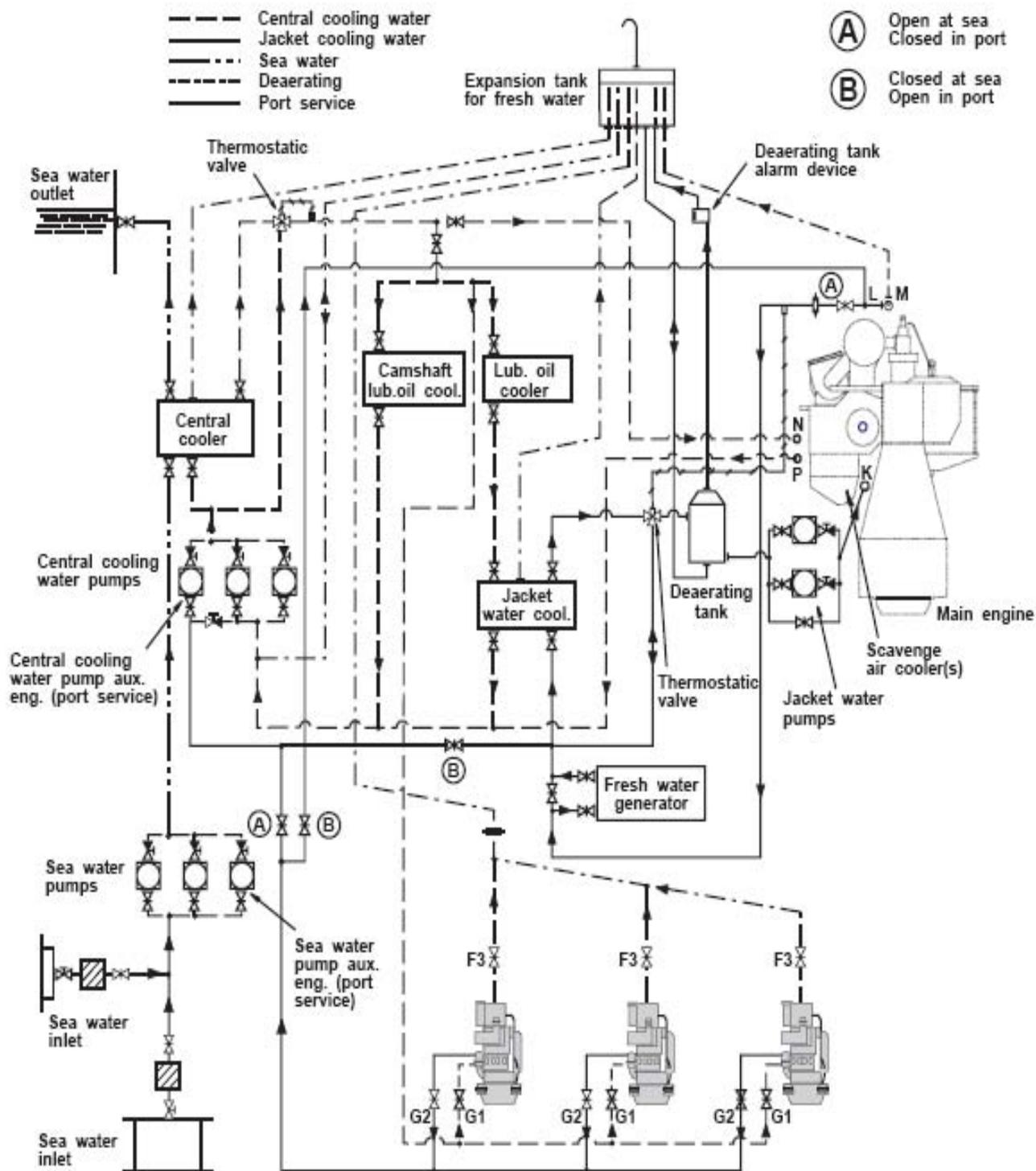


Figura N° 94.

El sistema de baja y alta temperatura, son conectados directamente para ganar ventaja en el precalentamiento (preheater) de la máquina principal y las máquinas auxiliares, durante la parada en puerto.

Como toda el agua fresca de enfriamiento esta inhibida y comúnmente para el sistema de enfriamiento central, solo cuando el estanque de expansión esta necesariamente desaireado junto a los sistema de enfriamiento de baja y alta temperatura. Este estanque posee la finalidad de acomodar o acondicionar las diferencias volumétricas del agua, causadas por las diferencias térmicas o cambios de temperatura.

Para prevenir la acumulación de aire en el sistema de refrigeración por agua, un estanque desaireador, esta localizado debajo de el estanque de expansión. Un dispositivo de alarma esta insertado entre el estanque de expansión y el estanque desaireador. El objetivo de este dispositivo recae en la notificación de acumulaciones de gases o aire en exceso, que pueda perjudicar el sistema de enfriamiento, y por ende el funcionamiento de la máquina principal y auxiliar.

Operación en navegación: Las bombas de enfriamiento agua de mar impulsan esta agua, desde la entrada del sistema hasta el enfriador central del sistema y finalmente a la salida del sistema, con destino al mar nuevamente (sistema de lazo cerrado). Alternativamente algunos buques usan bombas pequeñas para el sistema de agua noria. En el caso del agua fresca, las bombas de agua enfriamiento central hacen circular el agua fresca a una baja temperatura por el circuito de enfriamiento llegando directamente a los enfriadores del sistema de lubricación de aceite de la máquina principal, máquinas auxiliares y sistema de aire barrido.

El sistema de enfriamiento agua de chaqueta para las máquinas auxiliares están equipados con bombas acondicionadas por máquinas y un sistema de bypass integrado en el sistema de baja temperatura. En tanto el sistema de chaqueta para la máquina principal tiene un circuito independiente de bomba, con bombas agua de chaqueta, que hacen circular el agua de enfriamiento a través de la máquina principal, generador de fresh-water (agua fresca) y el enfriador de agua de chaqueta.

Un control termostático para una válvula de tres vías, localizada a la salida del enfriador agua chaqueta, mezcla el agua refrigerada con otra que no, con el objetivo de obtener una temperatura de salida para el agua en el rango de 80 – 85 ° C desde la máquina.

Operación en puerto: durante la operación en puerto, cuando la máquina principal esta detenida, pero las máquinas auxiliares se encuentran funcionando, las válvulas A son cerradas y las válvulas B son abiertas. Una pequeña bomba de agua es puesta en servicio, para hacer circular el flujo de agua necesario para el air- cooler, el enfriador para aceite lubricante y agua de chaqueta para las máquinas auxiliares, en este punto es donde se hace mención a las bombas acondicionadas y que están ligadas a las máquinas auxiliares, para su sistema de refrigeración en agua de chaqueta.

En el caso de tener la máquina principal detenida, es necesario precalentarla usando el sistema de generación de vapor u otro, para mantener la temperatura, y no ocurran problemas de diferencial térmica en caso de la puesta en servicio nuevamente. En el caso de las máquinas auxiliares, cada generador cuenta con un sistema de preheater y su auxiliar igualmente debe ser acondicionado para que no pierda temperatura. Es importante reconocer que los grandes problemas parten por cambios bruscos en la temperatura, partidas en frío, en donde las componentes mecánicas sufren grandes desperfectos.

5.2.4 Sistema aire de partida.

Dos compresores, con partida y parada automática, mantienen una presión de 30 bar para el sistema de aire partida.

La máquina principal se alimenta con 30 bar de aire partida desde los estanques de recepción. A través de una estación reductora de presión, el aire se comprime a 7 bar, para poder alimentar el circuito de aire control, destinado a varias aplicaciones de automatismo, y además esta posee una reserva de aire emergencia.

El aire de partida y aire de control para máquinas auxiliares, también es alimentado desde un receptor de aire comprimido, válvulas de reducción que disminuyen la presión para la válvula actualmente situada en las máquinas auxiliares de cuatro ciclos de tiempo.

Un compresor para el aire de emergencia y botellón para el aire de partida, esta instalado para redundar la partida de emergencia de máquinas auxiliares.

Si la humedad es alta en el aire comprimido esta puede ser aspirada por los compresores de aire comprimido. Un separador de aceite y agua puede remover estas gotas presentes en el sistema de aire comprimido de 30 bar. Cuando la presión se encuentra muy baja a 7 bar, como para el uso del sistema de maniobras de la máquina principal, la humedad presente en los compresores de aire, pueden ser muy leve.

La siguiente figura N° 95, muestra el diagrama de funcionamiento del sistema de aire comprimido, tanto aire de partida como de control con aplicabilidad en la máquina principal y las máquinas auxiliares.

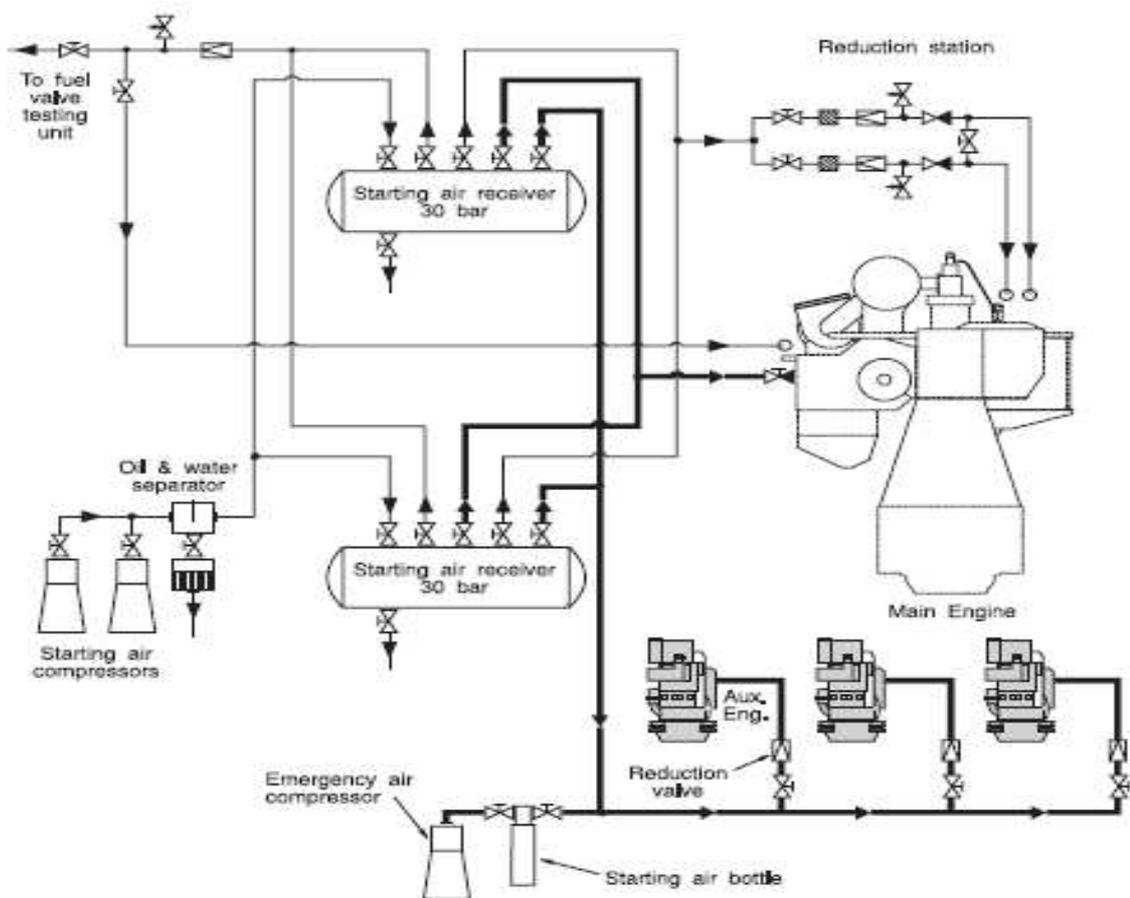


Figura N° 95.

5.2.5. Sistema de aceite de lubricación.

El sistema de aceite de lubricación, no puede ser combinados tanto para la máquina principal como para las máquinas auxiliares, ya que estas últimas operan sin prensa-estopa y en ellas la cámara de combustión no está completamente aislada del sumidero de aceite. La lubricación para las máquinas auxiliares por lo tanto deben tener un alto TBN para obtener una apropiada neutralización de ácido sulfúrico formado durante la combustión. Un nivel inicial de TBN de menos de 20 es recomendado para máquinas Gensets, mientras que para máquinas principales de dos ciclos de tiempo se usa TBN 5.

5.2.6. CoCoS computer controlled surveillance.

CocoS es un software de programación que se instala en la sala de control para máquinas, el cual tiene la finalidad de orientar en la operación, mantención y control de fallas. Consiste de cuatro módulos, que pueden ser usados individualmente o juntos. Como se mencionó los módulos están orientados para poder encontrar alguna falla o avería, permite el planeamiento de trabajos, administración del stock, manejo de reservas y ordenes. También aparece una versión electrónica sobre el diseño y arquitectura de la máquina que se está usando y sus componentes.

CoCoS considera también las máquinas auxiliares pertenecientes al grupo de trabajo MAN B & W y otros. El desarrollo pertenece a un sistema grupal de tecnologías de varias compañías como:

- Copenhagen (MBD-K).
- Alpha Diésel (MBD-F).
- Augsburg (MBD-A)
- Pielstick in France.

Los módulos que comprende son los siguientes:

- CoCoS-EDS - Engine Diagnostics System
- CoCoS-MPS - Maintenance Planning System
- CoCoS-SPC - Spare Parts Catalogue
- CoCoS-SPO - Stock and Parts Ordering System.

CoCoS-EDS: es un sistema en el cual los datos desde la máquina son procesados. Estos datos pueden ser recogidos directamente de los sensores instalados en la máquina principal o también los datos pueden ser ingresados manualmente vía teclado.

Las válvulas pueden ser procesadas en forma automática, a través de datos obtenidos en forma local, se puede rehacer cálculos obteniendo tendencias, las cuales pueden ayudar a detectar el mal funcionamiento de la componente y de esta forma realizar el trabajo que señala el software referente a la anomalía.

CoCoS-MPS: es usado primeramente para la planificación de inspecciones y trabajo de mantenimiento que deban ser realizados después de una cantidad de horas de servicio o calendarios día. Los trabajos son listados y presentados visualmente. En esta vía el usuario puede ver cuando y cuales son los trabajos a realizar, escoger el trabajo y el horario para realizarlo. Es importante que esas versiones de módulos posean gráficos, textos, fotografía, de las anomalías respectivas y como resolverlas para evitar equivocaciones, haciendo mucho mas fácil el trabajo de operación y mantenimiento a bordo.

CoCoS-SPC: es un catálogo electrónico destinado para encontrar cualquier parte o componente que se requiera. Las componentes pueden ser encontradas de tres formas:

- 1.-usando el buscador por palabras.
- 2.-haciendo clic sobre el dibujo (de esta forma puede ir realizando aumentos de vista sobre la figura, desmembrando partes y sectorizando el diagrama que requiere).
- 3.- la última es intuitiva o sistemática acorde a la necesidad.

CoCoS-SPO: es un inventario combinado y reservas ordenadas de partes del sistema que puede ser usada para obtener información sobre las características de la pieza, localización a bordo del buque y la cantidad de estas que existen. También es posible realizar un seguimiento a las partes y manejo de historial de la máquina.

Es muy relevante mencionar que la marca MAN B & W, cumple con los altos estándares de calidad en lo que refiere a control de emisiones y sumisión, dadas por la IMO, EPA (Environmental Protection Agency).

5.3. Propuesta tecnológica de MAN B & W para máquinas diésel del nuevo milenio.

La propuesta tecnológica de MAN B & W para máquinas principales, recae el concepto MEC (máquinas controladas electrónicamente). Las grandes ventajas provienen de todos lados incluyendo a la misma empresa, ya que con este nuevo modelo, les permite reducir los costos, por lo cual la inversión inicial por máquina es mucho menor, además es un porte en la operación y mantención de esta, que facilita el trabajo abordo. Por otro lado una gran ventaja, es la reducción muy considerable en la emisión de gases, debido a la calibración electrónica la cual es muy precisa. Actualmente en el mercado ya existen más de 600 máquinas principales de tipo MEC de diversos fabricantes y alianzas.

En el año 2007 la primera máquina prototipo S40ME-B fue probada en corea. Este fue el primer gran paso de MAN B & W, estas pruebas sin duda marcaron el inicio de una nueva generación en donde la inyección de combustible por medios de potencia electrónica (rate shaping or injection profiling) que se utiliza en las máquinas modernas, lo cual mejora la relación NO/SFOC.

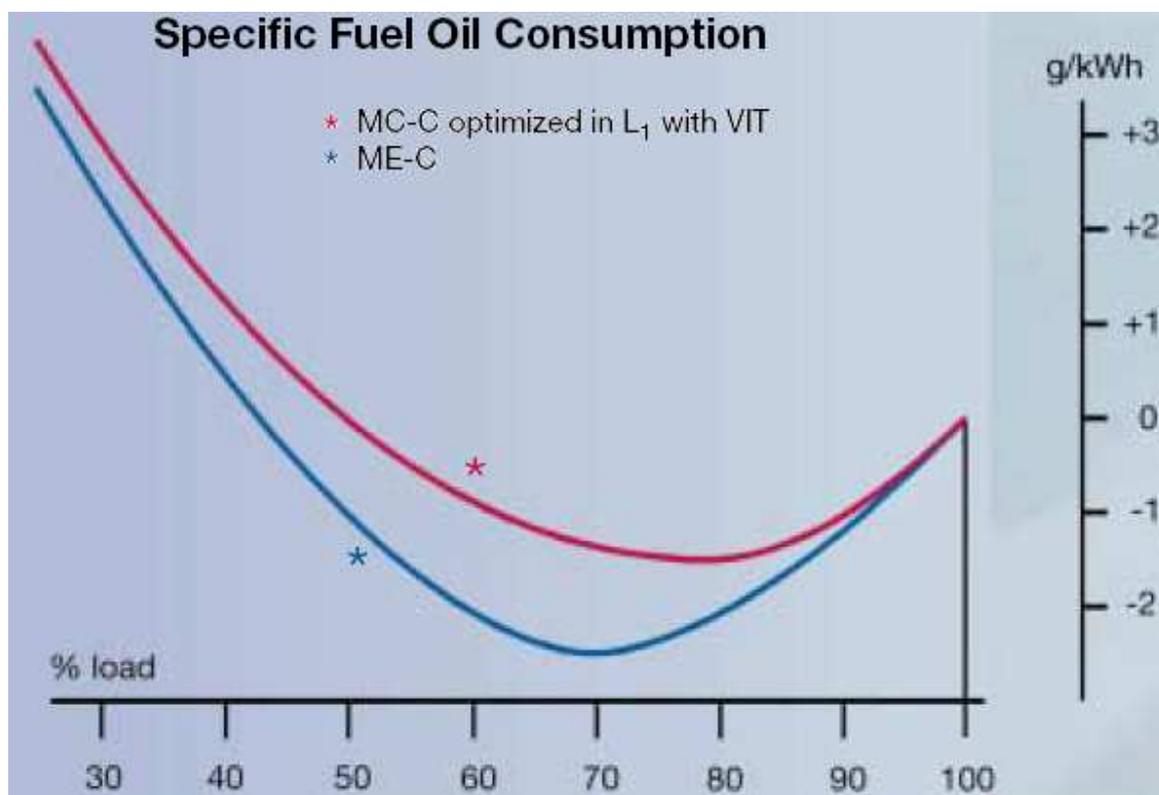
La potencia, velocidad y consumo nominal específico de combustible FUEL OIL, marcan solo algunas de las tantas ventajas más relevantes sobre las máquinas de tipo MC.

El SFOC es una tecnología de punta, la cual es reducidamente significativa, en partes de carga como la máxima presión puede ser mantenida muy debajo de 65-70 % de la carga total.

La serie MEC y ME posee estos puntos resaltantes:

- Las máquinas tipo MEC posee un rango de 50 a 90cm.
- El SFOC es muy similar al control de máquinas controlados mecánicamente, para salidas nominales.
- En baja carga, el SFOC es bajo para máquinas controladas electrónicamente.
- Es fácil la integración de este modelo sobre otro.

A continuación se muestra una curva de consumos de combustible donde se puede observar las diferencias entre máquinas convencionales y MEC.



En la curva, podemos observar que la curva correspondiente a la máquina tipo MEC es mucho más suave, por lo cual existe un consumo menor de combustible, lo cual favorece el ahorro pensado en meses y años considerando el comportamiento de una máquina MC, es muy amplia la diferencia.

Un punto muy resaltante de las máquinas de tipo MEC, es que estas no poseen CAMSHAFT (árbol de levas), instalado para proveer potencia para la inyección de combustible y válvulas de desahogo. Estas utilizan un lazo de aceite hidráulico con un fino filtro de aceite desde el sistema de lubricación de la máquina principal a una presión cerca de 200 Bar. El circuito para heavy fuel oil, está constituido por válvulas de control accionadas rápidamente, esto trabaja con un sistema hidráulico, que permite mejorar la precisión en las explosiones en las cámaras.

Las grandes ventajas técnicas, vienen del hecho de la sincronización y de la intensidad de inyección de combustible, por otro lado la operabilidad de apertura y cierre de las válvulas que es exacta y constante en todo instante del funcionamiento, por lo cual se logra una mejora considerable en el ahorro de combustible, baja emisiones de gases, disminuir la cantidad de trabajo en operabilidad y disminuir las mantenciones. El balance entre los cilindros puede ser fácilmente ajustado en maniobras de operación.

La siguiente figura N° 96, muestra una imagen de dos máquinas principales con tecnología MC y MEC, donde se puede observar donde antiguamente existía el CAMSHAFT para la máquina MC, y que en la MEC este ya no existe.

