

RECUPERACION DEL SISTEMA ELECTRICO DEL BUQUE “CHIMBORAZO” DE LA ARMADA DEL ECUADOR

Carlos Marcelo Ruales Granja ⁽¹⁾, Washington Medina ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) ⁽¹⁾⁽²⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral ⁽¹⁾⁽²⁾
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral ⁽¹⁾⁽²⁾
Apartado 09-01-4863. Guayaquil-Ecuador ⁽¹⁾⁽²⁾
cruales@armada.mil.ec ⁽¹⁾, wmedina@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

El presente trabajo expone un estudio teórico-práctico, con el objetivo de sustituir los servicios de corriente continua que posee el buque “Chimborazo”, perteneciente a la Armada del Ecuador, por un sistema de corriente alterna, con la finalidad de que toda la nave sea alimentada por medio de este tipo de corriente, exceptuando el sistema de propulsión. Se presenta y analiza cada una de las posibles soluciones para cumplir con este objetivo, definiendo las plantas, las tensiones y frecuencias más adecuadas para la embarcación, se detallan los métodos para la fijación de la potencia de los motores de corriente alterna que reemplazaran a los de corriente continua. Se establecen diferentes carga de la unidad, de definen número de generadores y transformadores, demostrando la metodología que se emplea para el cálculo de la corriente de corto circuito, de las barras y los conductos, logrando de esta manera obtener la más adecuada selección de generadores y transformadores a instalar para las diferentes situaciones de carga del buque, como son, en puerto, navegación, salvataje, remolque y en batalla, aportando de esta manera a la modernización de este tipo de embarcaciones.

Palabras Claves: *Modernización de un sistema eléctrico, cambio de corriente continua a corriente alterna.*

Abstract

This report discusses a theoretical and practical study; the objective of this study is to replace, in Ecuadorian navy warship called Chimborazo, Direct Current (DC) system with alternative current (AC) system, which is to achieve AC Current system in the whole ship except in the proper system. In this report, is detailed each possible solution proposed to goal the objective, by designing electrical plants, level of voltages, more suitable frequencies for the ship, additionally it is detailed the methods to establish the AC engine power instead of DC engine Power. Actually It is established the different ship charges, it is designed the number of generators and transformers, It is show the methodology of computation for the short-circuit current, bars, conduits, achieving, by this, the best choice of generators and transformers for the different ship load scenarios, which are: in port, at navigation, at emergency, at towage or in war, providing in this way a practical methodology to update this type of ships.

Keywords: *Modernization of electrical system, change DC to AC.*

1. Introducción.

Clasificado como un buque remolcador de alta mar, del tipo ATF, el B.A.E. “Chimborazo” fue construido a inicios de la década de los años 40 del siglo pasado, con gran autonomía y cualidades maríneas, con capacidad de navegar en casi toda condición de mar,

cumple diferentes funciones, entre las principales se destaca el realizar extensas maniobras de remolque, misiones de rescate y salvataje, cuenta con espacio suficiente para transportar tropas y por su capacidad de tanques y pañoles se ha convertido en Buque logístico de la Escuadra, por su fecha de construcción la corriente continua era la empleada a bordo

fundamentalmente por los principios de regulación de velocidad que se conocían para los motores que usan este tipo de corriente, en la actualidad estos equipos están prácticamente en desuso, presentando obsolescencia logística y económica por la dificultad en conseguir repuestos necesarios para mantener o reparar y el costo que estos representan, afectando grandemente la confiabilidad y la disponibilidad de este buque, por lo que se decidió modernizar la unidad, cambiando su sistema de corriente directa a corriente alterna.

2. Objetivos.

2.1. Objetivo General

Contribuir a la recuperación de las capacidades del BAE “Chimborazo”, cambiando su sistema eléctrico a corriente alterna, alargando su permanencia en servicio activo hasta que pueda ser renovado ya sea mediante la construcción de una nueva unidad o mediante la adquisición de una unidad de segunda mano con vida útil remanente.



Figura 1. B.A.E. “Chimborazo”

Fuente: <http://www.forcesdz.com/forum/viewtopic.php?t=738&p=52762>

2.2 Objetivos específicos.

Redefinir las potencias eléctricas de cada consumidor de la unidad por el cambio a corriente alterna.

Definir el balance eléctrico para determinar el consumo energético en cada situación en las que opera la unidad para determinar el número y la capacidad de generadores y transformadores a instalar a bordo, cumpliendo los requerimientos de las sociedades de clasificación.

Calcular las corrientes de cortocircuito para la elección de los interruptores de protección.

Dimensionar las barras del tablero principal, considerando el calentamiento que da a lugar por la circulación de corriente y los esfuerzos mecánicos y electrodinámicos debido a las corrientes de corto circuito a las que puedan estar sometidas.

Dimensionar los conductores eléctricos en función de la intensidad a circular, el aislante empleado, el número de estos, distancia, temperatura ambiente, etc.

3. Características de la unidad

Construido por la compañía Charleston Shipbuilding and Dry Dock, de Estados Unidos de Norteamérica, comisionado el 21 de febrero de 1944 con el nombre de USS Chowanoc, participando en la Segunda Guerra Mundial, donde recibió cuatro “Estrellas de Batalla” en los conflictos bélicos de Vietnam y Corea donde recibió una estrella adicional.

Su incorporación a la Armada del Ecuador se efectuó el 1 de octubre de 1977, sirviendo en forma permanente hasta la actualidad. Las principales características de dimensiones, calados, desplazamientos y velocidades son:

Tabla 1. Características Generales del B.A.E “Chimborazo”

| | |
|------------------------------|-------------|
| Eslora máxima | 69.45 m |
| Eslora entre perpendiculares | 62.50 m |
| Manga | 11.89 m |
| Puntal | 5.95 m |
| Desplazamiento Estándar | 1220 t |
| Desplazamiento a plena carga | 1641 t |
| Calados | 4.30 m Proa |
| | 4.85 m Popa |
| Máxima sostenida | 12 kn |
| Velocidad actual Máxima | 13 kn |
| Económica | 9 kn |

Fuente: Comandancia de Escuadra. (2011). Ficha Logística REMCHI

El sistema de propulsión es Diesel-Eléctrica, constituido por cuatro generadores de corriente continua, con motores Caterpillar y dinamos General Electric, que alimentan el tablero principal de propulsión, donde se conecta el motopropulsor que hace girar al eje de la unidad con su respectiva hélice.

3.1 El Sistema Eléctrico de la Unidad.

El B.A.E “Chimborazo” fue construido en el año de 1942, época en que la corriente continua era empleada a bordo fundamentalmente por los principios de regulación de velocidad que conocían para motores DC.

Esta unidad tiene propulsión Diesel-eléctrica, para lo que dispone de cuatro generadores de corriente continua tipo Shunt con excitación independiente y primo motores a diésel, estos dinamos alimentan a las barras del tablero de propulsión, que tiene la capacidad de poner en paralelo “entrar en línea” a los cuatro dinamos y enviar su potencia al motor eléctrico de corriente continua tipo shunt, que sirve para mover el eje propulsor, la velocidad de este motor se controla mediante un reóstato conectado en serie con la armadura del mismo.

