

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“RECUPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL
B.A.E CHIMBORAZO”**

EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
POTENCIA**

Presentado por:

Carlos Marcelo Ruales Granja

SANTIAGO DE GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por estar conmigo, por fortalecer mi corazón y espíritu, a mi esposa Magdalena por amarme y creer en mí, a mis hijos que son fuente de mi inspiración y la razón para salir adelante y a mi director de tesis, por su esfuerzo y dedicación.

Carlos Ruales Granja

D E D I C A T O R I A

A Nuestro señor Jesucristo, que me acompaña en todo el trayecto de mi vida y me da fuerzas para seguir adelante.

A mi esposa e hijos, como muestra del amor que les profeso y a quienes espero servirles de ejemplo a seguir en el camino de la vida.

A mis profesores, que sembraron sus conocimientos para saber usarlos con principios y valores.

Carlos Ruales Granja

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Sara Ríos Orellana, M. Sc.
SUB-DECANO DE LA FIEC
PRESIDENTE



Ing. Washington Medina Moreira,
Msig.
DIRECTOR DE TRABAJO
PROFESIONAL



Ing. Carlos Valdivieso Armendáriz, M. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Trabajo Profesional, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Carlos Ruales Granja

R E S U M E N

El presente trabajo de titulación, expone un estudio teórico práctico, para sustituir los servicios de corriente continua a corriente alterna que poseía el B.A.E “Chimborazo”, con la finalidad de que todo el sistema eléctrico sea alimentado con este tipo de corriente, exceptuando su sistema de propulsión.

En todos los buques, las instalaciones eléctricas tienen que ser seguras y autónomas, por el hecho que estas, durante la navegación, están sometidas a condiciones duras de trabajo, debido al medio ambiente salino, a movimientos del buque en el mar, espacios reducidos, etc. Lo que obliga a extremar las medidas de seguridad en los sistemas eléctricos de a bordo.

Para cumplir la premisa anterior, previo al principal objetivo de este trabajo, que es realizar el estudio técnico para que todos los servicios eléctricos del B.A.E “Chimborazo”, funcionen con corriente alterna, presentamos la misión de esta unidad, sus características principales, sus funciones y tareas que cumple, para entender por qué se requiere mantener aun esta unidad en servicio, hasta que pueda ser reemplazada por una de similares características en el futuro.

Se presenta el problema eléctrico del Buque, con sus posibles soluciones, se define la planta, las tensiones y frecuencia más adecuadas para la embarcación, se detalla el método para la fijación de la potencia de los motores de corriente alterna que reemplazaron a los de corriente continua, se determina las diferentes situaciones de carga de la unidad, el método para definir el número de generadores y transformadores y se presenta la metodología del cálculo de la corriente de corto circuito, de las barras y de los conductores.

Se realiza la selección de la tensión, frecuencia y tipo de distribución, los cálculos para determinar la potencia de los nuevos motores para los diferentes consumidores, como son bombas, ventiladores, molinetes, servomotores y cabrestantes, el balance eléctrico para las diferentes situaciones de carga del buque, como son, en puerto, navegación, salvataje, remolque y en batalla, para luego calcular la potencia y el número de generadores y transformadores a instalar, terminando con el cálculo de los diferentes conductores, barras, corrientes de cortocircuito y la selección de interruptores.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	V
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ABREVIATURAS	XVIII
SIMBOLOGÍA	XX
INTRODUCCIÓN	XXIII
CAPÍTULO 1	
1. DESCRIPCION GENERAL	2
1.1. Reseña Histórica	2
1.2. Misión	3
1.3. Características Generales	3
1.3.1. Dimensiones, Pesos y Velocidades	4
1.3.2. Dotación del Buque	4
1.3.3. Maniobras	5
1.3.4. Propulsión	5
1.3.5. Generación	6
1.3.6. Consumos de Combustible	7
1.3.7. Aceites y Lubricantes	7
1.3.8. Agua	8

1.3.9. Viveres	9
1.3.10. Aproveccionamiento en la Mar y en Puerto	10
1.3.11. Transporte	10
1.3.12. Medios de deteccion y navegacion	11
1.3.13. Comunicaciones	11
1.4. Funciones de la Unidad	12
1.4.1. Remolque	13
1.4.2. Rescate	14
1.4.3. Salvataje	15
1.4.4. Apoyo logístico a las Unidades y Bases Navales	15
1.4.5. Participar en cruceros de instruccion	16

CAPÍTULO 2

2. EL SISTEMA ELECTRICO DE LA UNIDAD, PROBLEMAS QUE PRESENTA Y POSIBLES SOLUCIONES	17
2.1. Sistema Eléctrico de la Unidad	18
2.2. Problemas en el Sistema eléctrico en la Unidad	20
2.3. Posibles soluciones	22
2.3.1. Modernizar	22
2.3.2. Recuperar	24

CAPÍTULO 3

3. ORGANIZACIÓN Y METODO DEL PROYECTO	26
3.1. Definición de la planta, tensiones, frecuencia y distribucion	26

3.1.1.	Definición de la planta	27
3.1.2.	Tensiones y frecuencias	28
3.1.3.	Distribución	29
3.2.	Fijación de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor	32
3.2.1.	Tipos de motores eléctricos trifásicos	33
3.2.2.	Cálculo de la Potencia del motor	37
3.2.3.	Clase de servicio	45
3.2.4.	Procesos de arranque	53
3.2.5.	Regulación de la velocidad	61
3.2.6.	Clasificación NEMA	63
3.2.7.	Clases de aislamiento	67
3.2.8.	Temperatura ambiente	69
3.3.	Determinación de las diferentes situaciones de carga de la Unidad	70
3.4.	Determinación del número de grupos generadores	70
3.5.	Determinación del número de transformadores	72
3.6.	Metodología del cálculo de corriente de corto circuito	73
3.7.	Metodología del cálculo de barras	77
3.8.	Conductores	83
3.8.1.	Constitución y selección	83
3.8.2.	Aislamiento eléctrico	83
3.8.3.	Protección mecánica	84
3.8.4.	Metodología del cálculo	85

CAPÍTULO 4

4.	SELECCIÓN Y CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	91
4.1.	Selección de la planta, tensiones, frecuencia y distribución	91
4.1.1.	Selección de la planta, tensión y frecuencia	92
4.1.2.	Selección del tipo de distribución	92
4.2.	Cálculo de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor	93
4.3.	Balance eléctrico	108
4.3.1.	En Puerto	109
4.3.2.	En Navegación	109
4.3.3.	En Salvataje	110
4.3.4.	En Remolque	110
4.4.	Cálculo de la potencia y número de generadores	110
4.5.	Cálculo de la potencia y número de transformadores	111
4.6.	Cálculo de conductores	112
4.7.	Cálculo de barras	116
4.8.	Cálculo de corrientes de corto circuito	119
4.8.1.	Generadores	119
4.8.2.	Motores	121
4.9.	Selección de interruptores	123
4.10.	Diagrama Unifilar	126

CAPÍTULO 5

5.	INSTALACIÓN Y PRUEBAS	127
----	-----------------------	-----

5.1.	Instalación de motores	127
5.1.1.	Pruebas de funcionamiento	128
5.2.	Instalación de Generadores	130
5.2.1.	Pruebas de Operación	130
5.3.	Instalación y pruebas de transformadores	132
CONCLUSIONES		133
RECOMENDACIONES		137
ANEXOS		139
BIBLIOGRAFÍA		158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1:	Características Generales del B.A.E “Chimborazo”	4
Tabla 1. 2:	Características de la maquinaria y equipos de maniobras	5
Tabla 1. 3:	Características de la maquinaria y equipos de propulsión	6
Tabla 1. 4:	Características de la maquinaria para la generación	6
Tabla 1. 5:	Consumos de combustible	7
Tabla 1. 6:	Tipos y consumos de aceites y lubricantes	8
Tabla 1. 7:	Capacidad de tanques de agua dulce y salada	9
Tabla 1. 8:	Número y capacidad de pañoles y frigoríficos para víveres	9
Tabla 1. 9:	Capacidad de entrega recepción de agua y combustible	10
Tabla 1. 10:	Capacidad de transporte de tropas, carga y repuestos	11
Tabla 1. 11:	Equipos de detección y navegación	11
Tabla 1. 12:	Equipos de comunicaciones internas y externas	12
Tabla 3. 1:	Máximos valores admisibles de tensión a bordo	29
Tabla 3. 2:	Clases de aislamientos	68
Tabla 3. 3:	Materiales aislantes y barniz usados en las diferentes clases de aislamiento	68
Tabla 3. 4:	Reducción por temperatura ambiente de la elevación de temperatura (ET) de un motor	69
Tabla 3. 5:	Características de los sistemas de potencia en buques consideradas por la IEC 61363-1	74

Tabla 3. 6:	Carga permisible en barras de cobre principales y sección transversal rectangular a 45 °C de temperatura ambiente (calentamiento 45 K)	79
Tabla 3. 7:	Valores generales para perfiles rectangulares	81
Tabla 3. 8:	Nomenclatura y Tipos de aislantes	84
Tabla 3. 9:	Clases de cables	87
Tabla 3. 10:	Intensidades máximas admisibles	88
Tabla 3. 11:	Factores de corrección por temperatura ambiente	89
Tabla 4. 1:	Datos y rendimientos de ventiladores y motores	95
Tabla 4. 2:	Datos y rendimientos de bombas y motores	100
Tabla 4. 3:	Tipo de bombas y motores	101
Tabla 4. 4:	Tabla de datos de placa Generador Marathon	112
Tabla 4. 5:	Tabla de conductores y caídas de tensiones para ventiladores	114
Tabla 4. 6:	Tabla de conductores y caídas de tensiones para bombas	114
Tabla 4. 7:	Tabla de conductores y caídas de tensiones para servomotores	115
Tabla 4. 8:	Tabla de conductores y caídas de tensiones para cabrestantes	115
Tabla 4. 9:	Tabla de conductores y caídas de tensiones para molinetes	115
Tabla 4. 10:	Tabla de datos para el motor del Towing	121

Tabla 4. 11: Resumen de valores de corriente de consumidores del B.A.E “Chimborazo”	123
Tabla 4. 12: Determinación de corrientes de Making y Breaking del B.A.E “Chimborazo”	124
Tabla 4. 13: Resumen de valores de corriente de consumidores del B.A.E “Chimborazo”	125
Tabla 5. 1: Valores máximos permisibles para amplitud de vibración en motores eléctricos	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1:	USS CHOWANOC	2
Figura 1. 2:	B.A.E “CHIMBORAZO”	3
Figura 1. 3:	A.T.F en maniobra de remolque	14
Figura 3. 1:	Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución radial	30
Figura 3. 2:	Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución radial compuesto	31
Figura 3. 3:	Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución con anillo	32
Figura 3. 4:	Motor asíncrono de rotor jaula de ardilla	35
Figura 3. 5:	Motor asíncrono de rotor bobinado	36
Figura 3. 6:	Diagrama del motor con régimen de servicio Continuo S1	45
Figura 3. 7:	Diagrama del motor con servicio de Corta duración S2	46
Figura 3. 8:	Diagrama del motor con servicio intermitente periódico S3	47
Figura 3. 9:	Diagrama del motor con servicio intermitente periódico con arranque S4	48
Figura 3. 10:	Diagrama del motor con servicio intermitente periódico con arranque y frenado S5	49
Figura 3. 11:	Diagrama del motor con servicio ininterrumpido periódico con carga intermitente S6	50

Figura 3. 12: Diagrama del motor con servicio ininterrumpido con frenado eléctrico S7	51
Figura 3. 13: Diagrama del motor con servicio ininterrumpido periódico con variaciones de carga y velocidad S8	52
Figura 3. 14: Servicio de variaciones no periódicas S9	53
Figura 3. 15: Curvas de corriente y torque para arranque directo	54
Figura 3. 16: Arranque directo, diagrama de funcionamiento	55
Figura 3. 17: Curvas de corriente y torque para arranque estrella delta	56
Figura 3. 18: Arranque estrella triangulo, diagrama de funcionamiento	57
Figura 3. 19: Curvas de corriente y torque para arranque por autotransformador	58
Figura 3. 20: Diagrama de arranque con auto transformación	59
Figura 3. 21: Curvas de Tensión, corriente y torque para arranques electrónicos	60
Figura 3. 22: Diagrama de arranque electrónico	61
Figura 3. 23: Regulación de la velocidad por variación de frecuencia, manteniendo el flujo constante	63
Figura 3. 24: Relación momento torsor / velocidad sincrónica	66
Figura 3. 25: Modelo IEC 61363-1 para la corriente de cortocircuito	76
Figura 3. 26: Coeficiente de perdidas adicionales por efecto peculiar	80
Figura 4. 1: Ventilador de tipo axial uso marino	94
Figura 4. 2: Ventilaciones sala de máquinas B.A.E “Chimborazo”	95

Figura 4. 3: Tipos de bombas AZCUE CA65, CA80, CA100/80, CA100 CA125, CA150	98
Figura 4. 4: Bomba AZCUE CA80/10A a bordo del B.A.E “Chimborazo”	98
Figura 4. 5: Bomba Flushing a bordo del B.A.E “Chimborazo”	99
Figura 4. 6: Pala del B.A.E “Chimborazo”	102
Figura 4. 7: Servomotor instalado del B.A.E “Chimborazo”	103
Figura 4. 8: Cabrestante a bordo del B.A.E “Chimborazo”	106
Figura 4. 9: Molinete a bordo del B.A.E “Chimborazo”	107
Figura 4. 10: Towing a bordo del B.A.E “Chimborazo”	108

ABREVIATURAS

A/A	Aire acondicionado
ABB	Asea Brown Boveri
ASTINAVE	Astilleros Navales Ecuatorianos
ATF	Auxiliar Tug Fleet (Remolcador de altura)
B.A.E	Buque Armada del Ecuador
Bb	Babor
CFM	Cubic feet per minute (Pies cúbicos por minuto)
DSB	Deutsche Schlauchboot GmbH
Eb	Estribor
EP	Extrema presión
F/B	Fuera de borda
G.P.S	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento satelital)
IEC	International Electrotechnical Commission(Comisión Electrotécnica Internacional)
ISO	ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)
LR	Lloyd's Register
NEMA	National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)
RX/ HF	Receptor de alta frecuencia
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
SOLAS	Safety of life at sea (seguridad de la Vida Humana en el Mar)
TCW	Two Cycle Water (Para motores fuera de borda de dos tiempos)

TEU	Twenty-foot Equivalent Unit (Unidad Equivalente a Veinte Pies)
TX/RX /HF	Transmisor receptor de alta frecuencia
TX/RX/UHF	Transmisor receptor de ultra alta frecuencia
TX/RX/VHF	Transmisor receptor de muy alta frecuencia
USS	United States Ship

SIMBOLOGÍA

A	Corriente en la barra en amperios
A_R	Área de la pala del timón
b_R	Anchura media del timón
$\cos \theta$	Factor de potencia
d	Diámetro
E	Caída máxima de tensión admisible expresada en voltios (V)
F	Factor de rozamiento
F_A	Factor de corrección por agrupamiento de cables
F_R	Fuerza lateral
F_S	Factor de seguridad
F_T	Factor de corrección por temperatura ambiente
h	Altura
HP	Caballos de fuerza
h_r	Altura media del timón
I_L	Corriente de línea
I_M	Corriente en el motor
I_{ac}	Valor del componente simétrico de la corriente de cortocircuito
I_{cc}	Corriente de cortocircuito, en A
I_{pc}	Intensidad que absorbe el dispositivo, motor, etc.
I_{pc}	Valor de pico máximo
I_{pc}	Intensidad con el receptor a plena carga (A)
I_z	Intensidad Corregida
I'	Valor eficaz de la intensidad transitoria
I''	Valor eficaz inicial de la intensidad subtransitoria

k_2	Coeficiente de perfil del timón
k_3	Coeficiente angular del timón
k_4	Coeficiente de posición del timón
k_5	Coeficiente de velocidad del timón
L_c	Longitud cadena
N	Velocidad rotor RPM
η	Rendimiento mecánico
n_s	Velocidad de sincronismo
n_{mc}	Rendimiento mecánico
p	Potencia
ρ	Resistividad del conductor en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Q_R	Par del timón
Q	Caudal
Q	Par
r	Radio
Ro	Resistencia en corriente continua por unidad de longitud
s	Deslizamiento
S	Sección del conductor en mm^2
T	Tensión
t	Tonelada
Td'	Constante de tiempo
Td''	Constante de tiempo
T_f	Tiro de frenado
T_r	Tiro de ruptura
v	Velocidad
V	Voltaje nominal
V_{AC}	Voltaje alterno
V_{DC}	Voltaje continuo
V_L	Voltaje de línea

w	Velocidad angular
W_a	Peso del ancla
W_c	Peso de la cadena
X_d'	Reactancia transitoria
X_d''	Reactancia subtransitoria
∂	Peso especifico
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, se llevó a cabo a través de un plan y un diagnóstico, acerca de las obsolescencias que presentaba el B.A.E “Chimborazo” en especial en los sistemas eléctricos instalados a bordo de esta unidad.

Este buque, fue construido a inicios de la década de los años 40 del siglo anterior, con sistemas de energía alimentados por corriente directa, porque en ese tiempo este tipo de corriente permitía una mejor variación en la velocidad de los motores, con el pasar de los tiempos y en especial por el desarrollo tecnológico en la aplicación de la corriente alterna, actualmente controlan de mejor manera el parámetro de la velocidad los motores alimentados por esta corriente y en especial en los motores de inducción.

El uso de la corriente continua, en aplicaciones marinas y navales, está prácticamente en desuso, por lo que el buque, presentaba obsolescencia técnica, que con llevaba a una obsolescencia económica y logística, por lo que se decidió modernizar la unidad, cambiando sus sistemas de fuerza de corriente directa que aun tenía a alterna.

Se ha mantenido esta unidad en servicio activo, porque es el único buque con que cuenta la Armada y el país para realizar las labores de remolque, rescate, salvataje en alta mar, prestar servicio como buque logístico en la Escuadra Naval, Bases Navales y participar en cruceros de instrucción, por

lo que se hizo necesario recuperar las capacidades de esta nave, hasta que pueda ser renovado ya sea mediante la construcción de un nuevo remolcador o mediante la adquisición de una unidad de segunda mano con vida útil remanente.

El desarrollo de este proyecto permitió aplicar los conocimientos adquiridos de la ingeniería eléctrica, desde los cálculos del tipo de motores que remplazaron a los de corriente continua, el balance de carga de la unidad sirvió para calcular las capacidades del generador que se adquirió, se realizó el cálculo del embarrado, el tipo y calibre de los conductores, el cálculo de las corrientes de cortocircuitos y la selección de los interruptores a instalarse a bordo.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

En este capítulo, se presenta la historia de esta nave, la misión que cumple como buque del Comando de la Escuadra de la Armada Nacional, sus principales características y las funciones asignadas como buque auxiliar de este Comando.

1.1. Reseña Histórica

Clasificado como un remolcador de alta mar, del tipo ATF, el B.A.E “Chimborazo” por su clasificación posee excelentes cualidades marineras y gran autonomía con capacidad de navegar en casi toda condición de mar para cumplir su función principal que es realizar extensas maniobras de remolque, así como operar en misiones de rescate y salvataje.

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.



Figura 1. 1: USS CHOWANOC

Fuente: [NavSource Naval History](#) (2009) Photographic History Of The U.S. Navy.

Recuperado de: <http://www.navsource.org/archives/09/39/093910002.jpg>

1.2. Misión

Mantener el más alto grado de Alistamiento Operativo de la Unidad, mediante una administración adecuada, entrenamiento eficiente del personal y mantenimiento óptimo del material, para el cumplimiento de las operaciones Navales que le asigne el Comando de la Escuadra. [2]



Figura 1. 2: B.A.E “CHIMBORAZO”

Fuente: Algerian, Tunisian and Maghreb Armies Reference, (2013) Marine équatorienne Recuperado de: www.forcesdz.com/forum/viewtopic.php

1.3. Características Generales

Se presentan las características respecto a dimensiones, calados, desplazamiento, dotación, equipos para maniobras, maquinaria para la propulsión y generación, consumos de combustibles, aceites,

lubricantes y agua, capacidades de almacenamiento de víveres, agua y combustible, capacidad de transportar tropas, medios de detección y comunicación.

1.3.1. Dimensiones, Pesos y Velocidades

Las principales características físicas y de velocidades de la unidad, se presentan en la siguiente tabla: [3]

Tabla 1. 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

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

1.3.2. Dotación del Buque

De acuerdo al orgánico vigente prolongado 2008 - 2012 de la Armada del Ecuador, la dotación que consta para que esta unidad pueda cumplir su misión, es de cinco oficiales y cuarenta y siete tripulantes.

1.3.3. Maniobras

Esta unidad está habilitada para realizar las maniobras de fondeo, atraque, remolque, rescate y de servicio en puerto, para lo cual emplea la maquinaria que se describe a continuación:[3]

Tabla 1. 2: Características de la maquinaria y equipos de maniobras

Equipo	Características
Ancla de fondeo	02 tipo patente 1,5 t
Paños de cadena	Eb 6 ; Bb 7
Maniobra de remolque	Towing – tensión máx: 45000 kg
Plumas	Guaira grande capacidad 5 t, pequeña 2 t.
Cabrestantes, Tipo, Ubicación	Horizontal de 25 HP, Proa: Cubierta-100
Timones, Tipo, Ubicación	Electro-Hidráulico, Puente
Embarcaciones menores; tipo, cantidad, marca, HP., capacidad transporte	01 Bote de goma de 22 personas y 01 de 16 personas 01 Ballenera de fibra / madera, 28 personas.
Balsas salvavidas, tipo, cantidad, capacidad transporte	06 DSB para 25 personas c/u.

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

1.3.4. Propulsión

El sistema de propulsión es Diesel-Eléctrica, constituido por cuatro generadores de corriente continua con motores Caterpillar y dinamos General Electric, estos alimentan al tablero principal de propulsión, donde está conectado el

motopropulsor que hace girar el eje de la unidad con su hélice.[3]

Tabla 1. 3: Características de la maquinaria y equipos de propulsión

Máquinas Principales	4 Máquinas CATERPILLAR
Tipo de propulsión	DIESEL-ELÉCTRICA
	4 Generadores principales
	1 Motopropulsor
Reductores	4 Western
Tipo de hélice	Paso fijo
Número de aspas por hélice	4 Aspas (01 hélice)
Díámetro de la Hélice	3,81 m

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

1.3.5. Generación

En la unidad básicamente se generaba corriente continua, mediante dos generadores de corriente alterna que convertían a continua por medio de un puente rectificador, y corriente alterna alimentando dos moto alternadores, cuyo primo motor era de corriente continua.

Tabla 1. 4: Características de la maquinaria para la generación

Generadores auxiliares.	Motor 02 CATERPILLAR 3304 , 02 Generadores Kato-100 kW; 220 V_{DC} y 95 V_{AC} por bobina
Motoalternadores.	2 con motores de 50 HP y alternadores de 35 kW

Nota. Fuente: Elaboración propia.

1.3.6. Consumos de Combustible

La unidad, utiliza diesel purificado para la combustión en sus máquinas y generadores, el consumo del combustible varía de acuerdo a la velocidad de la nave y por ende de las maquinas principales, en los generadores el consumo varía de acuerdo a las cargas en servicio. [3]

Tabla 1. 5: Consumos de combustible

Clase de combustible	Diesel purificado
Consumo por hora	Máquinas 35 gal/h Generador 25 gal/h
Consumo en puerto	25 gal/h
A velocidad económica	170 gal/h
Capacidad de los tanques al 95%	92.789 gal.
Radio de acción	4222 MN.
Autonomía	22 días

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

1.3.7. Aceites y Lubricantes

La unidad de acuerdo a la maquinaria que se emplea durante la navegación, utiliza diferentes tipos de aceite y lubricantes, estos son cambiados generalmente cada cierto número de horas de trabajo de acuerdo a las especificaciones dadas por cada uno de los fabricantes en los manuales de uso y de mantenimiento. [3]

Tabla 1. 6: Tipos y consumos de aceites y lubricantes

CLASE	USO EN
Aceite SAE 40	Motores principales, generadores, compresores de aire.
Aceite SAE 30	Engranajes, reductores
Hidráulico ISO 68	Sistema hidráulico-gobierno
Hidráulico 10 W	Gobernadores
Industrial gear ISO 220	Cabrestante, molinete y towing
Frilub 68	Compresores de A/A-Frigoríficos.
TCW3 SAE 40.	Motores F/B: Motor / pata.
OUTBOARD GEAR SAE 40	
Industrial EP-2	Engrase general
Marfak EP1-EP2	
HORAS PARA CAMBIO DE ACEITE	
Máquinas principales	800 h
Generadores CAT 3304	250 h
Reductores Wester	1000 h o cada año

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

1.3.8. Agua

A bordo de todo buque, existen dos circuitos de agua, el de agua dulce y el de salada, el de agua dulce en el B.A.E “Chimborazo”, tiene cuatro tanques distribuidos en ambas bandas tanto en estribor como en babor, que reciben el suministro desde una fuente exterior por medio de mangueras, estos tanques están interconectados entre ellos.

