

UNIDAD 11: INSTALACIONES ELÉCTRICAS NAVALES

11.1 INTRODUCCION

El sistema eléctrico de un buque tiene como misión suministrar energía eléctrica a los diferentes consumidores de los diversos sistemas de a bordo. Las características básicas del sistema vienen definidas por los usos del buque, las especificaciones de cada equipo y por el requerimiento de que el consumo sea el menor posible.

El sistema eléctrico es el conjunto de equipos y elementos que hacen posible la producción, conversión, transformación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica.

Las partes de una instalación eléctrica pueden agruparse en:

Suministro: La energía necesaria para alimentar los diversos circuitos eléctricos puede suministrarse desde un grupo de baterías, o desde un generador de corriente alterna. Los generadores de corriente continua o dinamos están en desuso en la actualidad a bordo de los buques.

Distribución: Los elementos que hacen posible la distribución de la energía eléctrica a los diversos sistemas y circuitos eléctricos suelen centralizarse en los cuadros de distribución, los cuales reciben el suministro de energía, y la distribuyen a través de una serie de protecciones.

Conducción: Los, cables, repartidores y embarrados, son los encargados de realizar la conexión entre todos los elementos que constituyen la instalación eléctrica. Deben estar convenientemente dimensionados para soportar las corrientes que circularán por ellos.

Consumo: Se trata del conjunto de equipos que utilizan la energía eléctrica para realizar su cometido.

11.2. NATURALEZA DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS MARINAS

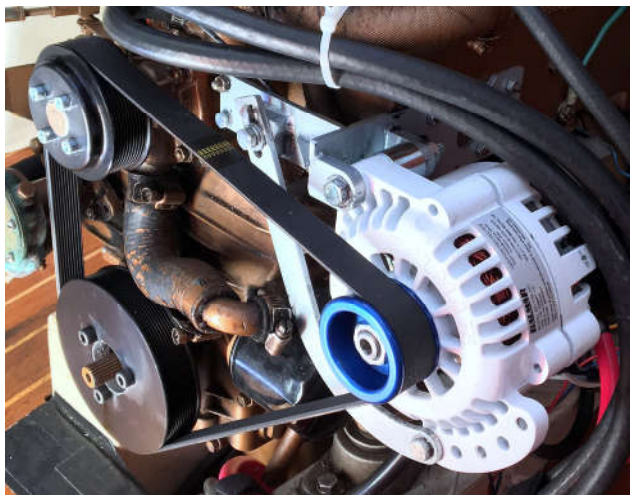
Las instalaciones eléctricas a bordo de los buques se diferencian en primer lugar según sean de corriente continua o de corriente alterna.

11.2.1 INSTALACIONES DE CORRIENTE CONTINUA

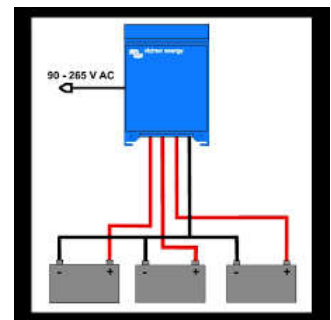
Son las más habituales en las pequeñas esloras (yates o pesqueros menores). En ellas el suministro eléctrico vendrá dado por una o varias baterías, cuya carga se realizará:

- Mediante uno o varios alternadores automotrices movidos por el motor propulsor mediante una correa
- Mediante cargadores enchufados a la toma del muelle
- Mediante paneles solares
- Mediante aerogeneradores

En las instalaciones más simples, una sola batería puede alimentar al circuito de arranque y a los servicios, pero en la mayoría de los casos se dispone de un banco de baterías para cada cometido. Lo habitual es disponer de un conmutador para la separación de la carga y del uso de ambos bancos.



Alternadora



Cargadores de baterías



Panel y regulador solar



Aerogenerador

11.2.1.1 Tensiones de trabajo en continua

Las tensiones de trabajo en corriente continua aumentan con la eslora, para mantener las secciones del cableado en valores aceptables, y suelen ser 12V, 24V y 48V. Tensiones superiores no se consideran seguras.

11.2.2 INSTALACIONES DE CORRIENTE ALTERNA

En las instalaciones de corriente alterna, el suministro eléctrico proviene de grandes alternadores acoplados a motores diesel. Es lo que se conoce como grupos electrógenos, o más habitualmente en los barcos: *motores auxiliares* o simplemente *generadores*. En buques mercantes es habitual contar con una alternadora que se puede acoplar al eje del motor propulsor cuando éste va a funcionar mucho tiempo a la misma velocidad. A esta alternadora se le llama *generador de cola*

Hoy en día, en embarcaciones medianas y en los buques mercantes está comunmente aceptado el uso de corriente alterna trifásica, en detrimento de la continua. Entre las ventajas que se obtienen está:

- Posibilidad de conectarse a la red en puerto
- Mayor robustez, menor peso y más fácil mantenimiento de motores y generadores
- Menor coste, al permitir secciones menores de cableado gracias a las mayores tensiones utilizadas
- Mayor grado de conocimiento de los equipos por parte de las tripulaciones

11.2.2.1 Tensiones y frecuencias de trabajo en alterna

La elección de las tensiones y frecuencias está condicionada principalmente por la corriente empleada en los puertos en los que el buque va a atracar o hacer escala habitualmente.

Los niveles de tensión en las instalaciones marinas y en las industriales terrestres difieren, y a veces en los buques se pueden encontrar ciertas discrepancias, pero la nomenclatura habitual es la siguiente.