El buque fue diseñado con un sistema eléctrico de corriente directa, por lo que los generadores principales N° 2 y N° 3 que se usan para alimentar al motor de propulsión de la unidad, puedan conectarse también el tablero de distribución principal de corriente continua.

A la entrega de este buque al país, se diseñó el sistema eléctrico con corriente continua y corriente alterna, obteniendo la corriente continua por medio de dos generadores de diseño especial con doble embobinado en el estator, marca *KATO* de 100 kW cada uno, estos producían corriente alterna la que era rectificadora por un puente de diodos de onda completa, obteniéndose un Voltaje promedio de 220 V_{DC} .

Desde los generadores se alimentaban a las barras del tablero principal de distribución, de aquí tomaban poder las cargas a 220 V_{DC} siendo las de mayor consumo los motores para maniobras de cubierta, remolque, pluma, bombas, ventiladores y moto generadores.

Para obtener corriente alterna trifásica, en el año 1970 se instalaron dos moto generadores, constituidos por el primo motor de corriente continua, alimentado desde el tablero principal y por un alternador a un voltaje de 440 V_{AC} , trifásico de potencia activa de 30 Kw.

Debido a este cambio, un porcentaje de la carga fue rediseñada para que trabaje con corriente alterna, siendo las principales: dos bancos de transformadores de 3x25 KVA que permiten hasta la actualidad, cambiar el nivel de voltaje de 440 V_{AC} a 220/120

V_{AC} , a nivel de 220 V_{AC} trabajan los frigoríficos de la unidad y acondicionadores de aire y a 120 V_{AC} básicamente para iluminación y tomacorrientes, para mayor comprensión del sistema eléctrico objeto del presente estudio, se muestra un diagrama unifilar resumido de la unidad.

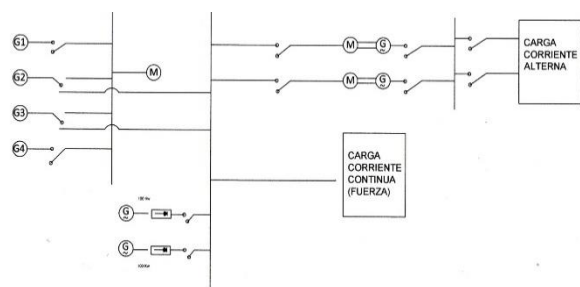


Figura 2. Diagrama Unifilar Resumido

Fuente: Anexo 1, "Recuperación del Sistema Eléctrico BAE Chimborazo"

Con el gran desarrollo de la electricidad, y en especial de la electrónica de potencia, en este campo hoy están presentes los motores de corriente alterna, cuyos costos de fabricación y mantenimiento son más reducidos que el de un motor de corriente continua, por lo que esta unidad, presentó obsolescencia tecnológica, que conduce a la obsolescencia logística, vista que no es posible mantener o reparar el sistema, por la carencia de repuestos, debido al cambio de la tecnología, quedando los repuestos descontinuados, esto va afectando al sistema que va perdiendo su confiabilidad y disponibilidad.

Las reparaciones de estos motores, se iban haciendo cada vez más costosas y difíciles por la escasez de repuestos, obligando muchas veces a fabricar o diseñar para reemplazar cierto tipo de repuestos. Llegando a caer también en una obsolescencia económica, por los costos elevados en las reparaciones, repuestos y mantenimiento.

Se mantiene esta unidad, porque no llega a la obsolescencia total, tácticamente sigue cumpliendo con las funciones para la cual fue diseñada, en especial del remolque de unidades oceánicas y para trasladar a los diques flotantes que posee la empresa pública "ASTINAVE".

4. Definición y métodos empleados.

Para definir la planta del buque, en corriente alterna que reemplazó a la de corriente continua, se estableció criterios básicos en la instalación eléctrica de la unidad como son de seguridad, flexibilidad, confiabilidad, accesibilidad, simplicidad y en base a los estándares de la Sociedad de clasificación Lloyd's Register (LR), se definen los valores de tensiones, frecuencias y los diferentes tipos de distribución.

Tabla 2. Máximos valores admisibles de tensión a bordo

| RED | TENSIÓN (V) |
|---------------------------------------|-------------|
| Fuerza y calefacción | 500 |
| Alumbrado | 250 |
| Generación y distribución de potencia | 15000 |

Fuente: Cristina Soriano Gómez, Florentina Vara García. (2012), Portacontenedores de 1860 TEU, (Proyecto fin de carrera), Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Madrid, ES.

Para sistemas de distribución esta sociedad de clasificación admite lo siguiente: para corriente continua, de dos hilos; para corriente alterna monofásica de dos hilos y trifásica de tres cables y de cuatro hilos con neutro.

En cuanto a la frecuencia, el sistema eléctrico americano trabaja a 60 Hz y el sistema europeo a 50 Hz.

La distribución definida por la forma que se conecta el cuadro eléctrico principal con los tableros eléctricos secundarios y entre sí, dan diferentes sistemas de distribución como son: Radial simple en rastrillo, en Anillo y en Radial compuesto, que es el más adecuado que el primero, consta de un cuadro principal, con uno o mas embarrados y cuadros secundarios:

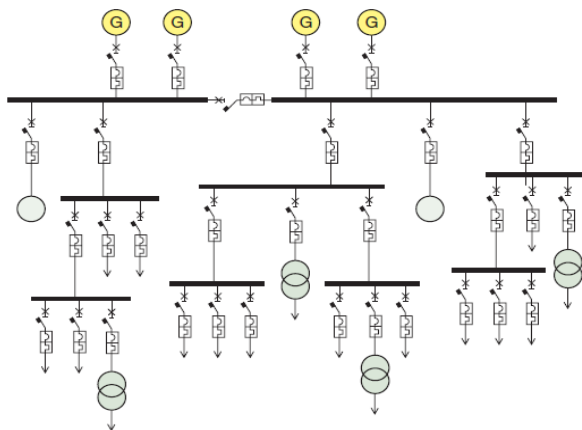


Figura 3. Distribución radial compuesto

Fuente: Asea Brown Boveri (ABB), (2011) Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 11 Introducción a los sistemas e Instalaciones navales a bordo.

Se explica los diferentes tipos de motores eléctricos trifásicos clasificados en de inducción y sincrónicos, se presenta como calcular la potencia de un motor que acciona una bomba, un ventilador, molinetes, cabrestantes y servomotores, se expone las clases de servicio de los motores de acuerdo a la norma IEC-34-1, los procesos de arranque para estos tipos de motores, la clasificación NEMA, las clases de aislamiento de acuerdo a las normas NEMA MG-1 y IEC-85 y la temperatura ambiente de trabajo de los motores aborados de buques.