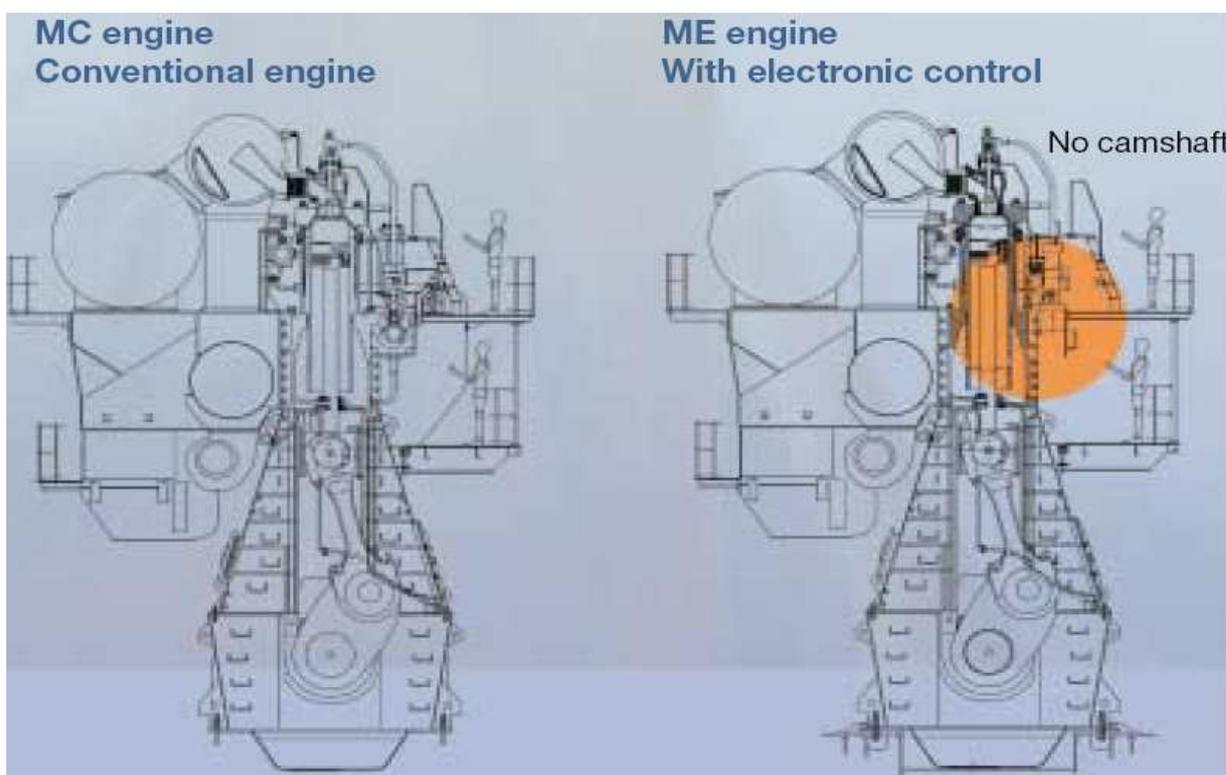


Figura N° 96.

5.3.1. Concepto de máquina inteligente.

Para poder reunir el concepto de operabilidad flexible, es necesario tener una gran flexibilidad en la operación, a menor cantidad de inyección de combustible y un sistema exacto para válvulas. Una parte de esto se logra con el CAM-DRIVER que permite mejorar sustancialmente el objetivo de los puntos planteados y que contribuye a la rentabilidad de la máquina

Por este motivo también es necesario mejorar la protección de la máquina principal de daños posiblemente causados por sobrecargas, malas mantenencias, desajustes en el sistema, etc. Para esto el sistema de monitoreo debe ser usado para evaluar las condiciones generales de la máquina, mas la calidad de las mantenencias efectuadas a estas, guardar parámetros de mantención para ser comparados con los nominales y de esta forma garantizar una larga vida útil a la máquina principal. Por otro lado el sistema controlador que debe ser usado para las bombas de inyección de combustible y válvulas de desahogo, debe ser de tipo electrónico incluyendo estos conceptos. Estas teorías se ven reflejadas en la siguiente figura N° 97, donde se reúnen las ideas para una máquina inteligente.

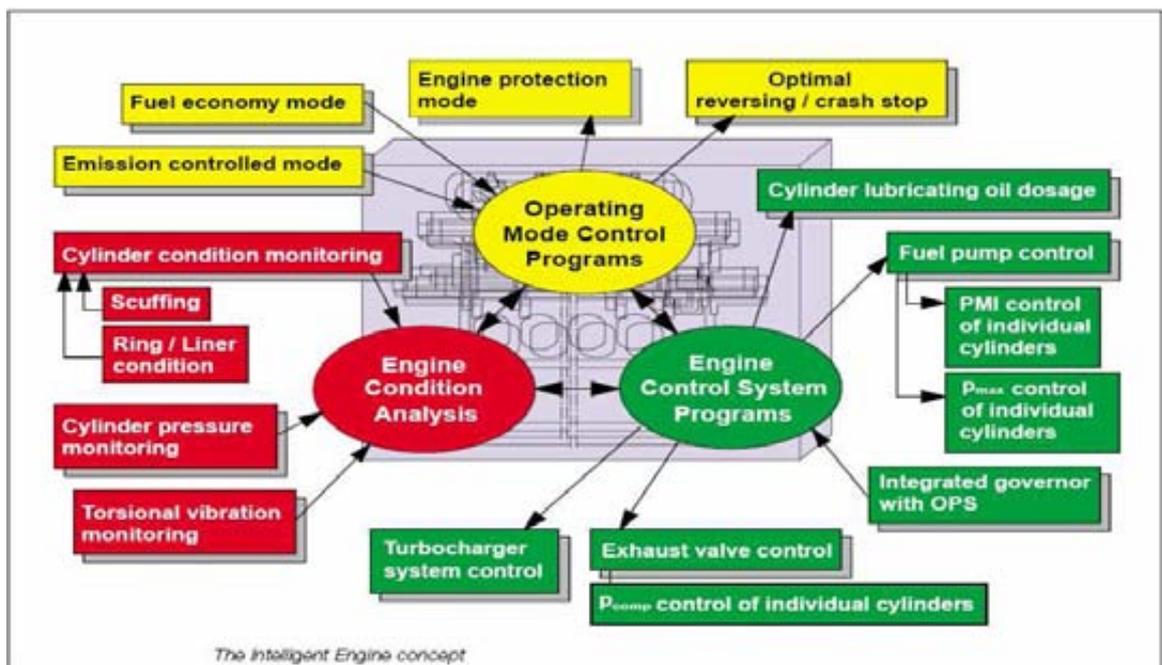


Figura N° 97.

Como se mencionó, el nuevo sistema de MEC para máquina inteligente, consiste en el reemplazo del camshaft, para lo cual, el nuevo sistema comprende de controladores para máquinas, basados en sistema de alta presión para aceites en servo ya que promueven la potencia hidráulica para la operación de inyección de combustible y unidades actuadoras para válvulas de desahogo y cilindros alimentadores. Antes de la puesta en marcha de la máquina principal, el sistema de potencia hidráulica (servo oil system) es presurizado por pequeños controladores electrónicos para bombas de alta presión. El sistema de aire de partida y el sistema de lubricación para los cilindros tuvo que ser cambiado en comparación con la máquina tradicional MC. Un sistema redundante controlado por PC es el encargado de tener dominio y control de los sistemas ya mencionados.

5.3.2. Sistema de alimentación.

Las bombas multipistón controladoras por máquina alimentan con alta presión el sistema de lubricación, lo cual proporciona la potencia para la inyección y válvulas actuadoras, las cuales remplazan el sistema camshaft power wise. El uso de este sistema no amerita el uso de, estanques extras, enfriadores, bombas auxiliares y otros, sin embargo el aceite para el sistema de la máquina no puede ser purificado lo suficiente para su uso directo en el sistema hidráulico de alta presión. Para la purificación es necesario emplear un filtro de 6 μm , lo cual permite el bloqueo más rápido de partículas.

Se ha emprendido un extenso trabajo de desarrollo, con la colaboración de b & K soporte técnico para filtros, esto permite asegurar un buen filtrado y depuración para el sistema.

Mucho se ha hablado de la mejor alternativa, la cual debe cumplir con el perfil de limpiar o purificar el aceite para lubricación desde la máquina. Como consenso se ha optado por el sistema de purificación y filtrado fino del aceite de lubricación.

En la siguiente figura N° 98, se muestra un diagrama de subsistemas para el soporte del sistema de lubricación de aceite, el cual técnicamente en MAN B & W se conoce como sistema aceite servo (servo oil system), el cual es muy fácil de comprender ya que se señala el conjunto de disposiciones acorde al flujo para secuencia.

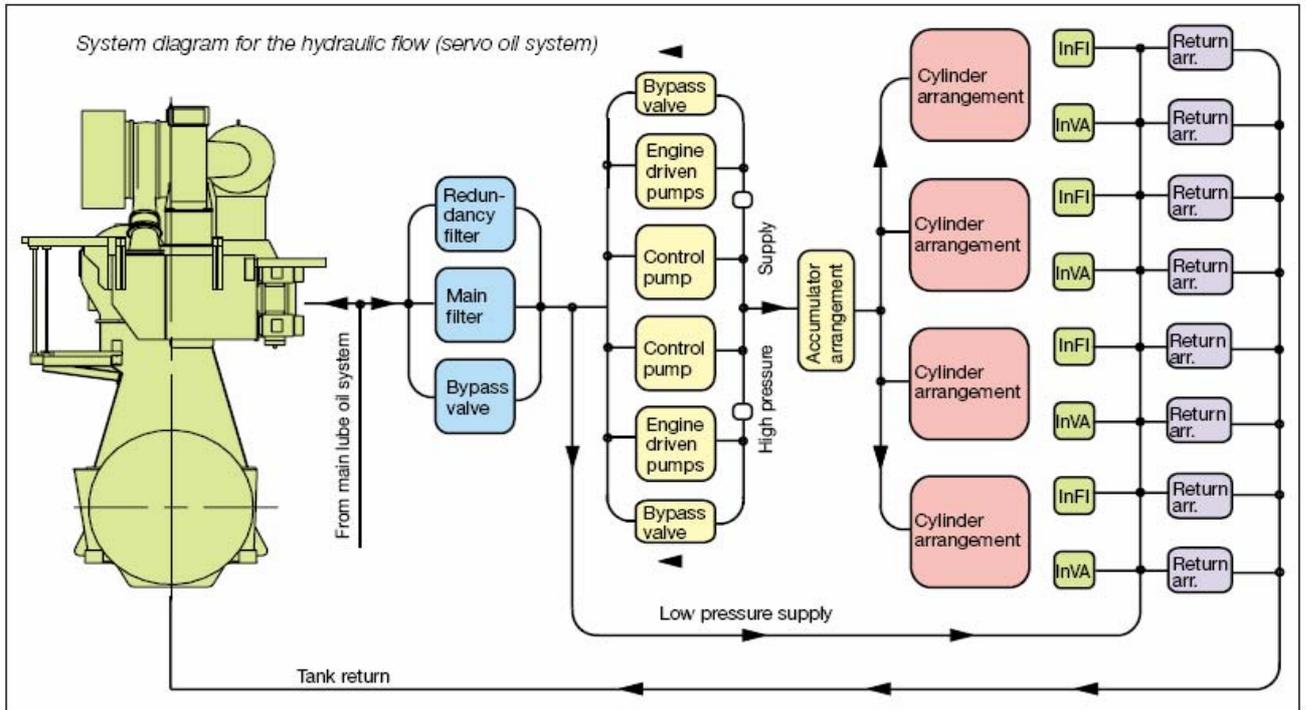


Figura Nº 98.

5.3.3. Sistema de inyección de combustible.

Las características de diseño del sistema se muestran en la siguiente figura Nº 99.

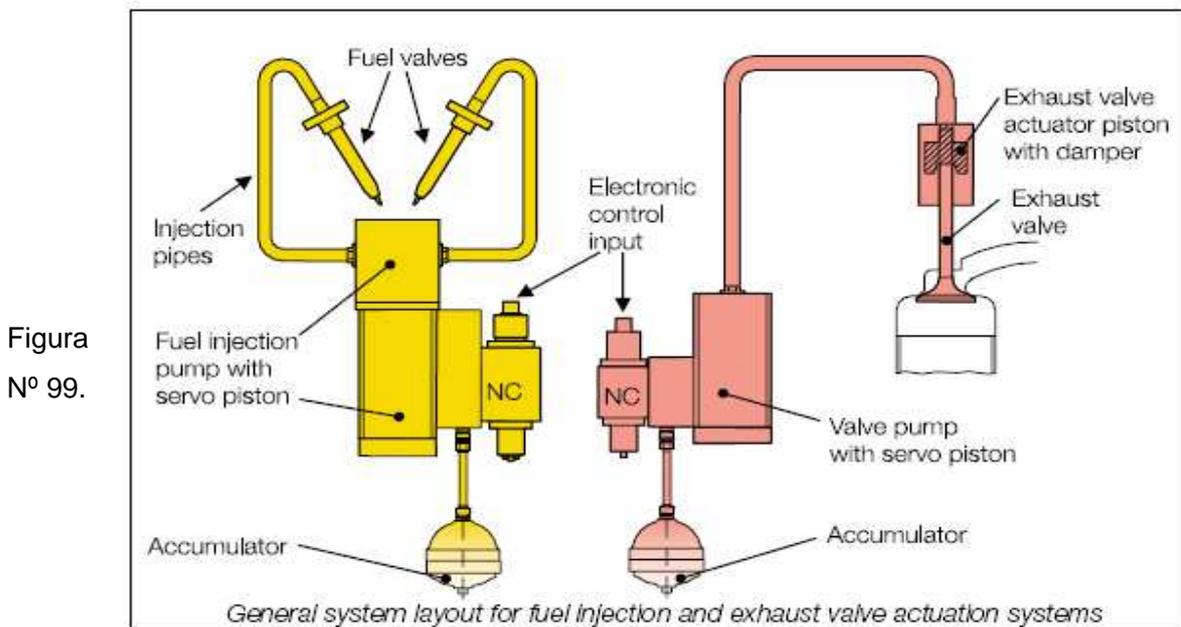


Figura Nº 99.

Un común riel del sistema de aceite servo, se encuentra presurizado en frío, limpiando la lubricación con el trabajo medio de los controladores para bombas de lubricación. Cada unidad de cilindro esta provista con un acumulador de aceite servo para asegurar el suficiente reparto de aceite servo, acorde a los requerimientos del sistema de inyección y en orden para evitar oscilaciones de alta presión, en la asociación del sistema de tubería aceite servo.

El movimiento del pistón es controlado por una rápida acción de una válvula de control proporcional (postura llamada válvula NC), la cual es proporcionada por la alianza curtiss wright drive technology GMBH de suiza. La válvula NC (normalmente cerrada), es controlada por un actuador motorizado, compuesto por un motor lineal, que recibe su orden de control o señal de entrada desde la unidad de control de cilindro.

El concepto de diseño es escogido de acuerdo a la máxima fiabilidad y funcionalidad después de todo, el sistema de inyección de combustible es el corazón de la máquina principal, y este rendimiento es crucial para la economía, emisiones de gases y en general para la calidad de la máquina principal.

Las válvulas NC serán producidas en serie por un periodo de 10 años, pudiendo ser compatibles nuevos modelos con sus antecesores, ya que el desarrollo contempla una alta performance de calidad en los productos en el tiempo. La fabricación de las bombas para inyección de combustible, son proporcionadas por un departamento de equipamiento tecnológico para inyección de combustible, tanto estas bombas como las válvulas obedecen a estándares básicos para su fabricación.

Las bombas de combustibles están segregadas de acuerdo a su generación tecnológica. Las bombas de segunda y tercera generación, son diseñadas de manera muy simple, pero en el caso de las bombas de primera generación, la característica de diseño esta basada en componentes pequeños los cuales, facilita su mantención y reposición en caso de falla. Los datos referentes a las horas de trabajo obedecen a tipos como 4T50MX, el cual posee un recorrido cada 1400 horas. Dentro de la importancia de las características de diseño para las bombas de tercera generación, es su habilidad para operar con combustibles muy pesados, el pistón de la bomba esta equipado con un diseño de umbrera modificada para prevenir los derrames de aceite combustible en el sistema de lubricación de aceite.

El controlador del pistón y la inyección son muy simples, estas se mantienen en contacto debido a la presión del combustible que activa el pistón y la presión del aceite hidráulico que activa en el conductor del pistón. El comienzo y el fin de los tiempos de los pistones son predispuestos y controlados por una válvula hidráulica NC, la cual es controlada directamente por un PC.

La siguiente figura N° 100, muestra la evolución de las bombas de inyección de combustible, las cuales se van minimizando tanto en tamaño como en componentes, así como la disposición de los canales de entrada y salida de combustible.

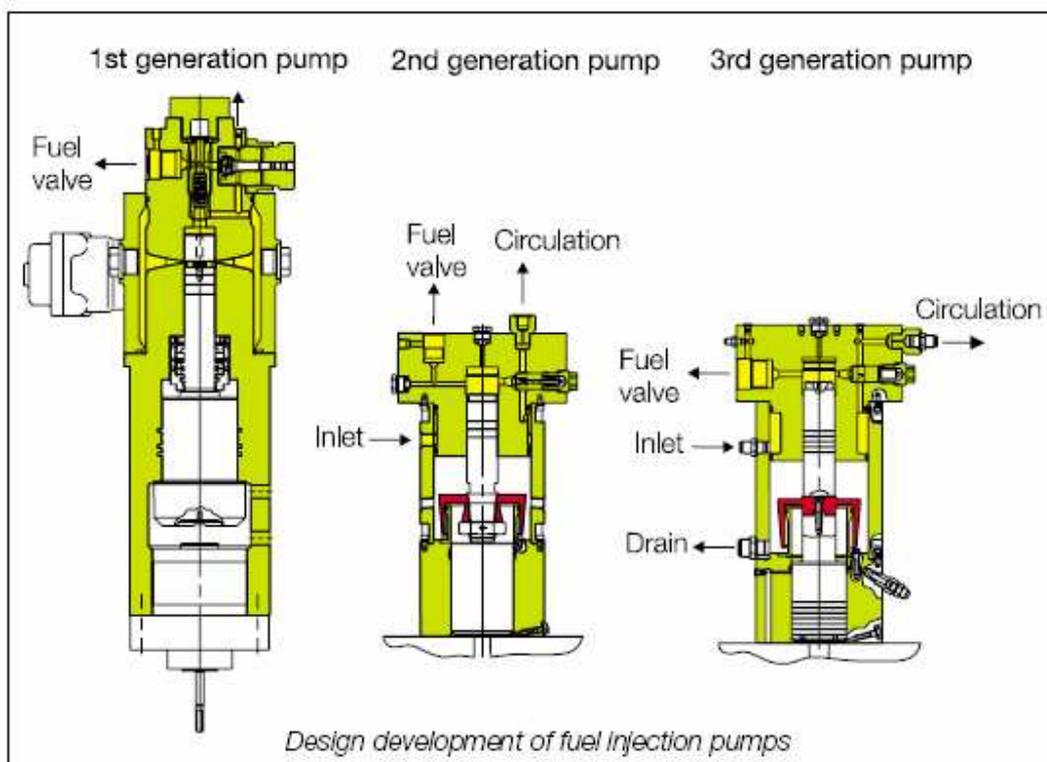


Figura N° 100.

5.3.4. Sistema actuador para válvula de escape (válvula de desahogo).

La válvula de escape es controlada por el sistema de aceite servo y también esta referida al sistema de inyección. Usando presurización fría, limpia la lubricación de aceite en el medio de trabajo. Sin embargo la funcionalidad necesaria de la válvula de escape es el control de la

sincronización o ajuste de la apertura y cierre para el sistema de inyección. Esto también se puede lograr con un sistema on/off de alta velocidad.

El actuador para el sistema de válvula de escape es un simple diseño de dos etapas. La primera etapa es el pistón actuador, el cual está equipado con un anillo para amortiguación en ambas direcciones del movimiento. La segunda etapa, el actuador del pistón no tiene amortiguador y está conectado directamente con un mecanismo del pistón de aceite transformando la presión de aceite del sistema hidráulico en presión para la varilla de empuje. El mecanismo del pistón de aceite incluye un amortiguador de collar que al hacerse activo en la secuencia final de apertura, donde la válvula de escape puede ser detenida por el aire del resorte.

La siguiente figura N° 101, muestra la unidad de válvula de escape y sus accesorios.

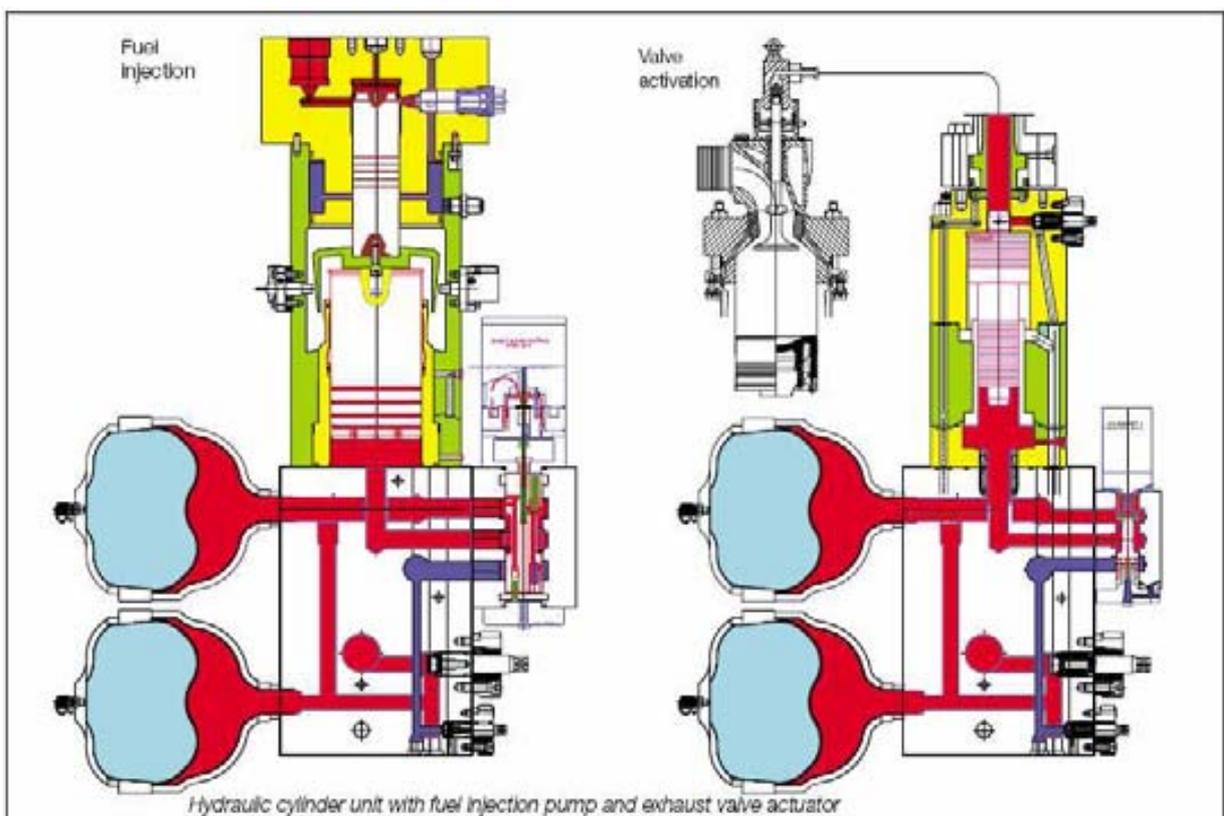


Figura N° 101.

5.3.5. Sistema de dominio y control redundante para los mecanismos de inyección.

Los sistemas de control están ligados a una red de control redundante compuesta por computadores, cuya finalidad se basan en el control, dominio y monitoreo de unidades como CAMSHAFT, TIMMING, RATE SHAPING y VALVULAS EN GENERAL. Este moderno sistema de control para máquinas, es una integración de componentes de máquinas inteligentes, que deben ser lógicamente conectadas. Se ha reducido las típicas unidades de control clásicas como ECU (unidad de control para máquina) y CCU (unidad de control para cilindros), a sistemas conectados a una planta, es decir todos los sistemas convergen a una máxima integración de unidades llamada sistema de control para planta, el cual reúne los sistemas de protección, supervisión-monitoreo y sistemas de alarmas.

