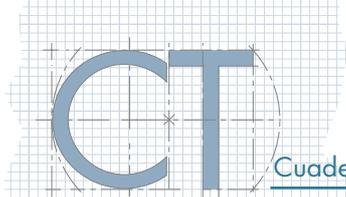


Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 11

Introducción a los sistemas e instalaciones navales a bordo



Introducción a los sistemas e instalaciones navales a bordo

Índice

1	Introducción	2	8	Gama de productos de baja tensión y disponibilidad de homologaciones	25
2	Tipos de buques	3	8.1	Interruptores automáticos de maniobra y protección	25
3	Sociedades de Clasificación	7	8.2	Interruptores seccionadores e interruptores seccionadores con fusibles	35
4	Generación eléctrica a bordo	9	8.2.1	Interruptores seccionadores OT	35
5	Sistemas de propulsión	12	8.2.2	Interruptores seccionadores con fusibles OS.....	40
6	Aspectos generales de los sistemas eléctricos a bordo	15	9	Visión general de la gama de productos de ABB	42
7	Condiciones de selección de dispositivos de baja tensión: prescripciones de las Normas y reglas de las Sociedades de Clasificación	20			
7.1	Interruptores automáticos de maniobra y protección	20			
7.1.1	Idoneidad según las condiciones ambientales.....	20			
7.1.2	Parámetros para la selección de interruptores automáticos.....	22			
7.2	Modos de protección de los equipos eléctricos instalados a bordo	23			

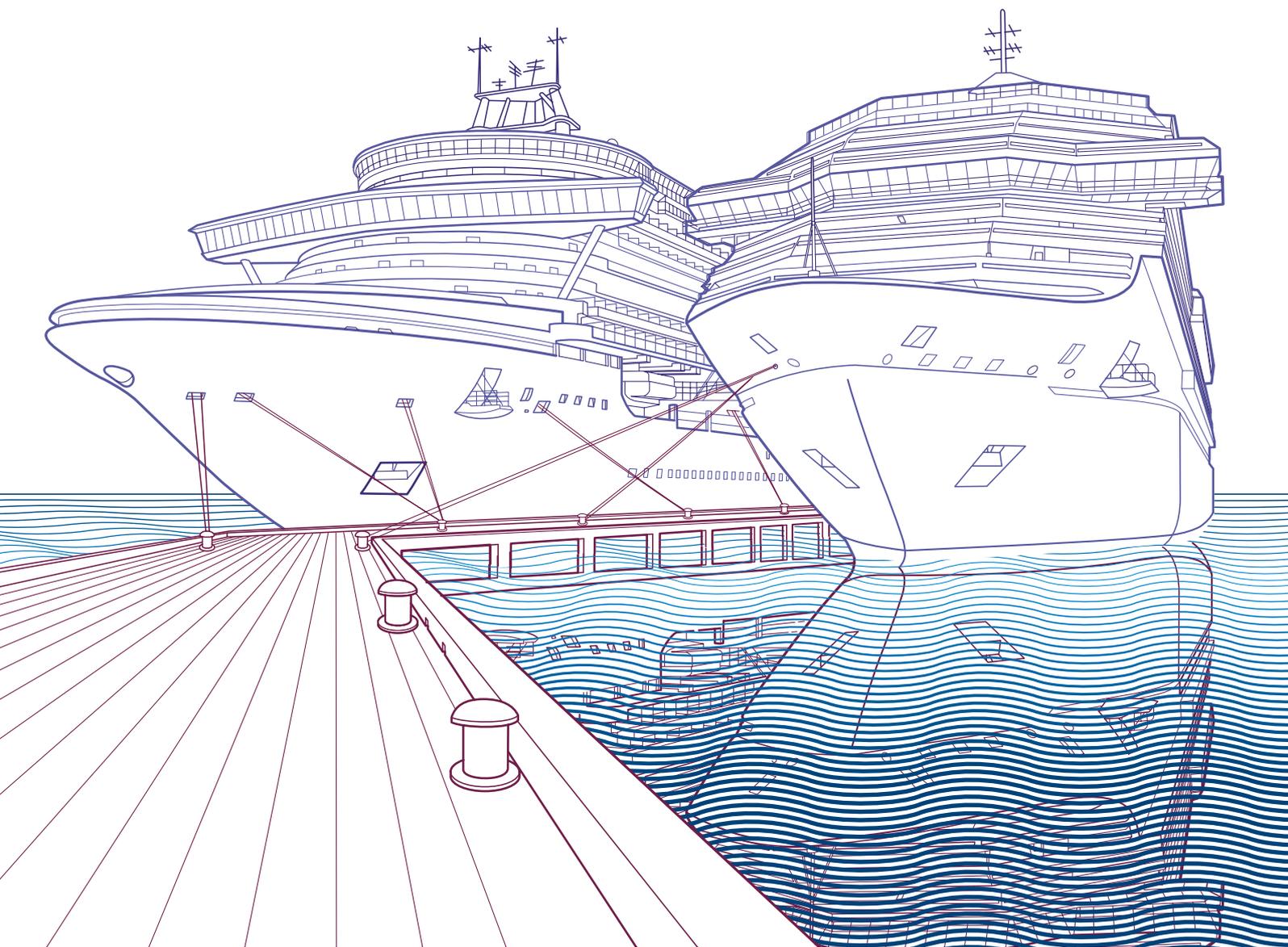
1 Introducción

El objetivo de este cuaderno técnico es proporcionar información que ayude a comprender mejor la estructura y los problemas vinculados a las instalaciones eléctricas de BT a bordo. Partiendo de una clasificación general de las tipologías más importantes de buques, se presta atención a la estructura que caracteriza a los grandes cruceros, suministrando información sobre la generación de potencia eléctrica a bordo, las plantas de producción eléctrica y los sistemas de propulsión.

A continuación, se definen los parámetros más importantes necesarios para la selección de los dispositivos de protección de circuitos de BT, mediante el análisis de las prescripciones más importantes que exigen las Sociedades de Clasificación o las normas del sector.

Para dar una idea de la presencia destacada de ABB en el sector de las instalaciones marinas —teniendo en cuenta todas las aplicaciones a bordo que van desde los pequeños yates hasta los cruceros, pasando por todos los tipos de buques, así como también las plataformas *off-shore*— se ofrece una descripción de toda la gama de productos disponibles que cubren las diferentes demandas del sector.

En concreto, tomando como punto de partida el análisis exhaustivo de las prestaciones, se proporciona toda la información necesaria sobre dispositivos de protección y maniobra de baja tensión.



2 Tipos de buques

El transporte de personas o mercancías por vía marítima se realiza mediante lo que comúnmente definimos con el término general "buque", sin entrar en detalles. De hecho, es posible realizar una clasificación más detallada con características tales como la función del buque y el tipo de carga que transporta.

Es posible realizar una primera clasificación general según las siguientes características:

- buques dedicados al transporte de mercancías, en general;
- buques dedicados exclusivamente al transporte de pasajeros;
- buques para el transporte combinado de pasajeros y carga rodada.

Si se tienen en cuenta detalles como la mercancía que transportan y la forma en que dicha mercancía se estiba a bordo, los **buques dedicados al transporte de mercancías** pueden clasificarse según sean:

- buques dedicados al transporte de cualquier tipo de mercancías líquidas

Entre los tipos de buques dedicados al transporte de mercancías líquidas destacamos como más importantes:

- buques tanque para el transporte de crudo;
- buques tanque para el transporte de productos químicos;
- buques tanque para el transporte de productos líquidos no inflamables;

- buques tanque para el transporte de gases licuados como el propano y el butano (LPG) o el metano (LNG) (véase Figura 1).

Figura 1: Buque de transporte de gas natural licuado (LNG)



- buques dedicados al transporte de mercancías sólidas
- Si se tiene en cuenta el método de estiba a bordo, ya sea de forma "ordenada" (en contenedores o palés) o bien a "granel", se distingue entre los siguientes tipos de buques:
- buques portacontenedores que transportan exclusivamente contenedores metálicos con mercancías diferentes y que pueden estibarse a bordo de forma ordenada y modular (Figura 2), lo que facilita su manipulación y posterior transporte por carretera o ferrocarril;

Figura 2: Buques portacontenedores



- buques de carga general de cualquier forma y tamaño dedicados al transporte de mercancías desde un puerto a otro y que constituyen un medio esencial para el comercio internacional entre países.
Este tipo de buques no están diseñados para el transporte de mercancías de forma ordenada y modular, sino que pueden transportar cargas de diversas características, y están dedicados de forma específica al transporte de un producto en concreto o de productos diferentes;
- buques de transporte de carga a granel, capaces de transportar mercancías a granel diversas (grano, fertilizantes, fosfatos) en bodegas de carga diseñadas a tal efecto (véase Figura 3) o mercancías sólidas específicas como madera, hierro o también ganado y, en general, cualquier otra mercancía no preparada para su transporte en contenedores o palés.

Todos estos buques, que pueden transportar carga a granel directamente en sus bodegas y que se identifican mediante la abreviación BIBO (acrónimo de Bulk In/Bulk Out), pertenecen a esta categoría.

Figura 3: Buque de transporte de carga a granel



Figura 4: Crucero

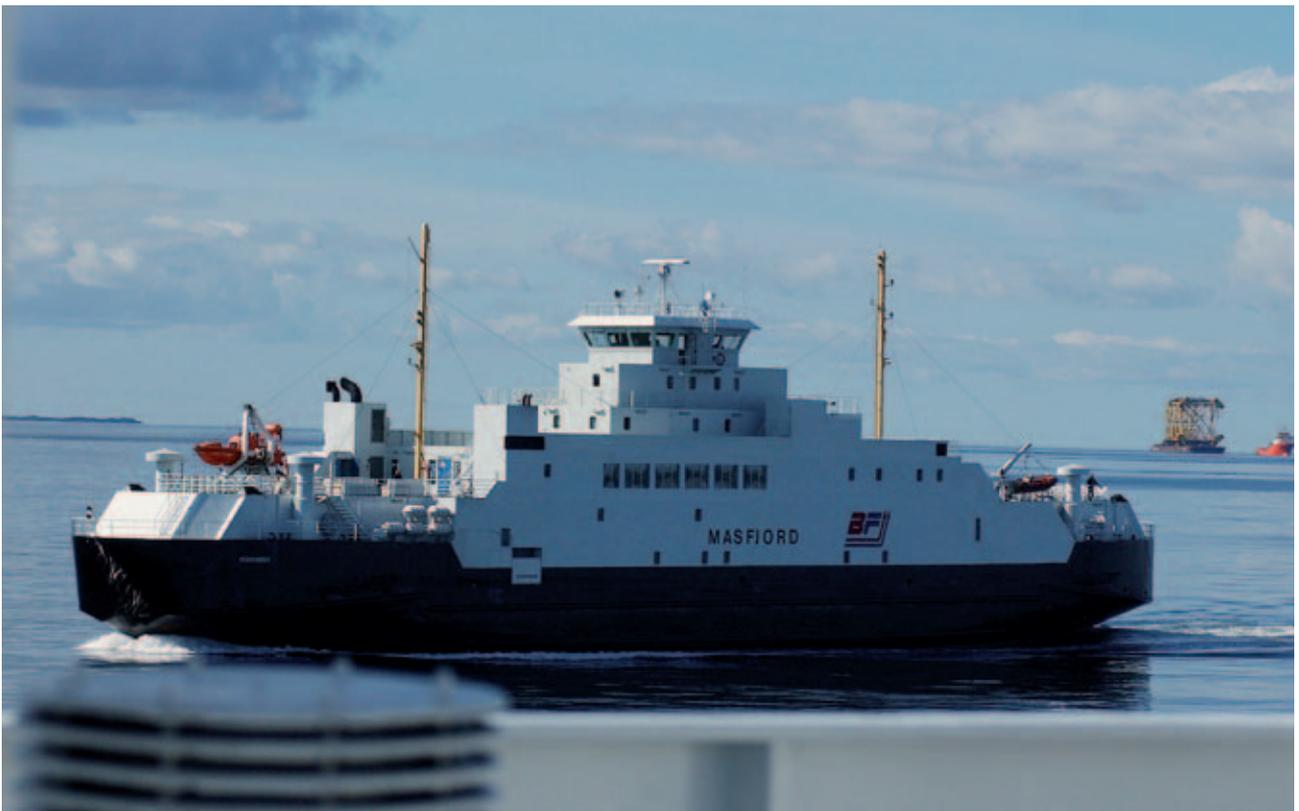


Otros tipos de buques también importantes son aquellos diseñados específicamente para el **transporte de pasajeros**. Esto incluye las embarcaciones de recreo como los yates de diversos tamaños y los grandes cruceros (véase Figura 4).

El **transporte combinado de pasajeros y carga rodada** (véase Figura 5) se realiza mediante buques conocidos como transbordadores (ferry).

Estos buques, que disponen de rampas que facilitan su carga y descarga, pueden utilizarse para transportar exclusivamente vehículos, como por ejemplo camiones o automóviles, o bien pueden utilizarse para el transporte combinado de pasajeros y carga rodada. En el primer caso se denominan buques RO-RO (*roll-on/roll-off*), mientras que en el segundo se denominan RO-PAX (*roll-on/roll-off passengers*).

Figura 5: Buques de transporte tipo RO-RO y RO-PAX



Existen **otros tipos de buques** (véase Figura 6) no dedicados al transporte pero que se utilizan para actividades o servicios concretos. Dentro de esta categoría se incluyen los buques militares, los buques para aplicaciones industriales (barcos pesqueros, buques de perforación o plataformas) y los buques dedicados a otras tareas (remolcadores, buques de investigación oceanográfica o los cableros).

Sin entrar en detalle sobre las reglas particulares asociadas al tipo de servicio que presta cada tipo de buque, la industria de la construcción naval debe cumplir con las prescripciones establecidas por las Sociedades de Clasificación.

Figura 6:
Plataforma



Cablero



Rompehielos



Buque de perforación



3 Sociedades de Clasificación

En términos generales, el origen de las sociedades de clasificación en el sector naval está relacionado con la necesidad de los armadores y las compañías aseguradoras marítimas de una entidad independiente, con la capacidad técnica necesaria para evaluar el diseño y la construcción de buques y, en consecuencia, su fiabilidad.

Desde su origen, dichas sociedades han experimentado una gran evolución técnica y estructural. Hoy en día, en un mercado cada vez más exigente, el proceso de certificación por el cual una tercera parte asegura que un producto, un servicio o una organización cumple con requisitos estandarizados y específicos, representa en sí mismo un instrumento de gran utilidad social y económica que protege contra cualquier operador no cualificado. En el sector naval, el certificado de clasificación es el documento que acredita que un buque y sus componentes han sido diseñados y construidos de acuerdo a las reglas y el criterio establecido por la Sociedad de Clasificación y, por lo tanto, también cumplirá con las reglas definidas por la Organización Marítima Internacional (OMI) si dicha sociedad de clasificación es miembro de OMI.

Con el fin de mantener los requisitos obtenidos inicialmente, el buque debe someterse a inspecciones periódicas, normalmente anuales, y a verificaciones más detalladas y profundas que por lo general se llevan a cabo cada cinco años.

El programa de homologación de las Sociedades de Clasificación hace referencia a todos aquellos componentes y equipos instalados a bordo, para los cuales los reglamentos nacionales o internacionales prescriben la verificación por parte de la autoridad homologadora.

Por lo tanto, los componentes eléctricos, en concreto los dispositivos de protección y maniobra, deben incluir los certificados de homologación que acrediten el cumplimiento de todos los parámetros ambientales y eléctricos relevantes. La expedición de la certificación es el resultado final de un proceso de verificación que, como norma, incluye el análisis de la especificación del producto o de la norma de referencia, la verificación del cumplimiento con el diseño original acreditado mediante los informes de las pruebas realizadas por un laboratorio acreditado, la definición de los controles necesarios durante el proceso de fabricación y la inspección final. Si se sigue este procedimiento, en el que la Sociedad de Clasificación acredita que se han superado todos los requisitos bajo cualquier condición, se expide un certificado de homologación del producto que certifica su idoneidad para el uso en aplicaciones marinas.

La figura 7 muestra, a modo de ejemplo, un par de extractos de documentos de homologación que certifican que los interruptores automáticos ABB han superado las pruebas de algunas Sociedades de Clasificación. En el caso considerado, se muestra la certificación obtenida por el interruptor Emax X1, al superar las pruebas de las Sociedades de Clasificación Det Norske Veritas, noruega, y Lloyd's Register, inglesa, entre otras.

Figura 7: Ejemplo de certificados de homologación en el sector naval



Los inicios de las Sociedades de Clasificación se remontan a la segunda mitad del siglo XVIII cuando, en 1764, la entidad que hoy en día se conoce como Lloyd's Register se fundó en Londres. Más tarde, en 1828, se fundó Bureau Veritas y en 1861 la actual entidad RINA S.p.A, Registro Italiano Navale, se fundó en Génova.

El concepto de clasificación y regulación en el sector naval se convirtió también en un requisito en otros países, llevando a la fundación de otras Sociedades de Clasificación.

Con el fin de alcanzar un consenso entre las diversas sociedades a la hora aplicar las directrices para la construcción de buques, en 1939 se celebró la primera conferencia a la que asistieron las Sociedades de Clasificación más importantes (ABS, BV, DNV, GL, LR, NK y RINA) y donde se estipularon diversos acuerdos con el objetivo de alcanzar una mejor cooperación entre estas sociedades.

Desde entonces vinieron celebrándose otras reuniones orientadas a compartir y uniformar sus normas. En el año 1968 se fundó la IACS, Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación, con el propósito de mantener el elevado nivel de calidad ofrecido a la industria naval utilizando herramientas que garanticen la integridad y capacidad técnica en los servicios prestados.

El Certificado de Clasificación es el documento que confirma que un buque ha sido diseñado y construido conforme a las normas o criterios establecidos por la Sociedad de Clasificación y, por lo tanto, está autorizado para llevar a cabo la actividad para la cual ha sido concebido.

En la Tabla 1 se relacionan los nombres y logotipos de las distintas Sociedades de Clasificación que actualmente forman parte de la IACS.

Tabla 1: Logotipos de las Sociedades de Clasificación que forman parte de IACS

Registro Italiano Navale (RINA): Italia		American Bureau of Shipping (ABS): EE. UU.	
Bureau Veritas (BV): Francia		Det Norske Veritas (DNV): Noruega	
Germanischer Lloyd (GL): Alemania		Lloyd's Register of Shipping (LR): Reino Unido	
Nippon Kaiji Kyokai (NKK): Japón		Russian Maritime Register of Shipping (RMRS): Rusia	
CCS China Classification Society: China		IRS Indian Register of Shipping: India	
KR Korean Register of Shipping: Corea			

4 Generación eléctrica a bordo

La generación de energía eléctrica a bordo se produce, en la mayoría de casos, mediante alternadores accionados por motores (grupos generadores), que pueden estar formados por un alternador acoplado a un motor diesel o a una turbina que puede ser de gas o de vapor, ya sea vapor generado en calderas convencionales o en un reactor nuclear.