Se define las diferentes situaciones de carga de la unidad, como calcular el número de generadores y transformadores, la metodología del cálculo de corriente de corto circuito, aplicando la norma IEC-61363-1, la metodología para el cálculo de barras y de conductores.

5. Selección y cálculos.

Se define que la tensión a trabajar de la unidad es a 440V para fuerza y para servicios domésticos y alumbrado a 220/110 V, con una distribución radial compuesta.

Para el cambio de los motores eléctricos de corriente continua de a bordo del buque, se utilizan motores de corriente alterna de inducción con rotor jaula de ardilla de las siguientes potencias:

5.1 Potencia de ventiladores

La instalación del sistema de ventilación en buque proporciona el aire necesario en los consumidores donde se produce combustión, mantiene la temperatura adecuada en el local, evacuando los calores irradiados por los distintos elementos y distribuir el aire renovado en cada espacio de trabajo, en la unidad se requieren cambiar 11 ventiladores a corriente alterna.

Para el cálculo de la potencia de los motores para ventiladores se requiere el caudal y la presión de la masa de aire y el resultado se obtiene de acuerdo a la siguiente formula:

$$P = \frac{Q * p * 9.81}{n * 1000} \quad (1)$$

Donde P es la potencia en kW del ventilador, Q el caudal en m^3/s , p la presión en $mm.c.a$ y n el rendimiento mecánico. En la tabla se presentan los valores obtenidos para los motores que reemplazaron a los anteriores.

Tabla 3. Potencia de motores de ventiladores

| Ventilador | Caudal (m^3/s) | Pre. ($mm.c.a$) | Rendimiento | | Motor (kW) | |
|-----------------|-----------------------|----------------------|-------------|-------|----------------|------|
| | | | Venti. | Motor | teórico | Real |
| Ventilador # 1 | 1,25 | 50 | 0,6 | 0,811 | 1,30 | 1,50 |
| Ventilador # 2 | 2,77 | 50 | 0,6 | 0,845 | 2,47 | 3,00 |
| Ventilador # 3 | 6,94 | 50 | 0,70 | 0,867 | 5,61 | 5,65 |
| Ventilador # 4 | 6,94 | 50 | 0,70 | 0,867 | 5,61 | 5,65 |
| Ventilador # 5 | 6,94 | 50 | 0,70 | 0,867 | 5,61 | 5,65 |
| Ventilador # 6 | 7,50 | 50 | 0,65 | 0,875 | 6,03 | 7,50 |
| Ventilador # 7 | 4,25 | 50 | 0,70 | 0,846 | 3,52 | 3,70 |
| Ventilador # 8 | 9,72 | 50 | 0,70 | 0,880 | 7,74 | 9,20 |
| Ventilador # 9 | 1,67 | 50 | 0,60 | 0,840 | 1,62 | 2,2 |
| Ventilador # 10 | 1,11 | 50 | 0,60 | 0,811 | 1,12 | 1,50 |
| Ventilador # 11 | 0,55 | 50 | 0,55 | 0,770 | 0,64 | 0,75 |

Fuente: Ventiladores, Manual de instrucciones y funcionamiento, Serie CA

5.2 Potencia de bombas

A bordo existían diez bombas que eran alimentadas por corriente continua, por lo que se realizó el cálculo requerido para las nuevas bombas y sus respectivos motores, conociendo las alturas dinámicas en columnas de agua y el caudal respectivo, utilizando la formula (2), se realiza los cálculos respectivos.

$$P = \frac{Q * \delta * h}{n * 1000} \quad (2)$$

Donde P es la Potencia en kW , Q el caudal en m^3/s , δ el peso específico en N/m^3 , h la altura de la elevación en $m.c.a$ y η el rendimiento mecánico

Tabla 4. Potencia de motores de bombas

| Bombas | Caudal (m^3/s) | Altura (m) | Peso especifico N/m^3 | Rendimiento | |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|-------------|-------|
| | | | | Bomba | Moto |
| Agua dulce # 1 | 0.0033 | 30 | 9800.00 | 0,6 | 0,82% |
| Agua dulce # 2 | 0.0033 | 30 | 9800.00 | 0,6 | 0,82% |
| Salvataje # 1 | 0,0317 | 50 | 10015.60 | 0,70 | 0,91% |
| Salvataje # 2 | 0,0317 | 50 | 10015.60 | 0,70 | 0,91% |
| Transferencia de combustible | 0.0194 | 50 | 8279.04 | 0,70 | 0,89% |
| Trasvasije de aceite | 0.0027 | 40 | 8330.00 | 0,55 | 0,82% |
| Flushing # 1 | 0,0157 | 40 | 10015.60 | 0,65 | 0,88% |
| Flushing # 2 | 0,0157 | 40 | 10015.60 | 0,65 | 0,88% |
| Agua servida # 1 | 0.0194 | 50 | 10015.60 | 0,70 | 0,90% |
| Agua servida # 2 | 0.0194 | 50 | 10015.60 | 0,70 | 0,90% |

Fuente: B.A.E "Chimborazo (2014), Datos de placa y Bitácoras de a bordo de bombas varias.

5.3 Potencia de servomotores.

El servomotor sirve para accionar el timón de una banda a otra, el timón consta de dos bombas, siendo una de respeto.

Para el cálculo del servomotor, se debe determinar la fuerza lateral que actúa en el timón, con el valor de la fuerza se procede al cálculo del par del timón.

Según la Sociedad Clasificadora, el servomotor debe ser capaz de pasar de 35 grados a estribor a 35 grados a babor en un tiempo máximo de 28 s. Por tanto la velocidad angular será:

$$\omega \rightarrow \frac{(35 + 35) * \frac{\pi}{180}}{28} \quad (3)$$

A partir de estos cálculos, se obtiene la potencia del servo.

$$P_{servo} \rightarrow \frac{Q_R * \omega}{\eta} \quad (4)$$

Donde Q_R es el Par del timón y η el rendimiento mecánico.

Siendo para este timón el par de 37,65 kNm , y la velocidad angular de 0,0436 rad/s , se calcula la potencia del servo para una eficiencia de la bomba de 0,65 y el motor a una eficiencia de 0,853 obteniendo un valor de 2,95 kW de potencia

5.4 Potencia de un motor para molinetes.

Abordo se utilizan los molinetes y chigres en cubierta para trabajar con las tiras de amarre, para el cálculo de la potencia se debe tener en cuenta el par y la velocidad de giro.

Las sociedades clasificadoras recomiendan a fin de y evitar el enredo de las amarras con la hélice, que la velocidad sea de 30 m/min y la velocidad con tensión del orden de 15 m/min , y que la tensión máxima de tiro sea inferior a la tensión de ruptura del cabo, recomendando sea inferior a 1,5 veces la tensión de ruptura de las amarras.