La siguiente figura N° 102, muestra un sistema de control redundante para parte de la planta propulsora y las topologías de conexiones.

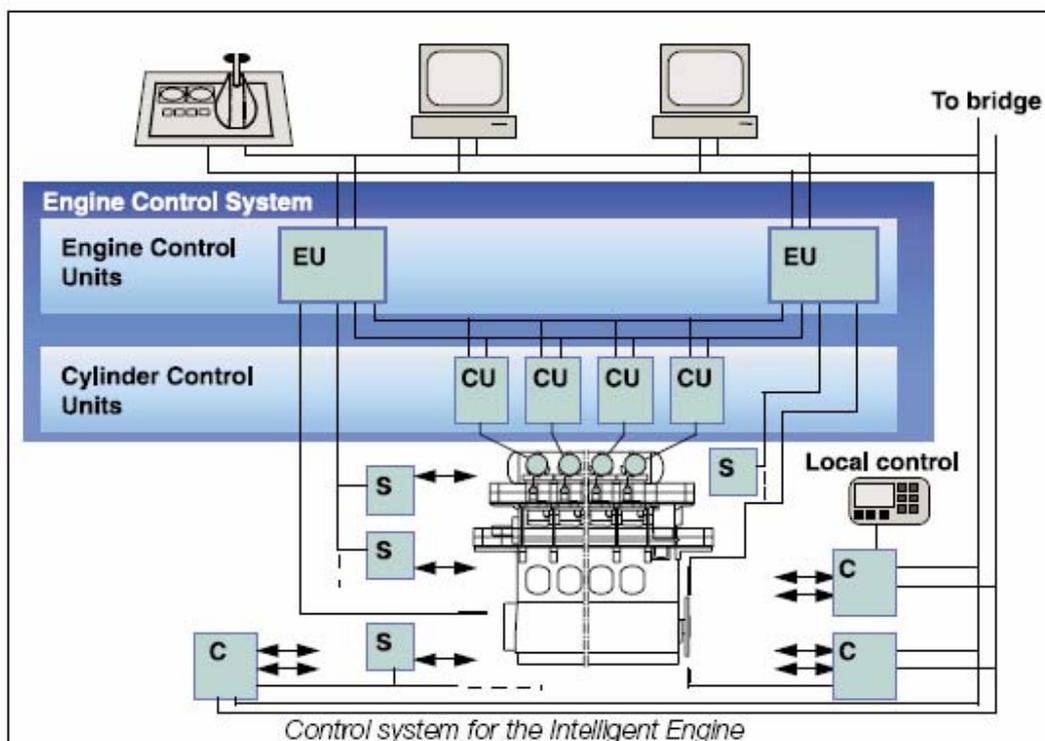


Figura N° 102.

La unidad de control para máquina (ECU) que se encuentra integrada a la planta de control realiza las siguientes funciones:

- La velocidad de la máquina de acuerdo al valor de referencia desde la aplicación del control system (control integrado para el gobernador).
- Protección contra sobrecarga como también de fallas.
- Optimización de la combustión para la condición de marcha y navegación.
- Secuencia de la máquina en fase de partida, parada y reversa.
- Sistema hidráulico servo oil y alimentadores de lubricación.
- Sopladores auxiliares y turbo-cambiadores.

Las funciones mencionadas, corresponden a monitoreo y control por parte del sistema ECU. La otra unidad integrada es el sistema CCU, la cual ejerce dominio, monitoreo sobre los cilindros, acciones de inyección, gases. Los puntos funcionales se nombran a continuación.

- Inyección de combustible.
- Válvula de escape.
- Válvula de partida.
- Lubricación en los cilindros.
- Control de gases.

El principio de diseño, debe poseer un gran concepto de la tolerancia a fallas, lo cual permite una fácil operación y reparación. Por este motivo el diseño electrónico contempla la posibilidad de dispositivos con auto-status, los cuales pueden predecir su funcionamiento para descartar anomalías. Es necesario mencionar que cada cilindro posee su propio CCU, los cuales están interconectados a través del ECU. Es conveniente mencionar que la planta de control posee un segundo ECU stand-by, el cual en caso de falla de la unidad actual, entra al sistema de forma automática en cosa de milisegundos. En caso de una falla de los controladores del sistema, la unidad de control principal es capaz de identificar la unidad para su reemplazo, en forma simple, segura y rápida. La configuración del sistema luego del reinicio del sistema puede ser configurada automáticamente. En caso de falla en los periféricos o hardware externo, que esta comprendido por sensores y actuadores, el sistema por unidades

de control, permite el test-control, lo cual busca la detección de fallas a través de áreas comprometidas, esta es quizás la herramienta mas poderosa que ayuda al personal para la búsqueda de fallas y reparación de sistemas.

5.3.6. Sistema de medición de presión en cilindros (PMI).

Una buena apreciación cuantitativa, es obtenida por sistemas de procesamiento de datos, los cuales permiten obtener una fiable medición de campo, lo cual en este caso esta enfocado a la presión de cilindros en máquinas modernas. Convencionalmente a través de indicadores manuales como manómetros, el personal de mantenimiento y operación, puede realizar diagnósticos con muy poca precisión. En los controles modernos, mediante el uso de electrónica de alta velocidad (uso de DSP y FPGA) es posible monitorear en tiempo real, que es un avance muy completo y avanzado, en relación a sistemas convencionales.

Para la medición efectuada en los cilindros, de la máquina principal, el uso de sensores PMI on - line, los cuales no están en contacto directo con los gases de la combustión en los cilindros. La disposición del sensor se muestra a continuación en la figura N° 103.

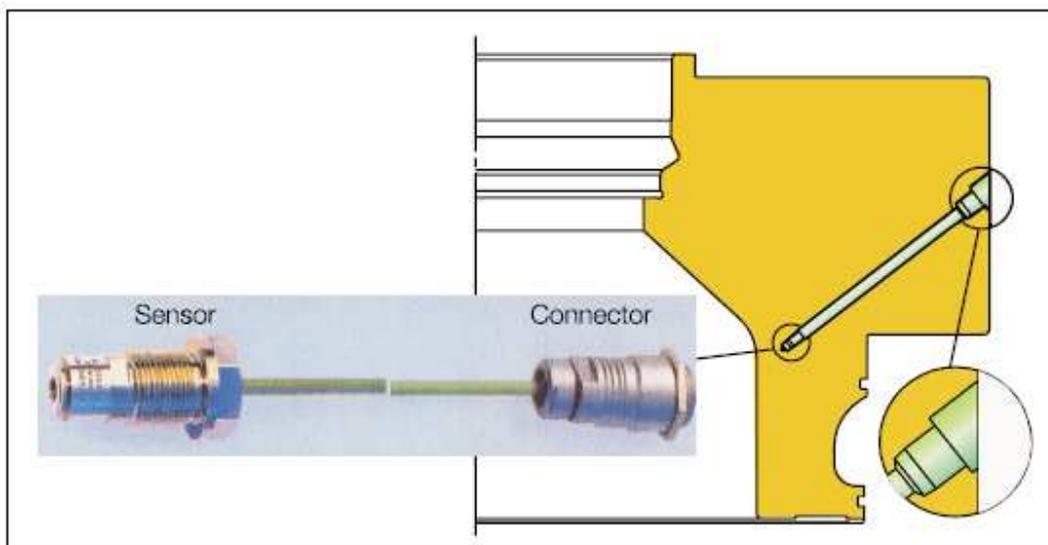


Figura N° 103.

Existe por cilindro un sensor acelerómetro, el cual permite medir las deformaciones en el interior de este. Las deformaciones son originadas por la alta presión. Localmente no existe un

medio indicador de este valor, ya que se trata de una curva, por lo cual son tendencias que necesitan ser graficadas en un monitor, para su comprensión final. La interacción de estos valores se ven reflejados a través del software CoCoS - EDS para máquinas de tipo ME. Este posee patrones muy similares al que se usa en máquinas de tipo MC.

5.3.7. Lubricación en cilindros con actuadores electrónicos.

Este nuevo concepto aplicado a máquinas marinas, inicia la revolución para futuras invenciones en este campo. Existe una estación de bombas para la lubricación de aceite, las cuales levantan presiones de 45 Bar. Los lubricadores poseen un pequeño pistón por cada cilindro en línea, y la potencia de inyección viene dada por una presión de 45 bar activando el controlador para los pistones. La siguiente figura N° 104, muestra el diagrama de bloques del conjunto de lubricación.

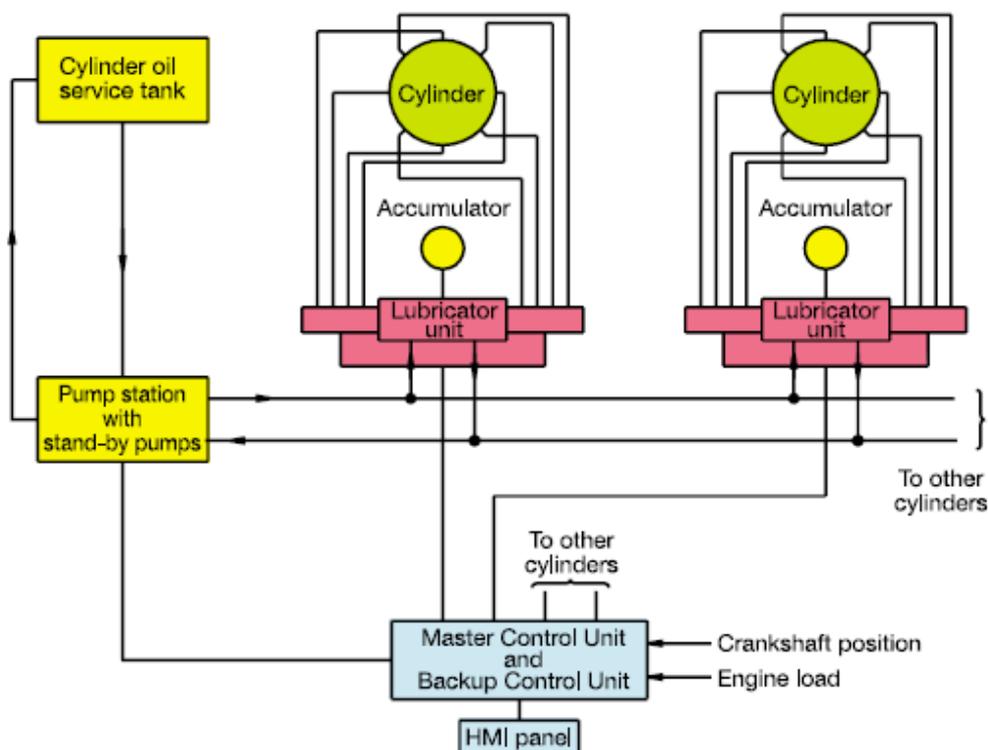


Figura N° 104.

La parte del controlador del lubricador, es un convencional sistema de riel, mientras que el sistema de inyección obedece a una alta presión en sentido positivo. En máquinas de alto calibre tales cilindros poseen dos lubricadores y un acumulador, lo cual no es común en máquinas de convencionales (bajo calibre). La estación de bombas incluye dos bombas, filtros y enfriadores.

A continuación se muestra la figura N° 105, correspondiente al lubricador como unidad, con sus partes mecánicas y eléctricas.

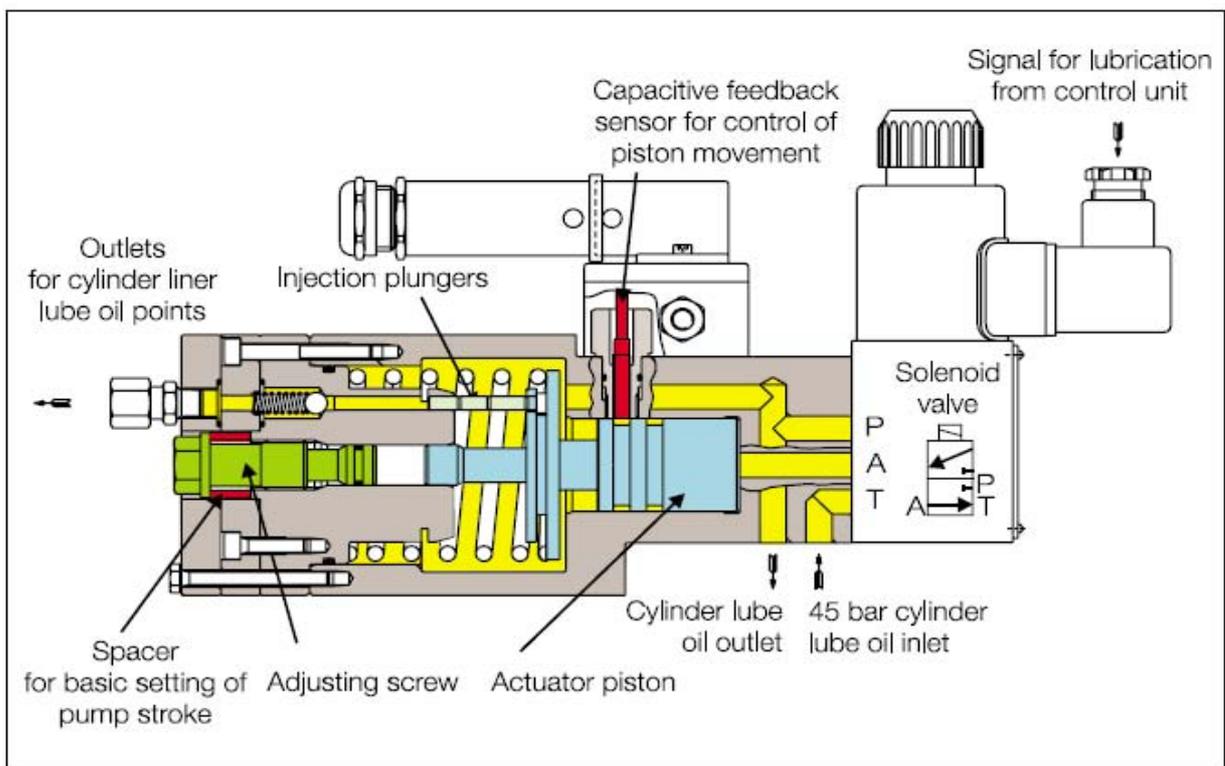


Figura N° 105.

Otras unidades o sub-sistemas están ligados directamente a la unidad de máquina principal tales como unidad de cilindro hidráulico (HCU), controlador multipropósito (MPC), alimentador de potencia hidráulica (HPS). La intervención de estos sistemas se observa a continuación en la figura N° 106 del control de procesos.

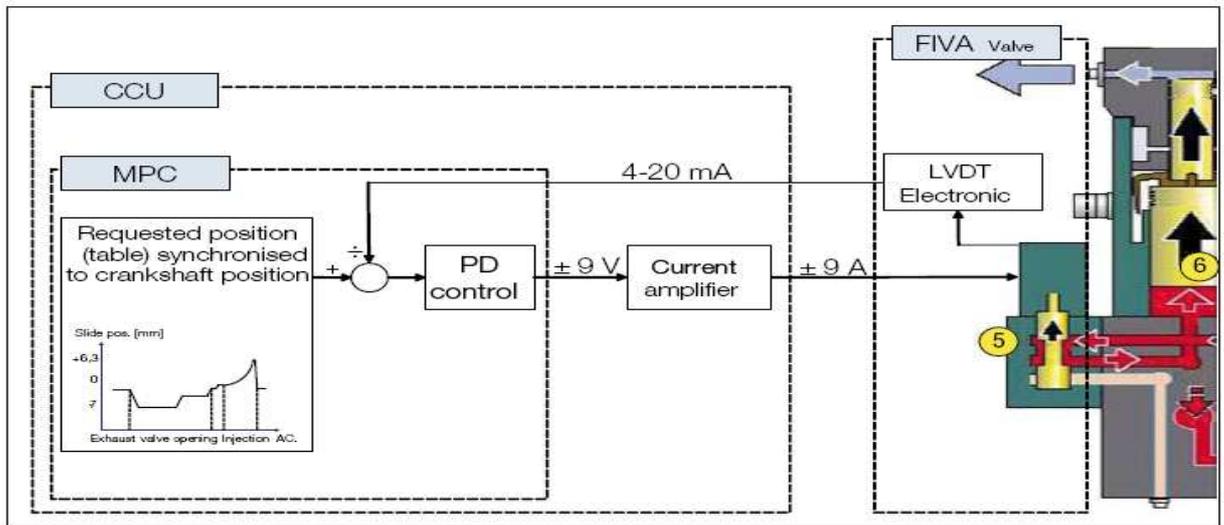


Figura N° 106.

Se ha aplicado conceptos de reingeniería en algunos casos, tales como actuadores y válvulas, ya que por principios de funcionamientos existieron variables físicas que tuvieron una diferencial numérica muy alta en realidad, la cual discrepaba y que no se considero. En algunas válvulas de escape, para inyección de tipo ELVA-ELFI y FIVA. En algunos casos se hizo reemplazo de la PCB, debido a inestabilidad térmica, también se hizo recambio de reguladores térmicos. A continuación se muestra las PCB electrónicas que han sido modificadas debido a deficiencias en el diseño térmico.

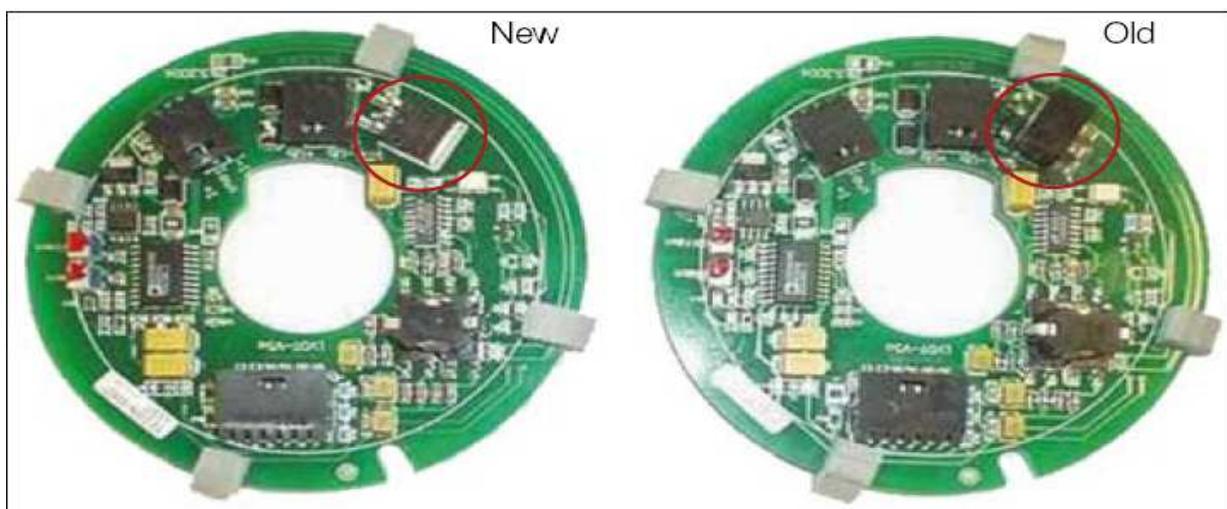
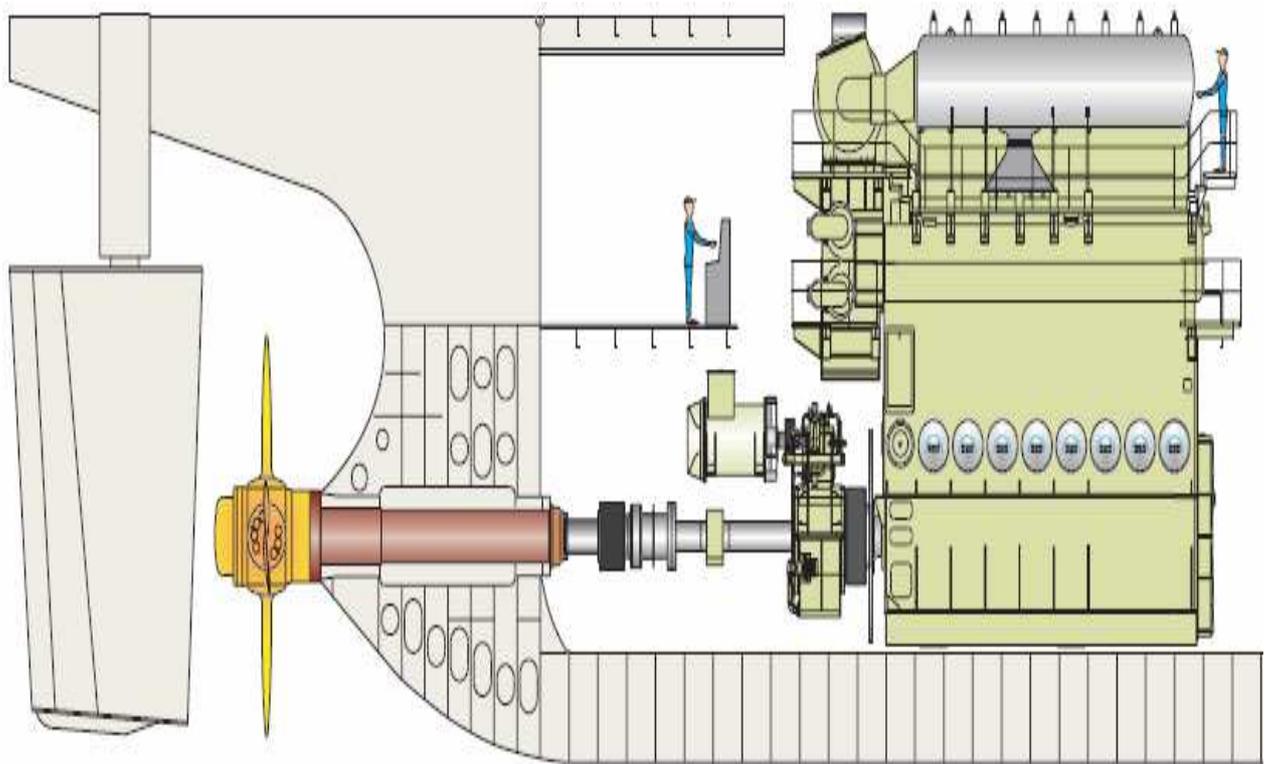


Figura N° 107.

La figura N° 107, muestra una circunferencia roja, la cual marca la componente electrónica que fue modificada, la cual corresponde a un regulador de tensión analógico para estructura SMD, el cual cumple la función de reducir la tensión y estabilizar el rango DC para el funcionamiento de los microcontroladores que posee el actuador.