Las diferentes modalidades de generación de energía eléctrica a menudo están relacionadas con el tipo de buque; por ejemplo, las turbinas de vapor que utilizan un combustible fósil (carbón o gas natural) son una modalidad presente en los buques de guerra. Las turbinas de gas se instalan en diferentes tipos de buques que se caracterizan principalmente por la necesidad de una elevada velocidad de navegación. En cuanto a los buques mercantes y cruceros, el método de generación más extendido es aquel que utiliza un motor diesel acoplado a un alternador.

En líneas generales puede decirse que las turbinas se ajustan fácilmente, lo que permite una capacidad de sobrecarga mayor y desde el punto de vista mecánico ofrecen unas dimensiones menores y unas vibraciones más bajas; por contra, su respuesta es más lenta y el consumo de combustible es mayor si se las compara con los motores diesel.

Figura 8: Crucero



Una solución alternativa a las mencionadas anteriormente es la que se conoce como generación de cola, en la cual el alternador está acoplado al eje del motor propulsor principal por lo que aprovecha parte de la potencia mecánica producida por este motor térmico para generar energía eléctrica.

Esta solución presenta algunas características peculiares, como por ejemplo la necesidad de disponer de grupos generadores independientes capaces de suministrar la energía eléctrica necesaria a bordo cuando las revoluciones del motor propulsor principal son muy bajas o en caso de parada del mismo. Además, el sistema presenta problemas relacionados con el control de las revoluciones (rpm) del motor propulsor principal y con la producción simultánea de energía eléctrica de ambos sistemas (generadores de cola y grupos generadores).

A modo de ejemplo, se puede considerar la arquitectura de un buque hipotético, con unas determinadas características, descritas a continuación, y que puede representar un crucero estándar (véase Figura 8).

Con el único propósito de dar una idea orientativa sobre las cantidades a considerar, se presentan algunos datos que ayudan a una mejor comprensión de la arquitectura de este tipo de buques, considerados entre los más espectaculares por sus dimensiones.

Estos buques alcanzan un tonelaje bruto que varía desde unas decenas de miles de toneladas hasta cerca de 100.000 t, distribuidas a lo largo de esloras que pueden superar los 300 m y mangas de unos 50 m. El tonelaje bruto es un parámetro que define el índice de capacidad del buque y que comprende el volumen interno del buque, incluyendo el espacio que ocupa la sala de máquinas, los tanques de combustible y las zonas reservadas a la tripulación, empezando desde la superficie externa de la cabeza del casco.

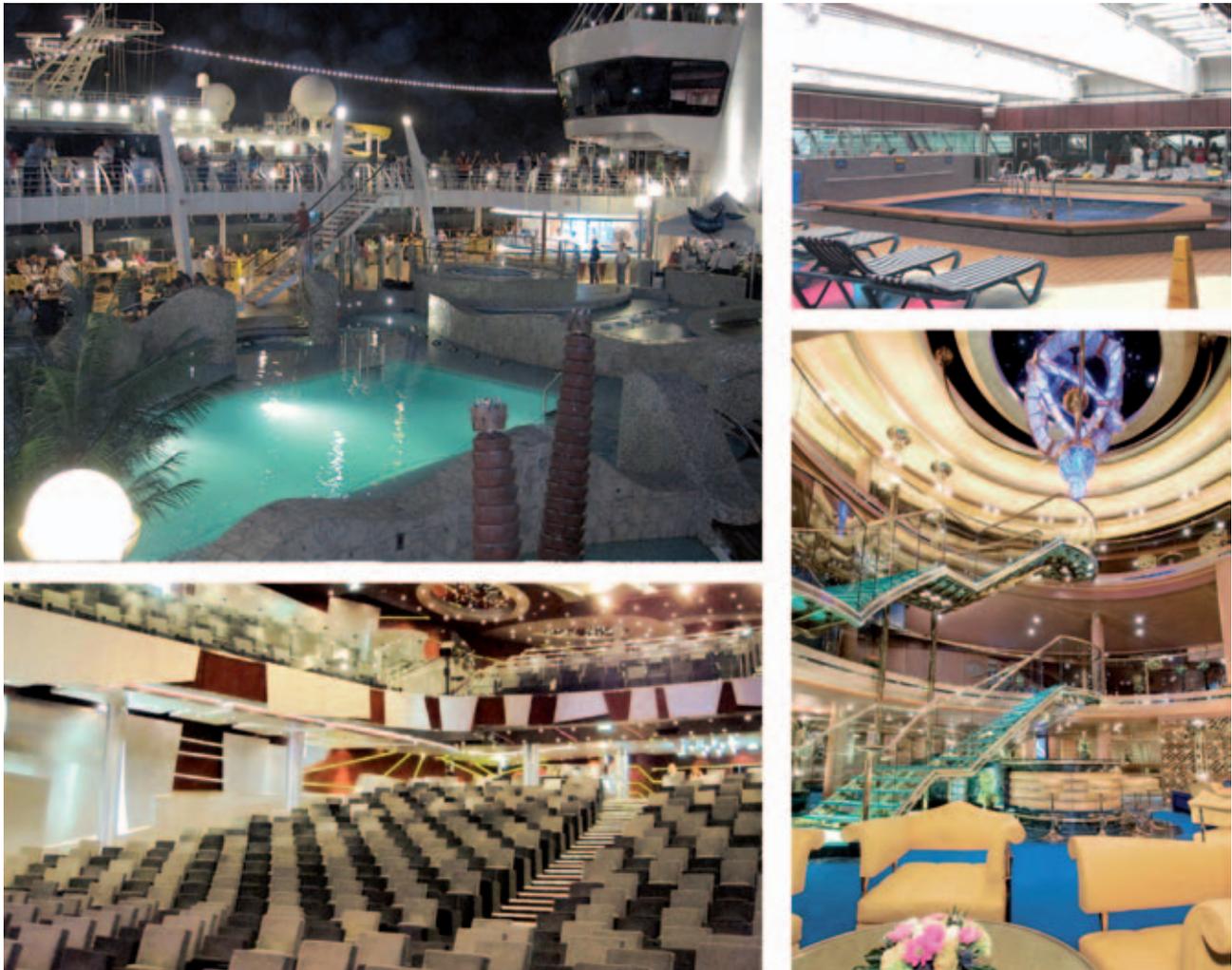
Un buque de estas características puede alojar a varios miles de pasajeros que son recibidos a bordo y distribuidos en miles de camarotes, en el gran vestíbulo con ascensores panorámicos, en diversos bares y restaurantes, piscinas, casinos, salas de baile y gimnasios, todos ellos situados en una docena de cubiertas.

Un crucero es todo esto y las Figuras 8 y 9 (vista panorámica y detallada, respectivamente) dan mejor cuenta del lujo y la elegancia de sus detalles que la descripción anterior.

Para asegurar la operación de todos los servicios durante la navegación de esta ciudad flotante, es necesario disponer a bordo de un suministro de energía eléctrica considerable. En primer lugar, hay que señalar que la energía eléctrica necesaria debe producirse en los equipos instalados a bordo; en otras palabras, debe disponerse de una planta de generación eléctrica independiente que sea capaz de generar toda la demanda de energía a plena carga.

La fuente de suministro de energía consiste, normalmente, en varios equipos formados por un alternador (generador síncrono) acoplado a un motor diesel. Teniendo en cuenta la potencia total absorbida por todas las cargas del buque, se aplica un coeficiente suplementario que tiene en cuenta cualquier posible aumento de demanda futuro. Además, se aplica otro margen de seguridad de tal modo que la fuente de suministro sea capaz de responder a dicho aumento de demanda incluso en caso de avería de uno de los grupos generadores. Para el cálculo de la potencia total instalada de los grupos generadores también hay que considerar el punto de máxima potencia de los alternadores, es decir, su máximo rendimiento, que corresponde al 75% de su potencia nominal máxima.

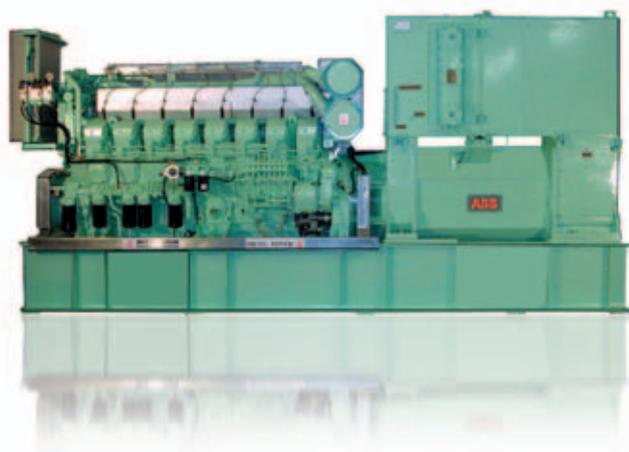
Figura 9: Ejemplo de mobiliario y acabados a bordo



Como ya se ha mencionado, los generadores instalados a bordo son dispositivos que consisten en un motor diesel que acciona una dinamo o un alternador trifásico acoplado de forma permanente al mismo formando una única máquina, también definida como grupo generador (véase Figura 10).

El alternador se mueve gracias al motor diesel, normalmente formado por 8 o 12 cilindros en línea o en "V", con potencias que van desde 1 hasta 10 MW y rendimientos con valores en torno al 95%; la tensión de salida puede ser tanto media como baja tensión. En algunas aplicaciones, el alternador puede estar acoplado, de forma alternativa, a una turbina de gas o a una combinación de ambos sistemas.

Figura 10: Grupo generador formado por un motor diesel y un alternador en una sola unidad.



Como es sabido, para operar un alternador debe suministrarse al devanado inductor la corriente de excitación necesaria para crear un campo magnético; para ello es necesario disponer de una dinamo de excitación, situada en el mismo eje del alternador, o bien, según diseños más actuales, de un sistema de rectificadores estáticos que convierten la tensión alterna, producida en el mismo alternador, en tensión continua.

Ante variaciones de carga, es posible mantener constante tanto la tensión de suministro como la frecuencia generada. Para ello se utilizan dispositivos de control que tienen la función de regular la velocidad de rotación del motor diesel, variando la cantidad de combustible, así como los parámetros de la excitatriz.

La planta generadora de un crucero con las características mencionadas anteriormente, está formada, normalmente, por seis generadores capaces de producir unos cincuenta megavatios (suficiente energía para abastecer una ciudad de 50.000 habitantes).

Los generadores, en general, están divididos en grupos y cada grupo alimenta a su propio embarrado.

Estos grupos pueden colocarse en paralelo y su operación se lleva a cabo mediante un dispositivo de control paralelo. Su función es acoplar el generador al embarrado principal

del cuadro de distribución correspondiente, cuando la fase y la tensión son prácticamente constantes comparadas con los parámetros de los alternadores que ya están en funcionamiento.

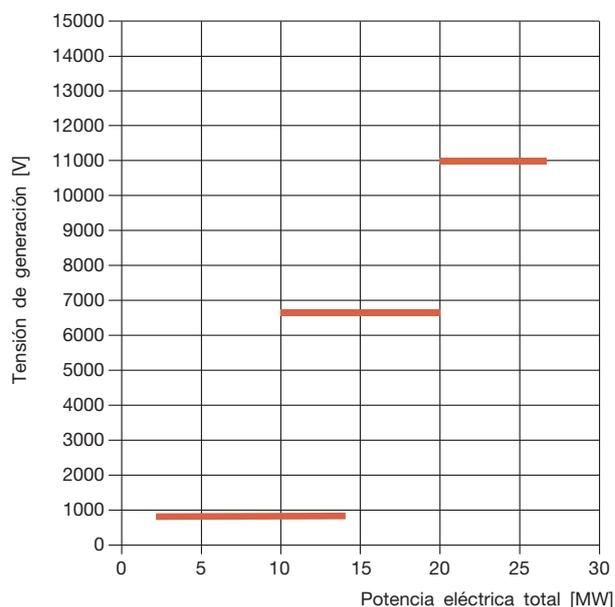
Una vez que los grupos generadores están funcionando en paralelo, el distribuidor de carga asigna a cada generador la potencia de las diferentes cargas según la demanda y el porcentaje de carga asignado a cada grupo. Por lo tanto, la automatización tiene la misión de arrancar y parar los generadores en función de la carga.

Los grupos generadores — con un grado de automatización importante —, los cuadros de distribución principales y los dispositivos de control constituyen la planta de producción de energía a bordo. El cuadro de distribución principal está normalmente dividido en dos o más secciones, cada una de las cuales tiene asignado un grupo generador, por lo que está garantizada la posibilidad de suministro redundante en función de las diferentes cargas.

El valor de la tensión de distribución primaria depende de la potencia total instalada a bordo. Los sistemas de distribución y generación de MT instalados a bordo de los grandes buques por lo general suministran tanto tensión de 11kV (cuando la potencia total de los generadores supera los 20 MW y la de cada generador individual supera los 400 kW), como tensión de 6,6 kV cuando la potencia total de los generadores se sitúa entre los 10 y los 20 MW con una potencia máxima en torno a 300 kW cada uno.

Para aplicaciones navales con una potencia total, de los generadores, hasta potencias de 12 MW donde se incluyen, por ejemplo, los yates o buques de tamaño medio, la generación y la distribución suele realizarse en baja tensión con valores de 440 V o 690 V. En el diagrama de la Figura 11 se resumen los diferentes niveles de tensión en función de la potencia total.

Figura 11: Representación de la tensión nominal en función de la potencia total a bordo



5 Sistemas de propulsión

La potencia propulsora instalada a bordo varía de forma considerable en función del tipo de buque y de las necesidades particulares del servicio.

En los buques estándar construidos durante la década de los 70, los sistemas de propulsión consistían en turbinas de vapor o motores diesel, tanto de dos tiempos (para aplicaciones navales exclusivamente) como de cuatro tiempos, cuyo eje accionaba la hélice.

Con el aumento de la capacidad de carga de los buques —en particular de los grandes buques de pasajeros de línea regular que en los últimos años han alcanzado dimensiones y tonelajes más allá de lo imaginable— se ha creado un campo de aplicación para la propulsión eléctrica de especial interés: el uso de un motor eléctrico como propulsor de las hélices del buque.

Al principio se utilizaron motores asíncronos debido a su robustez y a sus características constructivas sencillas. El siguiente paso fue el motor síncrono que, aunque tiene unas dimensiones globales mayores y un peso más elevado para una misma potencia dada, y pese a comportar más complicaciones en su control durante las operaciones de arranque e inversión de giro, permite su control actuando sobre la excitatriz con factores de potencia próximos a la unidad, lo que se traduce en una reducción del tamaño de la planta.

Además, es posible alcanzar una velocidad constante ya que el deslizamiento es nulo. También se caracterizan por la presencia de una fuerza electromotriz en el estátor cuando opera sin carga, lo que permite el uso de convertidores con maniobra natural para su control.

La propulsión eléctrica, por lo tanto, ha acabado imponiéndose; consiste en utilizar el motor principal del buque para

accionar un alternador eléctrico que suministra corriente eléctrica a un motor síncrono y que, a su vez, acciona la hélice.

Un buque, con las características inicialmente descritas, dispone normalmente de dos motores principales, cada uno de los cuales con una potencia de unos 10 MW, capaces de asegurar una velocidad de navegación media en torno a 20 nudos. Así pues, es posible alcanzar potencias de propulsión que van desde 15 hasta 30 MW, necesarias para una navegación óptima en mar abierto (véase Figura 12).

Para poder hacer una comparación con el valor total de potencia, el coeficiente $K_{P/T}$ resulta más adecuado; se define como el cociente entre la potencia eléctrica total a bordo y el tonelaje del buque, y puede tomar valores que, en general, se sitúan entre 0,15 y 0,25 kW/T.

La energía necesaria que debe suministrarse a los motores eléctricos tiene su origen en la planta eléctrica de MT, que también suministra energía al resto del buque.

Los grandes cruceros están equipados, en general, con dos motores síncronos, alimentados normalmente con una tensión de 6,6 kV, que accionan una hélice de paso fijo o variable en función del convertidor estático utilizado.

Cada motor eléctrico puede estar formado por dos devanados trifásicos diferentes con una potencia igual a la mitad de la potencia total del motor, en lugar de un único devanado trifásico. De este modo se garantiza cierta capacidad propulsora en caso de avería parcial de uno de los devanados.

El accionamiento de un motor eléctrico a través de la tensión y la frecuencia se realiza mediante convertidores de fre-

Figura 12: Navegación en mar abierto



cuencia estáticos, también denominados sincroconvertidores o "Inversores de Carga Conmutada LCI". Estos dispositivos convierten la corriente alterna de una red con una determinada frecuencia en una corriente eléctrica con una frecuencia variable, que puede ir desde cero hasta el valor nominal, y también verifican que la relación tensión/frecuencia se mantiene constante.

El convertidor que se utiliza en el sistema mostrado en la Figura 13 es de tipo indirecto, llevando a cabo en un primer paso la conversión de la corriente alterna a corriente continua a través de un puente de rectificadores que actúa durante las seis fases del ciclo y que está controlado por completo por tiristores.

La sección de CC garantiza que el motor propulsor disponga de la excitatriz necesaria para la operación del motor síncrono.

En el paso intermedio de la sección de CC hay una inductancia "L" en serie, cuya función es estabilizar la corriente a la entrada del convertidor. En el paso siguiente, denominado convertidor de fuente continua (CSI), se lleva a cabo la conversión de corriente continua a corriente alterna multifásica con frecuencia variable, mediante otro puente de rectificadores trifásico controlado que opera como convertidor en maniobra natural, donde la maniobra depende de la carga, es decir, del motor síncrono.

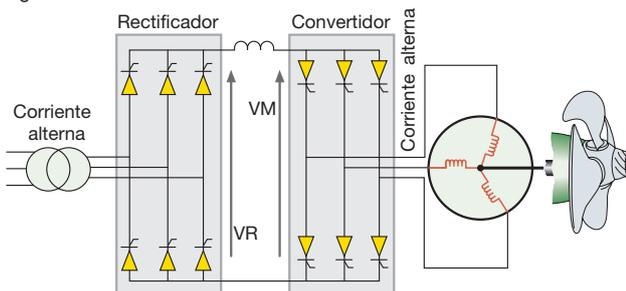
El principio de operación del sincroconvertidor, sin profundizar en desarrollos teóricos, se resume en lo siguiente: en los terminales de salida del puente trifásico que actúa como rectificador y en los terminales de entrada del puente trifásico que actúa como convertidor hay dos tensiones, VR y VM (con $VR > VM$ ya que el equipo controlado es un motor y no un alternador).

La tensión VM es proporcional a la velocidad de rotación y a la excitación del motor síncrono.

La diferencia de potencial permite controlar la corriente que pasa a través de la inductancia y, de forma periódica, a través de dos de los tres devanados del estátor, creando así un campo rotatorio con la dirección y frecuencia que requiere el sistema de control.

