ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Evaluación De Las Condiciones Actuales De Operación Y Planteamiento De Mejoras Al Sistema De Climatización De Un Buque Militar"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Fernando Stalin Anchundia Valencia

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005

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

A mis padres Stalin y Leonor, por haberme dado la vida, por su apoyo incondicional durante mis estudios y por ser mi fuente de inspiración.

A mi hermanita Jazmín y a mi hermanito Alexander, por ser mi alegría y razón de superación.

A Yicel, por estar junto a mí en los buenos y malos momentos y por ser un apoyo incondicional desde el primer momento que la conocí.

Al Ing. Ernesto Martínez. Director de Tesis, por su invaluable ayuda en la realización de este trabajo.

Al Ing. Ángel Vargas por haberme extendido su mano en uno de los momentos más difíciles de mi vida.

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo.

D E D I C A T O R I A

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A YICEL

A MI ABUELITA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Donoso P.
VOCAL

Ing. Jorge Duque R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Fernando S. Anchundia V.

RESUMEN

Un buque militar posee de manera general 4 capacidades las cuales son: Navegar, Sensar, Controlar y Combatir. Para poder realizar de manera eficiente cada una de estas capacidades el buque cuenta con una serie de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que trabajan en conjunto para poder llevar a cabo las operaciones para los cuales fueron diseñados. Entre los principales sistemas tenemos: El sistema de propulsión, el sistema de generación, el sistema de climatización y el sistema de aire comprimido, de los cuales se ha escogido al sistema de climatización para ser objeto de estudio de esta tesis.

El sistema de climatización data del año 80, tiempo en el cual a estado en funcionamiento tanto en navegación como en puerto los 365 días del año dando origen a que se convierta en la actualidad en uno de los sistemas más utilizados en el interior del buque. Debido a esto y aprovechando que dicho buque entrará en proceso de mantenimiento general en 12 meses, se propuso realizar un estudio de este sistema para determinar su condición actual.

Los objetivos principales de esta tesis son: Determinar la continuidad, reparación o cambio del o de los equipos que forman parte del sistema de climatización. Determinar las mejoras necesarias en caso de que se concluya

la continuidad o reparación de los equipos para de esta manera poder alargar la vida útil de los mismos. Y dar alternativas de solución en caso se concluya cambiar parcial o totalmente el sistema.

La metodología de análisis que se empleará para la evaluación de los diferentes equipos estará basada en inspecciones externas, inspecciones internas, mediciones de espesores por método de ultrasonido, evaluación de los diferentes instrumentos de medición existentes en el sistema, evaluación de parámetros de funcionamiento de los diferentes equipos, los mismos que serán recopilados cuando el buque esté navegando, como cuando se encuentre en puerto, también se realizará un análisis químico a los dos tipos de agua existentes en el sistema para determinar las condiciones con que estas entran al mismo.

Una vez realizada la inspección a cada uno de los equipos y luego de procesar toda la información obtenida, se analizarán los resultados comparándolos con los parámetros recomendados por el fabricante o según normas establecidas de acuerdo al requerimiento de los mismos, para de esta manera determinar la continuidad, reparación o cambio, tal y como se estableció en los objetivos principales de la tesis.

Finalmente se darán las conclusiones y recomendaciones necesarias para mejorar el funcionamiento del sistema y de esta manera alargar la vida útil de los equipos.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN……..II
ÍNDICE GENERAL……V
ABREVIATURAS……VIII
SIMBOLOGÍA……IX
ÍNDICE DE FIGURAS……X
ÍNDICE DE TABLAS……..……XIII
ÍNDICE DE PLANOS…….XVIII
ANTECEDENTES……..1

CAPITULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS MECÁNICOS DEL BUQUE……..…3

1.1 Sistema de propulsión……...6
1.2 Sistema de Generación……9
1.3 Sistema de Climatización…….……...…...11
1.4 Sistema de Aire Comprimido……...….14

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES……17
2.1 Fundamentos Teóricos……..……17
2.1.1 Ciclo de Refrigeración……..……18
2.1.2 Tipos de Refrigerantes……..……...…21
2.2 Tipos de Sistemas de Climatización……23
2.2.1 Sistema Todo-Aire……..…..24
2.2.2 Sistema Agua-Aire……..…….…….…...33
2.2.3 Sistema de Agua y de Expansión Directa…….....……..35

2.3 Sistema de Climatización Instalado en el Buque……...38
2.3.1 Circuito del Refrigerante……41
2.3.2 Circuito de Agua Refrigerada……...43
2.3.3 Circuito de Agua de Mar……44
2.3.4 Características Técnicas del Sistema Climatización Instalado...45

CAPÍTULO 3
3. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN……60
3.1 Selección de Equipos para la Inspección……60
3.2 Metodología de Inspección para los Equipos Seleccionados……..63
3.2.1 Metodología de Inspección para los Compresores……..63
3.2.2 Metodología de Inspección para los Condensadores y Evaporadores……68
3.2.3 Metodología de Inspección para las Bombas de Agua……72
3.2.4 Metodología de Inspección para los Motores Eléctricos……..75
3.2.5 Metodología de Inspección para las Tuberías……...88
3.3 Metodología de Análisis para los Fluidos presentes en el Sistema..106
3.3.1 Metodología de Análisis para el Freón 22……106
3.3.2 Metodología de Análisis para el Agua de Mar y Agua Refrigerada……..110

CAPÍTULO 4
4. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS……127
4.1 Inspección y Análisis de Resultados de Equipos…….....127
4.1.1 Compresores…….129
4.1.2 Condensadores y Evaporadores……...138
4.1.3 Bombas de Agua……..144
4.1.4 Motores Eléctricos……148
4.1.5 Tuberías……158

4.2 Análisis de Fluidos Presentes en el Sistema……171
4.2.1 Resultados obtenidos del Freón 22……..171
4.2.2 Resultados obtenidos del Agua de Mar y Agua Refrigerada…173

CAPÍTULO 5
5. PLANTEAMIENTO DE POSIBLES MEJORAS AL SISTEMA……178

CAPÍTULO 6
6. ANÁLISIS ECONÓMICO……..205

CAPÍTULO 7
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……212

APÉNDICES.

BIBLIOGRAFÍA.

ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
BASUIL	Base Naval de Guayaquil.
CFC	Clorofluorocarburos
CFM	Pies cúbicos por minuto
COV	Coeficiente de Variación
CTP	Perfil de espesores crítico
FCA	Futura corrosión admitida
FFS	Fitness For Service
HCFC	Hidroclorofluorocarburo
HFC	Hidrofluorocarburo
LSI	Índice de Saturación de Langelier
MAWP	Máxima Presión de Trabajo Permitida
PAO	Potencial de Agotamiento del Ozono
POE	Poliolesteres
RPM	Revoluciones por minuto
RSI	Índice de Saturación de Ryznar

SIMBOLOGÍA

C_{rate}	Tasa de Corrosión
Cos θ	Factor de Potencia
D	Diámetro externo de tubería
d	Diámetro interno de tubería
E	Eficiencia de la Soldadura
f	Frecuencia
I	Corriente de línea
K	Coeficiente de Resistencia de Aislamiento
Nop	No operativo
η	Velocidad del eje motor
Op	Operativo
p	Número de polos
P'	Potencia del entrehierro
$P^{'}$	Potencia eléctrica absorbida
$P^{''}$	Pérdida de cobre
P_c	Potencia Convertida
P_r	Pérdidas rotacionales
P_m	Potencia mecánica o de salida
R	Rendimiento
R_e	Resistencia de devanados del estator
R_{life}	Vida restante
R_t	Radio de espesor restante
S	Esfuerzo admisible del material de trabajo
s	Deslizamiento
t	Espesor de diseño menos dos veces la pérdida por corrosión
T	Años
t_{mm}	Mínimo espesor medido
t_{min}	Mínimo espesor requerido
t_{am}	Espesor promedio medido
ω_s	Velocidad Sincrónica

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Diagrama de bloques de la iteración de los principales sistemas mecánicos del buque……..…5
Figura 1.2 Diagrama de Bloques del Sistema de Propulsión de un Buque…….8
Figura 1.3 Diagrama de Bloques del Sistema de Generación de un Buque……10
Figura 1.4 Diagrama de Bloques del Sistema de Climatización de un Buque……..…13
Figura 1.5 Diagrama de Bloques del Sistema de Aire Comprimido de un Buque…….……16
Figura 2.1 Diagrama Presión-Entalpía para el Ciclo de Refrigeración por Compresión……..19
Figura 2.2 Diagrama del Sistema de Climatización Instalado en el Buque……..……39
Figura 3.1 Diagrama de Instalación del Multímetro……..77
Figura 3.2 Diagrama de Instalación del Meger…….79
Figura 3.3 Gráfico para hallar el coeficiente K……..80
Figura 3.4 Analizador de Potencia ION 7600……83
Figura 3.5 Modelo para la toma de datos de la velocidad del motor eléctrico……..…….85
Figura 3.6 Medidor de espesores de ultrasonido……..94

Figura 4.1 Monitoreo de presiones al compresor # 1 en muelle……..130
Figura 4.2 Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para compresor # 1……151
Figura 4.3 Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para compresor # 2… 151
Figura 4.4 Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para bomba de agua refrigerada # 1 y # 2……..152
Figura 4.5 Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para bomba de agua salada……..…..152
Figura 4.6 Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico del compresor # 1.....155
Figura 4.7 Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico del compresor # 2……155
Figura 4.8 Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico de las bombas de agua refrigerada # 1 y # 2……156
Figura 4.9 Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico de la bomba de agua de mar..……156
Figura 4.10 Fallas en los cordones de soldadura debido a corrosión en tubería de agua de mar……165
Figura 4.11 Bases de ánodos de zinc vacías……..165
Figura 4.12 Corrosión en alrededores de base porta-ánodos……..166
Figura 4.13 Depósitos orgánicos encontrados en tubería de agua de mar……166
Figura 4.14 Falta de aislamiento térmico en tubería de agua refrigerada……...167
Figura 4.15 Inicio de corrosión localizada en tubería de agua refrigerada desmontada……167

Figura 5.1 Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2001……..……..179
Figura 5.2 Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2002…….180
Figura 5.3 Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2003…….180
Figura 5.4 Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2004…….181
Figura 5.5 Comparación de la Capacidad de Refrigeración entre el R417A y R22……..189
Figura 5.6 Comparación del Consumo Energético entre el R417A y R22……..189
Figura 6.1 Costo de Mantenimiento por Capacidades del Buque……206
Figura 6.2 Costo de Mantenimiento por Tipo de Sistema Existente en el Buque……..……..207
Figura 6.3 Costo de Mantenimiento de los Principales Sistemas de Ingeniería……208
Figura 6.4 Porcentaje Acumulado de Costos de Mantenimiento de los Principales Sistemas de Ingeniería……...209

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Descripción de elementos y equipos del sistema de climatización……40
Tabla 2 Componentes Principales del Sistema de Climatización……..41
Tabla 3 Características Físicas del Refrigerante……..47
Tabla 4 Características técnicas del Compresor……..47
Tabla 5 Características técnicas del motor eléctrico del compresor…….48
Tabla 6 Características técnicas del condensador……...48
Tabla 7 Características técnicas de la válvula solenoide……49
Tabla 8 Características técnicas de las válvulas de expansión termostáticas……...49
Tabla 9 Características técnicas del evaporador……..…49
Tabla 10 Características técnicas de la bomba de agua refrigerada……50
Tabla 11 Características técnicas del motor eléctrico (B.A.R.)……..51
Tabla 12 Características técnicas de las unidades manejadoras de aire….51
Tabla 13 Características técnicas de las tuberías de transporte de agua refrigerada……52
Tabla 14 Características técnicas de la bomba de agua de mar……...53
Tabla 15 Características técnicas del motor eléctrico (B.A.M.)……..53
Tabla 16 Instrumentación de control……...54
Tabla 17 Características técnicas de las tuberías de transporte de agua de mar……...55

Tabla 18 Áreas de servicio de los acondicionadores……..57
Tabla 19 Características técnicas de los acondicionadores centralizados……..58
Tabla 20 Características técnicas de los acondicionadores locales……..58
Tabla 21 Características técnicas de los mobiletos integradores……..58
Tabla 22 Equipos principales seleccionados para la evaluación de las condiciones actuales de operación…….….62
Tabla 23 Rango de presiones de succión y descarga de freón permitidos en el compresor……..……65
Tabla 24 Rango de presión de aceite permitido en el compresor……..66
Tabla 25 Temperatura de descarga de freón permitida en el compresor….66
Tabla 26 Factor “C”……...67
Tabla 27 Rango de temperaturas de entrada y salida permitidas en los condensadores y evaporadores……...70
Tabla 28 Presión de descarga requerida para las bombas…….74
Tabla 29 Mínima Resistencia de Aislamiento Recomendada (Megohms)……..76
Tabla 30 Nomenclatura utilizada en la clasificación de seguridad del Estándar 34 de la ASHRAE……108
Tabla 31 Potencial de agotamiento de ozono de diferentes refrigerantes……..109
Tabla 32 Predicción de las Características del Agua por el Índice de Saturación de Langelier……..123
Tabla 33 Valores numéricos para reemplazar en ecuación y encontrar PHs de saturación para el agua…….……124
Tabla 34 Predicción de la tendencia del agua usando el índice de estabilidad de Ryznar……..125
Tabla 35 Resultados obtenidos en la inspección a los equipos secundarios……...128
Tabla 36 Inspección de los controles de seguridad de los

compresores #1 y #2……..……129
Tabla 37 Relación de compresión, presiones de succión y descarga para compresor # 1 (Valores tomados en muelle)……..131
Tabla 38 Relación de compresión, presiones de succión y descarga para compresor # 2 (Valores tomados en muelle)…… ……....131
Tabla 39 Presión de aceite del compresor # 1 (Valores tomados en muelle)…… ……132
Tabla 40 Presión de aceite del compresor # 2 (Valores tomados en muelle)……133
Tabla 41 Inspección de temperatura de descarga de Freón 22 en compresor # 1……...134
Tabla 42 Inspección de temperatura de descarga de Freón 22 en compresor # 2……...134
Tabla 43 Inspección de los equipos de control de capacidad de los compresores # 1 y # 2……136
Tabla 44 Tiempo de servicio de los compresores # 1 y # 2……..136
Tabla 45 Inspección de los controles de seguridad de los evaporadores #1 y #2……..……139
Tabla 46 Temperaturas de entrada y salida del condensador # 1 (valores tomados en muelle)…… ……140
Tabla 47 Temperaturas de entrada y salida del evaporador # 1 (valores tomados en muelle)…… ……141
Tabla 48 Tiempo de servicio de los condensadores y evaporadores # 1 y # 2……...142
Tabla 49 Inspección de los controles de seguridad de las bombas de agua……..……144
Tabla 50 Presión de descarga de la bomba de agua refrigerada # 1 (valores tomados en muelle)…… ……145
Tabla 51 Presión de descarga de la bomba de agua de mar (valores tomados en muelle)…… ……146

Tabla 52 Tiempo de servicio de las bombas de agua de mar……..147
Tabla 53 Parámetros calculados o medidos para la evaluación del estado del material de los motores……150
Tabla 54 Parámetros calculados o medidos para la evaluación del rendimiento de los motores eléctricos……..154
Tabla 55 Espesores tomados a secciones de tuberías de transporte de agua de mar instalada en el buque……159
Tabla 56 Espesores tomados a sección de tubería de transporte de agua de mar desmontada……...159
Tabla 57 Resultados obtenidos en inspección de tuberías de agua de mar……..160
Tabla 58 Espesores tomados a secciones de tuberías de transporte de agua refrigerada instalada en el buque……161
Tabla 59 Espesores tomados a sección de tubería de transporte de agua refrigerada desmontada……..161
Tabla 60 Resultados obtenidos en inspección de tuberías de agua refrigerada……162
Tabla 61 Resultados obtenidos en los cálculos de corrosión y vida restante……..163
Tabla 62 Resultados obtenidos en los cálculos de máxima presión de trabajo……..……164
Tabla 63 Resultado de análisis químico a las agua de mar y de refrigeración……...174
Tabla 64 Resultados obtenidos de la predicción a la formación de incrustaciones y corrosión……...174
Tabla 65 Relación de costo en tubería metálica fabricada en taller……192
Tabla 66 Electrodos comúnmente usados para diversos tipos de aceros inoxidables austeníticos……..……..194
Tabla 67 Cantidad de agua utilizada en el sistema de agua refrigerada del buque……196

Tabla 68 Tabla de dosificación del Inhibidor de corrosión……198
Tabla 69 Características del Aislamiento Térmico……199
Tabla 70 Cantidad de aislamiento necesario para tuberías de diferentes diámetros……...200
Tabla 71 Lista de instrumentos que deben ser reemplazados en el sistema……...202
Tabla 72 Costos de instrumentación, equipos y accesorios……210

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Sistema de Climatización Instalado en el Buque.

ANTECEDENTES

Los sistemas de climatización son una necesidad para la buena operación de todas las unidades navales en general. Los beneficios de la climatización son, entre otros, la mejora de la eficiencia en los equipos industriales y electrónicos, brindar confort y salud a toda la tripulación del buque, mejorando así cada uno de los procesos asignados de acuerdo a su función. De esta forma, no se concibe la inestabilidad operativa de algún sistema de acondicionamiento climático.

El presente trabajo trata sobre la “Evaluación de las Condiciones Actuales de Operación y Planteamiento de Mejoras al Sistema de Climatización de un Buque Militar”, con lo cual se desea cumplir con los siguientes objetivos principales:

- Determinar la continuidad, reparación o cambio del o de los equipos que forman parte del sistema de climatización.

- Determinar las mejoras necesarias en caso de que se concluya la continuidad o reparación de los equipos para de esta manera poder alargar la vida útil de los mismos.

En el proyecto se procede primeramente a seleccionar los principales equipos dentro del sistema, luego a determinar y describir la metodología de inspección más adecuada para de esta manera realizar la inspección a los equipos ya seleccionados y determinar su condición actual dentro del sistema y por ende dentro del buque. También se presentan las mejoras necesarias que deberán ser aplicadas para alargar la vida útil del sistema y sus equipos. Finalmente se realiza un análisis económico entre los costos de mantenimiento generados por el sistema en un determinado año y el costo que se generará con la implementación de las mejoras propuestas con la intensión de reducir dichos costos de mantenimiento en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ASHRAE,** "CD ASHRAE HANDBOOK", 1998; Fundamentals, Equipment, applications, Refrigeration.

2. **CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY,** "Handbook of Air Conditioning System Design" (Mc Graw-Hill, New York, 1980, 1era. Edición)

3. **MANUAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL BUQUE,** "Impianto Condizionamento Estrazione e Ventilazione", Volumen 1 y 2, 1980.

4. **BURGER H. JENING Y SAMUEL R. LEWIS,** "Aire Acondicionado y Refrigeración" (Editorial Continental, 1991).

5. **HOWARD F. RASE,** "Diseño de Tuberías para Plantas de Proceso" (Editorial Blume, 1990).

6. **AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE,** "Piping Inspection Code, API 570", 2001.

7. **AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE,** "Fitness For Service, API 579", 2000.

8. **CARRIER CORPORATION,** "Open- Drive Compressors" 2004.

9. **PABLO COFRÉ GUERRA,** Marzo 2000, Corrosión en Aceros Inoxidables, http://www.fastpack.cl.

10. **ABB**, Manual para motores eléctricos, 2000.

11. **AGA,** Manual de Bolsillo de Soldadura.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS MECÁNICOS DEL BUQUE.

Este capítulo tiene como objetivos. Primero, dar a conocer la importancia que tiene dentro del buque el sistema de climatización, el mismo que ha sido escogido como objeto de estudio de esta tesis, por lo cual se elaboró

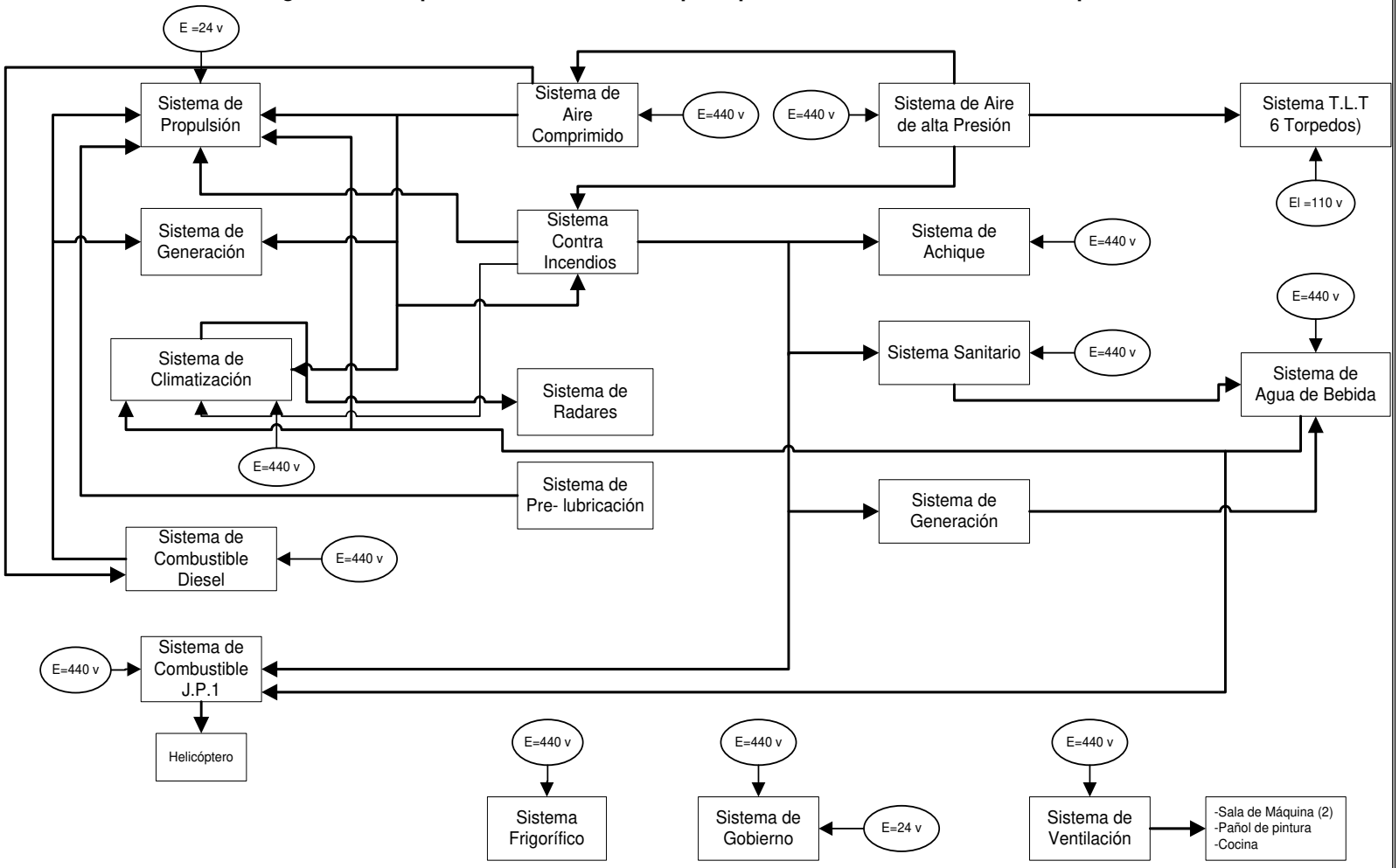
un diagrama de bloques (ver Fig. 1.1) en donde se encuentran los diferentes sistemas del buque, tanto principales como auxiliares y su iteración entre ellos. Y segundo dar una descripción general de los sistemas de propulsión, generación, climatización y aire comprimido, los cuales son considerados como los principales sistemas mecánicos instalados en el buque. Para realizar dicha descripción se elaboraron diagramas de bloques en donde se muestran cada uno de los equipos que componen los diferentes sistemas y su conexión entre ellos.

A continuación se presenta la descripción de los sistemas antes mencionados, lo cual ayudará a conocer y a entender de mejor manera su funcionamiento dentro del buque. Cabe aclarar que los siguientes capítulos estarán destinados a conocer detalladamente sólo al sistema de climatización y su respectiva evaluación.

Figura 1.1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Diagrama de bloques de la iteración de los principales sistemas mecánicos del buque.



1.1 Sistema de Propulsión.

El sistema de propulsión instalado en el buque consiste del equipo necesario para convertir la potencia rotativa de salida de las máquinas de propulsión principales en potencia de empuje, adecuada para impulsar el buque; y además de los medios para que este empuje se transmita al casco de la embarcación.

A partir de la definición de sistema propulsor, se deduce que este debe cumplir con los siguientes objetivos:

1. Transmitir la potencia de salida de las máquinas principales al propulsor.
2. Soportar el propulsor.
3. Transmitir el empuje desarrollado por el propulsor al casco del buque.
4. Soportar con seguridad cargas de operación transientes (maniobras de alta velocidad, reversos rápidos, etc.)
5. Estar libre de modos de vibración peligrosos.
6. Proveer una operación confiable a través del rango operativo.

El sistema de propulsión está constituido por 4 grupos independientes ubicados en dos compartimentos de la nave. La Figura 1.2 muestra un diagrama de bloques en donde constan los principales elementos que

constituyen este sistema, así como su iteración entre ellos y con otros sistemas del buque que hacen posible su correcto funcionamiento.

Cada motor de combustión interna a diesel es unido a su correspondiente reductor de velocidad a través de un acople torsio-elástico, el cual provee una potencia continua de 20 600 CV. La velocidad de rotación generada por el reductor es transmitida a la hélice por medio de un eje, el cual debe estar apoyado sobre cojinetes o descansos para evitar problemas de vibración.

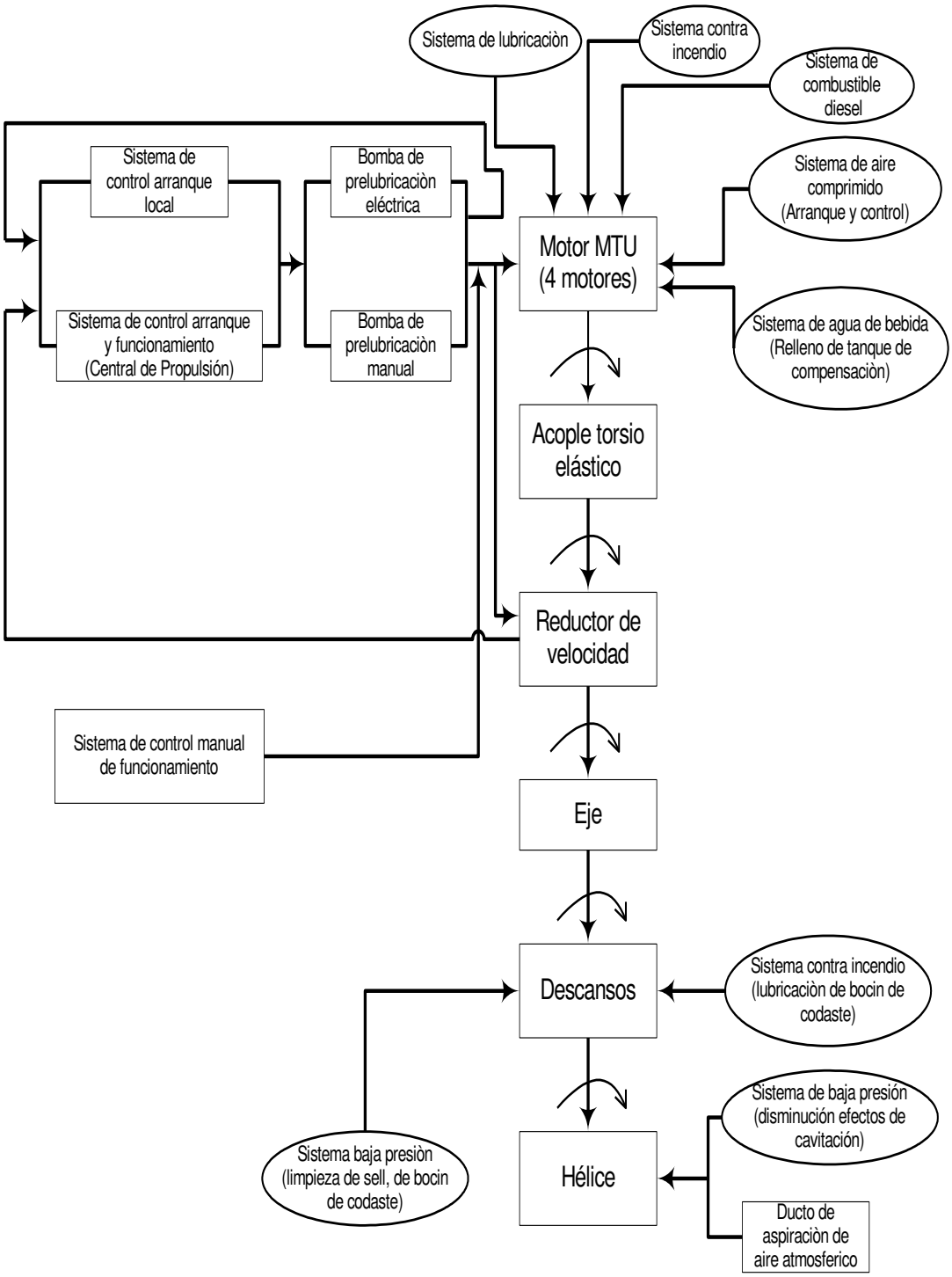
El sistema de propulsión es controlado por un sistema de automatización ubicado en la central de propulsión del buque o también puede ser controlado de manera local con la instrumentación instalada en el cuarto de máquinas.

El sistema de propulsión asegura las siguientes prestaciones:

Velocidad a las pruebas de máxima potencia ……37 Nudos.

Velocidad máxima continua……..34 Nudos.

Figura 1.2
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Diagrama de Bloques del Sistema de Propulsión de un Buque.



1.2 Sistema de Generación.

El sistema de generación instalado en el buque consiste del equipo necesario para convertir la potencia rotativa del motor de combustión interna a energía eléctrica dada por el alternador. La Figura 1.3 muestra un diagrama de bloques en donde constan todos los elementos que constituyen este sistema, así como su iteración entre ellos.

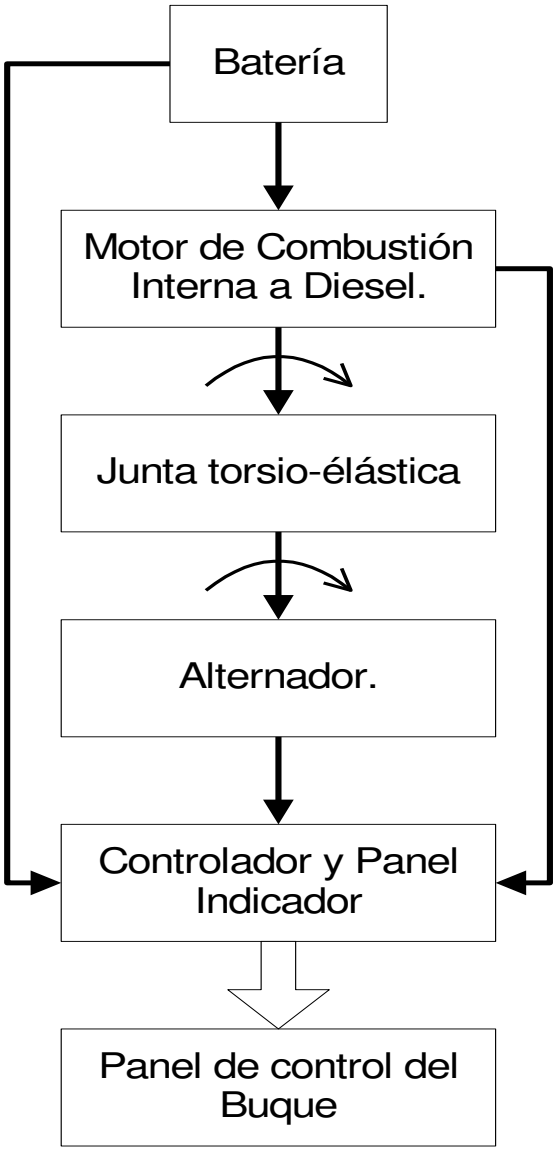
El motor de combustión interna a Diesel es encendido con la batería, y a través de la junta elástica hace posible el movimiento del rotor del alternador, dando un voltaje de salida de 115 V / 60 Hz. Al estar el motor conectado al alternador por medio de una junta elástica hace al sistema compacto, eliminando daños muchas veces inevitables causados por la mala alineación entre el motor y el alternador.

El sistema de generación es controlado en su totalidad por el comando central y el panel indicador.

Las condiciones ambientales de funcionamiento son las siguientes:

Temperatura del agua de mar a la entrada del motor= 30ºC
Humedad relativa del aire= 85%
Temperatura ambiente= 45 ºC
Presión Barométrica= 760 mm. Hg

Figura 1.3
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Diagrama de Bloques del Sistema de Generación de un Buque.



1.3 Sistema de Climatización.

El sistema de climatización instalado en el buque consiste del equipo necesario para brindar confort y salud a toda la tripulación del buque mejorando así, cada uno de los procesos asignados de acuerdo a su función. La Figura 1.4 muestra un diagrama de bloques en donde constan todos los elementos que constituyen este sistema, así como su iteración entre ellos.

El buque esta dotado con una instalación de acondicionamiento integral (veraniego e invernal) extenso a todas las zonas pobladas del mismo. Los locales acondicionados son servidos por circulación de aire forzado el cual intercambia calor con el agua refrigerada, la misma que es proporcionada por la unidad enfriadora de agua, la cual constituye la parte esencial de este sistema, dicha agua refrigerada es transportada por medio de tuberías a todas las zonas donde se necesite climatizar.

La instalación es dimensionada para realizar las siguientes condiciones:

Verano:

En los locales poblados y operativos:

Temperatura externa…….+ 35ºC con 70% H.R.

Temperatura interna……+ 27 ºC con 40 – 50% H.R.

Depósitos de Municiones:

Temperatura externa……+ 35 ºC con 70% H.R.

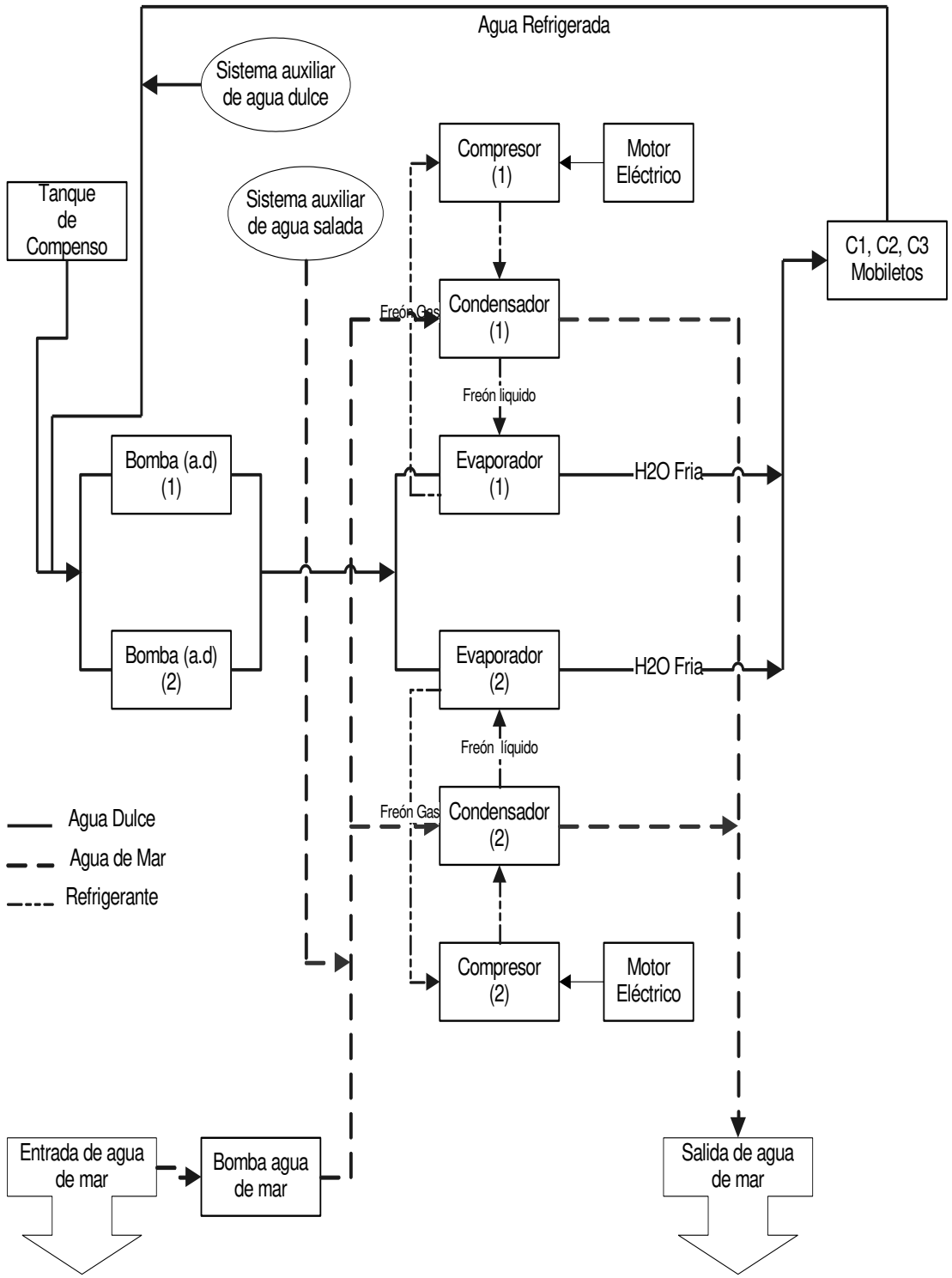
Temperatura interna ……+ 23 ºC con 40 – 50% H.R

Invierno:

Temperatura externa……..+ 3 ºC

Temperatura interna……...+ 20 ºC

Figura 1.4
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Diagrama de Bloques del Sistema de Climatización de un Buque.