El circuito de agua salada, se utiliza para el sistema de contra incendios y el sistema sanitario, a más de cumplir con estos servicios, estos tanques sirven como lastre para diferentes maniobras de la unidad. [3]

Tabla 1. 7: Capacidad de tanques de agua dulce y salada

Tanques de agua de bebida	
Capacidad Total al 100%	27.105 galones 4 tanques
Tanques de lastre	
Capacidad Total	154,78 t 40652 gal

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

1.3.9. Víveres

Para el almacenamiento de los víveres destinados a la alimentación de la dotación, el B.A.E “Chimborazo” cuenta con dos pañoles para víveres secos y tres cámaras frigoríficas que son utilizadas para víveres frescos, vegetales y carnes, por lo que la unidad, en cuanto a víveres tiene en su máxima capacidad una autonomía que le permite navegar hasta por 22 días. [3]

Tabla 1. 8: Número y capacidad de pañoles y frigoríficos para víveres

Número y capacidad de pañoles	
Dos pañoles para víveres secos	Capacidad 100 qq
	Capacidad 50 qq
Número y capacidad de cámaras de refrigeración	
Productos frescos	Capacidad 3 m ³ a 15 °C
Productos vegetales	Capacidad 3 m ³ a 10 °C
Número y capacidad de frigoríficos	
Para carnes y similares	Capacidad 6 m ³ a - 5 °C

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

1.3.10. Aprovisionamiento en la Mar y en Puerto

Esta unidad por su naturaleza, puede abastecer y/o aprovisionarse de otras unidades en la mar o en puerto, tanto de agua como de combustible, para lo que dispone de suficiente capacidad de almacenamiento, bombas y de los equipos necesarios para las maniobras de entrega o recepción. [3]

Tabla 1. 9: Capacidad de entrega recepción de agua y combustible

Agua	
Capacidad de recepción	500 gal/h
Capacidad de entrega	500 gal/h
Tomas de agua	2 Tomas
Dimensión	1 ½ "
Combustible	
Capacidad recepción	600 gal/h
Capacidad entrega con Bomba de transferencia	2500 gal/h
Tomas de combustible	4 tomas
Dimensión	4"
Capacidad del purificador de diesel	250 gal/h

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

1.3.11. Transporte

A más de su Tripulación, esta unidad puede transportar a tropas de Infantería de Marina y su dotación de combate en sus entrepuentes, cargas en sus bodegas y en la cubierta, y repuestos en los paños. [3]

Tabla 1. 10: Capacidad de transporte de tropas, carga y repuestos

De Tropas	42 personas
Capacidad de bodega de carga:	Popa 25 t cubierta tanques Proa 20 t cubierta 200 y 300
Máximo Peso Cubierta	25 t (Popa)
Pañoles de repuestos	3 t

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

1.3.12. Medios de detección y navegación

Los sistemas de navegación y detección sirven para determinar de manera precisa la posición del buque, velocidad, profundidad, rumbo y tiempo, además con los radares podemos detectar contactos de superficie. [3]

Tabla 1. 11: Equipos de detección y navegación

Compás magnético	MK VII No. P 2812
Giro compás	1 Sperry -120
Radar de navegación	1 Simrad y 1 Furuno
G.P.S.	1 G.P.S. Magellan 6500 1 G.P.S. Navigational MX-200 1 G.P.S. Furuno NAV NET 1 G.P.S. Magellan Portátil
Sonda acústica	1 Raytheon V860
Corredera	Yokogawa

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

1.3.13. Comunicaciones

El sistema de comunicación del remolcador es de concepción americana, existiendo comunicaciones entre los diferentes

departamentos del buque, que son las comunicaciones internas y las comunicaciones externas que por su seguridad se envían por equipos criptográficos. [3]

Tabla 1. 12: Equipos de comunicaciones internas y externas

Internas			
Teléfonos auto-excitados		16	
Anunciador general		01	
Teléfonos convencionales		06 Estaciones (Panasonic)	
Teléfonos internos		12	

Externas			
Equipo	Marca	Rango/frecuencia	Antena
TX/RX/ HF	Furuno	1.6-29.9999 KHZ	Látigo
TX/RX/ HF	JRC/JSB-176	1.6-29.9999 KHZ	Látigo
TX/RX/VHF	Furuno-FM	156-160 MHz	Whip
TX/RX/UHF	Collins/GRC 171	250 - 550 MHZ	Whip
TX/RX/VHF	Collins/618-3 ^a	116.000-135.975MHZ	Omnidireccional
TX/RX /VHF	Collins/MR -201	156 -160 MHZ	Whip
TX/RX/VHF	Furuno	Portuario	Látigo
RX/ HF	JRC/NRD-92	1.6-29.999 KHZ	Látigo
RX/ HF	Collins/651S-1	1.6-29.999 KHZ	Látigo
XMP-1500	Datotek	Procesador de mensajes	
DMV-2000	Datotek	Cifrador de voz	
TX/RX	Zeus	Procesador de mensajes	

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

1.4. Funciones de la Unidad

La principal función de esta unidad es indudablemente el remolque de buques de gran desplazamiento que por alguna causa han quedado sin gobierno o propulsión, otra es el rescate de personas en el agua, el salvataje de buques siniestrados, además apoya como buque logístico para la Escuadra de la Armada, las Bases Navales y sirve

para realizar cruceros de instrucción con las diferentes Escuelas de la Armada del Ecuador.

1.4.1. Remolque

El B.A.E “Chimborazo” por su tamaño, autonomía y potencia le permite efectuar remolques a embarcaciones de gran porte que se ha quedado sin gobierno o sin medios propios de propulsión en alta mar, su popa es despegada con el fin de permitir la maniobra de enganche con el buque a remolcar.

Uno de los principales remolques que realiza, es trasladar a los diques flotantes que posee los Astilleros Navales Ecuatorianos “ASTINAVE”, hacia los diferentes astilleros extranjeros, ya que tienen la capacidad para realizar el servicio de carenamiento de los mencionados diques, llevándoles en el pasado hacia puertos ubicados en los países de Chile y Panamá.

La maniobra de remolque está diseñada para tirar buques de hasta 6000 toneladas de desplazamiento, disponiendo de un Towing (carro de remolque), con un cable de 300 metros de largo y 3 pulgadas de mena, el cable se saca para la maniobra de remolque con un molinete y es pasado hacia el buque a ser remolcado mediante el empleo de una línea mensajera.

El procedimiento se muestra en la siguiente figura, se puede apreciar como el remolcador realiza la tarea de llevar el buque a través de un recorrido planificado y coordinado.



Figura 1. 3: A.T.F en maniobra de remolque

Fuente: Historia y Arqueología Marítima (2013), Flota de la Armada Argentina Recuperado: [www.histarmar.com.ar/Armada%20Argentina/Buques 1900a1970/Avisos/F.deGurruchaga.htm](http://www.histarmar.com.ar/Armada%20Argentina/Buques%201900a1970/Avisos/F.deGurruchaga.htm)

1.4.2. Rescate

El fin de esta maniobra es recuperar personas que han caído al agua, ya sea de la misma unidad o de otros buques, para ello dispone de una estación de rescate equipada con una red de

salvataje y una línea de vida para ser usada por un nadador cuando sea necesario, además de poseer una pluma para izada y arriada con capacidades de acuerdo a la guaira en uso, siendo estas de dos toneladas y de cinco toneladas que permiten rescatar objetos en alta mar.

1.4.3. Salvataje

Esta unidad cuenta con instalaciones contraincendios de agua y espuma, tiene cañones de agua, ubicados sobre la plataforma elevada que sirven para ayudar a combatir incendios, además puede contribuir a realizar achiques en buques siniestrados, por lo que tiene bombas flushing con capacidad de 250 galones por minuto y las bombas P-500 con capacidad de bombeo de 500 galones por minuto.

1.4.4. Apoyo logístico a las Unidades y Bases Navales

Esta unidad por su capacidad de transportar en sus tanques, combustible y agua de bebida, su capacidad de carga refrigerada y de carga logística, ha hecho que sirva de buque logístico para las unidades de la Escuadra Naval como también para las Bases Navales, especialmente aquellas ubicadas en las Islas Galápagos.

1.4.5. Participar en cruceros de instrucción

El B.A.E “Chimborazo” por su autonomía y su capacidad de transporte de tropas, de agua de bebida, víveres y siendo un buque remolcador con gran capacidad de maniobras, se adoptado a que participe en cruceros de instrucción para personal de las escuelas en formación de la Institución como son los Guardiamarinas, Grumetes y Pilotines.

CAPÍTULO 2

2. EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA UNIDAD, PROBLEMAS QUE PRESENTA Y POSIBLES SOLUCIONES

En el presente capítulo se describe como era el diseño del sistema eléctrico de la unidad, al trabajar tanto en corriente continua como en alterna, los problemas que presentaba por el uso de la corriente continua en los elementos de fuerza y básicamente de los motores, debido al desarrollo de los motores de corriente alterna, los de continua fueron cayendo en la obsolescencia técnica, al presentar los de alterna nueva tecnología y más económica, esta obsolescencia condujo a una obsolescencia logística por escasez de repuestos, llegando a caer también en la obsolescencia económica, por costos de repuestos, mantenimiento y de reparaciones. Ante este problema, se presentaron como posibles soluciones la modernización o la recuperación del sistema, al igual que en el proyecto integral de la unidad.

2.1. 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 se conocían para los motores de 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 diesel, 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 N° 2 y N° 3 que se usan para la propulsión, puedan alimentar también el tablero de distribución principal de corriente continua de la unidad.

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 rectificada 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 su alternador a 440 V_{AC} , trifásico 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, en el anexo “1”

2.2. Problemas en el Sistema eléctrico en la Unidad

Es indudable, que la vida útil del BAE “Chimborazo” está más que alargada, al tener aproximadamente 50 años en servicio por los mares del mundo, con un tipo de estructura, material y resistencia del casco que ha asegurado plenamente que no sea dado de baja por alguna falla estructural.

Hablar de la vida útil de una unidad de superficie, es un tema muy complejo y extenso, sobre este tema se expresa:

Este es un tema complejo debido a la gran cantidad de factores involucrados que pueden incluir, entre otros, consideraciones de tipo político, estratégico, económico, táctico, técnico, logístico, demográfico, etc. Por estas razones no existen modelos teóricos a nivel mundial que puedan dar una respuesta definitiva a esta interrogante. En consecuencia todas las Armadas, tomando en consideración su situación político-estratégica, económica, técnica e histórica, deberán resolver en forma particular su propio problema. Cada situación es única y no repetible. [9]

Una de las principales obsolescencias que le afectaba al BAE “Chimborazo” en lo pertinente a la parte eléctrica, era la tecnológica, en los años anteriores, se utilizaba el motor de corriente continua, por

la flexibilidad que presentaban para el control de la velocidad, y del par, pero debido al 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.

La obsolescencia técnica 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 la 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 cierto tipo de repuestos. Llegando a caer también en una obsolescencia económica, por los costos en las reparaciones, repuestos y mantenimiento.

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

2.3. Posibles soluciones

Las posibles soluciones que se presentaron para el caso de esta unidad en lo que respecta a la parte eléctrica, fueron modernizar o recuperar, entendiéndose como modernizar un sistema aumentar sus capacidades o para superar obsolescencias que presenten, en cambio recuperar el sistema, es llevarlo a las capacidades de diseño o lo más cercano posible, mejorando la confiabilidad y disponibilidad del mismo.

2.3.1. Modernizar

La modernización en los buques se encamina para aumentar las capacidades en el cumplimiento de sus tareas o superar las obsolescencias, que generalmente son del tipo logístico o táctico.

En este caso, la obsolescencia en el sistema eléctrico, básicamente eran los motores que de diseño fueron de corriente continua, por su utilidad cuando se requería variar la velocidad o cambiar el sentido de giro de los mismos, sin duda era mucha más fácil de controlar que los de corriente alterna.

En un motor, las principales magnitudes que interesan son: Velocidad (*rpm*) y el Par motor (*N-m*), el par motor es la fuerza,

que depende del amperaje, es decir a mayor corriente mayor par, por tanto simplemente, es necesario regular los amperios para obtener más o menor par, en cuanto a la velocidad, depende si el motor es de corriente alterna o continua, en uno de continua a mayor voltaje, mayor velocidad, pero en alterna mayor voltaje, no necesariamente es más velocidad, pues la velocidad depende como fue construido, es decir de cuántos pares de polos dispone y de la frecuencia de excitación, que en el mundo generalmente es de 50 o 60 *Hz*.

Anteriormente, resultaba mucho más sencillo el control del voltaje, que modificar la frecuencia, es por este fenómeno, que por muchos años, los motores de corriente continua, fueron aplicados a sistemas que requerían de velocidad variable, y con los de alterna, se requería de elementos mecánicos, como cintas, transmisiones, etc. Siendo en ese entonces, compleja la variación de su velocidad.

Hoy en día, existen motores de corriente alterna, denominados asíncronos cuya construcción es sencilla, económica y de fácil mantenimiento, donde se puede controlar la frecuencia, el número de polos de acuerdo al embobinado del estator, por lo que modernizando el sistema con el cambio de motores y

generadores a corriente alterna, se solucionaría el problema de esta unidad.

2.3.2. Recuperar

Recuperar un buque, son las tareas que se ejecutan en uno o varios sistemas para llevarlos a las capacidades y performances de diseño o llegar a lo más cercano posible, con el objetivo de mantener o mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas.

Es indudable, que el mantenimiento de esta unidad, ha sido permanente, pero para recuperar el sistema eléctrico, conservando la corriente continua, se debía reparar muchas partes y piezas para retornarlas nuevamente a los motores y/o arrancadores.

Además se debería contar con desarrollo tecnológico en nuestra industria para la recuperación de partes y piezas, con estándares de eficiencia y confiabilidad, y realizar un análisis técnico económico, para determinar la factibilidad de la recuperación.

Como no se cuenta en el país, con empresas que desarrollen tecnologías en la recuperación de piezas y partes para el

alargue de la vida útil de estas, se mantiene como única solución la modernización del sistema, cambiándole a corriente alterna.

CAPÍTULO 3

3. ORGANIZACIÓN Y MÉTODO DEL PROYECTO

En este capítulo, se dan los criterios para definir la planta del buque, como se realiza el cálculo de la potencia requerida por los diferentes motores de corriente alterna que reemplazan a los de continua y sus características, se determina las diferentes situaciones de carga que tiene la unidad, como calcular la potencia y el número de generadores y transformadores y la metodología para el cálculo de las corrientes de corto circuito, barras y conductores.

3.1. Definición de la planta, tensiones, frecuencia y distribución

En esta sección, se presenta como se define una planta eléctrica en un buque, estableciéndose criterios básicos, analizando las tensiones y frecuencias definidas y el tipo de distribución permitidas a bordo de una unidad.

3.1.1. Definición de la planta

Para definir a la planta, se establecieron criterios básicos en la instalación eléctrica de la unidad como son; La seguridad, su flexibilidad, la confiabilidad, su accesibilidad y la simplicidad de su operación, consideraciones que permitieron desarrollar un proyecto adecuado y económico.

La seguridad se obtiene cuando se cumplen, las leyes, los códigos de seguridad marítima y las normas de las sociedades de Clasificación, que trabajan en beneficio de la seguridad del ser humano, de la propiedad y del entorno en la mar.

La flexibilidad se obtiene al dividir los circuitos, los alimentadores y tableros de acuerdo a las ubicaciones de las cargas eléctricas, con criterios de continuidad y previendo una reserva de carga para el futuro sin llegar a un sobre diseño del sistema.

La Confiabilidad en el sistema eléctrico del buque se obtiene, cuando los equipos y maquinaria realizan su trabajo sin que presente fallas, por un largo periodo de tiempo.

Accesibilidad es la facilidad de acceso a la maquinaria del buque con el propósito de realizar mantenimientos,

reparaciones, desmontajes, modificaciones o alteraciones de la misma.

La simplicidad, se refiere a que la operación de la maquinaria, generadores, transferencias de carga, tomas de poder de tierra, puestas en paralelo etc. deben ser sencillas, evitando la complejidad y el peligro.

3.1.2. Tensiones y frecuencias

La Sociedad de clasificación Lloyd's Register (*LR*) en su reglamento de Rules & Regulations for the Classification of Ships parte 6, capítulo 2, sección 5, admiten los siguientes sistemas de distribución a bordo:[10]

- (a). En corriente continua, de dos hilos;
- (b). En corriente alterna, monofásico, de dos hilos;
- (c). En corriente alterna, trifásicos; de tres cables; de cuatro hilos con neutro.

Las tensiones máximas que han sido fijadas por esta Sociedad, en su reglamento señala que para alimentar a las cargas de abordó no deberá sobrepasar los valores de voltaje siguientes:
[10]

Tabla 3. 1: Máximos valores admisibles de tensión a bordo

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

Nota. 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.

En cuanto a la frecuencia el sistema americano trabaja a sesenta hertzios (60 Hz) y el europeo a cincuenta hertzios (50Hz).

Por lo dicho en el buque la corriente aplicar es a 440 voltios trifásica, para fuerza y se emplearan trasformadores para obtener 220/110 V para servicios domésticos y de alumbrado.

3.1.3. Distribución

La distribución se define, por la forma que se conecta el cuadro eléctrico principal con los cuadros eléctricos secundarios y entre sí, obteniéndose diferentes sistemas de distribución, que son:

- Radial simple en rastrillo
- Radial Compuesto
- En anillo

El esquema radial simple, incluye un cuadro de distribución principal con un embarrado, desde donde se alimenta a los diferentes consumidores de abordo, esta configuración puede ser crítica al presentarse una falla en el cuadro de distribución principal, puede perderse la fiabilidad de todo el suministro de a bordo.

Es un sistema flexible y económico; su ahorro principal está en el cable de los conductores.[4]

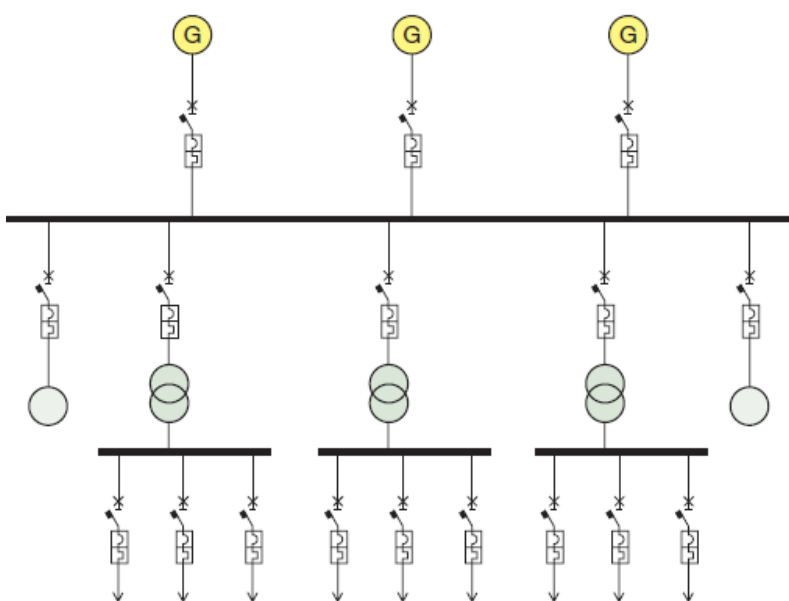


Figura 3. 1: Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución radial

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

El sistema Radial Compuesto, es más adecuado que el primero, consta de un cuadro principal, con uno o más embarrados y algunos cuadros secundarios, siendo su función, entregar energía a los cuadros de distribución secundaria, reduciendo de esta manera, el número de circuitos conectados al cuadro eléctrico principal.[4]

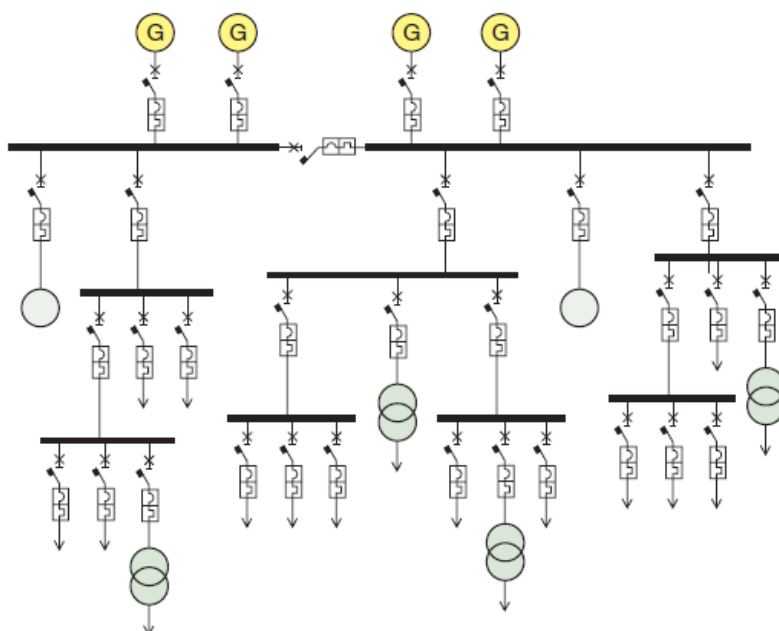


Figura 3. 2: Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución radial compuesto

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

El anillo cerrado, es empleado en buques de guerra, permite que los cuadros principales puedan ser alimentados por líneas

distintas, obteniéndose una mayor seguridad, la sección del conductor que forma el anillo, debe soportar la carga de los diferentes cuadros, a pesar que esto representa un mayor costo, este queda plenamente compensado frente a la seguridad de la alimentación en los buques en el combate. [4]

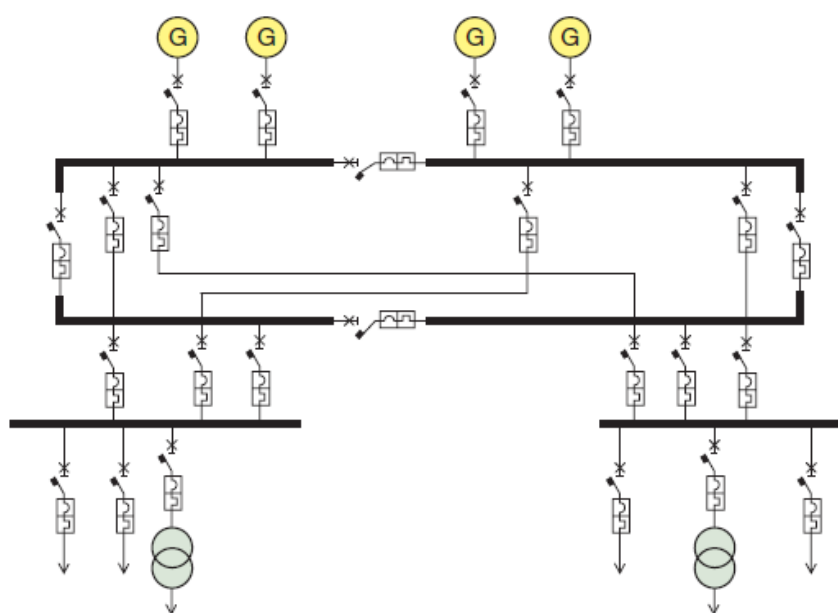


Figura 3. 3: Esquema del principio de funcionamiento del sistema de distribución con anillo

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

3.2. Fijación de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor

Para fijar la potencia eléctrica que requerían los motor de corriente alterna, que reemplazan a los que se encontraban en servicio, se

necesitaba definir los conceptos acerca de los diferentes tipos de motores, sus diferencias y sus usos, las propiedades de cada uno y precisar la clase de servicio que puede ofrecer, procesos de arranque, clasificación NEMA, tipos de aislamiento y temperaturas de trabajo.

3.2.1. Tipos de motores eléctricos trifásicos

Los motores eléctricos diseñados para funcionar con corriente alterna se clasifican en dos clases: de inducción y sincrónicos.

Motores sincrónicos

Un motor síncrono es una máquina que transforma la energía eléctrica en potencia mecánica. De velocidad de giro constante que depende de la frecuencia de la tensión a la cual está conectado y del número de polos del motor, son utilizados en máquinas de gran tamaño, de carga variable y que requieren velocidad constante.

Este motor, al igual que los motores de corriente directa, necesita de un campo magnético que posibilite la transformación de energía eléctrica recibida por su armadura en energía mecánica entregada al eje.

La relación velocidad, frecuencia y números de polos es la siguiente:

$$n_s = \frac{120 * f}{p} \quad (3.1)$$

Motores de inducción

El principio de funcionamiento es, aplicar corriente alterna al estator, esto produce un campo magnético giratorio, este campo de acuerdo a las leyes de inducción, induce corriente en las bobinas del rotor, estas producen un campo magnético opuesto según Lenz, girando el rotor con tendencia de igualar la velocidad del campo magnético giratorio, sin llegar a eso, porque es necesario la variación de flujo para la inducción de corriente en la bobina del inducido.

Los motores de inducción también llamados asíncronos, son económicos, simples y robustos, por lo que son los de mayor uso en la actualidad, existiendo básicamente dos tipos de motores asíncrónicos:

- Motor rotor jaula de ardilla
- Motor rotor bobinado

Motores jaula de ardilla: el devanado del rotor está diseñado por barras de cobre o aluminio, cuyos extremos están en cortocircuito por dos anillos unidos por medio de soldadura.

Motores de rotor bobinado: el devanado del rotor está formado por un bobinado trifásico similar al del estator, con igual número de polos.