El rotor, con la excitación adecuada, empieza a girar e intenta alcanzar la misma velocidad síncrona del campo magnético en rotación.

Figura 13: Sincroconvertidor

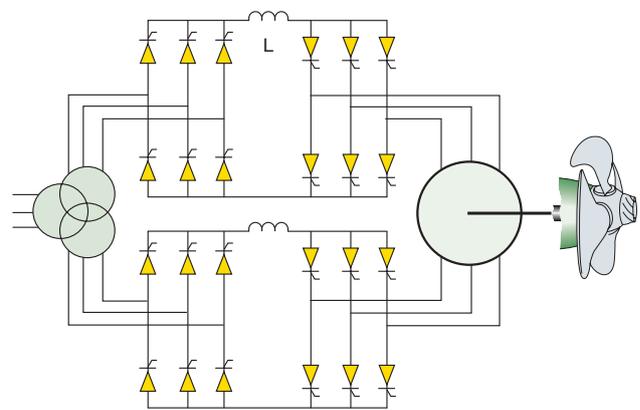


En el diagrama de la Figura 14 se muestran dos convertidores ca/ca (cada uno de ellos formado por un inversor alterna/continua y un inversor continua/alterna) debido a que el estátor del motor síncrono está formado por dos devanados trifásicos diferentes, cada uno de los cuales está equipado con su propio convertidor ca/ca.

El sistema permite la conversión ca/ca en 12 impulsos con la consiguiente ventaja de una reducción en los armónicos y en las pulsaciones del par entregado.

Además, la tendencia actual de utilizar filtros hace innecesario el uso de rectificadores con un gran número de impulsos, por lo que se reduce la contribución de los armónicos.

Figura 14: Sincroconvertidor para un motor de doble devanado



A partir de la descripción de los dos tipos de propulsión, es evidente que la propulsión eléctrica es más compleja que la mecánica, pues requiere de dos equipos para su aplicación (convertidor y motor eléctrico) además de una planta generadora sobredimensionada que por otra parte es necesaria en ambos casos para suministrar la energía eléctrica a bordo.

Como resultado, si se considera el peso, el volumen y el coste, puede parecer que este sistema es menos conveniente, pero otros elementos, señalados a continuación, han logrado que la propulsión eléctrica salga vencedora.

A pesar de un mayor volumen total aparente, la propulsión diesel eléctrica permite optimizar los espacios gracias a que los generadores pueden ubicarse más cerca de la hélice.

Por lo tanto, es posible reducir las limitaciones mecánicas debidas a la alineación y el dimensionado del eje, que constituye el componente que une el motor propulsor principal con la hélice.

Además, la propulsión diesel eléctrica garantiza una gran flexibilidad en el control de los motores.

El empleo de la tecnología electrónica aporta ventajas incontestables en cuanto a rendimiento y mantenimiento, comparado con los dispositivos mecánicos necesarios para adecuar la velocidad de rotación de los motores diesel al bajo número de revoluciones propio del funcionamiento de las hélices.

La presencia de un control automático que permite la adaptación a las diferentes condiciones de operación, haciendo que sea más sencilla y mejorando la maniobrabilidad, la regulación de la velocidad y el gobierno, optimiza el rendimiento total con una reducción del consumo de combustible y de las emisiones contaminantes. Además, también se reducen el ruido y las vibraciones.

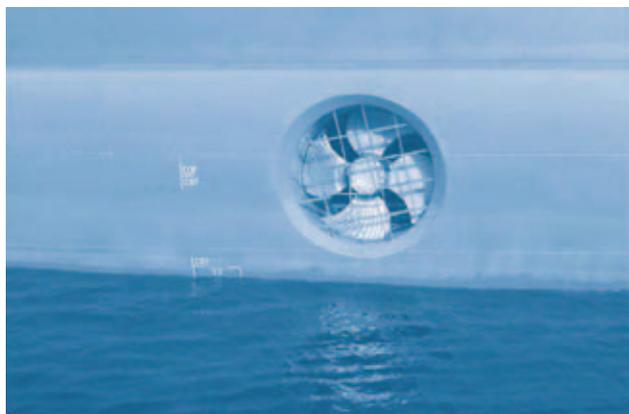
Están surgiendo otras modalidades de propulsión; en concreto se está considerando con gran interés el uso de motores síncronos de imanes permanentes gracias a sus características peculiares: por ejemplo la elevada densidad de potencia que pueden alcanzar, la reducción de las pérdidas en el cobre con el consecuente aumento de rendimiento, el aumento de la fiabilidad (al no necesitar de un devanado de excitación, con lo cual se eliminan todos los problemas mecánicos y eléctricos derivados del uso de escobillas) o el aumento del confort acústico gracias a su reducido nivel de ruido.

Con respecto a la maniobra en puerto o, en general, en aguas restringidas, los buques utilizan un sistema con hélices de maniobra, situadas en las zonas de proa y de popa, que producen un empuje lateral.

Dicho sistema habitualmente se conoce como "hélice de proa" o "hélice de popa", según la ubicación, y no debe confundirse o asociarse con el sistema de propulsión principal.

La hélice de maniobra puede rotar tanto en sentido horario como en sentido antihorario, en un plano paralelo al eje longitudinal del buque, lo cual produce un empuje lateral hacia la derecha (estribor) o hacia la izquierda (babor). La solución más extendida, que se muestra en la Figura 15, es aquella en la cual el motor eléctrico está ubicado en el interior de un túnel, abierto en sus extremos y construido en el casco del buque.

Figura 15: Hélice de maniobra en el casco de un buque



A principios de los años 90, la empresa Asea Brown Boveri (ABB) y el astillero finés Kvaerner Masa Yards (KMY) desarrollaron un sistema de propulsión revolucionario e innovador: el Azipod. Este sistema se caracteriza por su excelente respuesta a las necesidades más exigentes y por una mejora en la maniobrabilidad del buque.

Tal y como muestra la Figura 16, el sistema está formado por una góndola donde se aloja el motor eléctrico, ubicada en la parte sumergida del casco, a proa o popa en función del tipo de buque (por ejemplo, en los rompehielos se sitúa en proa), y orientable 360°.

Figura 16: Azipod



La góndola, diseñada según criterios hidrodinámicos, aloja un motor de imanes permanentes cuyo par y velocidad de rotación se controlan mediante un convertidor de frecuencia. La hélice se acciona mediante un pequeño eje; normalmente se trata de una hélice de paso fijo que se monta en uno de los dos extremos de la góndola en función de las necesidades de propulsión de arrastre, habitual en buques con velocidades bastante elevadas, o de empuje, en maniobras caracterizadas por su baja velocidad y empuje elevado (remolcadores).

El dispositivo puede rotar 360° alrededor de su eje vertical, lo que hace posible aprovechar la máxima potencia en cualquier dirección. Entre las ventajas más importantes destacan el aumento de la maniobrabilidad y eficiencia del buque en comparación con el sistema de propulsión tradicional, haciendo innecesario el uso del timón y de las hélices de maniobra.

El sistema Azipod permite una reducción del consumo de combustible en torno al 10-15% comparado con los sistemas de propulsión convencionales y, en consecuencia, una mejora en el impacto ambiental gracias a la reducción de las emisiones de CO₂.

Asimismo se reduce el ruido y las vibraciones y se optimiza el espacio a bordo.

6 Aspectos generales de los sistemas eléctricos a bordo

Sin entrar en detalles sobre las modalidades de gestión de los sistemas eléctricos de distribución o sobre el diseño que puede tener una instalación eléctrica a bordo, conviene hacer una breve descripción que permita la comprensión de su estructura y complejidad.

En las plantas eléctricas a bordo de los grandes buques o en los buques más modernos tales como los cruceros, la generación de energía eléctrica a bordo se realiza como se ha visto en la planta generadora, que en algunos casos puede estar dividida en dos partes, una situada en proa y otra en popa.

El sistema de distribución de media tensión (véase Figura 17) parte del cuadro de distribución principal que está formado por dos secciones, cada una de las cuales conectada a su vez a un grupo generador.

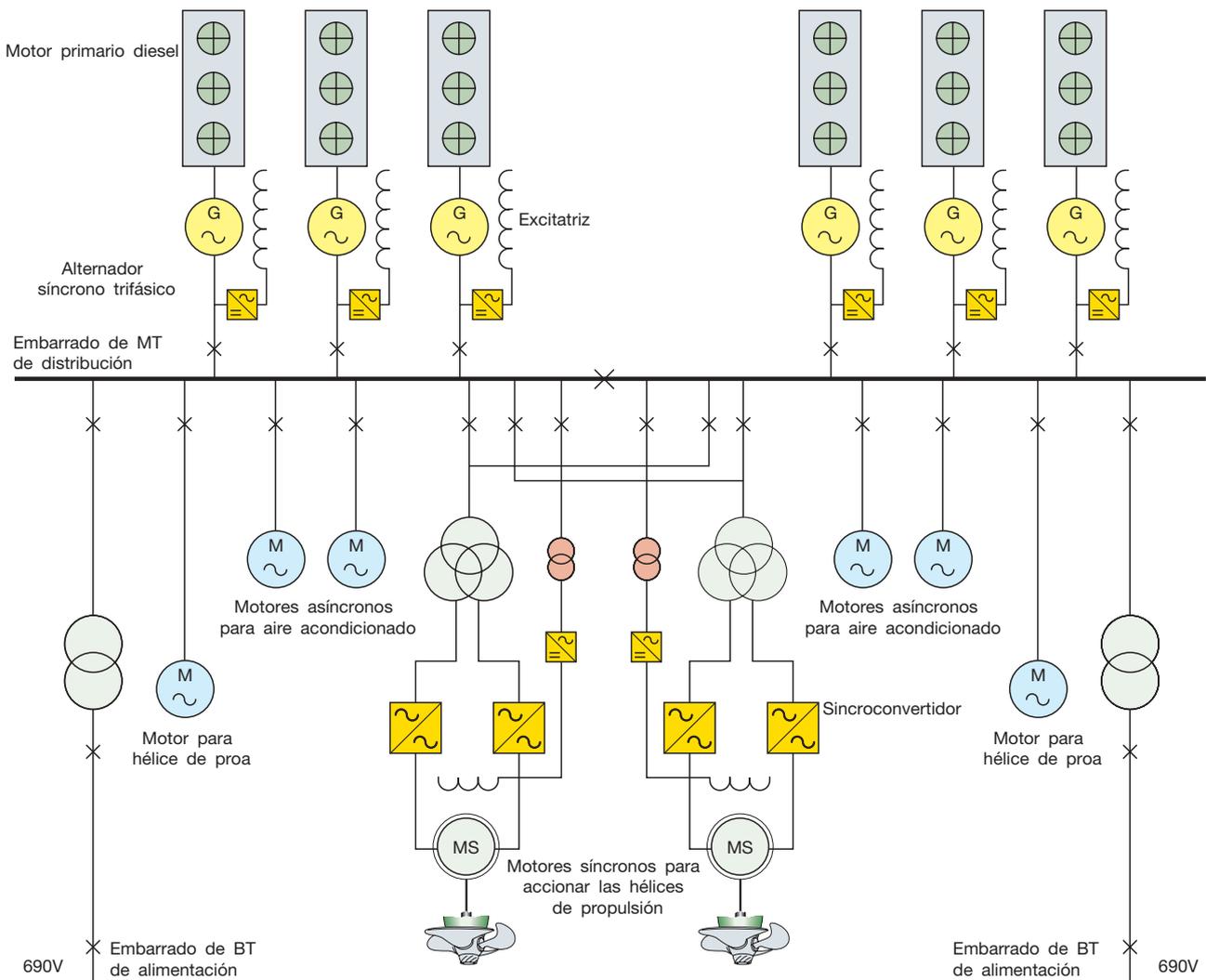
Estos embarrados normalmente se conectan a través de un interruptor de acoplamiento que permite la gestión de la energía en función de las necesidades concretas de con-

sumo, siempre con el objetivo de mantener una eficiencia tal que garantice en todo momento un buen nivel de seguridad y estabilidad del buque.

El embarrado principal del sistema de media tensión o algunos cuadros secundarios de distribución entregan la energía directamente o a través de dispositivos de control (p. ej., convertidores electrónicos) a los siguientes puntos de consumo:

- 1) cargas esenciales de gran potencia (p. ej., los propulsores principales o las hélices de maniobra para el desplazamiento transversal del buque);
- 2) motores de gran potencia, por ejemplo para equipos de aire acondicionado o para equipos con funciones concretas relacionadas con el tipo de buque;
- 3) diversas subestaciones situadas en las zonas de servicio que alimentan con electricidad de BT a todas las cargas, ya sea para iluminación de la zona en concreto o para cargas de pequeña potencia.

Figura 17: Esquema general de las modalidades de generación y suministro de MT



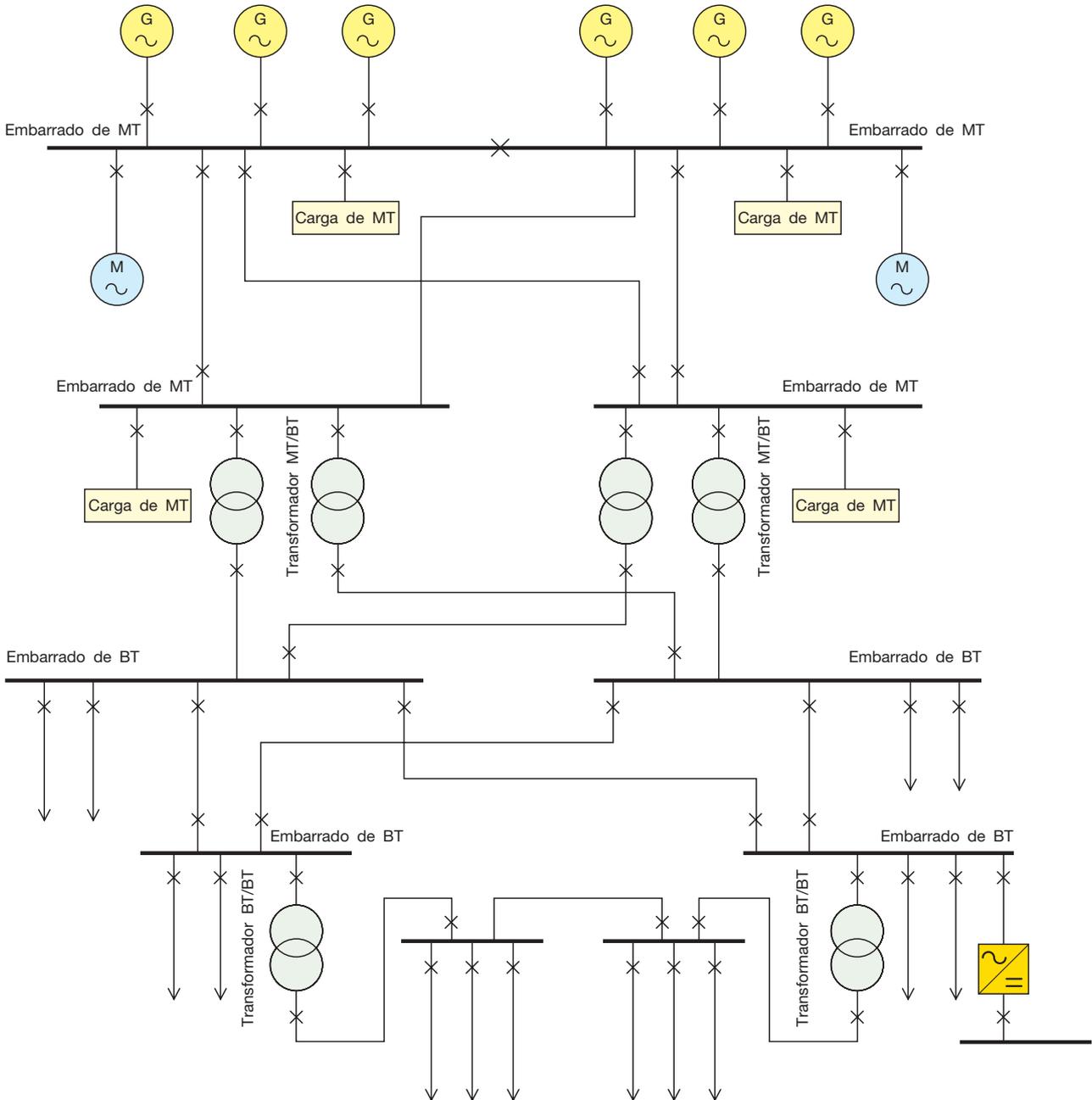
Por lo tanto, el suministro de energía secundaria a los cuadros de distribución de BT se inicia en las subestaciones, pasando por los transformadores de MT/BT. A menudo estos cuadros de distribución ofrecen la posibilidad de disponer de un suministro de energía redundante que proviene de otro cuadro de distribución de MT, alimentado a su vez por la otra mitad del embarrado del cuadro principal de MT.

A partir de los cuadros de BT se extiende una compleja red (véase Figura 18) que alimenta diferentes tipos de cargas de BT a bordo, tales como el timón, las maquinillas de cubierta o los sistemas auxiliares del motor, además del

sistema de iluminación, de las instalaciones de ocio y confort, así como de los servicios auxiliares de la habitación (cocinas y lavanderías).

La planta eléctrica debe garantizar en todo momento la continuidad del servicio, para lo cual se utilizan cuadros de distribución con dos entradas de alimentación que a su vez se alimentan de otros cuadros de distribución. En caso de avería es importante poner cuanto antes fuera de servicio solo la carga implicada o la sección afectada por la avería. Por este motivo es fundamental aplicar criterios selectivos para todas las cargas.

Figura 18: Esquema general sobre la distribución de MT y BT a bordo



En párrafos anteriores ya se han mencionado los valores de la tensión de generación de MT. En cuanto a la tensión de distribución de las instalaciones de BT, hay que destacar que el valor estándar era de 440 V hasta hace pocos años. Debido al continuo aumento del tonelaje y, en consecuencia, de la potencia requerida a bordo, la tensión de suministro se ha elevado hasta 690 V y, en algunos casos particulares, hasta 1000 V debido a la dificultad de operar con valores de corriente nominal y de cortocircuito cada vez mayores. Este cambio ha comportado algunas ventajas, tales como una reducción parcial de los valores de la corriente de falta, una reducción de la sección de los cables —y en consecuencia de los pesos y dimensiones totales—, una reducción de las caídas de tensión, un aumento de la longitud admisible de los cables así como de la potencia de los motores que pueden conectarse directamente a una red primaria y, en general, de todas las cargas del cuadro principal.

La distribución final en baja tensión se lleva a cabo a tensiones más bajas (400 V/230 V) que se obtienen mediante transformadores BT/BT. Las frecuencias que se utilizan son de 50 Hz o de 60 Hz, en función de aspectos diversos como pueden ser el tipo de construcción naval y el país de origen. En el caso de cargas especiales, comúnmente en el sector militar, son necesarios circuitos especiales en presencia de frecuencias de 400 Hz. El valor de la tensión en corriente continua es habitualmente de 48 V, mientras que se utilizan 110 V o 125 V para algunos circuitos concretos, como por ejemplo los dispositivos para cargar baterías o los circuitos auxiliares de automatización.