Niveles de tensión (AC)	
Tensión de seguridad:	< 50V
Baja Tensión:	50 – 500V
Media Tensión:	500 – 1000V
Alta Tensión:	> 1000V

STCW define la alta tensión a partir de 1000V y establece la obligatoriedad de contar con una formación específica adicional a las tripulaciones que trabajen en buques con estas tensiones.

A modo de resumen, la siguiente tabla muestra las tensiones utilizadas por flota mercante mundial

	380 V	400 V	440 V	450 V	460 V	6.6 kV	10 kV	11 kV
Container vessels (< 140 m)	42 %	16 %	42 %	-	-	-	-	-
Container vessels (> 140 m)	6 %	79 %	-	3 %	-	12 %	-	-
Container vessels (total)	19 %	6 %	64 %	2 %		9 %		
Ro/Ro- and Vehicle vessels	-	30 %	20 %	43 %	7 %	-	-	-
Oil- and Product tankers	13 %	-	40 %	47 %	-	-	-	-
Cruise ships (< 200 m)	14 %	18 %	59 %	9 %	-	-	-	-
Cruise ships (> 200 m)	-	-	12 %	-	-	48 %	4 %	36 %
Cruise ships (total)	6 %	9 %	34 %	4 %	-	26 %	2 %	19 %

Como se puede apreciar, la mayoría de buques trabajan en baja tensión (380-400V), pero los grandes portacontenedores y buques de crucero, con propulsiones diesel-eléctricas suelen funcionar en alta tensión (6,6 kV)

Por otra parte, las frecuencias utilizadas son 50Hz ó 60Hz según el buque opere habitualmente en la zona europea o en el pacífico (USA, y muchos países asiáticos)

11.3. MARCO NORMATIVO

Cualquier buque está sujeto a la legislación del país cuya bandera enarbola, y por ende a todos los convenios internacionales que haya suscrito ese país. En lo que atañe a las instalaciones eléctricas, el convenio principal es el SOLAS.

El convenio SOLAS (siglas de Safety Of Life At Sea), es considerado como el más importante de todos los tratados internacionales relativos a la seguridad de los buques mercantes. La primera versión fue adoptada en 1914, en respuesta a la catástrofe del Titanic. La versión vigente en 2021 es ya la número 10. El objetivo principal del Convenio SOLAS es establecer normas mínimas relativas a la construcción, el equipo y la utilización de los buques, compatibles con su seguridad.

Los Estados de abanderamiento son responsables de asegurar que los buques que enarbolan su pabellón cumplan las disposiciones del Convenio, el cual prescribe la expedición de una serie de certificados como prueba de que se ha hecho así. Para ello, los países pueden realizar sus propias inspecciones técnicas en los buques, pero muchos

delegan esta función en parte o en su totalidad en las llamadas Sociedades de Clasificación.

Las Sociedades de Clasificación son organizaciones no gubernamentales o grupos de profesionales sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es promover la seguridad de la vida humana y de los bienes materiales, en el mar, así como el entorno marino natural. Efectúan su labor mediante el desarrollo de una serie de Reglas de Clasificación, como por ejemplo:

- Reglas para la confirmación de que el diseño de los buques cumple dichas reglas
- Reglas para la inspección de los buques durante el periodo de construcción
- Reglas para inspecciones periódicas para confirmar que los buques continúan cumpliendo dichas reglas.

Existen más de 50 sociedades de clasificación. Entre las más conocidas están:

- ABS: American Bureau of Shipping
- DNV/GL: Det Norske Veritas/Germanischer Lloyd
- LRS: Lloyds Register of Shipping
- BV: Bureau Veritas
- KR: Korean Register

A su vez, puesto que abarcan un abanico extremadamente amplio de disciplinas técnicas, las Reglas de Clasificación se apoyan a menudo en estándares técnicos, como los de la ISO, o los de la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). Así, por ejemplo, las reglas de DNV hacen referencia constante a la norma IEC-60092:Instalaciones eléctricas en buques como el estandar a seguir en el diseño, construcción y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en buques.

11.4. EL BALANCE ELÉCTRICO

El balance eléctrico tiene como objetivo principal definir la planta de generación de energía eléctrica del buque a partir de un análisis de la demanda de dicha energía en las distintas situaciones que se presentan durante la explotación del mismo. A partir de este análisis de la demanda eléctrica en las diferentes situaciones en las que puede operar un

buque, se determina el número y la potencia de los grupos generadores que han de instalarse en él.

Para el cálculo del balance eléctrico necesitamos varios datos de los consumidores, como su potencia, la simultaneidad en el uso de los diferentes consumidores, la distancia aproximada del elemento al cuadro de distribución, el tipo de cableado, y conocer la normativa que afecta al buque.

Según el reglamento SOLAS:

-La instalación eléctrica será tal que garantice el funcionamiento de los servicios eléctricos auxiliares que sean necesarios para mantener el buque en condiciones de funcionamiento y habitabilidad sin tener que recurrir a las fuentes de energía de emergencia.

-La capacidad de la fuente de energía principal será suficiente para alimentar todos los servicios antes mencionados. Esta fuente de energía estará constituida por, al menos, dos grupos electrógenos y su capacidad individual será tal que, aunque uno de ellos se pare, el resto pueda alimentar los servicios necesarios para lograr unas condiciones de operación normales de propulsión y seguridad.