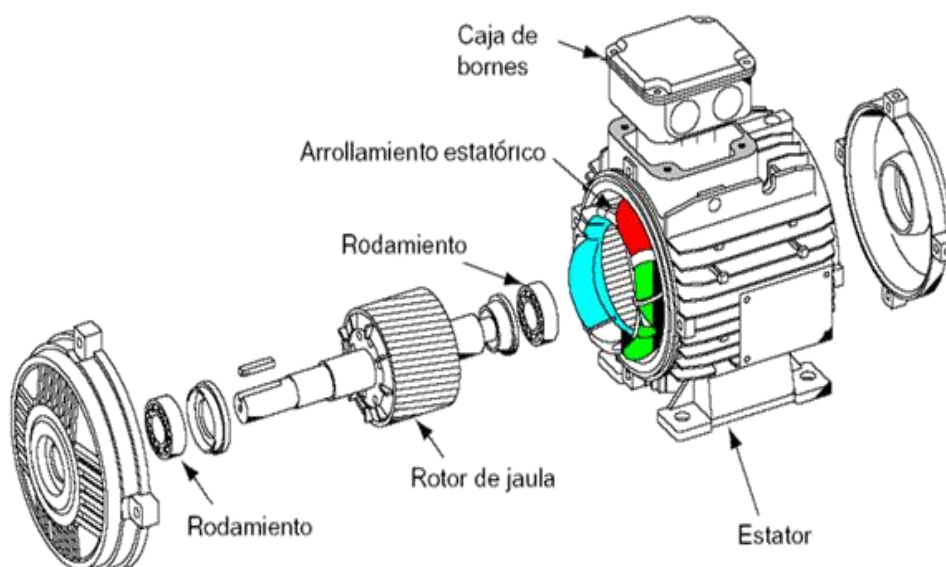


Figura 3. 4: Motor asíncrono de rotor jaula de ardilla

Fuente: Universitat de València (2006), Introducción a la electrónica de potencia. Recuperado de: <http://slideplayer.es/slide/106668>

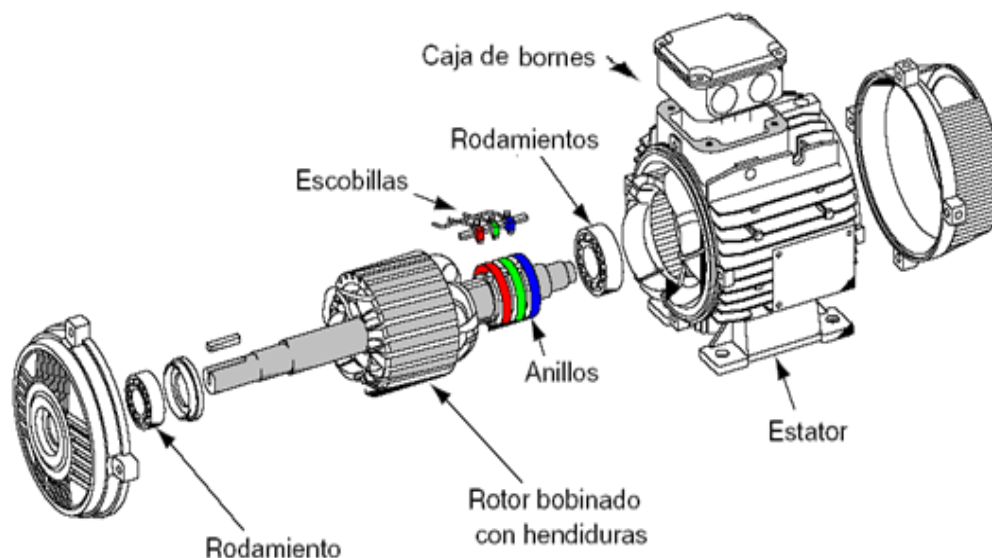


Figura 3. 5: Motor asíncrono de rotor bobinado

Fuente: Universitat de València (2006), Introducción a la electrónica de potencia. Recuperado de: <http://slideplayer.es/slide/106668>

Los motores de inducción de rotor devanado son más costosos que los de rotor jaula de ardilla, requieren de un mayor mantenimiento por sus escobillas y anillos rozantes, siendo esta una de las causas del porque los motores de rotor devanado son poco usados.

Como escoger un motor

No todos los motores pueden ser utilizados para toda clase de trabajo y cada actividad requiere un tipo de motor. Para elegir un motor hay que tener en cuenta principalmente.

- La carga de trabajo (Potencia).
- La clase de servicio. .
- Los procesos de arranque,
- La regulación de velocidad.
- Clasificación NEMA
- Clase de aislamiento
- La temperatura ambiente.

3.2.2. Cálculo de la Potencia del motor

Para realizar el cálculo de la carga de trabajo de cada motor de inducción, se partirá de los datos de los equipos a los cuales se acoplaran.

(a) Potencia para el motor que acciona una bomba

Antes de seleccionar una bomba, se requiere efectuar los siguientes cálculos:

- Altura total dinámica o de impulsión de la bomba
- Caudal

Altura Dinámica. Es la altura geodésica denominada (H_g), que es la diferencia entre dos puntos, medida en unidades de longitud pasada a Columna en agua en metros. ($m.c.a$)

más las pérdidas por fricción en la conducción del fluido convertidas a cabeza de altura.

Caudal. Se necesita conocer el caudal [Volumen/Tiempo] m^3/h , pie^3/h , $G.P.H$, $G.P.M.$ etc., que la bomba debe entregar en el sitio de descarga o almacenamiento en las condiciones “Pico”, es decir, cuando la demanda es máxima.

Por lo que el cálculo para el motor de la bomba se realizará:

$$P = \frac{Q * \delta * h}{n * 1000} \quad (3.2)$$

$P \rightarrow$ Potencia en kW

$Q \rightarrow$ caudal en m^3/s

$\delta \rightarrow$ peso específico en N/m^3

$h \rightarrow$ altura de la elevación en $m. c. a$

$\eta \rightarrow$ rendimiento mecánico

(b) Potencia absorbida por un ventilador

Para el cálculo de los ventiladores se deben definir lo que es el caudal y la presión en ellos.

Caudal. En un ventilador el caudal es la masa de aire que este puede desplazar en una unidad de tiempo, se expresa generalmente en m^3/h y en *CFM* donde $1\text{ CFM} = 1,7\text{ m}^3/h$

Presión. La presión está compuesta por la presión dinámica P_d , que es la fuerza por unidad de superficie provocada por el movimiento del aire en el mismo sentido de este siendo por tanto siempre positiva y la presión estática P_e , que es la fuerza que realiza el gas sobre las paredes de las tuberías, en sentido perpendicular a ellas, esta es positiva cuando es mayor a la atmosférica y negativa cuando es menor, generalmente se expresa en *mm.c.a* siendo su equivalencia $1\text{ mm.c.a} = 9,80665\text{ Pa}$ y 1 Pa equivale a 1 N/m^2 [11]

$$P = \frac{Q * p * 9.81}{n * 1000} \quad (3.3)$$

$P \rightarrow$ potencia en *kW*

$Q \rightarrow$ caudal en m^3/s

$p \rightarrow$ presión en *mm. c. a*

$n \rightarrow$ rendimiento mecánico

(c) Potencia de un motor para molinetes

Abordo se utilizan los molinetes 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 realizar las maniobras de atraque y desatraque lo antes posible 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 , además hay que tener en cuenta que la tensión máxima de tiro debe ser inferior a la tensión de ruptura del cabo, recomendando que la tensión de trabajo sea inferior a 1,5 veces la tensión de ruptura de las amarras. [10]

$$Q = \frac{T * r}{1000} \quad (3.4)$$

$Q \rightarrow$ par necesario ($kN.m$)

$T \rightarrow$ tensión del molinete, carga de ruptura dividido para
factor de seguridad (kN)

$r \rightarrow$ radio del tambor del chigre (mm)

$$P = \frac{Q * w}{\eta_{mc}} = \frac{Q * v * 1000}{\eta_{mc} * r * 60} \quad (3.5)$$

$P \rightarrow$ Potencia chigre

$w \rightarrow$ velocidad angular (rad/s)

$\eta_{mc} \rightarrow$ rendimiento mecánico

Reemplazando la ecuación 3.4 en la ecuación 3.5

$$P = \frac{T * v}{\eta_{mc} * 60} \quad (3.6)$$

(d) Potencia del Cabrestante

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

La sociedad de clasificación Lloyd's Register en su parte 3, capítulo 13 sección 7, define las características del cabrestante que son las siguientes:

Desarrollar un tiro continuo durante un periodo de 30 minutos de acuerdo a la siguiente expresión. [10]

$$T = 41.68 * d^2 * 10^{-3} \text{ kN} \quad (3.7)$$

$T \rightarrow$ tensión del cabrestante

$d \rightarrow$ diámetro del redondo del eslabón de la cadena

Desarrollar un valor de 1.5 o más del tiro continuo y del tiro de ruptura del ancla por al menos un tiempo de 2 minutos, para el cálculo del tiro de ruptura del ancla se utiliza la siguiente expresión. [10]

$$T_r = \left(1.24 * W_a + \frac{7 * L_c * d^2}{100} \right) * 10^{-3} kN \quad (3.8)$$

$T_r \rightarrow$ Tiro de ruptura

$W_a \rightarrow$ Peso del ancla

$L_c \rightarrow$ Longitud de la cadena

$d \rightarrow$ diámetro de la cadena

Que el cabrestante pueda soportar una carga sin que tenga ninguna deformación permanente de acuerdo a la siguiente expresión. [10]

$$T_f = K_b * d^2 (44 - 0.08 * d) * 10^{-3} kN \quad (3.9)$$

$T_r \rightarrow$ Tiro de frenado

$K_b \rightarrow$ Constante

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 a una velocidad de 9 m/min , por lo que la potencia viene dado por. [10]

$$P = 0.87(W_c + W_a) \cdot \frac{v * f}{75 * 60 * \eta_{mc}} CV \quad (3.10)$$

$W_c \rightarrow$ peso de la cadena en el agua

$v \rightarrow$ Velocidad al izar el ancla

$f \rightarrow$ factor de rozamiento entre cadena y escoben

$\eta_{mc} \rightarrow$ rendimiento mecánico

(e) Servomotor

Para el cálculo del servomotor, se debe determinar la fuerza lateral que actúa en el timón, que de acuerdo al reglamento de la sociedad de clasificación Lloyd's establece que la fuerza no debe ser menor a la siguiente expresión:[10]

$$F_R = 0.132 * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * A_R * V^2 \quad (3.11)$$

$F_R \rightarrow$ Fuerza lateral

$k_1 \rightarrow \frac{\lambda+2}{3}$ donde $\lambda \rightarrow \frac{h_r^2}{A_R}$ y no debe ser mayor a 2

$h_r \rightarrow$ altura media del timón

$A_R \rightarrow$ Área de la pala del timón

$k_2 \rightarrow$ coeficiente de perfil del timón

$k_3 \rightarrow$ coeficiente angular del timón

$k_4 \rightarrow$ coeficiente de posición del timón

$k_5 \rightarrow$ coeficiente de velocidad del timón

$V \rightarrow$ velocidad máximo de diseño

Con el valor de la fuerza obtenida y mediante la expresión proporcionada por la Lloyd's se procede al cálculo del par del timón.[10]

$$Q_R = F_R * X_P \quad (3.12)$$

$$X_P = b_R * (0.33 - k) \quad (3.13)$$

$Q_R \rightarrow$ Par del timón

$X_P \rightarrow$ Longitud expresada en m.

$b_R \rightarrow$ Anchura media del timón

$k = \frac{A_c}{A_R}$, con A_c superficie de compensación

$X_P \rightarrow$ Mínimo valor de $0.1 b_R$

Según el requerimiento de 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:[10]

$$\omega \rightarrow \frac{(35 + 35) * \frac{\pi}{180}}{28} \quad (3.14)$$

$\omega =$ velocidad angular

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

$$P_{servo} \rightarrow \frac{Q_R * \omega}{\eta} \quad (3.15)$$

3.2.3. Clase de servicios

Las clases de servicio de acuerdo a las normas IEC 34-1, se representan con S1...S9, y en los motores en los que no exista ninguna indicación se consideran en funcionamiento continuo S1.

Régimen continuo (S1) funcionamiento del motor a carga constante con tiempo suficiente para que alcance el equilibrio térmico.[7]

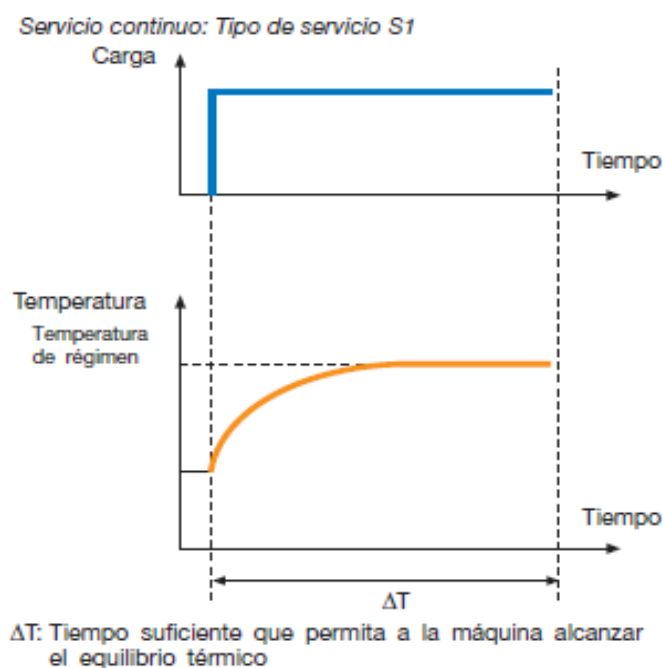


Figura 3. 6: Diagrama del motor con régimen de servicio Continuo S1

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas n°6

Servicio de corta duración (S2) funcionamiento del motor a carga constante por un tiempo inferior al que requiere para

alcanzar el equilibrio térmico, seguido de un tiempo de reposo suficiente para permitir que el motor retorne a la temperatura ambiente o la del refrigerante.[7]

Servicio de duración limitada: Tipo de servicio S2

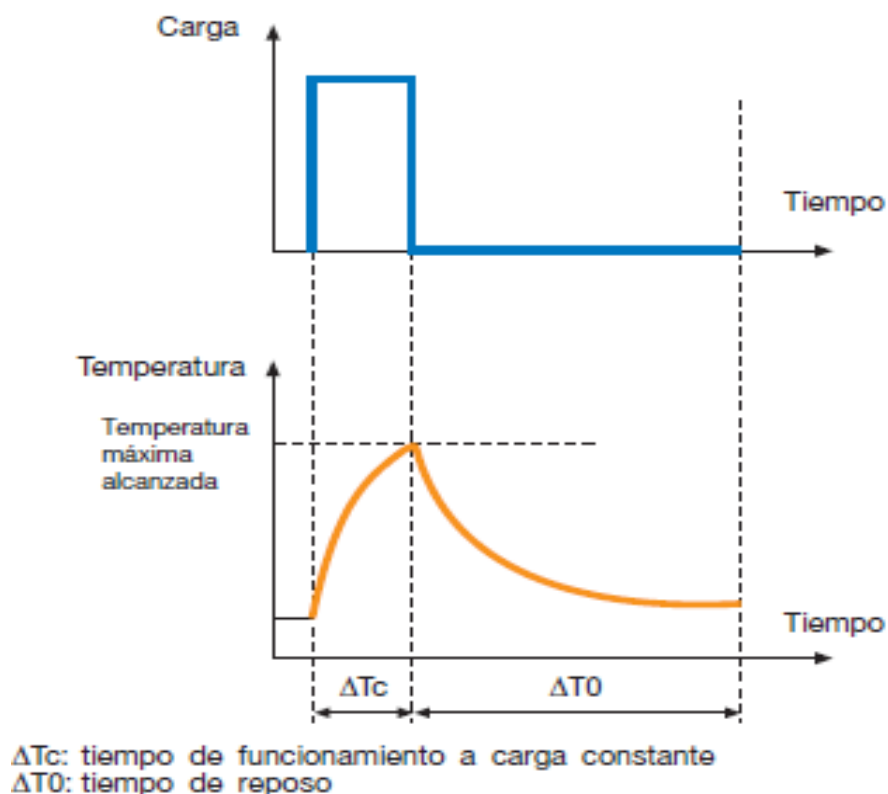
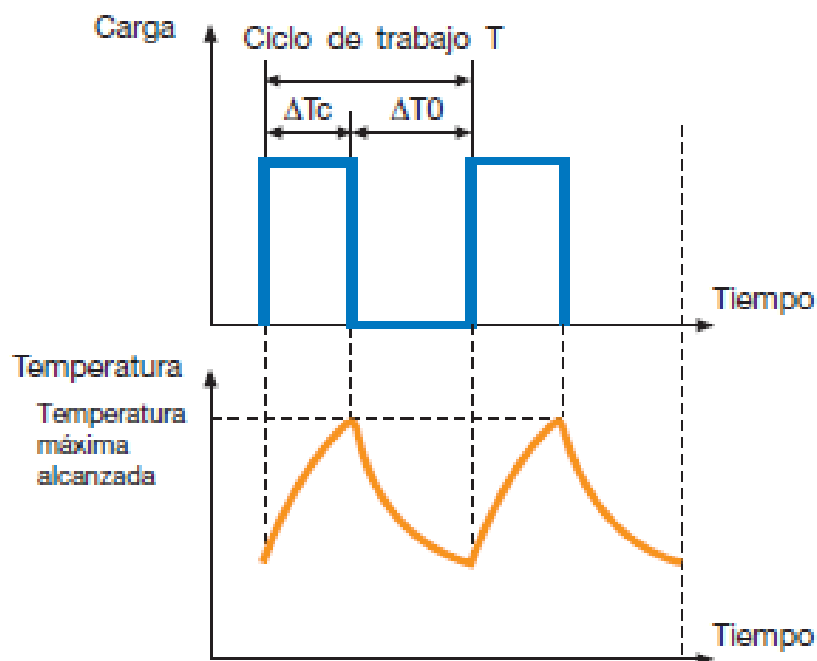


Figura 3. 7: Diagrama del motor con servicio de Corta duración S2

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas n°6

Servicio intermitente periódico (S3) en este servicio, el motor funciona con ciclos idénticos, primero un ciclo a carga constante y luego un periodo de reposo, el ciclo de trabajo es corto y sin que el motor alcance el equilibrio térmico de diseño.[7]



ΔT_c : tiempo de funcionamiento a carga constante

ΔT_0 : tiempo de reposo

Relación de intermitencia = $\Delta T_c / T$

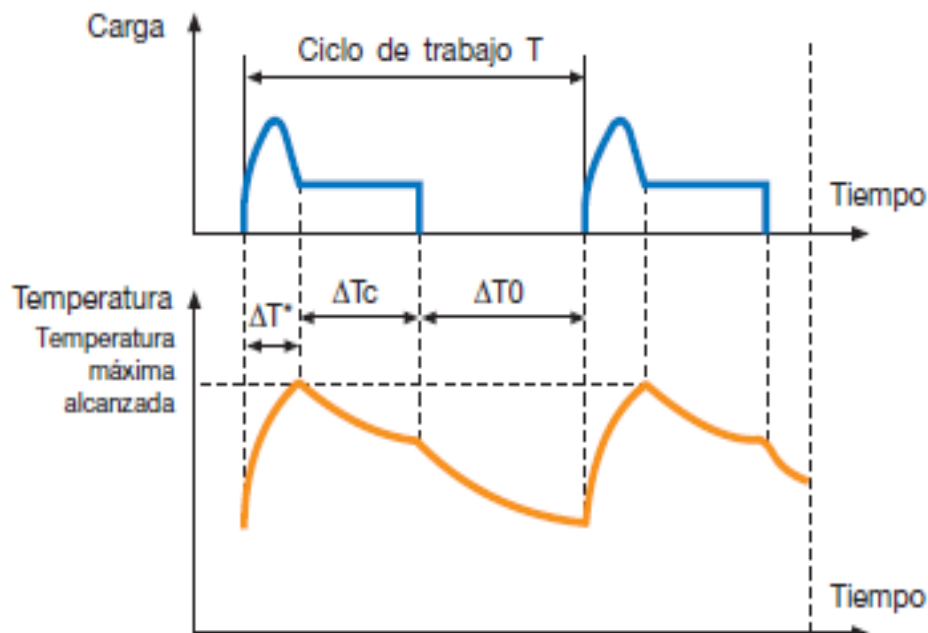
Figura 3. 8: Diagrama del motor con servicio intermitente periódico S3

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas nº6

Servicio intermitente periódico con arranque (S4) en este servicio conocido como intermittent periodic duty with starting, el motor trabaja con serie de ciclos idénticos incluyendo en cada uno un tiempo de arranque, luego un tiempo de funcionamiento con carga constante y finalmente pasar a un tiempo de reposo, sin que el motor logre alcanzar el equilibrio térmico de diseño.

[7]

Servicio intermitente periódico con arranque: Tipo de servicio S4



ΔT^* : tiempo de arranque/aceleración

ΔT_c : tiempo de funcionamiento a carga constante

ΔT_0 : tiempo de reposo

Relación de intermitencia = $(\Delta T^* + \Delta T_c) / T$

Figura 3. 9: Diagrama del motor con servicio intermitente periódico con arranque S4

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas n°6

Servicio intermitente periódico con arranque y frenado eléctrico (S5) el motor trabaja con ciclos de servicios idénticos, con un ciclo de arranque de significado, uno donde el motor trabaja a carga constante, pasando a un periodo de frenado y luego a un periodo de reposo, estos ciclos son de corta duración, sin permitir que el motor alcance el equilibrio térmico. [7]

Servicio intermitente periódico con frenado eléctrico: Tipo de servicio S5

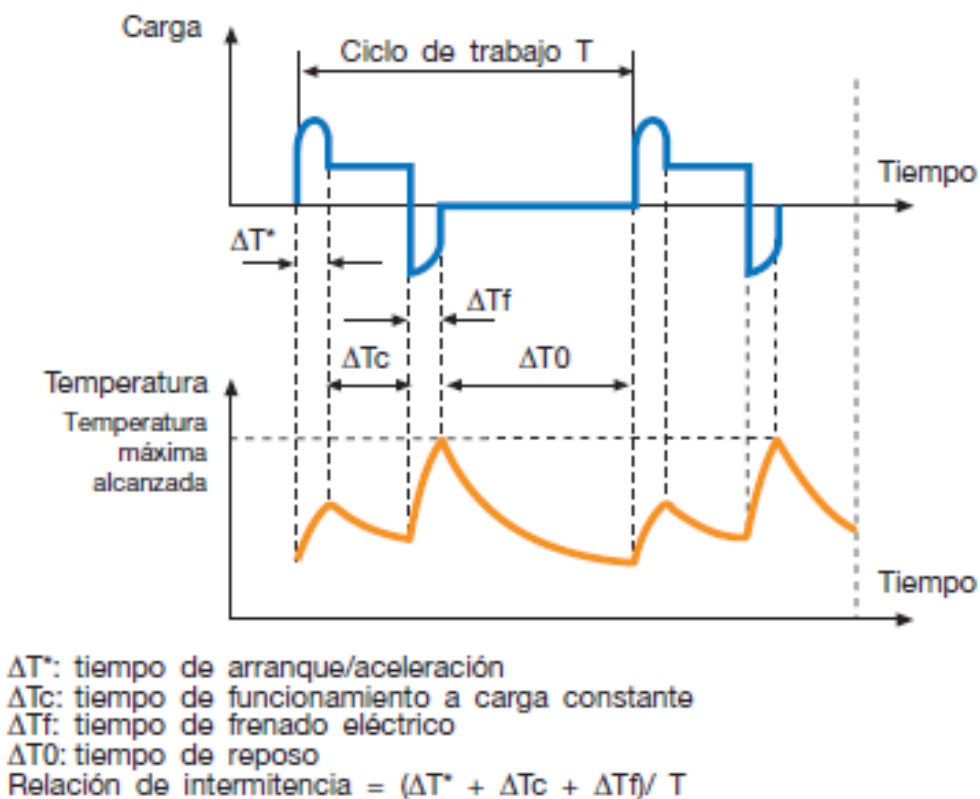


Figura 3. 10: Diagrama del motor con servicio intermitente periódico con arranque y frenado S5

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas n°6

Servicio ininterrumpido periódico con carga intermitente (S6) el motor está compuesto de una secuencia con ciclos de servicios similares, con una duración de ciclo, en la que cada ciclo abarca un tiempo con carga constante y un tiempo de reposo, sin intervalo. Después del ciclo de funcionamiento, el motor sigue girando sin carga, pero se ventila sin existir un periodo de reposo. [7]

Servicio ininterrumpido periódico con carga intermitente: Tipo de servicio S6

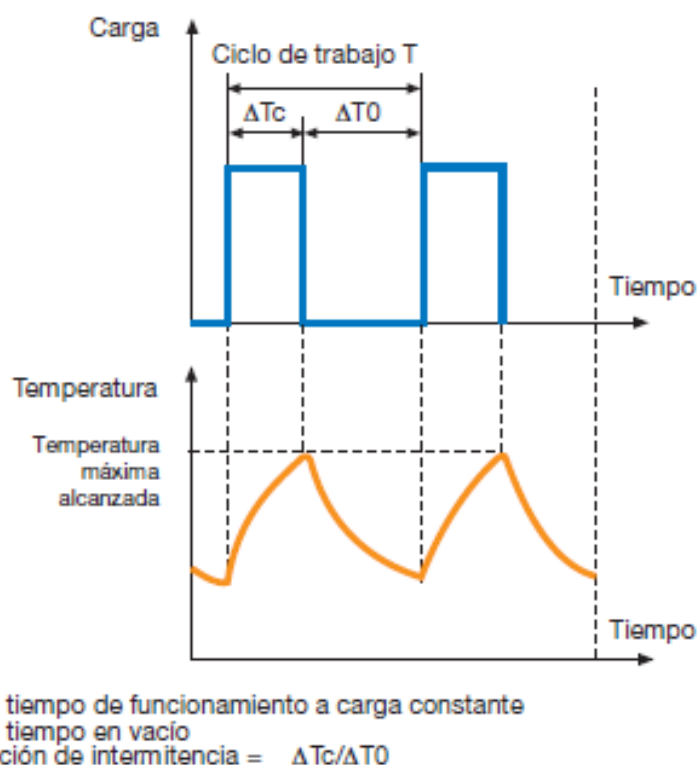


Figura 3. 11: Diagrama del motor con servicio ininterrumpido periódico con carga intermitente S6

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas nº6

Servicio ininterrumpido periódico con arranque y frenado eléctrico (S7) en este servicio, el motor trabaja con ciclos de servicios idénticos en un tiempo determinado, luego del ciclo de arranque, tiene un ciclo de trabajo donde la carga es constante, pasando a un ciclo de frenado eléctrico de alta velocidad, sin tener o existir un periodo de reposo, siendo estos ciclos demasiados cortos, no permiten que el motor alcance el equilibrio térmico.[7]

Servicio ininterrumpido periódico con frenado eléctrico: Tipo de servicio S7

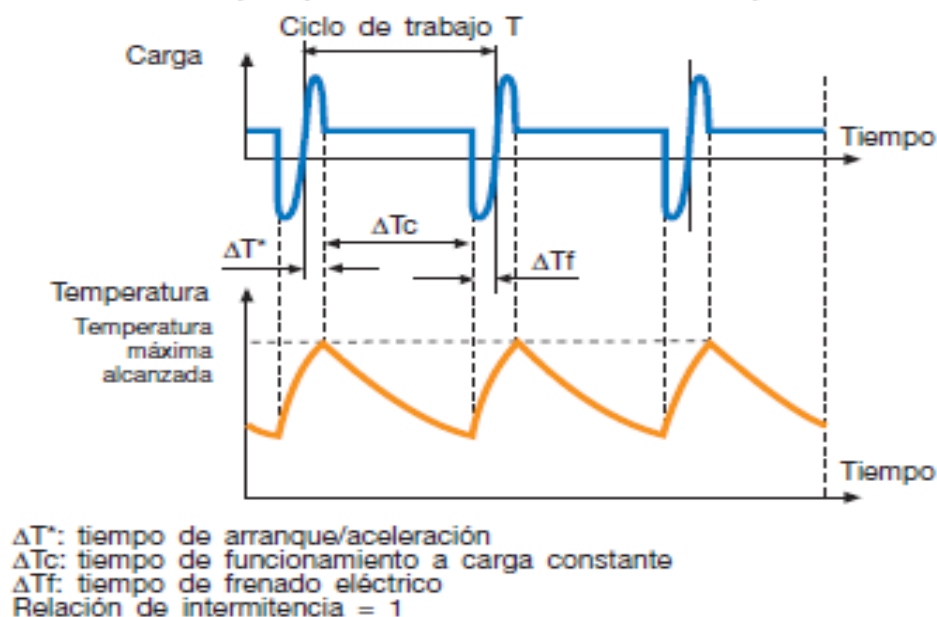
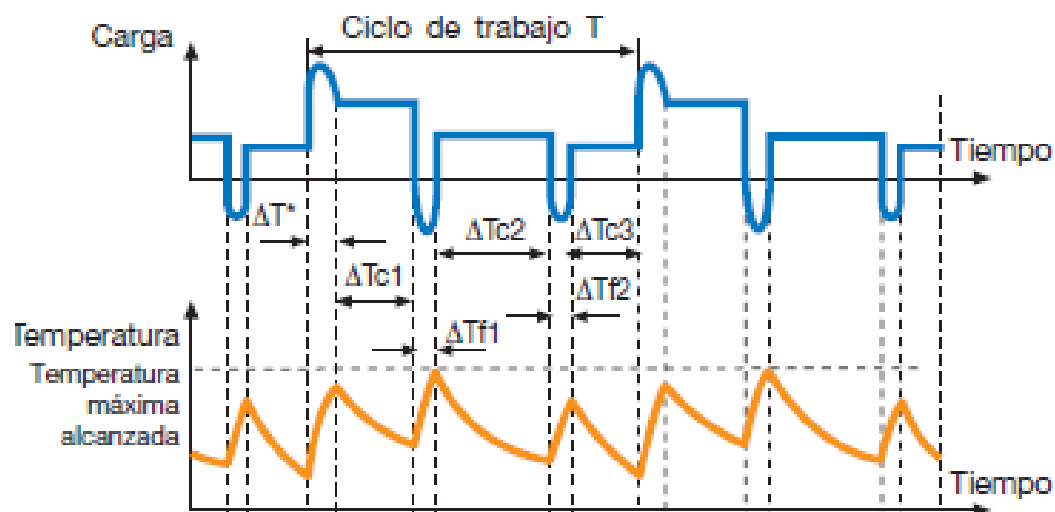


Figura 3. 12: Diagrama del motor con servicio ininterrumpido con frenado eléctrico S7

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas nº6

Servicio ininterrumpido periódico con variaciones relacionadas de carga y velocidad (S8) el motor trabaja con ciclos de servicios idénticos, con uno de arranque, uno de trabajo a carga constante a velocidad preestablecida y seguido de uno o más periodos a cargas constantes a diferentes velocidades de rotación, sin existir un periodo de reposo, siendo estos ciclos cortos, sin alcanzar el equilibrio térmico.