1.4 Sistema de Aire Comprimido.

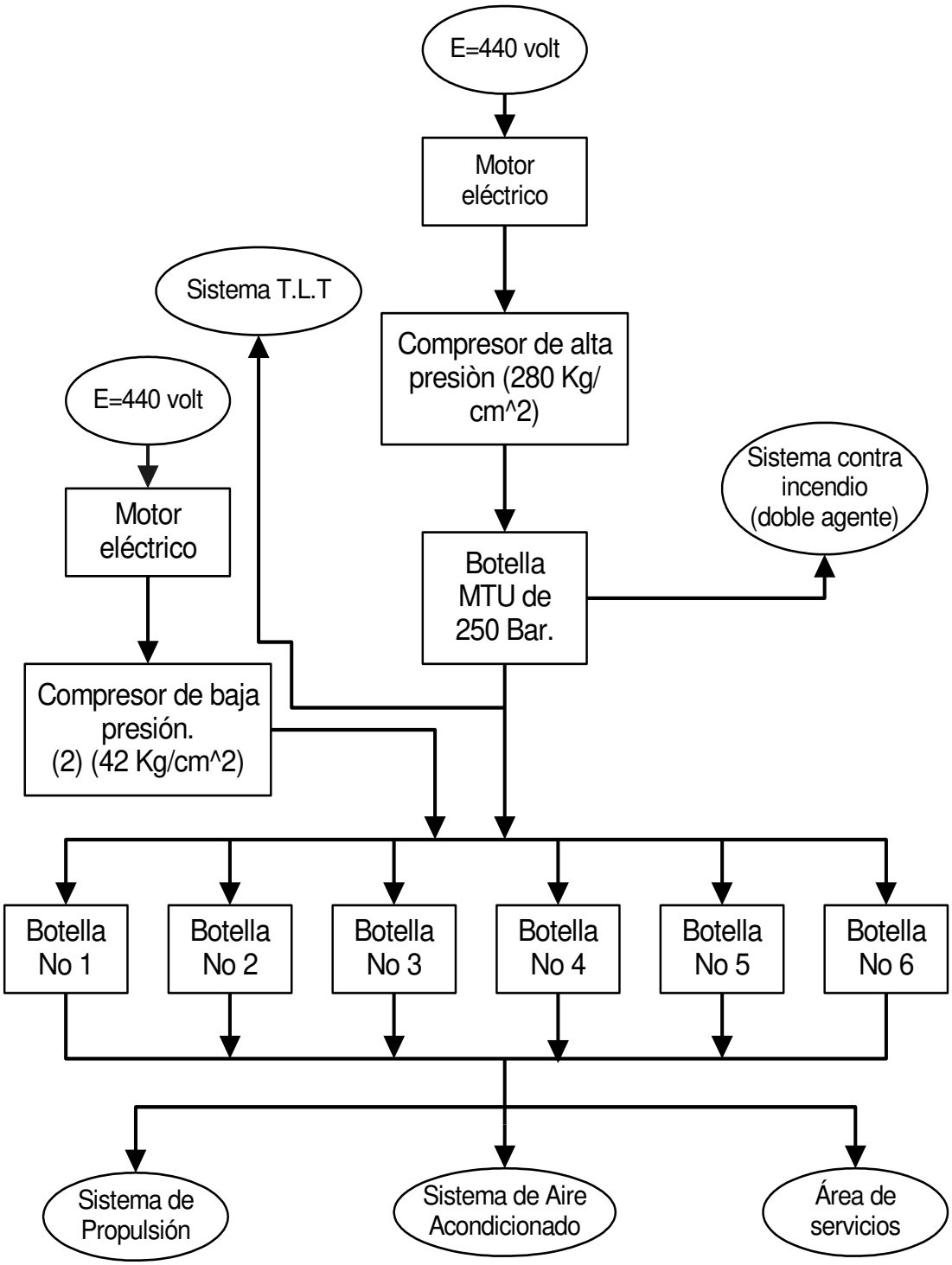
El sistema de aire comprimido instalado en el buque consiste del equipo necesario para suministrar aire con bajo porcentaje de humedad a los diferentes sistemas que necesitan de éste para un correcto funcionamiento.

El sistema de aire comprimido está dividido en dos partes:
Sistema de alta presión.
Sistema de baja presión.

El sistema de aire comprimido de alta presión en la actualidad está constituido por un electro-compresor de aire de alta presión, enfriado por aire, a tres estados de compresión, adaptado al servicio intermitente, el cual produce aire a una presión de 280 Kg / cm^2. El aire producido es almacenado en dos botellas: La primera con una capacidad de 100 litros con una presión de 230 Kg / cm^2 y la segunda con una presión de 50 litros con una presión de 230 Kg / cm^2. Tales botellas por medio de reductores de presión de 230 Kg / cm^2 a 150 Kg /cm^2, alimentan a sistemas tales como el sistema contra-incendio de doble agente (Twin-Agent) y las instalaciones lanzatorpedos. El sistema de armas también es alimentado con aire comprimido a un presión de salida de 30 y 7 Kg / cm^2 mediante el uso de válvulas reductoras.

El sistema de aire comprimido de baja presión está formado por un par de electro-compresores, con una presión de ejercicio de 42 Kg /cm², ubicados en el local de máquinas de proa, los que alimentan a 6 botellas con una capacidad de 250 litros y una presión de 42 Kg / cm². El sistema de aire comprimido de baja presión también proporciona aire a otros equipos como los motores de propulsión, pito y sirena, cada uno de ellos a una presión determinada obtenida mediante el uso de válvulas reductoras al igual que el sistema de alta presión. La Figura 1.5 muestra un diagrama de bloques en donde constan todos los elementos que constituyen este sistema, así como su iteración entre ellos.

Figura 1.5
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Diagrama de Bloques del Sistema de Aire Comprimido de un Buque.


E=440 volt
Motor eléctrico
Sistema T.L.T
Compresor de alta presiòn (280 Kg/ cm^2)
E=440 volt
Sistema contra incendio (doble agente)
Motor eléctrico
Botella MTU de 250 Bar.
Compresor de baja presión. (2) (42 Kg/cm^2)
Botella No 1
Botella No 2
Botella No 3
Botella No 4
Botella No 5
Botella No 6
Sistema de Propulsión
Sistema de Aire Acondicionado
Área de servicios

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES.

En este capítulo de describen algunos fundamentos teóricos sobre aire acondicionado tales como el ciclo de refrigeración y tipos de refrigerantes utilizados. También se describen los diferentes tipos de sistemas de climatización existentes y su aplicación dependiendo de la necesidad del área o lugar a climatizar.

En la última sección de este capítulo se describe el funcionamiento del sistema de climatización instalado en el buque y las características técnicas de los principales equipos que constituyen dicho sistema.

2.1 Fundamentos Teóricos.

En esta sección del capítulo describiremos teóricamente el ciclo de refrigeración utilizado en el sistema de climatización instalado en el buque así como los diferentes tipos de refrigerantes utilizados hasta la actualidad en los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado; también se muestran unas tablas con las designaciones estándar y propiedades físicas de los refrigerantes antes mencionados.

2.1.1 Ciclo de Refrigeración.

El ciclo de refrigeración utilizado en el sistema de climatización instalado en el buque es el ciclo de refrigeración por compresión. A continuación se describirá de manera teórica el funcionamiento de este ciclo de refrigeración.

Ciclo de Refrigeración por Compresión.

En el ciclo de refrigeración por compresión intervienen dos fenómenos:

1. Al evaporarse un refrigerante líquido absorbe calor, fenómeno que hace bajar la temperatura del ambiente que lo rodea.

2. Al condensarse el vapor refrigerante cede calor, que elevará la temperatura del ambiente que lo rodea.

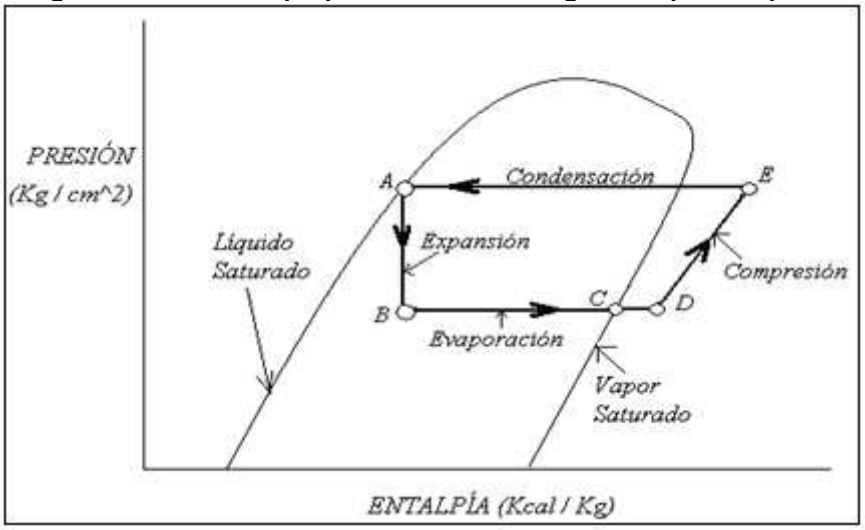
La figura 2.1 muestra un esquema del ciclo de refrigeración por compresión utilizando un diagrama de presión – entalpía. El ciclo puede ser seguido desde cualquier punto del sistema. Empezando en el punto A antes del evaporador en la figura 2.1 en que el refrigerante está en estado líquido, la entrada de líquido en el evaporador es controlada por un dispositivo automático de estrangulación (válvula de expansión) que es accionado por la temperatura y por la presión. La presión del refrigerante a través de la válvula desciende desde la presión existente en el condensador, punto A, a la presión existente en el evaporador, punto B. La válvula actúa como regulador de los límites de alta y baja presión entre las que trabaja el evaporador.

Figura 2.1

Figura 2.1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Diagrama Presión-Entalpía para el Ciclo de Refrigeración por Compresión



La reducida presión existente en el evaporador permite que el refrigerante hierva y se evapore. Para favorecer la ebullición, el calor del aire o de otro medio que haya de ser enfriado es transmitido a la superficie del evaporador y transferido al líquido que está hirviendo a temperatura más baja. La mezcla de líquido refrigerante y vapor del mismo que pasa por el serpentín del evaporador continúa absorbiendo calor hasta que se evapora por completo, punto C. el sobrecalentamiento del gas, controlado por la válvula de expansión, tiene lugar desde C hasta D.

El gas sobrecalentado entra en el cilindro del compresor por la tubería de aspiración. La carrera descendente del pistón hace que sea aspirado el gas de un cilindro a través de la válvula de aspiración o de entrada, gas que es comprimido en la carrera ascendente, elevando su temperatura y su presión hasta el punto E. La presión producida hace que el gas caliente fluya al condensador. La válvula de salida del compresor impide que vuelva a entrar en el cilindro el gas comprimido.

En el condensador, el medio de condensación (aire o agua) absorbe calor al condensar el gas caliente. El refrigerante líquido

es recogido en un depósito receptor, que puede estar combinado o no con un condensador.

Luego, el líquido es impulsado por la tubería hasta la válvula de expansión A, donde vuelve a comenzar el ciclo.

2.1.2 Tipos de Refrigerantes.

Los refrigerantes son substancias químicas que son capaces de absorber calor en un proceso de vaporización; o en otras palabras cualquier compuesto químico que puede ser licuado fácilmente y para lo cual se hace uso de sus cambios de estado físico como fuente de producción de frío. Generalmente el refrigerante absorbe calor por evaporación a temperaturas y presiones bajas. Al condensarse a presión más alta, cede su calor a cualquier medio circundante, normalmente aire o agua.

Los refrigerantes también son considerados como los líquidos de funcionamiento en la refrigeración y el aire acondicionado, los cuales absorben calor de un área determinada tal como un espacio con aire acondicionado, y lo rechazan en otra, como al aire libre, generalmente con la evaporación y la condensación, respectivamente. Estos cambios de fase de los refrigerantes

ocurren tanto en el ciclo de absorción como en el ciclo de compresión.

Dentro de la gran variedad de refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración y aire acondicionado desde sus principios de utilización hasta la actualidad, podemos separarlos en tres grandes grupos que son los siguientes:

1. CFC (clorofluorocarburos)
2. HCFC (hidroclorofluorocarburos)
3. HFC (hidrofluorocarburos)

Los CFC son gases refrigerantes cuyas moléculas contienen átomos de cloro, flúor y carbono; los HCFC son gases refrigerantes cuyas moléculas contienen átomos de hidrógeno, cloro, flúor y carbono. Los HFC son gases refrigerantes cuyas moléculas contienen átomos de hidrógeno, flúor y carbono.

Entre los CFC más utilizados podemos citar al R11, R12, R13, R13B1, R113, R500 y R502. Los HCFC más utilizados son el R22, R141B, DI36, DI44, R403B, R408A, R401A, R401B, R402A, R402B y el R409A. Los HFC más utilizados y considerados como

gases definitivos son el R134A, R413A, R404A, R507, R407C, R417A y el R410.

De estas tres categorías, los CFC son los que tiene mayor capacidad de destrucción de la capa de ozono, le siguen en nivel de destrucción los HCFC., mientras que los HFC no afectan a la capa de ozono. En el Apéndice A se hace una designación estándar de los refrigerantes antes mencionados y otros que no se encuentran dentro de los mismos, dicha tabla fue tomada del estándar 34 de la ASHRAE.

Debido a que el diseño del equipo de refrigeración depende fuertemente de las características del refrigerante seleccionado el Apéndice B muestra las principales propiedades físicas del refrigerante que se desee utilizar.

2.2 Tipos de Sistemas de Climatización.

Los sistemas de climatización o de acondicionamiento de aire se dividen en tres tipos básicos que se diferencian en la forma de obtener el enfriamiento del espacio que se acondiciona. El aire que rodea al ocupante es el medio último que se acondiciona; en algunos sistemas, la mayor parte del efecto térmico es radiante.

Los tipos básicos son:

- Sistema todo - aire.
- Sistema agua - aire
- Sistema de agua y de Expansión directa.

En el Apéndice C se muestra una tabla que presenta un resumen de las distintas aplicaciones y sistemas de acondicionamiento de aire. A continuación se dará una descripción general de cada uno de estos sistemas y su respectiva clasificación en otros sistemas adicionales.

2.2.1 Sistema Todo – Aire.

Un sistema todo-aire es cuando la unidad de tratamiento de aire está alejada del espacio que se acondiciona y montada en forma de central, lo único que llega al espacio acondicionado es el aire, que circula por un sistema de conductos, y que sirve lo mismo para refrigerar que para calefacción.

El sistema todo-aire se divide en los siguientes sistemas:

1. Sistemas Convencionales.
2. Sistemas de Inducción a Volumen Constante.

3. Sistema de Unidad Multizona.
4. Sistema de Doble Conducto.
5. Sistema de Caudal Variable y Temperatura Constante.
6. Sistema de Conducto Dual.

Sistemas Convencionales.

Los sistemas convencionales todo-aire generalmente poseen un solo conducto de transmisión de aire con salidas estándar de distribución y control directo de las condiciones del local. Estos sistemas se aplican dentro de áreas definidas destinadas a usos generalmente de condiciones constantes, pero también pueden ser utilizados en condiciones variables como, por ejemplo, tiendas, espacios interiores de oficina y fábricas, en que no se requiere un control de precisión de temperatura y de la humedad. No obstante, estos sistemas pueden estar previstos para satisfacer requisitos muy exactos.

Los sistemas convencionales se clasifican en dos categorías principales: de volumen constante y temperatura variable, y de volumen variable y temperatura constante. La primera categoría es de más flexibilidad para controlar las condiciones de espacio,

extendiéndose desde el control de capacidad de refrigeración por todo o nada, hasta un control exacto de recalentamiento.

Los sistemas convencionales y sus métodos de control de temperatura del local se enumeran como sigue:

1. Sistemas de volumen constante y temperatura variable, con
    - Control todo o nada o de capacidad variable de refrigeración.
    - Control de amortiguador o compuerta frontal del aparato y bypass.
    - Control por recalentamiento del aire.

2. Sistema de volumen variable y temperatura constante con control del volumen de aire de suministro.

Algunos de los aspectos destacables a considerar en los sistemas convencionales son los siguientes:

1. Simplicidad.
2. Coste inicial bajo.
3. Economía de funcionamiento.
4. Funcionamiento silencioso.
5. Mantenimiento centralizado.

Sistemas de Inducción a Volumen Constante.

El sistema de inducción todo-aire a volumen constante es muy adecuado para muchas aplicaciones, particularmente en los edificios medios y pequeños con varios locales o habitaciones en que pueden ser acondicionadas las habitaciones individuales, así como los espacios grandes desde una instalación central de acondicionamiento.

El sistema es particularmente adecuado para aplicaciones de alta carga latente tales como escuelas y laboratorios. Los hospitales, moteles, casas de apartamentos, edificios profesionales y edificios de oficinas son otras tantas aplicaciones.

El sistema de inducción a volumen constante posee muchas propiedades favorables para su aplicación a los edificios medios y pequeños de varias habitaciones. Algunas de estas propiedades son:

1. Control individual de temperatura de local o habitación
2. Flexibilidad en el diseño del sistema de distribución de aire.
3. Suministro de aire primario centralizado.
4. Sistema simplificado de control.
5. Economía de funcionamiento.

6. Ventilación controlada, disipación de los olores y movimiento constante del aire.
7. Funcionamiento silencioso.
8. Mantenimiento centralizado.
9. Eficiencia del filtraje.
10. Entrada central de aire exterior.
11. Alta diferencia de temperatura.

Sistema de Unidad Multizona.

El sistema de unidad multizona de aire soplado todo-aire que tiene serpentines de calefacción y de refrigeración en paralelo es un sistema de caudal constante y temperatura variable. Se le aplica a áreas de múltiples espacios o zonas que requieren control individual de temperaturas.

Se considera la conveniencia de adopción del sistema cuando existen una o más de las siguientes condiciones:

1. El área se compone de varios locales o espacios grandes o pequeños que deben ser controlados individualmente. Una escuela, un grupo de oficinas o pisos de un edificio comercial son ejemplos de aplicación.

2. El área incluye zonas con diferentes exposiciones y diferentes características de carga interna. Como ejemplo tenemos, oficinas de un banco en una planta baja de un edificio.
3. El área combina una gran zona interior con un grupo relativamente pequeño de espacio exterior.
4. El área se compone de espacios interiores con características individuales de carga, estudios de radio y televisión son algunos ejemplos.

El sistema de aire soplado es esencialmente aplicable a lugares y áreas que tengan cargas de alto calor sensible en los que los requisitos de ventilación sean limitados. Algunas de las propiedades de un sistema de unidad multizona correctamente diseñado son las siguientes:

1. Control individual de temperatura de espacio (local) o zona.
2. Zonificación Individual con aparato de mínima potencia.
3. Funcionamiento sencillo sin dispositivo conmutador.
4. Transmisión y distribución de aire simplificados.
5. Acondicionamiento y refrigeración centralizados.
6. Deshumectación centralizada.
7. Servicio y mantenimiento centralizado.

8. Economía de funcionamiento.
9. Flexibilidad en el filtraje.
10. Funcionamiento silencioso.

Sistema de Doble Conducto.

El sistema de doble conducto es muy adecuado para proporcionar el control de temperatura en espacios individuales o zonas. Una aplicación natural de este sistema es un edificio con muchas habitaciones. Los sistemas se instalan en edificios de oficinas, hoteles, casas de apartamentos, hospitales, escuelas y grandes laboratorios.

El sistema de doble conducto presenta muchas propiedades favorables para la aplicación en edificios de muchas habitaciones en que se desee un control de temperatura de zonas o espacios individuales. Algunas de estas propiedades son:

1. Control individual de temperatura.
2. Zonificación individual con mínimo equipo.
3. Funcionamiento sencillo sin cambio.
4. Acondicionamiento y refrigeración centralizados.
5. Operaciones de servicio y de conservación centralizados.

6. Entradas centralizadas de aire exterior.
7. Economía de funcionamiento.
8. Rendimiento de filtraje.
9. Funcionamiento silencioso.
10. Mayor margen en el proyecto de sistema de aire.

Sistema de Caudal Variable y Temperatura Constante.

El sistema todo-aire de caudal variable y temperatura constante es muy adecuado para muchas aplicaciones. Entre éstas se cuentan aquellas en que existe una carga de refrigeración relativamente constante durante todo el año, es decir zonas interiores de un edifico de oficina y locales comerciales. Ejemplos de estas aplicaciones son los edificios existentes tales como los de oficinas, hoteles, hospitales, apartamentos y escuelas.

Los sistemas de volumen variable y temperatura constante presentan muchas propiedades favorables para su aplicación en zonas interiores y donde sólo se requiere refrigeración en verano. Algunas de estas propiedades son:

1. Funcionamiento económico.
2. Control individual de la temperatura de las habitaciones.

3. Sencillez de funcionamiento.
4. Mínimo número de componentes.
5. Coste inicial bajo.
6. Acondicionamiento y refrigeración centralizados.
7. Servicio y conservación centralizados.
8. Toma central de aire exterior.

Sistema de Conducto Dual.

El sistema todo-aire de conducto Dual, es un sistema moderno de estación central que puede ser aplicado a edificios tales como los de escuelas, oficinas, apartamentos y hospitales, para áreas sometidas a inversión de carga de transmisión y que requieren un control individual de temperatura de las habitaciones. Generalmente, su aplicación es análoga a la del sistema de doble conducto, pero su coste inicial o de adquisición es más económico.

El sistema de conducto dual presenta muchas propiedades favorables para su aplicación en edificios de zonas múltiples en

que se desee un control individual de temperatura de las habitaciones. Algunas de estas propiedades son:

1. Menores dimensiones de los conductos.
2. Flexibilidad en la distribución del aire.
3. Funcionamiento económico.
4. Equipo de acondicionamiento y refrigeración centralizados.
5. Servicio y mantenimiento centralizados.
6. Toma central de aire exterior.
7. Sencillez de manipulación.
8. Control individual de las temperaturas en las habitaciones.
9. Funcionamiento silencioso.

2.2.2 Sistema Agua – Aire.

Un sistema agua-aire es cuando el sistema está constituido de forma que la planta de refrigeración y la unidad de tratamiento de aire están separadas del espacio que se acondiciona, el enfriamiento o calefacción se ve afectado en una parte ínfima por el aire impulsado, y la mayor parte de la carga gravita sobre unas unidades de inducción o radiador por los que circula agua fría o caliente.

El sistema agua-aire se divide en los siguientes sistemas:

1. Sistema de unidades de inducción.
2. Sistema de ventilador-serpentín (*fan-coil*) de aire primario.

Sistema de Unidades de Inducción.

El sistema de unidades de inducción es adecuado para edificios de varios pisos y muchas habitaciones, tales como los de oficinas, hoteles, clínicas y hospitales, y apartamentos. Es particularmente apropiado para edificios que tienen características de carga inversa de calor sensible en que puede ser necesaria la refrigeración en una habitación y la calefacción en otra habitación contigua.

Algunas de las propiedades del sistema de unidades de inducción son las siguientes:

1. Pocos requisitos de espacio.
2. Control individual de las habitaciones.
3. Se eliminan las corrientes descendentes en invierno.
4. Simplificación de las operaciones de mantenimiento.
5. Deshumectación central.
6. Funcionamiento silencioso.

Sistema de ventilador-serpentín (*fan-coil*) de aire primario.

El sistema de ventilador-serpentín (fan-coil) de aire primario es análogo en muchos aspectos a un sistema de unidades de inducción; la diferencia esencial es la substitución de la unidad de inducción por una unidad de ventilador-serpentín. Las aplicaciones más adecuadas del sistema son los edificios de muchas habitaciones, tales como hoteles, hospitales y casas de apartamentos.

El sistema de ventilador-serpentín de aire primario tiene las siguientes propiedades:

1. Calefacción y refrigeración simultáneas.
2. Control individual de temperatura de las habitaciones.
3. Circulación confinada del aire en la habitación.
4. Ventilación eficaz a toda hora.
5. Distribución de aire debajo de las ventanas.

2.2.3 Sistema de Agua y de Expansión Directa.

Un sistema todo agua es cuando el medio enfriador (agua fría o salmuera, en vez de refrigerante directo) puede suministrarse

desde una fuente alejada y se hace circular por los serpentines de una unidad terminal.

El sistema de agua y de expansión directa se divide en los siguientes sistemas.

1. Sistema de ventilador-serpentín (*fan-coil*).
2. Sistema de expansión directa.

Sistema de ventilador – serpentín (fan-coil).

El sistema de ventilador-serpentín alimentado por agua tiene muchas aplicaciones. Es de particular interés en los edificios de muchas habitaciones en los que el tendido de los conductos de aire puede alcanzar un coste prohibitivo. Este sistema es muy utilizado en hoteles, moteles, hospitales, apartamentos, oficinas, edificios profesionales y clínicas.

Los sistemas de ventilador-serpentín (fan-coil), alimentados por agua, pueden clasificarse en dos grupos principales:

1. *Sistema de tubería simple (dos tuberías)* en los que cada unidad recibe una entrada de agua fría o caliente, según la estación del año, y termina en una tubería de retorno.

2. *Sistema de varias tuberías* en los que cada unidad tiene una doble entrada de agua (caliente y fría) y una tubería de retorno (tres tuberías) o dos tuberías de retorno (cuatro tuberías).

Sistema de Expansión Directa.

Los sistemas de expansión directa sólo se emplean en instalaciones de pequeña y mediana potencia, lo mismo en acondicionamiento de aire que en refrigeración. Los sistemas compactos con máquinas centrífugas, y enfriadores de líquido por absorción se emplean en instalaciones de mayor capacidad.

Los sistemas de expansión directa para aire acondicionado o enfriamiento de líquidos son los que emplean tuberías de refrigeración instaladas «in situ». Las unidades condensadoras y los equipos compactos de enfriamiento de líquidos, con condensador situado a distancia, pueden utilizarse también en estos sistemas. La tubería interconecta los compresores alternativos, condensadores y baterías o enfriadores de líquido.

La instalación de tuberías de refrigerante empieza a resultar menos económica a medida que aumenta la distancia entre compresor, evaporador y condensador. Más económico puede

ser en tales casos el empleo de una torre de enfriamiento y/o un grupo compacto formado por enfriador y unidad condensadora con compresor alternativo.

Las características del sistema de expansión directa son:

1. Flexibilidad.
2. Bajo precio de coste.
3. Adaptabilidad.

2.3 Sistema de Climatización Instalado en el Buque.

El Buque cuenta con un sistema de climatización instalado a bordo de constitución robusta, el cual está formado por una unidad enfriadora de agua, la misma que está compuesta de dos grupos frigoríficos CARRIER con una potencia instalada de 50 HP y con una capacidad de enfriamiento de 112500 frigorías por hora (446,430 BTUH), que trabajan de manera permanente de 18 a 24 horas al día e incluso cuando se encuentra atracado en el muelle, dando servicio a el área de los equipos electrónicos y demás compartimentos del Buque.

La figura 2.2 muestra un diagrama del sistema de climatización instalado en el buque, donde se describen todos los equipos necesarios para lograr el enfriamiento del agua, la misma que será enviada por todo el buque por medio de tuberías y entrará en contacto

con el aire administrado por las unidades manejadoras de aire para obtener por medio de convección el aire con la temperatura adecuada para acondicionar las diferentes áreas y compartimentos del buque.

Las líneas de color turquesa representan el circuito del refrigerante, las líneas de color azul representan el circuito de agua refrigerada y las líneas de color verde representan el circuito de agua de mar. A continuación la tabla 1 describe todos los elementos y equipos mostrados en la figura 2.2.

Tabla 1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Descripción de elementos y equipos del sistema de climatización.

NÚMERO	ELEMENTOS
1	Electro-bomba de agua refrigerada
2	Electro-bomba de agua de mar
3	Filtro de toma de agua de mar
4	Porta Cinc
5	Tanque de recolección de fango
6	Protección Galvánica
7	Válvula de purga de aire
8	Válvula de interceptación
9	Válvula de no retorno
10	Manómetros
11	Flusostatos
12	Termómetros
13	Tanque de compensación
14	Válvula By-pass
15	Condensador
16	Evaporador
17	Filtro
18	Reductor
19	Válvula a V.D. semi-automática
20	Válvula de seguridad
21	Termostato límite
22	Termostato antihielo
23	Válvula de expansión
24	Compresor frigorífico

Los componentes principales del sistema de climatización utilizados en la unidad enfriadora de agua y que son necesarios para el ciclo de refrigeración por compresión se detallan a continuación en la tabla 2.

Tabla 2

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Componentes Principales del Sistema de Climatización.

CANTIDAD	COMPONENTES
2	Condensadores
2	Electro-compresores
2	Evaporadores
2	Grupos filtrantes
4	Grupos de expansión termostática
1	Cuadro de control de los dos grupos frigoríficos
2	Electro-bombas de circulación de agua refrigerada
1	Electro-bomba de circulación de agua de mar

Para entender de mejor manera al sistema de climatización, lo haremos analizando por separado los diferentes circuitos instalados en el mismo. Dichos circuitos son los siguientes:

Circuito del Refrigerante.

Circuito de Agua Refrigerada.

Circuito de Agua de Mar.

2.3.1 Circuito del Refrigerante.

El circuito de refrigerante es un circuito cerrado de Freón 22, que es introducido en estado gaseoso al condensador, bañando los tubos interiores, por dicho interior pasa el agua de mar produciéndose el intercambio de calor. A la salida del condensador, el refrigerante debe estar en estado líquido, por lo que cuenta en su interior con un deshidratador para asegurar su estado. En la parte inferior del condensador hay una línea de líquido del refrigerante que se ha condensado, y a ésta se le llama línea – líquido.

A la salida del condensador el refrigerante pasa por unas electro-válvulas (válvulas solenoides), que controla el flujo del refrigerante de acuerdo a su temperatura de salida del evaporador (retroalimentación), luego pasa por las válvulas de expansión termostática con igualadores térmicos que tienen una capacidad de 18 toneladas cada uno; a las válvulas de expansión el refrigerante ingresa a una presión de unos 15 bar y sufre una caída de presión por efectos de la expansión hasta unos 4 bar, que por ende va a bajar la temperatura.

Aún en estado líquido y saturado, el refrigerante ingresa al evaporador en donde pasa del estado líquido a gaseoso, en este momento de más baja temperatura se produce el efecto refrigerante, que es el motivo de existencia de este sistema.

En el evaporador el refrigerante pasa por el interior de los tubos y el agua dulce los baña; perdiendo de esta manera calor que es ganado por el refrigerante. Si el refrigerante a la salida del evaporador contiene aún humedad o partículas de líquido, existe un colector de estos elementos para el caso.

Luego el refrigerante ingresa al compresor que succiona a una presión de 4 bar y descarga a 15 bares aproximadamente, cumpliéndose una relación aproximada de cuatro veces la presión de succión y de esta manera continúa el ciclo del refrigerante.

2.3.2 Circuito de Agua Refrigerada.

El circuito de agua dulce o agua refrigerada es un circuito cerrado de recirculación de agua, que cuenta con un tanque de compensación de agua que tiene una capacidad de 120 litros y

que mantiene siempre llena la línea de agua para no causar daños en las bombas, donde el agua baja por gravedad pasando por válvulas de paso en donde existe un By-pass para hacer funcionar de manera alternativa las bombas de recirculación de agua que se encuentran instaladas en forma paralela. Esta agua es bombeada a unos 47 Psig para luego ingresar a uno de los dos evaporadores en funcionamiento entrando a una temperatura promedio de 55 ºF y saliendo del mismo a 45 ºF.

El agua en el interior del evaporador baña los tubos, haciendo intercambio de calor con el refrigerante que circula por el interior de los mismos, dicho refrigerante ingresa en estado líquido y sale en estado gaseoso.

El agua refrigerada a la salida del evaporador se dirige hacia las unidades manejadoras de aire o Mobiletos como se los conoce en el buque, ingresando a una temperatura de unos 45 ºF y saliendo de éstas a 55 ºF para recircular nuevamente a las bombas y continuar con el ciclo.

Al entrar el agua refrigerada en los mobiletos, el aire es soplado por uno electro-ventilador pasando a través de las tuberías frías, haciendo subir la temperatura del agua entregando aire frío al ambiente a climatizar.

2.3.3 Circuito de Agua de Mar.

El circuito de agua de mar o agua salada es un circuito abierto que se inicia con la toma de agua salada a través de una válvula de fondo, pasando por un filtro que retiene ciertas impurezas contenidas en el agua salada, para de esta manera llegar a una bomba de agua y ser bombeada a una presión de unos 22 Psig, ingresando de esta manera a los dos condensadores que se encuentran funcionando en una disposición en paralelo, entrando el agua a una temperatura de 75 ºF (24 ºC) y saliendo del mismo a unos 85 ºF (29 ºC), para una vez cumplido su objetivo de extraerle calor al refrigerante, descargar al mar. El agua de mar en el condensador, circula en el interior de los tubos, y el refrigerante que ingresa en estado gaseoso, lo hace bañando los tubos.

Línea alternativa.

En este circuito se cuenta con una sola bomba de circulación de agua de mar, en caso de fallar ésta, existe una línea alternativa de presión de agua que llega directamente a la línea de ingreso del condensador y que proviene del circuito contra incendio;

debido a que la presión de esta línea es alta, cuenta con una válvula reductora de presión.

2.3.4 Características Técnicas del Sistema de Climatización.

El sistema de climatización instalado en el buque es un sistema Aire-Agua, teniendo como sistema primario al sistema que proporciona el aire y como sistema secundario al sistema que proporciona el agua refrigerada, el cual es un sistema de alta velocidad y alta presión. A continuación se describirán las características técnicas de los componentes principales de cada unos de los circuitos instalados en el sistema de climatización del buque.

Circuito del Refrigerante.

Componentes.

Refrigerante.

Compresor.

Motor eléctrico.

Condensador.

Válvula Solenoide.

Válvula de expansión termostática.

Evaporador.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Refrigerante.

Tabla 3

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características Físicas del Refrigerante.

Denominación	FREON 22
Fórmula	CHF2Cl
Denominación química	Difluor Monocloro Metano
Punto de ebullición	-40,8 ºC
Punto de congelamiento	-160 ºC
Peso específico del líquido a +20 ºC	1215 Kg / lt

Compresor.

Tabla 4

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas del Compresor.