5.3.8 Sistemas tecnológicos para control propulsivo de la máquina principal.

Como se ha detallado anteriormente, la máquina principal es primordial en un buque, y que esta puede ser de tipo convencional de tipo MC como también tecnológica de tipo MEC. Debido las magnitudes de carga y al volumen de la nave, la elección de máquinas a combustión, se hace muy frecuente a la hora de optar por un diseño que mezcle la calidad de transporte versus la economía. En los puntos anteriores, solo se ha detallado el sistema de control y monitoreo de la máquina principal. En este punto se hablará de los sistemas para controlar la propulsión de la nave, es decir la instrumentación y las interfaces que se utilizan para su dominio desde la sala de control como desde el puente de gobierno. También cabe mencionar que la mayoría de las máquinas principales poseen un sistema de gobierno de emergencia, el cual esta situado in situ en la máquina principal, este sistema es el último recurso, en caso de falla general en los sistemas de control. En particular los sistemas modernos, poseen muchos recursos auxiliares, como también alarmas asociadas a perdidas de enlace, fallas y otros. Los sistemas de control no han cambiado tan solo en lo físico, también lo han hecho en los equipamientos de propulsión, control y maniobras. Hoy en día muchos sistemas pre-neumáticos han sido sustituidos por sistemas netamente electrónicos el uso de sistemas redundantes es una necesidad más que obligación. La siguiente figura N° 108, esboza la idea de control por parte de ALPHATRONIC, una empresa de apoyo tecnológico para control de máquinas de varias líneas como HYUNDAI y MAN B & W.



Two-stroke propulsion package (8S50MC-C engine, tunnel gear, VBS1680 propeller)

Figura N° 108.

Los sistemas de control electrónico, incluyen componentes tales como:

- Panel de Gobierno para sistema remoto en puente de gobierno.
- Panel de gobierno central para sistema local en sala de control.
- Tablero principal procesador de datos general para la sincronización e interfaz.
- Propeller servo electronic, sistema de lazo cerrado con indicadores LCD.

La siguiente figura N° 109, resume las componentes y sus interconexiones para su funcionamiento en bloques.

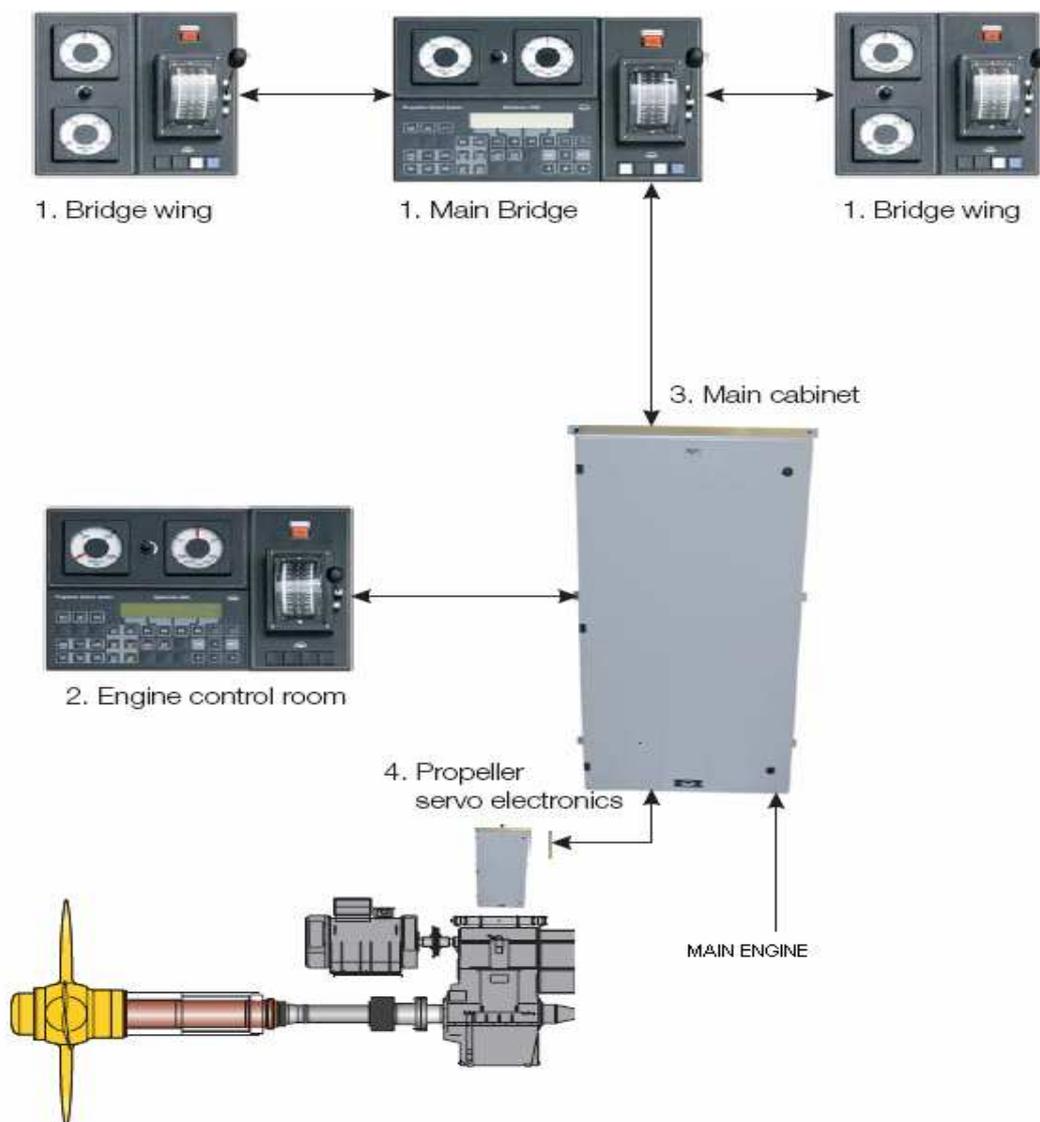


Figura N° 109.

Los paneles de maniobras son equipados con la flexibilidad necesaria para el control de la velocidad de la propulsión, paso y potencia. Los dispositivos de mando en el puente son uno principal en el centro y otro en el ECR, los cuales son interconectados al sistema unificado por medio del panel principal. Dependiendo de la modalidad usada es posible programar las

condiciones de propulsión, paso y potencia, para su dependencia autónoma. En el caso de la velocidad, una señal eléctrica es transmitida desde PCS del gabinete principal hasta el gobernador de la máquina.

En algunos casos existen máquinas con variable de dominio neumática, por lo cual la señal eléctrica es interpretada por medio de un actuador con recepción de datos analógicos, para su variación, es decir graduación o proporción tensión versus velocidad, para actuar sobre el circuito de aire. En el caso del paso (pitch) este es controlado por medio de dos válvulas solenoides comprendidas en un sistema hidráulico. La unidad de control servo para el pitch, trabaja comparando los valores de los cambios versus su respuesta y en contraste de la señal set point ajustada para el pitch. Obviamente para esta operación se utilizan transmitters de alta velocidad los cuales permiten la comunicación entre los paneles de mando y las unidades actuadoras para las válvulas y sus respectivos sensores de campo. Un transmitter realiza la toma de muestra del valor en la práctica, el otro toma la señal retroalimentada para corrección en caso que la diferencia no sea cero.

En caso de una emergencia que comprenda que el sistema de control para propulsión este fuera de servicio, existen dos posibilidades uno es la puesta y dominio manual desde la propia máquina principal a través de controles mecánicos, o la otra opción es usar el sistema de respaldo autónomo, el cual se sitúa en el puente en caso de emergencia. Este sistema es independiente del control principal, además posee un sistema de respaldo eléctrico UPS, el cual garantiza su independencia eléctrica del sistema, más todo su control que es independiente del principal. Posee un cambio de modalidad sujeto a una opción por selector de mando.

El control de carga de la máquina, es realizado por manejo de software, el cual permite mejorar la performance del consumo de combustible versus rendimiento de propulsión. El transductor de campo que se utiliza, obedece a un sistema de instrumentación que se conoce como shaft power meter, el cual entrega varios patrones tales como potencia, carga, torque, velocidad angular y frecuencia angular.

Uno de los fabricantes de este sistema es DATUM electronics, el cual posee una serie 420 shaft power meter. La forma física de esta componente se muestra a continuación.



Figura N° 110.

Su principio de funcionamiento es de tipo magnético, operando con sensores inductivos y acelerómetros los cuales, transmiten desde el estator del sistema (etapa rígida que se visualiza en la figura de arriba) hasta la fuente interpretadora de datos. Esta fuente posee salida de datos en módulo RS 485, esta salida es conectada a la entrada de datos de una interfaz la cual, permite enviar los datos hasta el control principal donde se derivan a su PC respectivo donde son interpretados sus datos mediante el software respectivo. En la siguiente figura N° 111, se puede ver la unidad que interpreta datos, que es conectada en la planta propulsora, y permite a los operadores visualizar in situ los valores variantes en el tiempo.



Figura N° 111.

5.3.9. Detalle de paneles principales para puente de gobierno.

Como mínimo el sistema debe poseer un panel de maniobras principal para el puente de gobierno, y también para la sala de control, Además debe poseer otros paneles esclavos.

El panel de instrumentación para propulsión PIP, indica la velocidad angular (RPM) y el paso de la propulsión. Estos instrumentos trabajan en forma independiente, del sistema maestro (dependiendo de shaft power meter) posee sistema de teclado matricial y pantalla LCD.

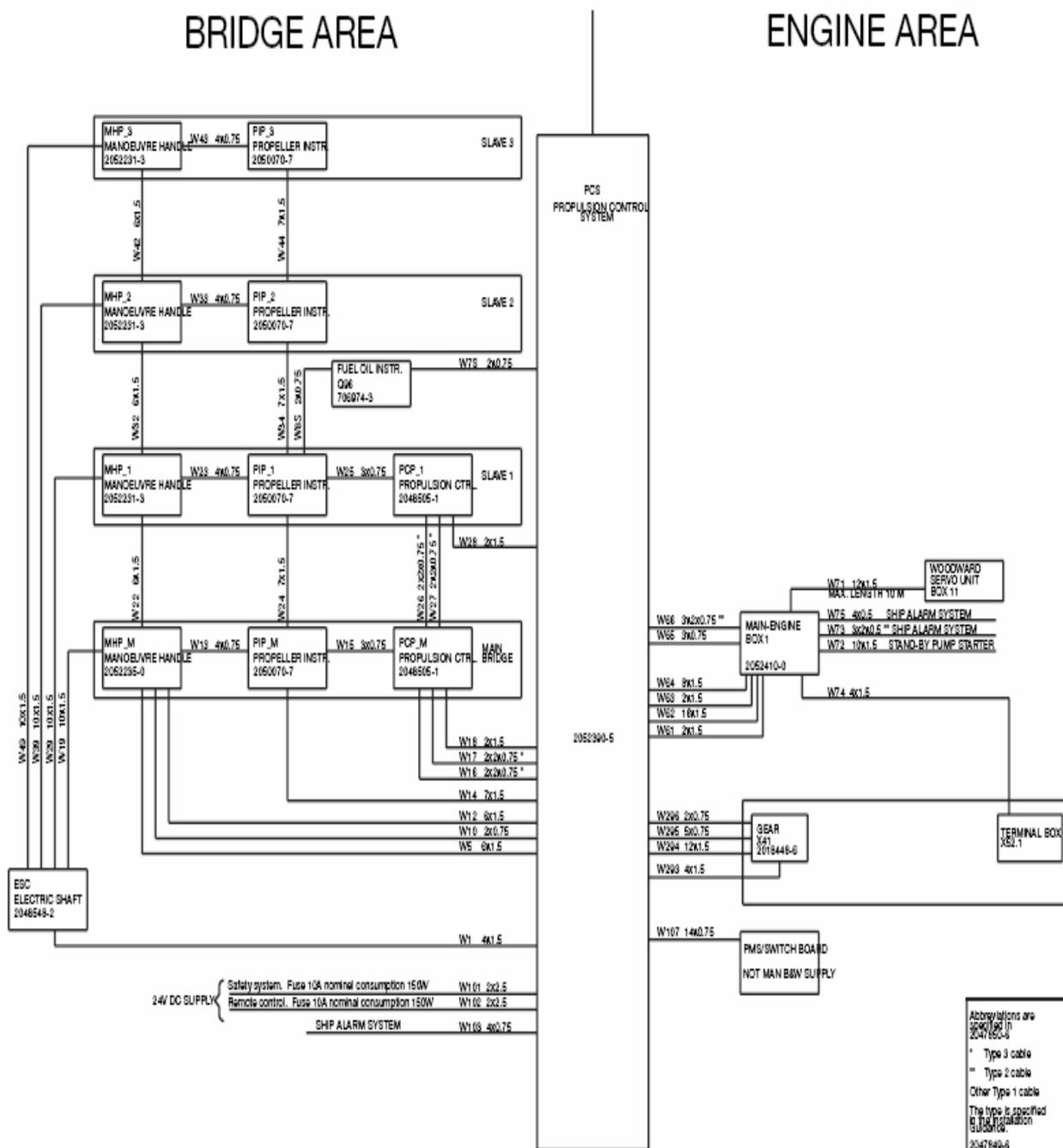
Existe otro panel llamado MHP que incorpora el control de nivel y un pulsador para parada de emergencia. También cuenta con recursos como, un pulsador para seleccionar control normal o de emergencia, una luz indicadora para dicha condición. La siguiente figura N° 112, muestra estos paneles de una perspectiva de presentación.



Figura N° 112.

Opcionalmente el ECR, es equipado con un sistema de telégrafo y un puntero adicional. El puntero adicional se encarga de mostrar la posición correspondiente al telégrafo, es decir donde esta el control de la máquina ya sea en el puente o la sala de control. La función del telégrafo es la comunicación entre el puente de gobierno y la sala de máquinas. Normalmente solo es usado en caso de problemas, el sistema de control remoto. También el telégrafo integra las funciones

de finalización con la máquina FWE y stand-by. El sistema descrito obedece a la integración de sistemas usando protocolos. Tal sistema se puede describir en forma gráfica mediante el siguiente diagrama unilineal.



El uso de protocolos de comunicación, tanto para las interfaces como para los sensores de campo y módulos para actuadores, hace necesario mencionar que en este campo los protocolos de comunicación para controladores de campo como fieldbus, modbus y otros, son muy usados y que estos se encuentran reconocidos por casas clasificadoras tales como DNV, ABS y otras. Esto se debe a que los proveedores de tecnología grandes como siemens, ABB, schenieder electric, se encuentran acreditados por las casas clasificadoras en sus respectivas divisiones marinas, promoviendo sus tecnologías por largo tiempo. A continuación se muestra la figura N° 113, donde MAN B & W aparece usando los protocolos de comunicación para el uso de sensores y otros en sus máquinas principales.

Copyright ©, 1997 MAN B&W Diesel A/S This drawing is the property of MAN B&W Diesel A/S and is to be treated as confidential by the party to whom it has been submitted by MAN B&W Diesel A/S, and is not to be disclosed to third party without the specific prior written permission of MAN B&W Diesel A/S					
Core no:	Core colour:	Conn. in: Term. no:	PCS	Conn. in: Box1 Engine	Term. no:
			Signal carried		
		SIM 1			ACS
		J4:1	MODBUS Transmitet data+	pair 1	J06:5
		J4:2	MODBUS Transmitet data -	pair 1	J06:1
		J4:3	MODBUS Received data +	pair 3	J06:4
		J4:4	MODBUS Received data -	pair 3	J06:2
		J4:5	MODBUS Ground	both wires in pair 2	J06:3
		Box	Screen		Box

Figura N° 113.

5.3.9.1. Sistema CPP (control propeller pitch).

El sistema de control CPP esta enfocado, para buques que poseen sistema de propulsión con hélice de paso variable. En muchos casos existen naves de paso fijo, por lo cual este sistema esta fuera. Muchos armadores optan por hélices de paso fijo, con la finalidad de bajar costos en el proyecto de arquitectura naval. Es evidente que este sistema de control para el paso variable de la hélice, aporta muchos beneficios al buque en navegación y maniobras.

La forma y los accesorios dependerán del tipo de máquina, ya sea de baja velocidad o media. Recordemos que para máquinas en naves cruceros la forma tanto física como de funcionamiento, es muy diferente a la máquina de baja velocidad que se usan en buques car-

carrier. En la siguiente figura N° 114, se muestra la ubicación del sistema CPP en la sala de máquinas y su relación con el eje de la máquina principal.

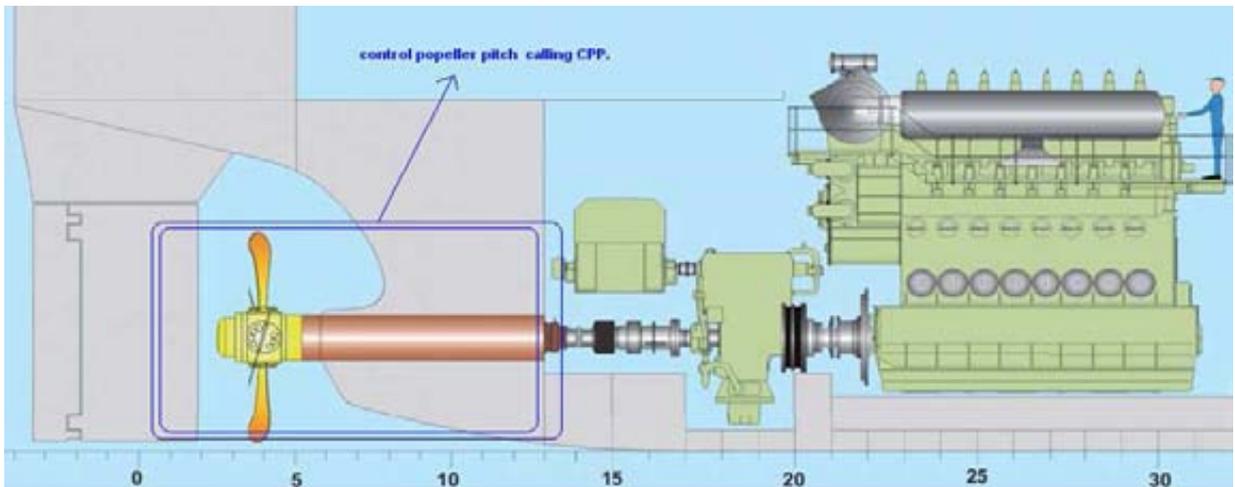


Figura N° 114.

La imagen pertenece a un sistema de equipamiento para hélice tipo VBS-ODS denominado como 8S50MC-C engine, Renk tunnel gear, VBS1680 propeller. La denominación VBS obedece a un sistema que integra un mecanismo servo motor para cambiar la posición de ataque de la hélice mejorando la calidad y rendimiento de la propulsión, en el caso ODS esta ligado a un sistema que contempla la celda multiplicadora para un generador de cola o shaft generator para el sistema eléctrico. El diseño mecánico trabaja directamente con un servo motor hidráulico para la regulación de la posición de la pala, el cual está situado en este caso en el centro o cabeza de la hélice de propulsión. También trabaja con un servo pistón integrado a un complejo sistema hidráulico unido a o-ring. El sistema de control asociado aparece vinculado a una unidad aceite para servo motor hidráulico, unidad de potencia hidráulica, sistema hidráulico ODG y lubricación VBS.

En el caso del sistema aceite servo, está constituido por dos bombas de alta presión para aceite, a la vez que es filtrado. También posee un set de válvulas para protección, retorno, ajuste de presión y un actuador eléctrico para válvula proporcional. Esta válvula, es la que permite controlar el paso en forma automática, pero también posee una opción para su operabilidad manual. La válvula permite la circulación de aceite distribuidor para el anillo, además de lubricarlo también enfría el sistema de anillos. En este sistema también se

encuentra un transductor eléctrico retroalimentado, el cual envía una señal de retroalimentación hacia la unidad de potencia hidráulica, donde es comparada con la señal set point del pitch (o paso) para su corrección en el sistema servo para el CPP. El pitch que es designado se envía a la planta de control principal, pero también es posible cambiar su valor en forma local.

La unidad de potencia hidráulica, es una estación hidráulica independiente de los sistemas de la máquina principal y sus auxiliares. En algunas construcciones se integra este sistema con el afán de economizar unidades, pero en este caso por la tecnología asociada, y su alta competencia en sistema de seguridad y característica de diseño, se hace necesaria su implementación. En la siguiente figura N° 115, se procede a mostrar la forma física de la unidad de potencia hidráulica para el sistema CPP.



Figura N° 115.

Este sistema consiste en un tanque de aceite con todos sus componentes asociados y montados en una misma plataforma. Dos bombas eléctricas impulsan la succión de aceite desde el tanque de aceite con una alta presión hacia la válvula proporcional donde se controla

su caudal y se filtra. Por diseño redundante solo una bomba se encuentra en funcionamiento y la otra permanece en stand-by. Una válvula previa permite el ajuste de presión del aceite, esta operación es constante, excepto en el cambio de paso (pitch), esto permite minimizar el consumo de potencia eléctrica por parte de la bomba. Para el caso de retorno de aceite al tanque, en este circuito de retorno se han incorporado filtros y enfriadores. También el sistema cuenta con las alarmas por excesos, caudal, presión y temperatura, acorde a las exigencias de las casas clasificadoras. La siguiente figura N° 116, muestra una representación del módulo de funcionamiento del CPP y sus unidades asociadas.

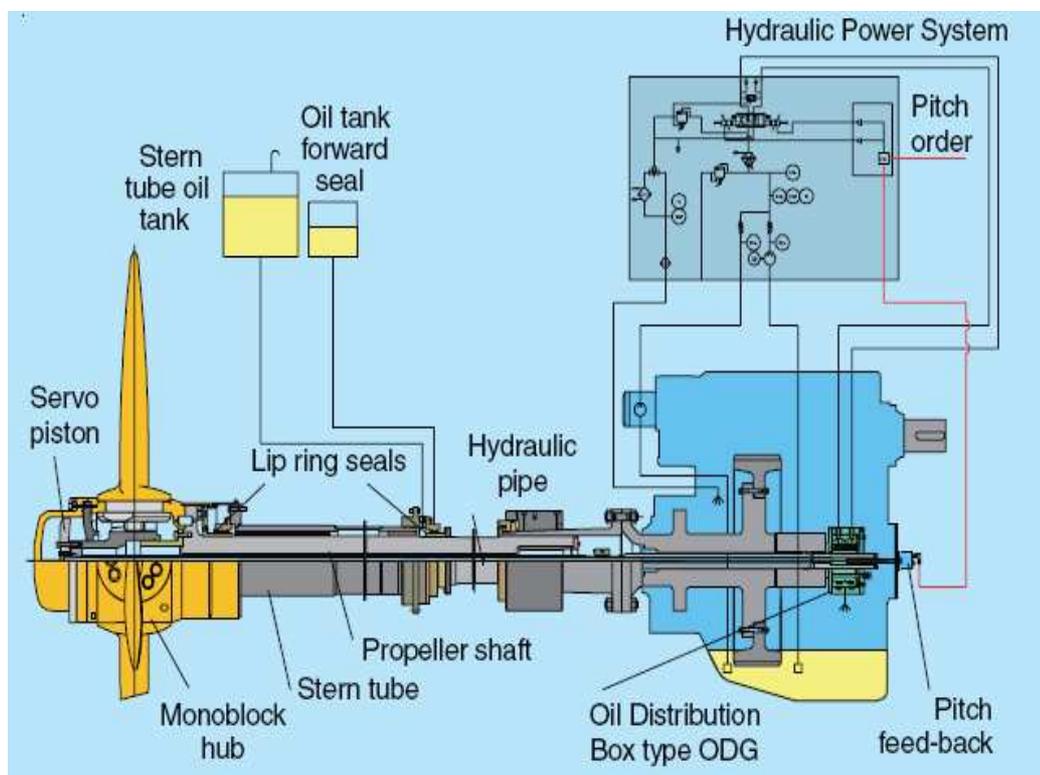


Figura N° 116.