Comparando con el servicio continuo S1, en este tipo de servicio es necesaria una reducción de potencia. [7]



ΔT^* : tiempo de arranque/aceleración
 ΔT_{c1} ; ΔT_{c2} ; ΔT_{c3} : tiempo de funcionamiento a carga constante
 ΔT_{f1} ; ΔT_{f2} : tiempo de frenado eléctrico
 Relación de intermitencia = $(\Delta T^* + \Delta T_{c1})/T$; $(\Delta T_{f1} + \Delta T_{c2})/T$; $(\Delta T_{f2} + \Delta T_{c3})/T$

Figura 3. 13: Diagrama del motor con servicio ininterrumpido periódico con variaciones de carga y velocidad S8

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas n°6

Servicio no periódico (S9) en este servicio, el modo de funcionamiento no es constante, tanto la carga como la velocidad no varían de manera periódica.

Dentro de lo admisible o régimen de funcionamiento máximo, pueden darse con frecuencia picos de carga situado muy por encima de la potencia nominal.

La posibilidad de sobrecarga puede tenerse en cuenta por sobredimensionamiento selectivo. Comparado con el servicio continuo S1 [7]

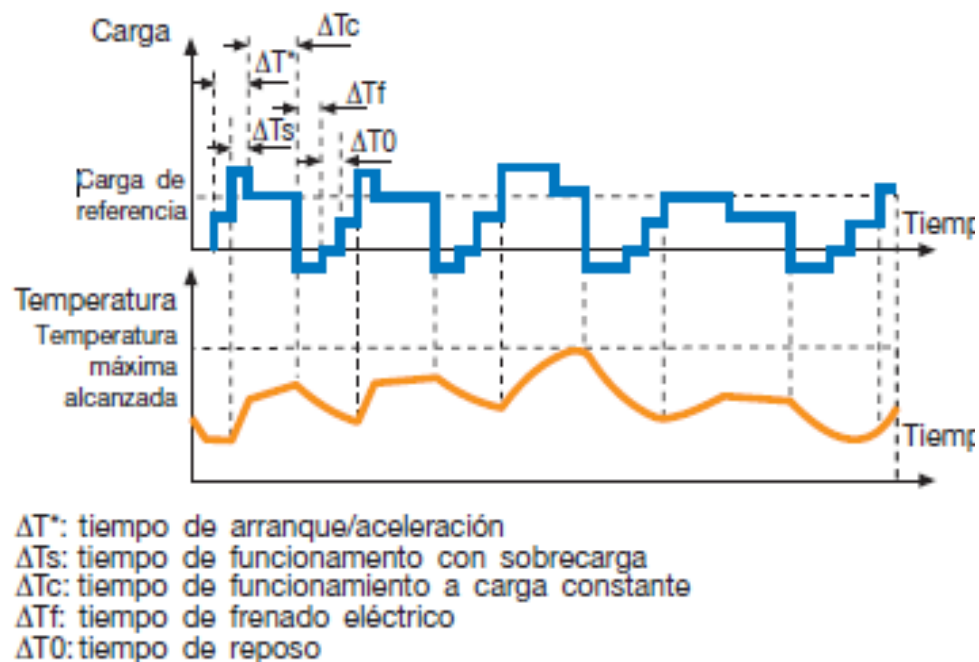


Figura 3. 14: Servicio de variaciones no periódicas S9

Fuente: ABB (2011), Cuaderno de Aplicaciones técnicas n°6

3.2.4. Procesos de arranque

Los procesos de arranque en los motores de corriente alterna con rotor en jaula de ardilla pueden ser mediante los métodos de arranque directo o a tensión reducida.

Arranque directo

Cuando la tensión de trabajo es aplicada directamente en la bornera del motor, este arranca a plena carga con una corriente de entre 5 a 8 veces la nominal del motor, que trae como consecuencia un torque de arranque elevado entre 2 a

2.5 el torque nominal. Las curvas características de este tipo de arranque son:

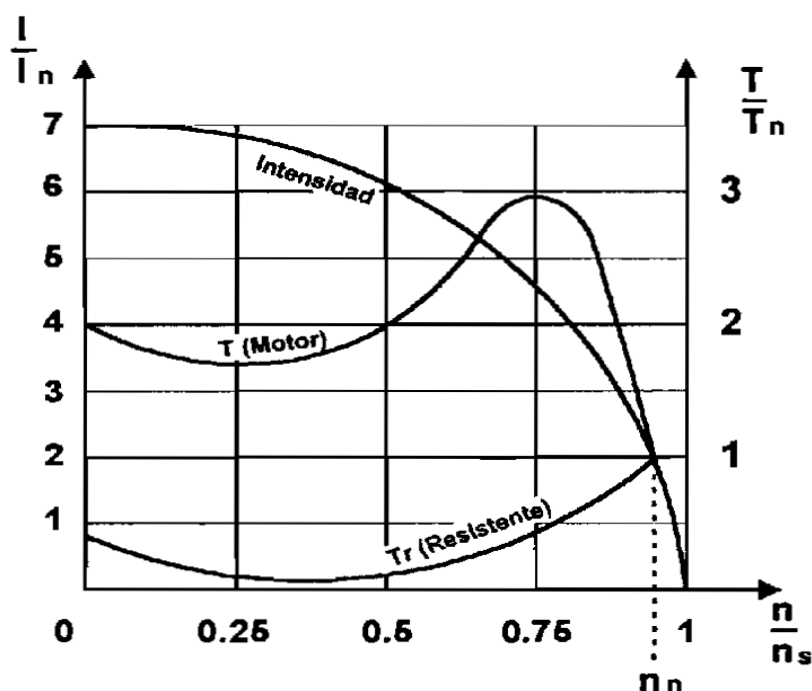


Figura 3. 15: Curvas de corriente y torque para arranque directo

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

Este tipo de arrancador es económico, sencillo con torque elevado de arranque cuya principal desventaja es el alto valor de la corriente en el momento del arranque que provoca caída de tensión y alta temperatura que deteriora el aislamiento del motor.

Se utiliza en motores de potencias pequeñas, aproximadamente hasta 5 HP, que la máquina no requiera aumento progresivo de velocidad y su par de arranque debe ser elevado. 12]

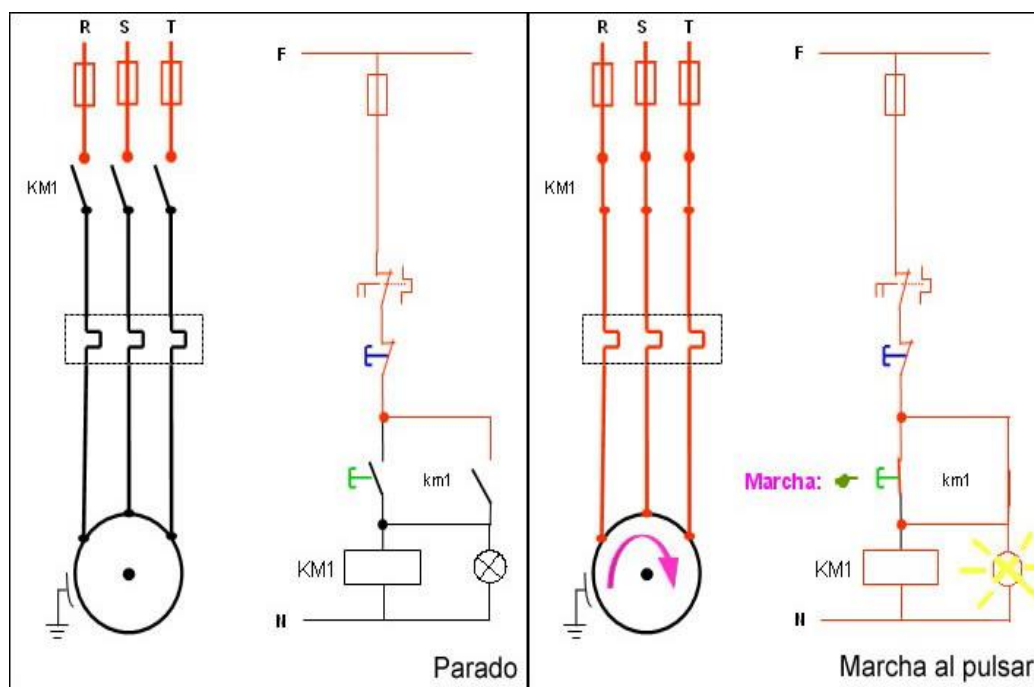


Figura 3. 16: Arranque directo, diagrama de funcionamiento

Fuente: Universidad Tecnológica Nacional (2008), *Apuntes de la cátedra de máquinas e instalaciones eléctricas*.

Los métodos de arranque por tensión reducida más utilizados son: estrella-triángulo, autotransformador y el arrancador electrónico.

Estrella triángulo

Este tipo de arranque, reduce los esfuerzos mecánicos y limita la corriente en el instante del arranque, por el contrario el par en el arranque es reducido, se puede utilizar en motores con doble tensión y con placa de bornes de 6 terminales, el motor se arranca en estrella y trabaja en triángulo, en el arranque la

tensión es de $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$ y la corriente resultante en los devanados del motor y en la línea es $I_L \rightarrow I_M \rightarrow \frac{V_L}{\sqrt{3}} * \frac{1}{Z_w}$ siendo Z_w la impedancia del devanado, en la fase final de marcha el motor, trabaja en triángulo donde la corriente del motor es de $I_M \rightarrow \frac{V_L}{Z_w}$ y la corriente en la línea $I_L \rightarrow \frac{V_L}{Z_w} * \sqrt{3}$, Por tanto la tensión de arranque es 0.57 veces menor y la corriente es 0.33 la corriente que absorbería en arranque directo, el par de arranque es proporcional al cuadrado de la tensión que se aplica, y siendo esta $\frac{1}{\sqrt{3}}$, disminuye el par en $\frac{1}{3}$, las curvas características se describen en el siguiente gráfico:

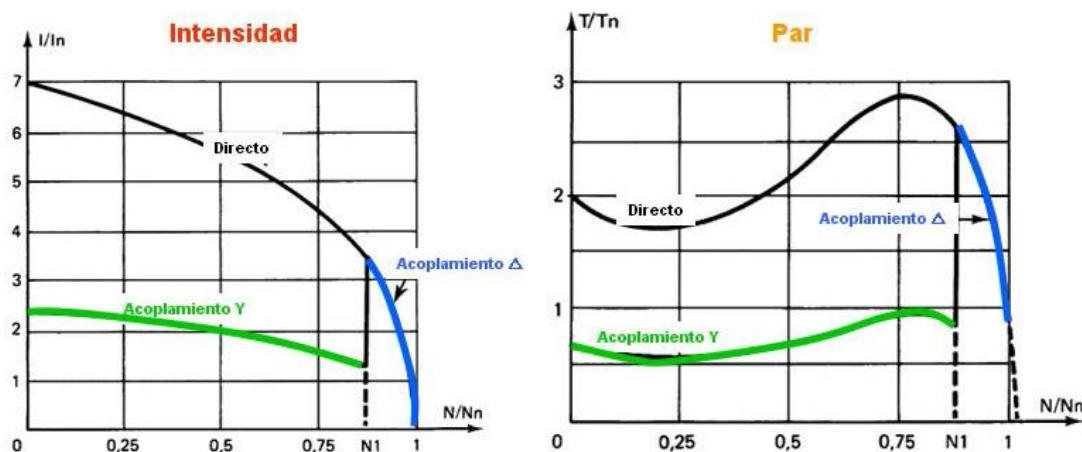


Figura 3. 17: Curvas de corriente y torque para arranque estrella delta

Fuente: Universidad Tecnológica Nacional (2008), *Apuntes de la cátedra de máquinas e instalaciones eléctricas*. Recuperado de: www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/.../APUNTES_MQUINAS_ELECTRICAS

Se usa este tipo de arranque en máquinas que arrancan en vacío o tiene un torque de carga bajo durante este proceso, como ventiladores y bombas centrífugas de baja potencia, puesto que disminuye el par de arranque al disminuir la tensión, es necesario anotar que al producirse la conmutación de estrella a triángulo, se producen corrientes elevadas con características negativas parecidas al del arranque directo, su construcción es sencilla y confiable y su costo es económico.

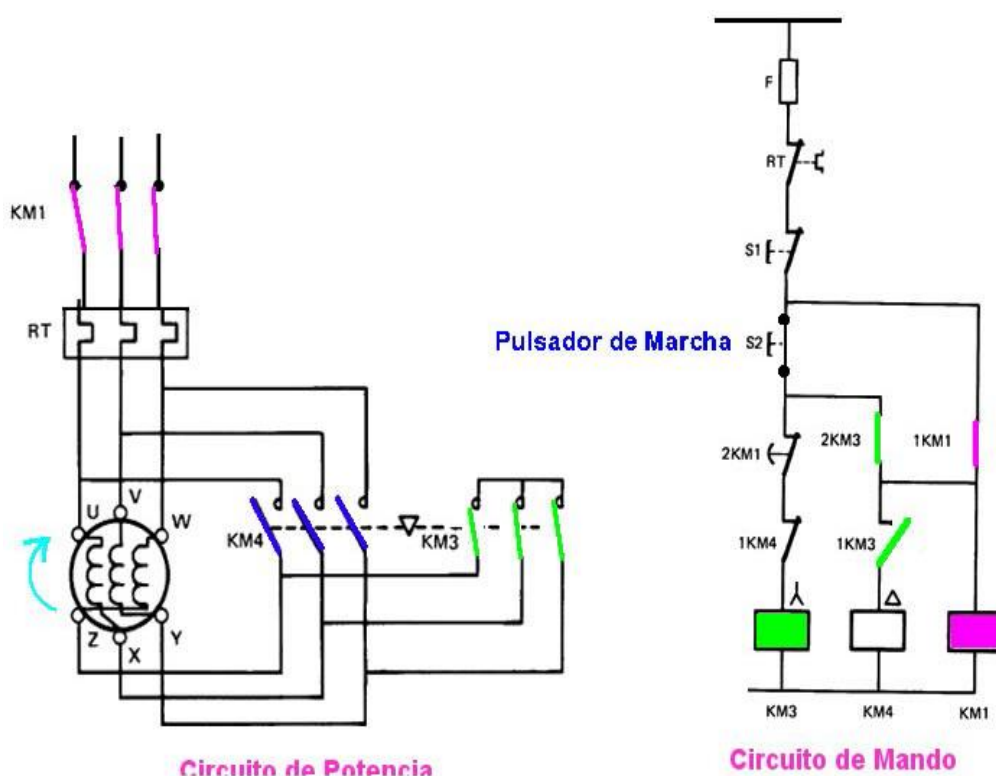


Figura 3. 18: Arranque estrella triángulo, diagrama de funcionamiento

Fuente: Universidad Tecnológica Nacional (2008), *Apuntes de la cátedra de máquinas e instalaciones eléctricas*. Recuperado de: www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/.../APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS

Autotransformador

En este tipo de arranque, se alimenta al motor a tensión reducida utilizando para esto un autotransformador, de manera que se apliquen tensiones crecientes sucesivas al motor hasta alcanzar el voltaje nominal, reduciendo de esta forma la corriente y el par en el arranque, al contrario del arranque estrella triángulo, se requiere de tres conductores de alimentación y de tres bornes de conexión en el motor, el autotransformador reduce la tensión de alimentación en k veces, por lo que la corriente en el arranque y el torque inicial se reduce a k^2 respecto al arranque a plena tensión, sus curvas características son:

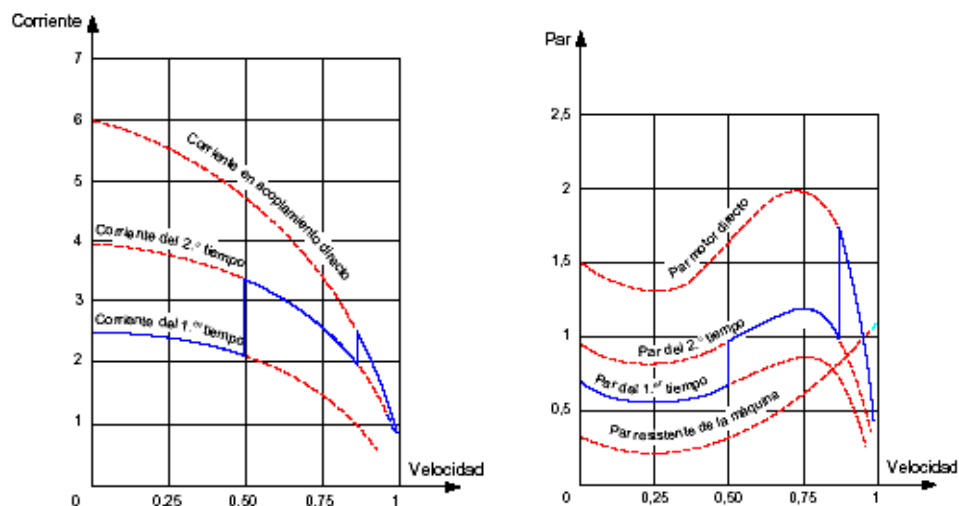


Figura 3. 19: Curvas de corriente y torque para arranque por autotransformador

Fuente: Andrés de Vandelvira (2011), Motores de corriente alterna

En este tipo de arranque es posible establecer el torque en el arranque y el número de cambios de la tensión por medio del autotransformador, normalmente estos se realizan en 2 tiempos, la corriente y el torque en el arranque disminuyen en la misma proporción, es un arrancador costoso por el autotransformador, se utilizan para motores de potencias medias y altas, se aplican a compresores sean de pistón o rotativos, bombas y ventiladores.

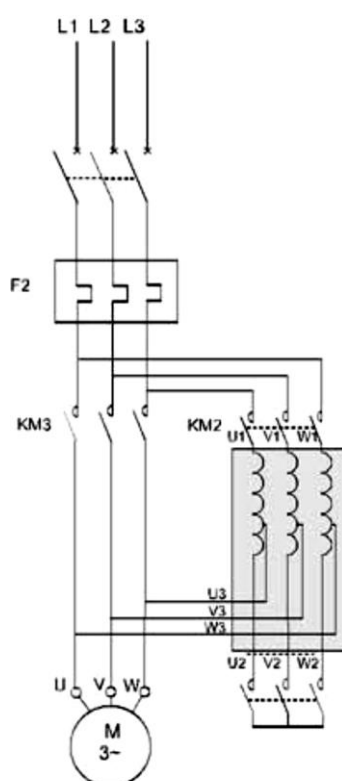


Figura 3. 20: Diagrama de arranque con auto transformación

Fuente: Schneider Electric (2009), Guía de soluciones de automatización,
Arranque y protección de motores de CA

Arrancador electrónico

La aplicación de la tensión se realiza progresivamente, lo que permite un arranque suave y reduce el pico de corriente; esto se realiza mediante tiristores puestos en oposición de dos en dos por fase, este sistema sirve para para arrancar y parar el motor de manera suave y controlada, la corriente se regula normalmente entre 2 a 5 corrientes nominales, cuyas curvas características son:

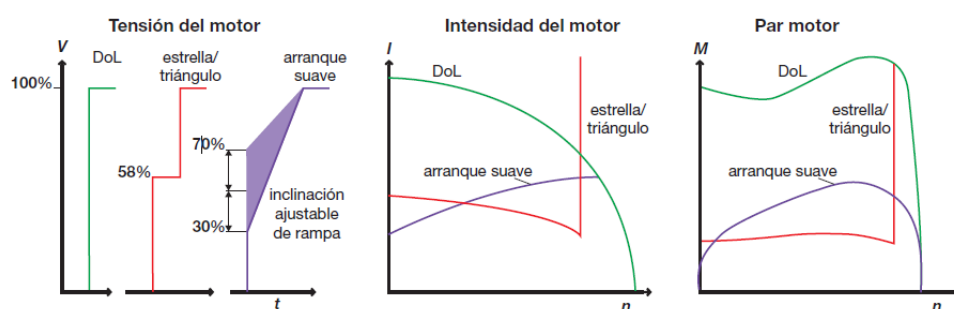


Figura 3. 21: Curvas de Tensión, corriente y torque para arranques electrónicos

Fuente: Sören Kling. Arranque suave: Nuevos arrancadores suaves para motores eléctricos, Revista ABB, ISSN 1013-3135, N°1, 2002, Págs. 56-63

Este tipo de arranque se puede usar en la mayoría de motores asíncrono, algunas veces no es posible aplicarlo en motores que requieren de un par elevado desde el arranque, es confiable, de fácil calibración y mantenimiento, contiene protecciones contra sobreintensidad, sobrecalentamientos,

fallos de fase, es ideal para bombas, ventiladores, transportadores y ascensores.

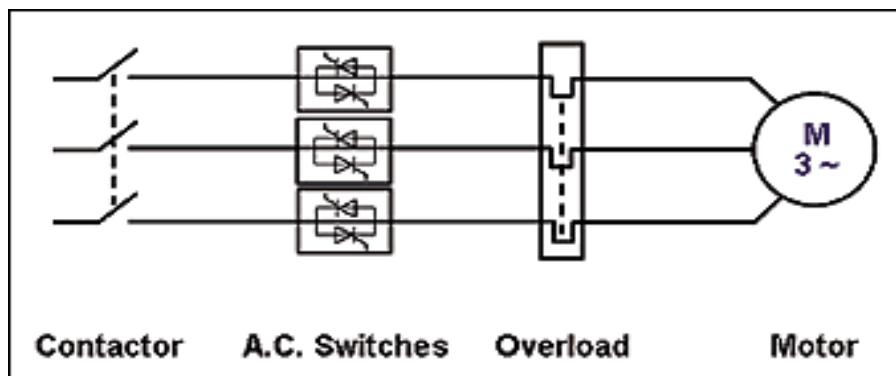


Figura 3. 22: Diagrama de arranque electrónico

Fuente: Ascuy Cristian. Arranque de motores eléctricos de CA, Revista Electro industria, Agosto 2005

3.2.5. Regulación de la velocidad

De acuerdo a la ecuación (3.1) de la velocidad de sincronismo y siendo el deslizamiento la diferencia entre la velocidad sincrónica y la del rotor se obtiene:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (3.16)$$

Por lo que:

$$n = \frac{120f}{p} * (1 - s) \quad (3.17)$$

$n \rightarrow$ velocidad rotor RPM

$s \rightarrow$ deslizamiento

Por lo que la modificación de la velocidad se puede realizar cambiando el número de polos, el deslizamiento o la frecuencia del estator.