Tipo	Abierto
Modelo	5 H 40
Capacidad	112500 frig / h
No. Cilindros	4
Cilindrada	157
Carrera	69,8 mm
Diámetro de cilindro	82,5 mm
Carga de aceite	8,5 lit.
Nivel de aceite	centro de la mirilla
Grados de Parcialización	No.3 (25%, 50%, 100%)
Gas frigorífico	Freon 22
Potencia instalada	50 H.P
Giro Máximo	1750 r.p.m
Giro mínimo para lubricación	400 r.p.m
Giro mínimo para control de potencia	800 r.p.m
Presión de interrupción (lado de alta presión)	Regulación en fábrica 12,5 Kg/cm2 Posibilidad de regulación 26,7 Kg/cm2
Presión máxima (lado de baja presión)	17,5 kg / cm2
Presión de aceite	Presión de aceite de 45 a 55 Psi mayor que la presión de aspiración.

Motor eléctrico.

Tabla 5

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas del motor eléctrico del compresor

Características de Placa	
Tipo	C 225 S
Voltaje	440
Hz	60
H.P.	50
Giro	1750 R.P.M.
Tratamiento del bobinado	
Secado de los bobinados en horno	
Tiempo	3 horas
Temperatura	140 ºC
Tipo de Barniz	BC 340
No. De Tratamiento	2
Datos del bobinado	
No. Polos	4
Tipo de conexión	Δ
Bobinado	a corona
No. de canales	60
No. de Bobinas	60

Condensador.

Tabla 6

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al *sistema de climatización de un buque militar.*

Características técnicas del condensador.

Tipo	84 T 225 CNRX
Número de tubos	84
Longitud de tubos	2250 mm
Material de tubos	Cobre al Níquel (70/30)
Diám. entrada de agua de mar	2 in.
Diám. salida de agua de mar	3 in.
Diám. entrada del freón 22	54 mm.
Diám. salida del freón 22	35 mm.
Presión máxima de ejercicio	300 Psig. (21 Kg/cm2) lado de la coraza
	100 Psig. (7 Kg/cm2) lado exterior de tubos
Diferencial de temperatura (T)	10 ºF (5 ºC)
Diám. Exterior del condensador	223,9 mm
Material de la coraza	Acero AQ 35

Válvula Solenoide.

Tabla 7

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de la válvula solenoide.

Tipo	EVR 20
Estado	Cerrada cuando la bobina está desconectada
Presión máxima de prueba	711 Psig. (12 atm.)
Máxima tolerancia de la fluctuación al ingreso	10% - 15%

Válvula de Expansión Termostática.

Tabla 8

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de la válvula de expansión termostática.

Tipo	TEX 12 - 18
Kcal / hr	54 000
Máxima temperatura admitida sobre el bulbo.	176 ºF (80 ºC)
Máxima presión de prueba admitida	398 Psig. (28 atm)
Campo de intervención	7 ºF

Evaporador.

Tabla 9

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas del evaporador.

Tipo	96 T 225
Número de tubos	96
Longitud de tubos	2250 mm
Material de tubos	Rame - Aluminio
Diám. de tubos interiores	19 mm
Diám. entrada de agua refrigerada	90 mm

Circuito de Agua Refrigerada.

Componentes.

Bomba de recirculación de agua refrigerada.

Motor eléctrico de la bomba.

Evaporador.

Manejadoras de aire.

Válvulas.

Tuberías.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Bomba de recirculación de agua refrigerada.

Tabla 10

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de la bomba de agua refrigerada.

Tipo	MU 50 / 160
Característica	Centrífuga horizontal
Flujo horario	45 m3 / hr
Cabezal manométrico	35 m
Potencia del motor	12,5 HP
Revoluciones	3400 r.p.m
Diámetro de entrada	50 mm
Diámetro de salida	65 mm
Aceite de lubricación	SAE 20

Motor eléctrico.

Tabla 11

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas del motor eléctrico (B.A.R.)

Características de Placa	
Tipo	C 132 M
Voltaje	440
Hz	60
H.P.	12,5
Giro	3400 R.P.M.
Tratamiento del bobinado	
Secado de los bobinados en horno	
Tiempo	3 horas
Temperatura	140 ºC
Tipo de Barniz	BC 340
No. De Tratamiento	2
Datos del bobinado	
No. Polos	4
Tipo de conexión	Δ
Bobinado	a corona
No. de canales	36
No. de Bobinas	18

Manejadoras de Aire.

Tabla 12
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Características técnicas de las unidades manejadoras de aire.

Temperatura de entrada del agua refrigerada	45 ºF (7ºC)
Temperatura de salida del agua refrigerada	55 ºF (12,7 ºC)

Tuberías de transporte de agua refrigerada.

Tabla 13
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Características técnicas de las tuberías de transporte de agua refrigerada.

Material	Acero Inoxidable
Tipo	AISI 304
Número de cédula	cédula 40
Diámetro Nominal	2 pulgadas
Diámetro Externo	2.375 pulgadas
Diámetro Interno	2.067 pulgadas
Espesor Nominal	0.154 pulgadas
Esfuerzo de Fluencia	20000 Psi
Momento de Inercia	0.6657 pulgadas^4
Peso de la Tubería	3.65 lib / pie
Peso de Agua	1.45 libras / pie de tubería

Circuito de Agua de Mar.

Componentes.

Válvula de fondo.

Filtro de fondo

Bomba de agua de mar.

Motor eléctrico de la bomba.

Condensador.

Tuberías.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Bomba de agua de mar.

Tabla 14
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Características técnicas de la bomba de agua de mar.

Tipo	MU 65 / 200
Característica	Centrífuga horizontal
Flujo horario	68 m3 / hr
Cabezal manométrico	18 m
Potencia del motor	10 HP
Revoluciones	1750 r.p.m
Diámetro de entrada	80 mm
Diámetro de salida	65 mm
Aceite de lubricación	SAE 20

Motor eléctrico.

Tabla 15
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Características técnicas del motor eléctrico (B.A.M.)

Características de Placa	
Tipo	C 132 M
Voltaje	440
Hz	60
H.P.	10
Giro	1750 R.P.M.
Tratamiento del bobinado	
Secado de los bobinados en horno	
Tiempo	3 horas
Temperatura	140 ºC
Tipo de Barniz	BC 340
No. De Tratamiento	2
Datos del bobinado	
No. Polos	4

Instrumentación de Control.

Tabla. 16

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Instrumentación de control

Termostato Límite	
Modelo	270 XT - 95068
Rango de Trabajo	(-24 ºC ---- + 18 ºC)
Campo diferencial	4 ºC
Longitud del Capilar	1,8 metros
Máxima Temp. en el bulbo	(+ 95 ºC)
Número de unidades	2
Termostato Antihielo	
Modelo	270 X TAN - 95048
Rango de Trabajo	(-24 ºC ---- + 18 ºC)
Máxima Temperatura en el bulbo	(+ 95 ºC)
Número de unidades	2
Presostato de alta presión	
Modelo	P 70 KA - 9701
Rango de Trabajo	3,5 bar - 32 bar
Máxima Presión	34 bar (34,6 atm)
Número de unidades	2
Presostato de baja presión	
Modelo	P 70 - HA - 9701
Rango de Trabajo	(-0,65 bar - 7 bar)
Máxima Presión	23 bar (23,4 atm)
Número de unidades	2
Presostato diferencial de aceite	
Modelo	828 DA
Rango de Trabajo	(0,5 bar - 5 bar)
Máxima Presión	23 bar (23,4 atm)
Número de unidades	2
Flusostato de Agua Refrigerada	
Modelo	F 61 KB 9001
Presión Máxima del Fluido	10 Kg / cm.
Temperatura Máxima del Fluido	(+ 120 ºC)
Número de unidades	2
Flusostato de Agua de Mar	
Modelo	F 61 MB 1
Presión Máxima del Fluido	10 Kg / cm.
Temperatura Máxima del Fluido	(+ 120 ºC)
Número de unidades	2

Tubería de Transporte de Agua de Mar.

Tabla 17

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de las tuberías de transporte de agua de mar.

Material	Acero Inoxidable ASTM A312
Tipo	304
Número de cédula	cédula 40
Diámetro Nominal	4 Pulgadas
Diámetro Externo	4,5 Pulgadas

Unidades Manejadoras de Aire.

Para la distribución del aire que entra en contacto por medio de convección con el agua refrigerada el buque cuenta con los siguientes equipos manejadores de aire.

Acondicionadores de aire centralizados (3).
Mobiletos integradores (15)
Acondicionadores locales (4).

Acondicionadores de aire centralizados: Son equipos de alta presión tipo monobloque vertical (C1 – C3) y monobloque horizontal (C2). Están principalmente constituidos por:

Una cabina.

Un ventilador centrífugo de alto rendimiento.

Un motor eléctrico para el accionamiento del ventilador.

Una batería para la circulación del agua refrigerada.

Mobiletos integradores: Son equipos de baja presión instalados en todos los locales operativos, cuarto de comando y depósito de munición y que sirven para disipar las aportaciones de calor externo y de los equipos electrónicos ubicados en el mismo lugar. Los mobiletos son de dos tipos: Tipo a suelo y Tipo a techo, los cuales están constituido principalmente por:

Una cabina.

Un ventilador centrífugo de alto rendimiento.

Un motor eléctrico para el accionamiento del ventilador.

Una batería para la circulación del agua refrigerada.

Acondicionador Local: Son equipos de baja presión y están constituidos de la misma manera que los mobiletos integradores.

Áreas de servicio de los acondicionadores.

Tabla 18
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Áreas de servicio de los acondicionadores.

ACONDICIONADOR	CUBIERTA	LOCAL DE SERVICIO
C1	Principal	Depósito
	Primera Plataforma	Comedor de Suboficiales
		Alojamiento de oficiales de proa
		Alojamiento de tripulantes de proa
	Principal	Cuarto de oficiales
		Alojamiento del comandante
C2	Primera Plataforma	Alojamiento de suboficiales de popa
		Alojamiento de tripulantes de popa
		Depósito de municiones de popa
		Depósito de popa
C3	Primera Plataforma	Depósito de municiones de proa
	Timonería	Pasillo, local de radar, local de C.P., local SR1, SR2
		Local de albatros, depósito de cohetes, C.O.C.

Acondicionamiento del local operativo:

Debido a las exigencias particulares, éste local está provisto de una sistema mixto, el cual consta de un acondicionador centralizado (C3) y de 15 mobiletos integradores: MI1, MI2, MI3, MI4, MI4A, MI5, MI6, MI7, MI8, MI9, MI10, MI11, MI12, MI13, MI14.

Características Técnicas.

Acondicionadores de aire centralizado.

Tabla 19

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de los acondicionadores centralizados.

Acondicionador	Caudal (CFM)	R.P.M.	H.P	BTUH	Ubicación
C1	2530	2160	4	54760	1era. Plat. 69-74
C2	2060	2190	3	103175	Principal 16-24
C3	2822	1980	5,5	126980	2da. Alta 64-89

Acondicionadores locales.

Tabla 20

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de los acondicionadores locales.

Acondicionador	Caudal (CFM)	R.P.M.	H.P	BTUH	Ubicación
CL1	353	1750	0,5	15873	1era. Plat. 98-99
CL2	353	1750	0,5	15873	1era. Plat.3-4
CL3A	235	1750	0,18	31746	Timonería 89
CL3B	235	1750	0,18	31746	Timonería90

Mobiletos Integradores.

Tabla 21

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Características técnicas de los mobiletos integradores.

Mobileto	Caudal (CFM)	R.P.M.	H.P	BTUH	Ubicación
MI 1	412	1750	0,75	26587	Principal 99-100
MI 2	353	1750	0,18	3452	1era. Plat. 69-70
MI 3	353	1750	0,18	5357	1era. Plat.27-28
MI 4	590	1750	0,5	16270	Principal 92-93
MI 4A	470	1750	0,18	7937	Principal
MI 5	470	1750	0,18	11508	Principal 79-80
MI 6	590	1750	0,5	21230	Principal 63-65
MI 7	590	1750	0,5	23016	Principal 66-67
MI 8	590	1750	0,5	17659	2º Alta 85-86
MI 9	706	1750	1	30952	3º Alta 78-79
MI 10	353	1750	0,75	20437	2º Alta 77-78
MI 11	470	1750	0,18	14087	2º Alta 68-69
MI 12	470	1750	0,18	12897	2º Alta 70-72
MI 13	590	1750	0,5	21627	2º Alta 63-65
MI 14	470	1750	0,18	12698	2º Alta 69-61

Debido a que el objetivo principal de esta tesis es determinar la continuidad, reparación o cambio del o de los equipos que forman parte del sistema de climatización se realizó como una primera evaluación del sistema un cálculo de carga térmica con el objetivo de tener una idea de la cantidad de carga generada en el interior del buque para de esta manera establecer o comprobar si el sistema logra cumplir en la actualidad su trabajo eficientemente; para esto se asumió que la nave permanece la mayor cantidad de tiempo atracada en el muelle para poder establecer las condiciones y realizar los correspondientes cálculos.

En el Apéndice D consta detalladamente toda la metodología que se utilizó para determinar la carga térmica del buque con los respectivos resultados encontrados, los mismos que serán analizados en el capítulo cuatro al igual que las inspecciones realizadas a todos equipos seleccionados en el capítulo tres de esta tesis.

CAPÍTULO 3

3. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN.

En este capítulo se realiza una selección de los equipos principales que forman parte del sistema de climatización y que serán sometidos a evaluación. Una vez realizada la selección, se determinará la metodología de inspección que se utilizará para determinar las condiciones actuales de operación de los diferentes equipos seleccionados.

Además se determina la metodología de análisis para evaluar las condiciones actuales del Freón 22, agua de mar y agua refrigerada, los cuales son los fluidos que están presentes en el sistema al igual que el aire que se utiliza para la climatización.

3.1 Selección de Equipos para la Inspección.

Todo sistema de climatización se compone de tres partes diferenciadas: PRODUCCION TERMICA (para la producción térmica en el buque existe una unidad enfriadora de agua constituida por una

unidad de condensación, más un enfriador de agua interconectado y controles de funcionamiento montados también como una unidad), DISTRIBUCION (en el buque el agua refrigerada producida por la unidad enfriadora de agua es transportada a los locales a climatizar por medio de tuberías), EMISION EN LOS LOCALES (en el buque la emisión del frío se lo realiza por convención entre el agua refrigerada y el aire por medio de los mobiletos, los cuales están constituidos de un ventilador, un motor eléctrico y un serpentín).

La selección de los equipos para la evaluación de las condiciones actuales de operación del sistema de climatización se la determina utilizando los siguientes criterios.

a) Importancia del equipo dentro del sistema.
b) Fácil adquisición de información técnica de los equipos para la evaluación.

De acuerdo a los criterios antes mencionados se realiza la selección de los equipos; dicha selección consta de dos partes, la primera parte está formada por los equipos denominados secundarios (medidores, válvulas, mobiletos, etc.) los cuales serán evaluados determinando su condición de operación en: Op (operativo), Nop (no operativo) y no

existe en el caso de que el equipo no se encuentre en la actualidad instalado en el sistema.

La segunda parte está formada por los equipos denominados principales (compresores, condensadores, motores eléctricos, etc.) y sus instrumentos de control, así como el sistema de tuberías que transportan los diferentes tipos de agua y finalmente los fluidos presentes en el sistema. A continuación la tabla 22 presenta los equipos y fluidos principales seleccionados para la evaluación de las condiciones actuales de operación.

Tabla 22
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Equipos principales seleccionados para la evaluación de las condiciones actuales de operación.

	EQUIPOS
Producción Térmica (Unidad enfriadora de agua)	Compresores
	Condensadores
	Evaporadores
	Bombas de agua
	Motores eléctricos
	Instrumentación de control
	Sistema de tubería de agua de mar
Distribución	Sistema de tubería de agua refrigerada
Fluidos presentes en el sistema	Agua de Mar
	Agua refrigerada
	Refrigerante R 22

En la siguiente sección de este capítulo se describen todas las metodologías empleadas para la evaluación de los equipos antes mencionados.

3.2 Metodología de Inspección para los Equipos Seleccionados.

La metodología de inspección para los equipos seleccionados está basada en inspecciones externas e internas, mediciones de espesores por ultrasonido, evaluación de los diferentes instrumentos de medición existentes en el sistema, evaluación de parámetros de funcionamiento de los diferentes equipos mediante comparación entre los parámetros de funcionamiento actuales y los recomendados por el fabricante o según normas establecidas de acuerdo al requerimiento de los mismos. También se utilizan metodologías de inspección en las cuales se encuentran diferentes pasos a seguir, los mismos que varían de acuerdo al equipo, a los datos obtenidos o al fluido inspeccionado. Dichas metodologías son establecidas por códigos de inspección, catálogos técnicos, manuales de aire acondicionado, manuales de sistemas de tuberías, etc.

3.2.1 Metodología de Inspección para los Compresores.

La inspección realizada a los compresores está basada en los siguientes puntos:

Inspección de los controles de seguridad del compresor.
Determinación de la relación de compresión e inspección de las presiones de succión y descarga.
Inspección de la presión de aceite.

Inspección de temperatura de descarga de freón.
Inspección del control de capacidad del compresor.
Tiempo de servicio del compresor.

INSPECCIÓN DE LOS CONTROLES DE SEGURIDAD DEL COMPRESOR.

La inspección de los controles de seguridad de los compresores consiste en determinar el estado funcional de los instrumentos utilizados para el control de los diferentes parámetros de funcionamiento. Dichos instrumentos son: Presostato de baja presión, Presostato de alta presión y Presostato diferencial de aceite. La forma de evaluarlos será mediante una tabla donde se indicará si el instrumento se encuentra operativo (op), no operativo (nop) o no existe.

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN E INSPECCIÓN DE LAS PRESIONES DE SUCCIÓN Y DESCARGA.

Debido a que el fabricante limita la relación de compresión para compresores que funcionan con refrigerante **R-22** a **5**, se determinará si en la actualidad dichos compresores cumplen o no con esta limitación dada por el fabricante. Además se realizará una inspección a las presiones de succión y descarga del freón

en el compresor mediante una comparación entre los datos reales de las presiones tomadas cuando el sistema se encontraba en funcionamiento tanto en puerto como en navegación y los rangos de presión permitidos. La tabla 23 muestra los rangos de presiones permitidos dados por el fabricante del compresor.

Tabla 23
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Rango de presiones de succión y descarga de freón permitidos en el compresor.

PRESIÓN	RANGO (Psi)
Presión de Descarga (lado de alta presión)	152-253
Presión de Succión (lado de baja presión)	22-58

Fuente: Manual Técnico del Sistema de Climatización

INSPECCIÓN DE LA PRESIÓN DE ACEITE.

La inspección de la presión de aceite en el compresor se la realizará mediante una comparación entre los datos reales de las presiones tomadas cuando el sistema se encontraba en funcionamiento tanto en puerto como en navegación y el rango de presión permitido. La tabla 24 muestra el rango de presión permitido dado por el fabricante del compresor.

Tabla 24
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Rango de presión de aceite permitido en el compresor.

PRESIÓN	RANGO (Psi)
Diferencial de Presión de aceite	De 3,15 a 3,85 veces mayor a la presión de aspiración

Fuente: Manual Técnico del Sistema de climatización.

INSPECCIÓN DE TEMPERATURA DE DESCARGA DE FREÓN.

La inspección de la temperatura de descarga de freón en el compresor se la realiza mediante una comparación entre la temperatura de descarga obtenida mediante el uso de fórmulas, las cuales son dadas por el fabricante del compresor y la máxima temperatura de descarga permitida en el mismo. Los datos de temperatura de aspiración, los cuales se utilizarán en la evaluación, fueron tomados cuando el sistema se encontraba en funcionamiento tanto en puerto como en navegación. La tabla 25 muestra los rangos de temperaturas permitidos dados por el fabricante del compresor.

Tabla 25
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Temperatura de descarga de freón permitida en el compresor.

Característica del Compresor	Temperatura de Descarga Máxima
Culatas enfriadas por agua	250 ºF (121,11ºC)
Culatas no enfriadas por agua	275 ºF (135 ºC)

Fuente: Catálogo técnico para compresores dado por la Carrier.

La temperatura aproximada de descarga puede ser encontrada usando la siguiente ecuación dada por la Carrier en su catálogo técnico para compresores frigoríficos.

$$T_2 = [460 + T_1)^{*}C] - 460 \qquad \text{ec.3.1}$$

Donde:

T_2= Temperatura de descarga, ºF actual.

T_1= Temperatura de succión, ºF actual (incluido supercalentamiento)

$$C = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{N-1}{N}}$$

La tabla 26 proporciona varios valores de la constante "C" para varias relaciones de compresión que pueden ser utilizadas en la ecuación 3.1

Tabla 26

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Factor **"C"**

RELACIÓN DE COMPRESIÓN **Presión Descarga** / **Presión Succión**	**SIN CULATA ENFRIADORA DE AGUA**			**CON CULATA ENFRIADORA DE AGUA**
	R-12	**R-22**	**R-502**	**R-22**
2	1,14	1,17	1,13	1,15
3	1,19	1,25	1,22	1,22
4	1,23	1,31	1,27	1,27
5	1,26	1,36	1,3	1,31
6	1,29	1,4	1,33	1,34
8	1,33	1,47	1,37	1,4
10	1,36	1,53	1,4	1,44
12	1,38	1,57	1,41	1,47

Fuente: Catálogo técnico para compresores dado por la Carrier.

INSPECCIÓN DEL CONTROL DE CAPACIDAD DEL COMPRESOR.

Debido a que diferentes fabricantes de compresores adoptan diversos métodos de control de capacidad para los compresores, la inspección consistirá en evaluar la condición actual de los equipos o instrumentos que realizan dicho control. La forma de evaluarlos será mediante una tabla donde se indicará si el instrumento se encuentra operativo (op), no operativo (nop) o no existe.

TIEMPO DE SERVICIO DEL COMPRESOR.

La evaluación del tiempo de servicio del compresor servirá para saber que tanto es utilizado el compresor dentro del buque y lo evaluaremos con ayuda de la bitácora del mismo para poder determinar horas de operación diaria, mensuales o anuales.

3.2.2 Metodología de Inspección para los Condensadores y Evaporadores.

La inspección realizada a los condensadores y evaporadores está basada en los siguientes puntos:

Inspección de los controles de seguridad de los evaporadores.
Inspección de las temperaturas de entrada y salida de agua de mar y refrigerada en los condensadores y evaporadores respectivamente.
Predicción de las condiciones internas de los condensadores y evaporadores debido al tipo de agua empleada.
Tiempo de servicio de los condensadores y evaporadores.
Inspección del aislamiento utilizado en los evaporadores.

INSPECCIÓN DE LOS CONTROLES DE SEGURIDAD DE LOS EVAPORADORES.

La inspección de los controles de seguridad de los evaporadores consiste en determinar el estado funcional de los instrumentos utilizados para el control de los diferentes parámetros de funcionamiento. Dichos instrumentos son: Termostato Límite, el cual está ubicado a la entrada del agua refrigerada en el evaporador y detiene al compresor cuando la temperatura del agua desciende del valor prefijado y Termostato Antihielo, el cual está ubicado a la salida del agua refrigerada en el evaporador y detiene al compresor cuando la temperatura del agua supera al valor prefijado. La forma de evaluarlos será mediante una tabla donde se indicará si el instrumento se encuentra operativo (op), no operativo (nop) o no existe.

INSPECCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DE MAR Y DEL AGUA REFRIGERADA EN LOS CONDENSADORES Y EVAPORADORES RESPECTIVAMENTE.

La inspección de las temperaturas de entrada y salida de agua de mar y refrigerada en los condensadores y evaporadores respectivamente se la realiza mediante una comparación entre los datos reales de las temperaturas tomadas cuando el sistema se encontraba en funcionamiento tanto en puerto como en navegación y los rangos de temperaturas permitidos. La tabla 27 muestra los rangos de temperaturas permitidos dados por el fabricante de los equipos.

Tabla 27
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Rango de temperaturas de entrada y salida permitidas en los condensadores y evaporadores.

CONDENSADOR		
TEMPERATURA	**ºF**	**ºC**
Entrada Agua de Mar	75	23,89
Salida Agua de Mar	85	29,44
ΔT	10	5,56
EVAPORADOR		
TEMPERATURA	**ºF**	**ºC**
Entrada Agua Refrigerada	55	12,78
Salida Agua Refrigerada	45	7,22
ΔT	10	5,56

Fuente: Catálogo Técnico del Sistema de Climatización

PREDICCIÓN DE LAS CONDICIONES INTERNAS DE LOS CONDENSADORES Y EVAPORADORES DEBIDO AL TIPO DE AGUA EMPLEADA.

La inspección de las condiciones internas de los condensadores y evaporadores se la realiza mediante el análisis del tipo de agua empleada en dicho equipo (ver sección Metodología de análisis para el Agua de Mar y Agua Refrigerada), lo cual determinará si el tipo de agua tiene tendencia a formar incrustaciones, depósitos de sólidos o algún tipo de corrosión en los tubos internos de los condensadores y evaporadores, lo cual estaría influyendo en la capacidad de transferencia de calor entre el refrigerante y el agua de mar o agua refrigerada.

TIEMPO DE SERVICIO DE LOS CONDENSADORES Y EVAPORADORES.

La evaluación del tiempo de servicio de los condensadores y evaporadores servirá para saber que tanto son utilizados estos equipos dentro del buque y lo evaluaremos con ayuda de la bitácora del mismo para poder determinar horas de operación diaria, mensuales o anuales.

INSPECCIÓN DEL AISLAMIENTO UTILIZADO EN LOS EVAPORADORES.

La inspección del aislamiento utilizado en los evaporadores se la realiza visualmente determinando su condición actual y comprobando si estos cumplen con dos objetivos básicos, los cuales son: Minimizar las pérdidas térmicas y prevenir la condensación durante el enfriamiento del agua.

3.2.3 Metodología de Inspección para las Bombas de Agua.

La inspección realizada a las bombas de agua de mar y agua refrigerada está basada en los siguientes puntos:

Inspección de los controles de seguridad de las bombas de agua.
Inspección de las presiones de descarga.
Predicción de las condiciones internas de las bombas debido al tipo de agua empleada.
Tiempo de servicio de las bombas de agua.

INSPECCIÓN DE LOS CONTROLES DE SEGURIDAD DE LAS BOMBAS DE AGUA.

La inspección de los controles de seguridad de las bombas consiste en determinar el estado funcional de los instrumentos utilizados para el control de los diferentes parámetros de

funcionamiento. Dichos instrumentos son: Flusostato de agua de mar y flusostato de agua refrigerada, los cuales están ubicados en un tramo horizontal de tubería cerca de las bombas de agua de mar y agua refrigerada respectivamente. Los flusostatos tienen la función de cerrar o abrir el circuito eléctrico cuando se inicia o se interrumpe el flujo en las tuberías, también sirven como seguridad del ciclo de refrigeración ya que pueden parar al electro compresor cuando no hay circulación de agua de mar al condensador o agua refrigerada al evaporador. La forma de evaluarlos será mediante una tabla donde se indicará si el instrumento se encuentra operativo (op), no operativo (nop) o no existe.

INSPECCIÓN DE LAS PRESIONES DE DESCARGA.

La inspección de las presiones de descarga en las bombas de agua se la realizará mediante una comparación entre los datos reales de las presiones tomadas cuando el sistema se encontraba en funcionamiento tanto en puerto como en navegación y la presión requerida en el sistema para su correcto funcionamiento. La tabla 28 muestra los valores de presión de descarga requerida.

Tabla 28
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Presión de descarga requerida para las bombas.

TIPO DE BOMBA	PRESIÓN REQUERIDA
Bomba Agua de Mar	22 Psi
Bomba de Agua Refrigerada	47 Psi

Fuente: Catálogo Técnico del Sistema de Climatización.

PREDICCIÓN DE LAS CONDICIONES INTERNAS DE LAS BOMBAS DEBIDO AL TIPO DE AGUA EMPLEADA.

La inspección de las condiciones internas de las bombas se la realiza mediante el análisis del tipo de agua empleada en dicho equipo (ver sección Metodología de análisis para el Agua de Mar y Agua Refrigerada), lo cual determinará si el tipo de agua tiene tendencia a formar incrustaciones, depósitos de sólidos o algún tipo de corrosión en el interior de las bombas, lo cual estaría disminuyendo su ciclo de vida útil.

TIEMPO DE SERVICIO DE LAS BOMBAS DE AGUA.

La evaluación del tiempo de servicio de las bombas servirá para saber que tanto son utilizadas dentro del buque y lo evaluaremos con ayuda de la bitácora del mismo para poder determinar horas de operación diaria, mensuales o anuales.

3.2.4 Metodología de Inspección para los Motores Eléctricos.

La inspección realizada a los motores eléctricos está basada en los siguientes puntos:

Inspección del estado del material de los motores eléctricos.
Determinación del rendimiento de los motores eléctricos.

INSPECCIÓN DEL ESTADO DEL MATERIAL DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Los devanados de las máquinas eléctricas giratorias están sujetos a tensiones térmicas, mecánicas y eléctricas. Los devanados y el aislamiento se envejecen y se deterioran gradualmente debido a estas tensiones. Por tanto la vida de una máquina suele depender de la duración del aislamiento.

Para realizar la inspección del estado del material de un motor de inducción se tomó como base una variable importante como es la *resistencia de aislamiento de los devanados del estator*; esta variable nos permite obtener información a cerca del grado de humedad y suciedad del aislamiento.

Para la inspección también se tomó como base los criterios y datos dados por la norma IEEE (INSTITUTO DE INGENIERÍA

ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DE LOS ESTADOS UNIDOS) Std 43-2000. En la tabla 29 se muestra un extracto de la norma.

Tabla 29

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Mínima Resistencia de Aislamiento Recomendada (Megohms)

Minimum Recommended Insulation Resistance (megohms)			
Motor Voltage	NETA Table 10.1	IEEE Std 43-2000 Table 3 (at 40ºC)	IEEE Std 43-2000 Table 3 (at 20ºC)
480 V, 3 Phase	100	5	12.5
4.2 kV, 3 Phase	1000	5.2	13

Fuente: Norma IEEE Std 43-2000

La tabla 29 menciona que para motores de 480 Vac, trifásicos, la resistencia de aislamiento mínima recomendada en Megohmios es de 5 para una temperatura de 40 ºC. Esto quiere decir que un valor de aislamiento menor es considerado malo.

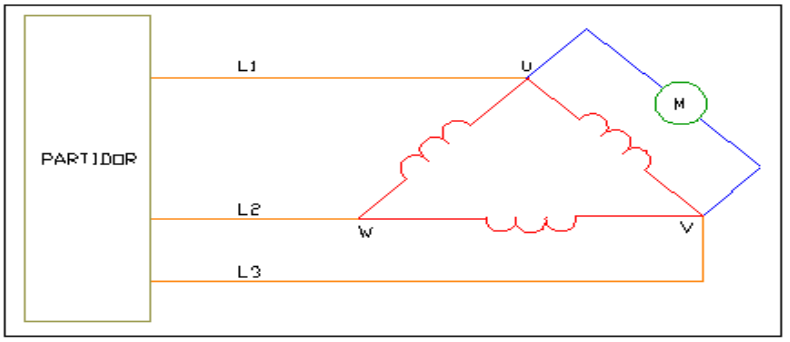
El método a utilizar para el análisis del estado de material de los motores eléctricos consiste en hallar los valores de los siguientes parámetros:

Resistencia de los devanados del estator
Temperatura de los devanados del estator
Resistencia de aislamiento de los devanados del estator con respecto a tierra.
Coeficiente K para resistencia de aislamiento
Resistencia de aislamiento de los devanados del estator con respecto a tierra a 40 ºC.

Resistencia de los devanados del estator.

La resistencia de los devanados del inducido la mediremos con la ayuda de un multímetro y sus dos puntas respectivas. El diagrama de instalación para la toma de datos se presenta a continuación en la figura 3.1

Figura 3.1
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Diagrama de Instalación del Multímetro.



Se colocará las puntas del multímetro (M) entre los puntos U - V o U – W o V – W y se tomará el valor de resistencia en ohmios. Este valor será tomado con el motor desenergizado.

Temperatura de los devanados del estator.

La temperatura de los devanados del inducido la mediremos con la ayuda de un pirómetro infrarrojo. Con el motor en operación disparamos el haz de luz infrarrojo del pirómetro hacia el estator a través de las aberturas existentes en los puntos de instalación.

Este valor es instantáneo y será copiado para su posterior evaluación.

Resistencia de aislamiento de los devanados del estator con respecto a tierra.

Para medir la resistencia de aislamiento utilizamos un meger. El voltaje de prueba usado es de 1000 Vdc. El tiempo de prueba es de 1 minuto, tras lo cual se graba el valor de resistencia de aislamiento. Antes de realizar la prueba se toma en cuenta los siguientes pasos:

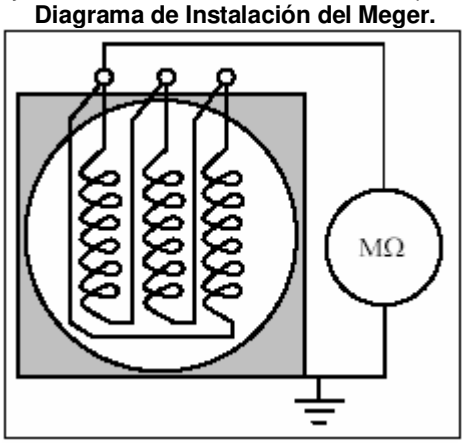
- Los cables de suministro de energía deben estar desconectados.

- La medición de la resistencia de aislamiento se lleva a acabo en la caja de terminales.

La prueba la realizamos conectando el medidor entre el armazón de la máquina y uno de los devanados. Tras la medición de la resistencia de aislamiento, las fases del devanado se conectan a tierra brevemente para descargarlas. La figura 3.2 muestra el diagrama de instalación del Meger para el desarrollo de la prueba. Es importante mencionar que es un diagrama para un

motor conectado en delta, este tipo de conexión posee actualmente los motores de la planta de aire acondicionado.

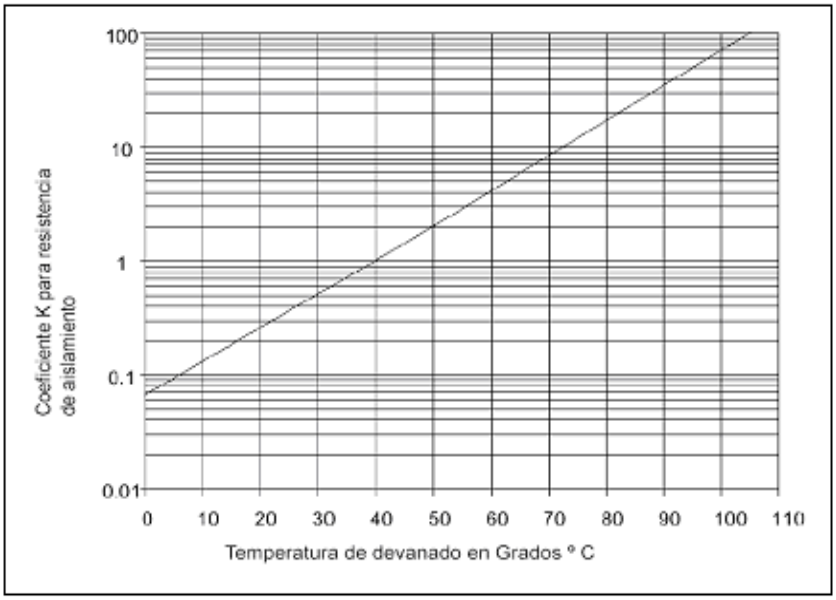
Figura 3.2
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Diagrama de Instalación del Meger.



Coeficiente K para resistencia de aislamiento

Con el valor de temperatura tomado en los devanados del estator, nos dirigimos al siguiente gráfico para obtener el correspondiente valor del coeficiente “K”.

Figura 3.3
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Gráfico para hallar el coeficiente K



Resistencia de aislamiento de los devanados del estator con respecto a tierra a 40 ºC

El proceso de cálculo a realizarse será el siguiente:

- Poseo un valor ***X*** de resistencia de aislamiento a una temperatura ***Y*** diferente a 40 ºC.
- Poseo un valor ***K*** salido en base a la tabla de acuerdo a la temperatura ***Y***
- ***R = K*** x ***X***

Donde R es la resistencia de aislamiento de los devanados del estator con respecto a tierra a 40 ºC. Este valor será comparado

con el valor mínimo de resistencia de aislamiento dado por la *IEEE Std 43-2000*.