Las instalaciones eléctricas navales están sujetas a especificaciones de proyecto concretas, que se distinguen de las instalaciones terrestres por algunos detalles debidos a todos los aspectos y necesidades relacionados con las características del entorno a considerar, y que pueden hallarse en cada tipo de buque. De hecho, la red eléctrica instalada a bordo constituye un sistema en isla caracterizado por distancias cortas entre la planta de generación de energía y los puntos de consumo. La potencia total instalada puede ser muy elevada, con valores de cortocircuito altos y fuerzas electrodinámicas que requieren poner especial atención en la seguridad y el diseño de dichos sistemas. En general, un sistema de distribución de puesta a tierra se divide en dos subsistemas diferentes, mientras que para una instalación eléctrica a bordo existen menos posibilidades de integración y gestión.

La potencia total de los generadores es comparable con la potencia total instalada teniendo en cuenta el margen de seguridad, y la potencia nominal de algunas cargas es comparable con la de los generadores de forma individual. Por lo tanto, a bordo no existen embarrados con potencia infinita, es decir, que la potencia disponible supera con creces a la potencia demandada por las cargas, tal y como ocurre con las plantas de generación eléctrica instaladas en tierra.

Como consecuencia, la división entre el suministro y el uso de la energía debe permitir el arranque de los motores asíncronos más grandes con el mínimo número posible de

generadores en marcha y sin causar una caída de tensión tal que produzca una perturbación en el sistema de distribución.

Los posibles tipos de fallo, que van desde la sobrecarga hasta el cortocircuito, están relacionados con los sistemas en isla. El entorno particular y las condiciones de operación a bordo, con vías de evacuación limitadas y zonas con acceso restringido, pueden hacer que sea más grave y complicado hacer frente a las diferentes modalidades de operación y consecuencias de una avería.

Para obtener unas elevadas prestaciones en relación a la seguridad de las instalaciones eléctricas a bordo, los cables utilizados deben evitar la propagación del fuego. Por lo tanto deben poseer propiedades de retardo de llama, al objeto de mantener la situación bajo control, y las emisiones de humo y vapores tóxicos deben tener un grado de toxicidad mínimo para los pasajeros.

Deben instalarse diversos sistemas de seguridad, como sistemas de detección de incendios sofisticados.

Como se ha mencionado anteriormente, por motivos de seguridad debe evitarse la falta de suministro a los servicios esenciales a bordo. En consecuencia, el sistema de distribución debe disponer de la posibilidad de suministro redundante, que normalmente se logra mediante un sistema en anillo abierto. Por ejemplo, la división del embarrado principal de MT, con la posibilidad de unir ambas partes en caso necesario, hace que el suministro de energía a los motores eléctricos del sistema de propulsión esté garantizado, con lo que no pelagra el gobierno del buque; o bien que los cuadros de BT dispongan de suministro redundante que provenga de otros cuadros de distribución; o por último mediante un adecuado diseño de la planta de generación de emergencia.

Las instalaciones eléctricas a bordo funcionan con corriente alterna debido a que ofrecen mejores garantías en cuanto a su gestión, en términos de fiabilidad y costes, que aquellas que funcionan con corriente continua.

La red de distribución primaria de MT está formada en general por un sistema trifásico con tres conductores sin neutro. Este sistema normalmente se gestiona con el neutro del sistema en estrella aislado de tierra o puesto a tierra a través de una resistencia o de una bobina Petersen, por lo que permite una reducción en los valores de las corrientes de fuga y cortocircuito. En este sentido, un primer defecto con pérdida de aislamiento no representa un peligro y permite una intervención de mantenimiento en servicio sin que las protecciones actúen.

A pesar de esto, el defecto debe ser localizado y el servicio debe volver a la normalidad de forma inmediata con el fin de evitar que el primer defecto se convierta en un doble defecto a tierra, lo que resulta extremadamente peligroso en los sistemas informáticos y de comunicaciones.

En el pasado, las instalaciones eléctricas a bordo se caracterizaban por su extensión limitada y por la baja potencia instalada, con un sistema de distribución secundario formado por una red monofásica de dos conductores aislados, o bien tres conductores con el punto medio del transforma-

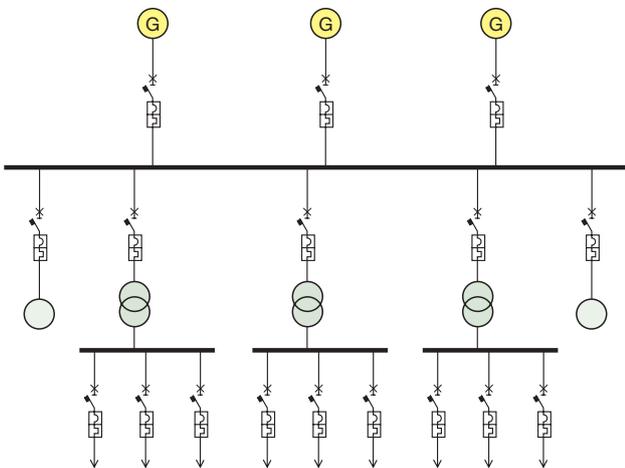
dor conectado a tierra. En la actualidad, la potencia instalada a bordo ha aumentado de forma considerable, por lo que la distribución se realiza mediante un sistema trifásico de cuatro conductores —tres fases más neutro, que en la mayoría de casos no está conectado a tierra—, de tal forma que es posible disponer de tensión bifásica de forma sencilla.

La red de distribución secundaria generalmente se distribuye de forma radial, con la posibilidad de suministro redundante a los cuadros de distribución mediante dos líneas diferentes, disponiendo así de una conexión de reserva para las cargas. La selección de un sistema u otro se realiza en función del tipo de planta y su ejecución se lleva a cabo mediante un interruptor o con interruptores automáticos enclavados.

Las diversas redes de distribución principal de MT poseen una estructura diferente dependiendo del tipo de buque y la potencia instalada, y pueden ser del tipo radial con subestaciones o cuadros secundarios de distribución.

El esquema radial simple (véase Figura 19) incluye un cuadro de distribución principal con un único embarrado desde donde se alimenta a todos los puntos de consumo de BT. Esta configuración resulta ser crítica, en particular si se produce un fallo en el cuadro de distribución principal que puede poner en peligro la fiabilidad del suministro a bordo.

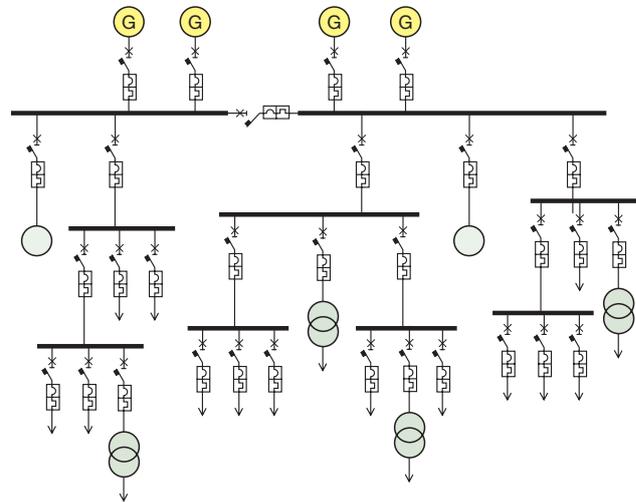
Figura 19: Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución radial



El sistema de distribución radial compuesto (véase Figura 20) es más adecuado que el anterior para plantas de media potencia compuestas por un cuadro de distribución principal, con uno o más embarrados, y algunos cuadros de distribución secundarios, cuya función exclusiva es suministrar energía desde el cuadro principal a los de distribución secundarios situados en distintos puntos de la instalación. Con esta configuración es posible una reducción notable en el número de circuitos con origen en el cuadro de distribución principal y, por lo tanto, en los dispositivos instalados en el mismo.

En cambio, si tenemos en cuenta la continuidad del servicio para aquellos puntos de consumo derivados de los diferentes cuadros secundarios de distribución, es de gran impor-

Figura 20: Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución radial compuesto

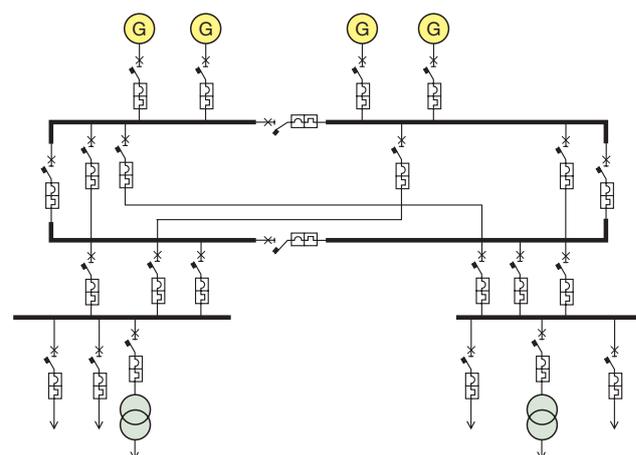


tancia realizar un diseño adecuado de la cadena de interruptores automáticos situados en los diferentes niveles del sistema de distribución. De este modo, si se produce un fallo, solo provocará el disparo del interruptor automático afectado, quedando garantizado el suministro de energía al resto de cargas y cuadros secundarios.

La continuidad del suministro de energía en los sistemas radiales viene a menudo garantizada mediante un diseño que incluye un anillo de reserva (véase Figura 21), cuyo objetivo es el suministro de energía a aquellas subestaciones cuya alimentación a través de la línea principal se ha visto interrumpida, o incluso a todo un grupo de subestaciones en caso de un fallo grave de una de las mitades del embarrado del cuadro principal. En este caso, considerado como muy grave, la disponibilidad de los grupos generadores se reduce a la mitad, con lo cual solo se dispone de la mitad de la potencia instalada.

El anillo de reserva debe ser diseñado de tal forma que pueda hacer frente a las necesidades de operación en dicha situación, caracterizada por su extrema emergencia.

Figura 21: Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución con anillo de reserva



La planta eléctrica a bordo se divide en tres partes, que son:

- la planta principal, formada por los servicios esenciales del buque, tales como el sistema de propulsión o los circuitos con funciones prioritarias a bordo, cuyas características dependen del tipo de buque (p. ej., los circuitos que alimentan a las bombas o los compresores en un buque tanque para el transporte de gas; o aquellos circuitos que alimentan a los equipos de carga/descarga en buques portacontenedores);
- los circuitos auxiliares, entre los que se incluyen los sistemas de producción y distribución de energía para iluminación y fuerza motriz auxiliar;
- las instalaciones especiales para las que se ha desarrollado una tecnología concreta (instalaciones telefónicas, dispositivos electrónicos para diferentes aplicaciones, telégrafos, torsiómetros, sistemas de navegación integrados, dispositivos de detección de incendios, etc.).

Otra diferencia fundamental es la distinción que se puede hacer entre cargas esenciales y no esenciales, lo que influye en el sistema de distribución que las alimenta. Las cargas esenciales son aquellas para las que debe garantizarse el suministro y su buen funcionamiento, incluso en situaciones de emergencia, ya que llevan a cabo funciones imprescindibles para la seguridad del buque. Dentro de ellas destacan por encima de todas el sistema de propulsión, el sistema de control de motores, timones y estabilizadores, los sistemas de protección contra incendios, los sistemas de alarma, los sistemas auxiliares y de comunicación para la navegación y el sistema de iluminación de emergencia.

También se consideran esenciales aquellas cargas que contribuyen a crear un mejor confort o una mayor seguridad para la vida de los pasajeros a bordo, tales como el sistema de climatización o la planta de agua.

El sistema eléctrico, en cumplimiento de las reglas de las Sociedades de Clasificación, cuenta también con una planta de generación de emergencia situada en una zona diferente a la de la planta de generación, normalmente en una de las cubiertas más elevadas, quedando por encima de la línea de flotación. La planta de generación de emergencia consta de un grupo autónomo diesel, con una potencia del orden de varios MW, que produce energía en BT (440 V o 690 V).

El motor diesel en cuestión debe ser capaz de arrancar incluso cuando la red principal no puede entregar energía, que normalmente se obtiene mediante la conexión a un SAI. Un conjunto de baterías garantiza la disponibilidad de energía también durante el arranque del grupo de emergencia. En condiciones de operación normales, es decir, en presencia de tensión de red, las baterías son alimentadas continuamente con una tensión constante mediante un rectificador, de tal forma que se mantienen totalmente cargadas. En caso de fallo en el cuadro principal, un dispositivo de control inicia el proceso de conmutación de las cargas esenciales (aquellas que también deben ser alimentadas en situaciones de emergencia) al cuadro de distribución de emergencia (p. ej., el sistema de iluminación de emergencia, el sistema de bombas contra incendio, los equipos de go-

bierno y los sistemas auxiliares imprescindibles para el funcionamiento de la sala de máquinas, los sistemas de comunicaciones y señalización, etc.).

En algunos puertos, debido a la normativa ambiental sobre emisiones, los buques deben parar sus motores diesel —interrumpiéndose la producción de energía eléctrica a bordo— y conectarse a la red local. En general la red local suministra energía en BT, aunque algunas instalaciones más modernas pueden hacerlo en MT.

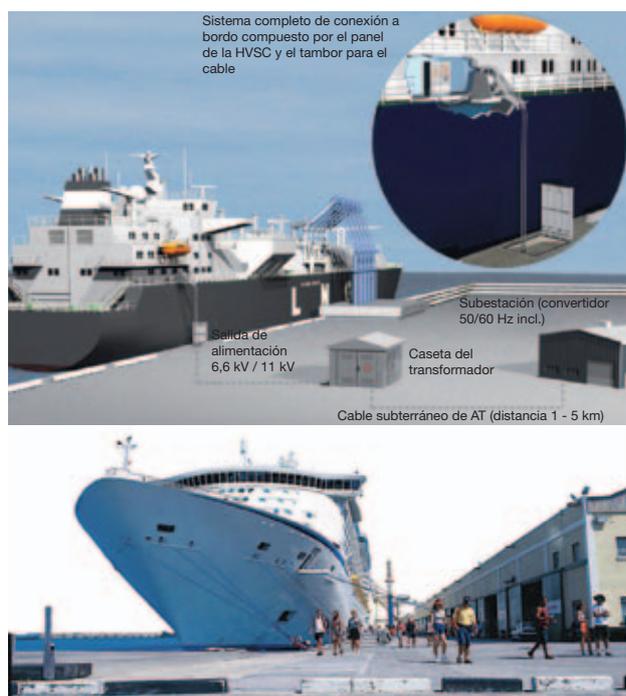
Este procedimiento, conocido como conexión de alta tensión en puerto (HVSC –High Voltage Shore Connection–), está teniendo una buena acogida entre las autoridades portuarias de muchos países, al permitir la reducción de las emisiones contaminantes producidas por los buques atracados, con la consecuente mejora de la calidad del aire en las zonas portuarias y su entorno.

La tecnología HVSC (véase Figura 22) permite el suministro de energía de forma directa desde el muelle al buque de tal forma que, al quedar garantizada la operatividad de la sala de máquinas y de las instalaciones a bordo (cámaras frigoríficas, iluminación, calefacción y aire acondicionado), es posible parar los grupos generadores diesel.

La operación en paralelo de ambos sistemas, necesaria para el suministro de energía eléctrica a bordo, no debe causar problemas en la calidad del suministro de la red de distribución local.

A modo ilustrativo sobre la mejora en el impacto ambiental, un gran crucero atracado durante 10 horas y conectado a la red eléctrica local reduce su consumo en casi 20 toneladas de combustible, el equivalente a 60 toneladas de CO₂ que deja de emitir a la atmósfera (el consumo anual de 25 automóviles).

Figura 22: Conexión de alta tensión en puerto (HVSC)



7 Condiciones de selección de dispositivos de baja tensión: prescripciones de las Normas y reglas de las Sociedades de Clasificación

7.1 Interruptores automáticos de maniobra y protección

7.1.1 Idoneidad según las condiciones ambientales

Las condiciones del entorno a bordo son de gran importancia; de hecho el medio marino, con su alto nivel de humedad y sus condiciones de instalación en espacios reducidos a temperaturas de servicio que fácilmente pueden alcanzar valores por encima de lo normal, así como la presencia de esfuerzos mecánicos tales como vibraciones debidas al movimiento del buque o de origen mecánico (motores térmicos), contribuyen a generar un medio agresivo y extremadamente hostil.

Estas condiciones requieren el uso de materiales eléctricos especialmente resistentes.

En relación con todos aquellos aspectos relevantes para la aplicación de componentes eléctricos en las instalaciones marinas, las reglamentaciones de las diferentes Sociedades de Clasificación establecen las prescripciones necesarias

que deben cumplir tales componentes cuando se prueban, así como las prestaciones que deben ofrecer.

Además, es necesario que dispongan de toda la documentación técnica, es decir, los informes de los "ensayos de tipo" que certifican que los componentes cumplen con las normas del producto, que para los interruptores automáticos son las normas IEC 60947-1 e IEC 60947-2.

La Tabla 2, más abajo, resume las principales verificaciones a las que se deben someter los dispositivos eléctricos de acuerdo a las reglas de las Sociedades de Clasificación más importantes.

Tal y como muestra la Tabla 2, las reglas están bastante armonizadas. Los parámetros más importantes que se indican son aquellos que normalmente requieren las Sociedades de Clasificación en las pruebas de componentes eléctricos al objeto de reconocer su idoneidad para aplicaciones navales.