Existe toda una ingeniería asociada al cálculo de hélice para propulsión y toberas. Hoy en día mediante el uso de software es posible mediante métodos iterativos que son reflejados mediante software numérico, facilita la decisión de la tobera y hélice necesaria para el modelamiento. A continuación se muestra un calculo proyectado por MAN B & W.

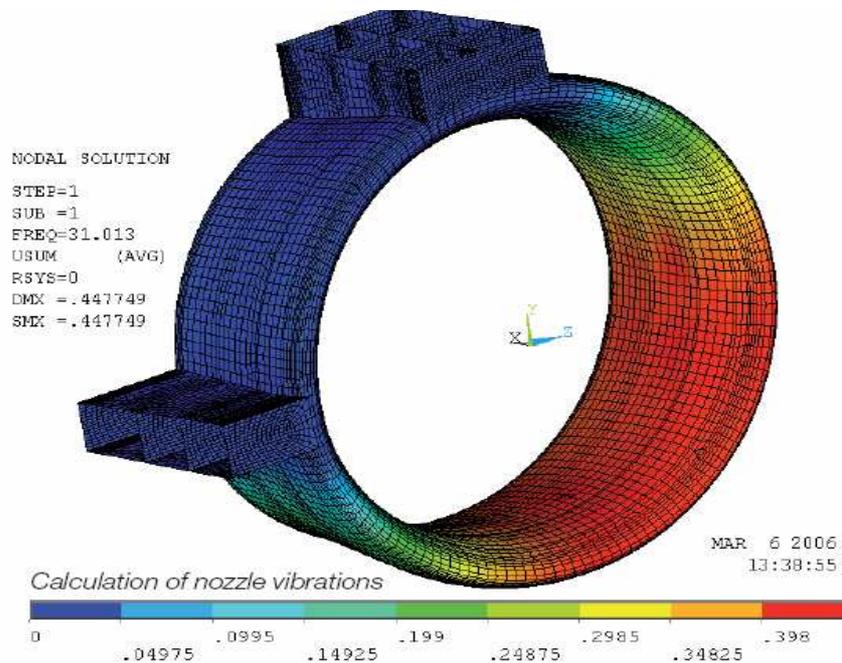


Figura N° 117.

5.4. Propulsión Eléctrica.

El modelamiento eléctrico para proyectos navales, hoy en día, es la tecnología mas avanzada que existe. Las aplicaciones de estas han irrumpido en un principio para naves cruceros, LNG, Big container y embarcaciones de guerra. Sus ventajas sobre el prototipo convencional a base de máquinas mecánicas, posee amplias ventajas, tales como el ahorro considerable de combustible, mínima emisión de gases, sistema asociado a feed-back con shaft - generator, para ciclo cerrado en navegación (autonomía eléctrica 97%), baja contaminación acústica y mejor calidad. En un principio las aplicaciones de este tipo de propulsión estaban enfocadas a cruceros, donde lo relevante era la velocidad, y gracias a su performance su desempeño fue notoriamente superior a las propulsiones convencionales. Con los años la ingeniería eléctrica con aplicaciones navales, fue tomando ventaja, gracias a los avances científicos con aplicaciones ingenieriles. Esto también se unió al amplio avance de la ingeniería electrónica que aportaba el control sistemático de las unidades, lo cual les permitía volverse confiables, seguras y muy rentables. Con los años y el desarrollo de motores eléctricos de alto rendimiento, con sistemas no convencionales para su enfriamiento en marcha, ha permitido las

El diseño de sistemas para navegación tomando en cuenta la ingeniería eléctrica y electrónica para su implementación reúne las componentes que se muestran a continuación.



Figura N° 118.

Las componentes más relevantes se detallan sobre el sistema de propulsión, dado que la planta de generación que en este caso es diésel, no concierne mayor relevancia. No obstante en algunos casos, esta planta generadora es mixta, ya que el empleo de generadores diésel se realiza solo en puerto, pero en full navegación, se inicia la conmutación de sistema eléctrico, ya que se opta por el uso de los shaft generator power, los cuales generan electricidad, para este caso, la energía pasa por medio de una interfaz que es un convertidor de frecuencia, luego por un transformador para propulsión y finalmente llega a la carga, constituida por un motor eléctrico sincrónico. El sistema eléctrico de fuerza es el mismo que se ha hablado, salvo el empleo de conmutadores de potencia. La base de funcionamiento de la propulsión eléctrica, esta ligada a los convertidores de potencia.

5.4.1. Convertidores de potencia eléctrica avanzados.

El alma de esta tecnología reside en la electrónica de potencia y el control de una topología llamada *AC-link™* power converter. Este sistema es ideal para plantas generadoras y cargas eléctricas constituidas por motores de imanes permanentes PM. El convertidor de potencia consiste en un principio en un cambiador de frecuencia Ac – Ac, que posee un filtro pasa bajo trifásico. La frecuencia de corte es seleccionada para reducir el ripple causado por sobre-cargas de energía. El filtro es de tipo LC y posee un modelamiento π en la salida. Los capacitores están conectados en delta. El diagrama de circuitería, es el que se muestra a continuación.

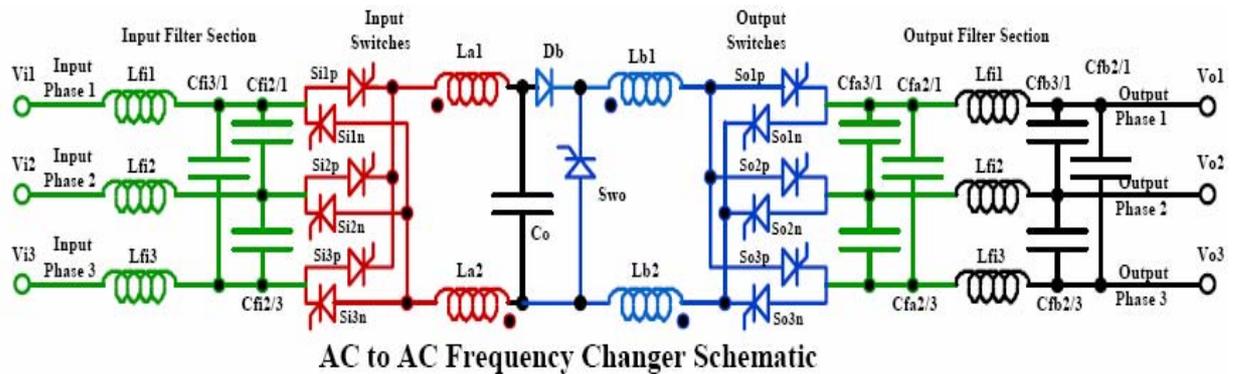
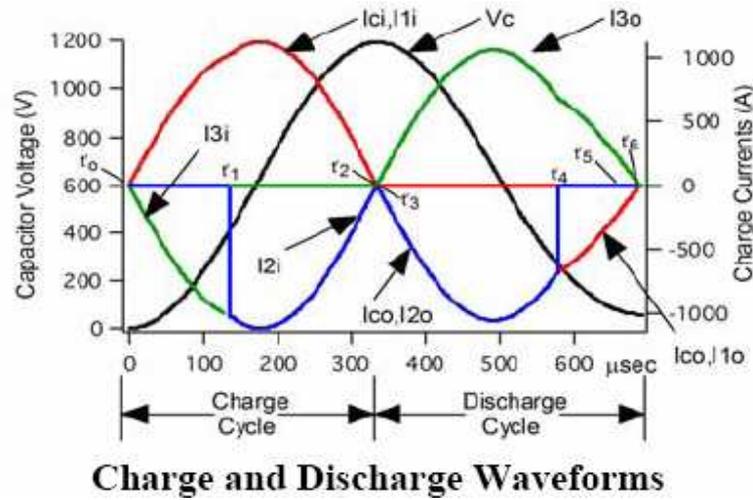


Figura N° 119.

En la figura N° 119, se aprecia, que la potencia fluye desde la izquierda hacia la derecha. En la entrada la sección de carga esta compuesta por seis tiristores y dos inductancias La1 y La2. La función general de los tiristores, es controlar la transferencia de carga entre la entrada y el capacitor Co, el cual acumula energía por su propiedad de almacenamiento $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$.

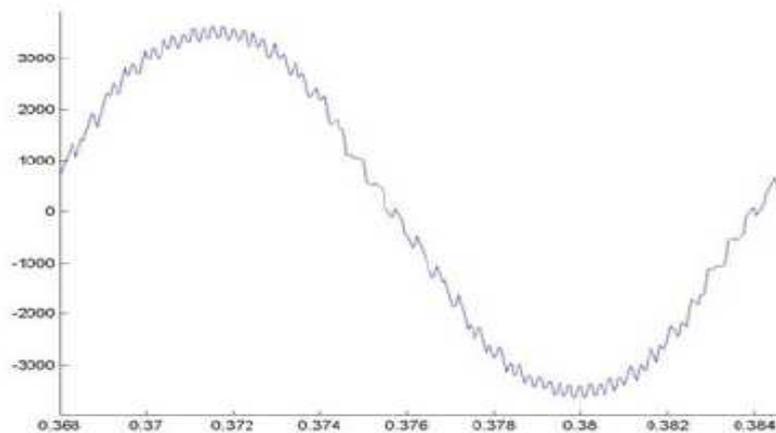
Los seis tiristores ubicados en la etapa de salida, cumplen la función de controlar la energía entregada por C0 hacia la etapa de salida. Las inductancias y capacitores cumplen la función de evitar el ripple a la salida que pudiesen deformar la onda de salida, también evita la frecuencia de armónicos. La respuesta de salida se observa en la siguiente gráfica de tensión en el tiempo.



Un valor arbitrario de tensión en la entrada respecto al punto de referencia neutro aislado muestra la siguiente expresión.

$$V_{i1-n} = \left(\sqrt{2} 480 / \sqrt{3} \right) \sin(80^\circ) \text{ V} . \text{ With a } 480\text{V}$$

A diversas posiciones angulares la tensión varía y cruza por cero cambiando de valor entre su magnitud, es por eso que al aplicar la diferencia de tensión entre las líneas el promedio al valor máximo llega a 520 – 690 V. Para el caso de la distorsión armónica THD, esta es muy baja y llega a valores prácticos 1,95 % lo cual es muy favorable, la reconstrucción de la forma de onda de la salida se puede observar a continuación.



El diagrama de control y potencia eléctrica se muestra a continuación. Este diagrama se expresa en bloques y esta determinado por el uso de DSP y FPGA. Por otro lado también se utilizan módulos SCR y otros tiristores de potencia.

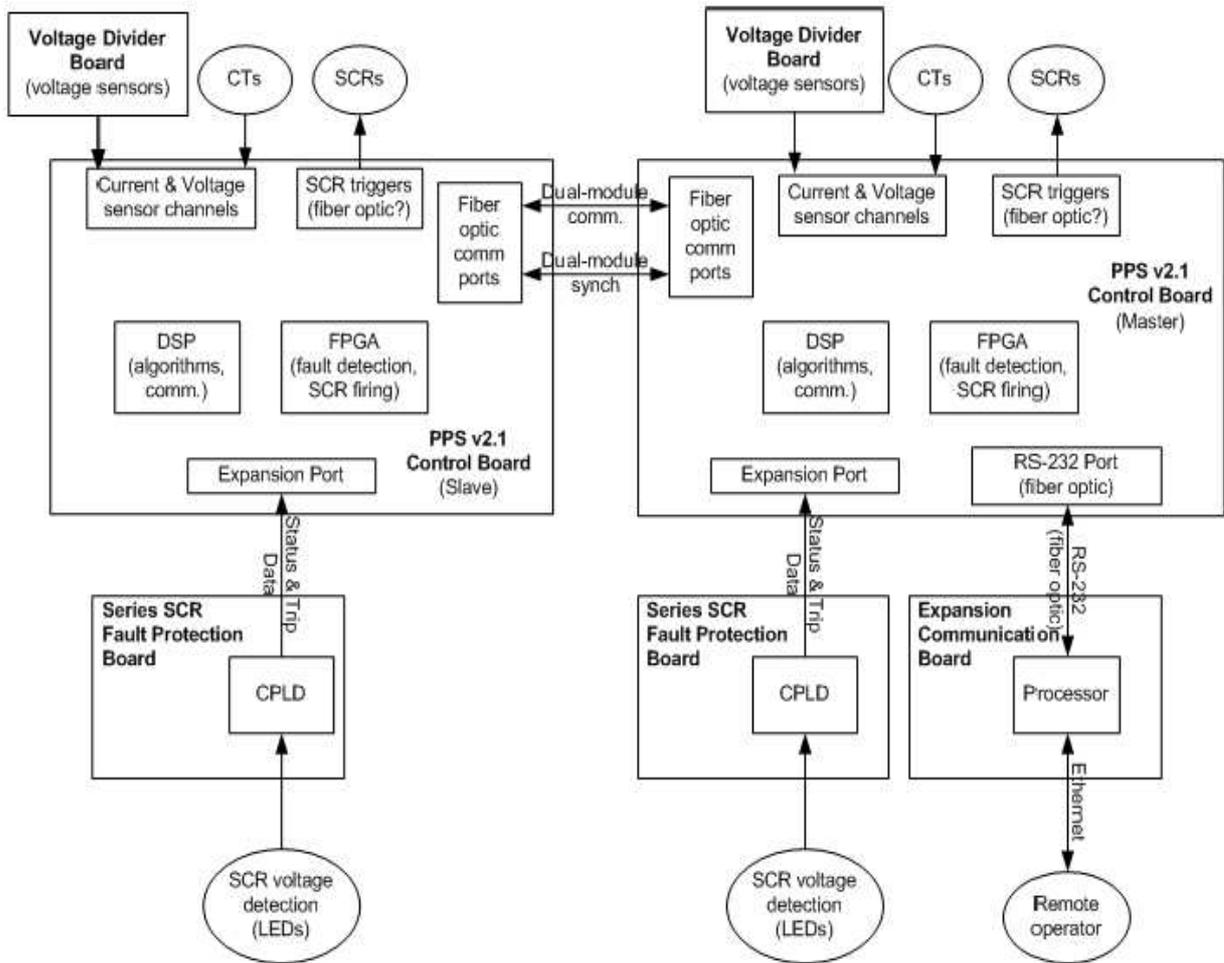


Figura N° 120.

El módulo es conocido como PGM (módulo general de potencia), sus prestaciones de servicio se usa para potencias de 6, 12, 15, 20, 25 y 27 MW. Existen bastantes modelamientos híbridos los cuales se aplican hoy en día, mediante el uso de vapor, gas, y otros. En la actualidad no existen buques car- carrier con propulsión eléctrica funcionando a full. En un futuro no muy lejano se espera que la propulsión eléctrica, sea la fuente de propulsión debido a

sus múltiples beneficios y ahorro en combustible, además debido a la inestabilidad del mercado del crudo, esta propulsión aparece como la alternativa efectiva y real para poder desplazar en poco tiempo la propulsión convencional que predomina actualmente en el mercado.

5.4.2. Concepto UMS en las naves car-carrier.

El concepto UMS (unattended machinery space), que significa espacio de maquinarias desatendida. Es un concepto que lleva muchos años ya en el mercado. Básicamente esta orientado a las guardias que se realizan en la sala de máquinas. En modelamientos antiguos, se hacia obligatorio, que el ingeniero de guardia y su ayudante, realicen la guardia in situ, con la finalidad de evitar accidentes o prevenir emergencias, ya que existía un bajo control de sistemas. En la actualidad esto ya no se realiza, ya que la tecnología asociada a este tipo de máquinas permite descansar sobre el sistema de automatismo existente, la derivación de alarmas a puntos tales como comedores, acomodaciones y puente, dan garantía de la funcionalidad, lo cual antes no era posible. Actualmente desde las máquinas tipo MC, ME y MEC, este concepto esta asociado por naturaleza y permite un trabajo más cómodo y confiable a los operadores.

5.4.3. Unidad Controladora EPC-41/400 para sistemas de separadores centrífugos tipo HFO.

En el caso de la propulsión clásica o convencional a combustión interna, el circuito de alimentación de combustible Fuel, es primordial. En este caso el heavy fuel oil, conocido como bunker pasa a través de un sistema de purificación, el cual esta asociado a todo un sistema que reúne temperatura, agua y movimiento circular. Todo esto converge a los separadores centrífugos. Estas unidades partieron muy clásicas controladas, por elementos electromecánicos. Hoy en día esas unidades están obsoletas, dando paso a la ingeniería electrónica, cuya minimización de sistema e integración de nuevas herramientas, permite un mejor manejo, operación y proceso final del sistema, con una alta performance.

Uno de los fabricantes mas reconocidos en esta área es ALFA LAVAL, el cual ha desarrollado numerosos desarrollos para separadores WHPX, HFO, LO y FOPX. Con el tiempo

y la llegada de la electrónica digital y programable, permite una mejor respuesta para controlar las unidades analógicas antes existentes.

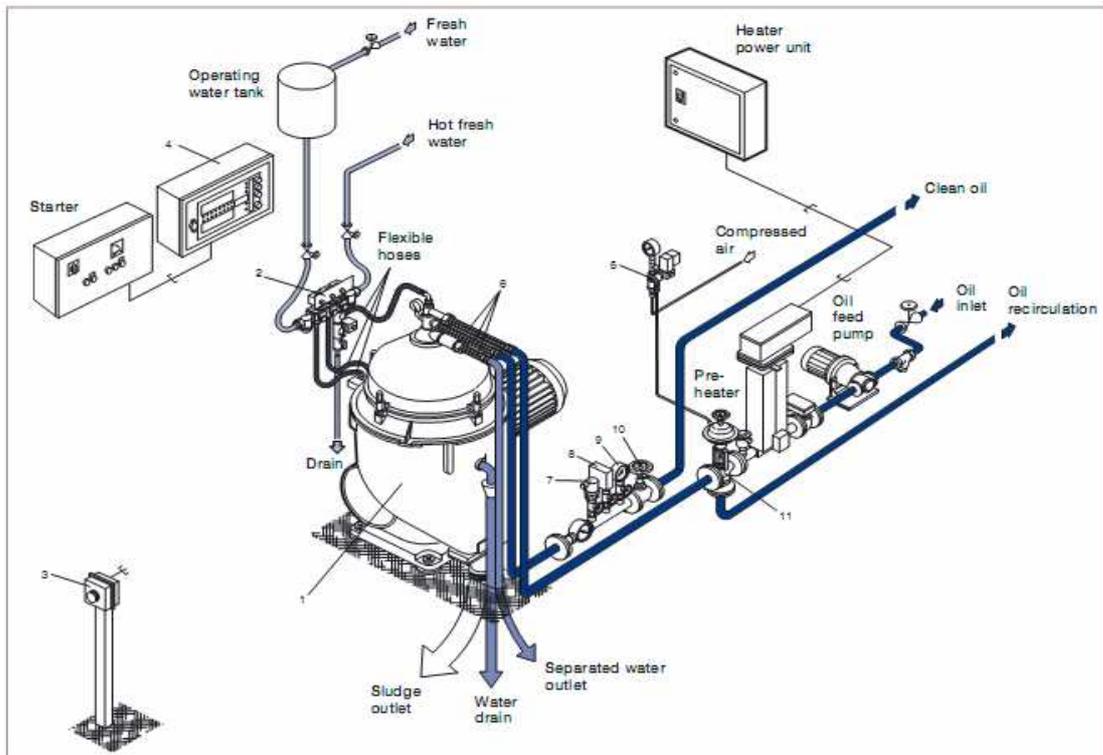
La unidad EPC-41 y EPC-400, están diseñadas para monitorear y controlar los procesos ligados a la purificación de combustible. El proceso de monitorización es realizado a través de señales de entrada, entregadas por sensores de presión, temperatura y otros ubicados en el sistema separador.

Esta Unidad Controladora puede ser usada en diferentes tipos de sistemas separadores. Para ello debe ser programada, según el tipo de separador que se emplee. Ingresando los parámetros necesarios para el funcionamiento del sistema separador, tales como, temperatura de funcionamiento, tiempos, etc. (además el fabricante posee memorias de tipo no volátil con grabación por UV tipo EPROM las cuales poseen códigos únicos para cada separador, esta se inserta en la MOTHERBOARD de la unidad)

La Unidad EPC-41 posee un controlador PI, para el control de la temperatura deseada en la operación del Alfa Laval Heatpac (Calentador eléctrico) o un calentador a vapor, o cualquiera otro tipo de calentador con control de válvulas.

En el caso del controlador EPC-41(Electronic Programmer Controller) que se encuentra disponible en el mercado desde el año 2000, esta constituido por defecto para ser empleado en el sistema separador WHPX, el cual es un Sistema Separador de Aceite, por ende no viene acondicionado para trabajar con un transductor de agua como el WT-100 o WT-200. El transductor WT-100/200, es el que se emplea para detectar agua en la salida del sludge, logrando de esta forma resultados mas óptimos y con de menos impurezas en la salida. En un principio el sistema separador, trabajaba con unidades de segunda generación tales como las unidades MARST I y EPC-30.

En la figura N° 121, muestra un esquema típico de un Sistema Separador de Aceite.



En la figura N° 121, se aprecia que en la salida de aceite purificado, no existe el WT-100/200 el cual debe muestrear la cantidad de agua que esta mezclada con el producto de salida.

ALFA LAVAL actualmente se dedica a promover sus nuevos modelos compactos, los cuales están listos para instalación, están provistos con todos los elementos que se observan en la figura, más el espacio físico. En caso de compra de sus unidades compactas, el mismo proveedor se encarga de la etapa de ensamblado a bordo de la nave donde se desea instalar este sistema. Actualmente en casos muy específicos se realiza la venta de partes específicas para la unidad compacta. Posee modelamientos tanto para separadores tipo WHPX, FOPX, LO y HFO.