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Dentro de la clasificación de las máquinas eléctricas existen los tan importantes motores de inducción, los mismos que se caracterizan por no tener una alimentación de corriente continua a los embobinados del rotor. Estas máquinas eléctricas juegan un papel importante en el desarrollo y funcionamiento de las unidades navales, por tal motivo, hemos establecido la necesidad de un análisis de rendimiento de los motores, con un solo objetivo:

"Verificar la capacidad de los motores para transformar la potencia eléctrica absorbida en potencia mecánica".

De ahí que el método para determinar el rendimiento de los motores eléctricos consiste en hallar los valores de los siguientes parámetros:

Potencia eléctrica absorbida
Resistencia de los devanados del estator

Pérdidas de cobre
Potencia del entrehierro
Velocidad sincrónica
Velocidad del eje del motor
Deslizamiento
Potencia convertida
Pérdidas rotacionales
Potencia de salida
Rendimiento

Potencia eléctrica absorbida.

La potencia eléctrica absorbida se refiere a la potencia que el motor consume para transformarla posteriormente en potencia mecánica; para la toma de valores se midió los siguientes parámetros:

DENOMINACIÓN	***NOMENCLATURA***
Voltaje de línea	V
Corriente de línea	I
Factor de potencia	Cos **θ**

Estos valores se tomaron con la ayuda del analizador de potencia de la POWER MEASURING ION 7600. La figura 3.4 nos muestra el analizador de potencia utilizado en esta inspección.

Figura 3.4
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Analizador de Potencia ION 7600

Posteriormente para el cálculo de la potencia se aplicó la siguiente fórmula:

$$P' = (3)^{\frac{1}{3}} * V * I * \cos\theta \qquad \text{ec.3.2}$$

Resistencia del devanado del estator.

La medición de la resistencia de los devanados del inducido se la realizó con la ayuda de un multímetro y las dos puntas respectivas. El diagrama de instalación para toma de datos es similar a la de la figura 3.1

Pérdidas de cobre.

Estas representan las primeras pérdidas que se producen en el motor en los devanados del estator, los parámetros utilizados para su cálculo son los siguientes:

DENOMINACIÓN	*NOMENCLATURA*
Corriente de línea	I
Resistencia de los devanados del inducido	R

Para el cálculo de las pérdidas de cobre se aplicó la siguiente fórmula:

$$P'' = 3 * I^2 * R \qquad \text{ec.3.3}$$

Potencia del entrehierro.

Esta potencia es la que se presenta en el entrehierro y se define como la diferencia entre la potencia de entrada y las pérdidas de cobre:

$$P = P' - P'' \qquad \text{ec.3.4}$$

Velocidad Sincrónica

Esta velocidad fue calculada en base a los siguientes parámetros:

DENOMINACIÓN	*NOMENCLATURA*
Frecuencia	f
Número de polos	P

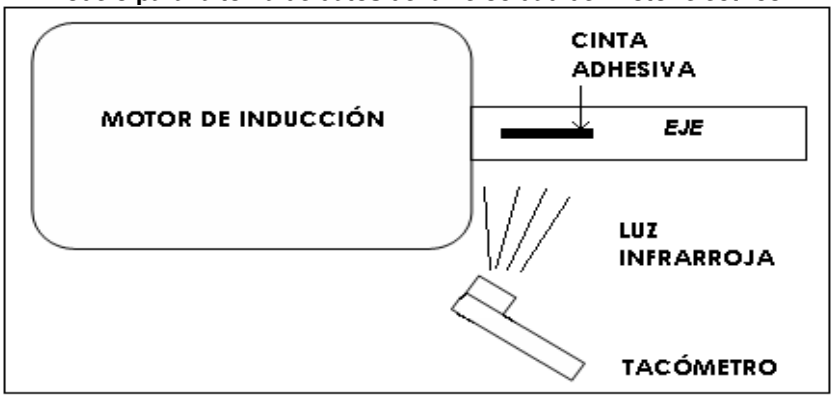
Para el cálculo de la velocidad sincrónica se utilizó la siguiente fórmula:

$$W_S = (120 * f)/P \qquad \text{ec.3.5}$$

Velocidad del eje del motor.

Esta velocidad corresponde a aquella que posee el rotor, este tipo de velocidad está en función de la carga que maneje el motor, para la toma de datos se utilizó un tacómetro infrarrojo el mismo que utilizando un adhesivo especial en el eje del motor se procedió a la operación del mismo donde se censaba la revoluciones por minuto de la máquina.

Figura 3.5
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Modelo para la toma de datos de la velocidad del motor eléctrico.



Deslizamiento

Este deslizamiento está en base a la velocidad sincrónica y la velocidad del eje del motor y se define en base a los siguientes parámetros:

DENOMINACIÓN	***NOMENCLATURA***
Velocidad sincrónica	Ws
Velocidad del eje del motor	η

Para el cálculo del deslizamiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$S = (W_S - \eta)/W_S \qquad \text{ec.3.6}$$

Potencia Convertida

Los parámetros utilizados para el cálculo de esta potencia es el siguiente:

DENOMINACIÓN	***NOMENCLATURA***
Deslizamiento	S
Potencia en el entrehierro	P

La fórmula utilizada para el cálculo de esta potencia convertida es la siguiente:

$$P_C = (1 - S) * P \qquad \text{ec.3.7}$$

Pérdidas Rotacionales

Las pérdidas rotacionales son un tipo de pérdidas que se presentan en los motores y pueden ser medidas solamente con el motor en vacío, la potencia absorbida que se mida en ese instante corresponderá a este tipo de pérdidas.

Esta potencia eléctrica absorbida se trata de la potencia que el motor consume para transformarla posteriormente en potencia mecánica, aunque en esta circunstancia no hay carga, para la toma de valores se midió los siguientes parámetros:

DENOMINACIÓN	*NOMENCLATURA*
Voltaje de línea	V
Corriente de línea	I
Factor de potencia	Cos **θ**

Estos valores se tomaron con la ayuda del analizador de potencia de la POWER MEASURING ION 7600. Posteriormente para el cálculo de la potencia se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_r = (3)^{\frac{1}{3}} * V * I * \cos\theta \qquad \text{ec.3.8}$$

Potencia de Salida

Es la potencia mecánica que el motor es capaz de entregar una vez que se han restado todas las pérdidas que se pueden presentar, este tipo de potencia se define como la diferencia entre la potencia convertida y las pérdidas rotacionales. De acuerdo a eso los parámetros utilizados para su cálculo son:

DENOMINACIÓN	*NOMENCLATURA*
Potencia convertida	Pc
Pérdidas rotacionales	Pr

De ahí que el cálculo utilizado es el siguiente:

$$P_m = P_C - P_r \qquad \text{ec.3.9}$$

RENDIMIENTO

Se define como la capacidad del motor en transformar la potencia eléctrica absorbida en una potencia mecánica de salida, sus parámetros son los siguientes:

DENOMINACIÓN	***NOMENCLATURA***
Potencia de salida	Pm
Potencia de entrada	P'

El cálculo se lo realiza de la siguiente manera:

$$\mathbf{R = P_m / P'} \qquad \text{ec.3.10}$$

3.2.5 Metodología de Inspección para las Tuberías.

En esta parte vamos a determinar la metodología de inspección a emplear para determinar las condiciones actuales de las tuberías que transportan agua de mar y agua refrigerada en el sistema de climatización. Debido a la gran cantidad de secciones o tramos de tuberías existentes en el sistema se seleccionará para la inspección una muestra aleatoria (secciones rectas de tuberías) con la finalidad de poder en determinar la condición de las muestras y predecir la condición del sistema. Se analizarán 5 puntos que determinarán el estado actual de dichas muestras de tuberías así como su condición en el futuro, tales puntos que serán analizados independientemente son los siguientes:

Inspección mediante medición de espesores para determinar la condición actual de las tuberías.
Cálculo de la tasa de corrosión y vida restante de las tuberías.
Cálculo de la máxima presión de trabajo que puede soportar la tubería en la actualidad.
Inspección visual externa

INSPECCIÓN MEDIANTE MEDICIÓN DE ESPESORES PARA DETERMINAR LA CONDICIÓN ACTUAL DE LAS TUBERÍAS.

El uso de tuberías en la industria es diversa y las principales variables en la selección de tuberías son: Temperatura, presión, corrosión y costo. La corrosión es un problema complejo, que no puede ser resuelto por una simple referencia o unas tablas diseñadas para hacer una rápida selección del presunto material.

La resistencia a la corrosión de un material varía, frecuentemente, de una forma radical con la temperatura y el grado de turbulencia, y estas condiciones nunca pueden ser anticipadas en una simple tabulación.

Selección de la técnica no destructiva para medición de espesores en tuberías.

En la selección de la técnica no destructiva para medir espesores y analizar la corrosión en tuberías se hace necesario

conocer las características mecánicas, espesor y la composición del material. La detección de la corrosión se puede hacer en tuberías utilizando la técnica de inspección visual, ya sea para observar corrosión externa como interna, dependiendo de las facilidades que presenten estas.

Para la inspección de la corrosión interna se puede recurrir a la ayuda de instrumentos ópticos tales como: boroscopio, endoscopio, etc., los cuales pueden detectar la corrosión sin poder decir como varía en espesor, por esta razón, se aconseja emplear otras técnicas para medir la variación de espesor.

Además de la inspección visual, se utiliza ciertas técnicas como partículas magnéticas, tintas penetrantes, las que ayudan a la visualización de la corrosión superficial y posibles grietas. Para la detección de la corrosión interna en tuberías donde el acceso no es permitido, se emplea las técnicas de ultrasonidos o radiografía industrial, dependiendo del uso de cada una de ellas, de las facilidades que presenten para la inspección, etc.

La técnica de los ultrasonidos, además de detectar la corrosión, se utiliza para medir la variación de espesores, haciéndose para

esto necesario conocer su espesor o datos referenciales. La técnica de ultrasonidos es recomendada en este tipo de inspección por su bajo costo por área inspeccionada. Además, si las tuberías son de gran espesor se hace necesario utilizarla, debido a las ventajas que presenta esta técnica, puesto que por radiografía industrial se hace difícil detectar pequeñas variaciones en espesores grandes.

Por todo lo antes expuesto se decide utilizar como técnica para la inspección de las tuberías de los diferentes tipos de agua, "L*a técnica de medición de espesores por ultrasonido"*, aprovechando además que se cuenta con un equipo el cual se lo utiliza para la medición de espesores en planchas de acero que forman parte del planchaje de los buques.

METODOLOGÍA

Para evaluar las condiciones actuales de las tuberías las cuales están sometidas a presión, asumiremos en primer lugar que dichas tuberías estarán sometidas a una pérdida general de metal, dicha asunción será verificada mediante los datos de espesores obtenidos en las mediciones realizadas, luego utilizaremos el código de inspección dado por la Norma API 579,

Sección 4 la cual consta de 2 Niveles de Cálculos los mismos que proporcionarán los resultados adecuados dependiendo de las características de los espesores tomados en las pruebas y del Nivel de Cálculo que se elija para procesar dicha información.

En el Apéndice E se muestra un *DIAGRAMA DE FLUJO* el cuál nos indica de manera general los pasos a seguir para evaluar un componente con *PÉRDIDA GENERAL DE METAL* usando los diferentes Niveles de Cálculos de la Sección 4 de la NORMA API 579.

Cálculo de la pérdida general de metal.

Los procedimientos de cálculos en esta sección pueden ser usados para toda forma de pérdida general de metal (uniforme o local) el cual excede o se predice que excederá la corrosión permitida. La metodología mostrada en el Apéndice F puede ser usada para determinar los procedimientos de cálculos a ser usados en esta evaluación.

Equipo utilizado.

La aplicación de los ultrasonidos se basa en el principio piezo-eléctrico, que es un fenómeno por el cual una corriente eléctrica al ser aplicada a un cristal se transforma en energía mecánica y la transmite a través de un medio de unión hacia la pieza o material a ser ensayada, o viceversa. Las vibraciones así generadas se propagan a través de la pieza ensayada con una velocidad que depende de las propiedades mecánicas del material ensayado.

Dentro de los ultrasonidos para detectar corrosión, se utiliza técnicas que emplean palpadores que transmiten ondas normales y transversales, y palpadores focalizados.

Para la toma de datos de espesores actuales en las tuberías de los diferentes tipos de agua se utilizó un “MEDIDOR DE ESPESORES DE ULTRASONIDO” , el cual es mostrado en la figura 3.6.

Figura 3.6
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Medidor de espesores de ultrasonido.

Características del equipo medidor de espesores.

Equipo	Medidor de espesores de ultrasonido
Marca	Cole Parmer
Modelo	59785-00
Serie	303413
Propietario	Dinnav (Dirección de Ingeniería Naval)

Toma de datos de espesores.

Las lecturas de espesores serán tomados sobre el componente (tubería) donde la pérdida de metal está ocurriendo para de esta manera evaluar la pérdida general de metal.

Hay dos opciones para obtener los datos de espesores:

- Lecturas puntuales de espesores.
- Lecturas mediante un perfil de espesores.

La primera opción puede ser usada para caracterizar la pérdida de metal sobre un componente como general *SI NO HAY DIFERENCIAS SIGNIFICANTES* entre los valores obtenidos en la localización de la inspección. *SI HAY UNA VARIACIÓN SIGNIFICANTE* en las lecturas de espesores, la pérdida de metal puede ser localizada, y la segunda opción debería ser usada para caracterizar el espesor restante y el tamaño de la región de pérdida de metal. Los tipos de espesores utilizados en esta sección para los cálculos de pérdida general de metal son:

- Espesor promedio medido (t_{am}).
- Espesor mínimo medido (t_{mm})

Si lecturas puntuales de espesores son usados en el cálculo, la asunción de pérdida general de metal deberá ser confirmada mediante inspecciones adicionales como radiografías u otro ensayo no destructivo. Un mínimo de 15 lecturas de espesores es recomendado a menos que el nivel del ensayo no destructivo utilizado pueda ser usado para confirmar que la pérdida de metal es general. En algunos casos, lecturas adicionales pueden ser requeridas basadas en el tamaño del componente, los detalles de construcción utilizados, y la naturaleza del fluido que transporta.

Si el Coeficiente de Variación (COV) de espesores leídos menos la Futura corrosión permitida (FCA) es más grande que el 10%, entonces el uso de perfiles de espesores deberá ser considerado para ser utilizado en los cálculos. El COV es definido como la desviación estándar dividido para el promedio. Una plantilla que puede ser usada para computar el COV es dada en el Apéndice G.

CÁLCULOS EN NIVEL 1.

A continuación se detallan todos los pasos que deben realizarse para evaluar un componente mediante la utilización de los procedimientos de cálculos del Nivel 1 de la sección 4 del Fitness for Service (FFS) Norma API 579.

PASO 1: Determine el MINIMO ESPESOR REQUERIDO (t_{min}), usando las siguientes ecuaciones.

$$t^{C}_{min} = \frac{P * R_C}{S * E - 0.6 * P} \qquad \text{ec.3.11}$$

$$t^{L}_{min} = \frac{P * R_C}{2 * S * E + 0.4 * P} \qquad \text{ec.3.12}$$

$$t_{min} = MAX(t^{C}_{min}, t^{L}_{min}) \qquad \text{ec.3.13}$$

PASO 2: Localice regiones de pérdida de metal sobre el componente y determine el tipo de datos de espesores que serán registrados (lecturas de espesores puntuales o perfil de datos de espesores). Basados en esos datos, determine el MÍNIMO ESPESOR MEDIDO, t_{min}. Si perfiles de datos de espesores son usados, entonces proceda al paso 3. Si lecturas de espesores puntuales son usadas, determine el COEFICIENTE DE VARIACIÓN (COV) basado sobre las lecturas de espesores y Futura corrosión permitida. Si el COV es menor o igual al 10% entonces proceda al paso 6 para completar los cálculos usando el espesor promedio t_{am}. Si el COV es más grande que el 10% entonces el uso de perfiles de datos de espesores será considerado para los cálculos.

PASO 3: Determine la longitud para el espesor promedio, L.

PASO 3.1: Evalué el radio de espesor restante, R_t

$$R_t = \left(\frac{t_{mm} - FCA}{t_{min}} \right) \qquad \text{ec.3.14}$$

Donde:

FCA = Futura corrosión admitida (mm).

t_{min} = Mínimo espesor requerido (mm).

t_{mm} = Mínimo espesor medido (mm).

PASO 3.2: Evalúe la longitud para el espesor promedio, L.

$$L = Q * \sqrt{D * t_{min}} \qquad \text{ec.3.15}$$

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería.

Q = Factor de la tabla 4.4 basado sobre el factor de resistencia remanente admisible y el radio de espesor admisible. R_t. También se lo puede hallar aplicando la fórmula 4.15 que se encuentra en el Apéndice H.

PASO 4: Establezca el perfil de espesores crítico (CTP) de los datos de perfil de espesores y determine s y c, las dimensiones el cual define la región de pérdida de metal en las direcciones longitudinal y circunferencial, respectivamente. Las dimensiones s y c son determinadas de sus respectivos CTP y t_{min}.

PASO 5: Basado sobre los parámetros L y s del paso 3 y 4, respectivamente, realizar el cálculo FFS de la región de pérdida de metal usando uno de los siguientes métodos.

Para (s < = L): La longitud meridional o longitudinal de pérdida de metal es aceptable si los criterios limitadores del tamaño del defecto en la sección 5 son satisfechos.

Para (s > L): Uno de los siguientes métodos de cálculos pueden ser usados.

a) Un acercamiento simple es fijar espesor promedio igual al mínimo espesor medido o ($t_{am} = t_{mm}$) y proceder al paso 6 (nivel 1 o 2 según sea aplicable). Esta aproximación facilita el cálculo del FFS; sin embargo, los resultados pueden ser conservadores si radio de espesores remanente es pequeño.

b) Determine el espesor promedio y el espesor mínimo medido para el CTP meridional como se describe abajo. Entonces proceda al paso 6 (nivel 1 o 2 según sea aplicable). Para completar los cálculos.

   1. Determine el mínimo espesor medido, t_{mm} considerando todos los puntos en el CTP longitudinal y circunferencial.

   2. Compute el espesor promedio medido del CTP en las direcciones meridional y circunferencial y designe esos valores como t^{s}_{am} y t^{c}_{am}, respectivamente. El espesor promedio es computado haciendo numéricamente un promedio de espesores medidos sobre la longitud L. el

centro o el punto mediano de la longitud para espesores promediados, L será localizado en t_{mm}.

3. Para tuberías rectas y curvas $t_{am} = t^s_{am}$ en un cálculo de nivel 1. En un cálculo de nivel 2 t^s_{am} y t^c_{am} son usados directamente en el cálculo de cargas suplementarias.

c) La región de perdida de metal puede ser evaluada usando un cálculo de nivel 3.

d) La región de pérdida de metal puede ser evaluada usando los procedimientos de cálculos de la sección 5 para pérdida local de metal.

PASO 6: *La aceptabilidad para que la tubería continué operando puede ser establecida usando los siguientes criterios.*

a) El espesor de pared promedio medido deberá satisfacer los siguientes criterios de espesores. Alternativamente, el MAWP calculado basado en el espesor (t_{am} – FCA) deberá ser igual o mas grande que el MAWP actual.

$$\boxed{t_{am} - FCA \geq t_{min}} \qquad \text{ec.3.16}$$

b) El mínimo espesor de pared medido, t_{mm} deberá satisfacer el siguiente criterio para sistemas de tuberías a presión.

$$t_{mm} - FCA \geq \max[0.5 * t_{min}, 2.5mm] \quad \text{ec.3.17}$$

***SI EL COMPONENTE NO SATISFACE LOS REQUERIMIENTOS DE CÁLCULO DE NIVEL 1, ENTONCES LOS SIGUIENTES, O COMBINACIONES DE ELLOS DEBEN SER CONSIDERADOS**.*

a) Repare o retire el componente.
b) Ajuste el FCA aplicando técnicas de la remediación.
c) Ajuste la eficiencia de junta de soldadura o factor de calidad E, para conducir a reexaminación adicional y repita los cálculos.
d) Realizar cálculos de nivel 2

CÁLCULOS EN NIVEL 2.

PASO 1: Procedimiento igual al cálculo de nivel 1.

PASO 2: Procedimiento igual al cálculo de nivel 1.

PASO 3: Procedimiento igual al cálculo de nivel 1.

PASO 4: Procedimiento igual al cálculo de nivel 1.

PASO 5: Procedimiento igual al cálculo de nivel 1.

PASO 6: *La aceptabilidad para que la tubería continué operando puede ser establecida usando los siguientes criterios*

a) El espesor de pared promedio medido por el CTP deberá satisfacer los siguientes criterios de espesores. Alternativamente, el MAWP calculado basado en los espesores (t_{am} – FCA) / RSF_a y (t_{am} – FCA – t_{sl}) / RSF_a deberá ser igual o exceder el MAWP de diseño.

$$t^{s}_{am} - FCA \geq RSF_a * t^{c}_{min} \quad \text{ec.3.18}$$

$$t^{c}_{am} - FCA \geq RSF_a * t^{L}_{min} \quad \text{ec.3.19}$$

b) El mínimo espesor de pared medido, t_{mm} deberá satisfacer el siguiente criterio para sistemas de tuberías a presión.

$$t_{mm} - FCA \geq \max[0.5 * t_{min}, 2.5mm] \quad \text{ec.3.19}$$

***SI EL COMPONENTE NO SATISFACE LOS REQUERIMIENTOS DE CÁLCULO DE NIVEL 2, ENTONCES LOS SIGUIENTES, O COMBINACIONES DE ELLOS DEBEN SER CONSIDERADOS**.*

a) Repare o retire el componente.
b) Ajuste el FCA aplicando técnicas de la remediación.

c) Ajuste la eficiencia de junta de soldadura o factor de calidad E, para conducir a reexaminación adicional y repita los cálculos.

Una vez realizados todos los cálculos se podrá determinar la condición actual de las muestras de tuberías seleccionadas y de esta manera poder proyectar de manera general a todo el sistema de tuberías.

CÁLCULO DE LA TASA DE CORROSIÓN Y VIDA RESTANTE DE LAS TUBERÍAS.

Una vez determinado si las secciones de tuberías inspeccionadas pueden seguir operando bajo las condiciones de trabajo actual, se procede a determinar la tasa de corrosión y vida restante de las tuberías con la finalidad de determinar el tiempo de vida útil de las mismas.

Para determinar la velocidad o la tasa de corrosión (en mpy o mm/y) de las tuberías vamos a utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{TasaCorrosión} = \frac{t_{inicial} - t_{am}}{T} \qquad \text{ec.3.20}$$

Donde:

$\mathbf{t_{am}}$ = Espesor de pared promedio actual (tomado mediante la inspección) de la tubería en pulgadas (in) o milímetros (mm).

$\mathbf{t_{inicial}}$ = Espesor original (diseño) de la tubería en pulgadas (in) o milímetros (mm) tomado en la misma localización en el que fue tomado el t_{actual}.

T = Tiempo (años) entre el $t_{inicial}$ y el t_{actual}.

La vida restante del componente es un parámetro importante ya que con esto podemos predecir en que momento debemos realizar los respectivos cambios o realizar algún tipo de mantenimiento preventivo con las finalidad de poder alargar lo más posible el tiempo de vida de dichos elementos, sin embargo esta variable no la consideraremos en la evaluación ya que lo que deseamos es saber es la condición actual de las tuberías, pero indicaremos como determinar esta variable.

Para determinar el tiempo de vida útil de las tuberías (vida restante) vamos a considerar la tasa de corrosión de la siguiente manera:

$$\mathbf{R_{life}(años) = \frac{t_{am} - K * t_{min}}{C_{rate}}} \quad \text{ec.3.21}$$

Donde:

C_{rate} = Tasa de corrosión (mm / años o m.p.y)

K = Factor que depende del nivel del cálculo; para cálculos de nivel 1 K=1.0, para un cálculo de nivel 2 , K= RSFa.

R_{life} = Vida restante (años).

RSFa = Factor de resistencia permisible restante

t_{min} = Espesor de pared mínimo requerido en pulgadas (in) o milímetros (mm), tomado en la misma localización en el que fue tomado el t_{am}. Y cuya medición es computada por las fórmulas de diseño (presión y esfuerzos) antes de que la corrosión permisible u tolerancia de manufactura sea alcanzado.

CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DE TRABAJO QUE PUEDE SOPORTAR LA TUBERÍA EN LA ACTUALIDAD.

El momento en que las tuberías colapsarán debido a que la presión del sistema es mayor a la presión máxima permitida de trabajo de las tuberías se la determinará utilizando la siguiente ecuación:

$$MAWP = \frac{2*S*E*t}{D} \qquad \text{ec.3.22}$$

Donde:

MAWP = Presión Máxima de Trabajo Permitida.

S = Esfuerzo admisible del material de las tuberías.

E = Eficiencia de la Soldadura.

t = Espesor de diseño menos dos veces la cantidad perdida por la corrosión.

D = Diámetro externo de la tubería.

INSPECCIÓN VISUAL EXTERNA

Para completar la inspección a las tuberías existentes en el sistema se realiza una inspección visual externa a las mismas con la finalidad de encontrar factores que no fueron considerados en las metodologías de inspección antes detalladas y que estarían influyendo en el estado actual de las mismas. Factores tales como corrosión externa, fallas en los cordones de soldaduras, inexistencia del aislamiento en el caso de las tuberías de transporte de agua refrigerada, etc.

3.3 Metodología de Análisis para los fluidos presentes en el sistema.

3.3.1 Metodología de Análisis para el Freón 22

La metodología utilizada para realizar el análisis del refrigerante Freón 22 está basada en los siguientes puntos:

Identificación de la clasificación del refrigerante según criterios de Seguridad.

Evaluación del refrigerante desde el punto de vista ecológico y su impacto en el medio ambiente.

IDENTIFICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL REFRIGERANTE SEGÚN CRITERIOS DE SEGURIDAD.

La identificación de la clasificación del refrigerante según criterios de seguridad consiste en determinar sus características de toxicidad e inflamabilidad, para lo cual utilizaremos los criterios de seguridad dados en el Estándar 34 de la ASHRAE.

En el Estándar 34 de la ASHRAE, los refrigerantes son clasificados según el riesgo involucrado en su uso. La toxicidad y las clasificaciones de inflamabilidad proporcionan seis grupos de seguridad (A1, A2, A3, B1, B2 y B3) para refrigerantes. Los refrigerantes del Grupo A1 son los menos peligrosos, mientras que los refrigerantes que pertenecen al Grupo B3 son los más peligrosos. La clasificación de seguridad en el Estándar 34 de la ASHRAE consiste de una letra capital y un número. La letra capital designa la toxicidad del refrigerante en concentraciones debajo de 400 p.p.m por volumen y el número denota la inflamabilidad del refrigerante. A continuación la tabla 30 describe la nomenclatura y definición utilizada en dicha clasificación, la cual utilizaremos para realizar la evaluación de las condiciones actuales de este refrigerante y su influencia.

Tabla 30
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Nomenclatura utilizada en la clasificación de seguridad del Estándar 34 de la ASHRAE

TOXICIDAD DEL REFRIGERANTE	
Clase A	Toxicidad no identificada
Clase B	Evidencia de toxicidad identificada
INFLAMABILIDAD DEL REFRIGERANTE	
Clase 1	Ninguna propagación de llama en el aire a 65 ºF y 14,7 psia
Clase 2	Límite de baja inflamabilidad (LFL) más grande que 0,00625 lb/ft3 en 70 ºF y 14,7 psia. Y calor de combustión menor que 8174 Btu/lb.
Clase 3	Alta inflamabilidad definida por (LFL) menor o igual a 0,00625 lb/ft3 en 70 ºF y 14,7 psia o calor de combustión más grande o igual a 8174 Btu/lb.

Fuente: Handbook (CD) de la ASHRAE

EVALUACIÓN DEL REFRIGERANTE DESDE EL PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE.

La evaluación del refrigerante desde el punto de vista ecológico y su impacto en el medio ambiente se la determinará tomando en consideración los reglamentos y restricciones establecidos en el Protocolo de Montreal el cual es un tratado internacional creado el 16 de Septiembre de 1987 para la protección de la capa de ozono, en donde se estableció, primero la eliminación de los clorofluorocarburos (CFC) de mayor contenido en cloro, y la retirada gradual de los hidroclorofluorocarburo (HCFC).

La tabla 31 muestra una lista que consta en el Protocolo de Montreal en la cual se encuentran los principales refrigerantes con su respectivo potencial de agotamiento del ozono la cual utilizaremos para la evaluación del refrigerante y en el Apéndice I se encuentra un extracto de una lista de países en la cual se encuentran las fechas de aceptación y aprobación de los acuerdos sobre la protección de la capa de ozono o adhesión a dichos acuerdos.

Tabla 31

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Potencial de agotamiento de ozono de diferentes refrigerantes

Grupo	Sustancias	Número de isómeros	Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO)
Grupo I			
$CHFCl_2$	(HCFC-21)	1	0,04
CHF_2Cl	(HCFC-22)	1	0,055
CH_2FCl	(HCFC-31)	1	0,02
C_2HFCl_4	(HCFC-121)	2	0,01 - 0,04
$C_2HF_2Cl_3$	(HCFC-122)	3	0,02 - 0,08
$C_2HF_3Cl_2$	(HCFC-123)	3	0,02 - 0,06
$CHCl_2CF_3$	(HCFC-123)	-	0,02
C_2HF_4Cl	(HCFC-124)	2	0,02 -0,04
$CHFClCF_3$	(HCFC-124)	-	0,022
$C_2H_2FCl_3$	(HCFC-131)	3	0,007 - 0,05
$C_2H_2F_2Cl_2$	(HCFC-132)	4	0,008 - 0,05
$C_2H_2F_3Cl$	(HCFC-133)	3	0,02 - 0,06
$C_2H_3FCl_2$	(HCFC-141)	3	0,005 - 0,07
$C_2H_3F_2Cl$	(HCFC-142)	3	0,008 - 0,07
CH_3CF_2Cl	(HCFC-142b)	-	0,065
C_2H_4FCl	(HCFC-151)	2	0,003 - 0,005
C_3HFCl_6	(HCFC-221)	5	0,015 - 0,07
$C_3HF_2Cl_5$	(HCFC-222)	9	0,01 - 0,09

Fuente: Documento del Protocolo de Montreal

3.3.2 Metodología de Análisis para el Agua de Mar y Agua Refrigerada.

El agua que se utiliza en el acondicionamiento del aire puede plantear en el funcionamiento del equipo problemas tales como la formación de incrustaciones, corrosión y crecimientos orgánicos. Siendo un disolvente universal, el agua disuelve los gases del aire, las substancias minerales procedentes del suelo y las rocas con las que entra en contacto. Las condiciones ambientales que rodean al equipo de acondicionamiento de aire pueden producir lodos y algas. Para tener un control efectivo de todos los componentes de un sistema, conviene hacer un estudio conjunto del sistema y del agua que se va a emplear.

Las técnicas y el equipo necesario para resolver el problema de las aguas varían con las características de éstas, clase y tamaño del sistema y facilidades disponibles. Se puede realizar un tratamiento a fondo del agua para un determinado trabajo, o programarlo únicamente para tratar algunos de los problemas del agua.

CARACTERISTICAS Y COMPONENTES DEL AGUA.

Los componentes y las impurezas del agua pueden clasificarse en sólidos, líquidos, gases disueltos y materias en suspensión. Ejemplos de sólidos disueltos son el cloruro de calcio y el carbonato de calcio en solución. El barro, la arcilla y la arena son ejemplos de materias en suspensión que pueden eliminarse por filtración.

El ph, la alcalinidad y la dureza son de particular importancia en el tratamiento de aguas por este motivo explicamos detalladamente a continuación.

Valor del ph.

El ph es uno de los factores de control más importantes en el tratamiento de aguas. Es un símbolo arbitrario que se ha adoptado para expresar el grado de acidez o basicidad de una muestra de agua. El agua neutra tiene un ph de 7. Por debajo de 7 las aguas son ácidas, y entre 7 y 14 son alcalinas (básicas). Un ph inferior a 7 origina la corrosión de los elementos con los que entra en contacto. Cuando el ph es elevado (mayor de 7.5 u 8) es fácil que se produzca depósitos de carbonato cálcico.

Alcalinidad.

La alcalinidad es el factor más importante del agua cuando se quiere determinar su tendencia a la formación de incrustaciones. Generalmente la alcalinidad es la medida de su poder neutralizador de ácidos, y se determina mediante medición de la cantidad de disolución ácida empleada para neutralizar el carácter alcalino del agua analizada, neutralización que se detecta por el cambio de calor que se produce en un indicador.

La alcalinidad puede clasificarse en dos categorías, respecto al ph, en a forma siguiente:

1. Alcalinidad de fenolftaleína, que mide los carbonatos y los iones hidroxílicos.
2. Alcalinidad del anaranjado de metilo (total) que nos da una medida de todas las substancias alcalinas, y comprende la alcalinidad de fenolftaleína.

Dureza.

La dureza representa la suma de las sales de calcio y magnesio que contiene el agua, aunque puede incluir también aluminio, hierro, manganeso, estroncio o zinc. La dureza de carbonatos (dureza temporal) se atribuye a los carbonatos y bicarbonatos de

calcio y magnesio, expresada en p.p.m. de CO_3Ca. El resto de la dureza (dureza permanente) que no corresponde a los carbonatos, se debe a los sulfatos, cloruros y nitratos de calcio, o magnesio, expresados en ppm como CO_3Ca.

El método más preciso para determinar la dureza del agua es mediante un análisis químico completo. En las instalaciones de tratamiento se determina la dureza por medio de soluciones jabonosas, pero este procedimiento es mucho menos preciso que el que se practica en los laboratorios. Las pruebas de alcalinidad pueden emplearse para determinar la dureza correspondiente a los carbonatos y bicarbonatos, en la forma siguiente:

1. Cuando la alcalinidad del anaranjado de metilo, o alcalinidad total, es mayor que la dureza total, toda la dureza se debe a carbonatos y bicarbonatos.

2. Cuando es menor,
    a) La dureza del carbonato es igual a la alcalinidad
    b) La dureza temporal es igual a la total, menos la alcalinidad del anaranjado de metilo.

Problemas que origina el agua.

Los problemas que origina el agua pueden dividirse en tres categorías:

1. La formación de incrustaciones que reduce la conductibilidad térmica de los intercambiadores y la pérdida de carga en ellos.
2. La corrosión, que puede ser debida en parte a que el agua absorba los gases del aire y ataque los metales. En las zonas industriales éste suele ser el mayor problema, porque se disuelven muchos gases en el agua. Esta corrosión se produce con mayor intensidad en las zonas de aguas blandas.
3. Los crecimientos orgánicos de lodos y algas, que se forman bajo ciertas condiciones del ambiente que rodea la tubería, puede reducir la conductibilidad térmica de los intercambiadores, por formarse una capa aislante, o puede producir la corrosión y la perforación.

A continuación se presentará una breve explicación de cada uno de estos problemas y la metodología de evaluación que se utilizará para evaluar las condiciones de entrada del agua.

Incrustaciones y depósitos.

Cuando el agua se calienta o evapora, la formación de incrustaciones insolubles puede causar serios problemas en los sistemas de acondicionamiento de aire. Las incrustaciones crean una capa protectora que reduce la corrosión, pero al mismo tiempo también reduce la conductibilidad térmica de la conducción y por lo tanto su capacidad de transmisión térmica.

El depósito de incrustación más corriente en los sistemas de aire acondicionado es el carbonato de cálcico, aunque también puede haber pequeñas cantidades de carbonato magnésico y sulfato cálcico.

Causas y tipos de las incrustaciones y depósitos

Incrustaciones de Carbonato Cálcico.

Los principales factores que determinan la formación de incrustaciones de carbonato cálcico en un sistema son:

1. Gran alcalinidad de anaranjado de metilo, en ppm, de CO_3Ca.
2. Gran contenido de calcio.
3. Elevado ph.
4. Alta temperatura.

5. Gran porcentaje de sólidos disueltos.

Normalmente, la alcalinidad del anaranjado de metilo es una buena medida de la cantidad de bicarbonato cálcico que hay en el agua.

Incrustaciones de Sulfato Cálcico.

El sulfato cálcico tiene una gran solubilidad y rara vez constituye problema en el tratamiento de aguas, a no ser que exista una cantidad excesiva en la totalidad del agua. Puede formarse por la acción del SO_2 del aire que se disuelve en el agua para formar ácido sulfuroso SO_3H_2, o sulfúrico, SO_4H_2, el que a su vez, reacciona con el carbonato, o también por la acción del ácido sulfúrico que se utiliza para control de las incrustaciones.