En consecuencia, el cálculo del balance eléctrico se realiza para una serie de supuestos que cubren cualquier condición operativa a la que se enfrentará el buque. Estos dependen del tipo de buque, pero a modo de ejemplo podrían ser:

- Navegación en condiciones normales
- Maniobrando para atracar
- Operaciones de carga y descarga
- Estancia en puerto
- Emergencia

Todas estas situaciones se estudian y calculan, además, tanto si ocurren de día como de noche. En cada una de las situaciones, se elabora una tabla con la potencia de cada elemento, que va multiplicada por dos coeficientes:

-Kn: coeficiente de simultaneidad, que refleja la relación entre el número de aparatos de un mismo tipo y el número de ellos que se utilizan de forma simultánea.

-Ksr: coeficiente de servicio y régimen, que tiene en cuenta la el tiempo que ese equipo funciona de manera continua, y si lo hace a pleno régimen o no.

En función de los resultados de potencia requerida, se eligen los auxiliares a instalar, teniendo en cuenta que su régimen de trabajo debe estar siempre entre el 70 y el 90%.

11.5. TIPOS DE REDES ELÉCTRICAS EN BUQUES

5.1 ALUMBRADO

Generalmente son redes monofásicas a 230V – 50Hz. Además del alumbrado en sí tanto el exterior como el interior y el de navegación, también se alimenta a los pequeños consumidores monofásicos de la zona de habilitación (superestructura): equipos de hotel, algunos sistemas de control, y la mayoría de los sistemas y equipos electrónicos.

5.2 FUERZA

Generalmente son redes trifásicas con valores de 400V-50Hz o 690V-50Hz, es decir tensiones típicamente industriales. Estas redes de distribución alimentan a los consumidores trifásicos de mayor potencia: motores eléctricos asociados a bombas, servos, centrifugadoras, compresores, etc...

5.3 ALTA TENSION

En el supuesto de que la potencia eléctrica sea muy elevada se suele desplegar una red de alta tensión, con valores de entre 3,3kV, 6,6kV u 11 kV. Es el caso de los grandes cruceros o buques portacontenedores que necesitan refrigeración (reefers) y típicamente trabajan a 6,6kV. La máxima tensión presente en buques en la actualidad es 15000V.

5.4 CONSUMIDORES ESENCIALES DE CORRIENTE CONTINUA

Los buques disponen de una serie de consumidores que necesitan un suministro de corriente continua a 24 V, que se obtiene a partir de una red trifásica o monofásica mediante el uso de transformadores y rectificadores de corriente. Estos servicios deben estar apoyados por una fuente de energía transitoria para que su funcionamiento no se vea interrumpido en caso de una emergencia. Para ello se emplean baterías de acumuladores. Estos consumidores son:

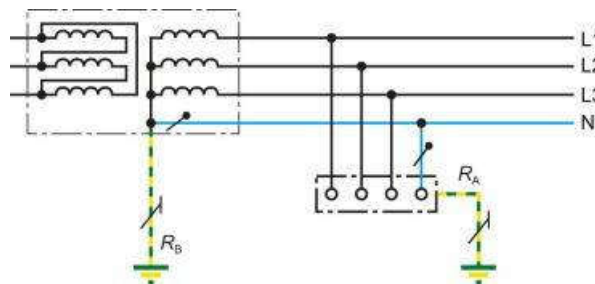
- Luces de navegación.
- Luces de señales.
- Luces de Morse.
- Aparatos de navegación.
- Aparatos de comunicaciones.
- Motor de arranque del generador de emergencia.

11.6. SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE LA CORRIENTE ALTERNA

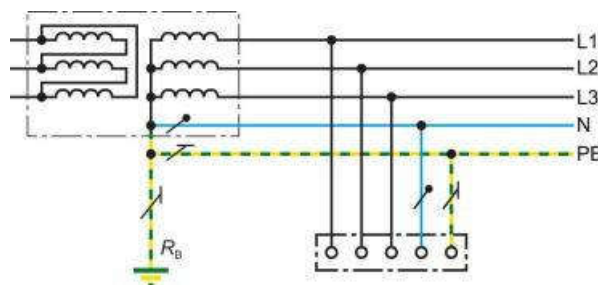
La corriente alterna es generada de manera trifásica. En un sistema trifásico puede haber o puede no haber una distribución del neutro.

En los sistemas en los que se distribuye un conductor de neutro, en función del tratamiento que se le da al éste, encontramos tres tipos de sistemas de distribución: TT, TN e IT

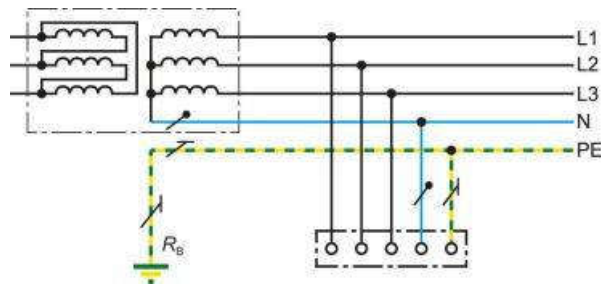
En los sistemas TT, en el centro de generación o transformación el neutro está puesto a tierra, y a su vez las masas receptoras están conectadas a otra toma de tierra independiente de la primera.