5.4.4. SAU (Separator Ancillary Unit).

Para el control de unidades tipo HFO y FOPX se utiliza la unidad EPC 400, la cual forma parte de las new technology SAU (Separator Ancillary Unit). La unidad EPC-400 es un control electrónico diseñado especialmente para ser empleada en Sistemas Separadores de Petróleo,

aceité, otros. Esta unidad responde a las necesidades requeridas a bordo (sistema separador FOPX).

EL SAU, es una unidad compacta, la cual contiene todo el equipo básico requerido para el Sistema Separador Centrifugo. Aunque el sistema SAU es muy compacto, ha sido diseñado para que sea de fácil instalación, operación y mantención.

Entre las características y beneficios del sistema SAU se destacan:

- Diseño pequeño y compacto, fácil de operar y de mantener, gracias a una laboriosa planificación en su diseño.
- Una alta calidad en sus componentes, previamente testeados, con respecto a su función y a las características del modelo previo.
- Se minimiza el tiempo y el dinero que el cliente necesita invertir en:
 - Implementación de Sistema Separador.
 - Instalación Mecánica y Eléctrica, de los Sistemas Separadores.
 - Optimización en las condiciones de Operación.

La unidad SAU comprende los siguientes componentes:

- EPC 400 control unit
- Water transducer type WT 200



- (not for MOPX)
- Flow indicator
- High pressure switch
- Low pressure switch
- Regulating valve
- Pneumatic 3-way valve
- Solenoid valve block, water
- Solenoid valve block, air
- Pressure gauge
- Thermometer
- Flexible hoses (not on frame)
- Emergency stop push-button
- (not on frame)
- Starter (optional)

Actualmente se recomienda la unidad SAU y la unidad controladora EPC - 400, pero tal vez por motivos de costos o de reemplazo de unidades, es factible el empleo de solo la unidad de control EPC-400. Esta unidad es muy compleja y permite su conversión para diversas aplicaciones con separadores, gracias al empleo de microcontroladores marca ATMEL y memorias EPROM, los cuales se pueden desmontar de sus zócalos para ser reemplazados por otros circuitos programables, los cuales están cargados con código para que la unidad controladora se desempeñe como otro tipo de separador (WHPX, LO, FOPX, HFO).

En la siguiente figura N° 122, se muestra los terminales en donde se conecta el Transductor WT 100/200, los terminales son el 1, 2, 3 ,4 y corresponde al XE de la unidad de control mencionada.

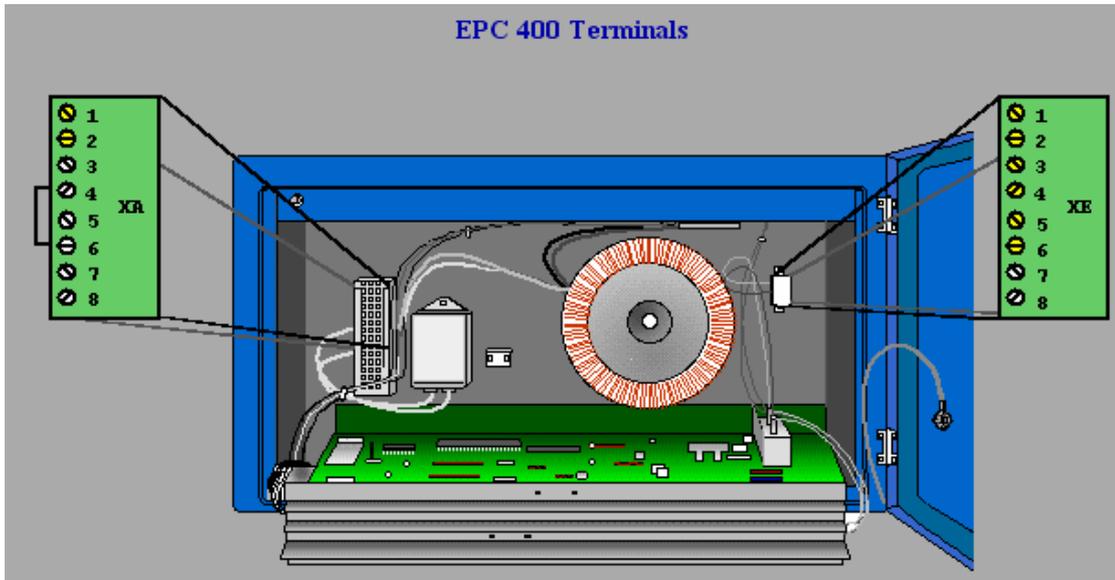


Figura N° 122.

En la figura N° 123, se muestra físicamente el transductor WT 200. Este transductor hace posible la detección de agua en la salida del proceso de separación de los fluidos. Con esto se logra que el producto de salida este libre de impurezas con una fiabilidad muy alta, para poder ser almacenado en el estanque de servicio, libre de agentes.

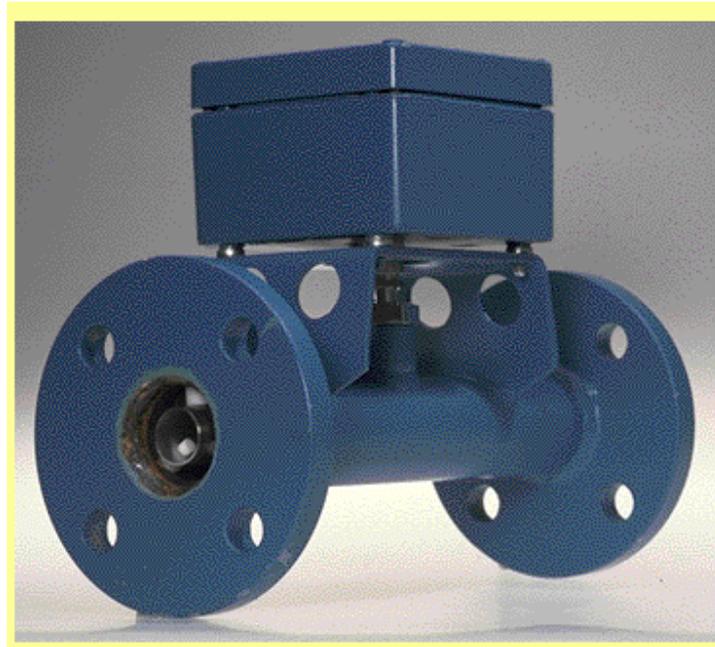


Figura N° 123.

5.4.5. Detalle de una experiencia realizada con una unidad EPC - 41.

Detalle Operativo de la prueba.

La unidad empleada fue la EPC-41, la cual se le realizaron pruebas en vacío o simulando las componentes periféricas como sensores y actuadores eléctricos, por medio de switch, potenciómetros y otros. En el caso de las componentes PT100 estas fueron conectadas al panel a sus respectivas entradas analógicas (todas con conversor A/D), y mediante un calibrador, se ajustaron sus valores térmicos a los valores SETTING para la prueba efectuada.

La primera interrogante surgió al momento de interpretar las alarmas, ya que con la mínima información que se poseía en ese momento no se lograron evidenciar e interpretar estas, pero gracias al uso de Internet se lograron descargar manuales y otros apoyos para la programación y comprensión del proceso y acción de la unidad inteligente.

La tensión de alimentación se encuentra en el siguiente intervalo:

- 24-48 VAC (RMS) forma de onda sinusoidal.

Las entradas más relevantes del sistema fueron:

- Parada de emergencia.
- Low pressure
- Hight pressure.
- TT2 (uso de pt100).
- TT1 (uso de pt100).
- XS2.
- XS1.
- Señales remotas.
- HEATPAC controlado por panel EPC-41, solo tomado en cuenta como puntos de control libre de potencial.

La siguiente figura N° 124, muestra por inspección de lo expuesto antes.



Figura N° 124.

El segundo paso de esta experiencia fue energizar el sistema, una vez realizado este punto se procedió a programar la unidad EPC-41 con patrones básicos para poder observar su comportamiento, para ello se debió realizar el siguiente protocolo:

Ítem 1.

- El SW1 se debió llevar a la posición programar.
- En esta posición, se programó, los parámetros específicos por lo cual se debió llegar a la dirección de -display : C2 12.
- El button 1 se hace variar el valor de los 2 display de la izquierda (por defecto aparece prog.).
- El button 2 realiza lo mismo que el button 1 pero en sentido descendente.
- El button 3 permite variar los display del lado derecho (12).
- En este ítem se cambian los parámetros desde el número 20 hasta el 90.

Una vez establecidos todos los cambios, pulse button 1 y lleve SW1 a la posición L (local) y de esta forma se guardarán los cambios efectuados.

Ítem 2.

- El SW1 se debió llevar a la posición programar.
- Lo primero fue programar parámetros específicos por lo cual se debió llegar a la dirección de display: C1 12.
- Con el button1 se hace variar el valor de los 2 display de la izquierda (por defecto aparece prog.).
- El button2 realiza lo mismo que el button1 pero en sentido descendente.
- El button3 permite variar los display del lado derecho (12).
- En este ítem se cambian los parámetros desde el número 1 hasta el 19.

Una vez establecidos todos los cambios, se procede a pulsar el button 1 y a llevar SW1 a la posición L (local) y de esta forma se guardarán los cambios efectuados.

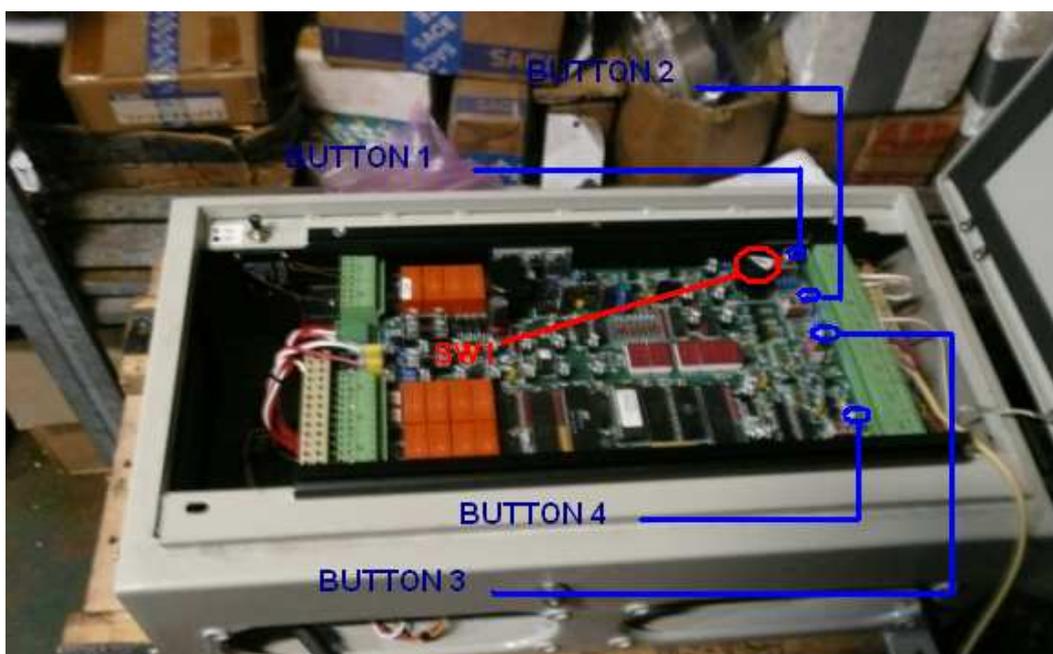


Figura N° 125.

En estos ítem los puntos más importantes son el cambio del valor de trabajo de frecuencia eléctrica (cambiar por 60Hz en este caso) de no ser así, aparece la alarma A4--2.

Luego se procedió hacer correr el programa, por lo cual se llevo el Sw1 a la posición L (local), inmediatamente aparece en el display OFF. Posteriormente el RUN del programa se logra pulsando 1a 2 segundos button2. luego apareció un destello y estado permanente de un LED verde el cual indica que el programa esta corriendo, con el buton1 se puede encender el HEATPAC, pero para este caso no es relevante dada las características de la prueba. Al pulsar el button 4, puede tener acceso a visualizar como se van cumpliendo los parámetros acorde a sus valores y visualizar como trabajan los actuadores eléctricos, gracias a los LED verdes que se encuentran en el panel frontal lado izquierdo segunda fila.

Como un detalle se debe considerar la alarma A9 --- 2, la cual corresponde a falla de baja presión que por defecto tiene esa entrada como circuito cerrado, para esto debe abrir al inicio, lo cual es bastante lógico si piensa desde el punto de vista del sistema implementado (el cual se va ejecutando secuencialmente en la practica). Una vez que arranca el sistema debe volver a cerrar esa entrada, o hacerlo cuando se encienda el LED rojo, el cual indica falla en PS42, este LED esta ubicado en el lado izquierdo en la primera fila última columna.

Las diferencias entre las unidades EPC 400 y 41, radican en las entrada y dominio de un transductor de capacitancia (el transductor funciona mediante la variación del dieléctrico capacitivo, quien hace variar la capacitancia y esto al final se transmite como un tren de pulso a diferentes frecuencias, gracias al módulo oscilatorio que posee la unidad WT-200), además posee control sobre un sensor de agua que esta instalado en el separador mismo, estas son características propias de la unidad EPC 400.

5.4.6. Sistema de control automático PID AMOT para control de temperatura agua de chaqueta.

5.4.6.1. Descripción de sistema PID AMOT.

Todo control de proceso de lazo cerrado, esta diseñado para manipular una variable física, de acuerdo a un valor fijado con anterioridad, es decir un setpoint, tomando en cuenta la

respuesta obtenida directamente de la salida del sistema gracias a sensores o transductores, los cuales mediante el valor obtenido, es comparado con el valor referencial, y en base al error que pueda existir, el sistema de control determina como actuar en la salida para variar la respuesta y de esta forma acercarse, en forma mucho mas precisa al valor nominal que se requiere a la salida. Eso representa el concepto de control retroalimentado, el cual es muy común en el campo industrial, y de los sistemas. En el caso de la temperatura de agua chaqueta, en muchos buques con máquinas principales convencionales, el uso de el sistema de control retroalimentado es muy común. Pero a su vez este sistema posee una gran desventaja, ya que cuando una perturbación existe a la salida del sistema, la respuesta sobre esta no es de inmediato, por lo cual existe un margen de tiempo en donde el sistema debe corregir la desviación provocada. Este tiempo debe tender a cero, pero en sistemas reales, esto no es posible, e incluso de predecir un cambio tan brusco, el cual descontrola inmediatamente el sistema. Por lo tanto los módulos como actuadores y los protocolos de comunicación deben ser bastante rápidos para poder adquirir la información y actuar sobre la variable, así como también la unidad de control debe cumplir con la característica de procesar rápidamente los cambios. En el concepto de control se agrega otra característica, la cual esta ligada en la forma de operar sobre la variable física es decir:

- ON / OFF o discreto.
- Proporcional analógico-digital.
-

En el caso de variables como temperatura y presión. Idealmente se hace necesario un control proporcional el cual vaya actuando a medida de la magnitud del cambio físico en la salida, es decir para cambios grandes y bruscos, se requiere un modo de operación amplio y rápido, pero en caso de pequeños cambios, una operación mínima acorde al cambio, con la finalidad de no alterar el proceso.

Para el caso de aplicaciones en la temperatura de agua de chaqueta, el sistema de control de lazo cerrado se caracteriza por detectar la variación o el error de la variable a manipular, mediante la diferencia entre el set point y la medida tomada a la salida del lazo, en este caso es mediante una Pt100, la cual través de la variación resistiva permiten tener un valor de temperatura. La variación es producida por perturbaciones de la variable, por causas netamente físicas o mecánicas en la Main Engine.

En la figura N° 126, se muestra en diagrama en bloques característico de un sistema de control de Lazo Cerrado.

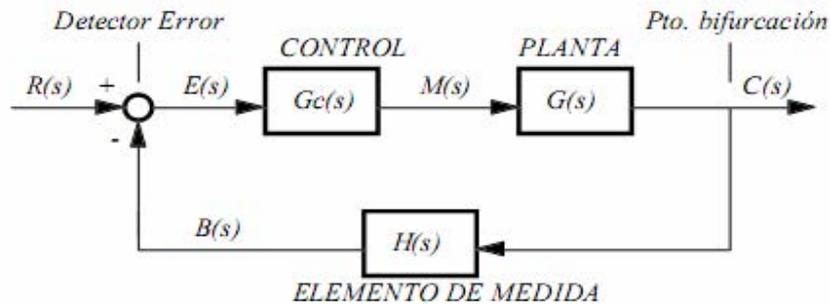


Figura N° 126.

En el caso del Amot Controls 8071C, unidad tipo PID, es decir, control proporcional integral derivativo. El modo de funcionamiento se centra en generar una señal como resultado de la combinación de la acción proporcional, la acción integral y la derivativa conjuntamente.

El controlador proporcional, se caracteriza por generar a la salida del lazo cerrado una señal de control que es proporcional a la señal de error.

De este modo: $m(t) = k \cdot e(t) \Rightarrow M(s) = k \cdot E(s)$ donde, $e(t)$: señal de error, $m(t)$: señal de control y k : sensibilidad proporcional o ganancia proporcional.

El control integral genera una señal de control que es función de la propia 'historia' de la señal de error, permitiendo obtener una señal de control diferente de cero a pesar que la señal de error sea cero, mediante la integral de error.

De este modo:

$$m(t) = k_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \Rightarrow M(s) = \frac{k_i}{s} \cdot E(s) \quad (CI = 0)$$

Donde, T_i es el tiempo integral.

El control derivativo se caracteriza por generar una señal de control proporcional a la derivada de la señal de error, gracias a esto se conocen las características dinámicas (crecimiento o decrecimiento) produciendo una corrección antes de que la señal de error sea excesiva. Sin embargo, el control derivativo no puede utilizarse en solitario porque es incapaz de responder a una señal de error constante.

Entonces se tiene:

$$m(t) = k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \Rightarrow M(s) = k_d \cdot s \cdot E(s)$$

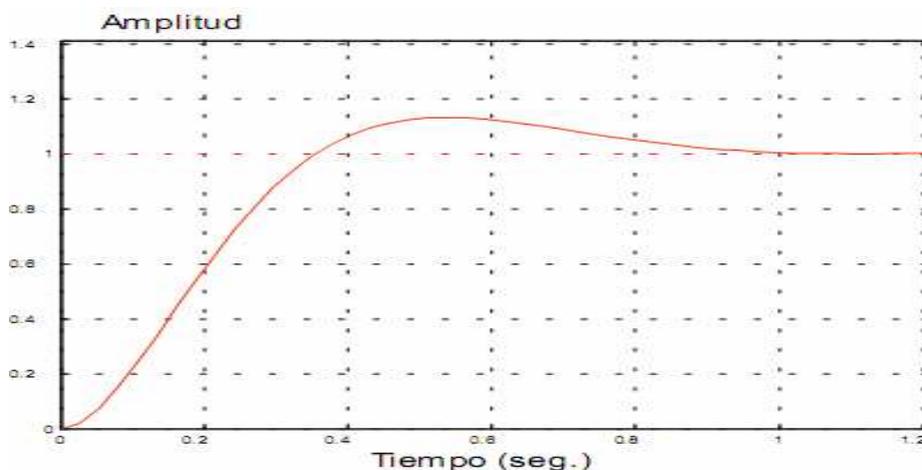
Donde, k_d es la constante derivativa.

Entonces el control PID, al juntar los tres tipos de controles mencionados anteriormente, permite eliminar el error en estado estacionario, esto se logra una buena estabilidad relativa del sistema de control. La mejora de estabilidad relativa implica una respuesta transitoria con tiempos de adquisición y un valor de máximo sobre-impulso pequeños.

Se obtiene la siguiente expresión que representa la señal de salida, en un sistema de lazo cerrado.

$$m(t) = k \cdot e(t) + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + k_i \int_0^t e(t) \cdot dt = k \cdot \left[1 + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \right]$$

En la gráfica, se muestra la curva característica a la salida de un controlador PID, en donde se fija el set-point a la unidad, se observa que el tiempo de respuesta es corto, por lo mismo el tiempo de estabilización es pequeño, esto se logra ajustando las constantes de los controles proporcionales, derivativos e integrales.



El Dispositivo controlador 8072C, es el sistema controlador que abarca al Controlador 8071C, módulos de entradas y de salidas, interfaces de comunicación. Posee las siguientes características:

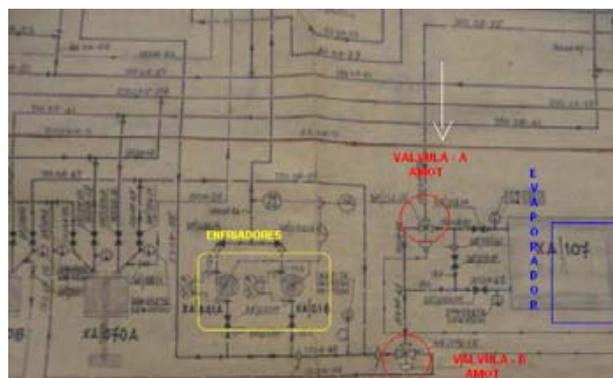
- Dos entradas análogas: para el transductor Pt100, potenciómetros de retransmisión, set-point externos para señales estándares.
- Dos entradas Lógicas: Para ingresar un segundo set-point, para ajustar parámetros.
- Cinco salidas: son tres análogas mediante relés, una lógica de 5 (V) y una lógica de 12 (V).
- Interfase Serie RS422/RS485, Modbus /Jbus protocolo.
- Alimentación entre 93-263 V AC, 48-63 Hz; 20-53.

El Amot Controls 8071C puede ser programado para controlar dos set point diferentes, pero solo puede controlar uno a la vez, de acuerdo a la configuración de hardware que se tenga.

El sistema contempla actuadores eléctricos, con dos salidas análogas, las cuales entregan un valor de 250 (VAC) y una corriente de 3 A. Estas salidas son las que energizan las válvulas Amot-G Valve de tres vías.

El Controlador 8072C tiene la característica de entregar un control on-off, al actuador eléctrico, lo cual implica que la Amot-G Valve, abre o cierra el 100%, con lo que se tiene deficiente control en la variable a manipular, en este caso la temperatura. Un control eficiente es el de tipo proporcional, donde el actuador eléctrico energizará la Amot-G Valve de acuerdo a las variaciones de temperatura, de forma que la válvula se abra o cierre en medida que sea necesario. A continuación se muestra un diagrama del sistema de enfriamiento y de control para agua de chaqueta.

Figura N° 127.



En el caso del controlador AMOT 8071C posee las siguientes características programables:

- Banda proporcional.
- Tiempo integral del sistema
- Tiempo diferencial.
- Banda muerta.
- Respuesta oscilatoria.

El diagrama característico que representa el sistema de control de la familia AMOT se muestra a continuación.