En el caso de buques para navegación sin restricciones, la temperatura del aire que se toma como referencia para es-

Tabla 2: Parámetros de algunas de las pruebas prescritas por las Sociedades de Clasificación

Sociedades de Clasificación	Vibraciones	Variaciones parámetros de alimentación	Calor húmedo
Lloyd's Register	Rango de frecuencias: 5-13,2 Hz Desplazamiento: 1 mm Rango de frecuencias: 13,2-100 Hz Aceleración: 0,7 g	Variaciones de tensión (estacionario) % +10/-10 Transitorios de tensión (duración 1,5 s) +20/-20 Variaciones de frecuencia (estacionario) % +5/-5 Transitorios de frecuencia (duración 5 s) +10/-10	Aumentar T desde 20 °C hasta 55 °C. Mantener T=55 °C durante 12 h (HR 90-100%). Disminuir T hasta 20 °C. Mantener T=20 °C durante al menos 6 h (HR 80-100%) 2 ciclos
RINA	Rango de frecuencias: 5-13,2 Hz Desplazamiento: 1 mm Rango de frecuencias: 13,2-100 Hz Aceleración: 0,7 g	Variaciones de tensión (estacionario) % +6/-10 Transitorios de tensión (duración 1,5 s) +20/-20 Variaciones de frecuencia (estacionario) % +5/-5 Transitorios de frecuencia (duración 5 s) +10/-10	IEC 60068-2-30 Prueba Db Aumentar T, T=55 °C. Mantener T=55 °C durante 12 h (HR 95%) Ciclos: 2 (2x 12+12 h)
DNV	Rango de frecuencias: 5-13,2 Hz Desplazamiento: 1 mm Rango de frecuencias: 13,2-100 Hz Aceleración: 0,7 g Velocidad de barrido: máx 1 oct/min	Variaciones de tensión (estacionario) % +10/-10 Transitorios de tensión (duración 1,5 s) +20/-20 Variaciones de frecuencia (estacionario) % +5/-5 Transitorios de frecuencia (duración 5 s) +10/-10	IEC 60068-2-30 Prueba Db Aumentar T, T=55 °C. Mantener T=55 °C durante 12 h (HR 90-96% a 55°C) Ciclos: 2 (2x 12+12 h)
ABS	Rango de frecuencias: 5-13,2 Hz Desplazamiento: 1 mm Rango de frecuencias: 13,2-100 Hz Aceleración: 0,7 g Velocidad de barrido: máx. 1 oct/min	Variaciones de tensión (estacionario) % +6/-10 Transitorios de tensión (duración 1,5 s) +20/-20 Variaciones de frecuencia (estacionario) % +5/-5 Transitorios de frecuencia (duración 5 s) +10/-10	IEC 60068-2-30 Prueba Db Aumentar T: T=55 °C, HR=95% Ciclos: 2 ciclos (12+12 h)
BV	Rango de frecuencias: 5-13,2 Hz Desplazamiento: 1 mm Rango de frecuencias: 13,2-100 Hz Aceleración: 0,7 g	Variaciones de tensión (estacionario) % +10/-10 Transitorios de tensión (duración 1,5 s) +20/-20 Variaciones de frecuencia (estacionario) % +5/-5 Transitorios de frecuencia (duración 5 s) +10/-10	IEC 60068-2-30 Prueba Db Aumentar T: T=55 °C, HR=95% Ciclos: 2 ciclos (12+12 h)
GL	Rango de frecuencias: 5-13,2 Hz Desplazamiento: 1 mm Rango de frecuencias: 13,2-100 Hz Aceleración: 0,7 g	Variaciones de tensión (estacionario) % +6/-10 Transitorios de tensión (duración 1,5 s) +20/-20 Variaciones de frecuencia (estacionario) % +5/-5 Transitorios de frecuencia (duración 5 s) +10/-10	IEC 60068-2-30 Prueba Db Aumentar T: T=55 °C, HR=95% Ciclos: 2 ciclos (12+12 h)

pacios confinados se sitúa entre +5 y +45 °C; para buques clasificados para su servicio en zonas concretas, como es el caso de buques que operan fuera de las latitudes tropicales, se considera una temperatura máxima ambiente de 40 °C. Las prescripciones estándar prescriben un valor de humedad relativa del 95% a 55 °C.

Los niveles de vibración varían en función de la ubicación que deba tener cada componente eléctrico. En el caso de instalaciones dentro de consolas de mando y control, cubiertas a la intemperie o en espacios dedicados a habitación, las reglas exigen que los equipos cumplan con: para un rango de frecuencias de 2 a 13,2 Hz, una amplitud máxima de 1 mm; y para frecuencias que van de 13,2 a 100 Hz, una aceleración máxima de 0,7 g (1g = 9,8 m/s²).

El objetivo de algunas prescripciones pasa por garantizar la calidad de la energía que suministra la planta generadora a bordo en relación con la tensión, frecuencia y distorsión armónica, y que todos los componentes eléctricos deben cumplir con el fin de operar de forma satisfactoria.

Los valores de tensión y de frecuencia admiten una variación de +6% y -10% y de +/- 5%, respectivamente. En cuanto a la distorsión armónica de aquellos sistemas que no tengan cargas esenciales controladas por convertidores estáticos y estén alimentados por un alternador síncrono, la distorsión armónica total en tensión no debe superar el 5% y cada armónico no debe superar el 3% del fundamental. En presencia de cargas controladas por convertidores estáticos, cada armónico no debe superar el 5% de la tensión nominal hasta el armónico n.º 15 de la frecuencia nominal y la distorsión armónica total no debe superar el 10%. En cuanto a aquellos dispositivos destinados a la difusión o transmisión de señales a través de ondas electromagnéticas, como en equipos radar o de radiocomunicaciones, las Sociedades de Clasificación también prescriben verificaciones para aquellos aspectos relacionados con la compatibilidad electromagnética que incluyen pruebas de inmunidad contra perturbaciones y emisiones, tanto radiadas como producidas en conductores.

Prueba de resistencia al calor seco	Inmunidad a radiación debida a campos de radiofrecuencia	Inmunidad a campos de alta frecuencia producidos en conductores
IEC 60068-2-2 Pruebas Bb-Bd Aumentar T, T=70 °C (HR=50% a 35 °C, equivalente a un 9% a 70 °C) Duración 16 h a 70 °C	Rango de frecuencias 80 MHz-2 GHz Modulación 80% a 1000 Hz Intensidad del campo 10 V/m Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /segundo	IEC 61000-4-6 Intervalo de frecuencias 150 kHz-80 MHz Amplitud 3 V rms Modulación 80% a 1000 Hz Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% / segundo
IEC 60068-2-2 Aumentar T, T=55 °C o T=70°C Duración 2 h a 70 °C o 16 h a 55 °C	IEC 61000-4-3 Rango de frecuencias 80 MHz-2 GHz Modulación 80% a 1000 Hz Intensidad del campo 10 V/m Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /segundo	IEC 61000-4-6 Rango de frecuencias 150 kHz-80 MHz Amplitud 3 V rms Modulación 80% a 1000 Hz Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% / segundo
IEC 60068-2-2 Pruebas Bb-Bd Aumentar T - Duración 16 h a 55 °C + 2h a 70 °C (HR máx 55%) Clase B	IEC 61000-4-3 Rango de frecuencias 80 MHz-2 GHz Modulación 80% a 1000 Hz Intensidad del campo 10 V/m Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /segundo	IEC 61000-4-6 Rango de frecuencias 150 kHz-80 MHz Amplitud 3 V rms (10 V rms para el puente y la zona de cubierta) Modulación 80% a 1000 Hz Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /3s (conforme a nivel 2 de severidad de la norma)
IEC 60068-2-2 Pruebas Bb-Bd Aumentar T - Duración 16 h a 55 °C o 2 h a 70 °C	IEC 61000-4-3 Rango de frecuencias 80 MHz-2 GHz Modulación 80% a 1000 Hz Intensidad del campo 10 V/m Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /3s (conforme a nivel 3 de severidad de la norma)	IEC 61000-4-6 Rango de frecuencias 150 kHz-80 MHz Amplitud 3 V rms Modulación 80% a 1000 Hz Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /3s (conforme a nivel 2 de severidad de la norma)
IEC 60068-2-2 Pruebas Bb-Bd Aumentar T - Duración 16 h a 55 °C o 2 h a 70 °C (70 °C para aquellos equipos no ubicados en espacios climatizados)	IEC 801-3 Rango de frecuencias 80 MHz-2 GHz Intensidad del campo 10 V/m	No disponible
IEC 60068-2-2 Aumentar temperatura: 55 °C 16 h (HR máx=50%) para equipos instalados en zonas de elevado estrés térmico Duración: 70 °C 16 h (HR máx=50%) para equipos instalados en zonas de elevado estrés térmico o sobre la cubierta a la intemperie	IEC 61000-4-3 Rango de frecuencias 80 MHz-2 GHz Modulación 80% a 1000 Hz Intensidad del campo 10 V/m Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /3s	IEC 61000-4-6 Rango de frecuencias 150 kHz-80 MHz Amplitud 3 V rms Modulación 80% a 1000 Hz Frecuencia de barrido menor de 1,5x10 ⁻³ dec/s, o 1% /3s (conforme a nivel 2 de severidad de la norma)

7.1.2 Parámetros para la selección de interruptores automáticos

Las características eléctricas que se pueden definir en función de los valores de tensión, corriente asignada y corriente de falta de la sección de la planta considerada son los parámetros más importantes que deben compararse con las características eléctricas de los interruptores y dispositivos de protección a instalar.

El cálculo de la corriente de cortocircuito se realizará, tal y como indican las reglas de las Sociedades de Clasificación, de acuerdo a las prescripciones de la norma IEC 61363 “Instalaciones eléctricas de barcos y unidades móviles y fijas en el exterior. Parte 1: Procedimientos para calcular corrientes de cortocircuito en c.a. de tres fases.”

Tal y como se indica en las normas sobre instalaciones eléctricas a bordo, queda claro que dichas instalaciones se componen de diferentes tipos de equipos eléctricos, tales como grupos generadores, motores síncronos y asíncronos, convertidores y transformadores.

Además, la presencia de reguladores automáticos y la característica no lineal de algunos componentes puede condicionar los cálculos, por lo que, para tener en cuenta todo el sistema eléctrico como un conjunto, debe utilizarse un simulador de cálculo.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito, debe considerarse el máximo número de grupos generadores que pueden estar conectados de forma simultánea y el número total de motores que, normalmente, están conectados a la red a la vez.

El cálculo de la corriente de cortocircuito de conformidad con la norma IEC 61363 prescribe la determinación de la componente aperiódica $i_{ac}(t)$, caracterizada por las fases subtransitoria, transitoria y síncrona o estado estacionario. Para el cálculo de los parámetros característicos del dispositivo de protección, puede tomarse como referencia el valor del semiperíodo $T/2$ (10 ms a 50 Hz).

También hay que considerar la contribución de la componente aperiódica i_{dc} (componente de la corriente que se halla en un circuito inmediatamente después de que se produzca el cortocircuito); la siguiente expresión

$$i_p = \sqrt{2} \times i_{ac}(t) + i_{dc}(t)$$

permite calcular el valor pico de la corriente de cortocircuito en función de las condiciones de precarga y de los parámetros típicos del alternador.

La norma acepta el valor pico calculado para $T/2$. Debe prestarse atención al hecho de que los sistemas eléctricos a bordo se caracterizan por la presencia de grandes grupos generadores instalados en espacios reducidos y, en consecuencia, las corrientes de cortocircuito pueden alcanzar valores que superen lo establecido en la norma debido a la característica no lineal y al comportamiento variable en función del tiempo de los componentes activos durante el cortocircuito, así como debido a la presencia de cables con una gran sección transversal y longitudes reducidas propias de la estructura de la instalación (distancias

reducidas entre el grupo generador y los puntos de falta más importantes).

El factor de potencia estándar, indicado en la Tabla 3, es el valor que recogen las normas IEC 60947-1 e IEC 60947-2, que hacen referencia a las reglas generales para equipos de protección y maniobra de BT (Parte 1) y, en concreto, a interruptores automáticos (Parte 2).

Tabla 3: Valores del factor de potencia correspondientes a las pruebas de intensidad y al valor "n" de la relación entre la corriente de pico y el valor rms

Prueba de intensidad [A]	Factor de potencia $\cos\varphi$	Factor de pico n
$I \leq 1500$	0,95	1,41
$1500 < I \leq 3000$	0,9	1,42
$3000 < I \leq 4500$	0,8	1,47
$4500 < I \leq 6000$	0,7	1,53
$6000 < I \leq 10000$	0,5	1,7
$10000 < I \leq 20000$	0,3	2
$20000 < I \leq 50000$	0,25	2,1
$50000 < I$	0,2	2,2

Por lo tanto, cuando se calcula el poder de corte y cierre, es necesario prestar especial atención al valor del factor de potencia de la instalación y, en concreto, al factor de pico relativo a los parámetros equivalentes que exige la norma para el dispositivo.

En resumen, todos los tipos de interruptores automáticos que se utilizan a bordo deben seleccionarse no solo considerando la corriente nominal y los valores de la tensión que deberían superar los parámetros más relevantes de la instalación, sino también teniendo en cuenta el comportamiento bajo condiciones de cortocircuito de acuerdo a los límites que se indican a continuación:

- un poder de cierre nominal, bajo condiciones de cortocircuito “ I_{cm} ” en relación con la tensión de empleo; no debe ser inferior al pico calculado en cumplimiento de lo que prescribe la norma IEC 61363 para el punto de instalación del dispositivo. Por lo tanto, $I_{cm} > I_p$;
- un poder nominal de corte, bajo condiciones de cortocircuito “ I_{cu} ” o “ I_{cs} ” en relación con la tensión de empleo; no debe ser inferior al valor calculado para la corriente alterna $i_{ac}(t)$ en un semiciclo $T/2$. Por lo tanto, o bien $I_{cu} > i_{ac}(T/2)$ o $I_{cs} > i_{ac}(T/2)$;
- un factor de pico en el punto de falta que no debe ser inferior al valor al que hace referencia el comportamiento del interruptor automático, probado de acuerdo a lo que exige la norma para el dispositivo.

Además, en referencia a los valores del poder de corte, es necesario recordar que las Sociedades de Clasificación, excepto en casos particulares y acuerdos concretos con la entidad certificadora, no aceptan la protección de respaldo entre dos interruptores automáticos y, por lo tanto, se confirma que debe ser o bien $I_{cu} > i_{ac}(T/2)$ o $I_{cs} > i_{ac}(T/2)$.

En cuanto a la selección del poder de corte, las Sociedades de Clasificación introducen una especificación más que indica la tipología de los circuitos para la que se ha seleccionado el interruptor automático de acuerdo a sus valores Icu o Ics.

En los circuitos eléctricos que forman parte de los servicios no esenciales o en los circuitos redundantes de los servicios esenciales, la selección del interruptor automático se puede realizar utilizando el valor Icu. En la práctica, solo los interruptores para grupos generadores y aquellos que no disponen de alimentación redundante son seleccionados teniendo en cuenta el valor Ics.

Respecto a la selección de circuitos automáticos que incluyan la posibilidad de garantizar un retardo en el disparo intencional, es decir, interruptores automáticos adecuados para ser selectivos, la selección del dispositivo debe realizarse de acuerdo al valor Icw.

7.2 Modos de protección de los equipos eléctricos instalados a bordo

Las instalaciones eléctricas a bordo deben protegerse contra sobreintensidades provocadas por cortocircuitos o sobrecargas accidentales.

La selección de los dispositivos de protección debe tener en cuenta los problemas típicos de las aplicaciones navales; por ejemplo, para adaptar tanto como sea posible el mismo interruptor en función de las características del cable suministrado a cualquier posible modificación de la carga controlada (p. ej. un aumento de la potencia), sería conveniente prever la instalación de interruptores con funciones de protección ajustables.

Con el fin de facilitar cualquier posible operación de modificación, revisión y mantenimiento, es preferible utilizar dispositivos insertables o extraíbles (Figura 23). Además, para garantizar la máxima seguridad posible de los técnicos, estas versiones simplifican dichas operaciones que, a menudo, se llevan a cabo en unas condiciones que no son las óptimas debido a su ubicación en espacios reducidos.

El comportamiento de los diferentes dispositivos de protección debe garantizar la protección y coordinación para asegurar en la medida de lo posible:

- la eliminación de los efectos de la corriente de falta, por lo que se reducen los daños que puede sufrir el sistema eléctrico y el riesgo de incendio;
- la continuidad del servicio en caso de falta mediante la selección de dispositivos que ofrezcan selectividad en los diferentes niveles del sistema de distribución elegido.

Con sus reglas, las Sociedades de Clasificación proporcionan prescripciones detalladas en relación con los modos de protección contra sobreintensidades de los diferentes dispositivos eléctricos instalados a bordo. Aquí se informa acerca de algunas de las prescripciones principales y más importantes a cumplir, aunque hay que hacer referencia a las reglas de las diferentes Sociedades de Clasificación para

Figura 23: Parte fija e interruptiva de Emax versión extraíble



obtener información detallada de los diferentes componentes.

Cada sistema de distribución aislado para potencia, calefacción o iluminación, ya sea primario (alimentado directamente por grupos generadores) o secundario (alimentado por transformadores), debe ser suministrado con un dispositivo capaz de supervisar de forma continua el grado de aislamiento a tierra y ofrecer alarmas visuales y audibles que indiquen valores de aislamiento anómalos o bajos.

En los sistemas conectados a tierra de forma directa o a través de una baja impedancia, el circuito afectado por la falta debe desconectarse de forma automática.

La protección eléctrica se situará lo más cerca posible al origen de los circuitos protegidos y deberá asegurar la protección contra sobrecargas y cortocircuitos de todos aquellos conductores no conectados a tierra, mientras que los conductores que están conectados a tierra no deben ser desconectados.

Existen reglas diferentes para los circuitos de alimentación de cargas concretas como, por ejemplo, los circuitos principales, auxiliares para control o de alimentación de los timones que solo deben contar con protección contra cortocircuitos.

La protección contra cortocircuitos de los grupos generadores se establece de tal forma que provoque un disparo instantáneo del interruptor automático para un valor de la corriente inferior al valor permanente, y la protección contra sobrecargas provoca el disparo cuando el valor de la misma se sitúa entre un 10 y un 50% de la intensidad nominal, que corresponde a $1,5 \ln G$ y, excepto en casos concretos, el tiempo de disparo no debe superar los 2 minutos.

Los dispositivos de protección de los motores eléctricos deben proporcionar protección térmica apropiada según el tipo de arranque utilizado, y el interruptor magnetotérmico debe permitir la presencia de intensidades elevadas durante el transitorio de la fase de arranque.

Los transformadores se diseñan para soportar, sin que se produzcan daños y durante 2 segundos, las consecuencias térmicas y mecánicas debidas a un defecto en el devanado secundario. El devanado primario del transformador, normalmente de tipo seco y refrigerado por aire, debe protegerse mediante un dispositivo contra sobrecargas y cortocircuitos que asegure la selectividad hacia aquellos circuitos alimentados por el devanado secundario del transformador.

En cuanto a la continuidad del servicio, es necesario que exista selectividad entre los diversos interruptores automáticos en la entrada y en la salida de los dispositivos que alimentan a otras cargas, de tal forma que solo se aislará aquella parte de la instalación en la que se produzca un defecto sin poner en peligro o comprometer la continuidad de cualquier otro servicio esencial.

ABB ofrece diferentes soluciones y recomendaciones, más allá de las técnicas de selectividad clásicas (tiempo-corriente o energía), como la selectividad de zona que puede obtenerse con interruptores automáticos en caja moldeada mediante el relé de protección PR223EF.

La selectividad de zona permite utilizar esta propiedad mediante dos interruptores automáticos del mismo tamaño (T4L T5L T6L) y un protocolo de enclavamiento a través de un cable que une el dispositivo consumidor (carga) con el alimentador.

Esta configuración permite un ahorro económico y de espacio al poder utilizar interruptores del mismo tamaño.