En los sistemas TN, existe un punto puesto a tierra directamente, y en ese mismo punto se conectan las masas receptoras



En los sistemas IT, todos los conductores activos están separados de tierra (o como mucho están conectados a través de una impedancia muy alta). Por su parte, las masas receptoras sí están conectadas a la tierra. Esto hace que en caso de fallo de aislamiento, sólo pueda circular una corriente de fallo muy pequeña.



En los esquemas IT, las protecciones eléctricas no interrumpen directamente el funcionamiento de los servicios. En lugar de eso, se dispone de unos dispositivos vigilantes de aislamiento que, cuando se produce un primer fallo, dan una alarma, pero sin interrumpir el suministro eléctrico. Sólo si se da un segundo fallo, se desconecta el suministro. Estos vigilantes de aislamiento son capaces además de localizar los fallos con bastante precisión en lugares concretos de la instalación. Esto moviliza a los encargados del mantenimiento, que podrán planificar la intervención adecuada, sin detener los servicios afectados.

Los esquemas IT son permitidos en instalaciones donde sólo personal cualificado tiene acceso a los cuadros y equipos eléctricos. Al no interrumpirse la corriente con la misma facilidad que en otros esquemas, los IT son los esquemas más usados en instalaciones donde se requiere una gran fiabilidad del suministro eléctrico. **Por este motivo son muy habituales en los buques.**

11.7. CUADROS ELÉCTRICOS

Un cuadro o armario eléctrico (switchboard, en inglés) es aquella parte de la instalación que reúne en un lugar los elementos de protección eléctrica y de gestión de la misma, cumpliendo fundamentalmente con las siguientes tareas:

- Protección de sus elementos contra golpes, introducción de cuerpos sólidos y líquidos
- Protección contra la manipulación de personal ajeno
- Facilita las tareas de mantenimiento al reunir en un lugar todos o la mayoría de los elementos que intervienen en la instalación eléctrica del control de maniobra y potencia.

-Facilita las tareas de renovación o ampliación del material.

Los tipos de cuadro que se pueden distinguir a bordo son:

11.7.1 CUADROS PRINCIPALES

Son los que reciben la corriente producida por los alternadores y la distribuyen a todos los servicios del buque. Sus principales misiones son:

Alojar los dispositivos necesarios para el acoplamiento de los alternadores

Para acoplar un generador a la red es necesario que se cumplan una serie de condiciones. En primer lugar es necesario que el alternador y las barras del cuadro estén a la misma frecuencia y además estén en fase. Es decir, que la tensión instantánea en cada barra sea la misma. Para saber cuando se dan estas circunstancias se dispone de frecuencímetros y de un sincronoscopio que nos indica la diferencia de tensión entre las mismas fases. En este cuadro se dispone también de elementos para actuar sobre la velocidad del motor que arrastra al alternador, de manera que se puede ajustar la frecuencia. Cuando tenemos la misma frecuencia y las tensiones están en fase, se pueden acoplar los alternadores.

Alojar los elementos de protección de los alternadores

Entre estos elementos encontramos la protección contra sobrecargas que desconecta al alternador cuando se le demanda más potencia de la que puede entregar. Otra protección es la protección contra potencia inversa (reverse power), que puede ocurrir cuando el alternador se frena por algún motivo mecánico y, al ser una máquina síncrona, empieza a comportarse como un motor, consumiendo energía eléctrica de la red, en lugar de aportarla.

Distribuir la corriente a los demás servicios del buque

Según la potencia de la instalación eléctrica, desde el cuadro principal pueden controlarse todos los servicios del buque. Alternativamente, y como es habitual en salas de máquinas de cierta envergadura, se distribuye la corriente a cuadros secundarios de maniobra, desde donde se controlan los servicios eléctricos del buque, como pueden ser:

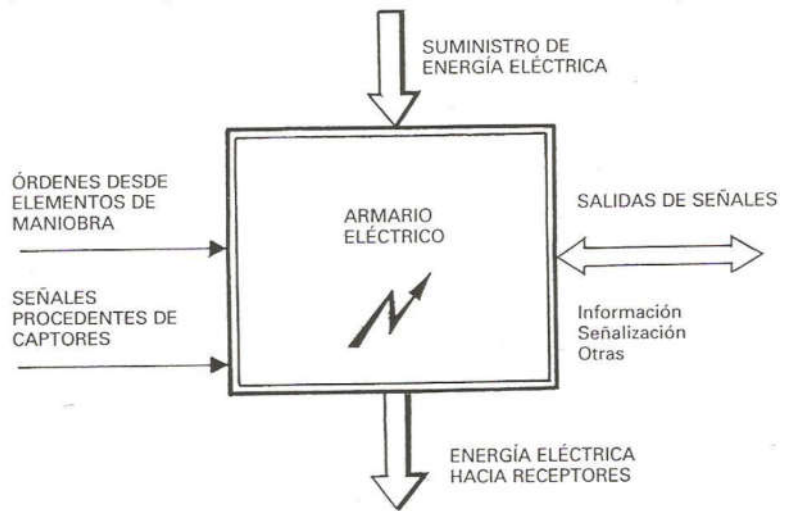
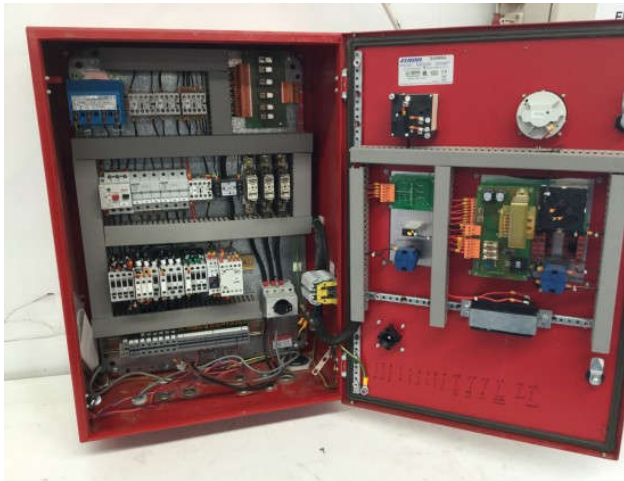
- Cuadros de alumbrado
- Planta frigorífica
- Molinete de anclas
- Arrancadores de bombas del motor principal
- Compresores de aire
- Cuadro del servomotor
- Cuadro de maquinilla de cubierta