Para el cálculo de la potencia se utilizó una velocidad de tensión de 15 m/min . Y siendo la tensión de ruptura del cabo a bordo de 6 t, se disminuye a 4 t la tensión de trabajo, para una eficiencia del 75 % del chigre, se obtiene una potencia de 13 kW , y para un motor con rendimiento del 89,5 % da 14,52 kW , instalándose un motor de 15 kW .

$$P = \frac{T * v}{\eta_{mc} * 60} \quad (5)$$

Donde T es tensión del molinete y v la velocidad. El towing, es un molinete que se utiliza para la maniobra de remolque, la tensión del cable instalado es de 45000 kg por lo que la tensión máxima al towing es de 30000 kg , a una velocidad de 9 m/min , con una eficiencia del 75 %, se obtiene una potencia de 58,8 kW y con un motor de rendimiento del 92,8 % se requiere un motor de una potencia mínima de 63,36 kW , instalándose en la practica un motor de una potencia nominal de 75 kW .

5.5 Potencia de un motor para el cabrestante.

El cabrestante se utiliza en la maniobra de fondeo para el izado y el arriado del ancla.

La sociedad de clasificación, en su apartado 3 capítulo 13 en su sección 7.6.4, señala que el cabrestante debe ser capaz de elevar el ancla desde 82.5 m hasta 27.5 m es decir tres paños, a una velocidad de 9 m/min , por lo que la potencia viene dado por.

$$P = 0.87(W_c + W_a) * \frac{v * f}{75 * 60 * \eta_{mc}} CV \quad (6)$$

Donde W_c es el peso de la cadena en el agua, W_a es el peso del ancla, v la velocidad al izar el ancla, f es el factor de rozamiento entre cadena y escoben y η_{mc} es el rendimiento mecánico.

De acuerdo a los datos del peso del ancla del buque es de 1500 kg , el paño de la cadena del buque, tiene un peso de 1005 kg . Por lo que el peso de 3 paños será de 3015 kg , el valor de f es el coeficiente de rozamiento entre el escoben y la cadena, siendo de 2 y el rendimiento mecánico de 0,65, dando un valor de 24,17 CV equivale a 17,85 kW , la eficiencia del motor requerido es aproximadamente de 0,906 por lo que se

requiere uno de 19,7 kW mínimo, instalándose en la práctica un motor de 22 kW.

5.6 Balance eléctrico de la unidad y cálculo de la potencia y número de los generadores y transformadores a instalar.

El consumo de potencia eléctrica a bordo de los buques, depende de su estado de operación o de carga, por esta razón, se realiza un balance eléctrico para cada una de ellas.

En la realización del balance en los buques, se debe considerar, que abordo existen equipos de respeto, otros que no funcionan simultáneamente y/o no consumen su potencia nominal, por lo que se aplica un coeficiente llamado de simultaneidad K_n . Donde se tiene en cuenta que no todos los consumidores idénticos están en uso, y el factor de servicio y de régimen K_{sr} , que es la probabilidad que un consumidor este trabajando a su potencia nominal, al producto de estos dos coeficientes se conoce como coeficiente de utilización K_u , el balance eléctrico con las situaciones de operación se presentan en el siguiente resumen.

Tabla 6. Situaciones de carga

| Estado | Potencia(kW) |
|------------|--------------|
| Puerto | 176.7 |
| Navegación | 198.2 |
| Salvataje | 256.7 |
| Remolque | 245.0 |

Fuente: B.A.E "Chimborazo (2014), Datos de placa y Bitácoras de a bordo.

Considerando que la situación de mayor carga es en salvataje, y que esta corresponde al 85 % de la potencia del generador a instalar, se requiere un generador de 302 kW de potencia activa, instalándose en la práctica uno de 292 kW.

De acuerdo al análisis de carga la demanda a cubrir para 220/110 V es de 36 KVA, teniendo esta unidad instalada dos transformadores secos de 3X25 KVA, dando un total de 75 KVA, potencia suficiente para cubrir la demanda del buque. Según las sociedades de clasificación, debe existir mínimo dos generadores y dos transformadores para garantizar el servicio en caso de falla de uno.

5.7 Calculo de conductores.

Para el cálculo de la sección del conductor, se debe cumplirán las condiciones dispuestas por las sociedades clasificadoras, Bureau Veritas determina:

- La máxima corriente admitida en el conductor no será superior a la corriente nominal de dicho conductor.

- La caída de tensión entre las barras y el punto de instalación, cuando el conductor sea recorrido por la máxima corriente, en servicio normal no debe exceder del 6 %.
- La caída de tensión entre el generador y el tablero principal no debe exceder de un 2-3 %.

La caída de tensión y el calentamiento del cable, dependen directamente de la corriente que circula, por lo tanto, es necesario conocer dicha intensidad, que se determina conociendo los aparatos y/o motores alimentar. Para el cálculo de los conductores de los generadores, se tiene que se instaló generadores marca Marathon con motores MTU, cuyos datos de placa son:

Tabla 7. Tabla de datos de placa Generador Marathon

| | | | |
|------------|-----|-----------|---------|
| Kw | 292 | Fp | 0.8 |
| KVA | 365 | V | 220/440 |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

Se cálculo la Intensidad de plena carga del generador con estos datos, aplicando la ecuacion (7)

$$I_{pc} = \frac{Kw * 1000}{Fp * V * \sqrt{3}} \quad (7)$$

Obteniendose un resultado de 479 Amp, con este dato se cálculo la Intensidad corregida I_z utilizando la ecuación (8).

$$I_z = \frac{I_{pc}}{F_T F_A} * F_S \quad (8)$$

Donde F_T es el Factor por temperatura ambiente, que en nuestro caso es 1 por considerar 45 °C la temperatura dentro de las salas de máquinas, F_A es el Factor por agrupamientos de conductores, en nuestro caso igual a 1, F_S es el Factor de seguridad se considera el 25% es decir multiplicar por 1,25, obteniendose un valor de 598,75 Amp.

El cable para esta intensidad sería muy grueso, por lo que se opta usar cuatro $598,75/4 \rightarrow 149,69$ Amp.

Con este dato, en la tabla 8. Intesidades máximas admisibles, en la columna de 85 °C, que es la temperatura del cable a usar de acuerdo a la normativa, en la columna 3 o 4 conductores, se observa que para 126 Amperios, La seccion del cable es de 50 mm² y para 158 Amperios de 70 mm², por lo que se opta por este cable, se usa 4 x 70 mm².