Cambio del número de polos

Esta regulación es variando los polos, en los motores con rotores jaula de ardilla, donde el estator puede tener dos devanados y cada uno con polos independientes, o un devanado especial que permita conectarse en diferentes formas y así modificar el número de polos.

Variando el deslizamiento

Se lo puede realizar variando la tensión de alimentación o en los motores de rotor bobinado, instalando una resistencia en serie con las fases del rotor, este sistema es ineficiente, pues al aumentar el deslizamiento aumentan las pérdidas en el motor, aun si el deslizamiento fuera mayor, la eficiencia del motor sería muy pobre.

Variando la frecuencia

Este método permite, transformar de manera sencilla un motor de velocidad fija a uno de velocidad variable, usando un

convertidor de frecuencia, el que suministra corriente alterna a tensión y frecuencia variable, manteniendo el par constante, para lograr esto se requiere mantener el flujo constante, por lo que frecuencia y tensión varían simultáneamente y en proporciones iguales.

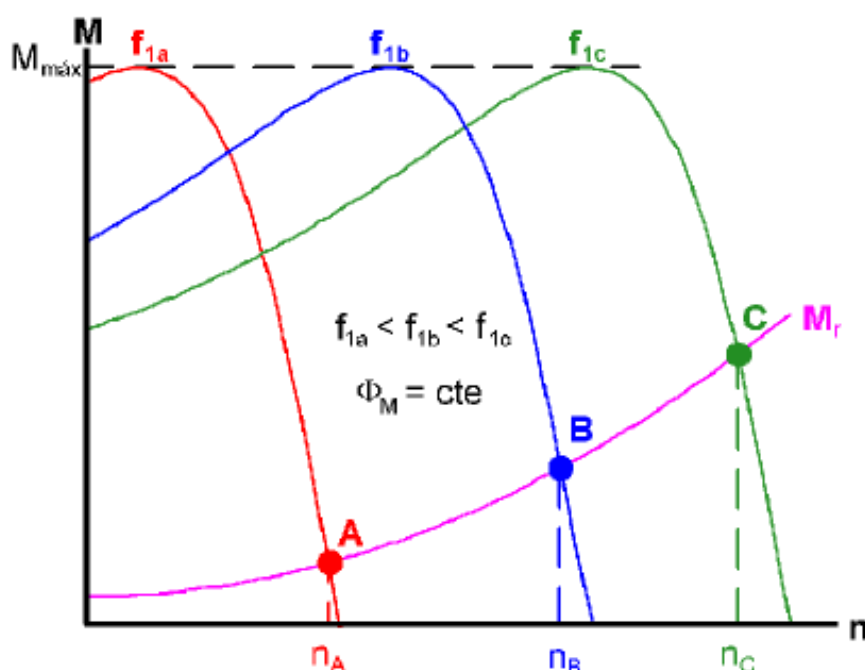


Figura 3. 23: Regulación de la velocidad por variación de frecuencia, manteniendo el flujo constante

Fuente: Rodríguez Miguel (2008). Máquinas asíncronas de inducción
Recuperado: <http://www.personales.unicon.es/rodriguez/primer/publicaciones>.

3.2.6. Clasificación NEMA

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA), en español Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, esta asociación, ha creado normas técnicas, que benefician a los

fabricantes como a los usuarios, mejorando la seguridad, la interpretación clara de los productos, lo que facilita al comprador, en la selección de acuerdo a su requerimiento. Según esta norma los motores se clasifican en:

Motores de diseño NEMA A

Tienen par de arranque normal, aproximadamente del 150% del de régimen, deslizamiento nominal bajo y corriente de arranque alta, de 5 a 7 veces la nominal, para uso a velocidad constante, de un solo devanado jaula de ardilla de resistencia baja que produce un arranque rápido, por lo que motores de potencias medianas y grandes, requieren de arranques a tensión reducida, generalmente se utilizan en bombas centrífugas, ventiladores y equipos que requieren un par de arranque bajo.

Motores de diseño NEMA B

Este tipo de motores, tienen el Torque y deslizamiento similares a la clase A, la reactancia de arranque, por el diseño de la jaula de ardilla, tiende a aumentar, reduciendo un poco el par y la corriente al arranque de 4 a 5 veces la nominal, se sigue usando arranques a tensión reducida para motores medianos y grandes y es el de mayor uso.

Motores de diseño NEMA C

Corresponde a motores cuya corriente y pares de arranque son normales. El diseño del rotor es de doble jaula de ardilla, por lo que desarrollan un Torque alto al arranque, aproximadamente del 250% del nominal, tienen un deslizamiento nominal menor que el 5%, su corriente de arranque esta entre 4.5 a 5 de la nominal. Cuando son utilizados para cargas de arranque pesado, se limita la disipación térmica, en arranques continuos, el rotor tiende a recalentar, se utiliza en grandes cargas repentinas que tengan baja inercia.

Motores de diseño NEMA D

Este motor tiene alto el torque de arranque y el deslizamiento nominal y la corriente al arranque baja. Generalmente son de dos tipos de diseño, uno con deslizamiento nominal de 5 a 8% y otro con deslizamiento entre el 8 al 13%, inclusive este deslizamiento puede ser mayor del 13%, a cuyos motores se denominan de alto deslizamiento. El torque de arranque es de 2 a 3 veces nominal, aunque se pueden diseñar para ser más alto. Son generalmente usados para cargas cíclicas, con un sin número de paradas y arranques de corta duración.

Motores de diseño NEMA F

Son motores de doble jaula, que tienen el torque, la corriente y el deslizamiento nominal al arranque bajos, requieren la menor corriente de arranque de todos los tipos de diseño, su par de arranque es cerca de 1.25 el nominal, la corriente al arranque es de 2 a 4 veces la nominal, permitiendo que motores de mediana potencia arranquen directamente, tienen menor regulación de velocidad que los de diseño clase B, en general no son eficientes y tienen baja capacidad para sobrecargas.

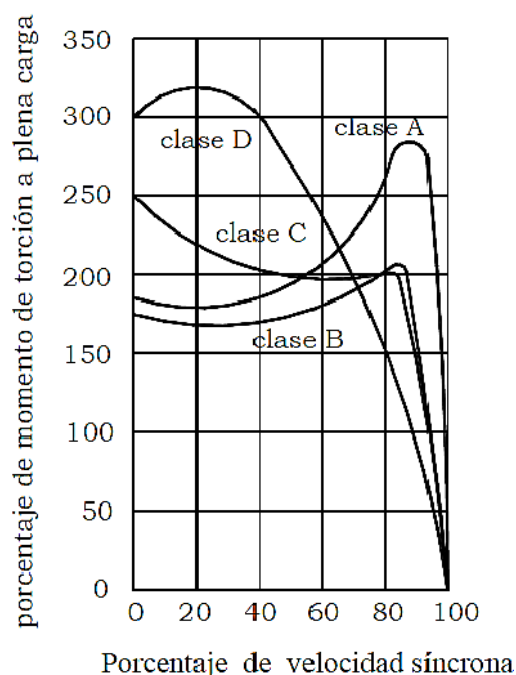


Figura 3. 24: Relación momento torsor / velocidad sincrónica

Fuente: Stephen Chapman (Ed)(2000). *Máquinas eléctricas* (p.429), Bogotá

Colombia: Editorial Mcgraw-hill

3.2.7. Clases de aislamiento

Las clases de aislamiento según las normas NEMA MG-1 y las IEC-85, son idénticas, y esta debe constar en la placa de la máquina eléctrica; esta clasificación se realizó, en base a la resistencia a la temperatura, ya que para todos los materiales aislantes, el calor es el principal agente de pérdida de aislamiento, porque los deteriora en el tiempo hasta llegar a la falla o a la pérdida de sus propiedades dieléctricas, siendo los principales materiales utilizados los siguientes:[1]

Materiales aislantes inorgánicos, no tiene carbono y son de origen natural tales como, la mica y el asbesto, y derivados como el vidrio y la cerámica.

Materiales aislantes orgánicos, la moderna tecnología presenta como creciente necesidad la obtención de materiales aislantes que impidan la pérdida de calor en lugares cerrados que protejan del ruido exterior y que preserven las instalaciones eléctricas de eventuales descargas y son obtenidos mayoritariamente del petróleo, por lo que uno de sus componentes es el carbono, los principales son las resinas, barnices, aceites naturales y sintéticos, se describe en las siguientes tablas.

Tabla 3. 2: Clases de aislamientos

Clases de aislamiento	105	130	155	180
N	A	B	F	H
Temperatura ambiente (°C)	40	40	40	40
Aumento temperatura (medido por resistencia) (°C)	60	80	105	125
Margen para el punto más caliente (°C)	5	10	10	15
Temperatura del punto más caliente (°C)	105	130	155	180

Fuente: Granja Ruales Iván. (1995), (Proyecto fin de carrera), Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Quito, EC.

Tabla 3. 3: Materiales aislantes y barniz usados en las diferentes clases

Clases	Material Aislante	barniz	Aplicaciones
A (105 °C)	Algodón, seda, rayón, poliamida, acetato de celulosa.	Barnices naturales y sintéticos.	Recubrimiento conductores y ranuras, tubos flexibles
	Esmaltes de resina		Recubrimientos
B (130 °C)	Tejidos de fibra de vidrio y amianto. Micas, sola o con soporte de papel	Barnices y resinas a base de epóxicos, melanina, poliéster reticulado	Aislamiento de ranuras y bobinas. Separadores de delgas de conductores
	Esmaltes a base de poliuretano, polivinilos. Caucho etileno-propínelo. Cintas		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados
F (155 °C)	Tejidos fibra de vidrio barnizado. Papeles de mica y amianto, compuestos a base de poliamida	Barnices y resinas a base de: Poliéster, poliuretano, epóxicas.	Recubrimiento conductores y ranuras, tubos flexibles. Sujeción de armaduras
	Esmaltes y barnices a base de poliéster. modificado, polietileno, poliuretano, resinas		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados
H (180 °C)	Tejidos de fibra de vidrio, amianto, mica con silicona	Resinas de silicona	Recubrimiento conductores y ranuras, tubos flexibles.
	Fibra de vidrio, caucho silicona. Esmalte silicona, polyester, Poliuretano,		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados

Fuente: Motortico. (2013), Clase de aislamiento-Materiales aislantes. *Boletín mensual (agosto 2013)*, 1-2. Recuperado de: <http://www.motortico.com.COS>

3.2.8. Temperatura ambiente

La temperatura ambiente de diseño, se considerara de 313.15 K (40°C), cuando no se indique otra cosa, esta temperatura es la del medio que enfría al motor.

Si el motor debe trabajar a una temperatura superior, la elevacion de temperatura debe reducirse de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3. 4: Reducción por temperatura ambiente de la elevación de temperatura (ET) de un motor

Elevación de temperatura permisible	
Para motores con factor de servicio de 1	
1. Con aislamiento clase 130	$0.9(130-TA)$
2. Con aislamiento clase 155	$0.9(155-TA)$
Para motores con factor de servicio de 1.15	
1. Con aislamiento clase 130	$0.9(140-TA)$
2. Con aislamiento clase 155	$0.9(165-TA)$

Fuente: Granja Ruales Iván. (1995), (Proyecto fin de carrera), Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Quito, EC.

3.3.Determinación de las diferentes situaciones de carga de la Unidad

Un buque de acuerdo a su diseño, tiene diferentes situaciones de carga, que son estimaciones de la potencia que necesita suministrar la planta generadora de la unidad, estas situaciones se denominan balance eléctrico, el B.A.E. “Chimborazo” tiene previsto cinco situaciones de carga que son:

- En puerto
- En navegación normal
- Salvataje
- Remolcando
- Batalla

Por tanto constituyen estos los casos mínimos a considerar y analizar en el presente estudio, en cada uno de ellos se analiza la potencia necesaria que se debe contemplar en el cambio de los motores al pasarlo a corriente alterna.

3.4.Determinación del número de grupos generadores

Después de realizado el balance eléctrico, en todas las situaciones de carga, se determinan el número de generadores a instalar en el

buque, eligiendo la situación que requiera mayor potencia, estimando así la potencia mínima necesaria del generador.

De acuerdo con la sociedad clasificadora Lloyd's y la Germanischer Lloyd, lo mínimo que debe existir son dos generadores principales, fin garantizar el servicio en caso que falle uno.[10]

Generalmente se calcula el número de generadores de manera que con $n-1$ generadores, se cubra la potencia total necesaria, siendo la n generadores idénticos, disponiéndose de un generador de reserva, que permite el reposo, mantenimiento y poder realizar cambios periódicos de los generadores de la planta.

A la potencia mínima determinada, se le añade un margen que sea razonable, para permitir a futuro instalar nuevos equipos o motores, estimando que la potencia mínima necesaria es el 85%, se tendría una reserva del 15% del valor de potencia en *KW* del generador a instalar.

Bureau Veritas, en su normativa, en el capítulo 18 en el numeral 04.1 dice:

...Todo buque en el cual la energía eléctrica constituya el único medio de asegurar el funcionamiento de los servicios enunciados en 18-03.1 deberá estar equipado por lo menos, de

dos grupos generadores de características convenientes, de tal forma que el funcionamiento de dichos servicios quede asegurado aun en la eventualidad de que uno de cualquiera de los grupos este parado.

El Convenio Internacional para la seguridad de la Vida Humana en el Mar, (SOLAS), dice:

En todo buque en el que la electricidad constituya el único medio de mantener los servicios esenciales indispensables a su propulsión y seguridad deberá estar provisto como mínimo, de dos grupos electrógenos principales, de potencia tal, que pueda garantizar el funcionamiento de dichos servicios en caso de parada de uno de los grupos.

3.5. Determinación del número de transformadores

Para reducir la tensión de 440 V a 220 V y 110 V, que se requieren a bordo, se instalan transformadores, y deben existir los necesarios para asegurar el servicio de alimentación a las tensiones correspondientes. En general en los buques se utilizan transformadores secos al aire, para reducir la contaminación e incendios a más que casi no requieren mantenimiento.

La Lloyd's, en su reglamento en la parte 6, capítulo 2, sección 9, dispone instalar al menos dos transformadores que suministren a los mismos servicios, de forma que a fallo de uno de estos, se conecten al segundo, y de esta manera se continúe con el servicio. Para determinar la potencia que se requiere, se realizará el balance eléctrico a cada nivel de voltaje.

3.6. Metodología del cálculo de corriente 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 importancia radica en calcular el valor máximo de esta corriente y cuál es su comportamiento en el tiempo que dura, es por la

determinación de las protecciones y conocer el esfuerzo al que son sometidos los diferentes equipos durante la falla.

La IEC, en el año 1998 emitió esta norma, donde presentan un modelo a considerar para el cálculo de las corrientes de corto circuito a bordo de los buques. En la tabla que a continuación se presenta se tendrá en cuenta los aspectos más importantes que toma este enfoque:

Tabla 3. 5: Características de los sistemas de potencia en buques consideradas por la IEC 61363-1.

Característica	Implicación	Consecuencia sobre la corriente de corto circuito
Cercanía de los componentes del sistema eléctrico	Cables más cortos, por tanto menor impedancia	Corriente de corto circuito más elevada
Cargas dinámicas grandes en relación con la capacidad de generación	Contribuciones significativas de los motores, que no pueden ser ignorados	Corriente de corto circuito más elevada, el decaimiento en la corriente es notorio
Generadores instalados con capacidades iguales	No aplica el concepto de barraje infinito, que se tiene en cuenta en los sistemas de potencia en tierra	Es necesario considerar el decaimiento de la corriente de corto circuito
Los sistemas en los buques son en su mayoría radiales	No existen múltiples caminos en paralelo por los que la corriente pueda retornar a la fuente.	Con los métodos tradicionales se obtienen valores demasiados altos.

Fuente: Gabriela G. Salas Berrocal- CC Víctor Jiménez Gonzales (2011), "Desarrollo e implementación de metodología para el cálculo de cortocircuito en buques, basado en la norma IEC 61363-1"

Este método se utiliza para sistemas trifásicos que tengan frecuencias de 50 o 60 hz, y se calculan los siguientes valores:[8]

I'' → valor eficaz inicial de la intensidad subtransitoria, con reactancia subtransitoria X_d'' y durante la constante de tiempo T_d''

$$I'' = \frac{V_n}{X_d''} = \frac{I_n}{x_d''} \quad (3.18)$$

I' → valor eficaz de la intensidad transitoria, con reactancia transitoria X_d' y durante la constante T_d'

$$I' = \frac{V_n}{X_d'} = \frac{I_n}{X_d'} \quad (3.19)$$

I_p → Valor de pico máximo.

$$I_p = \sqrt{2}[(I'' - I') \cdot e^{-t/T_d''} + I'] + \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-t/T_d} \quad (3.20)$$

I_{ac} → Valor del componente simétrico de la corriente de cortocircuito. Siendo esta variable en el tiempo.

$$I_{ac} = (I'' - I') \cdot e^{-t/T_d''} + (I' - I) \cdot e^{-t/T_d'} + I \quad (3.21)$$

El cálculo de esta corriente de corto circuito, se realiza cuando esta pueda ser la más desfavorable, en el caso del B.A.E “Chimborazo” la mayor demanda, se da trabajando con un solo generador. En este método, no se consideran las resistencias de contacto del cortocircuito, pequeñas resistencias de las barras y seccionadores, se

asume un cortocircuito como franco, es decir no se considera la resistencia de arco, considera para el cálculo, tres periodos de tiempo, el subtransitorio Td'' , el transitorio Td' y el permanente del cortocircuito.

A parte, aparece una componente de corriente continua I_{dc} que contribuye para al cálculo de las máximas corrientes de pico. Los mayores valores de pico, aparecen en el subtransitorio, por lo que la norma dice que el cálculo se lo realice en el intervalo de tiempo $T = t/2$.

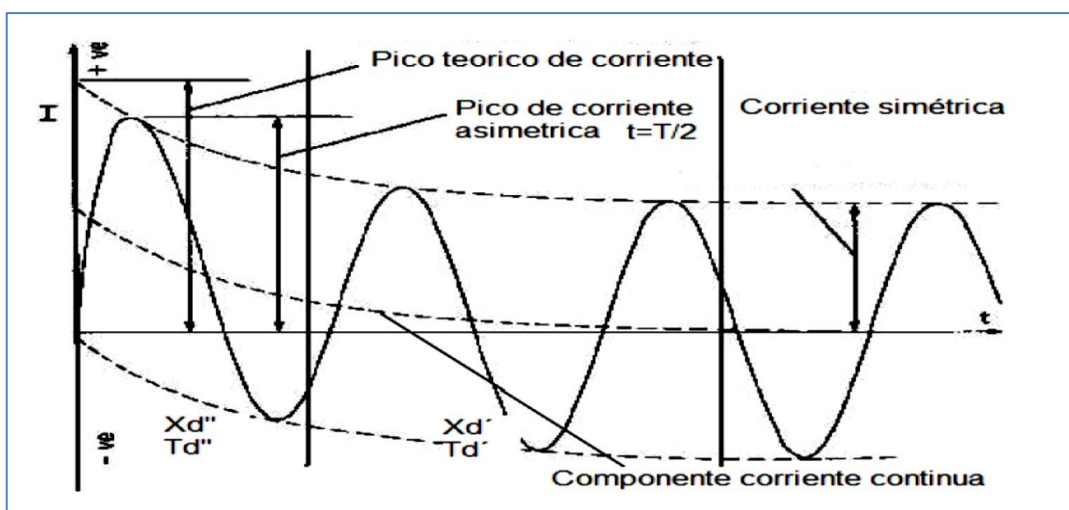


Figura 3. 25: Modelo IEC 61363-1 para la corriente de cortocircuito

Fuente: Moisés Velásquez (2011). Diseño del cuadro principal de un pesquero tangonero

Las corrientes de corto circuito y las máximas de pico, para los diferentes consumidores, están disponibles en las secciones 6.3.3 y 6.3.4 para motores en la norma IEC 61363-1.

Con estos datos de las corrientes calcularemos los aparatos de protección para el cuadro eléctrico del buque, así como otros parámetros necesarios.

3.7. Metodología del cálculo de barras

Debido al ambiente a bordo de los buques, el material usado en las barras es de un cobre con una buena conductividad y resistente a la corrosión.

Para el cálculo de sus dimensiones, se debe conocer la intensidad de corriente que circulará, los esfuerzos mecánicos y electrodinámicos, debido a las corrientes de corto circuitos, la temperatura ambiente de trabajo y el grado de protección del tablero.

El cálculo de la corriente en las barras, se realiza con los datos de las potencias, el factor de potencia y voltajes nominales de cada uno de los consumidores.

$$I_n = \frac{P}{\cos \theta \cdot V \sqrt{3}} \quad (3.22)$$

$P \rightarrow$ Potencia nominal

$V \rightarrow$ voltaje nominal

$\cos \theta \rightarrow$ factor de potencia

Con este valor de corriente en las barras, se estima el tamaño de la con un método aproximado, asumiendo una densidad de corriente de

2 amp/mm², el cual debe ser muy próximo a la tabla de la sociedad clasificadora.

$$mm^2 = \frac{A}{2} \quad (3.23)$$

$A \rightarrow$ Corriente en la barra en amperios

De esta manera se obtiene, la sección mínima, la misma que se busca en la tabla de cargas permisibles en barras de cobre de sección rectangular, para temperatura ambiente de 45 °C y para un calentamiento de 45K, en barras desnudas, buscando la sección inmediatamente superior a la calculada, cumpliendo esta manera los requisitos.

Esta tabla es proporcionada por las sociedades clasificadoras y presenta valores de máxima carga permisible para tableros eléctricos no cerrados por su parte posterior, por lo que en caso de que los cuadros sean completamente cerrados, se debe asegurar que tengan una ventilación adecuada o para los valores de carga calculados, se deben prever barras con un valor superior a este.

Siempre se verifica que las barras puedan conducir la corriente calculada, sin superar la densidad de corriente máxima para el material de las mismas, en esta caso el cobre.

Tabla 3. 6: 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 Numero de barras				Desnudas 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: Bureau Veritas. (2002), Reglamento de la sociedad de clasificación.

Para el cálculo final del tamaño de la barra, se debe considerar las pérdidas por calor que dependen, a más del tamaño, de la forma y del aumento de temperatura a que estará sometida. Este cálculo se realiza con las siguientes formulas:

$$W_v = \frac{7,66\phi^{1,25}}{L^{0,25}} \left(W/m^2 \right) \text{ en vertical} \quad (3.24)$$

$$W_h = \frac{5,92\phi^{1,25}}{L^{0,25}} \left(W/m^2 \right) \text{ en horizontal} \quad (3.25)$$

El cálculo del calor generado en vatios en corriente continua se realiza aplicando la relación $I^2 * R$, en corriente alterna la resistencia aumenta debido al efecto Skin, que es la tendencia de la corriente alterna a fluir por la superficie exterior del conductor, calculándose con:

$$\frac{W}{mm} = I^2 * R_o * S \quad (3.26)$$

$I \rightarrow$ intensidad en Amperios del conductor

$R_o \rightarrow$ resistencia en corriente continua por unidad de longitud

$S \rightarrow$ efecto skin

El efecto skin se lo puede apreciar considerando los valores de acuerdo a la siguiente gráfica.

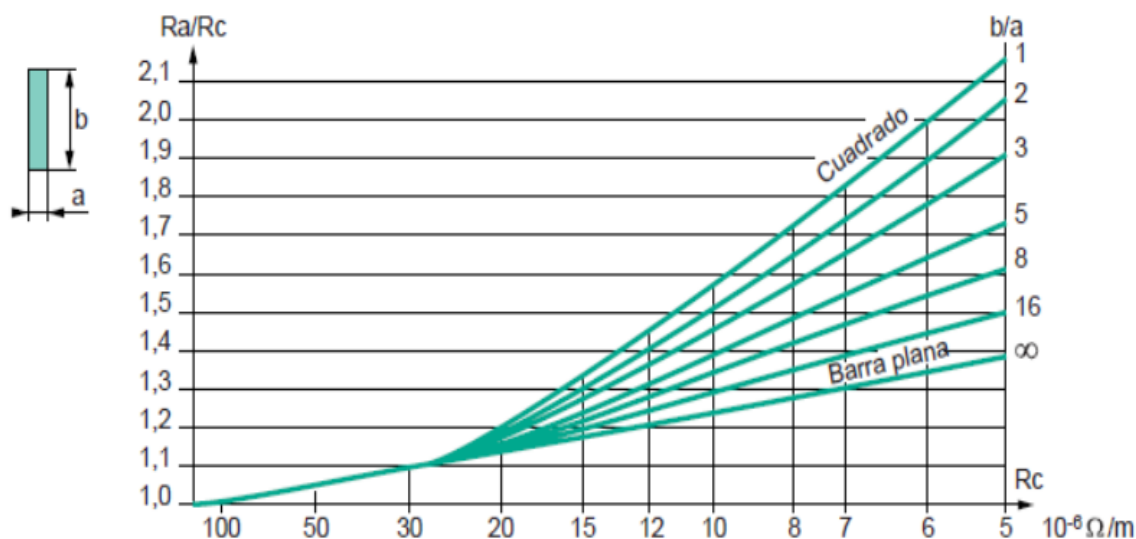


Figura 3. 26: Coeficiente de pérdidas adicionales por efecto peculiar

Fuente: Schneider Electric (2003), Cuaderno Técnico 083

El valor de R_o , se obtiene conociendo la sección del conductor en la siguiente tabla:

Tabla 3. 7: Valores generales para perfiles rectangulares

Sección <i>mm</i>	Área <i>mm²</i>	Peso <i>Kg/m</i>	Resis. aprox. <i>20°C μΩ/m</i>	Inten. (ca)	Momento de inercia, I		Módulo z	
				Aire libre <i>Amp</i>	Canto <i>mm⁴</i>	Planas <i>mm⁴</i>	Canto <i>mm³</i>	Planas <i>mm³</i>
40 x 5	200	1,785	86,2	610	26670	416,7	1334	166,7
50 x 5	250	2,232	68,9	740	52080	520,8	2083	208,3
60 x 5	300	2,678	57,4	865	9000	625,0	3000	250,0
80 x 5	400	3,571	43,1	1110	213x10 ³	833,3	5333	333,3
30 x 8	240	2,142	71,8	630	18000	1280	1200	320,0
40 x 8	320	2,856	53,8	795	42670	1707	2134	426,8
50 x 8	400	3,571	43,1	950	83300	2133	3333	533,3
60 x 8	480	4,285	35,9	1110	144x10 ³	2560	4800	640,0
30 x 10	300	2,678	57,4	700	22500	2500	1500	500,0
40 x 10	400	3,571	43,1	880	53330	3333	2667	666,6
50 x 10	500	4,464	34,4	1060	104x10 ³	4167	4168	833,4
60 x 10	600	5,356	28,7	1200	180x10 ³	5000	6000	1000
80 x 10	800	7,142	21,5	1525	427x10 ³	6667	10670	1333,0

Fuente: Bureau Veritas. (2002), Reglamento de la sociedad de clasificación

De esta tabla se obtiene el valor de R_o a 20 °C, por lo que se aplica el incremento de resistencia por temperatura con la siguiente formula.

$$R_{40} = R_{20} * [1 + \alpha_{20} * (T - T_o)] \quad (3.27)$$

Las barras deben ser capaces de soportar el esfuerzo debido a un cortocircuito entre fases, la fuerza máxima que aparece se obtiene de la siguiente formula.

$$F_{max} = 2 * K * \frac{L}{S} * I_{cc}^2 * 10^{-8} (kg) \quad (3.28)$$

Donde

$F \rightarrow$ Fuerza de repulsión

$L \rightarrow$ Longitud entre los soportes de las barras en mm

$I_{cc} \rightarrow$ Corriente de cortocircuito, en A

$S \rightarrow$ Distancia entre las barras de fases en mm

$K \rightarrow$ factor que depende directamente de la sección del conductor, en barras rectangulares se aproxima a la unidad.