Cuadro principal de un buque

11.7.2 CUADROS DE MANIOBRA

Estos reciben la corriente del cuadro principal, y alojan todos los elementos necesarios para el arranque y maniobra de los servicios eléctricos del buque. Además reciben señales de control del exterior, como pueden ser detectores de nivel, de presión, de temperatura, etc. Desde ellos se arrancan los diversos motores, calderas, etc.

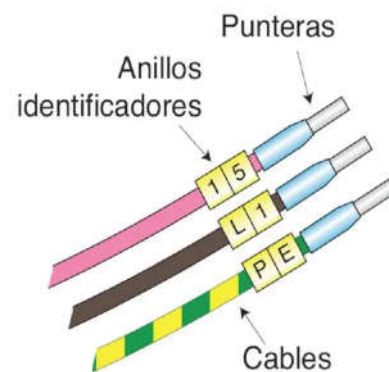


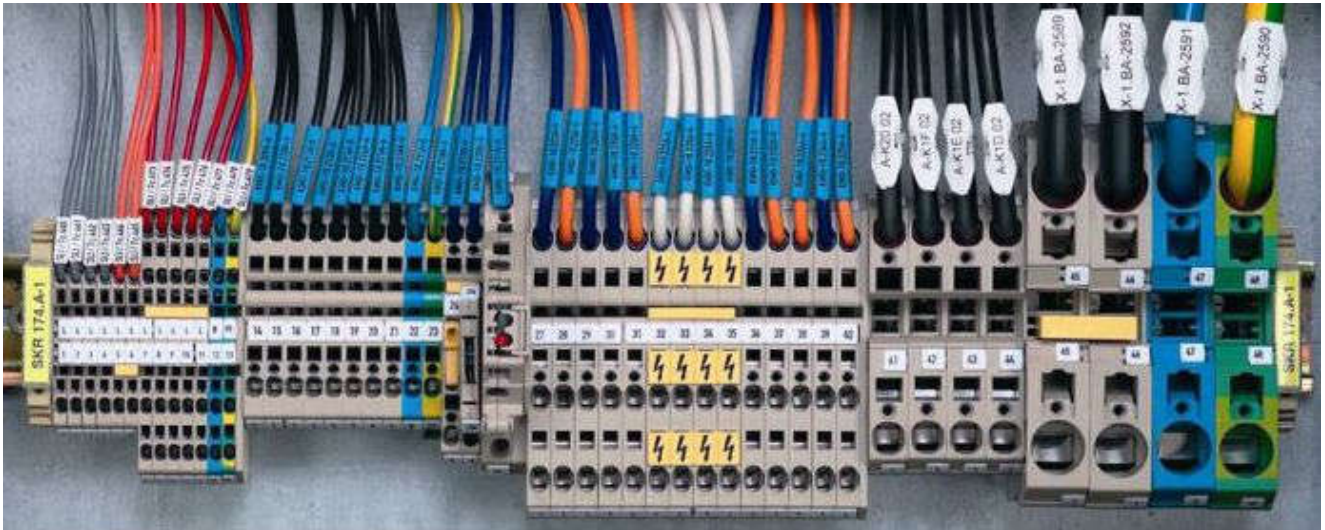
7.3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CUADROS

El tamaño y forma de los cuadros o armarios eléctricos depende de los elementos que tenga que alojar, debiendo permitir que tanto los aparatos como el cableado quepan con cierta holgura, además de reservar espacio para futuras ampliaciones.

En el interior de los cuadros se dispone de unos carriles de dimensiones normalizadas que permiten la instalación rápida y sin herramientas de los elementos de protección y de maniobra. Además hay canaletas de PVC que alojan los cables en su recorrido entre los distintos elementos del cuadro, de manera que se logre una instalación clara y ordenada.

Las conexiones entre cables se realizan mediante unos elementos de fijación llamados bornes. Los extremos de los cables deben estar rematados con punteras huecas para aportar durabilidad, y deben estar marcados con anillos identificadores para una rápida localización del cable.





Los materiales más comunes de las envolventes de los cuadros dependen del lugar donde se ubican, pudiendo ser de PVC o de chapa metálica. Lo más habitual en barcos es utilizar armarios de chapa de acero al carbono galvanizado y pintado, que ofrece la mayor resistencia a las condiciones de temperatura, vibración y ambiente salino que se encuentran en los buques. Cuando se trata de armarios que contienen muchos aparatos que disipan calor, es necesario evacuarlo para asegurar un régimen de trabajo adecuado, de manera que muchos cuadros cuentan con extractores de aire.