Tabla 7. Intensidades máximas admisibles

| Sec. mm ² | Clase | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
| | 60 °C | | | 70 °C | | | 80 °C | | | 85 °C | | | 95 °C | | |
| | N° Conductores | | | Conductores | | | Conductores | | | Conductores | | | Conductores | | |
| | 1 | 2 | 3-4 | 1 | 2 | 3-4 | 1 | 2 | 3-4 | 1 | 2 | 3-4 | 1 | 2 | 3-4 |
| 1 | 8 | 7 | 6 | 13 | 11 | 9 | 15 | 13 | 1 | 16 | 14 | 11 | 20 | 17 | 14 |
| 1,5 | 12 | 10 | 8 | 17 | 15 | 12 | 19 | 16 | 13 | 20 | 17 | 14 | 24 | 20 | 17 |
| 2,5 | 17 | 15 | 12 | 24 | 20 | 17 | 26 | 22 | 18 | 28 | 24 | 20 | 32 | 27 | 22 |
| 4 | 22 | 19 | 16 | 32 | 27 | 22 | 35 | 30 | 25 | 38 | 32 | 27 | 42 | 36 | 29 |
| 6 | 29 | 25 | 20 | 41 | 35 | 29 | 45 | 38 | 32 | 48 | 41 | 34 | 55 | 47 | 39 |
| 10 | 40 | 34 | 28 | 57 | 49 | 40 | 63 | 54 | 44 | 67 | 57 | 47 | 75 | 64 | 53 |
| 16 | 54 | 46 | 38 | 76 | 65 | 53 | 84 | 71 | 59 | 90 | 77 | 63 | 100 | 85 | 70 |
| 25 | 71 | 60 | 50 | 100 | 85 | 70 | 110 | 94 | 77 | 120 | 102 | 84 | 135 | 115 | 95 |
| 35 | 87 | 74 | 61 | 125 | 106 | 88 | 140 | 119 | 98 | 145 | 123 | 102 | 165 | 140 | 116 |
| 50 | 105 | 89 | 74 | 150 | 128 | 105 | 165 | 140 | 116 | 180 | 153 | 126 | 200 | 170 | 140 |
| 70 | 135 | 115 | 95 | 190 | 162 | 133 | 215 | 183 | 151 | 225 | 191 | 158 | 255 | 217 | 179 |
| 95 | 165 | 140 | 116 | 230 | 196 | 161 | 260 | 221 | 182 | 275 | 234 | 193 | 310 | 264 | 217 |
| 120 | 190 | 162 | 133 | 270 | 230 | 190 | 300 | 255 | 210 | 320 | 272 | 224 | 360 | 306 | 252 |
| 150 | 220 | 187 | 154 | 310 | 264 | 217 | 340 | 289 | 238 | 365 | 310 | 256 | 410 | 349 | 287 |
| 185 | 250 | 213 | 175 | 350 | 298 | 245 | 390 | 332 | 273 | 415 | 353 | 291 | 470 | 400 | 329 |
| 240 | 290 | 247 | 203 | 415 | 353 | 291 | 460 | 391 | 322 | 490 | 417 | 343 | 570 | 485 | 399 |
| 300 | 335 | 285 | 235 | 475 | 404 | 333 | 530 | 451 | 371 | 560 | 476 | 392 | 640 | 545 | 448 |
| 400 | 390 | 332 | 273 | 570 | 485 | 400 | 610 | 519 | 427 | 670 | 570 | 469 | 760 | 646 | 532 |
| 500 | 455 | 387 | 320 | 655 | 560 | 460 | 695 | 591 | 490 | 770 | 655 | 540 | | | |
| 600 | 505 | 430 | 355 | 730 | 620 | 510 | 770 | 655 | 540 | 850 | 725 | 595 | | | |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

Para el cálculo de la caída de tensión, se utilizó la ecuación (9).

$$e = \frac{I \cdot \rho \cdot L \cdot \sqrt{3}}{S} \quad (9)$$

Siendo *e* la caída máxima de tensión admisible en los cables, expresada en voltios. Para el generador la intensidad corregida *I* por cada conductor es de 149,58 Amp, la resistividad del cobre ρ de 0,01759 $\Omega mm^2/m$, la longitud del conductor *L* de 10 m, la Sección *S* del conductor de 70 mm².

Obteniendo como resultado una caída de tensión *e* de 0,65 voltios que corresponde al $\% = \frac{0,65}{440} * 100 = 0,15\%$, siendo un valor aceptable para la norma.

De igual manera se procede para el calculo de los conductores en los demás equipos, tal como se muestra a continuacion en al siguiente tabla:

Tabla 8. Tabla de conductores y caídas de tensiones para ventiladores

| Ventilador | Potencia (Kw) | I _{pc} (Amp) | I _Z (Amp) | Conductor por fase mm ² | Caída de tensión (V) | % |
|------------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|------|
| 1 | 1,50 | 2,46 | 3,07 | 2,5 | 0,74 | 0,17 |
| 2 | 3,00 | 4,95 | 6,20 | 2,5 | 0,37 | 0,08 |
| 3 | 5,65 | 9,27 | 11,59 | 2,5 | 1,41 | 0,32 |
| 4 | 5,65 | 9,27 | 11,59 | 2,5 | 1,41 | 0,32 |
| 5 | 5,65 | 9,27 | 11,59 | 2,5 | 1,41 | 0,32 |
| 6 | 7,50 | 12,30 | 15,37 | 2,5 | 1,87 | 0,42 |
| 7 | 3,70 | 6,06 | 7,58 | 2,5 | 0,92 | 0,21 |
| 8 | 9,20 | 15,08 | 18,86 | 2,5 | 2,29 | 0,52 |
| 9 | 2,2 | 3,60 | 4,51 | 2,5 | 0,54 | 0,12 |
| 10 | 1,50 | 2,46 | 3,07 | 2,5 | 0,74 | 0,17 |
| 11 | 0,75 | 1,23 | 1,53 | 2,5 | 0,18 | 0,04 |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

Tabla 9. Tabla de conductores y caídas de tensiones para bombas

| Bomba | Potencia (Kw) | I _{pc} (Amp) | I _Z (Amp) | Conductor por fase mm ² | Caída de tensión (V) | % |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|------|
| Agua Dulce 1 | 2,20 | 3,61 | 4,51 | 2,50 | 0,55 | 0,12 |
| Agua Dulce 2 | 2,20 | 3,61 | 4,51 | 2,50 | 0,55 | 0,12 |
| Salvataje 1 | 30,00 | 49,20 | 61,50 | 10,00 | 1,87 | 0,42 |
| Salvataje 2 | 30,00 | 49,20 | 61,50 | 10,00 | 1,87 | 0,42 |
| Trasferencia de combustible | 15,00 | 24,60 | 30,75 | 4,00 | 2,43 | 0,25 |
| Trasvasije de aceite | 2,20 | 3,61 | 4,51 | 2,50 | 0,55 | 0,12 |
| Flushing 1 | 12,50 | 20,50 | 25,63 | 4,00 | 2,34 | 0,53 |
| Flushing 2 | 12,50 | 20,50 | 25,63 | 4,00 | 2,34 | 0,53 |
| Agua servida 1 | 18,50 | 30,34 | 37,92 | 6,00 | 1,92 | 0,44 |
| Agua servida 2 | 18,50 | 30,34 | 37,92 | 6,00 | 1,92 | 0,44 |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