8063 Temperature Control System (Electric)

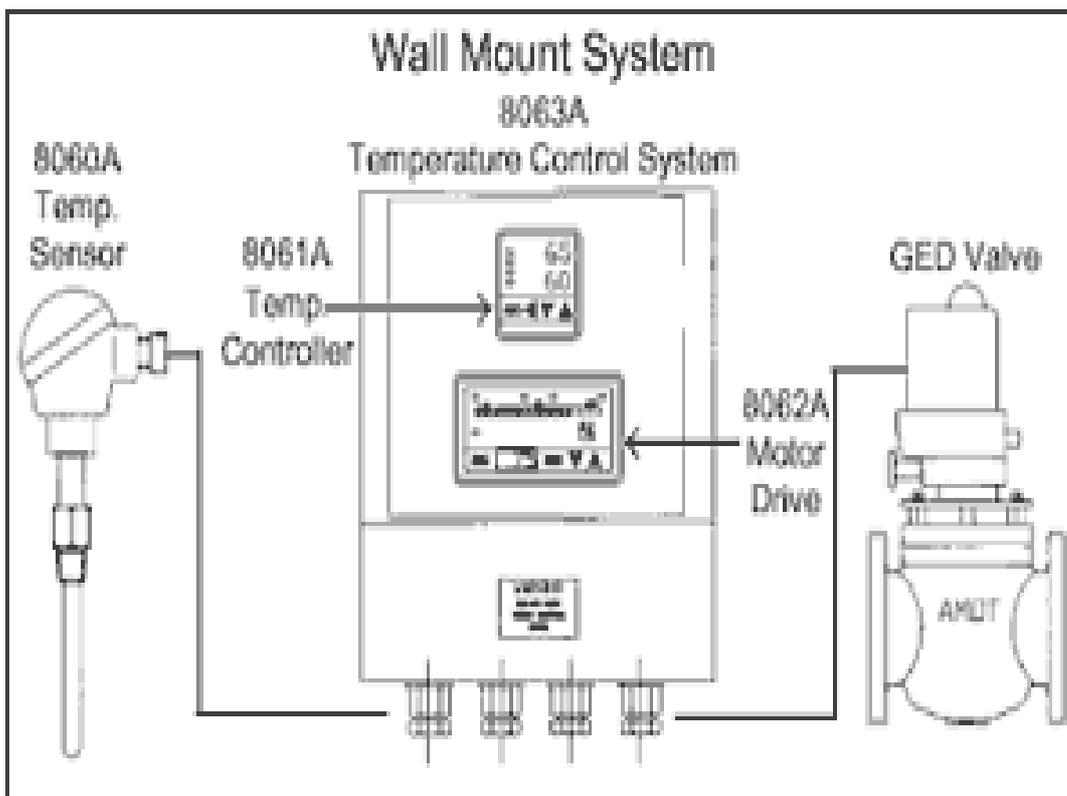


Figura N° 128.

Capítulo 6.

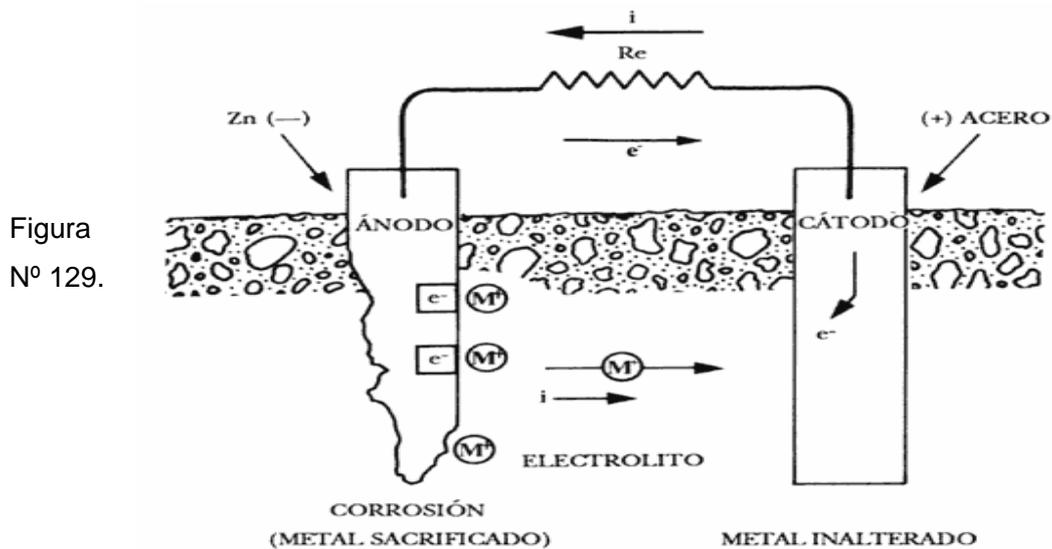
6. Protecciones catódicas para Buques.

El sistema de protección catódica, surge en 1924 con la necesidad de evitar la rápida corrosión de los buques de guerra de la flota británica. La teoría de funcionamiento se fundamenta en el uso de un bloque o electrodo de zinc. El zinc es la representante anódica del sistema, el cual busca crear una corriente catódica de igual magnitud pero distinta dirección para que anule la corriente anódica provocada por la corrosión del material metálico. Existen otros ánodos a base de aleación de magnesio, los cuales son efectivos para la protección de estructuras metálicas que requieren polarización rápida o en medios de alta resistividad eléctrica. En un principio las aleaciones de aluminio presentaron un desarrollo muy lento, pero gracias a los avances y al interés demostrado por la industria electroquímica hoy posee una fuerte penetración en el mercado de ánodos de sacrificio.

6.1. Teoría de funcionamiento.

La búsqueda de un sistema que sea capaz de proteger o minimizar los daños debido a la corrosión, llevo a la investigación de la electroquímica, la cual estableció una emulación del experimento de Alejandro volta, el cual se basa en la teoría de diferencia de potencial. Teniendo una diferencia de potencial y una carga conectada entre sus extremos se produce la circulación de corriente eléctrica, tomando en cuenta las perdidas por electrodos y electrolito. Este análisis permitió establecer que a un material cargado mas positivamente que otro (ANODO), lograra atraer mas electrones libres proveniente de un material cargado mas negativamente (CATODO) el cual al perder electrones, dejaran bastantes huecos , logrando la polarización de este como polo positivo. Por lo tanto la teoría consiste en buscar un material que permita la recepción de electrones (material anódico) provenientes del hierro, debido a este efecto el ánodo se deteriora con el tiempo, el efecto se conoce como DEGRADACION ELECTROQUIMICA o ANODO DE SACRIFICIO, en este caso el casco del buque actúa como CATODO liberando electrones y quedando polarizado positivamente (menor cantidad de electrones en sus orbitas en comparación de cargas positivas en el núcleo) y el material anódico recibe estos electrones libres, quedando polarizado negativamente, degradándose con el tiempo. Por esta razón el

sistema de protección se le conoce como protección de corrientes catódicas a base de ánodos de sacrificio. Para el caso del zinc, el magnesio, aluminio, aleaciones de cobre conforman la batería de ánodos de sacrificio. A continuación la siguiente figura N° 129, muestra la teoría en forma más gráfica del modo de funcionamiento.



El material para formar parte del sistema de protección de corrientes catódicas a base de ánodos de sacrificio, debe reunir las siguientes propiedades:

- Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo como para polarizar la estructura de acero (que es el metal que normalmente se protege) a 800mV. Sin embargo, el potencial no debe ser excesivamente negativo ya que eso motivaría un gasto innecesario de corriente. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre 950mV y 1700mV.
- Cuando el metal actúa como ánodo debe presentar una tendencia pequeña a la polarización, no debe desarrollar películas pasivantes protectoras y debe tener un elevado sobre potencial para la formación de hidrógeno.
- El metal debe tener un elevado rendimiento eléctrico, expresado en amperes - hora por kg. de material (Ah/kg.) lo que constituye su capacidad de drenaje de corriente.

- En su proceso de disolución anódica, la corrosión deberá ser uniforme.
- El metal debe ser de fácil adquisición y deberá de poderse fundir en diferentes formas y tamaños.
- El metal deberá tener un costo razonable, de modo que en conjunción con las características electroquímicas correctas, pueda lograrse una protección a un costo bajo por Amper-año.

Estas exigencias ponen de manifiesto que solamente el zinc, el magnesio y el aluminio y sus respectivas aleaciones, pueden ser considerados como materiales para ser utilizados prácticamente como ánodos de sacrificio.

6.2. Características electroquímicas de los ánodos de sacrificio más usados.

En este campo se ha llegado a unanimidad, para el uso de Zn, Mg y Al. Algunos análisis también apuntaban al uso de materiales alcalinos como litio, sodio y potasio. Muchos ingenieros sostienen que su uso es muy limitado, ya que poseen un elevado potencial de disolución, lo cual se une a su reducido potencial de hidrogeno.

El análisis electroquímico obedece a las leyes de FARADAY, las cuales dicen que una corriente eléctrica con una carga de 96500 Cb (coulomb) es capaz de disolver cualquier elemento químico. Esta regla viene dada gracias al número de Faraday 96500 Cb. Por lo cual es conveniente tener presente la siguiente expresión:

$$QC \times \frac{1 \text{ equiv.}}{96\,500 \text{ C}} \times \frac{1 \text{ mol}}{n \text{ equiv.}} \times \frac{\text{P.A. g}}{1 \text{ mol}} = p \text{ g.}$$

Además,

$$Q = I \cdot t$$

(coulomb = ampere multiplicado por un segundo). Por tanto,

$$p = I \times t \times \frac{\text{P.A.}}{n \times 96\,500},$$

P = gramos de material disuelto.

T = tiempo en segundos.

I = corriente en A.

P.A. = peso atómico del metal en gramos.

n = número de electrones que pierde el metal al disolverse.

Coefficiente electroquímico es = $\text{PA} / (96500 \cdot n)$.

A continuación se presenta la siguiente tabla de valores característicos del Al, Mg y Zn.

<i>Propiedades</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>	<i>Al</i>
peso atómico (g)	24.32	65.38	26.97
peso específico a 20°C, g/cm ³	1.74	7.14	2.70
punto fusión (°C)	651	419.4	660.1
resistividad eléctrica (Ω-cm)	4.46 10 ⁻⁶	6.0 10 ⁻⁶	2.62 10 ⁻⁶
valencia	2	2	3
equivalente-gramo	12.16	32.69	9.00
equivalente electroquímico (mg/C)	0.12601	0.3387	0.0931
capacidad eléctrica teórica (A-h/kg)	2204	820	2982
capacidad eléctrica teórica (A-h/dm ³)	3836	5855	8051
capacidad eléctrica práctica (A-h/kg)	1322	738	1491
rendimiento corriente (%)	60	90	50
consumo teórico (kg/A-año)	3.98	10.69	2.94
consumo teórico (dm ³ /A-año)	2.3	1.5	1.1
potencial normal a 25°C (V vs. Ag/AgCl)	-2.63	-1.05	-1.93
potencial disolución en agua de mar (V vs. Ag/AgCl)	-1.55	-1.05	-1.85

6.3. Intensidad de corriente anódica.

Según las leyes de FARADAY, es posible calcular la corriente que es capaz de suministrar un metal en su actuación anódica. Este valor es solo una aproximación ya que deja varios parámetros fuera tales como:

- La diferencia entre las formas geométricas de los ánodos de sacrificio, ya que la forma cilíndrica es muy diferente de una forma estrella, además es necesario mencionar que independiente de la superficie, esta se va degradando con el tiempo lo cual es importante tomarlo en cuenta.
- El valor obtenido a partir de las leyes de Faraday equivale a un rendimiento electroquímico del 100%, que como ya se ha indicado, nunca se puede alcanzar en la práctica. La pila formada por el ánodo galvánico y su estructura darán un valor máximo de corriente en el instante de iniciar su funcionamiento, el cual decrecerá después por los procesos de polarización que tienen lugar en los electrodos. Por otra parte, la auto corrosión que en mayor o menor grado, presentan los tres metales empleados como ánodos galvánicos hará siempre que su rendimiento sea inferior al 100%.

Cada ánodo sumergido o enterrado, tendrá una resistencia determinada, la cual estará dada en gran medida por la constante de resistividad en ρ ($\Omega \cdot m$).

6.4. Análisis y estructuras de funcionamiento según el perfil de ingeniería eléctrica.

Como se ha mencionado la protección catódica, es uno de los métodos electroquímicos usados para proteger a los metales de la corrosión, efecto dañino y perjudicial de los metales. El siguiente diagrama de POURBAIX refleja el comportamiento del hierro frente a la corrosión en función del su potencial de hidrogeno y Ph.

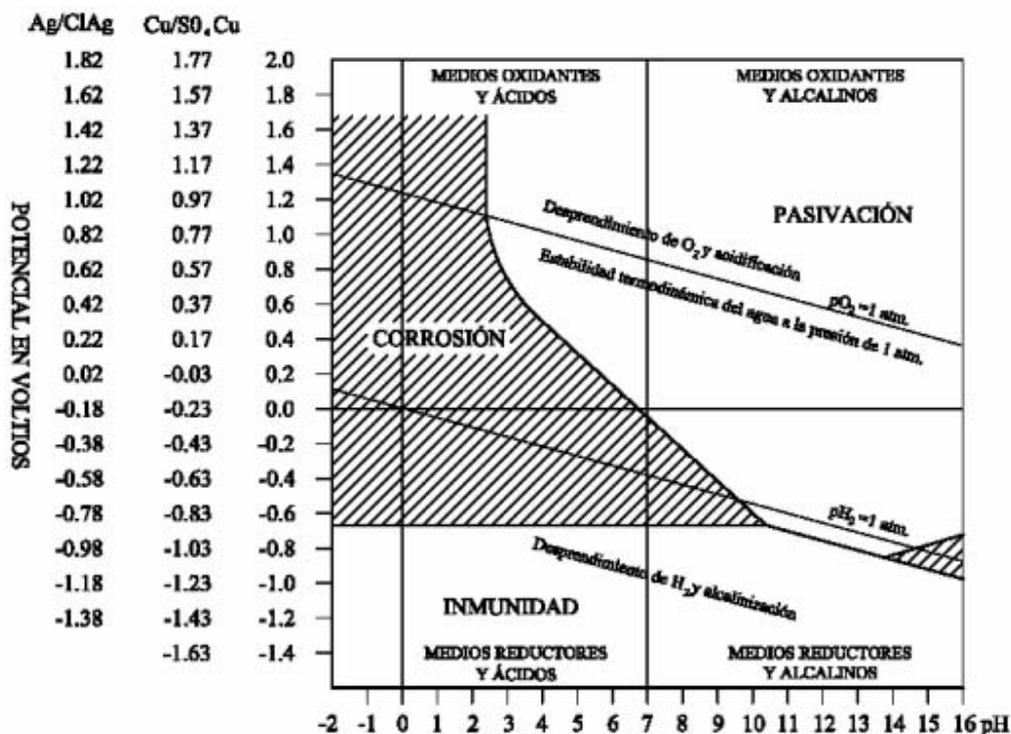


DIAGRAMA DE POURBAIX

En la gráfica, se puede observar las circunstancias de corrosión, pasivación y de inmunidad de hierro en presencia de sustancias acuosas. De esto se desprende las siguientes formas de proteger el hierro:

- Elevar el potencial hasta llegara a la zona de pasivación, mediante el uso de protección anódica.
- Alcalinizar el medio, hasta superar la zona limite entre la corrosión y la zona de pasivación.
- Reducir el potencial, hasta situarse bajo la zona de inmunidad, mediante el uso de protecciones catódicas.

Mediante los diversos experimentos ejecutados, se llegó a la conclusión que el método de protecciones catódicas, era el más efectivo y de bajo costo. Este consiste en transformar la superficie que se desea proteger en un cátodo, lo cual se logra mediante el empleo de corriente continua. Mediante este efecto electroquímico se logra reducir la corrosión a cero, sin sufrir deterioros en la superficie que se desea proteger.

6.5 Concepto de corrosión.

Los materiales metálicos se corroen con el tiempo, debido a múltiples factores. Según el punto de vista electroquímico, existe corrosión en un metal si existen una multitud de ánodos y cátodos sobre este mismo. Esto permite la formación de una diferencia de potencial mínima, la cual polariza vectorialmente el metal, pasando a la zona pasivación permitiendo la formación de óxido debido a las micro pilas, la siguiente figura N° 130, muestra el efecto de la corrosión.

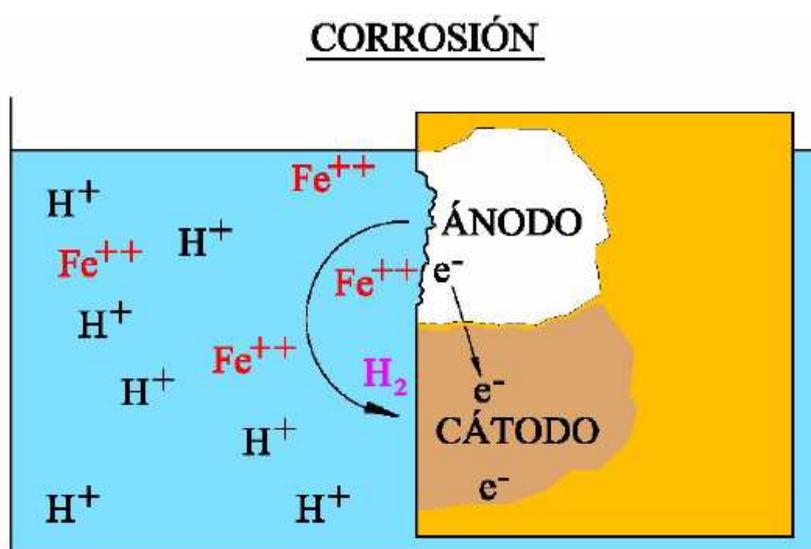


Figura N° 130.

La corrosión se mantiene en el tiempo, debido al flujo de electrones que circula desde ánodo a cátodo. Esto es muy relativo y depende de la forma de interpretar el sentido convencional o sentido electrónico, para poder verificar el flujo. Lo que debemos tener en cuenta es el caso del ánodo, cuando este se polariza negativamente debido a la circulación de corriente, aparece corrosión alrededor de este, y en el caso del cátodo que se polariza positivamente aparece protección. En este caso lo tomaremos como sentido electrónico, para no estar en desacuerdo con el autor, por lo cual la corriente fluirá desde ánodo a cátodo. De esta forma diremos que el lado anódico por donde fluye la corriente se produce corrosión, y el lado anódico aparece protección.

El combate a este efecto se logra añadiendo un ánodo exterior el cual se sacrifica para ser corroído, evitando que el lado catódico o estructura que se desea proteger sufra deterioros.

En la ingeniería se ha desarrollado una tabla de valores que estructura y ordena los materiales usados, según su potencial eléctrico, tomando como referencia al hidrogeno ya que este se le establece un potencial de cero VOLT. A continuación se presenta una tabla ordenada por potencial eléctrico.

TABLA			
<i>IONES</i>	<i>POTENCIAL</i>	<i>IONES</i>	<i>POTENCIAL</i>
Li ⁺	-3.022	Ni ⁺⁺	-0.22
Rb ⁺	-2.924	Sn ⁺⁺	-0.136
K ⁺	-2.925	Pb ⁺⁺	-0.129
Na ⁺	-2.715	H ⁺⁺	• 0.000
Mg ⁺	-1.866	Bi ⁺⁺⁺	+0.226
Al ⁺⁺⁺	-1.67	Cu ⁺⁺	+0.344
Zn ⁺⁺	-0.762	Te ⁺⁺⁺⁺	+0.558
Cr ⁺⁺	-0.71	Hg ⁺⁺	+0.798
Fe ⁺⁺	-0.441	Ag ⁺	+0.799
Cd ⁺⁺	-0.397	Pt ⁺⁺	+1.2
Ti ⁺	-0.336	Au ⁺⁺⁺	+1.42
Co ⁺⁺	-0.29		

En términos muy simples podemos decir, que para la protección del metal de la corrosión, solo es necesario añadir un ánodo, el cual sufrirá el ataque electroquímico para lograr alcanzar el suficiente potencial eléctrico para proteger la superficie en cuestión. La siguiente figura N° 131, muestra el modo de acción.

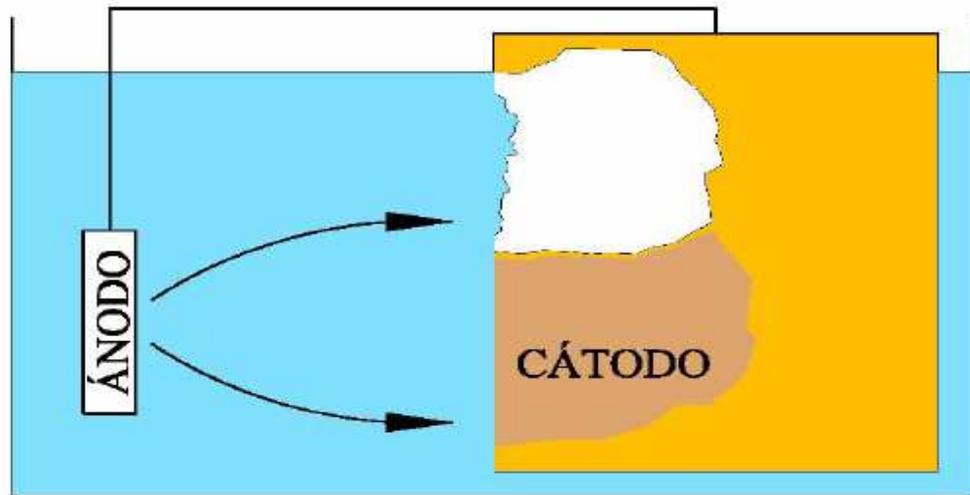


Figura N° 131.

Algunos factores con poder de reacción electroquímica (que se relacionan con el electrólito), son la naturaleza, temperatura, estado de la superficie. En términos generales el producto entre la corriente y la densidad de corriente A/m^2 , nos entrega corriente total necesaria.

$$\checkmark i = \frac{V_{MG} - 0.85}{R}$$

DEPENDE DEL AGUA

$$\checkmark \text{VIDA (AÑOS)} = K \frac{\text{PESO}}{i}$$

ÁNODO

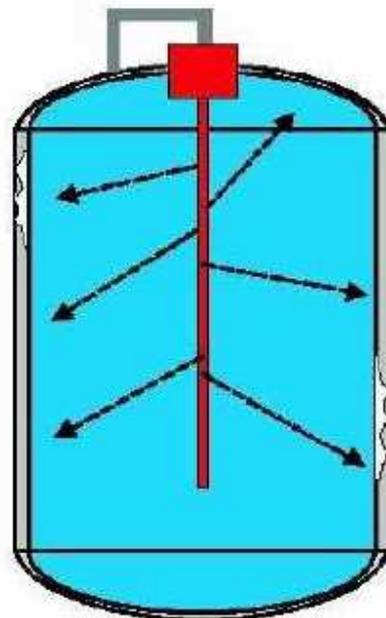


Figura N° 132.

Básicamente existe una dependencia del agua y la vida y tiempo de degradación del ánodo esta en términos del peso. Se observa vectores de corriente a través del agua, esto es la norma básica para entender el funcionamiento.