11.7.4 GRADOS DE PROTECCIÓN DE LOS CUADROS ELÉCTRICOS

Se trata de un código de dos o tres cifras que indica el nivel de protección de una carcasa o envolvente contra los agentes externos: polvo, agua, y golpes. Va precedido de las siglas IP (del inglés *ingress protection*), y el primer dígito indica el tipo de protección contra cuerpos sólidos, el segundo contra líquidos, y el tercero representa la protección mecánica contra golpes. En el siguiente cuadro se muestra la equivalencia de cada dígito:

Códigos de protección IP del IEC contra personas, sólidos, líquidos e impactos				
	Primer dígito		Segundo dígito	Tercer dígito (opcional)
	Protección contra contacto de personas	Protección contra sólidos	Protección contra líquidos (cuerpos extraños)	Protección contra impactos mecánicos
0	Sin protección	Sin protección	Sin protección	Sin protección
1	Protección contra contacto con áreas importantes del cuerpo (mano)	Protección contra objetos sólidos grandes de más de 50 mm de diámetro	Protección contra gotas de agua cayendo verticalmente	Protección contra impactos de 0,225 julios (0,15 Kg @ 15 cm)
2	Protección contra contacto con el dedo	Protección contra objetos sólidos medianos de más de 12 mm de diámetro	Protección contra rocíos directos de agua cayendo hasta a 15° de la vertical	Protección contra impactos de 0,375 julios (0,25 Kg @ 15 cm)
3	Protección contra cables y herramientas de más de 2,5 mm de diámetro	Protección contra objetos sólidos pequeños de más de 2,5 mm de diámetro	Protección contra rocíos directos de agua cayendo hasta a 60° de la vertical	Protección contra impactos de 0,5 julios (0,25 Kg @ 20 cm)
4	Protección contra cables y herramientas de más de 1 mm de diámetro	Protección contra objetos sólidos redondos de más de 1 mm de diámetro	Protección contra rocíos directos de agua desde todas direcciones	Protección contra impactos de 1 julio (0,5 Kg @ 20 cm)
5	Protección completa	Protección contra depósitos de polvo	Protección contra chorros de agua a baja presión desde todas direcciones	Protección contra impactos de 2 julios (0,5 Kg @ 40 cm)
6	Protección completa	Protección completa contra entrada de polvo	Protección contra fuertes chorros de agua de todas direcciones (olas)	Protección contra impactos de 4 julios (1 Kg @ 40 cm)
7			Protección contra cortos plazos de inmersión - de 15 cm a 1 m	Protección contra impactos de 6 julios (1,5 Kg @ 40 cm)
8			Protección contra largos períodos de inmersión bajo presión	Protección contra impactos de 10 julios (5 Kg @ 20 cm)
9				Protección contra impactos de 20 julios (5 Kg @ 40 cm)

Algunos ejemplos de grados de protección para cuadros en buques son:

-Sala de máquinas: IP317	-Cuartos de calderas: IP215
-Talleres: IP237	-Cámaras frigoríficas: IP335

11.8. CUADROS ELÉCTRICOS DE EMERGENCIA

La construcción de estos cuadros es similar a los de maniobra, pero su diferencia principal es su situación, que debe estar por encima de la cubierta principal y de los servicios que alimenta. Estos servicios de emergencias son aquellos que deben entrar en funcionamiento en caso de avería de los generadores de electricidad, y pueden ser: alumbrado de emergencia, señales de alarma, luces de situación y equipo de radio.

La alimentación de estos cuadros puede suministrarse desde un generador diesel específico para este uso, o por una batería de acumuladores. Dado que en condiciones normales de navegación, los generadores de emergencia no tienen por qué estar trabajando, los servicios que se alimenten directamente del cuadro de emergencia tienen que disponer de una línea de interconexión con el cuadro principal.