Tabla 10. Tabla de conductores y caídas de tensiones para servomotores

| Servomotor | Potencia (Kw) | I _{pc} (Amp) | I _Z (Amp) | Conductor por fase mm ² | Caída de tensión (V) |
|-------------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| Servo 1 y 2 | 3,72 | 6,10 | 7,62 | 2,5 | 0,93 |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

Tabla 11. Tabla de conductores y caídas de tensiones para cabrestantes

| Cabrestantes | Potencia (Kw) | I _{pc} (Amp) | I _Z (Amp) | Conductor por fase mm ² | Caída de tensión (V) |
|--------------------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| Cabrestantes 1 y 2 | 22 | 36,08 | 45,10 | 6,0 | 4,58 |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

Tabla 12. Tabla de conductores y caídas de tensiones para molinetes

| Molinetes | Potencia (Kw) | I _{pc} (Amp) | I _Z (Amp) | Conductor por fase mm ² | Caída de tensión (V) |
|-----------|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| Towing | 75 | 123,01 | 153,77 | 50,0 | 3,24 |
| Molinete | 15,0 | 24,60 | 30,75 | 4,0 | 7,80 |

Fuente: Aplicación de calculo basados en formulas descritas.

5.8 Calculo de corrientes de corto circuito.

El procedimiento empleado para el cálculo de la corriente de corto circuito a la que podrían estar sometidas barras, cuadros y el sistema de distribución a bordo de las unidades, se realizará aplicando la norma IEC-61363-1 que está definida para

instalaciones a bordo de naves y plataformas marinas fijas o móviles.

Para el cálculo en las barras del cuadro principal, es importante conocer los datos de los generadores que lo alimentan fin dimensionar sus componentes, en nuestro caso el buque posee dos generadores que individualmente son capaces de alimentar a todos los servicios de la unidad.

La corriente de cortocircuito es asimétrica y está constituida por dos componentes alterna y continua, la componente alterna se amortigua para hacerse sostenida y la continua desaparece. El primer cálculo que se realizó, fue la intensidad de corriente en la etapa subtransitoria, se conoce la reactancia subtransitoria que es dato del fabricante, aplicando la ecuación (10)

$$I'' = \frac{V_n}{X_d''} = \frac{I_n}{x_d''} \quad (10)$$

Reemplazando en esta $V_n \rightarrow \frac{V}{\sqrt{3}}$ e $I_n \rightarrow \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}}$, se obtiene que:

$$X_d'' = \frac{V^2}{S} * x_d'' \rightarrow \frac{440^2}{365000} * 0,147 \rightarrow 0,0779$$

$$I'' = \frac{V_n}{X_d''} \rightarrow \frac{440/\sqrt{3}}{0,0779} \rightarrow 3,26 \text{ kA}$$

De idéntica manera se calcula la corriente transitoria con la ecuación (11)

$$I' = \frac{V_n}{X_d'} = \frac{I_n}{X_d'} \quad (11)$$

Reemplazando de la misma forma anterior se obtiene que:

$$X_d' = \frac{V^2}{S} * x_d' \rightarrow \frac{440^2}{365000} * 0,26 \rightarrow 0,138$$

$$I' = \frac{V_n}{X_d'} \rightarrow \frac{440/\sqrt{3}}{0,138} \rightarrow 1,84 \text{ kA}$$

Adicional al procedimiento anterior, se calcula la corriente en estado estable

$$I = \frac{V_n}{V^2 * x_d/S} \rightarrow \frac{440/\sqrt{3}}{440^2 * 2,01/365000} \rightarrow 0,238 \text{ kA}$$

Se Calculó con la ecuación (12) el valor de I_{ac} .

$$I_{ac} = (I'' - I') * e^{-t/T''} + (I' - I) * e^{-t/T'} + I \quad (12)$$

Donde t es $1/2 T$, el periodo que para un sistema con frecuencia 60 hz es $T = 1/f$ por lo que $t =$

$1/120 \rightarrow 0,0083$, dando el valor del componente simétrico de la corriente de corto circuito 2,616 kA.

Se calcula la corriente de pico usando la ecuación (13).

$$I_p = \sqrt{2}[(I'' - I') * e^{-t/T''} + I'] + \sqrt{2} * I' * e^{-t/T''} \quad (13)$$

Obteniéndose un valor de $I_p \rightarrow 8,26 \text{ kA}$

Para los motores, La norma IEC 61363-1, en motores señala que aquellos que sean iguales o superiores a 100 kW o que demanden más del 15 % de la capacidad de energía de la planta se deben tratar de forma especial.

En este caso a bordo, solo tendría este tratamiento los motores del towing y pluma que tiene una potencia de 75 kW.

Tabla 13 Tabla de datos para el motor del towing

| | | | |
|--------------------|-------|--|-------|
| Potencia (kW) | 75,00 | Resistencia R_M | 0,055 |
| Potencia (KVA) | 93,75 | Constante de tiempo subtransitoria T_M'' en ms | 18,67 |
| Impedancia Z_M'' | 0,16 | Constante de tiempo corriente continua T_{dcM} en ms | 11,73 |
| Reactancia X_M'' | 0,15 | Tiempo de cálculo en ms | 0,001 |

Fuente: IEC 61363-1(1998)

Se realizan los siguientes cálculos:

Corriente nominal del motor:

$$I = \frac{P}{\cos \varphi * V_l * \sqrt{3}} \rightarrow \frac{75000}{0,8 * 440 * \sqrt{3}} \rightarrow 123,01 \text{ A}$$

Cálculos de la impedancia, resistencia y reactancia

$$Z_M'' = \frac{V^2 * Z_M''}{S} \rightarrow \frac{440^2 * 0,16}{93750} \rightarrow 0,33 \Omega$$

$$R_M = \frac{V^2 * R_M}{S} \rightarrow \frac{440^2 * 0,055}{93750} \rightarrow 0,11 \Omega$$

$$X_M'' = \frac{V^2 * X_M''}{S} \rightarrow \frac{440^2 * 0,15}{93750} \rightarrow 0,31$$

Cálculo de la tensión:

$$E_M'' = \left[\left(\frac{V}{\sqrt{3}} \cos \phi_M - R_M * I \right)^2 + \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \sin \phi_M - X_M'' * I \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$E_M'' = \left[\left(\frac{440}{\sqrt{3}} * 0,8 - 0,11 * 123,01 \right)^2 + \left(\frac{440}{\sqrt{3}} * 0,6 - 0,31 * 123,01 \right)^2 \right]^{1/2} = 221,71 \text{ V}$$

Cálculo de la corriente de cortocircuito inicial simétrica

$$I_M'' = \frac{E_M''}{Z_M''} \rightarrow \frac{221,71}{0,33} \rightarrow 671,84 A \rightarrow 0,67 kA$$

Para obtener la corriente de cortocircuito, se emplea el siguiente procedimiento:

$$I_{CC} = I_M'' * e^{-\frac{t}{T_M''}} \rightarrow 0,67 * e^{-0,0083/18,67} \rightarrow 0,67 kA$$

Para obtener el cálculo de la componente de corriente directa:

$$I_{DCM} = \sqrt{2}(I_M'' + I * \sin\phi_M) * e^{-t/T_{DCM}}$$

$$I_{DCM} = \sqrt{2}(671 + 123,01 * 0,6) * e^{-0,0083/11,73} \rightarrow 1,01 kA$$

Obteniéndose la corriente de cortocircuito de cresta mediante la siguiente formula:

$$I_P \rightarrow \sqrt{2}I_{CC} + I_{DCM} \rightarrow \sqrt{2} * 0,67 + 1,01 \rightarrow 1,96 kA$$

Los motores de menor potencia, que se conectan a una misma línea se los consideran como un solo motor equivalente, para lo cual se suman las intensidades de las corrientes de cada uno, siguiendo la misma metodología aplicada para el caso del Towing.