Otra función de selectividad particularmente útil en redes con topología de malla o anillo es la selectividad de zona direccional, que puede conseguirse entre interruptores automáticos de bastidor abierto equipados con relés de protección del tipo PR123-PR333; tales dispositivos son capaces de controlar las señales de bloqueo y variar los tiempos de disparo en función de la corriente que circula a través de ellos. Estos interruptores automáticos, caracterizados por sus prestaciones frente a intensidades elevadas y, en consecuencia, adecuados para controlar la distribución principal en baja tensión, que en aplicaciones navales se lleva a cabo mediante dos embarrados y un interruptor de acoplamiento, permiten operar la planta con tan solo uno de los embarrados en el caso de que se produzca un fallo en el otro.

Para un análisis más detallado de estas técnicas de selectividad consulte la documentación sobre el tema (véase Figura 24): el Cuaderno Técnico N.º1 “Selectividad de baja tensión con interruptores automáticos”, la Publicación Técnica “Protección direccional y selectividad de zona direccional” y la Publicación Técnica sobre PR223EF “Selectividad de zona con tecnología de Prevención y Detección anticipada de fallos”.

Figura 24: Documentos técnicos de ABB



8 Gama de productos de baja tensión y disponibilidad de homologaciones

8.1 Interruptores automáticos de maniobra y protección

Las series de interruptores automáticos de baja tensión en caja moldeada Tmax T (T1-T2-T3-T4-T5-T6-T7-T8) y Tmax XT (XT1-XT2-XT3-XT4), junto con las series de interruptores automáticos de bastidor abierto Emax (X1-E1-E2-E3-E4-E6) garantizan unas prestaciones de elevado nivel en comparación con sus reducidas dimensiones globales. Además de cumplir con las diversas prescripciones de operación de los diferentes sistemas de distribución, ABB ofrece la gama de soluciones más completa para protección de componentes eléctricos a bordo gracias a los interruptores automáticos que incorporan relés de protección o disparo. Los interruptores automáticos de las series Tmax T y Tmax XT son especialmente apropiados para su uso en aplicaciones de distribución secundaria, instalaciones industriales en corriente continua (excepto los modelos T7 y T8) y alterna, para la protección de motores en centros de control de motores y para diversos usuarios finales.

Los interruptores automáticos abiertos Emax pueden utilizarse como interruptores de protección general, o bien como interruptores automáticos de protección de equipos eléctricos.

Los interruptores automáticos de ABB ofrecen, además de las funciones de protección, la posibilidad de realizar comunicaciones (véase Figura 25), que es particularmente apropiada para automatización, mediciones, análisis de redes y ahorro de energía.

Estas funciones permiten la supervisión total de la carga y de las condiciones de generación de energía y, mediante la interacción con los sistemas de control del buque, el ajuste de los parámetros en función de los diferentes rumbos de navegación.

Mediante contactos programables y, gracias a las funciones de comunicación, es posible obtener un nivel de automatización eficiente y descentralizado, capaz de reaccionar a las variaciones y a todas las perturbaciones del sistema eléctrico en un tiempo razonable.

Figura 25: Comunicación mediante interruptores automáticos de ABB



Dentro de la gama de interruptores automáticos en caja moldeada se ofrecen soluciones para:

- Protección de motores. Se lleva a cabo mediante interruptores automáticos con relés de tipo solo magnético en coordinación con relés térmicos y contactores, y con los relés electrónicos más sofisticados para la protección de motores, que también integran funciones de protección dedicadas como desequilibrio de fases (U), bloqueo del rotor (R) o protección contra sobrecalentamientos mediante sondas PTC, además de las funciones de protección tradicionales contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Protección del generador. Se lleva a cabo mediante relés con funciones de protección contra cortocircuitos con umbrales bajos que cubren las demandas particulares de este tipo de equipos.

Dentro de la gama de interruptores automáticos de bastidor abierto Emax, equipados con relés de protección en las versiones más sofisticadas, es posible obtener un avanzado sistema de protección que permita la implementación de funciones de control avanzado, siendo especialmente apropiadas para la gestión de aplicaciones particularmente críticas. Las funciones de control avanzado más importantes disponibles son:

- la función conocida como "doble S", disponible en PR123 y PR333, permite el ajuste de dos umbrales independientes y que están activos a la vez; esto es particularmente útil para mejorar las condiciones de selectividad también bajo las condiciones más críticas;
- la función conocida como "dual setting", disponible en PR123 y PR333, permite programar el relé con dos ajustes de parámetros diferentes y, a través de una orden externa, conmutar de un ajuste al otro en función de las necesidades de la instalación; esto ocurre, por ejemplo, cuando se conmuta de la planta de generación principal al grupo de emergencia o en el caso de los sistemas de protección que son alimentados mediante un número de grupos generadores menor al habitual. Paralelamente a esta función, también hay que tener en cuenta la disponibilidad de la función de control de carga para favorecer el suministro a las cargas esenciales en caso de una reducción del suministro de energía;
- las funciones de selectividad de zona mencionada anteriormente (PR122-PR123-PR332-PR333) y de selectividad de zona direccional (PR123-PR333), que permiten la gestión de redes más complejas;
- la función conocida como "doble G", disponible en los relés PR123 y PR333, que permite la implementación de protecciones contra defectos a tierra mediante la actuación sobre el dispositivo de protección en la sección de media tensión.

Además, es posible cubrir necesidades particulares mediante las funciones de protección dedicada tales como:

- función de "arranque", que permite la operación de las protecciones S, I y G durante la fase de arranque con umbrales de disparo más elevados que los valores pre-

establecidos (para motores, transformadores y todas las cargas con una corriente de arranque elevada);

- memoria térmica para las funciones L y S, y desequilibrio de fases (U) para la protección de motores;
- potencia inversa (RP), subtensión (UV), sobretensión (OV), tensión residual (RV), baja frecuencia (UF) y sobrefrecuencia (OF) para la protección óptima de generadores;
- rotación de fases para la protección de los interruptores automáticos de la conexión en puerto;
- función de cortocircuito direccional con retardo ajustable (D), para la protección de generadores e interruptores de acoplamiento.

Los relés para interruptores automáticos en caja moldeada del tipo Tmax T y Tmax XT, así como los interruptores automáticos de bastidor abierto del tipo Emax, equipados con módulos de medición adecuados, hacen que también sea posible disponer de funciones de medición útiles para supervisar los parámetros eléctricos más importantes de la planta (intensidad, tensión, potencia, energía y cálculo de armónicos).

Para más información acerca de los diferentes modos de operación consulte la documentación técnica correspondiente.

Familia Tmax T

Los interruptores automáticos Tmax T están disponibles en 8 tamaños, con intensidades nominales que van de 1 a 3200 A, y disponen de relés de protección de tipo electrónico o magnetotérmico en función de su tamaño.

En concreto, para satisfacer todas las necesidades de las aplicaciones navales, hay disponible toda una gama de interruptores automáticos para corriente alterna con tensiones de hasta 690 V (véase Tabla 4).

Familia Tmax XT

Los nuevos interruptores automáticos en caja moldeada de la familia Tmax XT están disponibles en 4 tamaños, con intensidades nominales de los relés que van de 1 a 250 A, y disponen de relés de protección de tipo electrónico o magnetotérmico en función de su tamaño.

En concreto, para satisfacer todas las necesidades de las aplicaciones navales, hay disponible toda una gama de interruptores automáticos para corriente alterna con tensiones de hasta 690 V (véase Tabla 5).

Familia Emax

Los interruptores Emax de bastidor abierto están disponibles en seis tamaños, incluyendo el interruptor automático X1. La intensidad nominal de los relés comprende valores que van desde 400 hasta 6300 A y disponen de relés de protección electrónicos.

En concreto, para satisfacer todas las necesidades de las aplicaciones navales, hay disponible toda una gama de productos:

- interruptores automáticos para la distribución de corriente alterna de hasta 690 V (Tabla 6);

- interruptores seccionadores para la distribución de corriente continua de hasta 1000 V (Tabla 7);
- interruptores automáticos para la distribución de corriente continua de hasta 1000 V (Tabla 8).

Para las aplicaciones en el sector naval, prácticamente toda la gama de productos ha sido homologada por las Sociedades de Clasificación más importantes mencionadas anteriormente.

Para una información más detallada acerca de la disponibilidad de los certificados correspondientes para cada interruptor automático, contacte con ABB. Las tablas 4-5-6-7-8 que se muestran en las siguientes páginas resumen los parámetros eléctricos más importantes de los interruptores automáticos estándar.

Familia Tmax T



Familia Tmax XT



Familia Emax



Tabla 4: Interruptores automáticos Tmax T para aplicaciones de hasta 690 V

		T1			T2				T3	
Corriente permanente asignada Iu	[A]	160			160				250	
Polos	[N.º]	3/4			3/4				3/4	
Tensión asignada de servicio Ue (CA) 50-60 Hz	[V]	690			690				690	
Tensión asignada soportada a impulso Uimp	[kV]	8			8				8	
Tensión asignada de aislamiento Ui	[V]	800			800				800	
Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 min	[V]	3000			3000				3000	
Poder asignado de corte último en cortocircuito Icu		B	C	N	N	S	H	L	N	S
220-230 V 50-60 Hz	[kA]	25	40	50	65	85	100	120	50	85
380-400-415 V 50-60 Hz	[kA]	16	25	36	36	50	70	85	36	50
440 V 50-60 Hz	[kA]	10	15	22	30	45	55	75	25	40
500 V 50-60 Hz	[kA]	8	10	15	25	30	36	50	20	30
690 V 50-60 Hz	[kA]	3	4	6	6	7	8	10	5	8
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito Ics		B	C	N	N	S	H	L	N	S
220-230 V 50-60 Hz	[kA]	100%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	50%
380-400-415 V 50-60 Hz	[kA]	100%	100%	75%	100%	100%	100%	75% (70 kA)	75%	50% (27 kA)
440 V 50-60 Hz	[kA]	100%	75%	50%	100%	100%	100%	75%	75%	50%
500 V 50-60 Hz	[kA]	100%	75%	50%	100%	100%	100%	75%	75%	50%
690 V 50-60 Hz	[kA]	100%	75%	50%	100%	100%	100%	75%	75%	50%
Poder asignado de cierre en cortocircuito Icm (valor de pico)		B	C	N	N	S	H	L	N	S
220-230 V 50-60 Hz	[kA]	52,5	84	105	143	187	220	264	105	187
380-400-415 V 50-60 Hz	[kA]	32	52,5	75,6	75,6	105	154	187	75,6	105
440 V 50-60 Hz	[kA]	17	30	46,2	63	94,5	121	165	52,5	84
500 V 50-60 Hz	[kA]	13,6	17	30	52,5	63	75,6	105	40	63
690 V 50-60 Hz	[kA]	4,3	5,9	9,2	9,2	11,9	13,6	17	7,7	13,6
Relés de protección		TMD			TMD - MA - ELT				MA - TMD	
Versión		F			F-P				F-P	
Categoría de uso (IEC 60947-2)		A			A				A	

T4					T5					T6					T7				
250/320					400/630					630/800					800/1000/1250/1600				
3/4					3/4					3/4					3/4				
690					690					690					690				
8					8					8					8				
1000					1000					1000					1000				
3500					3500					3500					3500				
N	S	H	L	V	N	S	H	L	V	N	S	H	L	V**	S	H	L	V*	X***
70	85	100	200	200	70	85	100	200	200	70	85	100	200	200	85	100	200	200	170
36	50	70	120	200	36	50	70	120	200	36	50	70	100	150	50	70	120	150	170
30	40	65	100	180	30	40	65	100	180	30	45	50	80	120	50	65	100	130	170
25	30	50	85	150	25	30	50	85	150	25	35	50	65	85	50	50	85	100	75
20	25	40	70	80	20	25	40	70	80	20	22	25	30	40	30	42	50	60	75
N	S	H	L	V	N	S	H	L	V	N	S	H	L	V**	S	H	L	V*	X***
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	80% (120 kA)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	83% (100 kA)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100% 75% 630 A	100% 50% 630 A	100%	100%	100%	75%	76% (65 kA)	100%	100%	75%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100% 75% 630 A	100% 50% 630 A	100% 50% 630 A	75%	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%	100%
N	S	H	L	V	N	S	H	L	V	N	S	H	L	V**	S	H	L	V*	X***
154	187	220	440	660	154	187	220	440	660	154	187	220	440	440	187	220	440	440	374
75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	220	330	105	154	264	330	374
63	84	143	220	396	63	84	143	220	396	63	73,5	105	176	264	105	143	220	286	374
52,5	63	105	187	330	52,5	63	105	187	330	52,5	46	105	143	187	84	105	187	220	165
40	52,5	84	154	176	40	52,5	84	154	176	40	46	52,5	63	84	63	88,2	105	132	165
MA - TMD - TMA - ELT					TMA - ELT					TMA - ELT					ELT				
F-P-W					F-P-W					F-W					F-W				
A					B Icw = 5 kA (400 A) A (630 A)					B Icw = 7,6 kA (630 A) B Icw = 10 kA (800 A) A (1000A)					B Icw = 20 kA (400 A) B Icw = 15 kA (400 A)				

** Disponible para 630 A y 800 A

* No disponible para 1600 A

*** Disponible para 800 A

Tabla 5: Interruptores automáticos Tmax XT para aplicaciones de hasta 690 V

		XT1					
Corriente permanente asignada Iu	[A]	160					
Polos	[N.º]	3/4					
Tensión asignada de servicio Ue (CA) 50-60 Hz	[V]	690					
Tensión asignada soportada a impulso Uimp	[kV]	8					
Tensión asignada de aislamiento Ui	[V]	800					
Poder asignado de corte último en cortocircuito Icu		B	C	N	S	H	N
220-230 V, 50-60 Hz	[kA]	25	40	65	85	100	65
380 V 50-60 Hz	[kA]	18	25	36	50	70	36
415 V 50-60 Hz	[kA]	18	25	36	50	70	36
440 V 50-60 Hz	[kA]	15	25	36	50	65	36
500 V 50-60 Hz	[kA]	8	18	30	36	50	30
525 V 50-60 Hz	[kA]	6	8	22	35	35	20
690 V 50-60 Hz	[kA]	3	4	6	8	10	10
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito Ics		B	C	N	S	H	N
220-230 V, 50-60 Hz	[kA]	100%	100%	75% (50)	75%	75%	100%
380 V 50-60 Hz	[kA]	100%	100%	100%	100%	75%	100%
415 V 50-60 Hz	[kA]	100%	100%	100%	75%	50% (37,5)	100%
440 V 50-60 Hz	[kA]	75%	50%	50%	50%	50%	100%
500 V 50-60 Hz	[kA]	100%	50%	50%	50%	50%	100%
525 V 50-60 Hz	[kA]	100%	100%	50%	50%	50%	100%
690 V 50-60 Hz	[kA]	100%	100%	75%	50%	50%	100%
Poder asignado de cierre en cortocircuito Icm (valor de pico)		B	C	N	S	H	N
220-230 V, 50-60 Hz	[kA]	52,5	84	143	187	220	143
380 V 50-60 Hz	[kA]	36	52,5	75,6	105	154	75,6
415 V 50-60 Hz	[kA]	36	52,5	75,6	105	154	75,6
440 V 50-60 Hz	[kA]	30	52,5	75,6	105	143	75,6
500 V 50-60 Hz	[kA]	13,6	36	63	75,6	105	63
525 V 50-60 Hz	[kA]	9	13,6	46,2	73,5	73,5	40
690 V 50-60 Hz	[kA]	4,5	6	9	13,6	17	17
Relés de protección		TMD					
Versión		F-P					
Categoría de uso (IEC 60947-2)		A					

XT2				XT3		XT4				
160				250		160/250				
3/4				3/4		3/4				
690				690		690				
8				8		8				
1000				800		1000				
S	H	L	V	N	S	N	S	H	L	V
85	100	150	200	50	85	65	85	100	150	200
50	70	120	200	36	50	36	50	70	120	150
50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
50	65	100	150	25	40	36	50	65	100	150
36	50	60	70	20	30	30	36	50	60	70
25	30	36	50	13	20	20	25	45	50	50
12	15	18	20	5	8	10	12	15	20	25
S	H	L	V	N	S	N	S	H	L	V
100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	75%	50% (27)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	75%	50% (27)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	75%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	75% (20)
S	H	L	V	N	S	N	S	H	L	V
187	220	330	440	105	187	143	187	220	330	440
105	154	264	440	75,6	105	75,6	105	154	264	330
105	154	264	330	75,6	105	75,6	105	154	264	330
105	143	220	330	52,5	84	75,6	105	143	220	330
75,6	105	132	154	40	63	63	75,6	105	132	154
52,5	63	75,6	105	26	40	40	52,5	63	75,6	110
24	30	36	40	8,5	13,5	17	24	30	40	52,5
TMD - TMA - ELT				TMD		TMD - TMA - ELT				
F-P-W				F-P		F-P-W				
A				A		A				

Tabla 6: Interruptores automáticos Emax para aplicaciones de hasta 690 V

		X1			E1	
Tensión asignada de servicio Ue (CA) 50-60 Hz	[V]	690			690	
Tensión asignada soportada a impulso Uimp	[kV]	12			12	
Tensión asignada de aislamiento Ui	[V]	1000			1000	
Polos	[N.º]	3/4			3/4	
Corriente permanente asignada Iu		B	N	L	B	N
	[A]	630	630	630	800	800
	[A]	800	800	800	1000	1000
	[A]	1000	1000	1000	1250	1250
	[A]	1250	1250	1250	1600	1600
	[A]	1600	1600			
	[A]					
	[A]					
Poder asignado de corte último en cortocircuito Icu		B	N	L	B	N
220-230-380-400-415 V 50-60 Hz	[kA]	42	65	150	42	50
440 V 50-60 Hz	[kA]	42	65	130	42	50
500 V 50-60 Hz	[kA]	42	55	100	42	50
690 V 50-60 Hz	[kA]	42	55	60	42	50
Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito Ics	[kA]	B	N	L	B	N
220-230-380-400-415 V 50-60 Hz	[kA]	42	50	150	42	50
440 V 50-60 Hz	[kA]	42	50	130	42	50
500 V 50-60 Hz	[kA]	42	42	100	42	50
690 V 50-60 Hz	[kA]	42	42	45	42	50
Poder asignado de cierre en cortocircuito Icm (valor de pico)		B	N	L	B	N
220-230-380-400-415 V 50-60 Hz	[kA]	88,2	143	330	88,2	105
440 V 50-60 Hz	[kA]	88,2	143	286	88,2	105
500 V 50-60 Hz	[kA]	88,2	105	220	88,2	105
690 V 50-60 Hz	[kA]	88,2	105	132	88,2	105
Corriente asignada admisible de corta duración (1s) Icw [kA]	[kA]	42	42	15	42	50
Categoría de uso (IEC 60947-2)		B	B	A	B	B
Versión		F-W		F-W	F-W	

E2				E3					E4			E6	
690				690					690			690	
12				12					12			12	
1000				1000					1000			1000	
3/4				3/4					3/4			3/4	
B	N	S	L	N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
1600	1000	800	1250	2500	1000	800	800	2000	4000	3200	3200	4000	3200
2000	1250	1000	1600	3200	1250	1000	1250	2500		4000	4000	5000	4000
	1600	1250			1600	1250	1600					6300	5000
	2000	1600			2000	1600	2000						6300
		2000			2500	2000	2500						
					3200	2500	3200						
						3200							
B	N	S	L	N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
42	65	85	130	65	75	100	130	130	75	100	150	100	150
42	65	85	110	65	75	100	130	110	75	100	150	100	150
42	55	65	85	65	75	100	100	85	75	100	130	100	130
42	55	65	85	65	75	85	100	85	75	85	100	100	100
B	N	S	L	N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
42	65	85	130	65	75	85	100	130	75	100	150	100	125
42	65	85	110	65	75	85	100	110	75	100	150	100	125
42	55	65	65	65	75	85	85	65	75	100	130	100	100
42	55	65	65	65	75	85	85	65	75	85	100	100	100
B	N	S	L	N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
88,2	143	187	286	143	165	220	286	286	165	220	330	220	330
88,2	143	187	242	143	165	220	286	242	165	220	330	220	330
88,2	121	143	187	143	165	2220	220	187	165	220	286	220	286
88,2	121	143	187	143	165	187	220	187	165	187	220	220	220
42	55	65	10	65	75	75	85	15	75	100	100	100	100
B	B	B	A	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B
F-W				F-W					F-W			F-W	

Tabla 7: Interruptores-seccionadores Emax para aplicaciones de corriente continua de hasta 1000 V

		E1../E MS		E2../E MS		E3../E MS		E4../E MS	
Tensión asignada soportada a impulso Uimp	[kV]	12		12		12		12	
Tensión asignada de aislamiento Ui	[V]	1000		1250		1250		1250	
Corriente permanente asignada Iu		B		N		H		H	
	[A]	1250		2000		3200		4000	
Tensión asignada de servicio Ue (CC)	[V]	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000
Polos		3 - 4	4	3 - 4	4	3 - 4	4	3 - 4	4
Corriente asignada admisible de corta duración (1 s) Icw [kA]	[kA]	20 - 25	20	25 - 40	25	40 - 50	40	65	65
Poder asignado de cierre en cortocircuito Icm a Vac (valor de pico)	[kA]	20 - 25	20	25 - 40	25	40 - 50	40	65	65
Versión		F-W		F-W		F-W		F-W	

Poder de corte Icu mediante relé de protección externo, con 500 ms de retardo de disparo máximo, igual al valor de Icw (1 s).