Teniendo la Fuerza, se procede a calcular la carga que podría soportar.

$$q = \frac{F}{L} \left(\frac{Kg}{mm} \right) \quad (3.29)$$

Con la carga se calcula el momento flector, considerando a la barra como una viga apoyada en los extremos:

$$M_{max} = \frac{q * L^2}{12} \quad (3.30)$$

El módulo resistente para una barra rectangular, está definida por la siguiente ecuación:

$$W = \frac{b * h^2}{6} (mm^3) \quad (3.31)$$

Con el momento y el módulo resistente, se calcula la tensión máxima:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \left(\frac{Kg}{mm^2} \right) \quad (3.32)$$

Este valor de σ_{max} se compara con el limite elástico del cobre (12,9 Kg/mm²) debiendo ser de un menor valor, fin cumpla con la normativa.

3.8. Conductores

Los conductores son los que transportan la energía desde los generadores hasta los tableros principales y desde estos hacia los distintos consumidores de abordo, en los reglamentos de las sociedades clasificadoras este tema es muy estudiado, como en Bureau Veritas en su norma 18-04, y la Lloyds en la sección 8.[6]

3.8.1. Constitución y selección

Se denomina cable, al conjunto constituido por el conductor, aislamiento eléctrico y la protección mecánica, el conductor, normalmente es de cobre, por su conductividad y ductilidad y costo es razonable, los reglamentos y las normas, especifican el uso del cobre puro recocido, con conductividad mínimo del 98% de la del cobre tipo recocido internacional, definido por la Comisión Electrotécnica Internacional (C.E.I), con un valor máximo de $0,01759 \Omega.mm^2/m$ a $20^\circ C$, normalmente es estañado cuando se utiliza material tipo goma para su aislamiento.

3.8.2. Aislamiento eléctrico

El aislante en los conductores, dependen de las temperaturas máximas a soportar, de la tensión de servicio y dentro de la

misma clase de aislamiento, depende del espesor, separación entre conductores, etc.

Tabla 3. 8: Nomenclatura y Tipos de aislantes

Tipo de componente de aislamiento	Designación Abreviada	Máxima temp. del conductor en operación manual
TERMOPLÁSTICOS		
Basados en cloruros polivinílicos		
PVC 75	T 75	75
PVC 85	T 85	85
PVC 90	T 90	90
Elastómeros de termoendurecimiento		
Basados en caucho sintético	CS 80	80
Basados en caucho de etilo propileno	EPR 90	90
Basados en entrecruzamiento químico de polietileno	PR 95	95

Fuente: Bureau Veritas. (2013), Tabla 18-04 II

3.8.3. Protección mecánica

El aislante del conductor, es protegido por varios forros que pueden ser metálicos y no metálicos y una armadura.

NO METÁLICOS

- Caucho sintético (policloropreno) G2 y G3
- Polietileno clorosulfonado H
- Materiales termoplásticos G5, G6 y G7
- Material textil

METÁLICOS

- Forro de plomo o de aleación a base de plomo
- Forro de cobre o de aleación a base de cobre
- Armaduras por trenzado metálico
- Armaduras por cintas metálicas
- Armaduras por alambres metálicos

3.8.4. Metodología del cálculo

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.

La expresión para el cálculo de la sección de los conductores, tomando en cuenta la caída de tensión, para un circuito trifásico es la siguiente:

$$e = I_{pc} * R \quad (3.33)$$

$e \rightarrow$ Caída máxima de tensión admisible expresada en voltios (V)

$I_{pc} \rightarrow$ Intensidad con el receptor a plena carga (A)

$R \rightarrow$ resistencia del conductor expresada en ohmios (Ω)

Teniendo en cuenta que la resistencia de un conductor está dada por la siguiente expresión:

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (3.34)$$

$\rho \rightarrow$ Resistividad del conductor en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$L \rightarrow$ longitud del cable

$S \rightarrow$ sección del conductor en mm^2

Sustituyendo la ecuación (34) en (33) se tiene:

$$e = I_{pc} * R = I * \sqrt{3} * R$$

$$S = \frac{I \cdot \rho \cdot L \cdot \sqrt{3}}{e} \quad (3.35)$$

Las sociedades clasificadoras así como los fabricantes de cables, proporcionan un sin número de tablas, en función de las

variables que influyen en la radiación del calor que se produce en los conductores, entre las principales el aislante empleado, el número de conductores, el soporte, temperatura ambiente, etc.

En la instalación de a bordo se usan generalmente conductores de cobre, aislados con polietileno reticulado, para una temperatura ambiente de 45 °C, con una temperatura máxima en el conductor de 85 °C, y soportar sin cambiar sus características hasta 750 V.

Para elegir el aislante a utilizar en los conductores según la C.E.I, se presenta la siguiente tabla elaborada por la sociedad clasificadora Bureau Veritas.

Tabla 3. 9: Clases de cables

CLASE DE CABLE	TEMPERATURA MÁXIMA CONDUCTOR	AISLANTE	
		TIPO	DESIGNACIÓN
CLASE 60	60 °C	POLIVINIL CLORURO O COPOLIMEROS DE VINILO Y ACETATO DE VINILO	PVC
CLASE 85	85 °C	GOMA DE ETILENO PROPILENO,	PR, EPDM, XLPE
CLASE 95	95 °C	GOMA SILICONA	S 95

Fuente: Bureau Veritas. (2002), Reglamento de la sociedad de clasificación

En la tabla siguiente, dada por la sociedad de clasificación Bureau Verita, se presentan las intensidades máximas

admisibles, según la clase del conductor, el número de conductores y el área de la sección, esta tabla es para una temperatura ambiente de 45 °C y son aplicables para buques a navegar en aguas tropicales.

Tabla 3. 10: Intensidades máximas admisibles

Sec. mm ²	Clase														
	60 °C			70 °C			80 °C			85 °C			95 °C		
	N° Conductores			N° Conductores			N° Conductores			N° Conductores			N° 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: Bureau Veritas. (2002), Reglamento de la sociedad de clasificación Bureau Veritas

La sociedad de clasificación Bureau Veritas, presenta en su reglamento, una tabla donde da los coeficientes aplicar para efectuar la corrección en la intensidad debido a la temperatura ambiente de trabajo de los conductores.

Tabla 3. 11: Factores de corrección por temperatura ambiente.

Clase de cable	Factores de corrección por temperatura ambiente				
	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C
CLASE 60	1,29	1,15	1,0	0,82	-
CLASE 75	1,15	1,08	1,0	0,91	0,82
CLASE 80	1,15	1,07	1,0	0,93	0,85
CLASE 85	1,11	1,06	1,0	0,94	0,87
CLASE 90	1,12	1,05	1,0	0,94	0,88
CLASE 95	1,10	1,05	1,0	0,95	0,89

Fuente: Bureau Veritas. (2002), Reglamento de la sociedad de clasificación

Se debe realizar una corrección también cuando los cables son agrupados en conjuntos o en pasos estrechos, la norma indica que cuando haya 6 o más conductores, se debe aplicar un coeficiente de corrección de 0,85 a la intensidad.

Los cálculos de la intensidad corregida se realizan aplicando los siguientes factores, y con esta se ingresa a la tabla para calcular la sección del cable a usar.

$$I_z = \frac{I_{pc}}{F_T F_A} * F_S \quad (3.36)$$

$I_z \rightarrow$ Intensidad Corregida

$I_{pc} \rightarrow$ Intensidad que absorbe el dispositivo, motor, etc.

$F_T \rightarrow$ Factor de corrección por temperatura ambiente

$F_A \rightarrow$ Factor de corrección por agrupamiento de cables

$F_S \rightarrow$ Factor de seguridad

El factor de seguridad permite tener un margen para que la intensidad aumente hasta el 25 % y además alargar la vida útil del cable.

Las normas de las sociedades de clasificación, señalan que los conductores de circuitos de potencia deben tener mínimo una sección de $2,5 \text{ mm}^2$ y los de alumbrado, pequeños motores, elementos de automatismo, una sección mínima de $1,5 \text{ mm}^2$.

CAPÍTULO 4

4. SELECCIÓN Y CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

En este capítulo, se presentan los cálculos realizados, en la modernización del sistema eléctrico del buque, definiendo la frecuencia de trabajo, su distribución, la potencia requerida por los motores de corriente alterna que reemplazan a los de corriente continua, el balance eléctrico en cada una de las situaciones de carga de trabajo de la unidad, número de generadores y transformadores, valores de los conductores a usar en cada equipo, barras de cobre en el tablero principal, corrientes de corto circuito, interruptores y el diagrama eléctrico unifilar final.

4.1. Selección de la planta, tensiones, frecuencia y distribución

En esta sección, se realizó el análisis para definir la planta del B.A.E “Chimborazo”, donde se definió la frecuencia y tensiones de trabajo de sus equipos y maquinaria.

4.1.1. Selección de la planta, tensión y frecuencia

Para definir la planta a proponer para el Buque de la Armada del Ecuador B.A.E “Chimborazo”, se partió del tipo de unidad que es, y siendo un remolcador de altura debe primar el criterio de flexibilidad por la división que deben tener sus circuitos principales, para sus maniobras como son de remolque, contra incendio y salvataje.

En cuanto a la tensión y frecuencia, esta unidad navega en América, por lo que su sistema eléctrico es del tipo americano, trabajando a una frecuencia de 60 *Hz* con tensión de 440V para fuerza y para obtener otros voltajes como son 220V o 110 V para los servicios domésticos como cocina, acondicionadores de aire, de alumbrado y tomacorrientes se utilizará transformadores.

4.1.2. Selección del tipo de distribución

El tipo de distribución, se diseñó radial compuesto, trabajando cada generador independiente, alimentando desde el cuadro principal a los cuadros secundarios, para realizar la distribución de la red de fuerza, se utilizara tres conductores con neutro aislado.

4.2. Cálculo de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor

Para el cambio o reemplazo de los motores eléctricos de corriente continua que se encuentran a bordo del B.A.E “Chimborazo” se utilizaron motores de corriente alterna de inducción con rotor jaula de ardilla.

Ventiladores

A bordo existían once ventilaciones que eran alimentadas por corriente continua. Para el cálculo requerido del motor eléctrico de corriente alterna que reemplazo al anterior, se usó la ecuación (3.3), donde la potencia depende del caudal y la presión de la masa de aire.

Las ventilaciones y extracciones a bordo de esta unidad, están instaladas en las salas de máquinas y generadores, donde estos ayudan a mantener una temperatura de trabajo adecuada en el ambiente y suministran el aire necesario para realizar una adecuada y correcta combustión en las diferentes maquinarias que posee la unidad.

Los ventiladores, se instalan en hongos de ventilación y son del tipo axial que impulsa aire en una trayectoria recta, siendo su salida de flujo helicoidal.



Figura 4. 1: Ventilador de tipo axial uso marino.

Fuente: Rodríguez Suarez Marian (s.f), Buque de Cabotaje 4600TPM

A bordo existen dos salas de máquinas, en la proa se encuentran ubicadas las máquinas principales encargadas de generar el poder suficiente para mover el motor principal y en la de popa los generadores.

En la sala de proa, se encuentra la ventilación más grande de a bordo de $35000 \text{ m}^3/\text{h}$ o $9,72 \text{ m}^3/\text{s}$ con una diferencia de presión de 50 mm. c.a y un rendimiento del ventilador del 70 %, obteniendo un valor $6,81 \text{ kW}$ y siendo la eficiencia del motor del 88 % da una potencia de $7,74 \text{ kW}$, instalando un motor de $9,20 \text{ kW}$.

En la tabla se presentan los valores obtenidos para los motores que reemplazaron a los anteriores instalados en las ventilaciones.

Tabla 4. 1: Datos y rendimientos de ventiladores y motores

Ventilador	Caudal (m^3/s)	Altura (m)	Rendimiento		Motor (kW)	
			Ventilador	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



Figura 4. 2: Ventilaciones sala de máquinas B.A.E “Chimborazo”

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 (3.2), se realiza los cálculos respectivos.

Las bombas para agua salada o dulce son centrífugas auto aspirantes, movidas por motores eléctricos trifásicos, para una temperatura ambiente de trabajo de 45 °C porque están instaladas en las salas de máquinas y de generadores, con clase de servicio S1, y de aislamiento mínimo F , de diseño norma NEMA B o similar como categoría N de acuerdo a la norma IEC 60034-1, protegidas contra polvo y chorro de agua que de acuerdo a la norma IEC 60034-5 que se presenta en el anexo “2” correspondiente a IP55, con factor de servicio mínimo 1 y su tipo de arranque dependerá de la potencia del motor a instalarse.

Para el cambio de las bombas de servicios generales o flushing, se requirieron bombas con un caudal de 250 *gal/min* equivalentes a 56,75 m^3/h o 0,01576 m^3/s , la altura manométrica para estas bombas de acuerdo al diseño original, es de 40 *m* y el peso específico del agua salada es 10015,6 N/m^3 y de acuerdo a la tabla de eficiencias

de bombas centrifugas, para bombas con $30 \leq Q < 100$ el rendimiento es de 0,65, por lo que aplicando la formula correspondiente se requirió una de potencia 9,88 Kw.

Para el cálculo del motor eléctrico, se utilizó uno de eficiencia estándar, siendo para uno de 10 Kw su valor aproximado 0,88 por tanto el motor eléctrico fue de 11,22 Kw.

El cambio de esta bomba en la práctica, se realizó con una de marca AZCUE de fabricación española siendo su motor de marca WEG de una potencia nominal de 12.5 Kw acuerdo al detalle que se presenta en la tabla.

Tabla 4. 2: Datos y rendimientos de bombas y motores

BOMBA AZCUE					
TYPE			CA 80/10-A		
N: 414574			YEAR:13		
Q: 60 m³/h			h : 50 m		
MOTOR WEG					
TRIFÁSICO			160M-02		
GRADO DE PROTECCIÓN			IP 55		
CLASE DE AISLAMIENTO			F		
CLASE DE SERVICIO			S1		
TEMPERATURA AMBIENTE			45°C		
<i>V</i>	<i>Hz</i>	<i>Kw</i>	<i>Min⁻¹</i>	<i>A</i>	<i>cosθ</i>
440	60	12,5	3515	21,2	0,87
460			3525	20,5	0,86
PESO			115 Kg		
EFICIENCIA			IE1-88.0 %		
NORMAS			VDE 0530		
			IEC 60034		



Tipos / Types CA 50/5-7A, CA 65, CA 80, CA 100/80, CA 100, CA 125, CA 150.

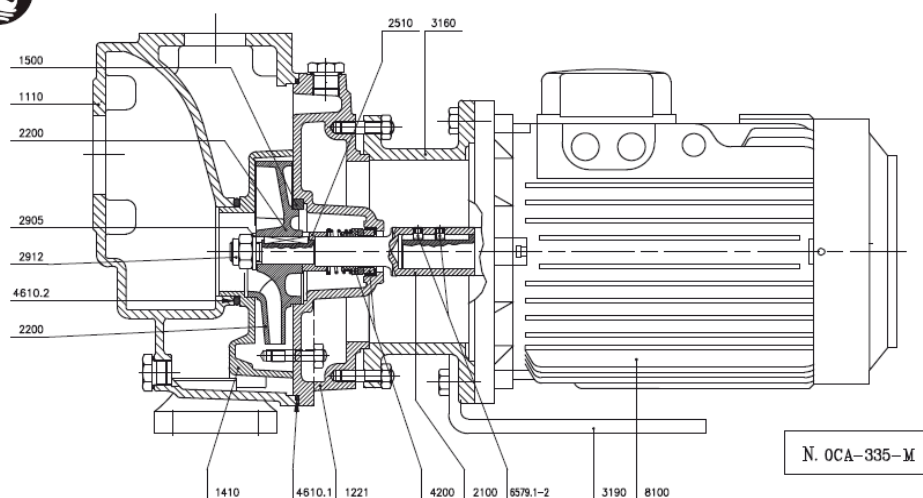


Figura 4. 3: Tipos de bombas AZCUE CA65, CA80, CA100/80, CA100 CA125, CA150

Fuente: Bombas Azcúe (s.f), Manual de instrucciones y funcionamiento, Serie CA



Figura 4. 4: Bomba AZCUE CA80/10A a bordo del B.A.E “Chimborazo”

Fuente: B.A.E Chimborazo (2014), Foto de Bomba Azcúe

La bomba Azcue 80, reemplazo a la bomba flushing o de servicios generales que puede ser utilizada también para trabajar en el sistema de contra incendio presentada en el gráfico siguiente:



Figura 4. 5: *Bomba Flushing a bordo del B.A.E “Chimborazo”*

Fuente: B.A.E “Chimborazo” (2014), Bomba Flushing de a bordo

De igual manera se aplicó el cálculo para todas las demás bombas instaladas en la nave.

Datos de las bombas

Para el reemplazo de las bombas de agua tanto salada como dulce, combustible y aceite, los datos fueron tomados de manuales, catálogos y bitácoras de a bordo de la unidad, considerándose a la mayor carga de trabajo.

Tabla 4. 3: Datos y rendimientos de bombas y motores

Bombas	Caudal (m^3/s)	Altura (m)	Peso especifico N/m^3	Rendimiento	
				Bomba	Motor
Agua dulce # 1	0.0033	30	9800.00	0,6	0,822
Agua dulce # 2	0.0033	30	9800.00	0,6	0,822
Salvataje # 1	0,0317	50	10015.60	0,70	0,910
Salvataje # 2	0,0317	50	10015.60	0,70	0,910
Transferencia de combustible	0.0194	50	8279.04	0,70	0,891
Trasvasije de aceite	0.0027	40	8330.00	0,55	0,822
Flushing # 1	0,0157	40	10015.60	0,65	0,880
Flushing # 2	0,0157	40	10015.60	0,65	0,880
Agua servida # 1	0.0194	50	10015.60	0,70	0,902
Agua servida # 2	0.0194	50	10015.60	0,70	0,902

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

Cálculo de la potencia de los motores para bombas

Se presenta el cálculo realizado con los datos de la tabla anterior, de la potencia teórica que requieren las bombas y los motores de corriente alterna y las bombas instaladas con su respectivo motor de acuerdo a los existentes en el mercado, para definir el tipo de bomba, se utilizaron las curvas características de las Bombas Azcue serie CA que se presentan en el anexo “3”, que son las que se instalaron en el buque “Chimborazo”

Tabla 4. 4: Tipo de bombas y motores

Bombas	Cálculo		Real	
	Bomba (Kw)	Motor (Kw)	Bomba Tipo	Motor (Kw)
Agua dulce # 1	1,63	1,98	CA 50/2	2,2
Agua dulce # 2	1,63	1,98	CA 50/2	2,2
Salvataje # 1	22,68	24,92	CA 100-80/30	30,0
Salvataje # 2	22,68	24,92	CA 100-80/30	30,0
Trasferencia de combustible	11,47	12,87	CA 80/15	15,0
Trasvasije de aceite	1,64	1,99	CA 50/2	2,2
Flushing # 1	9,71	11,03	CA 80/10	12,5
Flushing # 2	9,71	11,03	CA 80/10	12,5
Agua servida # 1	13,88	15,34	CA 100-80/20	18,50
Agua servida # 2	13,88	15,34	CA 100-80/20	18,50

Servomotores

Para el cálculo de los servomotores se debe calcular la fuerza lateral que de acuerdo a la sociedad de clasificación Lloyd's está definida en la ecuación (3.11)

Donde el coeficiente del perfil del timón k_2 de acuerdo al diseño de timón de la unidad es 1, el coeficiente k_3 , que se refiere al coeficiente angular, es 1 dado que la pala gira desde 35° a babor a 35° a estribor, el coeficiente k_4 de posición del timón es 1, dado que el timón se encuentra en la estela de la hélice, k_5 el coeficiente de velocidad es 1 debido a que velocidad de diseño es 15 Kn, para el cálculo del coeficiente k_1 se debe conocer la altura media del timón h_r

y el área de la pala A_R , datos que se mantienen desde la construcción de esta unidad, pues la pala no ha sido modificada.

$$k_1 \rightarrow \frac{\lambda + 2}{3}$$

$$\lambda \rightarrow \frac{h_r^2}{A_R} \rightarrow \frac{2,05^2}{7,175} \rightarrow 0,59$$

$$k_1 \rightarrow 0,86$$

Por lo que la fuerza lateral es igual a 183,66 kN

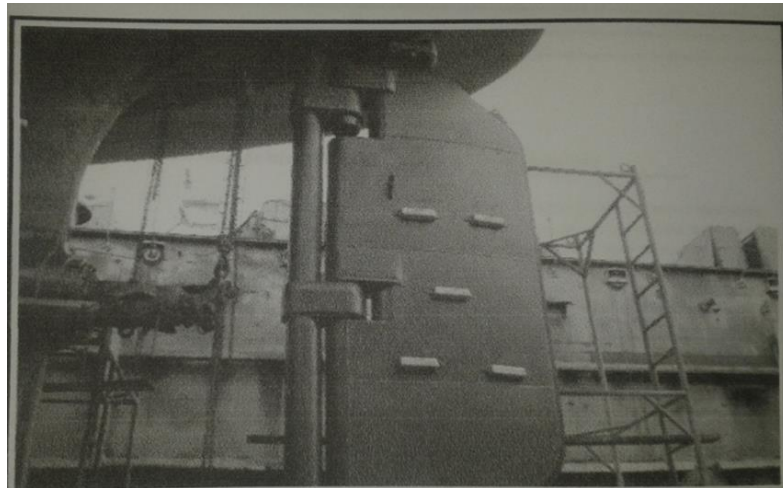


Figura 4. 6: Pala del B.A.E "Chimborazo"

Se procedió a calcular el par del timón con la ecuación (3.12) previo al cálculo de la distancia con la ecuación (3.13)

$$X_p = b_R * (0.33 - k)$$

$$b_R = 2,05 \text{ m}$$

$$A_c = \text{Área de compensación } 1,958 \text{ m}^2$$

$$A_R = \text{Área de la pala } 7,175 \text{ m}^2$$

$$k = \frac{A_c}{A_R} = 0,273$$

Con los datos se calcula X_p obteniéndose 0,116, que no cumple con lo mínimo requerido por la sociedad de clasificación que es $X_p =$ mínimo valor de $0.1 b_R$, usando ese dato para el cálculo del par.

$$X_p \rightarrow 0,205$$

Con esto datos se obtiene el par de 37,65 kNm , con la formula (3.14), se calcula la velocidad angular, donde se obtiene 0,0436 rad/s .

Se calcula la potencia del servo con la ecuación (3.15), para una eficiencia de la bomba de 0,65, dando una potencia de 2,52 kW

Para este mecanismo, el motor a usar tiene una eficiencia de 0,853 obteniendo un valor de 2,95 kW de potencia



Figura 4. 7: Servomotor instalado del B.A.E “Chimborazo”

El motor comercial usado en el servomotor es el siguiente:

MOTOR SIEMENS					
TRIFÁSICO			1LA7 112 4Y-C60		
GRADO DE PROTECCIÓN			IP 55		
CLASE DE AISLAMIENTO			F		
CLASE DE SERVICIO			S1		
TEMPERATURA AMBIENTE			40°C		
V	Hz	Hp	Min^{-1}	A	$cos\theta$
440	60	5	1740	7,9	0,73
220				15,8	
PESO			25,4 Kg		
EFICIENCIA			85.3 %		
NORMA			IEC 60034		

Cabrestante

Utilizado en la maniobra de fondeo, cuya finalidad es el izar o arriar el ancla cuando el buque se encuentra fondeado.

Para cumplir con lo dispuesto por la sociedad clasificadora, se calcula el tiro continuo para un periodo de 30 minutos utilizando la ecuación (3.7)

Siendo el perímetro del redondo del eslabón de 125 *mm* se obtiene un diámetro aproximado de 40 *mm*. Obteniendo un tiro de 66,69 *kN*, desarrollando un valor de 1,5 o más del tiro continuo, siendo este de 100,035 *kN*.

Utilizando la ecuación (3.8), se calculó el tiro de ruptura que debe desarrollar por al menos dos minutos.

De acuerdo a los datos del peso del ancla del buque es de 1500 *Kg* y la cadena más larga que es de 7 paños, donde cada paño equivale a 27,5 *m* dando un largo de 192,5 *m* estableciéndose el tiro de ruptura en 39,80 *kN*.