Tabla 14 Resumen de valores de corriente de consumidores del B.A.E “Chimborazo”

| Consumidor | Potencia Nominal (kW) | Intensidad Nominal (A) | Intensidad de cortocircuito (kA) | Pico corriente de cortocircuito (kA) |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Compresores y servomotores | 37,5 | 61,5 | 0,47 | 1,4 |
| Bombas | 143,6 | 235,53 | 1,29 | 3,87 |
| Ventiladores | 46,3 | 75,94 | 0,56 | 1,72 |
| Remolque | 75,0 | 123,01 | 0,67 | 1,96 |
| Plumas | 75,0 | 123,01 | 0,67 | 1,96 |
| Molinetes | 52,2 | 85,7 | 0,35 | 1,06 |
| Transformador | 75,0 | 123,01 | 0,67 | 1,96 |

Fuente: Cálculos resultados del presente estudio.

5.8 Calculo de barras

En la unidad se instalaron en el tablero principal barras de cobre desnudas, considerando una densidad de corriente de 2 Amp/mm² para este material y una intensidad nominal de 479 Amp, se obtiene una superficie para barras de **239,5 mm²**.

Con la intensidad nominal del generador, se selecciona en la tabla de la Sociedad Clasificadora de dimensionamiento de barras, en la sección desnudas, numero de barras uno.

Tabla 15. Carga permisible en barras de cobre principales y sección transversal rectangular a 45 °C de temperatura ambiente (calentamiento 45 K)

| Ancho x Grueso (mm) | Máxima carga permisible (A) a 50/60 Hz | | | | | | | |
|---------------------|--|------|------|------|------------------|------|------|------|
| | Pintadas | | | | Desnudas | | | |
| | Numero de barras | | | | Numero de barras | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 15 x 3 | 230 | 390 | 470 | | 200 | 350 | 445 | |
| 20 x 3 | 290 | 485 | 560 | | 250 | 430 | 535 | |
| 20 x 5 | 395 | 690 | 900 | | 340 | 620 | 855 | |
| 20 x 10 | 615 | 1145 | 1635 | | 530 | 1020 | 1460 | |
| 25 x 3 | 355 | 580 | 650 | | 300 | 510 | 615 | |
| 25 x 5 | 475 | 820 | 1040 | | 405 | 725 | 985 | |
| 30 x 3 | 415 | 670 | 735 | | 350 | 590 | 700 | |
| 30 x 5 | 555 | 940 | 1170 | | 470 | 830 | 1110 | |
| 30 x 10 | 835 | 1485 | 2070 | | 710 | 1310 | 1835 | |
| 40 x 5 | 710 | 1180 | 1410 | | 595 | 1035 | 1350 | |
| 40 x 10 | 1050 | 1820 | 2480 | 3195 | 885 | 1600 | 2195 | 2825 |
| 50 x 5 | 860 | 1410 | 1645 | 2490 | 720 | 1230 | 1560 | 2380 |
| 50 x 10 | 1260 | 2130 | 2875 | 3655 | 1055 | 1870 | 2530 | 3220 |
| 60 x 5 | 1020 | 1645 | 1870 | 2860 | 850 | 1425 | 1785 | 2740 |
| 60 x 10 | 1460 | 2430 | 3235 | 4075 | 1220 | 2130 | 2850 | 3595 |
| 80 x 5 | 1320 | 2080 | 2265 | 3505 | 1095 | 1795 | 2170 | 3370 |
| 80 x 10 | 1860 | 2985 | 3930 | 4870 | 1535 | 2615 | 3460 | 4275 |
| 100 x 10 | 2240 | 3530 | 4610 | 5615 | 1845 | 3075 | 4040 | 4935 |
| 120 x 10 | 2615 | 4060 | 5290 | 6360 | 2155 | 3545 | 4635 | 5580 |
| 160 x 10 | 3348 | 5121 | 6646 | 7836 | 2752 | 4451 | 5803 | 6857 |
| 200 x 10 | 4079 | 6162 | 7973 | 9287 | 3335 | 5344 | 6956 | 8109 |

Fuente: Cálculos resultados del presente estudio.

Estando el valor de 479 Amp entre 470 que corresponde a barras de 30 x 5 mm y 710 que corresponde a barras 30 x 10 mm, escogiendo esta última que tiene una superficie de 300 mm² y es superior a 239,5 mm² que se calculó por el método aproximado.

Se procedió a determinar el aumento de temperatura debido a la corriente, que de acuerdo a la norma no debe ser superior a 40 °C, y se verificó si las barras son capaces de soportar el esfuerzo mecánico debido a un defecto de corto circuito.

5.9 Selección de interruptores

Para la selección de los interruptores, se debe conocer un valor de cortocircuito de ruptura o “breaking” y un valor de cortocircuito en la mayor demanda de energía conocido como “making”.

Para encontrar el valor del “breaking”, se suman en la situación de mayor demanda todas las corrientes de cortocircuito y el valor del “making” se suman todas las corrientes de cortocircuito de pico, que contribuyen a este fenómeno, para el caso del buque se presenta estos valores en la siguiente tabla.

Tabla 16. Determinación de corrientes de Making y Breaking del B.A.E “Chimborazo”

| Consumidor | Intensidad de cortocircuito (kA) | Pico corriente de cortocircuito (kA) |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Compresores y servomotores | 0,47 | 1,4 |
| Bombas | 1,29 | 3,87 |
| Ventiladores | 0,56 | 1,72 |
| Remolque | 0,67 | 1,96 |
| Plumas | 0,67 | 1,96 |
| Molinetes | 0,35 | 1,06 |
| Generador | 2,61 | 8,26 |
| Total | 6,62 | 20,23 |

Fuente: Cálculos resultados del presente estudio.

Por lo que se obtiene un valor de breaking de 6,62 kA, y un valor de making o de pico de 20,23 kA

Con los estos datos se selecciona los interruptores principales de los circuitos del buque.