Tabla 8: Interruptores automáticos Emax para aplicaciones de corriente continua de hasta 1000 V

		E2		E3		E4		E6
Tensión asignada de servicio Ue (CC)	[V]	1000		1000		1000		1000
Tensión asignada soportada a impulso Uimp	[kV]	12		12		12		12
Tensión asignada de aislamiento Ui	[V]	1000		1000		1000		1000
Polos	[N.º]	3/4		3/4		3/4		3/4
Corriente permanente asignada Iu		B	N	N	H	S	H	H
	[A]	800	1600	800	1600	1600	3200	3200
	[A]	1000		1000	2000	2000		4000
	[A]	1250		1250	2500	2500		5000
	[A]	1600		1600		3200		
	[A]			2000				
	[A]			2500				
Corriente asignada admisible de corta duración (0,5 s) Icw [kA]	[kA]	B	N	N	H	S	H	H
500 V CC (III)		35	50	60	65	75	100	100
750 V CC (III)		25	25	40	40	65	65	65
750 V CC (IV)		25	40	50	50	65	65	65
1000 V CC (IV)		25	25	35	40	50	65	65
Categoría de uso (IEC 60947-2)		B	B	B	B	B	B	B
Versión		F-W		F-W		F-W		F-W

Los valores de Icu pueden cambiar en función de la tensión nominal y del tipo de red de CC (aislada de tierra, una fase conectada a tierra, punto medio conectado a tierra). Al objeto de conocer el valor de Icu en diferentes condiciones, consulte los catálogos técnicos al efecto.

8.2 Interruptores seccionadores e interruptores seccionadores con fusibles

Esta familia de productos se compone de una completa gama de interruptores seccionadores e interruptores seccionadores con fusibles, todos ellos homologados por las principales Sociedades de Clasificación mencionadas anteriormente, aunque los interruptores seccionadores con fusibles son más utilizados en los sectores terciario e industrial que en el sector naval.

Todas las series de dispositivos se caracterizan por unas prestaciones excepcionales y por unas características constructivas específicas que garantizan la máxima seguridad de empleo.

Hay disponible una amplia gama de accesorios (enclavamientos mecánicos, accionamientos motorizados, kits de conversión, etc.), así como ejes ajustables y manetas metálicas y de plástico.

Contacte con ABB para una información más detallada acerca de la disponibilidad de los certificados correspondientes para cada equipo. Las tablas 9-10-11-12-13 que se muestran en las siguientes páginas resumen los parámetros eléctricos más importantes de los interruptores seccionadores y de los interruptores seccionadores con fusibles.

8.2.1 Interruptores seccionadores OT

Los interruptores seccionadores sin portafusibles que pertenecen a la familia OT están disponibles en las versiones de 16 a 3150 A.

Estos dispositivos ofrecen unas prestaciones excepcionales con unas dimensiones globales reducidas.

Fáciles de usar y flexibles, son adecuados para diferentes aplicaciones como, por ejemplo, en centros de control de motores, en cuadros de distribución y en interruptores principales de diversos equipos o máquinas. Además, en combinación con interruptores seccionadores o interruptores seccionadores con doble posición, son adecuados para aquellas aplicaciones donde es necesario controlar una conmutación, by-pass o inversión.

Se pueden montar sobre guías DIN, placas base o en puertas, ya sea a presión o mediante atornillado. También los accesorios ofrecen la posibilidad de montaje a presión sin necesidad de herramientas.

Familia OT



Tabla 9: Interruptores seccionadores OT16 – OT160

			OT16	OT25
Tensión asignada de aislamiento y tensión asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20 Grado de contaminación 3	[V]		750	750
Rigidez dieléctrica 50 Hz 1 min	[V]		6	6
Tensión asignada soportada a impulso	[V]		8	8
Corriente térmica asignada y corriente asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Sección mínima de conductor de cobre	T ambiente de 40 °C al aire	[A]	25	32
	T ambiente de 40 °C en envolvente	[A]	25	32
	T ambiente de 60°C en envolvente	[A]	20	25
	Scu	(mm ²)	4	6
Corriente asignada de empleo, AC-23A	hasta 415 V	[A]	16	20
	440V	[A]	16	20
	500V	[A]	16	20
	690 V	[A]	10	11
En relación con la intensidad asignada de cortocircuito condicional I _k (rms), con la tensión y con el tipo y tamaño máximo del fusible, se da la corriente de corte máxima permitida I _p	I _k (rms) 50 kA < 415 V	[A]	6,5	6,5
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	40/32	40/32
	I _k (rms) 50 kA < 500V	[A]	---	---
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	---	---
	I _k (rms) 10kA < 690V	[A]	---	---
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	---	---
	I _k (rms) 50 kA < 690V	[A]	4	4
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	25/16	25/16
Corriente asignada admisible de corta duración I _{cw} x 1 s (rms)	690 V	[A]	0,5	0,5
Poder asignado de cierre en cortocircuito I _{cm} (pico)	690 V / 500 V	[A]	0,705	0,705

Tabla 10: Interruptores seccionadores OT200 – OT800

			OT200	OT250
Tensión asignada de aislamiento y tensión asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Grado de contaminación 3	[V]		1000	1000
Rigidez dieléctrica 50 Hz 1 min	[V]		10	10
Tensión asignada soportada a impulso	[V]		12	12
Corriente térmica asignada y corriente asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Sección mínima de conductor de cobre	T ambiente de 40 °C al aire	[A]	200	250
	T ambiente de 40 °C en envolvente	[A]	200	250
	Scu	(mm ²)	95	120
Corriente asignada de empleo, AC-23A	<500 V	[A]	200	250
	690 V	[A]	200	250
	1000 V	[A]	135	135
En relación con la intensidad asignada de cortocircuito condicional I _k (rms), con la tensión y con el tipo y tamaño máximo del fusible, se da la corriente de corte máxima permitida	I _k (rms) 100 kA 500 V	[A]	40,5	40,5
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	315/315	315/315
	I _k (rms) 80 kA 690 V	[A]	40,5	40,5
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	355/315	355/315
Corriente asignada admisible de corta duración I _{cw} x1s (rms)	690 V	[A]	8	8
Poder asignado de cierre en cortocircuito I _{cm} (pico)	690 V	[A]	30	30

OT32	OT45	OT63	OT100	OT125	OT160
750	750	750	750	750	750
6	6	6	6	6	10
8	8	8	8	8	12
40	63	80	115	125	200
40	63	80	115	125	160
32	50	63	80	100	125
10	16	25	35	50	70
23	45	75	80	90	135
23	45	65	65	78	125
23	45	58	60	70	125
12	20	20	40	50	80
6,5	13	13	16,5	16,5	---
40/32	100/80	100/80	125/125	125/125	---
---	17	17	---	---	30
---	100/80	100/80	---	---	200/250
---	---	---	8,2	8,2	---
---	---	---	125/100	125/100	---
4	11	11	10	10	24
25/16	80/63	80/63	63/63	63/63	200/250
0,5	1	1,5	2,5	2,5	4
0,705	1,4	2,1	3,6	3,6	12

OT315	OT400	OT630	OT800
1000	1000	1000	1000
10	10	10	10
12	12	12	12
315	400	630	800
315	400	630	800
185	185	2x185	2x240
315	400	630	800
315	400	630	800
200	200	400	400
61,5	61,5	90	90
500/450	500/450	800/1000	800/1000
59	59	83,5	83,5
500/500	500/500	800/1000	800/1000
15	15	20	20
65	65	80	80

Tabla 11: Interruptores seccionadores OT1000 – OT2500 y OETL3150

		OT1000	
		E	X
Tensión asignada de aislamiento y tensión asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20 Grado de contaminación 3	[V]	1000	1000
Rigidez dieléctrica 50 Hz 1 min	[V]	10	10
Tensión asignada soportada a impulso	[V]	12	12
Corriente térmica asignada y corriente asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Sección mínima de conductor de cobre	T ambiente de 40 °C al aire	[A]	1000
	T ambiente de 40 °C en envolvente	[A]	1000
	T ambiente de 60°C en envolvente	[A]	---
	Scu (mm ²)		2x300
Corriente asignada de empleo, AC-23A	<500 V	[A]	800
	690 V	[A]	650
En relación con la intensidad asignada de cortocircuito condicional I _k (rms), con la tensión y con el tipo y tamaño máximo del fusible, se da la corriente de corte máxima permitida	I _k (rms) 50 kA < 415 V	[A]	---
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	1250/1250
	I _k (rms) 50 kA < 500V	[A]	---
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	1250/1250
	I _k (rms) 50 kA < 690V	[A]	---
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	---
Corriente asignada admisible de corta duración I _{cw} x 1 s (rms)	690 V	[A]	150
Poder asignado de cierre en cortocircuito I _{cm} (pico)	415V	[A]	---
	500V	[A]	---
	690 V	[A]	110(3p) 92(4p)

OT1250		OT1600		OT2000	OT2500	OETL1250M	OETL3150
E	X	E	X	---	---	---	---
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	10	10	10	10	10	8	8
12	12	12	12	12	12	8	8
1250	1250	1600	1600	2000	2500	1250	3150
1250	1250	1600	1600	---	---	1250	2600
---	---	---	---	---	---	1000	2300
2x400	2x400	2x500	2x500	3x500	4x500	2x(80x5)	3x(100x10)
1000	1250	1000	1250	---	---	---	---
650	1250	650	1250	---	---	800	---
---	100	---	100	---	---	105	140
---	1250/1250	---	1250/1250	---	---	---	---
---	106	---	106	---	---	105	140
---	1250/1250	---	1250/1250	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	105	105
---	---	---	---	---	---	---	---
150	150	150	150	55	55	50	80
---	---	---	---	---	---	105	176
---	---	---	---	---	---	105	140
110(3p) 92(4p)	110(3p) 92(4p)	110(3p) 92(4p)	110(3p) 92(4p)	176	176	105	105

8.2.2 Interruptores-seccionadores con fusibles OS

Los interruptores-seccionadores con portafusibles de tipo OS están disponibles en versiones de 32 a 1250 A. De fácil instalación, ofrecen una gran adaptabilidad a los diferentes diseños de armario.

La amplia gama de accesorios y la disponibilidad de versiones motorizadas (OSM) facilitan el uso de interruptores con fusible.

Además, mediante los kits de conversión, es posible montar combinaciones de interruptores con 6 u 8 polos, conmutación, by-pass o enclavamiento mecánico.

Familia OS

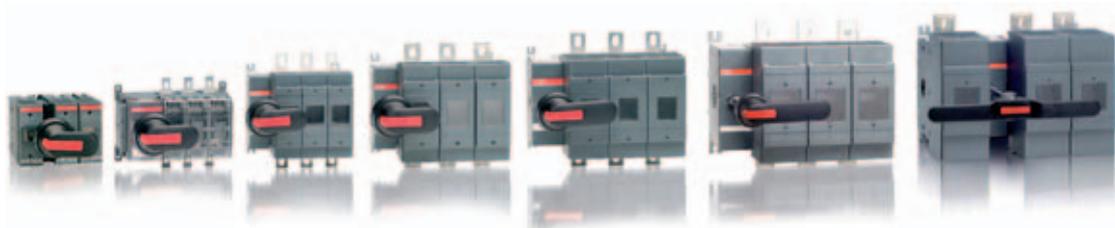


Tabla 12: Interruptores con fusible OS32 – OS160

			OS32
Tensión asignada de aislamiento y tensión asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Grado de contaminación 3	[V]		1000
Rigidez dieléctrica 50 Hz 1 min	[V]		10
Tensión asignada soportada a impulso	[V]		12
Corriente térmica asignada y corriente asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20.	T ambiente de 40 °C al aire	[A]	32
	T ambiente de 40 °C en envolvente	[A]	32
Sección mínima de conductor de cobre	Scu (mm ²)		6
Corriente asignada de empleo, AC-23A	hasta 500V	[A]	32
	690 V	[A]	32
En relación con la intensidad asignada de cortocircuito condicional I _k (rms), con la tensión y con el tipo y tamaño máximo del fusible, se da la corriente de corte máxima permitida I _p	I _k (rms) 80kA < 415V	[A]	17
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	100/100
	I _k (rms) 100kA < 500V	[A]	17
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	100/100
	I _k (rms) 50 kA < 690V	[A]	13
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	100/80
	I _k (rms) 80kA < 690V	[A]	12
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	63/63
Corriente asignada admisible de corta duración I _{cw} x 1 s (rms)	690 V	[A]	2,5

Tabla 13: Interruptores con fusible OS200 – OS1250

			OS200	OS250
Tensión asignada de aislamiento y tensión asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Grado de contaminación 3	[V]		1000	1000
Rigidez dieléctrica 50 Hz 1 min	[V]		10	10
Tensión asignada soportada a impulso	[V]		12	12
Corriente térmica asignada y corriente asignada de empleo con categoría de uso AC20/DC20. Sección mínima de conductor de cobre	T ambiente de 40 °C al aire	[A]	200	250
	T ambiente de 40 °C en envolvente	[A]	200	250
Corriente asignada de empleo, AC-23A	Scu (mm ²)		95	120
	hasta 500V	[A]	200	250
En relación con la intensidad asignada de cortocircuito condicional I _k (rms), con la tensión y con el tipo y tamaño máximo del fusible, se da la corriente de corte máxima permitida	690 V	[A]	200	250
	I _k (rms) 80 kA 415 V	[A]	35	40,5
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	250/200	355/315
	I _k (rms) 100 kA 500 V	[A]	37,5	37,5
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	250/200	250/250
	I _k (rms) 80 kA 690 V	[A]	25	32,5
	Máx. tamaño fusible OFA gG/aM	[A]	160/---	200/250
	I _k (rms) 50 kA 415 V	[A]	28	28
Corriente asignada admisible de corta duración I _{cw} x 1 s (rms)	Máx. tamaño fusible BS gG/gM	[A]	200/200M315	250/200M315
	I _k (rms) 80 kA 690 V	[A]	28	28
	Máx. tamaño fusible BS gG/gM	[A]	200/200M250	250/200M250
	690 V	[A]	8	8

Los interruptores portafusibles están disponibles para todos los tipos de fusibles (DIN, BS, NFC, UL, CSA). Los interruptores con fusible OS garantizan una operación segura y ofrecen una protección total a los trabajadores y equipos eliminando los riesgos de accidentes eléctricos. Desde este punto de vista, hay que señalar algunas características importantes:

- la cubierta del fusible no puede abrirse mientras el interruptor con fusible está en la posición "ON" y puede bloquearse en la posición de cerrado,
- la maneta con doble aislamiento externo elimina el riesgo de contacto con partes activas fuera de la caja,
- la maneta indica la posición de los contactos con la mayor fiabilidad en cualquier situación.

OS50	OS63	OS100	OS125	OS160
1000	1000	1000	1000	1000
10	10	10	10	10
12	12	12	12	12
50	63	100	125	160
50	63	100	125	160
10	16	50	50	70
50	63	100	125	160
50	63	100	125	160
17	17	23	29	29
---	100/100	125/160	125/160	125/160
17	17	22	22	22
---	100/100	125/160	125/160	125/160
13	13	16	16	16
---	100/80	100/125	100/125	100/125
12	12	18,5	18,5	18,5
---	63/63	100/125	100/125	100/125
2,5	2,5	5	5	5

OS315	OS400	OS630	OS800	OS1250
1000	1000	1000	1000	1000
10	10	10	10	10
12	12	12	12	12
315	400	630	800	1250
315	400	570	720	720
185	240	2x185	2x240	2x400
315	400	630	800	1250
315	400	630	800	1250
---	59	77	77	89
---	500/500	800/800	800/800	1250/1250
---	63,5	83	83	105
---	500/500	800/800	800/800	1250/'---
---	46	55	55	88
---	315/400	---/630	---/630	1000/1000
44	44	---	---	---
400/400M500	400/400M500	---	---	---
48	48	55	55	109
400/400M500	400/400M500	---	---	1250/'---
14	14	18	18	40

9 Visión general de la gama de productos de ABB

El liderazgo de ABB en el sector naval se basa, por un lado, en el profundo conocimiento y amplia experiencia alcanzados en diferentes aplicaciones y, por otro, en la innovación tecnológica.

Los sistemas y servicios disponibles para sistemas eléctricos de potencia, diseño e ingeniería de productos, instalaciones, entrega y puesta en marcha con pruebas y servicio post-venta ofrecen una amplia gama de soluciones que cubren todas las demandas del mercado y son adecuadas para todo tipo de buques y aplicaciones navales.

La experiencia de ABB en este sector contribuye a la construcción de buques cada vez más modernos e innovadores desde un punto de vista tecnológico, garantizando una alta calidad y capacidad en este sector a nivel global.