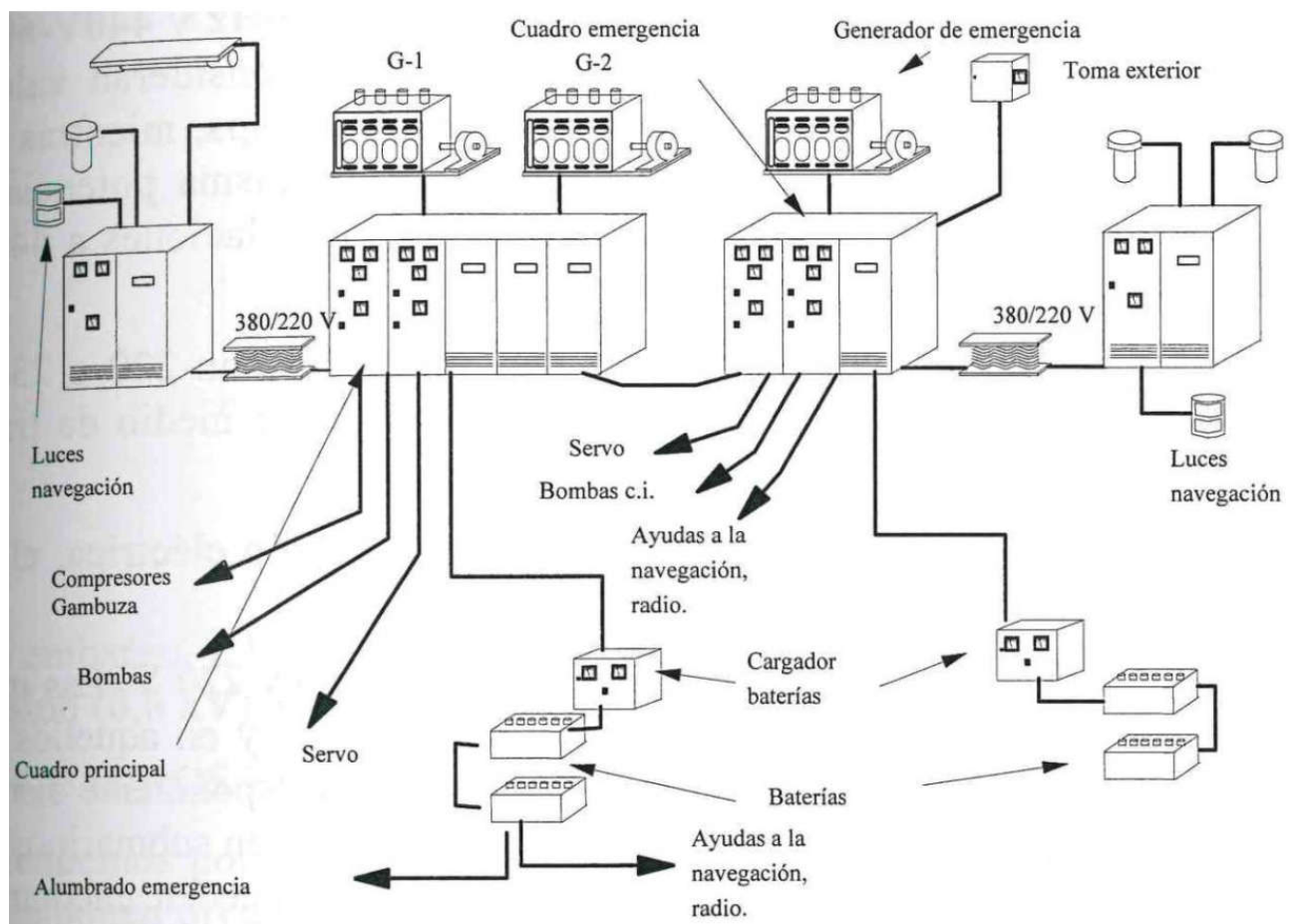
11.8.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE EMERGENCIA

La fuente de energía eléctrica de emergencia deberá estar situada fuera de la sala de

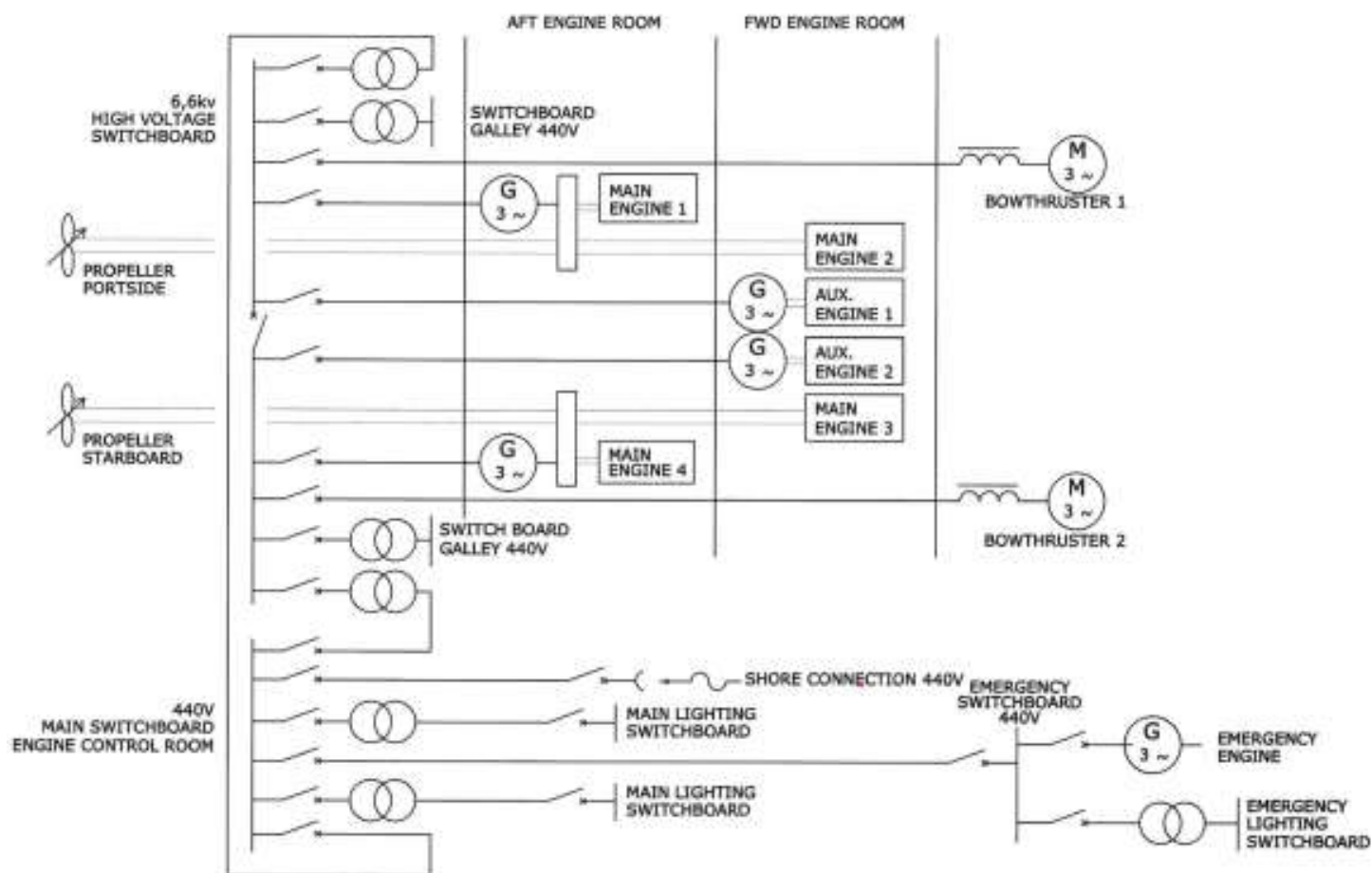
máquinas, y estar diseñado en todos los casos de forma que garantice, en caso de incendio o de avería de la instalación eléctrica principal, el funcionamiento durante un mínimo de tiempo determinado por normativa. L