Es necesario mencionar que el zinc pese a todas las propiedades positivas para su empleo, posee una gran limitante en términos de resistividades para el medio, la mayoría de los ingenieros convergen a emplear solo si la resistividad es menor o igual a 1000 Ωm .

6.6. Protecciones catódicas por Corrientes impresas.

La principal fuente de energía para el funcionamiento de este sistema, es el uso de rectificadores para generar corriente continua. Una de las grandes ventajas de este sistema, es la regulación de corriente mediante uso de sistemas externos, con el cual se consigue una mayor durabilidad de los ánodos de sacrificio, por lo tanto se le otorga una mayor vida útil en el tiempo.

Los rectificadores por lo general están conformados por semiconductores de cuatro capas, estos componentes son IGBT, GTO, etc. Por lo general estos se clasifican como sistemas automáticos y manuales. Los rectificadores automáticos poseen electrodos de referencias los cuales son añadidos a la estructura a la cual se desea proteger, manteniendo esta referencia y los ánodos de sacrificio, para su medición y regulación automática. En la siguiente figura N° 133, se muestra una representación analógica de funcionamiento de este sistema.

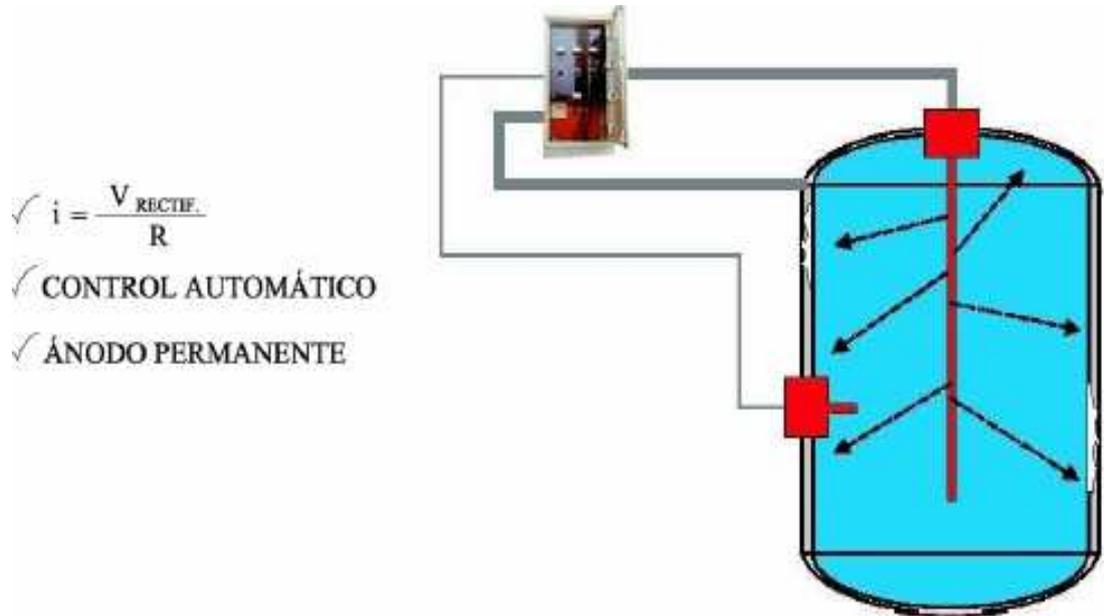


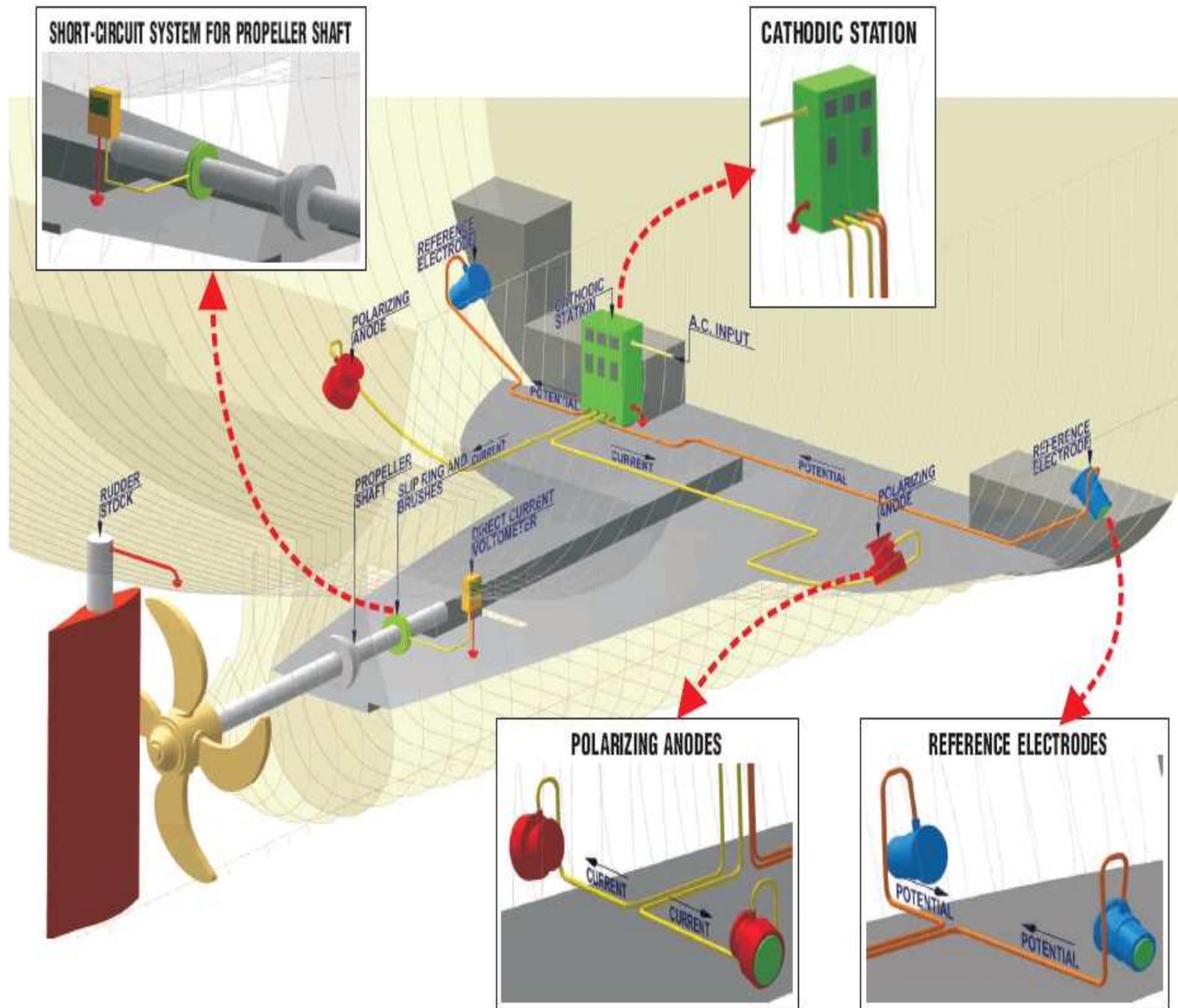
Figura N° 133.

6.7. Modelamiento de montaje en buques para protecciones catódicas.

Existen una gran cantidad de empresas internacionales dedicadas a este rubro, dentro de la amplia gama se encuentra la empresa CTO. Esta empresa esta dedicada a proyectar diseños de ingeniería con un perfil de protección mediante ánodos de referencia y ánodos de sacrificio.

La siguiente figura muestra el sistema que ellos implementan, mediante el empleo de una estación rectificadora y los periféricos de referencia. En la figura N° 134, aparece específicamente la popa de un buque, la adhesión de protección catódica esta asociada a la hélice de propulsión y unidad steering gear.

Figura N° 134.



El sistema esta conformado por un sistema principal, por una estación de protección catódica, la cual entrega la energía DC hacia los electrodos y ánodos de sacrificio. Los siguientes son los datos técnicos que conforman el panel electrónico en su etapa de potencia.

- Tensión de alimentación trifásica 3 fases 400 VAC 50 Hz / 3 Fases 440 VAC 60 Hz.
- Tensión de salida 12 / 24 VDC.
- Corriente máxima de salida 60 / 200 A (RMS).
- Rango de instrumentación y tensión de control graduada - 1 / +1 VDC.
- Precisión de tensión de control +/- 10 mV.
- Opción de trabajo manual / automático.
- Nivel de aislamiento IP -22.

Los ánodos de sacrificio o de polarización para protección de metal, contra corrosión de agua de mar poseen los siguientes parámetros.

- Capacidad de corriente de carga por ánodo 12 / 120 A.
- Material de polarización de ánodos PbAg. 2% de Ag y óxido activo de titanio.

Los electrodos de referencia están diseñados bajo los siguientes parámetros:

- Material de estructura a base de zinc, aluminio y cadmio.
- Durabilidad en el tiempo un mínimo de 20 años.

Sistema de protección para eje de propulsión del buque, corto-circuito entre eje y casco.

En muchos de estos sistemas el rectificador es modificable en la etapa de control, comando y monitoreo. Existen algunos con transmisión de datos a HMI vía software como SCADA se pueden monitorear en tiempo real, estos son de ultima generación e inclusive existen muchos de estos sistemas con aplicaciones civiles como estructuras estanques de oleoductos, puentes etc, donde se transmiten los datos vía wirelles. En los casos normales poseen sistemas de control y monitoreo local en donde mensualmente se toman las mediciones correspondientes. En la mayoría de los buques por normas estándares, el sistema de protección por corrientes catódicas se encuentra en funcionamiento solo en full navegación, ya que en puerto se apaga por normas de seguridad y estándares portuarios. En las siguientes figuras, se muestran diversos rectificadores y su vista interna.

Figura N° 135.



La Unidad de control y potencia del rectificador incorporada, posee sistemas de transmisión de datos RS 485, panel de control digital y pantalla LCD alimentación monofásica y tensión de salida $-2 / + 2$ VDC.

Figura N° 136.



Unidad rectificadora con control analógico, alimentación trifásica, tensión de salida $- 1.4/+ 1.4$ VDC y corriente de salida máxima 180 A. El sistema posee una eficiencia 75 % de aprovechamiento de la potencia de entrada.

Capítulo 7.

Conclusiones.

En el presente documento, se dio a conocer la importancia de la ingeniería eléctrica y electrónica en los buques de la marina mercante, carcarrier UMS. En donde, se mostró que el desarrollo del control automático a facilitado la operación y manejo de las máquinas más relevantes en un buque. Es así como en el caso de la Generación Eléctrica a bordo de una motonave, se opta por el diseño de máquinas cada ves menos robustas, y con un mayor control de las variables presentes, gracias a un control automático unificado, en donde todos los eventos de averías o alarmas son almacenados en los discos duros de los PC HMI, facilitando la mantención preventiva. Gracias a la incorporación de redes de campo, como fieldbus, controlnet, entre otras y a la implementación de redes soportadas en Ethernet, se ha logrado un gran avance tecnológico en los buques, y una reducción de los costos por mantención y por cambios de maquinaria, las cuales aumentan su performance y la vida útil.

Hoy en día la tecnología aplicada en los sistemas de generación esta orientada a facilitar el control de esta, y el modo en que se genera. Así es el caso de la Generación mediante Alternador Shaft en baja tensión, en donde se opta por un generador no tan robusto fácil de manejar, implementado con elementos de bajo costo. Se mostró que se opta por implementar un sistema PWM, en este principio de funcionamiento se rectifica, en un principio el voltaje generado, luego pasa por una etapa inversora basada en la modulación PWM, utilizando tiristores IGBT, y en la salida el filtrado correspondiente. Se opta por emplear la modulación por ancho de pulsos, PWM, para mejorar el contenido de los armónicos a la salida del inversor. Quedo demostrado que se elige emplear un semiconductor de potencia como el IGBT, por las prestaciones técnicas que posee éste semiconductor, al tratarse de un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión y por sus características, las cuales combinan los atributos del transistor BJT y MOSFET. Con todas estas prestaciones se obtiene una excelente onda sinusoidal a la salida. Utilizando una alta frecuencia para los pulsos y al principio de modulación por ancho de pulsos, PWM, con lo cual el convertidor IGBT, es capaz de entregar una señal de voltaje con una excelente forma sinusoidal.

La demanda eléctrica hoy en día, va en aumento en las industrias, esto ocurre de la misma manera en los buques, por tal razón se implementan Alternadores Shaft de alta tensión, diseñados para entregar una potencia entre 4000 y 10000 KW, con una tensión sobre los 3KV, sin el empleo de transformadores elevadores. A este tipo de generadores se les añade un sistema de protección contra cortocircuitos, basado en el tiristor GTO, es común que se empleen dispositivos de estado sólido para limitar las corrientes de cortocircuito, puesto que los GTO trabajan como switches de alta velocidad, estos elementos limitadores de corriente y de voltaje, operan como circuitos de control y detección de sobre-corrientes, y los cuales puede ser configurados en paralelo o en serie. Otro problema que se resuelve es la distorsión armónica, mediante un reactor duplex en conjunto con un compensador sincrónico o motor sincrónico, los cuales aseguran que las líneas de tensión tengan una forma de onda sinusoidal con un factor distorsión armónica mínimo.

En los sistemas de generación modernos, se diseña en forma redundante de tal manera que la potencia total instalada en el buque sea mayor a la potencia requerida, con esto se garantiza que el buque no quede sin energía, sobretodo en maniobras. En esta topología se encuentran plantas eléctricas en donde la generación es heterogénea, puesto que en la planta esta constituida tanto un alternador shaft como por grupos generadores diésel llamados GenSet.

Los GenSet son los más empleados en los buques, debido varias características mecánicas, y a la fácil mantención, que se puede obtener hoy en día a la tecnología presente en estos. En el caso de los motores Wartsila, la máquina esta totalmente controlada, por el sistema de control automático presente en estos, con lo cual se pueden obtener datos en tiempo real, se tiene un control total de alarmas y de eventos de fallas. Además la emanación de gases ha ido disminuyendo, con el avance de métodos de reducción de estos, por medio de la humidificación.

Con la evolución de la tecnología se avanzado enormemente en el control de los sistemas de generación, es el caso del sistema PMS desarrollado por ABB, el cual esta basado en la Plataforma Industrial 2, el que permite garantizar la estabilidad de funcionamiento, de modo que la instalación eléctrica pueda resistir mayores perturbaciones originadas dentro o fuera de la planta. Se vio que este sistema no sólo contiene la tradicional funcionalidad SCADA, sino

también una serie completa de soluciones eléctricas, entre las cuales están el control de potencia y la restricción de cargas. Con lo cual se logra una estabilidad y seguridad en la planta de generación, previniendo los black out.

Los sistemas de transmisión eléctrica, han evolucionado de una manera lenta y poco notoria, ya que los puntos de unión entre la generación y el sistema de distribución, aun siguen siendo un tendido de cables eléctricos, lo cual es bastante obvio, en algunos casos. La gran inversión tecnológica recae en los sistemas de protección, seguridad y monitoreo para esta función. En la mayoría de los casos la transmisión en HV, posee una serie de componentes auxiliares, las cuales tienden a proteger mucho más el sistema en caso de falla de fuga corriente y cortocircuitos. La mantención eléctrica efectuada a estas celdas de transmisión se realiza utilizando las normas de precaución acorde a los estándares. Los fabricantes aseguran la disposición de área de seguridad y trabajo de mantención. El peligro de enfrentar un choque eléctrico o descarga debido al efecto corona es inminente, por lo cual los sistemas son implementados a distancias altas sobre el nivel de piso terminado, además son canalizados usando BPC. Tanto el interior de las celdas como los interruptores BREAKER principales, están diseñados al vacío, con el objetivo de aislar la descarga y atenuar daños al personal y otros.

El sistema de distribución para la energía eléctrica, en muchos casos se suele entender desde la planta generadora hasta las cargas. Este concepto es erróneo ya que la transmisión eléctrica, se encarga de transportar la energía desde la planta generadora hasta las barras principales ubicadas en el MAIN SWITCHBOARD. Un sistema de distribución para la energía eléctrica a bordo de una moto-nave, nace desde las barras principales, hacia sus alimentadores generales que pasan al gabinete principal, desde aquí se van separando los circuitos a energizar teniendo presente los niveles de tensión para las cargas eléctricas respectivas. Cada consumo así como la característica de estas, define la forma de distribución. Otro factor que también conviene tomar bastante en cuenta, es el factor de generación, específicamente la tensión de trabajo. Como se menciona en el trabajo de titulación, actualmente es mucho más conveniente trabajar con altas tensiones, con la finalidad de mejorar el aprovechamiento de la energía eléctrica, y disminuir las pérdidas por efecto joule.

Muchos proveedores de tecnologías como ABB, SIEMENS, SCHNEIDER ELECTRIC. Han desarrollado tecnologías para la industria marina, las cuales han sido muy beneficiosas en el

aspecto de automatismos. Esto se logra a que estas líneas integran los usos de protocolos de comunicación, por lo cual los BEAKER MAIN y de distribución, responden a ordenes de comandos, dadas por la consola, específicamente por un ordenador. Desde los analizadores de redes hasta el control de actividad por tablero eléctrico, es posible chequear en la actualidad vía interfaz HMI. El control de carga que lleva un ordenador, el cual interactúa con un banco de PLC, los cuales a su vez mantienen comunicación con dispositivos de campo ubicados en los generadores eléctricos, sistemas asociados y tableros de fuerza. Esta integración en alta performance, facilita la detección de fallas, lo que era muy engorroso en otros sistemas. Otros sistemas como los de la marca ASEA, se enfocan directamente a la planta generadora, pero gracias a los protocolos MODBUS, FIELBUS y ETHERNET industrial, es posible asociarlos a los estándares de los proveedores mayores ya antes mencionados.

La MAIN ENGINE es la matriz principal de la planta propulsora en el caso de los sistemas diésel o HFO. En un principio el control ejercido a estas máquinas era mínimo, y a su vez se ejerce de una forma mecánica. Con el tiempo se introdujo la máquina tipo MC. Las máquinas de dos ciclos son aplicadas en buques tipo car carrier. Estas eran controladas mecánicamente. Esto se debe al poco desarrollo de la industria tecnológica de ese entonces, lo cual se complementaba con el uso de sistemas neumáticos, hidráulicos, etc. La electromecánica jugaba un rol importante, y a su vez las soluciones de control eran muy analógicas por tendencias fuera de rango de la real o esperado. Con el tiempo la industria electrónica fue integrando sistemas, mediante el uso de sistemas mínimos (de microprocesadores, que derivaron al uso de microcontroladores o circuitos integrados programables), de esta forma se da inicio a la revolución existente hoy en día. Los sistemas con microcontroladores, reemplazaron los sistemas electromecánicos. Tanto las HMI, como los software para operación, son la nueva cara de las sala de control. El aporte tecnológico alcanzado en el sistema de inyección de combustible y lubricación, permitió compactar la máquina, ya que las soluciones voluptuosas, como eje de camones y otras fueron reemplazadas por sistemas hidráulicos con control electrónico. Esto permite notoriamente mejorar la relación rendimiento versus consumo de combustible, lo cual se traduce en un ahorro considerable, para las administradoras de hoy en día. Las MEC (máquinas controladas electrónicamente) están asociadas al concepto de máquina inteligente, lo cual mejora notoriamente la prevención de fallas, la operación, la mantención y detección de fallas. Actualmente la evolución que es liderada por MAN B & W,

Wärtsilä (sulzer), HYUNDAI. Las naves carcarrier poseen un sistema de automatismo muy completo, el cual ha sido proyectado en otras naves cargueras.

En la actualidad el desarrollo de la propulsión eléctrica ha abierto una nueva puerta, para la industria naval con beneficios inconmensurables. Los sistemas desarrollados con generador shaft para potencia eléctrica, en full navegación, permitirá que la máquina sea autónoma del diésel en un alto porcentaje, gracias a la propulsión eléctrica, la cual a través del lazo cerrado, permitirá su funcionamiento íntegramente eléctrico, con generación a partir del movimiento rotacional del eje para la hélice. En muchos casos también se ha optado por sistemas híbridos, los cuales se relacionan con turbinas de vapor, gas, etc. También existen algunos buques de prueba que funcionan con energía solar. Este es un gran proyecto ambicioso, lo cual se une al desarrollo de paneles solares con componentes orgánicas, los cuales trabajan con unas células llamadas tandem. Este proyecto lleva dos años vigente y ha dado excelentes logros ya que con dos células solares independientes, con características de absorción diferentes, permiten un aumento entre 6 y 12% en su eficiencia.

Capítulo 8.

Glosario.

AVR: Regulador de voltaje.

Big Container: Referido a los buques de gran envergadura que transportan containers.

Black Out: Caída de la planta generadora a bordo de un buque.

Bow thruster: Hélice de maniobra ubicada en la proa del buque.

Breaker: Interruptor.

C.A: Corriente Alterna.

C.C: Corriente Continua.

Diesel-Electric: Combinación eléctrica diésel.

Diesel-Mechanical: Combinación mecánica diésel.

Engine Rooms: Sala de Máquinas.

Gen: Generador

GenSet: Grupo de generadores diésel.

GTO (Gate Turn-off Thyristor): Tiristor con apagado por puerta.

HFO (Heavy Fuel Oil): Combustible pesado derivado del petróleo.

Installed Power: Potencia Instalada.

Low Temperature Control: Control de baja temperatura.

LNG (Liquid Natural Gas): Referido a los buques que transportan Gas Natural Líquido

Shaft Power, Alternador o Generador Shaft: Generador Eléctrico adosado al eje de la máquina principal de un buque.

PLC (Programable logic controller): Controlador lógico programable.

PMS (Power Management System): Administración de los Sistemas de Generación.

PWM (Pulse Width Modulation): Modulación por anchura de pulso.

Snubber: Es un arreglo RC (resistivo, capacitivo) que se conecta en paralelo al tiristor en un circuito de conmutación, como una protección para el dv/dt .

Stern thruster: Hélice de maniobra ubicada en la popa del buque

SWITCHBOARD: tablero de distribución eléctrica.

SWITCHGEAR: interruptor de maniobra o seccionador de fuerza eléctrica.

THD (Total Harmonic Distortion): Distorsión armónica total.

UMS (unattended machinery space). Espacio de maquinaria desatendida.

UNIC (Unified Control): Control unificado,

UPS (Uninterruptible Power Supply): Es un sistema que suministra energía eléctrica, en caso de que el suministro principal de energía se pierda.

Capítulo 9.

Bibliografía

Dennos T. Hall BA(Hons),C. Eng,MIEE,MIMar.E; Practical Marine Electrical Knowledge

Referencias Electrónicas:

www.alfalaval.com

www.converteam.com

www.saam-electronic.de

www.veristar.com

www.schneidere-electric.com

www.siemens.com

www.danfoss.com

www.amot.com

www.nexans.com

www.controlli.com

www.asea.com

www.sulzer.com

www.weg.net

www.keystone.com

www.manbw.dk

www.engineeringtoolbox.com

www.walleniuslines.com

www.abb.com