La Figura 26 muestra una amplia gama de productos que ABB ofrece para llevar a cabo una red compleja de distribución de energía eléctrica a bordo. A continuación se ofrece una breve descripción de las principales características de dichos productos.

– Motores y alternadores síncronos

Los motores y alternadores síncronos de ABB se caracterizan por su construcción robusta y su elevada eficiencia, cualidades que los hacen muy apropiados para la industria naval.

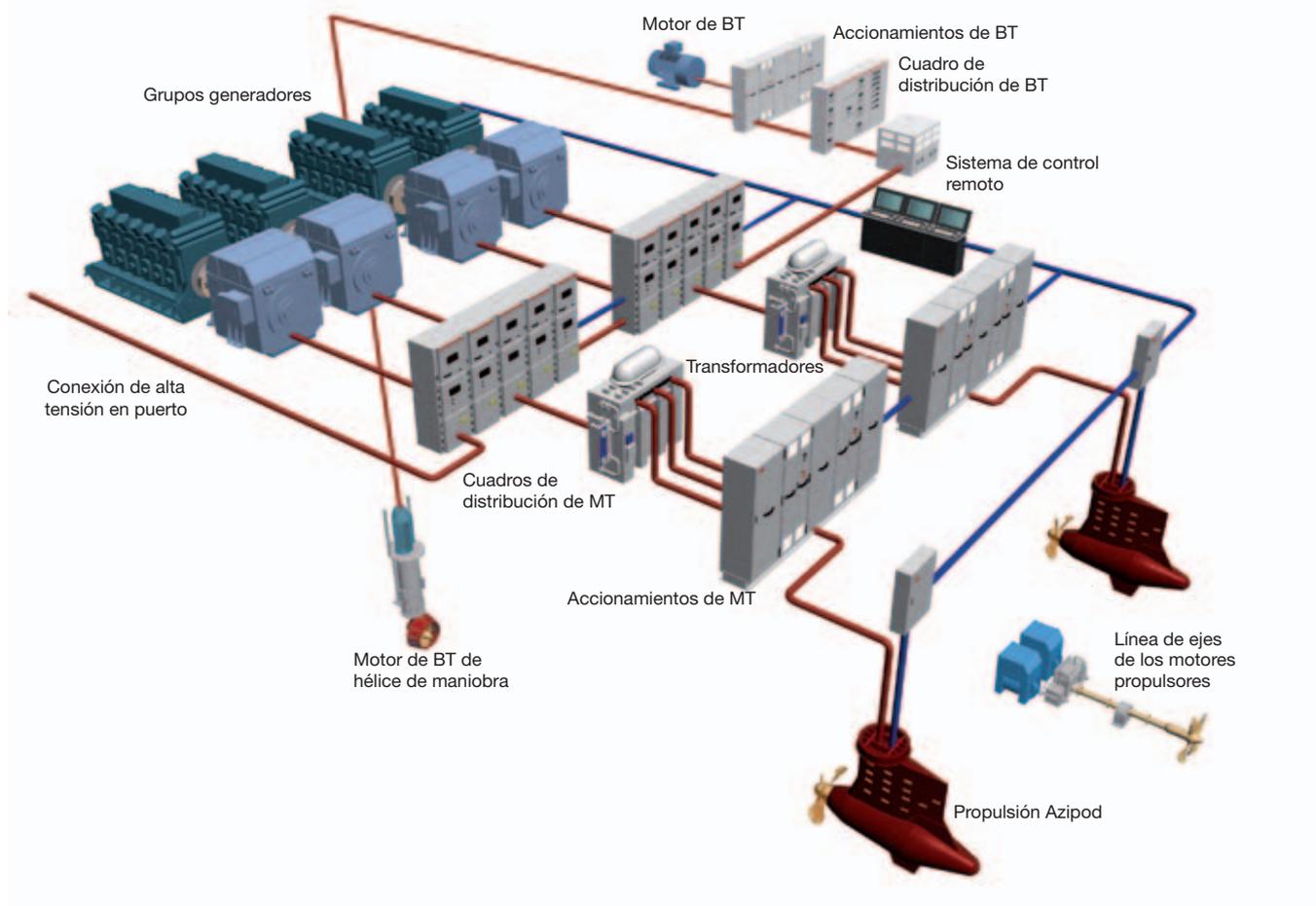
Han sido diseñados y fabricados para su uso en ciclos de trabajo ininterrumpidos, durante largos periodos de tiempo y en entornos exigentes.

El diseño mecánico de alto nivel (véase Figura 27) y las técnicas de fabricación aseguran una vida útil prolongada con un importante ahorro en los costes de mantenimiento y servicio.

Se utilizan principalmente como motores de propulsión y como generadores principales, auxiliares y de cola. Son adecuados para acoplarse con motores diésel o turbinas en una gran variedad de buques.

Los motores de media tensión pueden alcanzar potencias de hasta 50 MW, y los alternadores síncronos, disponibles también para BT, van desde 11 kW hasta 50 MW. El elevado nivel de normalización permite unos tiempos de entrega cortos y una gran versatilidad en todas las aplicaciones.

Figura 26: Esquema general de los equipos eléctricos y componentes requeridos normalmente para la maquinaria instalada a bordo



La fiabilidad y la elevada eficiencia de estos equipos resulta en un ahorro significativo a lo largo de toda su vida útil. El control preciso del par mediante los convertidores de frecuencia de ABB hace que el arranque sea sencillo incluso en las condiciones más exigentes.

Figura 27: Alternador síncrono de media tensión



– Motores de inducción

Los motores de inducción de media tensión de ABB constituyen una gama completa de motores asíncronos con potencias de hasta 18 MW.

Estos motores, caracterizados por su fiabilidad y elevada eficiencia, están fabricados en plataformas modulares de fundición (véase Figura 28). Cumplen con los requerimientos específicos de cada instalación y están diseñados para condiciones exigentes, incluyendo entornos peligrosos y especiales.

Los motores de inducción se utilizan en compresores, bombas, maquinillas, sistemas de ventilación, sistemas de propulsión y hélices de maniobra.

Han sido probados de forma precisa y están certificados según las normas más importantes.

Figura 28: Motor de inducción



– Motores de baja tensión

ABB ofrece una amplia gama de motores de baja tensión (Figura 29) en condiciones de satisfacer casi cualquier requisito de aplicación (propulsión y sustentación mediante circulación de aire), incluso en entornos especiales y peligrosos.

Los motores de baja tensión se fabrican en estructura de aluminio, acero y fundición con potencias que van desde 0,09 hasta 1200 kW.

Los motores de ABB para aplicaciones navales están certificados por las principales entidades certificadoras internacionales. Poseen una elevada eficiencia que da respuesta a todas las necesidades de ahorro de energía, de gran importancia en aplicaciones navales.

Se utilizan en aplicaciones para tratamiento de aire o líquidos es decir, ventiladores, bombas, compresores, soplantes, separadores de aceite, etc., en aplicaciones para transmisión de movimiento caso de hélices, dispositivos de gobierno, maquinillas y elevadores y en aplicaciones para la sala de máquinas.

Figura 29: Gama de motores asíncronos trifásicos de baja tensión



– Transformadores de tipo seco para aplicaciones navales

La gama de transformadores de ABB para aplicaciones navales se basa en diversos modelos de diseño y ofrece la solución idónea para todos los tipos de aplicaciones navales. Además, los clientes pueden disponer del servicio de asistencia técnica así como de la amplia experiencia en puesta en marcha.

En general, los transformadores utilizados para distribución de energía son de doble devanado con refrigeración natural por aire, y se utilizan principalmente para alimentación de cargas como bombas, ventiladores, maquinillas y otros sistemas de a bordo.

Estos transformadores, fabricados con tecnología RESIBLOC® (devanados aislados mediante resina epoxi), junto con aquellos con devanados secos aislados al vacío (véase Figura 30), son los más utilizados en los sistemas de distribución marinos.

Se caracterizan por su diseño mecánico de gran robustez, son de tipo no-explosivo, no requieren mantenimiento y son adecuados para soportar vibraciones e impactos a bordo de buques.

Los transformadores fabricados con tecnología RESIBLOC® son apropiados para la amplia gama de variadores de velocidad utilizados a bordo.

Los transformadores utilizados para propulsión eléctrica naval están formados normalmente por tres devanados con diseños para potencias asignadas de hasta 30 MVA o superiores, y a menudo están equipados con un cambio de fase especial para limitar la distorsión armónica en la red. Los transformadores refrigerados por aire o agua, comúnmente equipados con sistemas de refrigeración redundantes mediante ventiladores, permiten obtener unos niveles de fiabilidad y protección elevados, además de un diseño más compacto.

Figura 30: Transformador de devanados secos aislados al vacío



– Distribución en media y baja tensión

Los cuadros de distribución de media y baja tensión de ABB (véase Figura 31) cumplen los requisitos de todas las aplicaciones navales, desde distribución de energía en buques hasta plataformas offshore. La disponibilidad y la máxima seguridad quedan garantizadas conforme a los estándares más elevados gracias a las soluciones orientadas a cuadros aislados del aire y protegidos contra arcos internos, caracterizadas por un coste total bajo, una fiabilidad elevada, un mantenimiento mínimo y un aumento de la seguridad de los trabajadores.

Los cuadros de distribución de ABB del tipo MNS son una solución fiable y segura, al ser sometidos a ensayos en cumplimiento de las normas IEC 60439-1/IEC 61439, y de protección contra arcos internos según la norma IEC 61641. Caracterizados por un diseño flexible y compacto, pueden confeccionarse a medida según las necesidades específicas, con valores de intensidad de hasta 5200 A a 690 V. Por lo tanto, su uso es adecuado para generadores, sistemas de distribución principal y centros de control de motores (CCM), tanto en aplicaciones navales como offshore donde la fiabilidad y la integridad del sistema de distribución son esenciales para la continuidad del suministro de energía.

Los cuadros de distribución de media tensión son uno de los elementos más importantes en la cadena de distribución de potencia.

UniGear ZS1 de ABB es un cuadro de distribución a prueba de arcos internos (50 kA durante 0,5 s) caracterizado por su extrema seguridad y fiabilidad y que cumple con todos los requisitos de una instalación. Por ejemplo, se utiliza en sistemas de distribución principal y en centros de control de motores.

Las soluciones de simple o doble nivel hacen posible disponer de una unidad compacta que garantiza un aprovechamiento óptimo del espacio.

El cuadro de distribución puede albergar interruptores automáticos aislados mediante vacío o gas (por ejemplo del tipo HD4) que garantizan la seguridad, fiabilidad y altas prestaciones.

El cuadro de distribución UniGear ZS1 ha sido probado en cumplimiento de las normas internacionales IEC más exigentes y de los reglamentos de las Sociedades de Clasificación más importantes.

Figura 31: Cuadros eléctricos de ABB



– Productos para control de baja tensión

Esta clasificación incluye una amplia gama de productos de ABB que, gracias a sus elevadas prestaciones y fiabilidad, se utilizan con frecuencia para aplicaciones en la industria marina por parte de los fabricantes de consolas, paneles y cuadros eléctricos.

Estos productos son, tal y como muestra la Figura 32, aquellos utilizados como aparataje de maniobra y protección (contactores, relés térmicos) o dispositivos utilizados para el arranque gradual de motores (arranadores suaves). Otros productos a considerar en este apartado son los dispositivos de control y automatización o los sistemas de supervisión y control de seguridad y procesos, como el sistema de monitorización de arco TVOC. Hay otros productos disponibles para automatización, operación, maniobra y control utilizados mediante la conexión a la red local o bus de campo (multiplicidad de protocolos de comunicación estándar).

Figura 32: Dispositivos de control de baja tensión



En los últimos años muchos clientes han señalado la importancia de la seguridad de los cuadros eléctricos con relación a uno de los fenómenos electrofísicos más graves y destructivos: el arco eléctrico.

Dicho fenómeno provoca sobrepresiones internas que resultan en sobrecalentamientos locales, pudiendo producir fuertes tensiones térmicas y mecánicas.

Un sistema de protección activa que limite dichos efectos consiste en instalar algunos dispositivos sensibles al flujo de luz asociado con el fenómeno del arco eléctrico.

TVOC-2 es el dispositivo de protección contra arcos para aplicaciones de media y baja tensión de ABB (Figura 33). Mediante sensores ópticos instalados en las áreas críticas del cuadro, TVOC-2 envía una señal de disparo al interruptor automático controlado.

Figura 33: Sistema de protección contra arcos TVOC-2



– Interruptores magnetotérmicos de baja tensión (MCBs)

ABB ofrece una amplia gama de interruptores automáticos magnetotérmicos y diferenciales (Figura 34), particularmente adecuados para la protección de circuitos eléctricos en aplicaciones navales.

En concreto, los interruptores magnetotérmicos de las series S200 (6 kA), S200 M (10 kA), S200 P (25/15 kA) y S280 UC (10/6 kA) han sido homologados por las Sociedades de Clasificación más importantes (para aplicaciones navales offshore y uso industrial).

Para las necesidades más exigentes, donde se requiere un elevado poder de corte en los interruptores automáticos, ABB ofrece la serie S800 S con un poder de corte de 50 kA, también homologada de acuerdo a las reglas de las Sociedades de Clasificación.

Cuando solo es necesaria la protección diferencial, ABB ofrece los interruptores diferenciales de la serie F200; en caso de que también sea necesaria protección contra sobrecarga, ABB dispone de los interruptores diferenciales compactos de la serie DS202C M con protección contra sobrecorrientes y un poder de corte de 10 kA.

En concreto, los interruptores combinados de la serie DS202C M garantizan la citada protección para dos polos y, por ello, resultan especialmente apropiados para aplicaciones navales donde los puntos finales de la instalación de distribución son normalmente bifásicos y requieren unas dimensiones reducidas.

La serie DS202C M ha sido homologada y certificada por RINA.

Figura 34: Interruptores magnetotérmicos de baja tensión



– Convertidores de media y baja tensión para aplicaciones marinas

En cuanto a los convertidores, ABB ofrece una serie de productos para aplicaciones de propulsión naval, estructuras flotantes y aplicaciones auxiliares que hacen posible llevar a cabo de una forma eficiente, desde el punto de vista de las prestaciones y de la eficiencia energética, las ventajas que ofrece la propulsión eléctrica.

Los accionamientos de velocidad variable VSD son de particular interés tanto en aplicaciones de media como de baja tensión.

El control directo de par DTC es una plataforma de control de motores adecuada para convertidores de CA que permite un control preciso, tanto del par como de la velocidad del motor, sin necesidad de supervisar la posición del eje o la velocidad.

Los accionamientos de velocidad variable de baja tensión de ABB (véase Figura 35) ofrecen prestaciones potentes y precisas para cualquier aplicación con potencias de 0,55 a 5600 kW.

Se utilizan en sistemas de propulsión principales, control del timón, hélices, compresores, bombas, ventiladores, maquinillas y muchos otros sistemas instalados a bordo. Los convertidores de CA de ABB, con motores asíncronos o síncronos de imanes permanentes, combinan ventajas ambientales con costes de operación reducidos.

Estos convertidores, probados y homologados en cumplimiento de las reglas de las Sociedades de Clasificación más importantes, cumplen con las necesidades del sector marino y offshore, garantizando soluciones compactas y fiables así como unos costes de operación reducidos bajo cualquier condición.

Figura 35: Accionamientos de velocidad variable VSD



Gracias a su modularidad, eficiencia energética y prestaciones superiores, los convertidores de media tensión de ABB (véase Figura 36) son la solución perfecta para las necesidades marinas más modernas para potencias de hasta 28000 kW. Se utilizan en sistemas avanzados de propulsión y en aplicaciones auxiliares para todo tipo de buques y estructuras flotantes.

La topología multinivel de ABB hace posible la fabricación de convertidores de media tensión con menor grado de complejidad, altamente fiables y más eficientes. Su diseño compacto resulta en unas dimensiones totales y peso reducidos, y ofrece mayor flexibilidad a los ingenieros de diseño de buques, dejando más espacio libre para otros propósitos.

La plataforma modular es extremadamente versátil, proporcionando una base para convertidores estándar, soluciones sin transformador, convertidores multimotor y sistemas con redundancia integrada.

Figura 36: Envoltorios para convertidores de media tensión



– Soluciones para una energía de calidad

Los bancos de condensadores para la corrección del factor de potencia y los filtros para reducir la distorsión armónica son la solución ideal para garantizar una energía de calidad en los sistemas de suministro a bordo.

Estos productos no solo garantizan el cumplimiento de las principales especificaciones sobre calidad de la energía exigidas por las Sociedades de Clasificación, sino que también aseguran una elevada eficiencia y una operación sin problemas tanto en nuevas instalaciones como en actualizaciones.

Este hecho puede ayudar a reducir los costes de operación y las emisiones de CO₂.

Los productos de la serie Dynacomp (véase Figura 37) son compensadores de respuesta dinámica formados por condensadores y reactancias conectados a la red mediante un interruptor automático de estado sólido. Permiten una corrección del factor de potencia rápida y precisa y, por lo tanto, optimizan las condiciones de funcionamiento de cables, transformadores y alternadores en instalaciones con factores de potencia bajos.

También contribuyen a estabilizar la tensión de suministro de energía cuando se producen variaciones rápidas de la demanda de carga.

Se trata de aplicaciones utilizadas principalmente con motores o convertidores.

Los filtros activos PQF eliminan el riesgo de averías en los equipos provocadas por distorsión armónica (son adecuados para el filtrado de armónicos hasta el orden 50). Además permiten la compensación de energía reactiva y el equilibrio de cargas y, por lo tanto, contribuyen a la reducción de los costes de operación.

Figura 37: Compensadores de respuesta dinámica (Dynacomp) y filtros PQF



– Convertidores de frecuencia

Los convertidores de frecuencia PCS 6000 son una solución económica y efectiva para convertir la frecuencia de la red terrestre (normalmente 50 Hz) a la frecuencia necesaria a bordo (normalmente 60 Hz) lo cual permite a los buques conectarse a la red del puerto y así desconectar sus grupos generadores mientras están atracados, con la consecuente reducción de la contaminación ambiental

La unidad PCS6000 es particularmente competitiva en términos de tiempo de instalación y espacio necesario (Figura 38). La elevada eficiencia y el mantenimiento reducido aseguran unos costes de operación reducidos. Otros beneficios son la estabilización de la red mediante el control de la tensión, el filtrado de armónicos y la compensación de energía reactiva.

Figura 38: Convertidores de frecuencia PCS6000



Contacte con nosotros

Asea Brown Boveri, S.A.

Low Voltage Products

Torrent de l'Olla 220

08012 Barcelona

Tel. 93 484 21 21

Fax 93 484 21 90

www.abb.es/bajatension

Los datos y figuras no son vinculantes. ABB se reserva el derecho a modificar el contenido de este documento sin previo aviso en función de la evolución técnica de los productos.

Copyright 2011 ABB. Todos los derechos reservados.

1TXA00711G0701 001211