ANEXOS: Esquemas

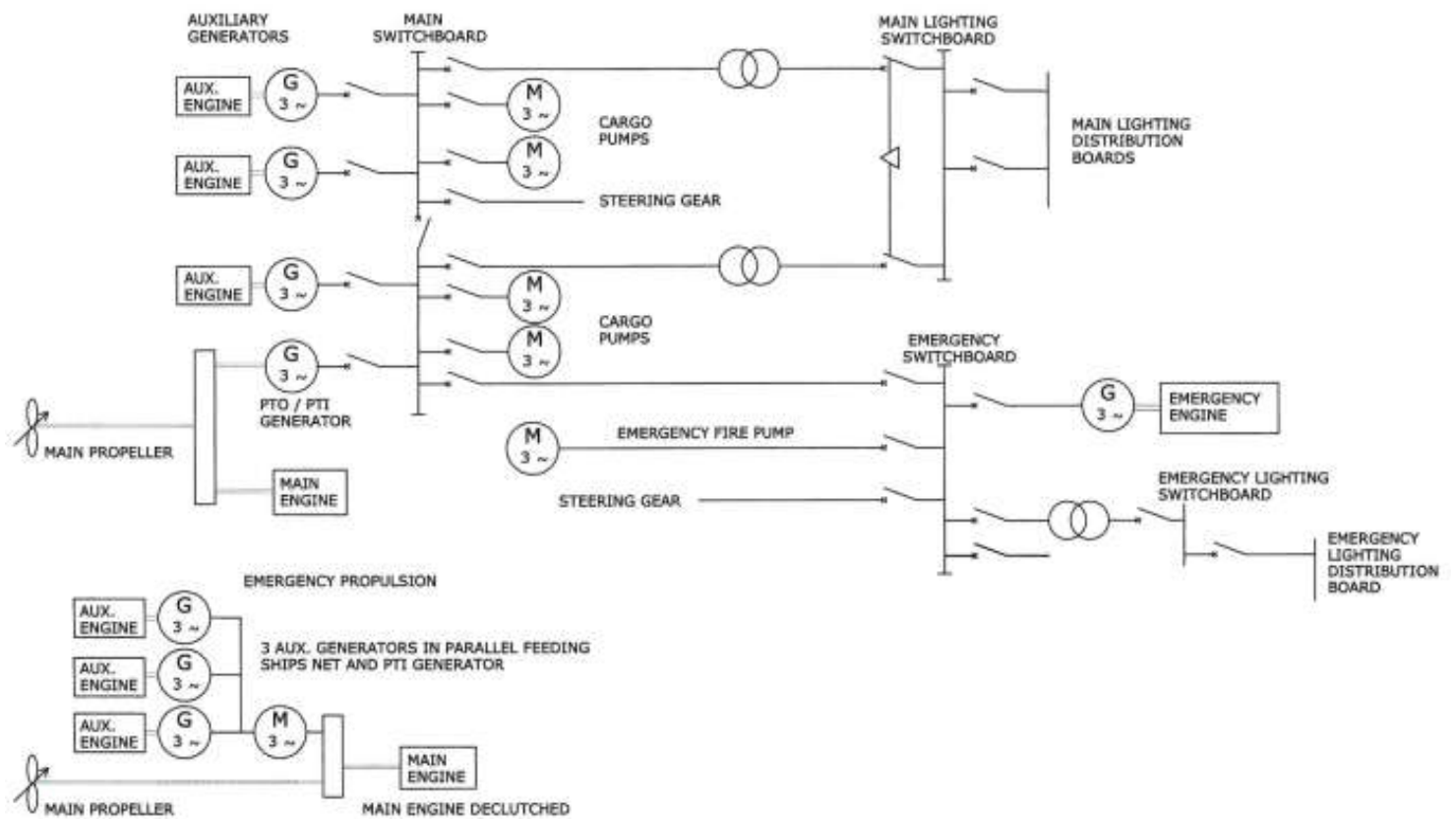
1. Representación esquemática de una planta eléctrica naval



2. Diagrama unifilar de la planta eléctrica de un ferry



2. Diagrama unifilar de la planta eléctrica de un buque quimiquero



BIBLIOGRAFÍA

Ship's Electrical Systems. R Bortslap y H. Ten Katen

Apuntes de electricidad. F. Núñez

Electricidad en el buque. Z. Palomo

Sociedades de clasificación. M. Benítez (ingenieromarino.com)

Curso Electricidad Naval. Anónimo

www.bender.com