Barros.

El barro puede producirse por la existencia de productos de la corrosión en el sistema. Los polifosfatos que se utilizan para evitar la formación de incrustaciones de carbonato cálcico pueden provocar una precipitación de polifosfato cálcico, cuando la concentración de ortofosfato es demasiado alta. El barro puede formarse en los depósitos de agua y en las tuberías, por lo que

para evitar la formación de barros se recomienda una velocidad mínima del líquido de 1 m / seg.

Corrosión.

Los productos de la corrosión reducen la capacidad de las tuberías, aumentan las resistencias de rozamiento y los cotes de bombeo. Los productos de la corrosión tienen un volumen varias veces mayor que el del metal al que substituyen y con frecuencia pueden obstruir o taponar las tuberías de pequeño diámetro.

Tipos de Corrosión.

En un sistema de acondicionamiento de aire pueden distinguirse diversos tipos de corrosión en las tuberías de agua:

1. Corrosión uniforme.
2. Corrosión por picaduras.
3. Corrosión galvánica.
4. Corrosión por pilas de concentración o celdillas.
5. Erosión – Corrosión.

Causas de la Corrosión.

Aunque son muchos los factores que contribuyen a la corrosión en los sistemas de refrigeración, el principal factor es el oxígeno disuelto en el agua de refrigeración. La reacción del oxígeno disuelto con los metales férreos aumenta con la temperatura. Los principales factores que controlan las características corrosivas del agua son:

1. La concentración de oxígeno disuelto.
2. La temperatura.
3. El contenido de anhídrido carbónico.
4. El ph.
5. Los sólidos disueltos.
6. Los sólidos en suspensión.
7. La velocidad.

Lodos y algas.

Los lodos están formados por microorganismos capaces de multiplicarse con rapidez produciendo grandes masas de materia orgánica. Los lodos y algas impiden la correcta transmisión de calor en los condensadores porque se adhieren fácilmente a las

superficies depositando una capa muy aislante. Dichos organismos pueden clasificarse según su naturaleza en algas, hongos y bacterias.

Las especies de algas de mayor importancia en los sistemas de enfriamiento de agua se encuentran en los puntos del sistema que tiene acceso al aire y a la luz. En presencia de la luz solar estas plantas microscópicas desarrollan procesos de fotosíntesis para elaborar sus alimentos y desprender oxígeno. En las superficies metálicas las masas de algas vivas pueden acelerar la corrosión en forma de picaduras. Las algas muertas que se encuentran en los intercambiadores de calor pueden producir una acción corrosiva de tipo galvánico capaz de provocar importantes picaduras en el metal. El segundo tipo de suciedad biológica es el conocido con el nombre de hongos sin clorofila, que no pueden elaborar su propio elemento. A este grupo pertenecen los mohos y las levaduras, los cuales dependen del alimento que se encuentra en el agua y utilizan como fuente de materia nitrogenada y celulosa.

El tercer tipo lo constituyen las bacterias que forman lodos, aunque no todas las bacterias forman lodos. Un grupo reduce los

sulfatos que contiene el agua convirtiéndolos los iones sulfito de gran poder corrosivo. Otro grupo utiliza el hierro soluble y los depósitos insolubles de óxido de hiero para formar una envoltura viscosa alrededor de sus células. Algunos tipos de bacterias se alimentan de los nitritos que se utilizan como preventivos de la corrosión. Cuando se utiliza como preventivo de nitrito sódico debe evitarse el crecimiento de este último grupo de bacterias.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA PREDECIR LA TENDENCIA DE FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES Y CORROSIÓN.

El agua que forma una incrustación ligera puede ser corrosiva, mientras la que forma incrustaciones grandes es menos propensa a esta acción. Generalmente, las aguas corrosivas no forman incrustaciones. Si se hace un tratamiento de aguas, el resultado debe ser un agua que no sea corrosiva ni forme incrustaciones, o al menos éstas sean ligeras. Para predecir estas tendencias vamos a utilizar dos índices que son los siguientes:

1. Índice de Saturación de Langelier.
2. Índice de Estabilidad de Ryznar.

Para poder utilizar estos índice es necesario en primer lugar realizar un análisis químico del agua que se va utilizar para dicha aplicación. El análisis químico consiste en una evaluación de las cantidades contenidas en ppm (partes por millón) de Alcalinidad, Dureza, Total de sólidos disueltos y Ph. Con estos datos ya podemos utilizar los índices antes descritos para predecir la tendencia a la formación de incrustaciones y corrosión.

A continuación se detallan los pasos a seguir, así como las ecuaciones, tablas y gráficos utilizados para la obtención de los resultados deseados al utilizar dichos índices.

ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER (LSI).

Para evaluar el Índice de Saturación de Langelier vamos a utilizar la siguiente ecuación.

$$\boxed{\mathbf{LSI = ph - ph_S}} \quad \text{ec.3.23}$$

Donde:

Ph = Es el valor de ph procedente del análisis químico.

Ph_S = Es el ph calculado de saturación del carbonato cálcico.

- Cuando LSI es igual a cero, existe equilibrio de saturación, no se formará incrustaciones, y la corrosión es muy pequeña.

- Cuando LSI es negativo (ph menor que ph_S) se producirá la corrosión de los metales al descubierto y cualquier incrustación se disolverá.
- Cuando LSI es positivo (ph mayor que ph_S) existe una condición de sobresaturación que tiende a depositar incrustaciones en las partes más calientes del sistema.
- Cuando el Índice de Langelier es + 0.5 o mayor, generalmente se producen incrustaciones. La importancia de estas aumentan en proporción logarítmica con los valores del índice de Langelier. Por ejemplo, un agua que tenga un índice de Langelier de 2 resulta, aproximadamente, con unas incrustaciones 33 veces más importantes que otra que tenga un índice de + 0.5; en el mismo sistema. Aunque esta relación no indica con exactitud nada en el aspecto cuantitativo, sí indica que las incrustaciones pueden ser importantes cuando se alcanza un índice de 2.

A continuación se presenta una tabla con las tendencias del agua de acuerdo a valor del índice que resulte de los cálculos.

Tabla. 32
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Predicción de las Características del Agua por el Índice de Saturación de Langelier.

Índice de Saturación de Langelier (LSI)	Tendencia del Agua
+ 2.0	Formación de costra; para aplicaciones prácticas no corrosivas.
0.5	Ligeramente corrosiva y forma costra
0.0	Equilibrada, pero es posible la corrosión por picadura
- 0.5	Ligeramente corrosiva y no forma costra
- 2.0	Fuerte corrosión

Fuente: Handbook of Air Conditioning System Design.

El método más exacto para calcular el Phs es usar la siguiente fórmula:

$$\boxed{ph_S = (9.3 + A + B) - (C + D)} \quad \text{ec.3.24}$$

Los valores numéricos de A, B, C y D para reemplazarlos en la fórmula son encontrados en la tabla 33.

El empleo del índice de saturación de Langelier indica la tendencia a la formación de incrustaciones o a la corrosión del agua y debe emplearse solamente como guía para establecer la clase de tratamiento que se ha de dar para un determinado trabajo.

Tabla 33

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Valores numéricos para reemplazar en ecuación y encontrar PHs de saturación para el agua.

Sólidos Totales	A	Ca como CaCO3	C	Alcalinidad	D
50-330	0,1	10-11	0,6	10-11	1,0
400-1000	0,2	12-13	0,7	12-13	1,1
Temperatura (ºF)	**B**	14-17	0,8	14-17	1,2
		18-22	0,9	18-22	1,3
32-34	2,6	23-27	1,0	23-27	1,4
36-42	2,5	1-28-34	1,1	28-35	1,5
44-48	2,4	35-43	1,2	36-44	1,6
50-56	2,3	44-55	1,3	45-55	1,7
58-62	2,2	56-69	1,4	56-69	1,8
64-70	2,1	70-87	1,5	70-88	1,9
72-80	2,0	88-110	1,6	89-110	2,0
82-88	1,9	111-138	1,7	111-139	2,1
90-98	1,8	139-174	1,8	140-176	2,2
100-110	1,7	175-220	1,9	177-220	2,3
112-122	1,6	230-270	2,0	230-270	2,4
124-132	1,5	280-340	2,1	280-340	2,5
134-146	1,4	350-430	2,2	350-440	2,6
148-160	1,3	440-550	2,3	450-550	2,7
162-178	1,2	560-690	2,4	560-690	2,8
178-194	1,1	700-870	2,5	700-880	2,9
194-210	1,0	880-1000	2,6	890-1000	3,0

Fuente: Facility Piping Systems Handbook

ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE RYZNAR (RSI).

El índice de estabilidad de Ryznar proporciona un método empírico para determinar la tendencia a la formación de incrustaciones y se basa en un estudio sobre resultados operativos de aguas que tienen distintos índices de saturación.

El RSI es calculado de la fórmula siguiente que usa las mismas definiciones usada para el LSI.

$$\mathbf{RSI = 2^{*}\ ph_S - ph} \qquad \text{ec.3.25}$$

Este índice, que es siempre positivo, se usa junto con el índice de Langelier para predecir con más exactitud las posibilidades de corrosiones y depósitos en las tuberías de agua. A continuación se presenta una tabla con las tendencias del agua de acuerdo a valor del índice que resulte de los cálculos.

Tabla 34
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Predicción de la tendencia del agua usando el índice de estabilidad de Ryznar.

Índice de Estabilidad de Ryznar	Tendencia del Agua
4,0 - 5,0	Capa gruesa de incrustación
5,0 - 6,0	Capa fina de incrustación
6,0 - 7,0	Poca incrustación o corrosión
7,0 - 7,5	Corrosión importante
7,5 - 9,0	Mucha corrosión
9,0 y mayor	Corrosión inadmisible

Fuente: Handbook of Air Conditioning System Design.

Mediante el uso de estos dos índices podemos predecir los problemas que esta ocasionando el agua que ingresa a los diferentes equipos del sistema de climatización y de esta manera determinar la condición actual de los mismos.

Todas las metodologías mostradas en este capítulo tienen como objetivo principal el dar una guía para realizar la inspección de los principales equipos que forman parte del sistema de

climatización y poder realizar la evaluación de las condiciones actuales.

En el capítulo 4 se presentan todos los resultados obtenidos al aplicar dichas metodologías de inspección y al mismo tiempo se realiza un análisis de los resultados obtenidos para de esta manera plantear las mejoras necesarias al mismo.

CAPÍTULO 4

4. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan tablas, gráficos, imágenes y resultados de los cálculos realizados en la inspección a los principales equipos y fluidos existentes en el sistema de climatización siguiendo para ello la metodología descrita en el capítulo anterior, también se realiza un análisis de los resultados obtenidos para cada equipo en dicha inspección, el cual servirá para plantear las mejoras necesarias al sistema.

4.1 Inspección y Análisis de Resultados de Equipos

Como se estableció en el capítulo anterior, primero haremos una inspección a la instrumentación y/o equipos secundarios tales como válvulas, medidores, unidades manejadoras de aire, etc. del sistema de climatización. La tabla 35 muestra los resultados obtenidos en dicha inspección.

Tabla 35

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Resultados obtenidos en la inspección a los equipos secundarios

EQUIPO / INSTRUMENTACIÓN	CONDICÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXISTE
UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA # 1			
Manómetro de presión de succión	X		
Manómetro de presión de descarga	X		
Manómetro de presión de aceite	X		
Termómetro de entrada de agua de mar	X		
Termómetro de salida de agua de mar	X		
Termómetro de entrada de agua refrigerada	X		
Termómetro de salida de agua refrigerada	X		
Manómetro de presión de descarga de agua de mar	X		
Manómetro de presión de descarga de agua refrigerada	X		
UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA # 2			
Manómetro de presión de succión	X		
Manómetro de presión de descarga		X	
Manómetro de presión de aceite		X	
Termómetro de entrada de agua de mar		X	
Termómetro de salida de agua de mar		X	
Termómetro de entrada de agua refrigerada	X		
Termómetro de salida de agua refrigerada		X	
EQUIPOS Y/O ACCESORIOS DE UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA			
Filtro de agua de mar	X		
Válvulas descarga de aire de línea de agua de mar		X	
Válvulas descarga de aire de línea de agua refrigerada		X	
Válvulas de interceptación de líneas de agua de mar	X		
Válvulas de interceptación de líneas de agua refrigerada	X		
Válvula de By-pass de línea de agua refrigerada	X		
UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE			
Acondicionador centralizado C1	X		
Acondicionador centralizado C2	X		
Acondicionador centralizado C3	X		
Acondicionador local CL1	X		
Acondicionador local CL2	X		
Acondicionador local CL3A	X		
Acondicionador local CL3B	X		

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la inspección realizada a los equipos principales del sistema de climatización.

4.1.1 Compresores

De acuerdo a la metodología empleada para la inspección de los compresores uno y dos del sistema de climatización se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes puntos establecidos en dicha inspección.

INSPECCIÓN DE LOS CONTROLES DE SEGURIDAD DEL COMPRESOR.

La tabla 36 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección a los controles de seguridad a los compresores uno y dos del sistema de climatización.

Tabla 36
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Inspección de los controles de seguridad de los compresores #1 y #2

INSTRUMENTACIÓN	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXISTE
COMPRESOR #1			
Presostato de Alta Presión	X		
Presostato de Baja Presión	X		
Presostato Diferencial de Aceite	X		
COMPRESOR # 2			
Presostato de Alta Presión	X		
Presostato de Baja Presión	X		
Presostato Diferencial de Aceite	X		

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN E INSPECCIÓN DE LAS PRESIONES DE SUCCIÓN Y DESCARGA.

La figura 4.1 muestra el monitoreo realizado a las presiones del compresor # 1 en muelle y las tablas 37 y 38 muestran los resultados obtenidos de las presiones de succión y descarga para determinar la relación de compresión de los dos compresores.

Figura 4.1
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Monitoreo de presiones al compresor # 1 en muelle

Tabla 37

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Relación de compresión, presiones de succión y descarga para compresor # 1 (Valores tomados en muelle).

Fecha	Localización	Hora	Presión Succ. (Psi)	Presión Desc. (Psi)	Relación Compresión	Observación
14/09/2005	"Basuil"	09:30	46	182,5	3,967	Ninguna
14/09/2005	"Basuil"	10:00	45	182	4,044	Ninguna
14/09/2005	"Basuil"	10:30	41,5	180	4,337	Ninguna
14/09/2005	"Basuil"	11:00	41	180	4,390	Ninguna
14/09/2005	"Basuil"	14:00	46	186	4,043	Ninguna
14/09/2005	"Basuil"	14:30	46	186	4,043	Ninguna
14/09/2005	"Basuil"	15:00	46	186	4,043	Ninguna
15/09/2005	"Basuil"	14:00	47	191	4,064	Ninguna
15/09/2005	"Basuil"	14:30	47	191	4,064	Ninguna
15/09/2005	"Basuil"	15:00	47	190	4,043	Ninguna
15/09/2005	"Basuil"	15:30	47	190	4,043	Ninguna
16/09/2005	"Basuil"	09:30	47	190	4,043	Ninguna
16/09/2005	"Basuil"	10:00	47	190	4,043	Ninguna
16/09/2005	"Basuil"	10:30	44	189	4,295	Ninguna
16/09/2005	"Basuil"	11:00	45	190	4,222	Ninguna

Tabla 38

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Relación de compresión, presiones de succión y descarga para compresor # 2 (Valores tomados en muelle).

Fecha	Localización	Hora	Presión Succ. (Psi)	Presión Desc. (Psi)	Relación Compresión	Observación
19/09/2005	"Basuil"	10:00	46	185	4,022	Ninguna
19/09/2005	"Basuil"	10:30	46	185	4,022	Ninguna
19/09/2005	"Basuil"	11:00	46	185	4,022	Ninguna
19/09/2005	"Basuil"	14:00	45	182	4,044	Ninguna
19/09/2005	"Basuil"	14:30	45	182	4,044	Ninguna
19/09/2005	"Basuil"	15:00	45	182	4,044	Ninguna
19/09/2005	"Basuil"	15:30	45	182	4,044	Ninguna
20/09/2005	"Basuil"	14:00	46	190	4,130	Ninguna
20/09/2005	"Basuil"	14:30	46	190	4,130	Ninguna
20/09/2005	"Basuil"	15:00	46	190	4,130	Ninguna
20/09/2005	"Basuil"	15:30	46	190	4,130	Ninguna
21/09/2005	"Basuil"	11:00	47	190	4,043	Ninguna
21/09/2005	"Basuil"	11:30	47	190	4,043	Ninguna
21/09/2005	"Basuil"	12:00	47	190	4,043	Ninguna
21/09/2005	"Basuil"	13:30	47	190	4,043	Ninguna

En el Apéndice J1 se encuentran los valores de presión de succión, descarga y relación de compresión para el compresor #1, cuyos datos fueron tomados durante la navegación del buque.

INSPECCIÓN DE LA PRESIÓN DE ACEITE.

Las tablas 39 y 40 muestran los resultados obtenidos al realizar la inspección de la presión de aceite a los compresores # 1 y # 2 y en el Apéndice J2 se encuentran los valores de presión de aceite para el compresor # 1, cuyos datos fueron tomados durante la navegación del buque.

Tabla 39
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Presión de aceite del compresor # 1 (Valores tomados en muelle)

Fecha	Localización	Hora	Dif. Presión Aceite (Psi)	Rango Permitido (45-55)Psi	Observación
14/09/2005	Basuil	09:30	89,5	43.5	No esta dentro del rango
14/09/2005	Basuil	10:00	87,5	42.5	No esta dentro del rango
14/09/2005	Basuil	10:30	84	42.5	No esta dentro del rango
14/09/2005	Basuil	11:00	84	43.0	No esta dentro del rango
14/09/2005	Basuil	14:00	87	41.0	No esta dentro del rango
14/09/2005	Basuil	14:30	88,5	42.5	No esta dentro del rango
14/09/2005	Basuil	15:00	88,5	42.5	No esta dentro del rango
15/09/2005	Basuil	14:00	89	42.0	No esta dentro del rango
15/09/2005	Basuil	14:30	89	42.0	No esta dentro del rango
15/09/2005	Basuil	15:00	89	42.0	No esta dentro del rango
15/09/2005	Basuil	15:30	89	42.0	No esta dentro del rango
16/09/2005	Basuil	09:30	88,5	41.5	No esta dentro del rango
16/09/2005	Basuil	10:00	89	42.0	No esta dentro del rango
16/09/2005	Basuil	10:30	87	43.0	No esta dentro del rango
16/09/2005	Basuil	11:00	87	42.0	No esta dentro del rango

Tabla 40
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Presión de aceite del compresor # 2 (Valores tomados en muelle)

Fecha	Localización	Hora	Dif. Presión Aceite (Psi)	Rango Permit. (45-55)Psi	Observación
19/09/2005	Basuil	10:00	85	43.5	No esta dentro del rango
19/09/2005	Basuil	10:30	85	42.5	No esta dentro del rango
19/09/2005	Basuil	11:00	85	42.5	No esta dentro del rango
19/09/2005	Basuil	14:00	87	43.0	No esta dentro del rango
19/09/2005	Basuil	14:30	87	41.0	No esta dentro del rango
19/09/2005	Basuil	15:00	88	42.5	No esta dentro del rango
19/09/2005	Basuil	15:30	88	42.5	No esta dentro del rango
20/09/2005	Basuil	14:00	88,5	42.0	No esta dentro del rango
20/09/2005	Basuil	14:30	88,5	42.0	No esta dentro del rango
20/09/2005	Basuil	15:00	89	42.0	No esta dentro del rango
20/09/2005	Basuil	15:30	89	42.0	No esta dentro del rango
21/09/2005	Basuil	11:00	87	41.5	No esta dentro del rango
21/09/2005	Basuil	11:30	87	42.0	No esta dentro del rango
21/09/2005	Basuil	12:00	87	43.0	No esta dentro del rango
21/09/2005	Basuil	13:30	87	42.0	No esta dentro del rango

INSPECCIÓN DE TEMPERATURA DE DESCARGA DE FREÓN.

Las tablas 41 y 42 muestran los resultados obtenidos en los cálculos para hallar la temperatura de descarga de freón 22 (R 22) para los compresores # 1 y # 2. Los datos utilizados para realizar los cálculos fueron obtenidos cuando el sistema se encontraba operando en los muelles de BASUIL.

Tabla 41

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Inspección de temperatura de descarga de Freón 22 en compresor # 1

Fecha	Localización	Hora	Temp. Aspirac. (ºF)	Factor "C"	Temp. Desc. (ºF)	Observación
14/09/2005	Basuil	09:30	22	1,31	171,42	Ninguna
14/09/2005	Basuil	10:00	22	1,31	171,42	Ninguna
14/09/2005	Basuil	10:30	18	1,31	166,18	Ninguna
14/09/2005	Basuil	11:00	18	1,31	166,18	Ninguna
14/09/2005	Basuil	14:00	23	1,31	172,73	Ninguna
14/09/2005	Basuil	14:30	23	1,31	172,73	Ninguna
14/09/2005	Basuil	15:00	23	1,31	172,73	Ninguna
15/09/2005	Basuil	14:00	24	1,31	174,04	Ninguna
15/09/2005	Basuil	14:30	24	1,31	174,04	Ninguna
15/09/2005	Basuil	15:00	24	1,31	174,04	Ninguna
15/09/2005	Basuil	15:30	24	1,31	174,04	Ninguna
16/09/2005	Basuil	09:30	24	1,31	174,04	Ninguna
16/09/2005	Basuil	10:00	24	1,31	174,04	Ninguna
16/09/2005	Basuil	10:30	21	1,31	170,11	Ninguna
16/09/2005	Basuil	11:00	22	1,31	171,42	Ninguna

Tabla 42

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Inspección de temperatura de descarga de Freón 22 en compresor # 2

Fecha	Localización	Hora	Temp. Aspirac. (ºF)	Factor "C"	Temp. Desc. (ºF)	Observación
19/09/2005	Basuil	10:00	22	1,31	171,42	Ninguna
19/09/2005	Basuil	10:30	22	1,31	171,42	Ninguna
19/09/2005	Basuil	11:00	21	1,31	170,11	Ninguna
19/09/2005	Basuil	14:00	23	1,31	172,73	Ninguna
19/09/2005	Basuil	14:30	23	1,31	172,73	Ninguna
19/09/2005	Basuil	15:00	24	1,31	174,04	Ninguna
19/09/2005	Basuil	15:30	24	1,31	174,04	Ninguna
20/09/2005	Basuil	14:00	23	1,31	172,73	Ninguna
20/09/2005	Basuil	14:30	23	1,31	172,73	Ninguna
20/09/2005	Basuil	15:00	23	1,31	172,73	Ninguna
20/09/2005	Basuil	15:30	23	1,31	172,73	Ninguna
21/09/2005	Basuil	11:00	22	1,31	171,42	Ninguna
21/09/2005	Basuil	11:30	22	1,31	171,42	Ninguna
21/09/2005	Basuil	12:00	22	1,31	171,42	Ninguna
21/09/2005	Basuil	13:30	22	1,31	171,42	Ninguna

INSPECCIÓN DEL CONTROL DE CAPACIDAD DEL COMPRESOR.

El control de capacidad es un mecanismo incorporado en el compresor que descarga los cilindros controlados en respuesta a la disminución de la presión de aspiración. Este es el método más eficiente del control de capacidad, ya que el paso del vapor refrigerante al salir y al entrar en el cilindro a través de las válvulas de aspiración sin compresión implica menores pérdidas que otros métodos. Los cilindros pueden ser descargados interiormente bajo el control de la presión de aspiración o exteriormente mediante un termostato o un presostato.

En los compresores del sistema de climatización el control de la capacidad se la realiza neumáticamente interviniendo para ello los siguientes equipos:

Válvula del control de capacidad, que es accionada por la presión de aspiración y puede ser accionada por controles eléctricos o neumáticos.

Relé hidráulico, accionado por la presión del aceite de control procedente de la válvula de control de capacidad; ello carga o descarga los cilindros controlados estado por estado. La tabla 43

muestra los resultados obtenidos al inspeccionar el estado actual de estos elementos.

Tabla 43
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Inspección de los equipos de control de capacidad de los compresores # 1 y # 2

INSTRUMENTACIÓN Y / O ACCESORIO	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXISTE
COMPRESOR No. 1			
Válvula de control de capacidad		X	
Relé hidráulico		X	
Línea de alimentación de aire			X
COMPRESOR No. 2			
Válvula de control de capacidad		X	
Relé hidráulico		X	
Línea de alimentación de aire			X

TIEMPO DE SERVICIO DEL COMPRESOR.

La tabla 44 muestra el total de horas trabajadas por los compresores # 1 y # 2 y su porcentaje de utilización anual.

Tabla 44
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Tiempo de servicio de los compresores # 1 y # 2

COMPRESOR # 1		
Horas al día	**Total Horas Anuales**	**Porcentaje de Utilización Anual (%)**
20	4818	**55**
COMPRESOR # 2		
Horas al día	**Total Horas Anuales**	**Porcentaje de Utilización Anual (%)**
20	3066	**35**

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la inspección podemos llegar a las siguientes conclusiones acerca de los resultados obtenidos:

Toda la instrumentación que forma parte de los controles de seguridad de los compresores se encuentran en estado operativo, permitiendo de esta manera un mejor control de los diferentes parámetros.

La relación de compresión obtenida en la inspección está dentro de los límites establecidos por el fabricante.

La presión de aceite se encuentra por debajo de los límites establecidos por el fabricante lo que nos indica una posible falla en la bomba de aceite del mismo.

La temperatura de descarga de freón 22 se encuentra dentro de los límites establecidos por el fabricante.

El control de capacidad automático para la modulación de la carga térmica no se encuentra operativa, por lo que el monitoreo del sistema debe realizárselo manualmente.

El tiempo de servicio de los dos compresores no es equilibrado puesto que el compresor # 1 es utilizado aproximadamente un 20 % más que el compresor # 2 causando mayor desgaste en el compresor # 1.

Un cálculo de carga térmica realizado en el Apéndice D demostró que la carga térmica demandada en el buque cuando este se encuentra atracado en los muelles de BASUIL es de 24 toneladas de refrigeración. Si comparamos este valor con la capacidad de cada compresor (112500 frigorías/hora o 37.23 toneladas de refrigeración) tenemos como resultado que el buque requiere aproximadamente un 65 % de la máxima capacidad del compresor para climatizar correctamente al buque cuando este se encuentra en muelle.

4.1.2 Condensadores y Evaporadores

De acuerdo a la metodología empleada para la inspección de los condensadores y evaporadores del sistema de climatización se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes puntos establecidos en dicha inspección.

INSPECCIÓN DE LOS CONTROLES DE SEGURIDAD DE LOS EVAPORADORES.

La tabla 45 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección a los controles de seguridad a los evaporadores del sistema de climatización.

Tabla 45
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Inspección de los controles de seguridad de los evaporadores #1 y #2

INSTRUMENTACIÓN	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXISTE
EVAPORADOR No. 1			
Termostato Límite			X
Termostato Antihielo			X
EVAPORADOR No. 2			
Termostato Límite			X
Termostato Antihielo			X

INSPECCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA DE MAR Y DE AGUA REFRIGERADA EN LOS CONDENSADORES Y EVAPORADORES RESPECTIVAMENTE.

La tabla 46 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección a las temperaturas de entrada y salida del condensador # 1 del sistema de climatización.

En el Apéndice K1 se encuentran los valores de temperatura para el condensador # 1, cuyos datos fueron tomados durante la navegación del buque.

Tabla 46
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Temperaturas de entrada y salida del condensador # 1 (valores tomados en muelle)

Fecha	Localización	Hora	Temp. Entrada	Temp. Salida	Dif. Temp.	Observaciones
14/09/2005	Muelle "Basuil"	09:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	10:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	10:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	11:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	14:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	14:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	15:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	14:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	14:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	15:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	15:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	09:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	10:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	10:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	11:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.

La tabla 47 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección a las temperaturas de entrada y salida del evaporador # 1 del sistema de climatización.

En el Apéndice K2 se encuentran los valores de temperatura para el evaporador # 1, cuyos datos fueron tomados durante la navegación del buque.

Tabla 47
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Temperaturas de entrada y salida del evaporador # 1 (valores tomados en muelle)

Fecha	Localización	Hora	Temp. Entrada	Temp. Salida	Dif. Temp.	Observaciones
14/09/2005	Muelle "Basuil"	09:30	5,5	2	3,5	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	10:00	3	0	3	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	10:30	2	-1	3	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	11:00	2	-1	3	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	14:00	5	2	3	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	14:30	5,5	2,5	3	Bajo dif. Temp.
14/09/2005	Muelle "Basuil"	15:00	5,5	2,5	3	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	14:00	5,5	2,5	3	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	14:30	5,8	2,8	3	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	15:00	5,8	2,5	3,3	Bajo dif. Temp.
15/09/2005	Muelle "Basuil"	15:30	5,8	2,5	3,3	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	09:30	4	1	3	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	10:00	4,5	1	3,5	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	10:30	4	1	3	Bajo dif. Temp.
16/09/2005	Muelle "Basuil"	11:00	3,2	0,2	3	Bajo dif. Temp.

PREDICCIÓN DE LAS CONDICIONES INTERNAS DE LOS CONDENSADORES Y EVAPORADORES DEBIDO AL TIPO DE AGUA EMPLEADA.

La inspección de este parámetro se lo obtendrá de mejor manera en la sección de análisis del agua que circula por el interior de los condensadores y evaporadores y al final en la sección análisis de resultados se explicarán los resultados obtenidos para los mismos.

TIEMPO DE SERVICIO DE LOS CONDENSADORES Y EVAPORADORES.

La tabla 48 muestra el total de horas trabajadas por los condensadores # 1 y # 2, por los evaporadores # 1 y # 2, así como su porcentaje de utilización anual.

Tabla 48
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Tiempo de servicio de los condensadores y evaporadores # 1 y # 2

CONDENSADOR Y EVAPORADOR # 1		
Horas al día	**Total Horas anuales**	**Porcentaje de Utilización anual (%)**
20	4818	**55**
CONDENSADOR Y EVAPORADOR # 2		
Horas al día	**Total Horas anuales**	**Porcentaje de Utilización anual (%)**
20	3066	**35**

INSPECCIÓN DEL AISLAMIENTO UTILIZADO EN LOS EVAPORADORES.

La condición del aislamiento utilizado en los evaporadores # 1 y # 2 visualmente se encuentra en un estado aceptable, sin huellas ni evidencias de estar en mal estado o de haber sido removido.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la inspección podemos llegar a las siguientes conclusiones acerca de los resultados obtenidos:

Toda la instrumentación que forma parte de los controles de seguridad de los evaporadores no existe en la actualidad, impidiendo de esta manera controlar las condiciones de ingreso y salida del agua refrigerada.

Se encontró un bajo diferencial de temperatura entre la entrada y salida de agua de mar, una causa de esto puede ser la acumulación de depósitos o incrustaciones en los tubos internos de los condensadores debido a las propiedades químicas del agua, lo cual estaría oponiéndose a la circulación del fluido y reduciendo el intercambio de calor con el refrigerante.

Se encontró un bajo diferencial de temperatura entre la entrada y salida de agua refrigerada, una causa de esto puede ser, que el agua que regresa al evaporador llega aún fría debido a la baja carga térmica que hay en el buque.

El tiempo de servicio de los equipos no es equilibrado puesto que el condensador y evaporador de la unidad enfriadora de agua # 1 son utilizados aproximadamente un 20 % más que los de la unidad # 2 causando mayor desgaste en los primeros.

4.1.3 Bombas de Agua

De acuerdo a la metodología empleada para la inspección de las bombas de agua existentes en el sistema de climatización se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes puntos establecidos en dicha inspección.

INSPECCIÓN DE LOS CONTROLES DE SEGURIDAD DE LAS BOMBAS DE AGUA.

La tabla 49 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección de los controles de seguridad de las bombas de agua.

Tabla 49
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Inspección de los controles de seguridad de las bombas de agua

INSTRUMENTACIÓN	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXISTE
BOMBAS AGUA REFRIGERADA # 1 Y # 2			
Flusostato # 1		X	
Flusostato # 2		X	
BOMBA AGUA SALADA			
Flusostato # 1		X	
Flusostato # 2		X	

INSPECCIÓN DE LAS PRESIONES DE DESCARGA.

La tabla 50 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección en muelle de la presión de descarga de la bomba de

agua refrigerada # 1, ya que la bomba # 2 al momento de realizar este trabajo se encontraba fuera de servicio.

Tabla 50
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Presión de descarga de la bomba de agua refrigerada # 1 (valores tomados en muelle)

Fecha	Localización	Hora	Pres. Desc. (PSI)	Observación
14/09/2005	Basuil	09:30	49	Normal
14/09/2005	Basuil	10:00	49	Normal
14/09/2005	Basuil	10:30	49	Normal
14/09/2005	Basuil	11:00	49	Normal
14/09/2005	Basuil	14:00	49	Normal
14/09/2005	Basuil	14:30	49	Normal
14/09/2005	Basuil	15:00	49	Normal
15/09/2005	Basuil	14:00	49	Normal
15/09/2005	Basuil	14:30	49	Normal
15/09/2005	Basuil	15:00	49	Normal
15/09/2005	Basuil	15:30	49	Normal
16/09/2005	Basuil	09:30	49	Normal
16/09/2005	Basuil	10:00	49	Normal
16/09/2005	Basuil	10:30	48	Normal
16/09/2005	Basuil	11:00	48	Normal

En el Apéndice L se encuentran los valores de presión de descarga para la bomba de agua refrigerada # 1 y bomba de agua de mar, los mismos que fueron tomados durante la navegación del buque. La tabla 51 muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección en muelle de la presión de descarga de la bomba de agua de mar.

Tabla 51
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Presión de descarga de la bomba de agua de mar (valores tomados en muelle)

Fecha	Localización	Hora	Pres. Desc. (PSI)	Observación
14/09/2005	Basuil	09:30	23	Normal
14/09/2005	Basuil	10:00	23	Normal
14/09/2005	Basuil	10:30	23	Normal
14/09/2005	Basuil	11:00	23	Normal
14/09/2005	Basuil	14:00	23	Normal
14/09/2005	Basuil	14:30	23	Normal
14/09/2005	Basuil	15:00	23	Normal
15/09/2005	Basuil	14:00	23	Normal
15/09/2005	Basuil	14:30	23	Normal
15/09/2005	Basuil	15:00	23	Normal
15/09/2005	Basuil	15:30	23	Normal
16/09/2005	Basuil	09:30	23	Normal
16/09/2005	Basuil	10:00	23	Normal
16/09/2005	Basuil	10:30	22	Normal
16/09/2005	Basuil	11:00	22	Normal

PREDICCIÓN DE LAS CONDICIONES INTERNAS DE LAS BOMBAS DEBIDO AL TIPO DE AGUA EMPLEADA.

La inspección de este parámetro se lo obtendrá de mejor manera en la sección de análisis del agua que circula por el interior de las bombas y al final en la sección análisis de resultados se explicarán los resultados obtenidos para las mismas.

TIEMPO DE SERVICIO DE LAS BOMBAS DE AGUA.

La tabla 52 muestra el total de horas trabajadas de las bombas de agua refrigerada # 1 y # 2, de la bomba de agua de mar, así como su porcentaje de utilización anual.

Tabla 52
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Tiempo de servicio de las bombas de agua de mar

BOMBA AGUA REFRIGERADA # 1 Y # 2		
Horas al día	**Total Horas anuales**	**Porcentaje de Utilización anual (%)**
20	4800	**60.88**
20	3084	**39.12**
BOMBA AGUA DE MAR		
Horas al día	**Total Horas anuales**	**Porcentaje de Utilización anual (%)**
20	7884	**90**

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la inspección podemos llegar a las siguientes conclusiones acerca de los resultados obtenidos:

Toda la instrumentación que forma parte de los controles de seguridad de las bombas no se encuentran operativos en la actualidad, impidiendo de esta manera controlar las condiciones de salida del agua tanto de mar como refrigerada.

La presión de descarga en la bomba de agua de mar se encuentra dentro de los límites establecidos en las condiciones de diseño original del sistema de climatización.

La presión de descarga en las bombas de agua refrigerada se encuentra dentro de los límites establecidos en las condiciones de diseño original del sistema de climatización.