Se calculó el valor del tiro para soportar una carga sin que presente una deformación permanente de acuerdo a la ecuación (3.9), el valor de la constante K_b para nuestro caso de acuerdo a la tabla proporcionada por la Lloyd's es de 6,18, dando este tiro un valor de 403,4 *kN*.

Se calculó la potencia para elevar el ancla desde 82,5 *m* hasta 27,5 a una velocidad de 9 *m/min* para lo cual se utiliza la ecuación (3.10) descrita en el capítulo anterior.

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*.



Figura 4. 8: Cabrestante a bordo del B.A.E “Chimborazo”

Molinete

Los molinetes se utilizan en las maniobras de atraque o desatraque de los buques, para el cálculo de la potencia se utilizó una velocidad de tensión de $15 \text{ m}/\text{min}$. Y siendo la tensión de ruptura del cabo a bordo de 6 t, se disminuye a 4 t la tensión de trabajo, cumpliendo lo dispuesto con la sociedad clasificadora.

Utilizando la ecuación (3.10) 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*.



Figura 4. 9: Molinete a bordo del B.A.E “Chimborazo”

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 , teniendo el towing una eficiencia del 75 %, de acuerdo a la ecuación (3:10), se obtiene una potencia de 58,8 kW y para un motor con 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.



Figura 4. 10: Towing a bordo del B.A.E “Chimborazo

4.3. Balance eléctrico

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 a bordo existen equipos de respaldo, 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 anexo “4”. [5]

4.3.1. En Puerto

El B.A.E “Chimborazo” tiene su puerto base en la ciudad de Guayaquil. En esta situación el buque se encuentra atracado a su muelle habitual o fondeado, con sus máquinas paradas, sin realizar operación o maniobra alguna, solo labores de mantenimiento normales y de acuerdo al análisis del balance de carga eléctrica, en esta condición, el remolcador consume 176.7 Kw.

4.3.2. En Navegación

En esta situación el buque se encuentra con sus sistemas de propulsión encendidos, fin trasladarse de un sitio a otro, en esta condición de carga, de acuerdo al análisis del balance se consume 198.2 Kw, esta nave posee armamento que no utiliza o consume energía eléctrica, por lo que en situación de combate el consumo energético no varía.

4.3.3. En Salvataje

Condición de buque navegando, sumando a esto bombas para el salvataje, combatir incendio o ayudar achicar sentinas, en esta condición de acuerdo al análisis del balance consume 256.7 Kw.

4.3.4. En Remolque

En esta condición, el buque se encuentra navegando, utilizando el winche y otros equipos de cubierta, realizando el remolque de unidades, consumiendo de acuerdo al análisis del balance 245 Kw.

Del análisis realizado a las diferentes condiciones de carga del B.A.E “Chimborazo”, la mayor potencia requerida es cuando realiza Salvataje.

4.4. Cálculo de la potencia y numero de generadores

De Acuerdo a las sociedades clasificadoras, debe existir mínimo dos generadores, fin garantizar el servicio en caso de falla de uno, se ha generalizado el cálculo del numero de generadores, de manera que con $n-1$, se pueda cubrir la potencia necesaria, es decir en nuestro

caso, n será dos, $2-1=1$, por tanto un solo generador debe soportar la carga del buque.

La capacidad de los generadores a instalar, se calcula considerando que la mayor carga es el 85%, dando un margen de seguridad del 15% que falta para llegar al 100 % de la carga del generador, en nuestro caso el mayor consumo es en la condición de salvataje, siendo este de 256.7 Kw, correspondiendo al 85% de la carga, calculando la potencia del generador al 100%, da una potencia activa de 302 Kw.

4.5. Cálculo de la potencia y número de transformadores

De acuerdo a la norma de las sociedades clasificadoras, disponen al menos instalar dos transformadores que suministren a los mismos servicios, de forma que al fallo de uno de estos, se conecte el segundo.

Esta unidad, cuando fue rediseñada, para que parte de sus circuitos, funcionen con corriente alterna, se instaló dos bancos de transformadores secos de 3 X 25 KVA, dando un total de 75 KVA, potencia suficiente para cubrir la demanda del buque a 220V/110V, de acuerdo al balance a ese nivel de voltaje, se requiere de 28.4 Kw, considerando un factor de potencia de 0.8 sería de 36 KVA.

4.6. Cálculo de conductores

Generadores

En la práctica se instaló generadores marca Marathon con motores MTU, cuyos datos de placa son:

Tabla 4. 5: Tabla de datos de placa Generador Marathon

Kw	292	Fp	0.8
KVA	365	V	220/440

Se cálculo la Intensidad de plena carga del generador con los datos de placa, aplicando la ecuacion (4.1)

$$I_{pc} = \frac{Kw * 1000}{Fp * V * \sqrt{3}} \quad (4.1)$$

Obteniendose un resultado de 479 Amp, con este dato se cálculo la Intensidad corregida utilizando la ecuación (3.36), donde F_T →Factor por temperatura ambiente, que en nuestro caso es 1 por considerar 45 °C la temperatura dentro de las salas de máquinas, F_A → Factor por agrupamientos de conductores, en nuestro caso será menor a 3 es decir el factor igual a 1, F_S →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 optamos por usar cuatro conductores.

$$598,75/4 \rightarrow 149,69 \text{ Amp.}$$

Con este dato, en la tabla 3.7 Intensidades 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 sección 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.

Para el cálculo de la caída de tensión, se utilizó la ecuación (3.35), siendo e la caída máxima de tensión admisible en los cables, expresada en voltios. Para el generador la intensidad corregida por cada conductor es de 149,58 Amp, la resistividad del cobre de 0,01759 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, la Longitud del conductor de 10 m, la Sección 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.

Ventiladores

Para el cálculo de los conductores de los ventiladores se presenta con los datos obtenidos de las respectivas intensidades de corriente, el conductor a usar, la caída de tensión y el porcentaje de esta caída con respecto al voltaje de alimentación.

Tabla 4. 6: 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

Bombas

Tabla 4. 7: 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
Salvataje1	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

Servomotores

Para el cálculo de los servomotores se consideraron los siguientes valores de potencia y amperaje:

Tabla 4. 8: 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	0,21

Cabrestantes

Tabla 4. 9: 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	1,04

Molinetes

Tabla 4. 10: 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	0,74
Molinete	15,0	24,60	30,75	4,0	7,80	1,77

Todos los conductores de acuerdo a los cálculos realizados cumplen con las normas establecidas, ningún conductor tiene una caída de tensión superior al 2 %.

4.7. Cálculo de barras

Las barras que se instalaron son desnudas y una por fase, conociendo la intensidad nominal del generador, se uso el método aproximado para estimar la capacidad de carga de la barra considerando una densidad de corriente de 2 Amp/mm^2 para el cobre y una Intensidad nominal del generador de 479 Amp , utilizando la ecuación (3.23) se obtiene una superficie para barras de $239,5 \text{ mm}^2$.

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

Estando el valor de 479 Amp entre 470 que corresponde a barras de $30 \times 5 \text{ mm}$ y 710 que corresponde a barras $30 \times 10 \text{ mm}$, escogiendo esta última que tiene una superficie de 300 mm^2 y es superior a $239,5 \text{ mm}^2$ que se calculó por el método aproximado.

Se procedió a determinar el aumento de temperatura que se da en las barras debido a la corriente que de acuerdo a la norma de la Sociedad Clasificadora no debe ser superior a $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Se calcula el calor generado por la barra aplicando la ecuación (3.26), donde I es la intensidad nominal del generador 479 Amp , la resistencia en corriente continua por unidad de longitud para $20 \text{ }^\circ\text{C}$

R_o , se obtiene de la tabla 3.7, para una sección de 30 x 10 mm, siendo este valor de 57,4 $\mu\Omega/m$, teniendo que llevarlo a Ω/mm , siendo este valor de $R_o \rightarrow 57,4 * 10^{-9} \frac{\Omega}{mm}$, con este valor y aplicando la ecuación (3.27), se obtuvo la resistencia de la barra a 40 °C, siendo este de $R_{40} \rightarrow 6,19 * 10^{-8} \frac{\Omega}{mm}$.

De la gráfica del efecto Skin, para una barra b/a, en este caso de 30/10 da 3 y para valor de R_c de 10^{-8} tiende a 1 por tanto $S=1$, con estos datos se obtiene, el calor generado en las barras a 40 °C. dando un valor de $0,0142 \frac{W}{mm}$, siendo el largo de las barras 1,0 mts es decir 1000 mm da como resultado $W \rightarrow 14,2$ vatios.

Aplicando las formulas (3.24) y (3.25) se procedio al cálculo del aumento de temperatura por convección, siendo L para la vertical 30 y 10 para la horizontal. Obteniendo los siguientes resultados parciales:

$$W_v \rightarrow \frac{7,66 * \theta^{1,25}}{30^{0,25}} \frac{W}{m^2} \rightarrow 3,27 \theta^{1,25} \frac{W}{m^2}$$

$$W_h \rightarrow \frac{5,92 \theta^{1,25}}{L^{0,25}} \frac{W}{m^2} \rightarrow 3,329 \theta^{1,25} \frac{W}{m^2}$$

Las superficies de la barra fueron:

Verticales $S_v \rightarrow 1,0\text{m} * 0.030\text{m} \rightarrow 0.030 \text{ m}^2$ como tiene dos caras el total es $0.03 * 2 \rightarrow 0.06 \text{ m}^2$, horizontales $S_h \rightarrow 1,0\text{m} * 0.010\text{m} \rightarrow 0.01 \text{ m}^2$ como son dos caras el total es $0.01 * 2 \rightarrow 0.02 \text{ m}^2$, por tanto

$$W_v \rightarrow 3,27\theta^{1,25} \frac{W}{\text{m}^2} * 0,06 \text{ m}^2 \rightarrow 0,196 \theta^{1,25} W$$

$$W_h \rightarrow 3,329 \theta^{1,25} \frac{W}{\text{m}^2} * 0,02\text{m}^2 \rightarrow 0,066\theta^{1,25} W$$

Igualamos el calor que se produce con la potencia disipada

$$0,196\theta^{1,25} + 0,066\theta^{1,25} \rightarrow 14,2 W$$

$$0.2627\theta^{1,25} \rightarrow 14,2 W$$

$$\theta^{1,25} \rightarrow 54,03$$

$$\text{Ln } \theta^{1,25} \rightarrow \text{Ln } 54,03$$

$$1,25 \text{ Ln } \theta \rightarrow 3,989$$

$$\text{Ln } \theta \rightarrow 3,191$$

Por tanto θ es 24,33 °C es inferior a 40 °C cumpliendo la normativa.

Para verificar si las barras son capaces de soportar el esfuerzo mecánico, debido a un defecto de cortocircuito se utiliza la ecuación (3.28).

Como se mencionó en el capítulo anterior, el factor K en barras rectangulares se puede aproximar a uno, el embarrado tendrá un

límite electrodinámico de $6,62 \text{ kA}$ y la separación entre barras 100 mm , dando la fuerza el valor de $2,63 \text{ Kg}$.

Con la ecuación (3.29) se calcula la carga a soportar dando un valor de $0,009 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}$

Con la ecuación (3.30) se calcula el momento flector máximo, siendo el valor de $67,5 \text{ Kg. mm}$

Con la ecuación (3.31) se calcula el módulo resistente, siendo este de 500 mm^3 . Con la ecuación (3.32) se calcula la tensión máxima, cuyo valor dio $0,135 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$.

Se compara con el límite elástico del cobre que es de $12,9 \text{ Kg/mm}^2$, como el valor calculado es menor, se establece que las barras elegidas son las correctas.

4.8. Cálculo de corrientes de corto circuito

4.8.1. Generadores

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 (3.18) y reemplazando en esta $V_n \rightarrow \frac{V}{\sqrt{3}}$ e $I_n \rightarrow \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}}$, se obtiene que:

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

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

De idéntica manera se calcula la corriente transitoria con la ecuación (3.19), y reemplazando de la misma forma anterior se obtiene que:

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

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

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

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

Se Calculo con la ecuación (3.21) el valor de I_{ac} . 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 (3.20),
obteniéndose un valor de $I_p \rightarrow 8,26 \text{ kA}$

4.8.2. 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 4. 11: 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 realizaron 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 V

Cálculo de la corriente de cortocircuito inicial simétrica

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

Corriente de cortocircuito

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

Cálculo de la componente de corriente directa

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

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

Corriente de cortocircuito de cresta

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

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 4. 12: 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

4.9. Selección de interruptores

Los interruptores son aparatos mecánicos, que establecen, soportan e interrumpen las corrientes del sistema en condiciones normales e interrumpen las corrientes anormales como las fallas o cortocircuitos.

De acuerdo a la norma IEC 60947-2 los interruptores automáticos se clasifican en:

Interruptor automático no diseñado para selectividad en cortocircuito.

Interruptor automático diseñado para realizar la selectividad en sistemas eléctricos, conectado en serie con la carga y puede demorar el disparo del mismo para un valor determinado de la corriente de cortocircuito.

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 4. 13: 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

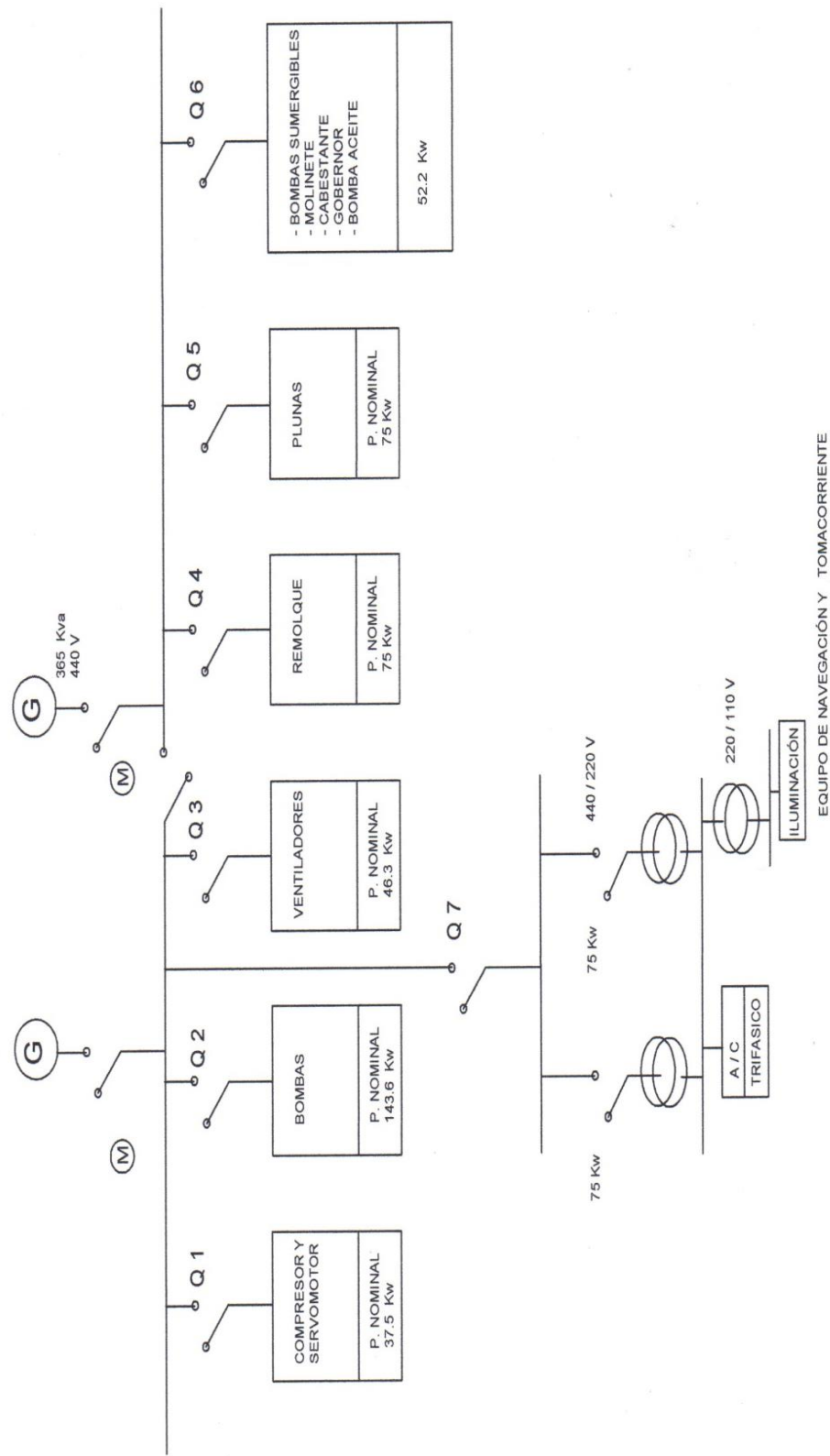
Por lo que se obtiene un valor de breaking de 6,62 kA , y un valor de making o de pico de 20,23 kA

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

Tabla 4. 14: 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

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



CAPITULO 5

5. INSTALACIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo, se presenta como 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.

5.1. Instalación de motores

Previo a la instalación a bordo de la unidad de los motores eléctricos, se procedió a la preparación de las bases metálicas, verificando que estén completamente lisas, tratando sus superficies con pinturas anticorrosivas, por el medio abrasivo de las salas de máquinas, sobre estas bases, se fijaron los conjuntos de motores y cargas a la estructura del buque con pernos de anclaje, para proceder luego

alinear al bloque, regulando las alturas con ajustes de los pernos o con rodela, esta alineación se realizó con la mayor precisión posible a fin de evitar fallas en rodamientos, vibraciones y/o rotura de los ejes durante la operatividad del buque.

5.1.1. Pruebas de funcionamiento

La Dirección de Ingeniería Naval de la Armada del Ecuador, como ente técnico de la Armada del Ecuador, tiene protocolos de pruebas ya definidos para los diferentes equipos que se encuentran a bordo de los Buques, en el caso de los motores eléctricos el propósito es verificar la correcta instalación y conexión de circuitos.

Estas pruebas se las realizan tanto con la unidad en puerto y navegando, siendo en los motores eléctricos básicamente las siguientes, inspección física del equipo, registro de vibraciones, chequeo de terminales, voltaje primario, aislamiento, aterrizaje, de conductores y se verifica si existe una buena ventilación en el departamento de máquinas donde se instala el motor, de acuerdo al formato de la Dirección de Ingeniería y que se presenta en el anexo "5".

La inspección física del equipo, es una revista visual integral, donde pueden encontrarse averías pequeñas, evitando a que lleguen a tomar importancia, esta prueba ahorra tiempo y gasto, en ella se verifica las dimensiones de montaje, acoplamientos, acabados, datos de placa, etc.

La prueba de aislamiento, consiste en medir la resistencia de aislamiento del motor mediante un mega óhmetro, interpretando de una forma inmediata su estado, de acuerdo a la norma IEEE Std 43-2000, señala que los rangos aceptables para esta prueba en motores AC y fabricados después del año 1974, deben tener valores mayores a 5 mega ohmios.

Las pruebas de vibraciones se las realiza para verificar que el motor cumpla con la norma, garantizando de esta manera su vida útil de diseño, cuyos valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. 1

Valores máximos permisibles para amplitud de vibración en motores eléctricos.

Tamaño de la armazón	Amplitud de la onda vibradora	
	(mm)	(plg)
182 a 215	0,025	0,0010
254 a 286	0,037	0,0015
324 a 500	0,050	0,0020

5.2. Instalación de Generadores

La instalación de los generadores a bordo de la unidad, se realizó cuando el buque estuvo en dique seco, aprovechando para cortar una parte del casco e ingresar el equipo a la sala de máquinas, donde se alineo el conjunto motor generador, se acopló todos los circuitos externos hacia la parte motriz, como son los circuitos de agua salada, agua dulce, combustible y aceite, para proceder a realizar las conexiones eléctricas, previo a las pruebas de operación.

5.2.1. Pruebas de Operación

El objetivo de estas pruebas es verificar la correcta instalación y conexión de circuitos y dispositivos del equipos, probar que los generadores accionados por el motor diesel cumplan totalmente los requerimientos especificados para carga y control del regulador y que los mecanismos de protección están ajustados correctamente y operativos.

Las pruebas se realizaron en puerto y no en navegación por la recuperación integral a la cual está sometida esta unidad, se debían cumplir ciertos prerequisites a las pruebas, como son inspección de la instalación completa, pruebas de presión de circuitos externos a la maquinaria sean de agua fría, salada,

aceite, combustible, inspección eléctrica de generador, excitatriz, regulador de voltaje, instrumentación, circuitos y equipos de contraincendio, filtros, etc.

Se realizaron las prueba de disparo o parada por sobrevelocidad, pruebas de carga desde plena carga hasta una carga al 25%, pruebas de regulador, donde el cambio momentáneo de velocidad no debe exceder el 2,5 % de las RPM, cuando se alteran las cargas, y el tiempo de reposición no debe exceder de 4s y que el cambio de velocidad de sin carga a plena carga no debe exceder del 10 % en las RPM.

En los generadores, se inspecciono el equipo, se realizó el chequeo de terminales, borneras, aislamiento, si están asegurados y bien estibados los conductores.

En fábrica se realizan normalmente las pruebas de:

Medición de devanados del rotor, estator y campo.

Prueba de Carga donde el generador es sometido a diferentes cargas y se determinan los parámetros eléctricos de salida, como son voltaje, amperaje, frecuencia y factor de potencia.

Prueba de Sobrecarga, en esta prueba el generador es sometido a una carga del 150% por 2 minutos.

Prueba de sobrevelocidad, sometiendo a la máquina al 120% de su velocidad nominal por el tiempo de 2 minutos.

Prueba de aislamiento, esta prueba se realiza cuando la máquina este a la temperatura de operación, y se mide el aislamiento del rotor con tierra y el aislamiento de cada línea del estator con tierra y entre ellas.

En el anexo “6”, se presenta el protocolo de pruebas para generadores emitido por la Dirección de Mantenimiento de la Armada.

5.3. Instalación y pruebas de transformadores

Los transformadores que se encuentran en el buque se mantienen, tienen la potencia necesaria para las cargas que requieren los voltajes de 220/110 V_{ac} , siendo estos de una potencia de 75 KVA, tipo secos, se encuentran instalados en la sala de máquinas, donde se han realizado los respectivos trabajos de mantenimiento, la Dirección de Ingeniería Naval tiene protocolos de pruebas para Transformadores que se presentan en el anexo “7”.

CONCLUSIONES

1. El B.A.E. "Chimborazo" siendo un buque construido en los años 40 del siglo pasado, mantenía gran parte del sistema eléctrico de fuerza y en especial los motores en corriente continua, lo que limitaba el mantenimiento y las reparaciones que se iban haciendo más costosas y difíciles por la escasez de repuestos, obligando muchas veces a fabricar cierto tipo de elementos.
2. El B.A.E "Chimborazo", es el único remolcador de altura con que cuenta la Escuadra de la Armada del Ecuador, diseñado para que trabaje con corriente continua, por lo que, una de las principales obsolescencias que le afectaba era la tecnológica, ante el gran desarrollo de la corriente alterna, hoy están presentes motores con este tipo de corriente, con gran

capacidad de regulación de velocidad, a costos de fabricación y mantenimientos reducidos, esta obsolescencia técnica condujo a una obsolescencia logística, por la escasez de repuestos para mantener o reparar el sistema con corriente continua, y la obsolescencia logística, derivó en obsolescencia económica por los costos en reparaciones, repuestos y mantenimiento.

3. 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.
4. 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.

5. 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.
6. 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.
7. 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.

8. 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.

RECOMENDACIONES

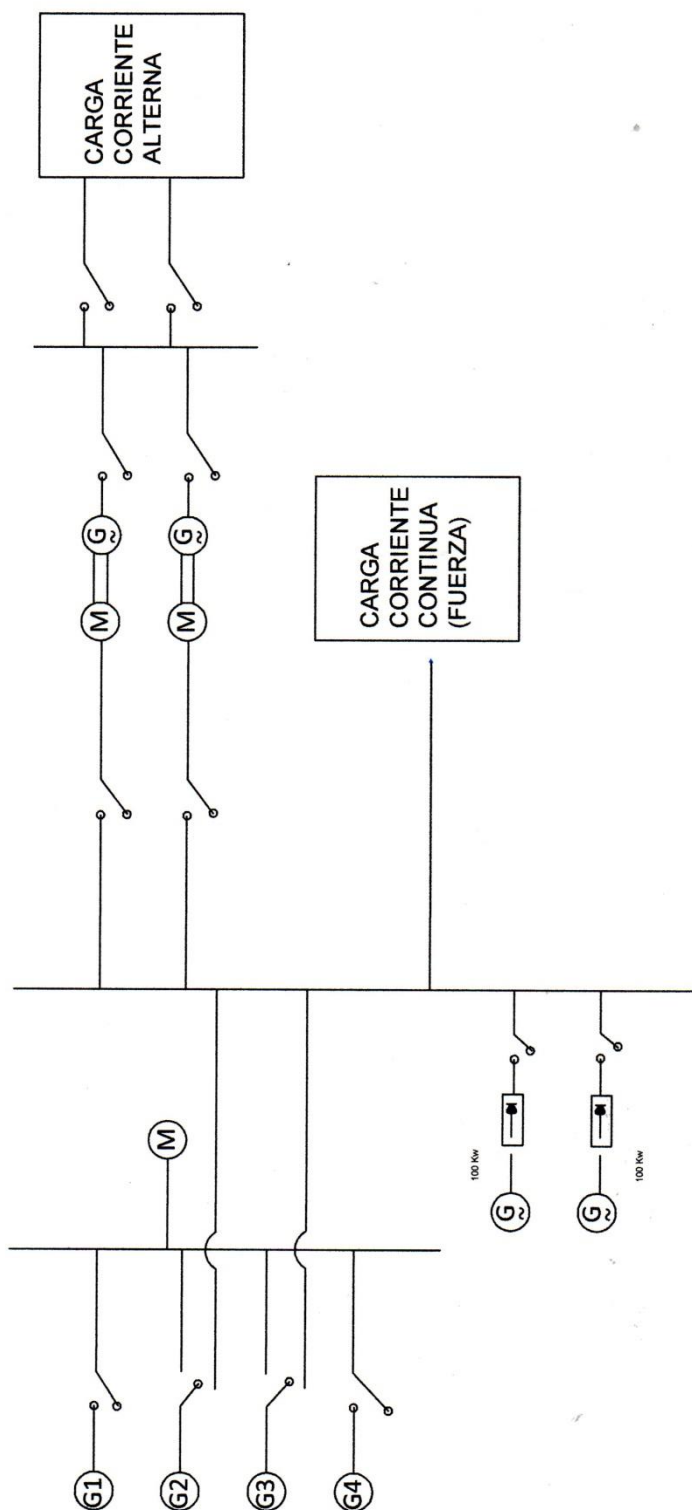
1. Llevar un estricto control de la operación y mantenimiento de los motores y generadores eléctricos de la unidad, de acuerdo a lo dispuesto por los fabricantes, con la finalidad de mantener, a lo largo de su vida útil, los estándares definidos de disponibilidad y confiabilidad.
2. Evaluar los circuitos 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.