Tabla 17. Resumen de valores de corriente de consumidores del B.A.E “Chimborazo”

| Consumidor | Intensidad Nominal (A) | Intensidad Breaking (kA) | Intensidad Making (kA) | Interruptor Scheinder Electric |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Generador | 479,00 | 6,62 | 20,23 | NSX600 |
| Compresores y servomotores | 61,5 | 6,62 | 20,23 | NS100H |
| Bombas | 235,53 | 6,62 | 20,23 | NS250H |
| Ventiladores | 75,94 | 6,62 | 20,23 | NS100H |
| Remolque | 123,01 | 6,62 | 20,23 | NS160H |
| Plumas | 123,01 | 6,62 | 20,23 | NS160H |
| Molinetes | 85,7 | 6,62 | 20,23 | NS100H |
| Transformador | 123,01 | 6,62 | 20,23 | NS160H |

Fuente: Cálculos resultados del presente estudio.

5.10 Diagrama unifilar final del B.A.E “Chimborazo”

Se presenta el diagrama Unifilar simplificado del sistema eléctrico del B.A.E. “Chimborazo”, donde se aprecia la distribución radial compuesta, los principales interruptores que protegen a las diferentes cargas.

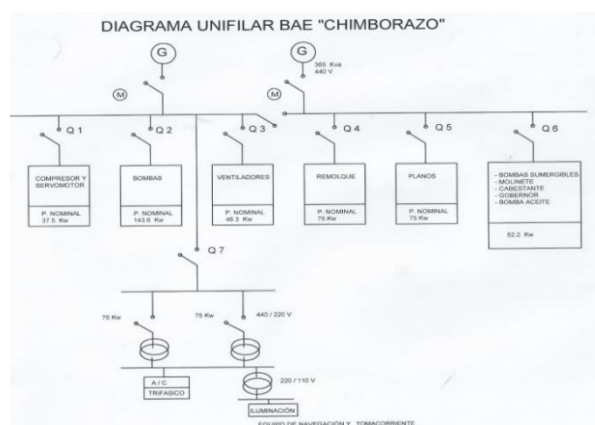


Figura 4. Diagrama Unifilar

Fuente: Diagrama obtenido como resultado del presente estudio.

6. Instalación y pruebas.

Se realizó la instalación, pruebas de funcionamiento y pruebas de operación de los motores, generadores y transformadores, cumpliendo con los protocolos establecidos por la Dirección de Ingeniería Naval, ente técnico perteneciente a la Armada del Ecuador.

7. Conclusiones.

La correcta selección de los motores de inducción, en reemplazo de los motores de corriente continua que estaban instalados a bordo, de acuerdo a las

características de carga que impulsa y de sus características generales de operación, repercute en una mejor seguridad y alarga la vida útil de estos motores trifásicos y de la unidad.

Las condiciones del entorno de trabajo de los buques, es de gran importancia, pues el medio marino tiene un alto nivel de humedad y de corrosión, los espacios de instalación son reducidos, la temperatura de servicio, normalmente es superior a la normal, existe presencia de esfuerzos mecánicos y térmicos como vibraciones debido al movimiento del buque, que contribuyen a ser aún más hostil el medio por lo que, los equipos, conductores o motores requieren el uso de materiales eléctricos resistentes, que cumplan las diferentes normas que se presenta en las diferentes reglamentaciones de las sociedades de clasificación a fin de preservar la vida de los tripulantes, aumentar la seguridad del buque, así como proteger el medio ambiente natural marino.

En las instalaciones eléctricas de a bordo, la fiabilidad y la seguridad son aspectos importantes, por esto al realizar la correcta especificación de los componentes, estos estarán en capacidad de soportar las condiciones de temperatura y de esfuerzos mecánicos a los que están sometidos, en caso de falla, por lo que el estudio de cortocircuito, considerando las diferencias entre las instalaciones terrestres con las de a bordo, utilizando la norma IEC 61363-1 permite obtener de forma confiable los valores más bajos de la máxima corriente de cortocircuito prevista y con ellos, realizar una optimización en la selección de los interruptores de protección.

La modernización del sistema eléctrico, en el B.A.E “Chimborazo”, consistente básicamente en el cambio de los motores de corriente continua por motores de corriente alterna, permitieron superar las obsolescencias técnicas que se presentaban al tener instalados motores de corriente continua diseñados a mediados del anterior siglo, y que como no era posible reparar por falta de repuestos conducían a una obsolescencia logística y económica.

La modernización de esta unidad, en lo referente a su sistema eléctrico, contribuye a alargamiento de la vida útil del buque, permitiéndole cumplir con su misión y sus funciones a las cuales está destinado, y en especial a la función que en esencia fue diseñado, como es el remolque de unidades oceánicas.

Los trabajos realizados dentro del B.A.E “Chimborazo”, especialmente el cambio de motores eléctricos de corriente continua por los de corriente alterna, han permitido incrementar la seguridad en la navegación tanto para la unidad como del personal, así como también, alargar la vida útil de la misma,

considerando que se trata de un buque construido en la década del 40 del siglo anterior.

8. Recomendaciones.

Evaluar los circuitos auxiliares, como cañerías de agua salada, agua dulce, cables eléctricos, cadenas, etc., de tal manera de mantener e incrementar el nivel de eficiencia de los motores eléctricos de la unidad, y garantizar su disponibilidad cuando su operación sea requerida, teniendo presente además, el reemplazo de esta unidad a mediano plazo, con la finalidad de que pueda seguir cumpliendo las funciones logísticas importantes que se le han encomendado dentro de la Armada del Ecuador y dentro del sector marítimo del país.

Llevar un estricto control de la operación y mantenimiento de los motores eléctricos de la unidad, con la finalidad de mantener, a lo largo de su vida útil, los estándares definidos de disponibilidad y confiabilidad.

9. Bibliografía.

[1] American National Standard for Motors and Generators, NEMA MG 1, 2011.

[2] Armada del Ecuador, Comandancia de Escuadra. Guía Básica de Referencia, 2012.

[3] Armada del Ecuador, Comandancia de Escuadra, Ficha Logística REMCHI, 2011.

[4] Asea Brown Boveri (ABB), Cuaderno de aplicaciones técnicas N° 11 Introducción a los sistemas e Instalaciones navales a bordo, 2011.

[5] Baquerizo, M, Lecciones de Electricidad aplicadas al Buque, 1976.

[6] Bureau Veritas, Reglamento de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, 2002.

[7] IEC 60034-1, Rotating electrical machines Part 1, 2.

[8] IEC 61363-1, Electrical Instalation of Ships and Mobile and Fixed Offshore Units Part 1: Procedure for calculating short-circuit currents in three phase AC, 1998.

[9] Jordán, G. Vida útil de las unidades de superficie, Revista de Marina, Vol. 4, 2007.

[10] Lloyd's Register of Shipping, Rules and Regulations for the classification of ship, 2005.

[11] Ricard Giménez López, Frio Industrial, Mantenimiento y Servicios a la Producción, Vol 2, 2005 159.

[12] Valencia Cáceres Beatriz, Selección del control de motores de inducción de corriente alterna. Ingeniero eléctrico, Politécnica Nacional. (2002).