Los elementos internos de las bombas tales como el árbol o eje, el impulsor, están constituidos de materiales especiales como el Bronce el cual es un material resistente a la corrosión y a las características del agua con la que entra en contacto.

El tiempo de servicio de las dos bombas de agua refrigerada no es equilibrado, ya que la bomba # 1 trabaja aproximadamente un 22 % más que la bomba # 2.

4.1.4 Motores Eléctricos

De acuerdo a la metodología empleada para la inspección de los motores eléctricos existentes en el sistema de climatización se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes puntos establecidos en dicha inspección.

INSPECCIÓN DEL ESTADO DEL MATERIAL DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

La tabla 53 muestra los valores reales obtenidos de acuerdo a los pasos presentados en la metodología de inspección propuesta para los motores eléctricos con la ayuda de los diferentes equipos de medición. El valor de K que nos lleva a la obtención del verdadero valor de la resistencia de aislamiento a 40 ºC es obtenido usando la tabla de la figura 3.3

El comportamiento de la resistencia real de aislamiento de los devanados del estator con relación a la norma dada por la IEEE que estamos tomando como base, es mostrada en las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5

Figura 4.2
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para compresor # 1

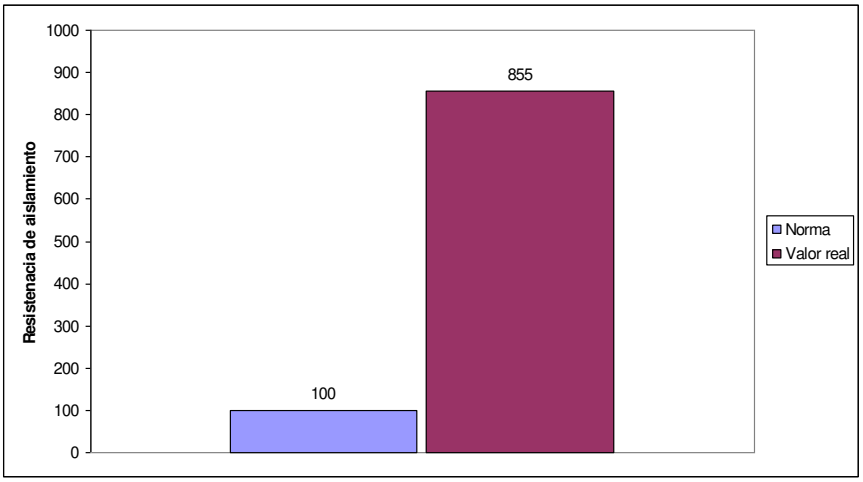


Figura 4.3
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para compresor # 2

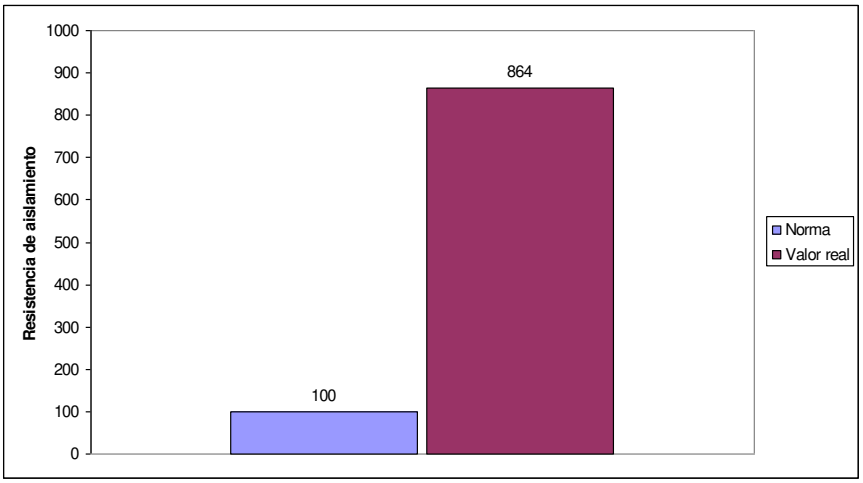


Figura 4.4
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para bomba de agua refrigerada # 1 y # 2

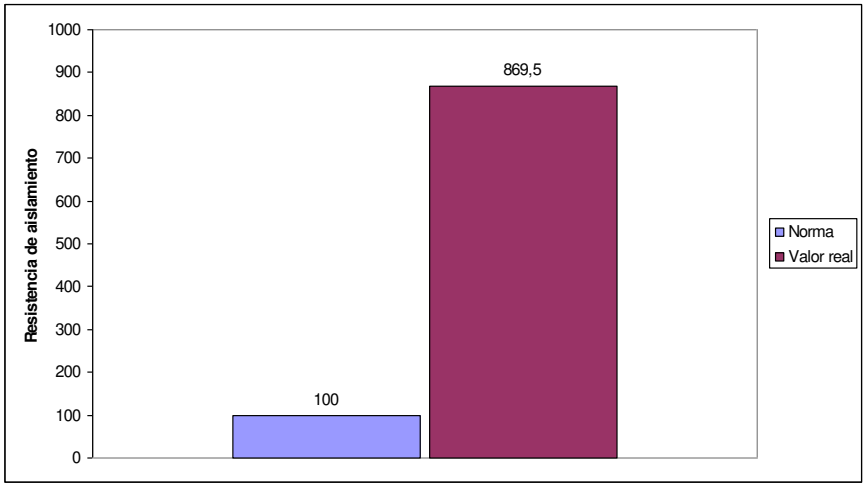
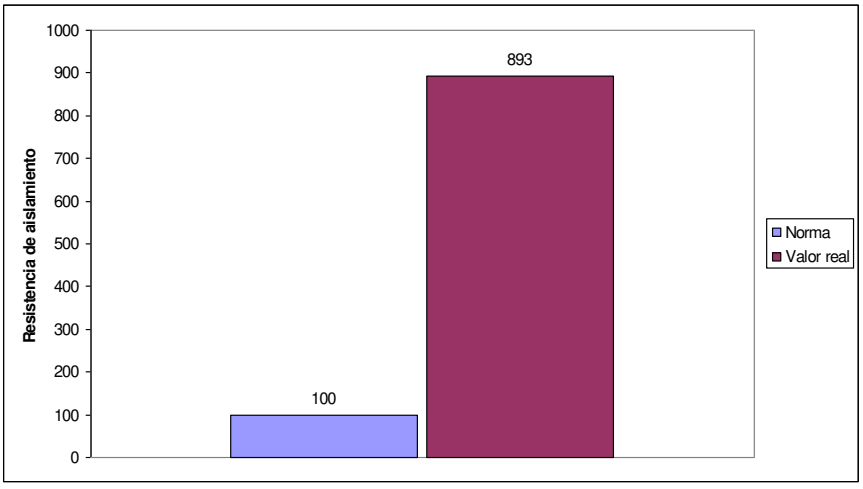


Figura 4.5
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para bomba de agua salada



DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Con la ayuda de la instrumentación adecuada y tomando como base los pasos presentados en la metodología de inspección, se llegó a determinar los valores reales para los motores de eléctricos de los diferentes equipos del sistema de climatización para obtener de esta manera el rendimiento de los mismos. El Apéndice M en las tablas M1, M2, M3, M4 y M5 muestra los datos recopilados para voltaje de línea, corriente de línea, factor de potencia, velocidad del eje motor, etc. y en la tabla 54 se presentan los valores reales obtenidos luego de haber realizados los correspondientes cálculos.

A continuación en las figuras 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se presenta el comportamiento del rendimiento real y el rendimiento nominal de los motores eléctricos de los equipos del sistema de climatización.

Figura 4.6
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico del compresor # 1

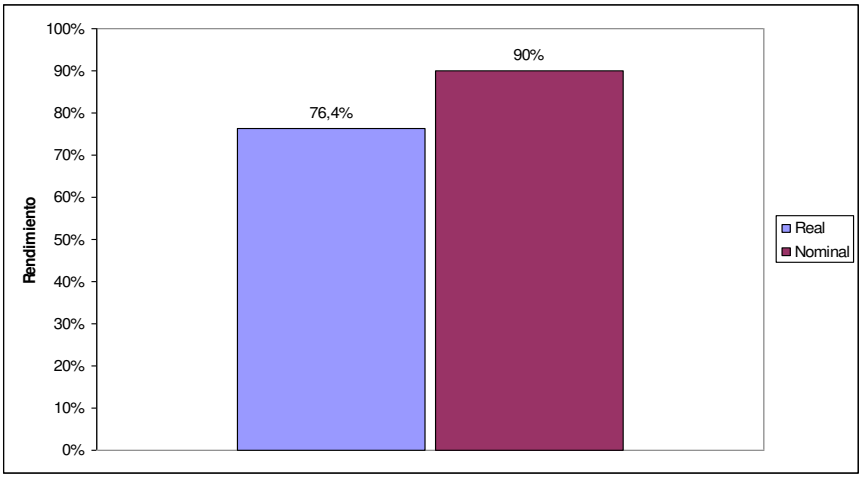


Figura 4.7
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico del compresor # 2

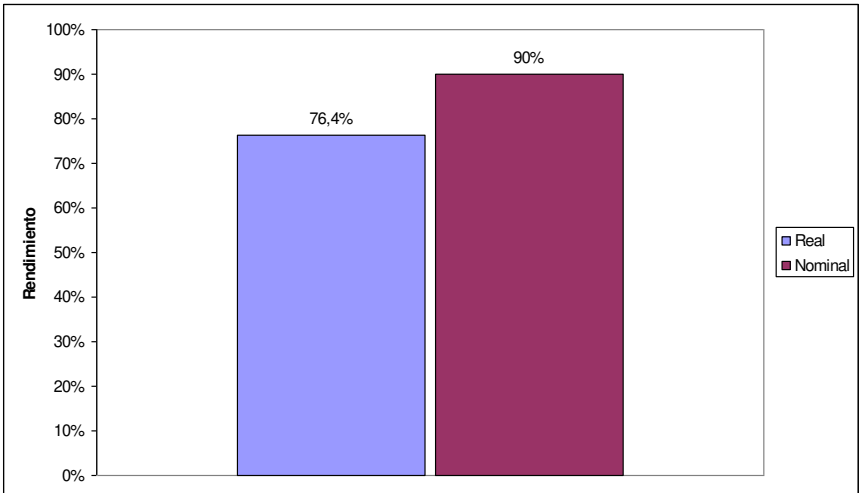


Figura 4.8
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico de las bombas de agua refrigerada # 1 y # 2

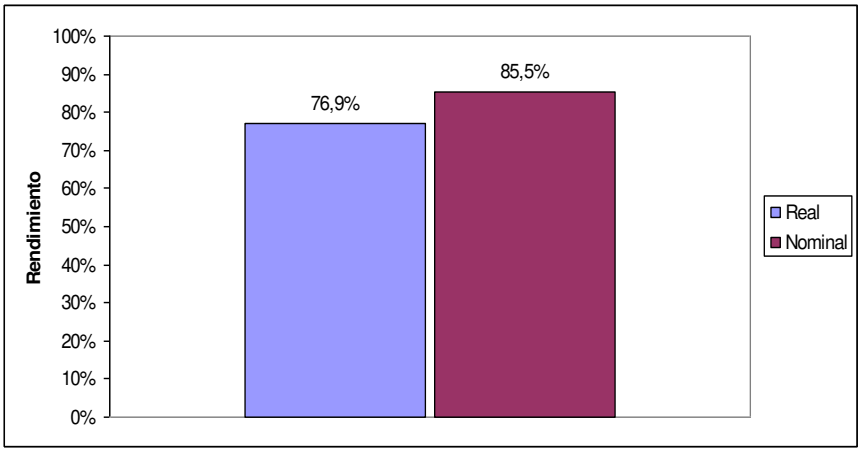
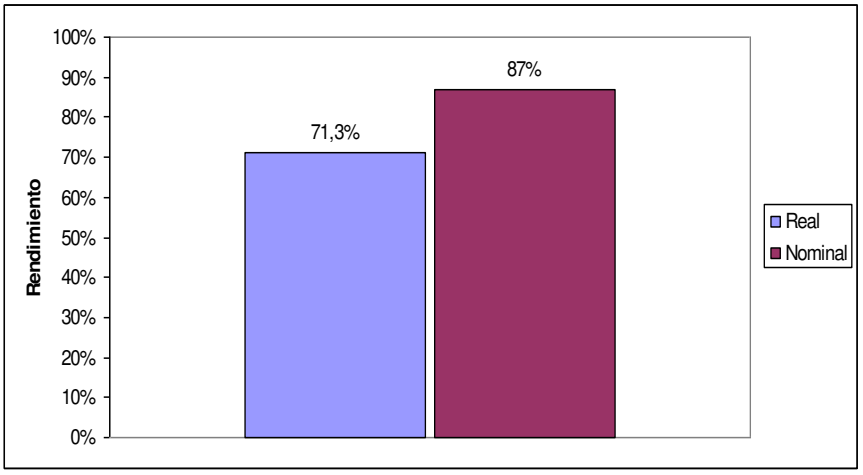


Figura 4.9
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico de la bomba de agua de mar



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la inspección podemos llegar a las siguientes conclusiones acerca de los resultados obtenidos:

Los devanados del estator para los cinco motores eléctricos inspeccionados se encuentran en perfectas condiciones, sus bobinas se encuentran libres de humedad y suciedad y los valores obtenidos para la resistencia de aislamiento son mayores que los mínimos establecidos por la norma IEEE Std 43-2000.

La capacidad para convertir la potencia eléctrica absorbida en potencia mecánica de los motores eléctricos pertenecientes a los compresores se encuentra en un 76% pero claramente se puede observar que los motores están siendo subutilizados, ya que tienen un rendimiento nominal del 90% con un consumo de corriente nominal de 62 A, por arriba de la real que se encuentra en 53 A.

La capacidad para convertir la potencia eléctrica absorbida en potencia mecánica de los motores eléctricos pertenecientes a las bombas de agua refrigerada se encuentra en un 77% pero claramente se puede observar que los motores están siendo subutilizados, ya que tienen un rendimiento nominal del 85.5% con un consumo de corriente nominal de 17 A, por arriba de la real que se encuentra en 12.5 A.

La capacidad para convertir la potencia eléctrica absorbida en potencia mecánica del motor eléctrico perteneciente a la bomba de agua de mar se encuentra en un 71% pero claramente se puede observar que los motores están siendo subutilizados, ya que tienen un rendimiento nominal del 87% con un consumo de corriente nominal de 14 A, por arriba de la real que se encuentra en 9.4 A.

4.1.5 Tuberías

De acuerdo a la metodología empleada para la inspección de las tuberías de transporte de agua existentes en el sistema de climatización se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes puntos establecidos en dicha inspección.

INSPECCIÓN MEDIANTE MEDICIÓN DE ESPESORES PARA DETERMINAR LA CONDICIÓN ACTUAL DE LAS TUBERÍAS.

La tabla 55 muestra los datos de espesores tomados a cinco secciones de tuberías diferentes del sistema de agua de mar, dichos valores fueron tomados cuando las tuberías se encontraban instaladas en el buque, mientras que la tabla 56 muestra los datos de una sección de tubería que fue desmontada del sistema cuando el buque fue llevado a talleres para realizarle mantenimiento al casco del mismo.

Tabla 55

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Espesores tomados a secciones de tuberías de transporte de agua de mar instaladas en el buque

Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 1 t (mm)	Lectura Tubería 2 t (mm)	Lectura Tubería 3 t (mm)	Lectura Tubería 4 t (mm)	Lectura Tubería 5 t (mm)
1	5,66	5,53	5,65	5,6	5,65
2	5,63	5,58	5,62	5,58	5,6
3	5,64	5,57	5,64	5,56	5,8
4	5,67	5,62	5,67	5,5	5,6
5	5,62	5,6	5,64	5,61	5,65
6	5,6	5,62	5,62	5,55	5,62
7	5,62	5,62	5,67	5,8	5,58
8	5,54	5,64	5,67	5,6	5,62
9	5,65	5,63	5,6	5,55	5,7
10	5,68	5,56	5,67	5,53	5,6
11	5,61	5,57	5,6	5,5	5,6
12	5,62	5,56	5,64	5,68	5,62
13	5,59	5,54	5,45	5,65	5,88
14	5,57	5,61	5,66	5,54	5,76
15	5,68	5,63	5,64	5,53	5,65
Esp. Prom.	**5,625**	**5,592**	**5,629**	**5,585**	**5,662**
Esp. Mínim.	**5,54**	**5,53**	**5,45**	**5,5**	**5,58**

Tabla 56

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Espesores tomados a sección de tubería de transporte de agua de mar desmontada

Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 6 t (mm)	Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 6 t (mm)	Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 6 t (mm)
1	5,32	11	5,46	21	5,44
2	5,44	12	5,46	22	5,13
3	5,38	13	5,34	23	5,42
4	5,4	14	5,36	24	5,4
5	5,35	15	5,43	25	5,45
6	5,29	16	5,3	26	5,42
7	5,27	17	5,37	27	5,45
8	5,28	18	5,2	28	5,5
9	5,33	19	5,41	29	5,13
10	5,6	20	5,5	30	5,37
Espesor Promedio			**5,373**		
Espesor Mínimo			**5,13**		

La tabla 57 muestra los resultados obtenidos luego de haber realizados los respectivos cálculos descritos en la metodología de inspección para tuberías y en el Apéndice N1 se muestran los procedimientos realizados en Excel.

Tabla 57
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Resultados obtenidos en inspección de tuberías de agua de mar

Muestra #	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
1	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir operando
2	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir operando
3	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir operando
4	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir operando
5	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir operando
6	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir operando

La tabla 58 muestra los datos de espesores tomados a cinco secciones diferentes de tuberías del sistema de agua refrigerada, mientras que la tabla 59 muestra los datos de una sección de tubería que fue desmontada del sistema. Se realizaron estas mediciones a tuberías desmontadas con la finalidad de comprobar que no había diferencia significativa entre los valores de espesores medidos de una tubería instalada o una tubería desmontada del sistema.

Tabla 58

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Espesores tomados a secciones de tuberías de transporte de agua refrigerada instalada en el buque

Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 1 t (mm)	Lectura Tubería 2 t (mm)	Lectura Tubería 3 t (mm)	Lectura Tubería 4 t (mm)	Lectura Tubería 5 t (mm)
1	3,14	3,4	3,25	3,22	3,25
2	3,08	3,43	3,14	3,36	3,31
3	3,25	3,42	3,35	3,58	3,42
4	3,5	3,28	3,29	3,65	3,48
5	3,06	3,3	3,3	3,45	3,35
6	3,35	3,36	3,26	3,25	3,21
7	3,28	3,52	3,1	3,33	3,15
8	3,45	3,55	3,15	3,36	3,12
9	3,5	3,57	3,27	3,12	3,45
10	3,29	3,32	3,63	3,19	3,45
11	3,58	3,35	3,58	3,58	3,19
12	3,14	3,41	3,47	3,6	3,05
13	3,21	3,35	3,65	3,4	3,15
14	3,25	3,52	3,19	3,42	3,25
15	3,36	3,31	3,26	3,51	3,29
Espesor Promedio	**3,296**	**3,406**	**3,326**	**3,401**	**3,275**
Espesor Mínimo	**3,06**	**3,28**	**3,1**	**3,12**	**3,05**

Tabla 59

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Espesores tomados a sección de tubería de transporte de agua refrigerada desmontada

Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 6 t (mm)	Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 6 t (mm)	Número Lecturas Tomadas	Lectura Tubería 6 t (mm)
1	3,18	11	3,18	21	3,18
2	3,13	12	3,11	22	3,16
3	3,3	13	3,23	23	3,18
4	3,23	14	3,3	24	3,37
5	3,21	15	3,08	25	3,24
6	3,4	16	3,34	26	3,32
7	3,15	17	3,41	27	3,41
8	3,26	18	3,32	28	3,52
9	3,14	19	3,08	29	3,38
10	3,13	20	3,08	30	3,05
Espesor Promedio			**3,236**		
Espesor Mínimo			**3,05**		

La tabla 60 muestra los resultados obtenidos luego de haber realizados los respectivos cálculos descritos en la metodología de inspección para tuberías y en el Apéndice N2 se muestran los cálculos realizados en Excel.

Tabla 60
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Resultados obtenidos en inspección de tuberías de agua refrigerada

Muestra #	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
1	Criterios de nivel 1 son válidos	Tubería puede seguir operando
2	Criterios de nivel 1 son válidos	Tubería puede seguir operando
3	Criterios de nivel 1 son válidos	Tubería puede seguir operando
4	Criterios de nivel 1 son válidos	Tubería puede seguir operando
5	Criterios de nivel 1 son válidos	Tubería puede seguir operando
6	Criterios de nivel 1 son válidos	Tubería puede seguir operando

CÁLCULO DE LA TASA DE CORROSIÓN Y VIDA RESTANTE DE LAS TUBERÍAS.

La tablas 61 muestra los resultados obtenidos de las 6 secciones de tuberías inspeccionadas para determinar la tasa de corrosión y vida restante tanto para las tuberías de transporte de agua de mar como las de agua refrigerada. El Apéndice N3 muestra los cálculos realizados en Excel.

Tabla 61
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Resultados obtenidos en los cálculos de corrosión y vida restante

Tuberías de transporte de agua de mar		
Sección #	**Tasa de Corrosión (mm/años)**	**Vida Restante (años)**
1	**0,132**	**20,635**
2	**0,143**	**18,813**
3	**0,130**	**20,877**
4	**0,145**	**18,462**
5	**0,119**	**23,078**
6	**0,216**	**11,430**
Tuberías de transporte de agua refrigerada		
Sección #	**Tasa de Corrosión (mm/años)**	**Vida Restante (años)**
1	**0,123**	**12,654**
2	**0,101**	**16,492**
3	**0,117**	**13,558**
4	**0,102**	**16,282**
5	**0,127**	**12,072**
6	**0,135**	**11,087**

CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DE TRABAJO QUE PUEDE SOPORTAR LA TUBERÍA EN LA ACTUALIDAD.

La tabla 62 muestra los resultados obtenidos de las 6 secciones de tuberías inspeccionadas para determinar la máxima presión de trabajo que pueden soportar las tuberías en la actualidad tanto para las de transporte de agua de mar como las de agua refrigerada. El Apéndice N4 muestra los cálculos realizados en Excel.

Tabla 62
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Resultados obtenidos en los cálculos de máxima presión de trabajo

Tuberías de transporte de agua de mar	
Sección #	**MAWP* actual (Psi)**
1	1817,585
2	1814,304
3	1788,058
4	1804,462
5	1830,709
6	1683,071
Tuberías de transporte de agua refrigerada	
Sección #	**MAWP* actual (Psi)**
1	1623,208
2	1739,909
3	1644,426
4	1655,035
5	1617,903
6	1617,903

*(MAWP) Máxima Presión de Trabajo Permitida

INSPECCIÓN VISUAL EXTERNA

Para reforzar la inspección realizada a las tuberías mediante la metodología empleada, se realizó una inspección visual, encontrando fallas por corrosión en los cordones de soldadura en las tuberías de agua de mar. La figura 4.10 muestra un ejemplo de aquello y la figura 4.11 muestra la falta de los ánodos de sacrificio, los cuales deberían de estar instalados en todas las secciones de tuberías de agua de mar con la finalidad de evitar la corrosión galvánica.

Figura 4.10
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Fallas en los cordones de soldadura debido a corrosión en tubería de agua de mar

Figura 4.11
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Bases de ánodos de zinc vacías

La figura 4.12 muestra corrosión en tubería de agua de mar en los alrededores de las bases de porta-ánodos de sacrificio debido a la falta de los mismos y a la mala calidad de la soldadura.

Figura 4.12
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Corrosión en alrededores de base porta-ánodos

La figura 4.13 muestra depósitos orgánicos en una tubería de transporte de agua de mar.

Figura 4.13
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Depósitos orgánicos encontrados en tubería de agua de mar

La figura 4.14 muestra la falta del aislamiento térmico en una sección de tubería de agua refrigerada.

Figura 4.14
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Falta de aislamiento térmico en tubería de agua refrigerada

La figura 4.15 muestra inicio de corrosión localizada en tuberías de agua refrigerada.

Figura 4.15
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Inicio de corrosión localizada en tubería de agua refrigerada desmontada

ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la inspección podemos llegar a las siguientes conclusiones acerca de los resultados obtenidos:

Tuberías de Transporte de Agua de Mar:

Las tuberías en la actualidad satisfacen todos los criterios de seguridad dados en el código de inspección para tuberías a presión API 579 (Fitness For Service).

La tasa de corrosión promedio encontrado es de 0.148 mm. / año, que es un valor relativamente elevado pero que esta dentro de los márgenes establecidos para tuberías de acero inoxidable que transportan agua de mar.

La vida restante o vida de servicio útil de las tuberías está en un promedio de 19 años de acuerdo a la tasa de corrosión encontrada, pero dicha vida restante se puede reducir considerablemente por la influencia de varios factores que se mencionarán en los siguientes párrafos.

Mediante inspección visual se encontró fallas en los cordones de soldaduras en los cambios de secciones y en las bases de porta-

ánodos de las tuberías que puede ser originada por la mala selección del material de aporte para soldar dichos elementos.

Mediante inspección visual se encontró corrosión en los alrededores de los cordones de soldadura de los cambios de secciones y bases porta-ánodos.

Mediante inspección a tuberías desmontadas se encontró que las bases porta-ánodos estaban vacías, es decir no existían los ánodos de sacrificio, los cuales ayudan a evitar la corrosión galvánica en las tuberías.

Mediante inspección visual se encontró que el sistema de tuberías de agua de mar está constituido por tuberías de varios materiales, tales como aleaciones de cobre-niquel y acero inoxidable 304, que si bien es cierto son materiales resistentes a la corrosión, podrían originar corrosión galvánica entre ellos, ya que entran en contacto mediante el agua de mar.

Tuberías de Transporte de Agua Refrigerada:

Las tuberías en la actualidad satisfacen todos los criterios de seguridad dados en el código de inspección para tuberías a presión API 579 (Fitness For Service).

La tasa de corrosión promedio encontrado es de 0.118 mm. / año, que es un valor relativamente bajo teniendo en cuenta que el material es acero al carbono y transporta agua, pero que también está dentro de los márgenes establecidos para tuberías de acero al carbono.

La vida restante o vida de servicio útil de las tuberías está en un promedio de 14 años de acuerdo a la tasa de corrosión encontrada, pero dicha vida restante se puede reducir considerablemente por la influencia de varios factores que se mencionarán en los siguientes párrafos.

Las tuberías presentan inicios de corrosión localizada, la cual no permite hacer predicciones, su velocidad es impredecible y mucho mayor a la corrosión uniforme y lo más peligroso es que es la más dañina.

Varias secciones de tuberías no cuenta con su aislamiento térmico correspondiente, lo cual afecta al sistema debido a las pérdidas generadas en dichas secciones.

4.2 Análisis de Fluidos Presentes en el Sistema

A continuación se presenta los resultados obtenidos en la inspección del freón 22, el agua de mar y el agua refrigerada, los cuales son los fluidos presentes en el sistema de aire acondicionado.

4.2.1 Resultados obtenidos del Freón 22

De acuerdo a la metodología empleada para la evaluación del freón 22, se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes puntos establecidos en dicha inspección.

IDENTIFICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL REFRIGERANTE SEGÚN CRITERIOS DE SEGURIDAD.

De acuerdo al Estándar 34 de la ASHRAE, el freón 22 es clasificado como un refrigerante con GRUPO DE SEGURIDAD A1, es decir es un refrigerante con un grado de toxicidad no identificado por encontrarse en concentraciones menores a las mínimas establecidas y además no presenta ninguna tendencia de combustión en el aire a 65 ºF y 14.7 psia.

EVALUACIÓN DEL REFRIGERANTE DESDE EL PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE.

El refrigerante freón 22 es el que se utiliza habitualmente en los equipos de aire acondicionado para aplicaciones residenciales y comerciales. Es un hidroclorofluorocarbono (HCFC), una serie de sustancias que, debido a su contenido de cloro, afectan a la capa de ozono.

El protocolo de Montreal, acuerdo internacional de 1987 para la protección de la capa de ozono, especificó en sus directivas, primero la eliminación de los clorofluorocarbonos (CFC) de mayor contenido en cloro y la retirada gradual de los HCFC. Según la tabla 32, la cual es un extracto tomado del Protocolo de Montreal el freón 22 tiene un Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO) de 5.5% lo que lo constituye en unos de los principales contribuyentes en la destrucción de la capa de ozono.

En Europa, la producción de freón 22 se está reduciendo progresivamente a partir del 2004, llegándose al mínimo en el 2015. Está ya prohibido su uso en transporte por carretera y ferrocarril, y por encima de una cierta capacidad frigorífica, estará

prohibido su uso en sistemas de climatización para edificios a partir del año 2000.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El refrigerante es clasificado como Grupo A1, el cual no es perjudicial al ser humano, pero está restringido su uso por ser un elemento que aporta a la destrucción de la capa de ozono.

El refrigerante posee un Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO) de 5.5% lo que lo constituye en unos de los principales contribuyentes en la destrucción de la capa de ozono.

4.2.2 Resultados obtenidos del Agua de Mar y Agua Refrigerada

De acuerdo a la metodología empleada para la evaluación del agua de mar y agua refrigerada se necesitó realizar un análisis químico para determinar varios parámetros que ayudarán a realizar la inspección. A continuación la tabla 63 muestra los resultados obtenidos en el análisis, el mismo que fue realizado en el Laboratorio de Servicios del Instituto de Ciencias Químicas (ICQ) de la ESPOL.

Tabla 63
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Resultado de análisis químico a las agua de mar y de refrigeración

Parámetro	Unidad	Resultados		Método de Análisis
		Agua de Mar	Agua de Refrigeración	
Alcalinidad Total	mg / l	150,15	460*	Volumétrico
Dureza Total	mg / l	4236,8	198	Volumétrico
Sólidos Totales	mg / l	22356	1074	Gravimétrico
Ph	U de ph	7,87	10,72	Potenciométrico
Oxígeno Disuelto	mgO2/l	6,1	7,2	Volumétrico

FUENTE: Laboratorios de Servicios del Instituto de Ciencias Químicas (ICQ-ESPOL)
* Analizado por Método Potenciométrico.

PREDECCIÓN DE LA TENDENCIA A LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES Y CORROSIÓN.

La tabla 64 muestra los resultados obtenidos al procesar la información dada por el laboratorio y utilizar las ecuaciones y tablas dadas en la metodología de evaluación para los diferentes tipos de agua.

Tabla 64
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Resultados obtenidos de la predicción a la formación de incrustaciones y corrosión.

AGUA DE MAR	
Índice de Saturación de Langelier (LSI)	**Tendencia del Agua**
-4,03	Fuerte Corrosión
Índice de Estabilidad de Ryznar (RSI)	**Tendencia del Agua**
15,93	Corrosión Inadmisible
AGUA REFRIGERADA	
Índice de Saturación de Langelier (LSI)	**Tendencia del Agua**
-2,08	Fuerte Corrosión
Índice de Estabilidad de Ryznar (RSI)	**Tendencia del Agua**
14,88	Corrosión Inadmisible

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar la inspección podemos llegar a las siguientes conclusiones acerca de los resultados obtenidos en los análisis:

Agua de Mar:

De acuerdo a la cantidad en mg / lit (ppm) de dureza total encontrada en el agua, esta es clasificada como muy dura. El agua dura, en estado natural, favorece la formación, y cuando se calienta tiende a formar un depósito de cal. Este depósito, y otras impurezas (ver figura 4.13), se acumulan en las tuberías, válvulas, bombas, oponiéndose a la circulación de los líquidos y reduciendo el intercambio de calor.
Debido al alto valor de Ph obtenido es fácil que se produzcan depósitos de carbonato cálcico, originado lo antes mencionado en el párrafo anterior.

De acuerdo a los Índices de Saturación de Langelier e Índice de Estabilidad de Ryznar, el agua tiene tendencia a originar una fuerte corrosión en los materiales que entren en contacto con ella.

A su vez también podemos decir que un agua que tenga una gran dureza y un índice de saturación positivo, produce definitivamente incrustaciones.

El alto contenido de oxígeno disuelto en el agua contribuye también a la corrosión de los materiales que entran en contacto con ella ya que la reacción del oxígeno disuelto con los metales férreos aumenta con la temperatura.

Agua Refrigerada:

La muestra de agua refrigerada tuvo que ser tratada con ácido para precipitar las sales solubles, causantes del color interferente para los análisis volumétricos.

De acuerdo a la cantidad en mg / lit (ppm) de dureza total encontrada en el agua, esta es clasificada como dura.

Debido al alto valor de Ph obtenido es fácil que se produzcan depósitos de carbonato cálcico.

De acuerdo a los Índices de Saturación de Langelier e Índice de Estabilidad de Ryznar, el agua tiene tendencia a originar una fuerte corrosión en los materiales que entren en contacto con ella.

Como observación final acerca de la evaluación de las tendencias del agua podemos decir que: Los Índices de Langelier y Ryznar son muy útiles en la predicción de las tendencias del agua en sistemas de una

Tabla 55
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de meioras al

sola circulación (sistema de agua de mar). También se utilizan en los sistemas abiertos de recirculación. No obstante, existe el problema de predecir el ph en el caso de varios ciclos de concentración.

CONCLUSIÓN ACERCA DE LA INSPECCIÓN REALIZADA Y DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Después de analizar los resultados obtenidos en la inspección de los principales equipos que forman parte del sistema de climatización se concluye que el sistema se encuentra aún en buen estado y que puede continuar operando en el buque para lo cual en el siguiente capítulo de esta tesis se plantean algunas mejoras aplicables al sistema.

CAPÍTULO 5

5. PLANTEAMIENTO DE POSIBLES MEJORAS AL SISTEMA

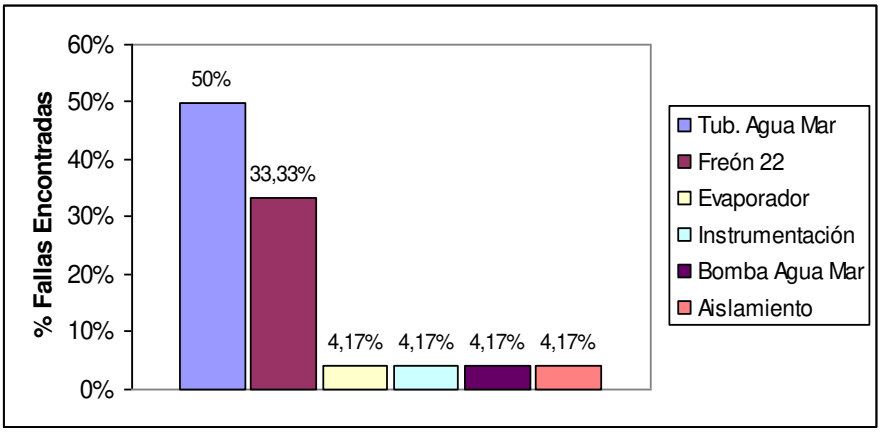
De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo anterior; inspección y análisis de resultados, se decide que los principales equipos que forman parte del sistema de climatización pueden continuar trabajando en el buque. Para esto se plantearán algunas mejoras necesarias que permitirán mejorar el funcionamiento de los equipos y por ende prolongar la vida útil de los mismos.

Las mejoras a realizarse en el sistema de climatización serán planteadas tomando en consideración primero, los resultados obtenidos en las inspecciones realizadas a los equipos y en segundo lugar dos factores muy importante, los cuales son; determinar que elementos están generando problemas en el funcionamiento del sistema y el presupuesto destinado para el mantenimiento de los sistemas mecánicos del buque.