ANEXOS

ANEXO 1

DIAGRAMA RESUMIDO DE LA UNIDAD



ANEXO 2

GRADOS DE PROTECCIÓN

Grado de Protección

Los envoltorios de los equipos eléctricos, conforme las características del local en que serán instalados y su accesibilidad, deben ofrecer un determinado grado de protección. De esta forma, por ejemplo, un equipo a ser instalado en un local sujeto a chorros de agua, debe poseer un envoltorio capaz de soportar tales chorros, bajo determinados valores de presión y ángulo de incidencia, sin que haya penetración de agua.

Código de Identificación

La norma IEC 60034-5 define los grados de protección de los equipos eléctricos por medio de las letras características IP, seguidas por dos guarismos.

1° guarismo	
Guarismo	Indicación
0	Máquina no protegida
1	Máquina protegida contra objetos solidos mayores a 50 mm
2	Máquina protegida contra objetos solidos mayores a 12 mm
3	Máquina protegida contra objetos solidos mayores a 2,5 mm

4	Máquina protegida contra objetos solidos mayores a 1 mm
5	Máquina protegida contra polvo
6	Máquina totalmente protegida contra polvo

2° guarismo	
Guarismo	Indicación
0	Máquina no protegida
1	Máquina protegida contra goteo vertical
2	Máquina protegida contra goteo de agua, con inclinación de hasta 15°
3	Máquina protegida contra aspersion de agua
4	Máquina protegida contra proyecciones de agua
5	Máquina protegida contra chorros de agua
6	Máquina protegida contra chorros potentes
7	Máquina protegida contra los efectos de la inmersión temporaria.
8	Máquina protegida contra los efectos de la inmersión continua.

Fuente: WEG (2012), grado de protección

ANEXO 4

BALANCE ELECTRICO PROPUESTO PARA EL B.A.E. "CHIMBORAZO" POR 440V

Equipos o servicios	Consumidor	N°	Pot. Unit. (Kw)	Pot. Ins. (Kw)	Kn	Puerto		Navegando		Salvataje		Remolque	
						Ksr	Pot.	Ksr	Pot.	Ksr	Pot.	Ksr	Pot.
Ventiladores Maquinas	Ventilador # 1	1	1.50	1.5	1.0	0.9	1.4	0.9	1.4	0.9	1.4	0.9	1.4
	Ventilador # 2	1	3.00	3.0	1.0	0.9	2.7	0.9	2.7	0.9	2.7	0.9	2.7
	Ventiladores # 3, 4, 5	3	5.65	17.0	0.7	0.9	10.2	0.9	10.2	0.9	10.2	0.9	10.2
	Ventilador # 6	1	7.50	7.5	1.0	0.9	6.8	0.9	6.8	0.9	6.8	0.9	6.8
	Ventilador # 7	1	3.70	3.7	1.0	0.9	3.3	0.9	3.3	0.9	3.3	0.9	3.3
	Ventilador # 8	1	9.20	9.2	1.0	0.9	8.3	0.9	8.3	0.9	8.3	0.9	8.3
	Ventilador # 9	1	2.20	2.2	1.0	0.9	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0
	Ventilador # 10	1	1.50	1.5	1.0	0.9	1.4	0.9	1.4	0.9	1.4	0.9	1.4
	Ventilador # 11	1	0.75	0.8	1.0	0.9	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7
	TOTAL			46.3			36.6		36.6		36.6		36.6
Bombas	Bomba de agua dulce # 1, 2	2	2.20	4.4	0.5	0.9	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0
	Bomba de salvataje # 1, 2	2	30.00	60.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	48.0	0.0	0.0
	Bomba transferencia de combustible	1	15.00	15.0	1.0	0.9	13.5	0.9	13.5	0.9	13.5	0.9	13.5
	Bomba trasvasije de aceite	1	2.20	2.2	1.0	0.9	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0
	Bomba flushing #1,2	2	12.50	25.0	1.0	0.5	12.5	0.5	12.5	0.5	12.5	0.5	12.5
	Bomba agua servida #1,2	2	18.50	37.0	0.5	0.6	11.1	0.6	11.1	0.6	11.1	0.6	11.1
	Bombas sumergibles #1,2	2	5.3	15.0	0.5	0.3	2.2	0.3	2.2	0.3	2.2	0.3	2.2
	TOTAL			158.6			43.3		43.3		91.3		43.3

Compresores	Compresor de aire MOD. 41 RAND	1	5.65	5.7	1.0	0.9	5.1	0.9	5.1	0.9	5.1	0.9	5.1
	Compresor de aire MOD. 325 QUINCY	1	5.65	5.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Compresor de aire MOD. BN WOR	1	7.50	7.5	1.0	0.9	6.8	0.9	6.8	0.9	6.8	0.9	6.8
	Compresor de aire MOD: 15 TX2 RAND #1,2	2	5.65	11.3	0.5	0.9	5.1	0.9	5.1	0.9	5.1	0.9	5.1
	TOTAL			30.1			16.9		16.9		16.9		16.9
Servomotores	servomotor #1,2	2	3.73	7.5	0.5	0.9	3.4	0.9	3.4	0.9	3.4	0.9	3.4
	TOTAL			7.5			3.4		3.4		3.4		3.4
Apartamento de Cubierta	Remolque	1	75.00	75.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	60.0
	Pluma	1	75.00	60.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Molinete	1	15.00	15.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	10.5	0.0	0.0
	Cabrestante del ancla	1	22.00	22.0	1.0	0.0	0.0	0.6	13.2	0.6	13.2	0.0	0.0
	TOTAL			172.5			0.0		13.2		23.7		60.0
Cocinas	Cocina Oficiales	1	9	9.0	1.0	0.9	8.1	0.9	8.1	0.9	8.1	0.9	8.1
	Cocina Tripulantes	1	18.4	18.4	1.0	0.9	16.6	0.9	16.6	0.9	16.6	0.9	16.6
	TOTAL			27.4			24.7		24.7		24.7		24.7
Iluminacion	Iluminacion Interior	1	7.84	7.8	1.0	0.6	4.7	0.6	4.7	0.6	4.7	0.6	4.7
	Iluminacion Exterior	1	2	2.0	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
	TOTAL			9.8			5.1		5.1		5.1		5.1
Equipos de radio y navegacion	Equipos de navegacion	1	3.4	3.4	1.0	0.2	0.7	0.5	1.7	0.5	1.7	0.5	1.7
	Equipos de Comunicaciones	1	5	5.0	1.0	0.2	1.0	0.5	2.5	0.5	2.5	0.5	2.5
	TOTAL			8.4			1.7		4.2		4.2		4.2
Equipos de MM. PP	Gobernador de maquinas	1	0.29	0.3	1.0	0.0	0.0	0.9	0.3	0.9	0.3	0.9	0.3
	Bomba de aceite	1	4.4	4.4	1.0	0.0	0.0	0.7	3.1	0.7	3.1	0.7	3.1
	TOTAL			4.7			0.0		3.3		3.3		3.3

Aires Acondicionados	Compresores y ventiladores A/C	1	23.6	23.6	1.0	0.6	14.2	0.6	14.2	0.6	14.2	0.6	14.2
	TOTAL			23.6			14.2		14.2		14.2		14.2
Circuitos de Tomacorrientes	Tomacorrientes	1	3.2	3.2	1.0	0.6	1.9	0.6	1.9	0.6	1.9	0.6	1.9
	TOTAL			3.2			1.9		1.9		1.9		1.9
Frigorificos	Compresores y ventiladores	1	6.11	6.1	1.0	0.5	3.1	0.5	3.1	0.5	3.1	0.5	3.1
	TOTAL			6.1			3.1		3.1		3.1		3.1
POTENCIA TOTAL				498.2			150.7		169.8		228.3		216.6

BALANCE ELECTRICO PROPUESTO PARA EL B.A.E. "CHIMBORAZO",
220V Y 110V

Equipos o servicios	Consumidor	N°	Pot. Unit. (Kw)	Pot. Ins. (Kw)	Kn	Puerto		Navegando		Salvataje		Remolque	
						Ksr	Pot.	Ksr	Pot.	Ksr	Pot.	Ksr	Pot.
Iluminacion	Iluminacion Interior	1	7.84	7.8	1.0	0.6	4.7	0.6	4.7	0.6	4.7	0.6	4.7
	Iluminacion Exterior	1	2	2.0	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
	TOTAL			9.8			5.1		5.1		5.1		5.1
Equipos de radio y navegacion	Equipos de navegacion	1	3.4	3.4	1.0	0.2	0.7	0.5	1.7	0.5	1.7	0.5	1.7
	Equipos de Comunicaciones	1	5	5.0	1.0	0.2	1.0	0.5	2.5	0.5	2.5	0.5	2.5
	TOTAL			8.4			1.7		4.2		4.2		4.2
Aires Acondicionados	Compresores y ventiladores A/C	1	23.6	23.6	1.0	0.6	14.2	0.6	14.2	0.6	14.2	0.6	14.2
	TOTAL			23.6			14.2		14.2		14.2		14.2
Frigorificos	Compresores y ventiladores	1	6.11	6.1	1.0	0.5	3.1	0.5	3.1	0.5	3.1	0.5	3.1
	TOTAL			6.1			3.1		3.1		3.1		3.1
Circuitos de Tomacorrientes	Tomacorrientes	1	3.2	3.2	1.0	0.6	1.9	0.6	1.9	0.6	1.9	0.6	1.9
	TOTAL			3.2			1.9		1.9		1.9		1.9
POTENCIA TOTAL				51.2			25.9		28.4		28.4		28.4

(A) MOTOR ELÉCTRICO	SI	NO	Obs
INSPECCIÓN FÍSICA DEL EQUIPO			
FUNCIONAN NORMAL			
TIENE REGISTRO DE VIBRACIONES			
CHEQUEO DE TERMINALES			
CHEQUEO DE VOLTAJE PRIMARIO			

CHEQUEO DE AISLAMIENTO			
EXISTE ALGÚN TIPO DE VENTILACIÓN			
TIENEN BUENA VENTILACIÓN			
CHEQUEO DE ATERRIZAJE DE MOTOR			
ESTÁN BIEN ASEGURADO LOS CONDUCTORES			
ESTÁN BIEN ASEGURADOS LOS CONDUCTORES EN LAS CANALETAS			
ESTÁN CODIFICADO LOS CONDUCTORES			
TIENEN ABSORBEDORES DE VIBRACIONES			
TIENE BUENA LA BORNERA			
ESTA CODIFICADO EL MOTOR			

7.- CONCLUSIONES:

- 1) Prueba/Inspección: _____ COMPLETADAS
 _____ NO COMPLETADAS
- 2) Resultados: _____ SATISFACTORIOS
 _____ SATISFACTORIOS CON OBSERVACIONES
 _____ NO SATISFACTORIOS

8.- OBSERVACIÓN.

Nota:

 OFICIAL INGENIERO

 INSPECTOR DINNAV

 DIRECTOR DE INGENIERÍA NAVAL

Notas:

- Marcar lo que corresponda.
- Cualquier observación, defecto, acción a cumplir y “cumplida”, deberá ser registrada en el numeral 8.

ANEXO 6

2 PROTOCOLO DE PRUEBA / INSPECCIÓN

TITULO: GENERADORES

A.- SECCIÓN IDENTIFICATORIA

BUQUE: ____ ACTIV.: **_INSPECCIÓN_** FECHA / INICIO: ____
 CÓDIGO: ____ FECHA/ TERMINO ____
 PROY. ASOCIADO: ____ O.T.I: ____
 EJECUTOR: _____

B.- SECCIÓN PROCEDIMIENTO

1. SISTEMA / EQUIPO:

Generador Principal

2. OBJETIVO:

Verificar correcta instalación y conexión de circuitos y dispositivos de los equipos.

Probar que los generadores accionados por motor diesel cumplan totalmente los requerimientos especificados para carga y control del regulador y que los mecanismos de protección están ajustados correctamente y operativos.

3. TIPO DE PRUEBA/INSPECCIÓN:

Prueba de Aceptación en Puerto (PAP).

Prueba de Aceptación de Navegación (PAN).

4. REFERENCIAS:

TÉCNICAS

MARCA :	VOL. :
SERIE :	AMP :
MACHINE :	RPM :
FRAME :	FASE :
TYPE :	HZ :
RATE :	KVA :
INSULATE CLASE:	

MANTENIMIENTO:

Equipo nuevo

5. PRE REQUISITOS:

Haber realizados las pruebas de recepción en puerto.

PRE REQUISITOS	SI	NO	Obs
Inspección de instalación completa			
Defectos pendientes corregidos			
Prueba de presión de los siguientes circuitos externos completa			
Condición de baterías para el arranque			
Circuito de enfriamiento de agua salada, incluyendo dispositivo de emergencia.			
Circuito de enfriamiento de agua dulce			
Circuito de aceite			
Circuito de combustible			
Circuito de lubricación limpio.- elementos de filtros nuevos			
Inspección eléctrica y ajustes de los siguientes ítems completos			
Ventilación y extracción del compartimiento			
Alumbrado principal y de emergencia del compartimiento			
Generador y excitatriz			
Control remoto del regulador			
Regulador automático de voltaje			
Instrumentación y panel de control			
Circuito de inyección de CO2 totalmente operativo			
Equipos de extensión de incendio, incluyendo auto protectores disponibles.			
Dispositivo de achiques probados			
Filtros de aspiración de agua salada limpio			
Filtros de admisión de aire limpios			
Circuito de enfriamiento de agua dulce cargado con aditivo			

REQUERIMIENTO ESPECIALES

Suficiente termostatos y manómetros para registrar las lecturas indicadas.			
Tanque de combustible con indicador de consumo			
Instrumentación adicional			
Tacómetro manual			
Indicador exacto para medir variaciones bruscos de frecuencias			
Cronómetros.			
Recipiente para muestras de aceite (1 pintor)			
Personal suficiente para operar y tomar registros			

PROCEDIMIENTOS

Prueba individual de generadores			
Los registros se toman el orden indicado			

PARTIDAS EN FRIO

Tiempo que demora el generador en alcanzar la condición de trabajo normal			
Prueba De dispositivo de disparo o parada por sobre velocidad.			

CONTROL DE REGULADOR

Mantiene las RPM constantes			
Dejar funcionando el motor con carga para verificar si alcanza las temperaturas de operaciones normal (10 minutos)			
Para el motor y después de 10 minutos registrar el nivel de aceite			

PRUEBA DE CARGA

2 horas a plena carga			
1 hora a 75% de carga			
½ hora a 50% de carga			
½ hora a 25% de carga			
Verificar que las RPM para cada condición sean las adecuadas			
Las lecturas deben presentarse en las hojas de control			
Después de las pruebas se completa el nivel de aceite			

PRUEBA DE REGULADOR

El cambio momentáneo de velocidad no debe exceder el 2 ½% de RPM cuando se alteran las cargas			
El tiempo de reposición de RPM con un cambio de carga no debe exceder de 4 segundos			
El cambio de velocidad sin carga a plena carga o viceversa no debe exceder el 10% de RPM			

MECANISMO DE PROTECCIÓN	SI	NO	Obs
OTROS LÍMITES			

6.- PROCEDIMIENTO:

Cumplir inspecciones y pruebas de protocolo.

(A) GENERADORES	SI	NO	Obs
INSPECCIÓN FÍSICA DEL EQUIPO			
FUNCIONAN NORMAL			
TIENE REGISTRO DE VIBRACIONES			
CHEQUEO DE TERMINALES			
CHEQUEO DE VOLTAJE PRIMARIO			
CHEQUEO DE AISLAMIENTO			
EXISTE ALGÚN TIPO DE VENTILACIÓN			
TIENEN BUENA VENTILACIÓN			
CHEQUEO DE ATERRIZAJE DE CORAZA			
ESTÁN BIEN ASEGURADO LOS CONDUCTORES			
ESTÁN BIEN ASEGURADOS LOS CONDUCTORES EN LAS CANALETAS.			
ESTÁN CODIFICADO LOS CONDUCTORES			
SE REALIZO TOMA DE VIBRACIÓN			
TIENEN ABSORBEDORES DE VIBRACIONES			
TIENE BUENA LA BORNERA PRINCIPAL			
TIENE BUENA LA BORNERA AUXILIAR			
HAY DIAGRAMAS ELÉCTRICOS			
ESTÁN CODIFICADOS EL GENERADOR			

7.- CONCLUSIONES:

1) Prueba/Inspección: _____ COMPLETADAS
 _____ NO COMPLETADAS

2) Resultados: _____ SATISFACTORIOS
 _____ SATISFACTORIOS CON OBSERVACIONES
 _____ NO SATISFACTORIOS

8.- OBSERVACIÓN.**GENERADOR # 1**

Porcentaje de carga inicial	Porcentaje de carga de cambio	Velocidad estable inicial RPM / Hz	Velocidad máxima momentánea RPM / Hz	Velocidad estable final RPM / Hz	Cambio momentáneo de velocidad RPM / Hz	Cambio continuo de velocidad RPM / Hz
0	+ 25	1880 / 60				
25	+ 25	1880 / 60				
50	+ 25	1880 / 60				
75	+ 25	1880 / 60				

100	- 25	1880 / 60				
75	- 25	1880 / 60				
50	- 25	1880 / 60				
25	- 25	1880 / 60				
0	+ 100	1880 / 60				
100	- 100	1880 / 60				

GENERADOR # 2

Porcentaje de carga inicial	Porcentaje de carga de cambio	Velocidad estable inicial RPM / Hz	Velocidad máxima momentánea RPM / Hz	Velocidad estable final RPM / Hz	Cambio momentáneo de velocidad RPM / Hz	Cambio continuo de velocidad RPM / Hz
0	+ 25	1880 / 60				
25	+ 25	1880 / 60				
50	+ 25	1880 / 60				
75	+ 25	1880 / 60				
100	- 25	1880 / 60				
75	- 25	1880 / 60				
50	- 25	1880 / 60				
25	- 25	1880 / 60				
0	+ 100	1880 / 60				
100	- 100	1880 / 60				

Mecanismos de protección

Registrar las inspecciones de los siguientes ítems con el motor en la condición caliente.

		3 Real	
		G-1	G-2
Trip de sobre velocidad operado a	Rpm		
Trip de baja velocidad operado a	Rpm		
Alarma de baja presión de aceite operada a	Psi		
Alarma de alta temperatura de aceite operada a	°F		
Trip de baja presión de aceite operado a	Psi		
Trip de alta temperatura de aceite operado a	°F		
Alarma de alta temperatura de agua	°F		
Trip de alta temperatura de agua	°F		

NOTA SOBRE LOS VALORES DE LAS PRUEBAS

Límites de temperaturas de descarga		
a) entre dos cilindros cualesquiera		
b) entre dos entradas del turbo cargador cualesquiera		

Otros límites

En ausencia de prueba original, el manual dará los límites de trabajo para la mayoría de los parámetros.

Consultar el manual pertinente para los ajustes de las alarmas y mecanismos de parada.

VALORES TÍPICOS A PLENA CARGA

GENERADOR # 1

HORA				
Carga (Especificada)	KW			
Carga (Real)	KW			
Velocidad Eje Cigüeñal	RPM			
Posición de la cremallera de petróleo	min			
Entrada de agua salada al Intercambiador de calor	°F			
Salida agua salada del intercambiador de calor	°F			
Entrada refrigerante intercambiador de calor	°F			
Salida refrigerante intercambiador de calor	°F			
Entrada aceite al enfriador	°F			
Salida aceite del enfriador	°F			
Entrada agua al enfriador	°F			
Salida de agua del enfriador	°F			
Entrada de agua al enfriador de aire	°F			
Salida de agua del enfriador de aire	°F			
Consumo de combustible	GPH			
Pérdida de aceite	Litros			

PRUEBA DE ACEPTACIÓN EN PUERTO DE GENERADORES DIESEL

GENERADOR # 2

Las lecturas deben tomarse cada 1/2 hora.

HORA						
Carga (Especificada)	KW	17	19	21	23	24
Carga (Real)	KW					
Velocidad Eje Cigüeñal	RPM					
Posición de la cremallera de petróleo	min					
Entrada de agua salada al Intercambiador de calor	°F					

Salida agua salada del intercambiador de calor	°F					
Entrada refrigerante intercambiador de calor	°F					
Salida refrigerante intercambiador de calor	°F					
Entrada aceite al enfriador	°F					
Salida aceite del enfriador	°F					
Entrada agua al enfriador	°F					
Salida de agua del enfriador	°F					
Entrada de agua al enfriador de aire	°F					
Salida de agua del enfriador de aire	°F					
Consumo de combustible	GPH					
Pérdida de aceite	Litros					

11.- CONCLUSIONES:

- 1) Prueba/Inspección: _____ COMPLETADAS
 _____ NO COMPLETADAS
- 2) Resultados: _____ SATISFACTORIOS
 _____ SATISFACTORIOS CON OBSERVACIONES
 _____ NO SATISFACTORIOS

DATOS PRUEBA ACEPTACIÓN GENERADOR # 1

Tiempo		10 mint.	30 mint.	30 mint.	1 hr.	2 hr.
RPM		1800	1800	1800	1800	1800
Carga en KW.						
Presión de aceite. PSI						
Temperatura aceite antes enfriador						
Temperatura aceite después enfriador						
Temperatura agua dulce °F						
Presión de agua dulce						
Presión combustible						
Presión de agua salada						
Temperatura turbo						
Temperatura turbo						
Temperatura Descarga Gases	A – 1					
	A – 2					
	A – 3					
	B – 1					
	B – 2					
	B – 3					

OBSERVACIONES:

-
-

DATOS PRUEBA ACEPTACIÓN GENERADOR # 2

Tiempo		10 mint.	30 mint.	30mint .	1 hr.	2 hr.
RPM		1800	1800	1800	1800	1800
Carga en KW.						
Presión de aceite.						
Temperatura aceite antes enfriador						
Temperatura aceite después enfriador						
Temperatura agua dulce °F						
Presión de agua dulce						
Presión combustible						
Presión de agua salada						
Temperatura turbo						
Temperatura turbo						
Temperatura Descarga Gases	A – 1					
	A – 2					
	A – 3					
	B – 1					
	B – 2					
	B – 3					

OBSERVACIONES:

-
-

 OFICIAL INGENIERO

 INSPECTOR DINNAV

 DIRECTOR DE INGENIERÍA NAVAL
Notas:

- Marcar lo que corresponda.
- Cualquier observación, defecto, acción a cumplir y “cumplida”, deberá ser registrada en el numeral 8.

ANEXO 7

3 PROTOCOLO DE PRUEBA / INSPECCIÓN

TITULO: TRANSFORMADORES

A.- SECCIÓN IDENTIFICATORIA

BUQUE: _____ ACTIV.: **INSPECCIÓN** FECHA / INICIÓ: _____
 CÓDIGO: _____ FECHA/ TERMINO _____
 PROY. ASOCIADO: _____ O.T.I: _____
 EJECUTOR: _____

B.- SECCIÓN PROCEDIMIENTO

1.- SISTEMA/EQUIPO:

Transformadores

2.- PROPÓSITO:

Verificar correcta instalación y conexión de circuitos y dispositivos de seguridad.

3.- TIPO DE PRUEBA/INSPECCIÓN:

Prueba de Aceptación en Puerto (PAP).
 Prueba de Aceptación de Navegación (PAN).

4.- REFERENCIAS:

TÉCNICAS

440 a 220 VAC

440 a 115 VAC

MANTENIMIENTO:

Según plan de mantenimiento de equipo.

5.- PRE REQUISITOS:

Haber realizados las pruebas de recepción en puerto, (toma de aislamiento).

6.- PROCEDIMIENTO:

Cumplir inspecciones y pruebas de protocolo.

(A) TRANSFORMADORES	SI	NO	Obs
INSPECCIÓN FÍSICA DE LOS TRANSFORMADORES			

FUNCIONAN NORMAL			
CHEQUEO DE TERMINALES			
CHEQUEO DE VOLTAJE PRIMARIO Y SECUNDARIO			
CHEQUEO DE AISLAMIENTO			
TIENEN REGISTRO DE TOMA DE AISLAMIENTO			
EXISTE ALGÚN TIPO DE VENTILACIÓN			
TIENEN BUENA VENTILACIÓN			
CHEQUEO DE ATERRIZAJE DE CONEXIONES			
ESTÁN BIEN ASEGURADO LOS CONDUCTORES			
ESTÁN BIEN ASEGURADOS LOS CONDUCTORES EN LAS CANALETAS			
ESTÁN CODIFICADO LOS CONDUCTORES			
TIENEN ABSORVEDORES DE VIBRACIONES			
ESTÁN CODIFICADOS LOS TRANSFORMADORES			

7.- CONCLUSIONES:

- 1) Prueba/Inspección: _____ COMPLETADAS
 _____ NO COMPLETADAS
- 2) Resultados: _____ SATISFACTORIOS
 _____ SATISFACTORIOS CON OBSERVACIONES
 _____ NO SATISFACTORIOS

8.- OBSERVACIÓN

 OFICIAL INGENIERO

 INSPECTOR DINNAV

 DIRECTOR DE INGENIERÍA NAVAL

Notas:

- Marcar lo que corresponda.
- Cualquier observación, defecto, acción a cumplir y “cumplida”, deberá ser registrada en el numeral 8.

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

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