La determinación de los elementos que están generando más problemas de lo normal en el funcionamiento del sistema de climatización se la obtiene mediante la revisión de una bitácora existente, en donde se detallan todos los cambios, reparaciones, y paralizaciones que ha sufrido el sistema durante los años 2001, 2002, 2003 y 2004. Las figuras 5.1 a 5.4 indican los porcentajes de fallas

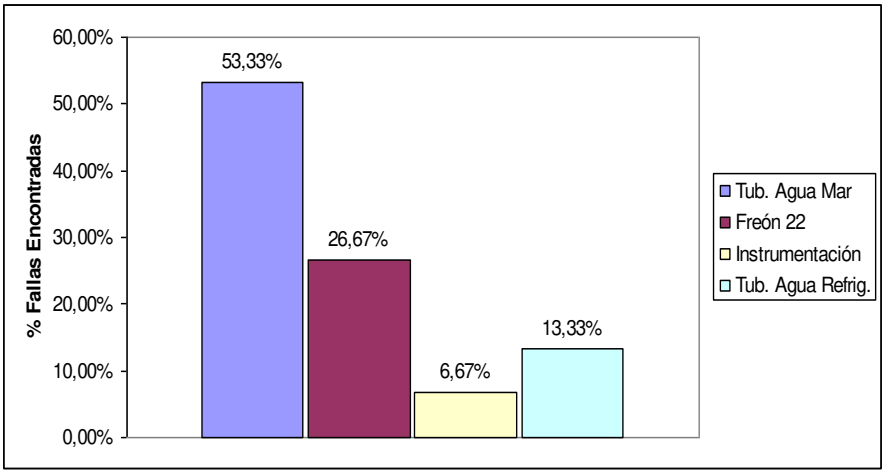
encontradas en los elementos mecánicos que han generado problemas en el sistema de climatización.

Figura 5.1
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar
Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2001



Fuente: Bitácora y Ordenes de Trabajo Generadas para el Buque

Figura 5.2
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar
Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2002

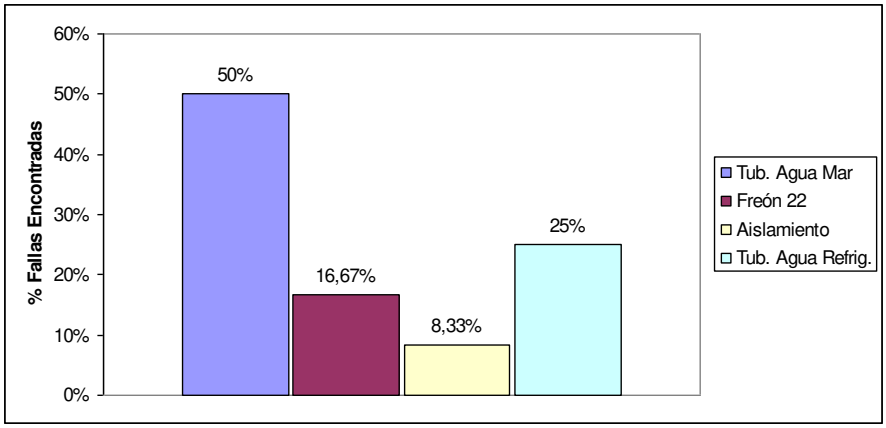


Fuente: Bitácora y Ordenes de Trabajo Generadas para el Buque

Figura 5.3

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar

Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2003

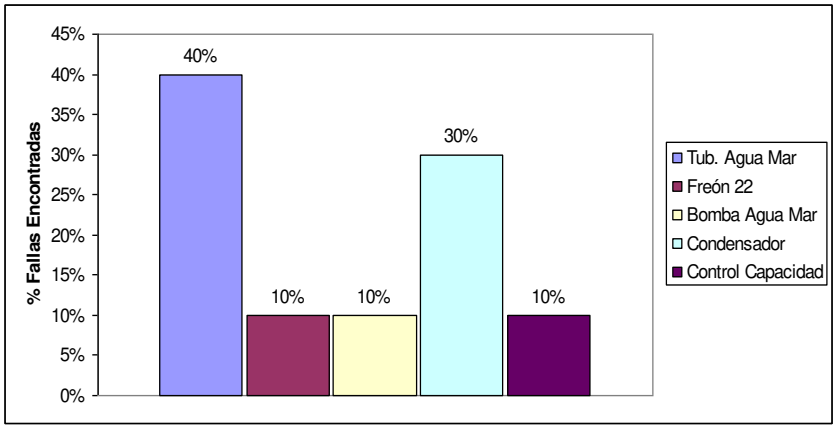


Fuente: Bitácora y Ordenes de Trabajo Generadas para el Buque

Figura 5.4

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar

Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2004



Fuente: Bitácora y Ordenes de Trabajo Generadas para el Buque

Adicionalmente se encontró que la última vez que se realizó un drenaje del sistema de agua refrigerada y mantenimiento con anticorrosivo fue en el año 2001.

La Armada del Ecuador por ser una institución del gobierno nacional está limitada a una determinada cantidad de dinero que debe ser distribuido para las diferentes actividades que en ella se realizan y a las diferentes áreas de ingeniería con que cuentan los buques, esto impide realizar cambios de gran envergadura en el sistema porque se corre el riesgo de que queden en simples papeles. Por lo tanto se decide realizar pequeños cambios con la finalidad de que estos sean realizados en un futuro programado y así poder obtener los resultados esperados.
A continuación se plantean una serie de mejoras que podrían ayudar a prolongar la vida útil del sistema de climatización.

SUSTITUCIÓN DEL FREÓN 22 POR UN REFRIGERANTE ECOLÓGICO

Debido a que deseamos alargar la vida útil del sistema de climatización es recomendable sustituir el refrigerante actualmente utilizado por uno que no genere problemas de contaminación al medio ambiente para de esta manera cumplir con los mínimos requerimientos exigidos por

normas nacionales e internacionales de control del medio ambiente, las cuales establecen que el R22 se podrá utilizar como refrigerante puro en la recarga de instalaciones existentes sólo hasta el año 2010. Un factor muy importante que se debe considerar a la hora de seleccionar el sustituto del R22 es que éste debe de operar eficientemente en el sistema ya existente, es decir, se debe en lo posible evitar grandes cambios del sistema actual al utilizar el refrigerante seleccionado. A continuación se describen las características principales de los refrigerantes pre-seleccionados y al final se realizará la selección del más idóneo para el sistema de climatización-

R – 410 A

El R410A es muy diferente en sus propiedades físicas y termodinámicas al R22. Esto significa que no es posible reconvertir a R410A un equipo existente de R22; este refrigerante se utiliza únicamente en equipos nuevos, que ya han sido diseñados para trabajar de forma exclusiva con el.

Principales Características del R – 410A

- El R410 es una mezcla casi azeotrópica cuya composición es un 50% de R32 y un 50% de R125.
- Es un refrigerante HFC y no daña la capa de ozono.
- Analizando los componentes de esta mezcla podemos decir que el R32 es un refrigerante con capacidad frigorífica elevada, es inflamable y tiene una temperatura y presión de descarga elevada. El R125 tiene propiedades de extintor y por tanto elimina la inflamabilidad de la mezcla con R32, pero presenta el inconveniente de tener un COP reducido y un efecto invernadero elevado.
- La mezcla al 50% del R125 y R32, es decir el R410, no es tóxica ni inflamable, tiene una capacidad frigorífica muy superior a la del R22, pero por el contrario su eficiencia energética es ligeramente inferior.
- Al ser una mezcla casi azeotrópica, cuando se produce una fuga de refrigerante en fase gas, nunca se producirá el fraccionamiento de la mezcla y la variación de las composiciones del refrigerante será mínima; a efectos prácticos significa que se puede mezclar perfectamente con producto original.

Para detectar las fugas se han de utilizar detectores de fugas electrónicos o lámparas ultravioletas para HFC. No se pueden utilizar los detectores de llama porque solo son sensibles a refrigerantes clorados. El agua jabonosa, que no por ser un método antiguo es

menos eficaz, también es otra solución, especialmente si nos cargamos de paciencia.

El R410A está considerado por ASHRAE como refrigerante del grupo A1, es decir de alta seguridad tanto en la mezcla tal como está formulada, como en el caso de producirse fugas. En este mismo grupo está englobado el R22 y el R407C por ejemplo. Sin embargo, el producto puede descomponerse por contacto con un punto caliente o una llama produciendo ácido fluorhídrico (HF) y COF2 que son altamente tóxicos y corrosivos. El olor que produce la descomposición del producto es muy irritante y el área se ha de evacuar de inmediato.

Los manómetros son exclusivos de R410A porque las presiones son distintas a las del R22. Además las tomas de los manómetros son de 5/16", a diferencia de las de R22 que son ¼". Las mangueras tienen una composición diferente para aguantar las presiones tan elevadas. Además, lo mismo que el puente de manómetros, los rácores de las mangueras son de 5/16". En cuanto al material del que está fabricada la manguera, en la manguera tradicional se utiliza goma NBR mientras que en la de R410 es goma HNBR revestida interiormente de nylon

El único aceite compatible es el Poliolésteres (POE). Como son muy higroscópicos absorben mucha humedad y se degradan fácilmente por

lo que se han de tomar las debidas precauciones, como no dejar las latas de aceite abiertas, mantener los equipos abiertos el menor tiempo posible, mantener los tubos de cobre cerrados, etc.

R - 407 C

Principales Características del R – 407C

- El R407C es un refrigerante que no daña la capa de ozono y por lo tanto su ODP tiene el valor de cero. Está dentro del grupo de los HFC.
- Es una mezcla no azeotrópica formada por tres componentes: R32, R125 y R134a, en las proporciones 23, 25 y 52% respectivamente en la fase líquida. Al ser una mezcla No Azeotrópica siempre se han de cargar las instalaciones en fase líquida.
- Las presiones son muy similares a las del R22.
- La capacidad de refrigeración es similar al R22 a altas temperaturas de evaporación; por el contrario, a bajas temperaturas, la capacidad frigorífica es bastante inferior, por lo que sus principales aplicaciones son a día de hoy, el aire acondicionado: no se utiliza a bajas temperaturas.
- La eficiencia energética es similar al R22.

- Solo es compatible con aceites Poliolésteres (POE); este tipo de aceites absorben mucha humedad y entonces se degradan muy rápidamente, por lo que es necesario extremar al máximo las precauciones.
- Presenta lo que se conoce como deslizamiento de temperatura, de aproximadamente 7,4ºC; este deslizamiento implica que no existe una temperatura real de cambio de fase, y que a la hora de calcular recalentamientos y subenfriamientos se han de tener en cuenta las temperaturas a las que termina realmente ese cambio de fase

Una de las principales preocupaciones que tiene todo instalador de este refrigerante, son las fugas del mismo, ya que en determinadas circunstancias puede producirse la rotura o descomposición de la mezcla original. Este hecho es algo que se produce en mayor o menor medida en las llamadas Mezclas No Azeotrópicas, y está relacionado directamente con las diferentes concentraciones que los componentes de la mezcla tienen en fase líquida y en fase vapor.

Los manómetros de R22 no se pueden utilizar con este refrigerante. Para ello hay puentes de manómetros con relojes para R407C, y que a veces incluyen las escalas de presión/temperatura de otros refrigerantes compatibles con aceite polioléster como R404A o R134a. Si se utilizan

puentes de manómetros de R22, siempre puede arrastrar alguna gota de aceite mineral e introducirla dentro del equipo de R407C, por esta razón se desaconsejan.

Para la detección de las fugas deben utilizarse detectores electrónicos o lámparas ultravioletas para HFC. Los detectores de llama no se pueden utilizar porque solo detectan cloro, y el R407C es un compuesto no clorado.

R – 417 A (ISCEON 59)

El cual es un refrigerante libre de cloro y por lo tanto no produce ningún daño a la capa de ozono y su uso no está sujeto a ningún proceso de retirada marcado por la legislación. El R – 417 A es un sustituto directo del R 22, cuando se utiliza este refrigerante no es necesario el cambio de aceite del equipo y por último se trata de un refrigerante Drop-in, es decir es un refrigerante que se puede cargar directamente en un sistema frigorífico sin necesidad de efectuar ninguna modificación o cambio, y que hace que el sistema trabaje de forma similar.

Principales Características del R – 417A

- Sustituto directo del R22. Reconversiones sencillas y rápidas.

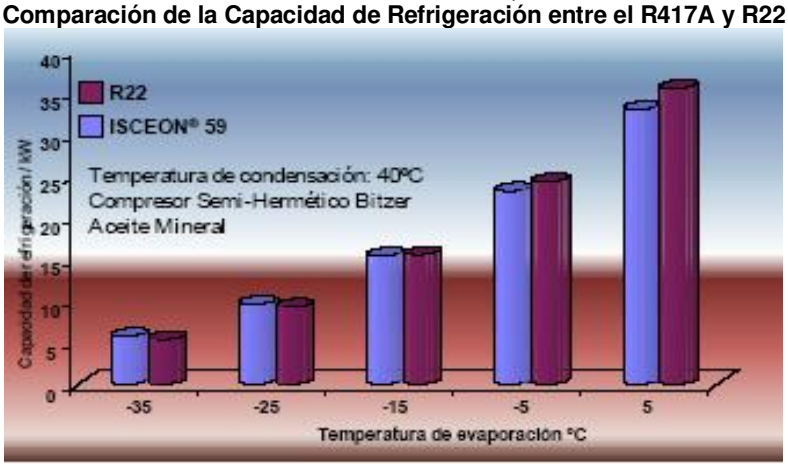
- Es un HFC y por lo tanto no tiene efecto sobre el ozono, es decir su ODP es cero.
- Clasificado como refrigerante de alta seguridad por la ASHRAE, la cual le dio clasificación A1. Esta clasificación es la misma que tienen refrigerantes como el R22, R 407C o R 410A.
- Es compatible con el aceite mineral, alquilbencénico y polioléster, que son los aceites usados mayoritariamente en los sistemas de refrigeración actuales.
- Se puede utilizar tanto en equipo nuevo como ya existente de R22.
- También se puede utilizar para equipos diseñados originalmente para R 407C

Principales diferencias del R417A respecto al R22

- La capacidad frigorífica es similar, aunque ligeramente inferior
- La eficiencia energética del producto es muy superior
- Temperaturas de descarga muy inferiores
- Presiones de trabajo similares aunque ligeramente inferiores.

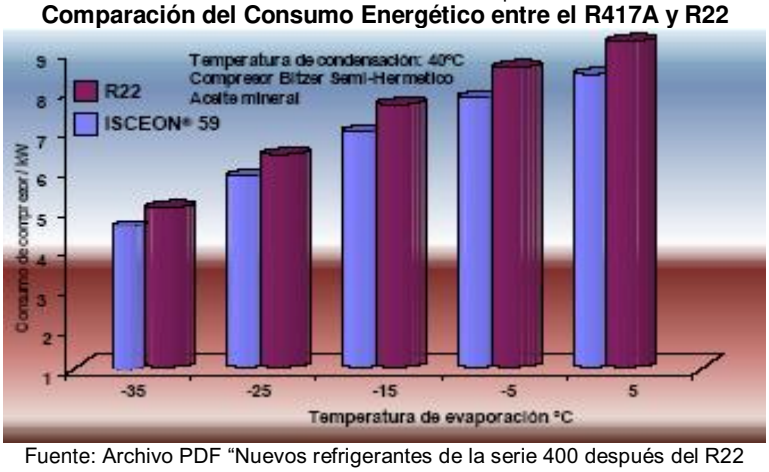
En las figuras 5.5 y 5.6 se compara la capacidad frigorífica y consumo energético del R417A y el R22. Estos datos se obtuvieron sobre un compresor semihermético usando aceite mineral.

Figura 5.5
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar
Comparación de la Capacidad de Refrigeración entre el R417A y R22



Fuente: Archivo PDF "Nuevos refrigerantes de la serie 400 después del R22

Figura 5.6
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar
Comparación del Consumo Energético entre el R417A y R22



Fuente: Archivo PDF "Nuevos refrigerantes de la serie 400 después del R22

De los datos aparecidos en estos gráficos se observa que el R417A tiene una menor capacidad frigorífica, sobre todo a altas temperaturas de evaporación. También reflejan como a cualquier temperatura, el consumo eléctrico del compresor es considerablemente inferior. Cuando

se habla de COP, es decir frío producido dividido entre consumo eléctrico, este es siempre superior en el caso del R417A.

Selección de refrigerante adecuado

En base a lo descrito anteriormente se decide recomendar al R – 417 A como reemplazo del R – 22 por ser un sustituto directo, por no requerir ninguna modificación o cambio en el sistema y por hacer que el sistema trabaje de forma similar que cuando usa R – 22.

TRATAMIENTO DE AGUA DE MAR Y REFRIGERADA

En todos los sistemas es conveniente realizar un programa de depuración de aguas, aunque un análisis final demuestre que no es necesario tratamiento alguno. Las técnicas y el equipo necesario para resolver el problema de las aguas varían con las características de éstas, clase y tamaño del sistema y facilidades disponibles. Se puede realizar un tratamiento a fondo del agua para un determinado trabajo, o programarlo únicamente para tratar algunos de los problemas del agua.
El tratamiento de aguas está en relación con la capacidad de refrigeración del sistema de acondicionamiento, en la forma siguiente:

1. Sistemas de gran capacidad (capacidades superiores a 225.000 frigorías/hora) en los cuales el usuario puede permitirse utilizar los servicios de una compañía de tratamiento de aguas.

2. Sistemas de pequeña capacidad (de 15.000 a 225.000 frigorías/hora) en los cuales puede no resultar económico utilizar los servicios de una compañía para un tratamiento completo de aguas.

El costo de un tratamiento de aguas completo puede resultar más caro que una limpieza ocasional del condensador por medio de ácidos, o bien su substitución.

Sistema de Agua de Mar

Como el agua no recircula, el costo de los productos químicos necesarios para el control de la corrosión e incrustaciones puede ser prohibitivo, además el buque no cuenta con el espacio suficiente para alojar los dispositivos de alimentación de substancias químicas, tales como depósitos, bombas, tuberías y cables los cuales serían utilizados si se decidiera aplicar algún tratamiento al agua de mar. Por este motivo una mejora aplicable consiste en limpiar el sistema frecuentemente y emplear materiales muy resistentes a la corrosión como el cuproníquel,

latón o bronce, acero inoxidable o níquel antes que emplear el tratamiento del agua.

En lo referente a las tuberías de transporte de agua de mar, se plantea utilizar un solo tipo de material en todo el sistema. La selección del material se la realiza mediante la utilización de variables tales como la temperatura, presión, corrosión y costo.

Entre los posibles materiales para ser utilizados en el sistema de agua de mar están el Acero Inoxidable TP 304 soldado o sin costura, el Acero Inoxidable TP 304L soldado o sin costura y el Cupro-Níquel (70/30), los cuales son muy resistentes a la corrosión y están diseñadas para soportar grandes presiones y elevadas temperaturas. La tabla 65 muestra la relación de costo entre los materiales pre-seleccionados.

Tabla 65
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Relación de costo en tubería metálica fabricada en taller

Material	Cedula	Especificación ASTM	Relación de Costo
Cupro-Niquel	40	B - 165	6,06
Acero Inoxidable 304, Soldado	40	A - 312	4,60
Acero Inoxidable 304, Sin costura	40	A - 312	4,78
Acero Inoxidable 304L, Soldado	40	A - 312	5,20
Acero Inoxidable 304L, Sin costura	40	A - 312	5,38

Fuente: Libro “Diseño de tuberías para plantas de proceso” Pág. 13 Figura 2.7
Nota: Valores basado en 100 pies de tubería 3”, 10 codos, 1 te, 4 bridas de cuello y 24 soldaduras a tope dentro del mismo tamaño.

De acuerdo a lo mostrado en la tabla anterior y debido a la existencia de tubería fabricadas de ese material las cuales están instaladas en

algunas secciones del sistema, se decide que la mejor opción es el ACERO INOXIDABLE ASTM A312 TP 304 Sin Costura CEDULA 40 con una relación de costo de 4.78 inferior al cupro-níquel, material que también está presente en el sistema y el cual tiene una relación de costo de 6.06. El Acero Inoxidable TP 304 sin costura es un material resistente a la corrosión y se recomienda su uso en el sistema de agua de mar para de esta manera evitar el uso de diferentes materiales como se esta haciendo en la actualidad los cuales producen corrosión galvánica entre ellos al utilizar al agua de mar como electrolito.

Otra mejora planteada es la instalación de los 60 ánodos de zinc, los cuales hasta el momento de realizar este trabajo no se encontraban instalados en ninguna sección de tubería. Dichos ánodos de zinc están instalados en grupo de dos en cada tramo de tubería con la finalidad de protegerlas de la corrosión por lo que es indispensable la existencia de los mismos en el sistema.

Finalmente debido a que las propiedades de los aceros inoxidables (su resistencia a la corrosión y sus propiedades mecánicas) pueden ser influenciadas negativamente por un procedimiento de soldadura inadecuada, se recomienda el uso de un electrodo apropiado en el caso de que se necesite unir por medio de soldadura diferentes tramos de tuberías, cambios de secciones o accesorios a las secciones rectas de

tuberías que se encuentran en el sistema. La tabla 66 muestra los electrodos comúnmente usados para diversos tipos de aceros inoxidables austeníticos. De acuerdo a esta tabla el electrodo R 60 cuya clasificación AWS es E 308L – 16 es considerado como la mejor opción para ser utilizado como material de aporte en la soldadura de los aceros inoxidables TP 304.

Tabla 66
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Electrodos comúnmente usados para diversos tipos de aceros inoxidables austeníticos

METAL BASE AISI	ELECTRODO AGA	CLASIFICACIÓN AWS
201	R - 60	E 308L - 16
202		
301		
302		
304		
304L		
305		
308		
308L		
316	R - 63	E 316L - 16
316L		
309 Mo	R - 65	E 309L Mo - 16
310	R - 67	E 310 - 16
309	R - 72	E 309L - 16
303	R - 91	E 312 - 16
312		

Fuente: Manual de bolsillo de AGA, pág. 26

Al final de este capítulo consta un plan de mantenimiento el cual fue elaborado con la finalidad de describir las principales actividades que deben realizarse para lograr obtener el buen funcionamiento del sistema.

Sistema de Agua Refrigerada

En todos los sistemas cerrados las substancias químicas se introducen de una sola vez, tanto en los sistemas grandes como en los pequeños. Según sean las pérdidas de agua que se produzcan se irán añadiendo productos químicos periódicamente cada mes, cada seis meses, o con más frecuencia si así lo exige el sistema.

Como este sistema presenta problemas de corrosión se plantea el empleo de inhibidores de corrosión los cuales deberán poseer nitrito sódico como componente principal para el control de la corrosión.

Para determinar la cantidad de inhibidor de corrosión a utilizar para realizar el tratamiento del agua refrigerada, se necesita determinar la cantidad de agua existente en el sistema. La tabla 65 muestra los diferentes diámetros de tuberías instaladas en el sistema y la cantidad de agua utilizada en ellas, así como en los evaporadores, climatizadores y tanque de compensación.

Tabla 67
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Cantidad de agua utilizada en el sistema de agua refrigerada del buque

Diam. Tubería (in)	Longitud (ft)	Peso Agua (Gal/ft)	Cant. Agua (Galones)
3-1/2"	144,28	0,51	73,58
3"	79,6	0,38	30,25
2"	237,6	0,17	40,39
1-1/2"	320	0,11	35,20
1-1/4"	112	0,08	8,96
1"	156	0,04	6,24
3/4"	152	0,03	4,56
1/2"	152	0,02	3,04
3/8"	20	0,01	0,20
Evaporadores		70 Gal/unidad	140,00
Tanque de Compensación		120 litros	31,70
Climatizadores			68,40
TOTAL			**442,52**

A continuación se describen las principales características de un inhibidor de corrosión, el cual fue recomendado por la empresa ROCHEM DEL ECUADOR S.A como un buen químico para el tratamiento en circuitos cerrados de recirculación de agua refrigerada.

INHIBIDOR "ROCOR NB LIQUID"

Es un inhibidor ideal de la corrosión para sistemas cerrados de enfriamiento o calentamiento, tales como en máquinas diesel, compresores, etc. Es no cromado, no fosfatizado, extremadamente efectivo para controlar la corrosión que evita los problemas de polución y toxicidad asociados con inhibidores de base cromática.

Ventajas

1. Protege tuberías, válvulas, bombas e intercambiadores de calor produciendo una película protectora en todas las superficies metálicas expuestas a la acción del agua, como hierro, acero, cobre, aleaciones de cobre, aluminio y bronce.

2. Ajusta automáticamente el pH al nivel adecuado.

3. No produce efectos adversos en empaquetaduras de bombas, mangueras de caucho, sellos de agua y empaques de válvulas.

4. Previene depósitos de cobre en superficies ferrosas.

5. Compatible con anticongelantes a base de alcohol y glycol.

6. No contiene cromato ni produce color en el agua tratada, eliminando la posibilidad de manchas.

Dosificación

El nivel de concentración en el sistema no debe ser inferior a 1500 PPM. Por razones económicas debe probarse en mantener el nivel del nitrito entre 1500 PPM a 2000 PPM aunque niveles superiores del nitrito

no causarán dificultades operacionales. El nivel del nitrito se obtiene efectuando una simple prueba colorimétrica. A continuación la tabla 68 muestra la dosificación necesaria.

Tabla 68
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Tabla de dosificación del Inhibidor de corrosión

Lectura del Nitrito (PPM)	Inhibidor requerido por 1000 lits. de agua en el sistema*
0 - 300	8,0 litros
300 - 600	6,4 litros
600 - 900	4,8 litros
900 - 1200	3,2 litros
1200 - 1500	1,6 litros
sobre 1500	No

***** En sistemas no tratados agregar 8.0 litros de Inhibidor por cada 1000 litros de agua en el sistema.
Fuente Rochem del Ecuador S.A

Para determinar la cantidad de inhibidor requerido asumiremos que el sistema no ha sido tratado. Como se necesita 8 litros de inhibidor por cada 1000 litros de agua y en el sistema instalado en el buque la cantidad de agua refrigerada utilizada es de aproximadamente 450 galones, utilizaremos una regla de tres simple para determinar la cantidad de inhibidor necesaria.

$$450 galones \approx 1705 litros$$

$$CantidadDeInhibidor = 13.64 litros$$

$$\boxed{CantidadDeInhibidor \approx 14 litros}$$

Por lo tanto necesitaremos aproximadamente 14 litros de inhibidor para realizar el tratamiento anticorrosivo al agua refrigerada y así evitar la corrosión en las tuberías de transporte de agua, bombas, válvulas y en los tubos de los evaporadores.

Con respecto al aislamiento térmico, existen varias secciones de tuberías en las cuales éste se encuentra en mal estado y en otras secciones no existe, por lo tanto se debe instalar en dichos lugares un nuevo aislamiento con lo cual se estaría cumpliendo con dos objetivos básicos que son minimizar las pérdidas en las tuberías y prevenir la condensación durante el enfriamiento del agua. A continuación en la tabla 69 se lista las características del aislamiento a utilizar en el proyecto.

Tabla 69
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Características del Aislamiento Térmico

AISLAMIENTO TERMICO				
	Diam. Tubería (pulg)			
	1 1/2"	2”	3”	3 1/2"
Material	Espuma Elastomérica			
Espesor (pulg)	½”	½”	½”	½”
Conductividad	0,034 W / m ºK			
Temperatura de uso	- 40 ºC a 105 ºC			
Color	Negro			
Similar a	Armaflex			

Fuente: Manual de Bolsillo “ASME”

La tabla 70 muestra los diámetros de tuberías en las cuales se les instalará el nuevo aislamiento así como la cantidad necesaria para cada diámetro especificado.

Tabla 70
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Cantidad de aislamiento necesario para tuberías de diferentes diámetros

Diám. Tubería (pulg)	Long. en Sistema (m)	Long. sin Aislamiento (m)	% ausencia de aislamiento
3 - 1/2"	44	7	15,91
3"	24,26	5	20,61
2"	72,42	18	24,86
1 - 1/2"	97,54	23	23,58
TOTAL		**53**	

Al igual que para el agua de mar, al final de este capítulo consta un plan de mantenimiento en el cual se describen las principales actividades que deben realizarse para lograr obtener el buen funcionamiento del sistema.

REEMPLAZO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL

Para que un sistema pueda trabajar normalmente y por ende alargar su vida útil es necesario que se cuente con instrumentos de medición y control en buen estado para que de esta manera se pueda tener un control de sus parámetros de funcionamiento. Al principio puede parecer que es una inversión no necesaria pero se ha comprobado que un sistema en el cual no funcionan correctamente sus instrumentos de

medición y control es un sistema que colapsará en el momento menos esperado.

A continuación se presenta una tabla con los instrumentos que se recomiendan deben ser reemplazados en el sistema, la cantidad necesaria y las características requeridas.

Tabla 71

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Lista de instrumentos que deben ser reemplazados en el sistema

INSTRUM.	EQUIPO	RANGO	UND	CANT.	CARACTERISTICAS
Instrumentos de medición					
Manómetros	Compresor	0 - 300	Psi	4	Tipo bourdon, diámetro de carátula 4" lleno con glicerina, conexión inferior, rosca 1/2", con escala para temp. R22, escala con pequeños intervalos para lecturas exactas
Manómetros	Compresor	0 - 600	Psi	2	Tipo bourdon, diámetro de carátula 4" lleno con glicerina, conexión inferior, rosca 1/2", con escala para temp. R22, escala con pequeños intervalos para lecturas exactas
Manómetros	Bomba de Agua de Mar y Refrigerada	0 - 120	Psi	3	Tipo bourdon, diámetro de carátula 4" lleno con glicerina, conexión inferior, rosca 1/2", escala con pequeños intervalos para lecturas exactas, resistente a la corrosión
Termómetros	Evaporador	(-40) - 40	ºC	4	Tipo bourdon, diámetro de carátula 4" lleno con glicerina, conexión inferior, rosca 1/2", escala con pequeños intervalos para lecturas exactas, resistente a la corrosión
Termómetros	Condensador	0 - 100	ºC	4	Tipo bourdon, diámetro de carátula 4" lleno con glicerina, conexión inferior, rosca 1/2", escala con pequeños intervalos para lecturas exactas, resistente a la corrosión
Instrumentos de control					
Termostato Límite	Evaporador	(-24) - 18	ºC	2	Longitud de capilar de 1,8 mt. Calibración eléctrica de 15 A con una maxima temp. del bulbo de 95 ºC
Termostato Antihielo	Evaporador	(-24) - 18	ºC	2	Longitud de capilar de 1,8 mt. Calibración eléctrica de 15 A con una maxima temp. del bulbo de 95 ºC
Flusostato de Agua de Mar y Agua Refrigerada	Bomba de Agua de Mar	0 - 142 0 - 120	Psi ºC	4	Paleta de mando extendible para tuberías de hasta 6" usando bronce como material de construcción. Presión maxima de fluido de 142 psi y max. Temp. Fluido de 120 ºC. Carga eléctrica 15 A 250 V
Presostato Dif. de Aceite	Compresor			2	Campo de intervención de 0,5 a 5 Bar. Calibración Manual
Presostato Baja Presión	Compresor			2	Campo de intervención de -0,65 a 7 Bar. Calibración Manual
Presostato Alta Presión	Compresor			2	Campo de intervención de 3,5 a 32 Bar. Calibración Manual

PLAN DE MANTENIMEINTO RECOMENDADO PARA LOS EQUIPOS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Debido a que los principales problemas encontrados en la inspección realizada a los equipos que forman parte del sistema de climatización no son producto del tiempo de trabajo diario del mismo, a pesar de ser un sistema de veinte y cinco años de vida, sino que dichos problemas son debido a un mal manejo de su plan de mantenimiento. Por lo tanto se propone a continuación algunas recomendaciones que deberán ser tomadas en cuenta cuando se realice el mantenimiento a los principales equipos del sistema; dichas recomendaciones deberán ser añadidas al plan de mantenimiento que realiza el personal del buque, el mismo que puede ser llevado a cabo fácilmente por cualquier personal encargado del sistema de climatización.

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar

Plan de Mantenimiento para los equipos principales del Sistema de Climatización instalado en el Buque

No.	ACTIVIDAD	MANTENIMIENTO					
		DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUA
1	Chequear fugas de agua	X					
2	Controlar parámetros de funcionamiento	X					
3	Controlar alineación de bombas antes de arrancar	X					
4	Controlar ruidos y calentamiento de bombas	X					
5	Chequear fugas de refrigerante		X				
6	Verificar elementos de fijación del motor y compresor		X				
7	Verificar nivel de aceite del compresor		X				
8	Verificar trabajos de válvulas solenoides y termostáticas		X				
9	Evacuar gases no condensables del sistema			X			
10	Completar aceite y cambiar filtros			X			
11	Limpiar válvulas de expansión termostáticas y solenoide			X			
12	Verificar nivel de agua del tanque de compeso			X			
13	Cambiar filtros deshidratadores				X		
14	Reajustar carga de refrigerante del sistema				X		
15	Verificar trabajo del control de capacidad				X		
16	Cambiar filtro de agua de mar					X	
17	Comprobar hermetismo de la válvula de fondo					X	
18	Controlar matrimonio y alineación del compresor					X	
19	Limpiar tuberías del sistema de agua de mar y cambiar ánodos de zinc					X	
20	Limpiar tubos del condensador					X	
21	Reemplazo de agua de refrigeración y tratamiento químico					X	
22	Cambio de campanas y capilares de los instrumentos de control del compresor						X
23	Verificar buen funcionamiento de instrumentación de medición y si amerita cambiarlos						X

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico que se planteará a continuación tiene como objetivos principales los siguientes puntos:

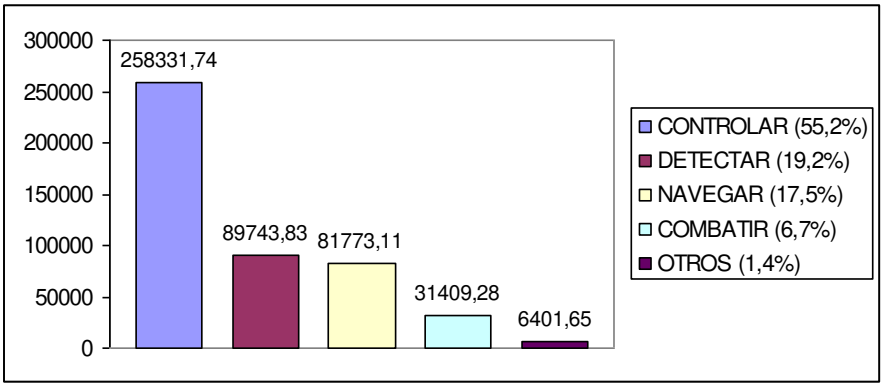
1. Identificar los sistemas que mayor costo de mantenimiento poseen de manera general y de forma particular clasificados por capacidades (navegar, detectar, combatir) del buque militar y por tipos de sistemas (Ingeniería, Armas, Electrónicos, etc.) que en él se encuentran instalados.

2. Determinar los costos generados por las mejoras planteadas al sistema de climatización y determinar la manera y tiempo en el cual se pueden realizar dichas mejoras para de esta forma poder aprovechar al máximo el presupuesto destinado para el mantenimiento de los sistemas mecánicos y en especial al sistema de climatización el cual es el objeto de estudio de esta tesis.

SISTEMAS CON MAYOR COSTO DE MANTENIMIENTO

El período de análisis utilizado para cumplir con el primer objetivo está comprendido desde el 1 de Enero del 2005 hasta el 31 de Octubre del 2005. A continuación la figura 6.1 muestra los costos de mantenimiento generados por el buque clasificados de acuerdo a cada una de sus capacidades.

Figura 6.1
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Costo de Mantenimiento por Capacidades del Buque



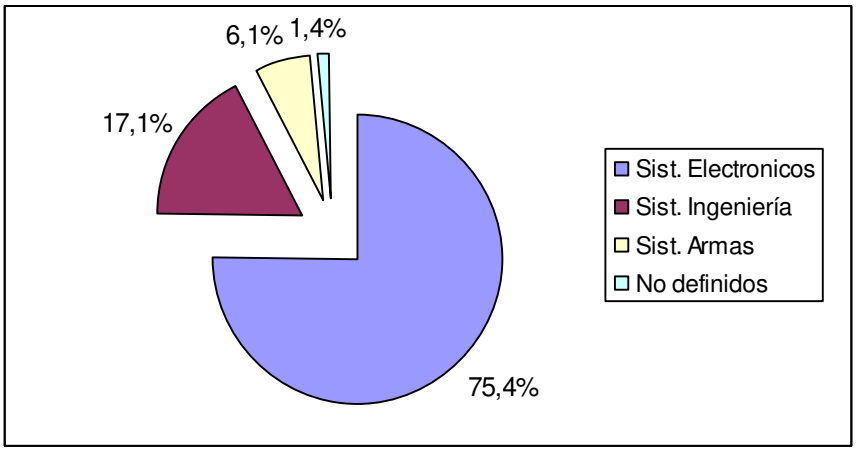
Fuente: SISMAC (Sistema de Mantenimiento Asistido por Computadora)

De acuerdo a la figura 6.1, los sistemas que componen la capacidad de Controlar son los que presentan el mayor costo de mantenimiento con $258331.74 (55.2%), seguido de los sistemas que componen la capacidad de Detectar con $89743.83 (19.2%), en tercer lugar se tienen a los sistemas que componen la capacidad de Navegar con $81773.11 (17.5%) y los que han incurrido en un menor costo de mantenimiento son los sistemas que componen la capacidad de combatir con $31409.28 (6.7%).

El costo de mantenimiento generado durante el período de estudio de acuerdo a los tipos de sistemas es de $467659.61. La figura 6.2 muestra la distribución de estos costos para los diferentes sistemas existentes en el buque.

Figura 6.2
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

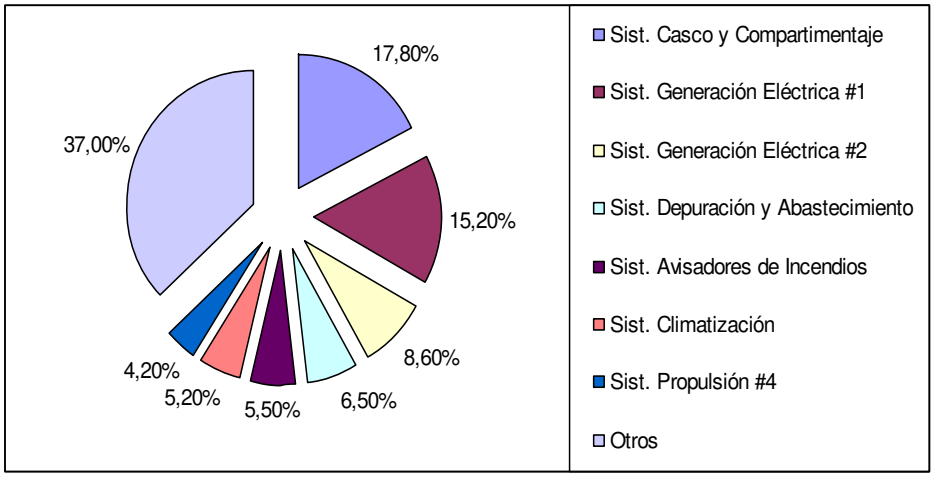
Costo de Mantenimiento por Tipo de Sistema Existente en el Buque



Fuente: SISMAC (Sistema de Mantenimiento Asistido por Computadora)

La figura 6.3 muestra la distribución de los costos de mantenimiento de los diferentes sistemas que componen los sistemas de ingeniería y que representan el 17.1% (ver fig. 6.2) de los costos generados de acuerdos al tipo de sistema existente en el buque. Al observar la figura 6.3 nos damos cuenta que el sistema de climatización está entre los seis primeros sistemas que origina más costo de mantenimiento en el buque con un 5.20% que representa aproximadamente $4200 anuales, quedando solo detrás de los sistema de casco y compartimentaje, sistemas de generación eléctrica, sistema de depuración y abastecimiento y el sistema avisador de incendio.

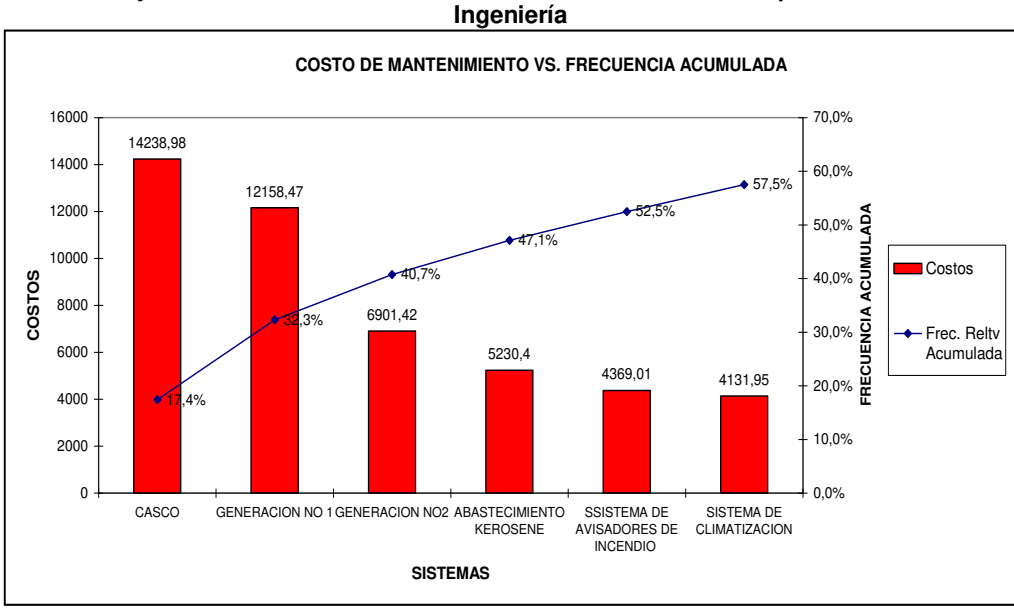
Figura 6.3
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Costo de Mantenimiento de los Principales Sistemas de Ingeniería



Fuente: SISMAC (Sistema de Mantenimiento Asistido por Computadora)

Finalmente la figura 6.4 muestra el porcentaje acumulado de costos de mantenimiento de los seis sistemas de ingeniería que originan los mayores porcentajes de costos de mantenimiento. Como podemos observar entre los seis sistemas, el costo acumulado es del 57.5%, el porcentaje restante está distribuido entre las decenas de sistemas que en el buque existen.

Figura 6.4
Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.
Porcentaje Acumulado de Costos de Mantenimiento de los Principales Sistemas de Ingeniería



De acuerdo a lo observado en esta primera parte del análisis de costos, el sistema de climatización se encuentra entre los principales sistemas de ingeniería con altos costos de mantenimiento por lo que cualquier mejora aplicada en el mismo con la finalidad de reducir estos costos es recibida con agrado.

ESTIMACIÓN DE COSTOS DEBIDO A LAS MEJORAS PLANTEADAS

A continuación la tabla 72 muestra las cotizaciones realizadas al listado de instrumentos, equipos y accesorios requeridos para el planteamiento de las mejoras, en las que en su valor se incluyen ya los costos por transportación, mano de obra, materiales para el montaje y montajes de los mismos.

Tabla 72

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Costos de instrumentación, equipos y accesorios

Descripción	Unidad	Cant.	Costo Unitario ($)	Costo Total ($)	Observaciones
Instrumentos de medición					
Manómetro	Unid.	4	90,58	362,32	Compresor
Manómetro	Unid.	2	90,58	181,16	Compresor
Manómetro	Unid.	3	90,58	181,16	Bombas
Termómetros	Unid.	4	52,70	210,80	Condensador
Termómetros	Unid.	4	52,70	210,80	Evaporador
Instrumentos de control					
Presostato de baja presión	Unid.	2	85,00	170,00	Compresor
Presostato de alta presión	Unid.	2	85,00	170,00	Compresor
Presostato dif. De aceite	Unid.	2	95,00	190,00	Compresor
Flusostato de agua salada	Unid.	2	380,00	760,00	Bombas
Flusostato de agua refrigerada	Unid.	2	310,00	620,00	Bombas
Termostato límite	Unid.	2	510,00	1020,00	Evaporador
Termostato antihielo	Unid.	2	480,00	960,00	Evaporador
Accesorios					
Rollo de capilar de 0,42	Mts.	10	4,00	40,00	
Acoples NPT de 1/4"	Unid.	15	0,50	7,50	
Tuercas para cañerías de 1/4"	Unid.	15	0,50	7,50	
Tuberías Agua de Mar					
Acero Inox. ASTM 312 TP 304	Mts.	6	100	600,00	Diám. 4" Cd 40
Tuberías Agua Refrigerada					
Acero ASTM A53	Mts.	10	30	300.00	Diám. 2" Cd 40
Aislamiento Térmico					
Diámetro = 3 1/2"	Mts.	7	33,60	235,2	
Diámetro = 3"	Mts.	5	30,61	153,05	
Diámetro = 2"	Mts.	18	25,47	458,46	
Diámetro = 1 1/2"	Mts.	23	20,50	471,5	
Protección Galvánica					
Ánodos de Zinc	Unid.	60	5,56	333,6	Tub. Agua Mar
Pintura Anticorrosiva	Galones	3	48,60	145,8	Tub. Agua Mar
Tratamiento Químico					
Inhibidor de Corrosión	Litros	14	4.4	61.6	Agua Refrig.
Refrigerante					
R417A (Isceon 59)	Kg.	32	23.44	750	Sist. Climatiz.
Sub-Total				8600.45	
12% IVA				1032.054	
TOTAL				**9632.50**	

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE COSTOS

De acuerdo a los resultados obtenidos, el sistema de climatización instalado en el buque tiene un costo de mantenimiento de aproximadamente $4200 anuales según la información obtenida en las figuras

6.3 y 6.4, mientras que el costo que se generaría al realizar las mejoras es de aproximadamente $9640 (ver tabla 72) en los cuales están incluidos costos de instrumentos, equipos, accesorios y tratamiento químico.

Si aplicamos las mejoras planteadas al sistema de manera progresiva evitaríamos las fallas producidas anualmente como se observó en las figuras 5.1 a 5.4 del capítulo 5 con lo cual reduciríamos los costos de mantenimiento anuales y recuperaríamos la inversión realizada en corto tiempo.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El cálculo de carga térmica realizado demostró que la demanda en el buque cuando este se encuentra atracado en los muelles de BASUIL es de 24

toneladas de refrigeración. Si comparamos este valor con la capacidad de cada compresor (112500 frigorías/hora o 37.23 toneladas de refrigeración) tenemos como resultado de que el buque requiere aproximadamente un 65 % de la máxima capacidad del compresor para climatizar correctamente cuando este se encuentra en muelle.

2. De todas las variables utilizadas para la inspección de los compresores solo dos no fueron satisfechas; la primera, es el control de capacidad automático para la modulación de la carga térmica, ya que este no se encuentra en estado operativo por lo que el monitoreo del sistema se lo realiza manualmente y la segunda, la presión de aceite, la cual se encuentra por debajo de los límites establecidos por el fabricante.

3. El tiempo de servicio de los compresores no es equilibrado puesto que el compresor # 1 es utilizado aproximadamente un 20 % más que el compresor # 2 causando mayor desgaste en el primero.

4. De todas las variables utilizadas para la inspección de los condensadores y evaporadores, solo dos no fueron satisfechas; la primera, es la instrumentación que forma parte de los controles de seguridad de los evaporadores ya que estos no existen en la actualidad, impidiendo de esta manera controlar las condiciones de entrada y salida del agua refrigerada y la segunda, el bajo diferencial de temperatura en ambos equipos debido a la posible acumulación de depósitos o incrustaciones en el caso de los condensadores y al retorno de agua fría debido a la baja carga térmica que hay en el buque en el caso de los evaporadores.

5. La instrumentación que forma parte de los controles de seguridad de las bombas no se encuentran operativos en la actualidad, impidiendo de esta manera controlar las condiciones de salida tanto del agua de mar como refrigerada.
6. El tiempo de servicio de las bombas de agua refrigerada al igual que los compresores, evaporadores y condensadores no es equilibrada ya que la bomba # 1 trabaja un 22% más que la bomba # 2.

7. Los devanados del estator para los cinco motores eléctricos inspeccionados se encuentran en perfectas condiciones, sus bobinas se encuentran libres de humedad y suciedad y los valores obtenidos para la resistencia de aislamiento son mayores que los mínimos establecidos por la norma IEEE Std 43-2000.

8. Las principales causas de las fallas en las tuberías de agua de mar son debido; primero, a la ausencia de los ánodos de sacrificio, los cuales ayudan a evitar la corrosión galvánica en las tuberías; segundo, a la utilización de tuberías de diferentes materiales en un mismo sistema, lo cual también origina corrosión galvánica y finalmente a la mala selección del material de aporte en la soldadura, lo que está originado fallas en los cordones de soldaduras de las uniones, cambio de sección, etc.

9. La principal causa de fallas en las tuberías de agua refrigerada es la falta de un tratamiento químico al agua por lo que las tuberías presentan inicios de corrosión localizada, la cual no permite hacer predicciones, su velocidad es

impredecible y mucho mayor a la corrosión uniforme y lo más peligroso es que es la más dañina.

10. El Refrigerante R22 a pesar de estar clasificado por la ASHRAE como refrigerante del GRUPO A1, el cual no es perjudicial al ser humano, su uso está limitado por acuerdos internacionales hasta el 2010 por ser un elemento que aporta a la destrucción de la capa de ozono debido a que pose un Potencial de Agotamiento del Ozono de 5.5%.

11. El agua de mar posee una tendencia a originar fuerte corrosión en los materiales que entren en contacto con ella y debido a su gran dureza e índice de saturación positivo, producirá definitivamente incrustaciones, pero debido al tipo de sistema existente en el buque no es recomendable la aplicación de un tratamiento de agua por lo cual se justifica el uso de materiales costosos pero a su vez resistentes a la corrosión en tuberías y equipos.

12. El agua refrigerada posee una tendencia a originar una fuerte corrosión en los materiales que entren en contacto con ella por lo cual es necesario aplicar un tratamiento de agua para proteger a las tuberías y equipos.

13. El agua refrigerada con las propiedades químicas encontradas tiende a formar depósitos y cuando se calienta, estos depósitos y otras impurezas se acumulan en los tubos, válvulas, bombas y tuberías, oponiéndose a la circulación de los líquidos y reduciendo el intercambio de calor.

14. Después de haber realizado la inspección al sistema de climatización instalado en el buque se concluye que este puede continuar operando con la aplicación de las mejoras planteadas con la finalidad de poder alargar su vida útil.

15. Las mejoras planteadas al sistema ayudarán a reducir los costos de mantenimiento anuales y facilitarán el control y monitoreo de los parámetros de funcionamiento del mismo para que en futuras inspecciones la toma de datos de funcionamiento se puedan realizar fácilmente.

16. El costo debido a las mejoras planteadas puede ser recuperado sin inconvenientes en un corto tiempo ya que se trata de una cantidad , la cual puede ser cubierta por la institución.

17. La metodología de inspección utilizada para evaluar las condiciones de operación puede ser utilizada para realizar futuras inspecciones a los sistemas de climatización de los diferentes buques que conforman la flota de corbetas necesitando para ello sólo la adquisición de los parámetros actuales de operación de cada uno de los equipos y análisis químico actuales de los dos tipos de agua existentes.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el plan de mantenimiento proporcionado en el capítulo 5 “Planteamiento de Posibles Mejoras al Sistema” junto con los

mantenimientos programados por los encargados del buen funcionamiento del sistema con la finalidad de poder alargar la vida útil del mismo.

2. Se recomienda realizar inspecciones periódicas utilizando para ello la metodología proporcionada en este proyecto con la finalidad de prevenir el mal funcionamiento del sistema o detectar a tiempo posibles fallas.

3. Se recomienda a pesar del elevado costo, el uso de refrigerantes ecológicos como es el caso del R417A que fue planteado como sustituto directo del R22 con la finalidad de evitar la destrucción de la capa de ozono y respetar los acuerdos internacionales de protección del medio ambiente.
4. Se recomienda la utilización de este proyecto como base para la elaboración de un software de inspección, el cual puede adaptarse a los diferentes sistemas mecánicos del buque para de esta manera contar con una herramienta que nos ayude a evaluar las condiciones de operación de una manera fácil y rápida.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de una buque militar.

Designación Estándar de Refrigerantes (ASHRAE Standard 34)

Refrigerant Number	Chemical Name or Composition (% by mass)	Chemical Formula
Methane Series		
10	tetrachloromethane (carbon tetrachloride)	CCl_4
11	trichlorofluoromethane	CCl_3F
12	dichlorodifluoromethane	CCl_2F_2
12B1	bromochlorodifluoromethane	$CBrClF_2$
12B2	dibromodifluoromethane	CBr_2F_2
13	chlorotrifluoromethane	$CClF_3$
13B1	bromotrifluoromethane	$CBrF_3$
14	tetrafluoromethane (carbon tetrafluoride)	CF_4
20	trichloromethane (chloroform)	$CHCl_3$
21	dichlorofluoromethane	$CHCl_2F$
22	chlorodifluoromethane	$CHClF_2$
22B1	bromodifluoromethane	$CHBrF_2$
23	trifluoromethane	CHF_3
30	dichloromethane (methylene chloride)	CH_2Cl_2
31	chlorofluoromethane	CH_2ClF
32	difluoromethane (methylene fluoride)	CH_2F_2
40	chloromethane (methyl chloride)	CH_3Cl
41	fluoromethane (methyl fluoride)	CH_3F
50	methane	CH_4
Ethane Series		
110	hexachloroethane	CCl_3CCl_3
111	pentachlorofluoroethane	CCl_3CCl_2F
112	1,1,2,2-tetrachloro-1,2-difluoroethane	CCl_2FCCl_2F
112a	1,1,1,2-tetrachloro-2,2-difluoroethane	CCl_3CClF_2
113	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	CCl_2FCClF_2
113a	1,1,1-trichloro-2,2,2-trifluoroethane	CCl_3CF_3
114	1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane	$CClF_2CClF_2$
114a	1,1-dichloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane	CCl_2FCF_3
114B2	1,2-dibromo-1,1,2,2-tetrafluoroethane	$CBrF_2CBrF_2$
115	chloropentafluoroethane	$CClF_2CF_3$
116	hexafluoroethane	CF_3CF_3
120	pentachloroethane	$CHCl_2CCl_3$
123	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane	$CHCl_2CF_3$
123a	1,2-dichloro-1,1,2-trifluoroethane	$CHClFCClF_2$
124	2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane	$CHClFCF_3$
124a	1-chloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane	CHF_2CClF_2
125	pentafluoroethane	CHF_2CF_3
133a	2-chloro-1,1,1-trifluoroethane	CH_2ClCF_3
134a	1,1,1,2-tetrafluoroethane	CH_2FCF_3
140a	1,1,1-trichloroethane (methyl chloroform)	CH_3CCl_3
141b	1,1-dichloro-1-fluoroethane	CCl_2FCH_3
142b	1-chloro-1,1-difluoroethane	$CClF_2CH_3$
143a	1,1,1-trifluoroethane	CF_3CH_3
150a	1,1-dichloroethane	$CHCl_2CH_3$
152a	1,1-difluoroethane	CHF_2CH_3
160	chloroethane (ethyl chloride)	CH_3CH_2Cl
170	ethane	CH_3CH_3
Propane Series		
216ca	1,3-dichloro-1,1,2,2,3,3-hexafluoropropane	$CClF_2CF_2CClF_2$
218	octafluoropropane	$CF_3CF_2CF_3$
245cb	1,1,1,2,2-pentafluoropropane	$CF_3CF_2CH_3$
290	propane	$CH_3CH_2CH_3$
Cyclic Organic Compounds		
C316	1,2-dichloro-1,2,3,3,4,4-hexafluorocyclobutane	$C_4Cl_2F_6$
C317	chloroheptafluorocyclobutane	C_4ClF_7
C318	octafluorocyclobutane	C_4F_8
Zeotropic Blends (% by mass)		
400	R-12/114 (must be specified)	
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)	
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)	
401C	R-22/152a/124 (33/15/52)	
402A	R-125/290/22 (60/2/38)	
402B	R-125/290/22 (38/2/60)	

Refrigerant Number	Chemical Name or Composition (% by mass)	Chemical Formula
Zeotropes (*Continued*)		
403A	R-290/22/218 (5/75/20)	
403B	R-290/22/218 (5/56/39)	
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
405A	R-22/152a/142b/C318 (45/7/5.5/42.5)	
406A	R-22/600a/142b (55/4/41)	
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
407B	R-32/125/134a (10/70/20)	
407C	R-32/125/134a (23/25/52)	
407D	R-32/125/134a (15/15/70)	
408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	
409A	R-22/124/142b (60/25/15)	
409B	R-22/124/142b (65/25/10)	
410A	R-32/125 (50/50)	
410B	R-32/125 (45/55)	
411A	R-1270/22/152a (1.5/87.5/11.0)	
411B	R-1270/22/152a (3/94/3)	
412A	R-22/218/142b (70/5/25)	
Azeotropic Blends (% by mass)		
500	R-12/152a (73.8/26.2)	
501	R-22/12 (75.0/25.0)*	
502	R-22/115 (48.8/51.2)	
503	R-23/13 (40.1/59.9)	
504	R-32/115 (48.2/51.8)	
505	R-12/31 (78.0/22.0)*	
506	R-31/114 (55.1/44.9)	
507A	R-125/143a (50/50)	
508A	R-23/116 (39/61)	
508B	R-23/116 (46/54)	
509A	R-22/218 (44/56)	
Miscellaneous Organic Compounds		
Hydrocarbons		
600	butane	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
600a	2-methyl propane (isobutane)	$CH(CH_3)_3$
Oxygen Compounds		
610	ethyl ether	$C_2H_5OC_2H_5$
611	methyl formate	$HCOOCH_3$
Sulfur Compounds		
620	(Reserved for future assignment)	
Nitrogen Compounds		
630	methyl amine	CH_3NH_2
631	ethyl amine	$C_2H_5NH_2$
Inorganic Compounds		
702	hydrogen	H_2
704	helium	He
717	ammonia	NH_3
718	water	H_2O
720	neon	Ne
728	nitrogen	N_2
732	oxygen	O_2
740	argon	Ar
744	carbon dioxide	CO_2
744A	nitrous oxide	N_2O
764	sulfur dioxide	SO_2
Unsaturated Organic Compounds		
1112a	1,1-dichloro-2,2-difluoroethene	$CCl_2=CF_2$
1113	1-chloro-1,2,2-trifluoroethene	$CClF=CF_2$
1114	tetrafluoroethene	$CF_2=CF_2$
1120	trichloroethene	$CHCl=CCl_2$
1130	1,2-dichloroethene (trans)	$CHCl=CHCl$
1132a	1,1 difluoroethene (vinylidene fluoride)	$CF_2=CH_2$
1140	1-chloroethene (vinyl chloride)	$CHCl=CH_2$
1141	1-fluoroethene (vinyl fluoride)	$CHF=CH_2$
1150	ethene (ethylene)	$CH_2=CH_2$
1270	propene (propylene)	$CH_3CH=CH_2$

*The exact composition of this azeotrope is in question.

APÉNDICE B

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de una buque militar.

Propiedades Físicas del Refrigerante Seleccionado.

Refrigerant No.	Chemical Name or Composition (% by mass)	Chemical Formula	Molecular Mass	Boiling Pt. (NBP) at 14.696 psia, °F	Freezing Point, °F	Critical Temperature, °F	Critical Pressure, psia	Critical Volume, ft³/lb	Refractive Index of Liquid[b,c]
704	Helium	He	4.0026	−452.1	None	−450.3	33.21	0.2311	1.021 (NBP) 5461 Å
702p	Hydrogen, para	H_2	2.0159	−423.2	−434.8	−400.3	187.5	0.5097	1.09 (NBP)[f]
702n	Hydrogen, normal	H_2	2.0159	−423.0	−434.5	−399.9	190.8	0.5320	1.097 (NBP) 5791 Å
720	Neon	Ne	20.183	−410.9	−415.5	−379.7	493.1	0.03316	—
728	Nitrogen	N_2	28.013	−320.4	−346.0	−232.4	492.9	0.05092	1.205 (83 K) 5893 Å
729	Air	—	28.97	−317.8	—	−220.95	548.9	0.0530	
						−221.1	546.3	0.05007	
740	Argon	Ar	39.948	−302.55	−308.7	−188.48	704.9	0.0301	1.233 (84 K) 5893 Å
732	Oxygen	O_2	31.9988	−297.332	−361.8	−181.424	731.4	0.03673	1.221 (92 K) 5893 Å
50	Methane	CH_4	16.04	−258.7	−296	−116.5	673.1	0.099	
14	Tetrafluoromethane	CF_4	88.01	−198.3	−299	−50.2	543	0.0256	
1150	Ethylene	C_2H_4	28.05	−154.7	−272	48.8	742.2	0.070	1.363(−148)[f]
744A[2]	Nitrous oxide	N_2O	44.02	−129.1	−152	97.7	1048	0.0355	
170	Ethane	C_2H_6	30.07	−127.85	−297	90.0	709.8	0.0830	
503	R-23/13 (40.1/59.9)	—	87.5	−127.6	—	67.1	607	0.0326	
23	Trifluoromethane	CHF_3	70.02	−115.7	−247	78.1	701.4	0.0311	
13	Chlorotrifluoromethane	$CClF_3$	104.47	−114.6	−294	83.9	561	0.0277	1.146 (77)[4]
744	Carbon dioxide	CO_2	44.01	−109.2[d]	−69.9[e]	87.9	1070.0	0.0342	1.195 (59)
13B1	Bromotrifluoromethane	$CBrF_3$	148.93	−71.95	−270	152.6	575	0.0215	1.239 (77)[4]
504	R-32/115 (48.2/51.8)	—	79.2	−71.0	—	151.5	690.5	0.0324	
32	Difluoromethane	CH_2F_2	52.02	−61.1	−213	173.14	845.6	0.03726	
125	Pentafluoroethane	C_2HF_5	120.03	−55.43	−153.67	151.34	526.57	—	—
1270	Propylene	C_3H_6	42.09	−53.86	−301	197.2	670.3	0.0720	1.3640 (−58)[f]
502[5]	R-22/115 (48.8/51.2)	—	111.63	−49.8	—	179.9	591.0	0.0286	
290	Propane	C_3H_8	44.10	−43.76	−305.8	206.1	616.1	0.0726	1.3397 (−43)
22	Chlorodifluoromethane	$CHClF_2$	86.48	−41.36	−256	204.8	721.9	0.0305	1.234 (77)[4]
115	Chloropentafluoroethane	$CClF_2CF_3$	154.48	−38.4	−159	175.9	457.6	0.0261	1.221 (77)[4]
500	R-12/152a (73.8/26.2)	—	99.31	−28.3	−254	221.9	641.9	0.0323	
717	Ammonia	NH_3	17.03	−28.0	−107.9	271.4	1657	0.068[d]	1.325 (61.7)
12	Dichlorodifluoromethane	CCl_2F_2	120.93	−21.62	−252	233.6	596.9	0.0287	1.288 (77)[4]
134a	Tetrafluoroethane	CF_3CH_2F	102.03	−15.08	−141.9	214.0	589.8	0.029	—
152a	Difluoroethane	CHF_2CH_3	66.05	−13.0	−178.6	236.3	652	0.0439	
40[3]	Methyl chloride	CH_3Cl	50.49	−11.6	−144	289.6	968.7	0.0454	
124	Chlorotetrafluoroethane	$CHClFCF_3$	136.47	8.26	−326.47	252.5	530.84	—	—
600a	Isobutane	C_4H_{10}	58.13	10.89	−255.5	275.0	529.1	0.0725	1.3514 (−13)[f]
764[6]	Sulfur dioxide	SO_2	64.07	14.0	−103.9	315.5	1143	0.0306	
142b	Chlorodifluoroethane	$CClF_2CH_3$	100.5	14.4	−204	278.8	598	0.0368	
630[6]	Methyl amine	CH_3NH_2	31.06	19.9	−134.5	314.4	1082		1.432 (63.5)
C318	Octafluorocyclobutane	C_4F_8	200.04	21.5	−42.5	239.6	403.6	0.0258	
600	Butane	C_4H_{10}	58.13	31.1	−217.3	305.6	550.7	0.0702	1.3562 (5)[f]
114	Dichlorotetrafluoroethane	$CClF_2CClF_2$	170.94	38.8	−137	294.3	473	0.0275	1.294 (77)
21[7]	Dichlorofluoromethane	$CHCl_2F$	102.92	47.8	−211	353.3	750	0.0307	1.332 (77)[4]
160[2]	Ethyl chloride	C_2H_5Cl	64.52	54.32	−216.9	369.0	764.4	0.0485	
631[6]	Ethyl amine	$C_2H_5NH_2$	45.08	61.88	−113	361.4	815.6		
11	Trichlorofluoromethane	CCl_3F	137.38	74.87	−168	388.4	639.5	0.0289	1.362 (77)[4]
123	Dichlorotrifluoroethane	$CHCl_2CF_3$	152.93	82.17	−160.87	362.82	532.87	—	—
611[6]	Methyl formate	$C_2H_4O_2$	60.05	89.2	−146	417.2	870	0.0459	
141b	Dichlorofluoroethane	CCl_2FCH_3	116.95	89.6	—	399.6	616.4	—	
610[6]	Ethyl ether	$C_4H_{10}O$	74.12	94.3	−177.3	381.2	523	0.0607	1.3526 (68)
216ca	Dichlorohexafluoropropane	$C_3Cl_2F_6$	220.93	96.24	−193.7	356.0	399.5	0.0279	
30[6]	Methylene chloride	CH_2Cl_2	84.93	104.4	−142	458.6	882		1.4244 (68)[3]
113	Trichlorotrifluoroethane	CCl_2FCClF_2	187.39	117.63	−31	417.4	498.9	0.0278	1.357 (77)[4]
1130[8]	Dichloroethylene	CHCl=CHCl	96.95	118	−58	470	795		
1120[6]	Trichloroethylene	$CHCl=CCl_2$	131.39	189.0	−99	520	728		1.4782(68)[3]
718[6]	Water	H_2O	18.02	212	32	705.18	3200	0.0498	

Notes:

[a] Data from ASHRAE *Thermodynamic Properties of Refrigerants* (Stewart et al., 1986) or from McLinden (1990), unless otherwise noted.

[b] Temperature of measurement (°F, unless kelvin is noted) shown in parentheses. Data from CRC *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC 1987), unless otherwise noted.

[c] For the sodium D line.

[d] Sublimes.

[e] At 76.4 psia.

[f] Dielectric constant data.

References:

[1] Kirk and Othmer (1956).

[2] *Matheson Gas Data Book* (1966).

[3] Electrochemicals Department, E.I. duPont de Nemours & Co.

[4] *Bulletin* B-32A (duPont).

[5] *Bulletin* T-502 (duPont 1980).

[6] *Handbook of Chemistry* (1967).

[7] *Bulletin* G-1 (duPont).

[8] CRC *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC 1987).

APÉNDICE C

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de Climatización de un buque militar.

Sistemas de Acondicionamiento de Aire y sus Aplicaciones.

APLICACIONES			Sistemas de unidad individual de habitación o de zona				**Sistema de estación central**						
			Expansión directa		Todo - agua		Todo - aire					Aire - agua	
			Habitación	Zona	Unidad ventilador - serpentin		Simple corriente de aire					Sistema de aire primario	
			De 1,000 a 6,000 frigorías / hora	6,000 frigorías / hora y más	Aire recirculado	Con aire exterior	Caudal variable	By-pass	Recalentado: En la unidad terminal	Recalentado: En la conducción	Zona Multiple Conducto único	Agua secundaria Inducción A.V. - A.P.	Unidad Ventilador-serpentín con A.E.
Instalaciones de una sola finalidad	Residencial	Medias Grandes		X	X						X		
	Restaurante	Grandes Medios		X X				X	X	X X	X		
	Tiendas Boleras			X X				X					
	Estudios de radio y T.V.	Pequeños Grandes		X X				X X		X	X X		
	Clubs rurales			X				X		X	X		
	Salones de belleza Barberías		X X	X X									
	Iglesias Teatros			X				X X			X		
	Auditoriums Salas de baile y pabellones de patinaje			X			X	X X					
	Fàbricas (confort)			X				X		X			
Instalaciones de varias finalidades	Edificos de oficina Hoteles, dormitorios				X	X	X				X	X X	X
	Moteles Edif. De apartamentos				X	X						X X	X
	Hospitales Escuelas y colegios					X X	X	X	X	X X		X	
	Museos									X	X		
	Bibliotecas	Normales Libros raros		X X				X		X X	X		
	Grandes almacenes Centros de ventas			X				X X			X		
	Laboratorio	Pequeños Grandes edificios		X			X X		X	X	X	X	
	Buques								**X**			**X**	

APÉNDICE D

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DEL BUQUE

1. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES PARA EL CÁLCULO DE CARGA

En esta sección se determinarán todos los factores necesarios para el cálculo de carga térmica del buque.

1.1 Condiciones del Proyecto.

Las condiciones de diseño establecidas, interiores y exteriores, determinan el contenido de calor del aire. Ellas afectan directamente la carga térmica sobre los equipos de aire acondicionado influenciando en la transmisión de calor a través de la estructura exterior y además por la diferencia de contenido de calor entre el aire externo e interno.

1.1.1 Condiciones Internas de Diseño.

De acuerdo a ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), en su capítulo para Embarcaciones Navales, recomienda que los rangos de temperatura interna de diseño vayan desde 75 ºF a 80 ºF de bulbo seco y aproximadamente 50 % de humedad relativa. Considerando que los cálculos que se realizarán son con el objetivo de tener una idea de la cantidad de carga térmica generada en el buque para de esta manera establecer si el sistema de climatización logra cumplir en la actualidad su trabajo eficientemente dentro del mismo, asumiré que la nave permanece la mayor cantidad de tiempo atracada en el muelle, y los efectos de incidencia del viento son menores que cuando está navegando, por lo tanto seleccionaré las siguientes condiciones internas que se mantendrán en las áreas a climatizar.

Tabla 1
Condiciones Internas de Diseño.

PARÁMETRO	CANTIDAD
Temperatura de Bulbo Seco	75 ºF
Temperatura de Bulbo Húmedo	62,5 ºF
Humedad Relativa	50%

1.1.2 Condiciones Externas de Diseño

La tabla 2 muestra las variaciones de la temperatura del aire exterior en la ciudad de Guayaquil dados por la compañía DELFINI & CIA. LTDA (DELTA).

Tabla 2
Variaciones de la Temperatura Exterior en Guayaquil.

	TEMPERATURAS EXTERIORES (ºF)	
HORA	**BULBO SECO**	**BULBO HÚMEDO**
5 a.m.	74	71,8
6 a.m.	74,4	72,4
7 a.m.	75	72,7
8 a.m.	76	73,5
9 a.m.	78	74,8
10 a.m.	80,5	76,4
11 a.m.	84	77,8
12 m.	87	78,7
1 p.m.	90	79,4
2 p.m.	91,5	79,8
3 p.m.	92	80
4 p.m.	91,5	79,8
5 p.m.	90	79,4
6 p.m.	88,3	79,1
7 p.m.	86,3	78,5
8 p.m.	84,5	78
9 p.m.	83	77,5

Fuente: Compañía DELFINI & CIA. LTDA.

Para la estimación de la carga de diseño considero como el día más caluroso del año el 21 DE MARZO a las 15H00 en donde se tiene las condiciones más severas, las mismas que se detallan en la tabla 3.

Tabla 3
Condiciones Externas de Diseño

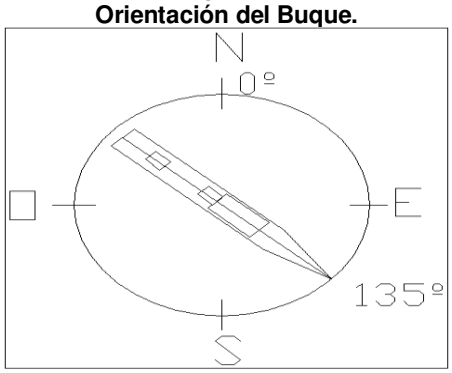
PARÁMETRO	CANTIDAD
Temperatura de Bulbo Seco	92 ºF
Temperatura de Bulbo Húmedo	80 ºF
Humedad Relativa	60%

1.2 Orientación del Buque

La orientación del buque es necesaria para realizar cálculos de ganancia de calor solar a través de paredes, expuestas o no al sol, techo y pisos (cubiertas). En la figura 1 se muestra claramente la posición del buque cuando este se encuentra acoderado en el muelle, la ubicación fue obtenida con la brújula que marca el norte magnético y que se encuentra ubicada en el puente de gobierno del buque.

Tenemos a demás, que el buque, dentro de los muelles de Basuil (Base Naval Guayaquil), se encuentra ubicado a 2.015 º de Latitud Sur.

Figura 1
Orientación del Buque.



1.3 Cálculo de Coeficientes de Transmisión de Calor "U"

El coeficiente de transmisión de calor, es un valor que nos indica la cantidad de calor que fluye o se transfiere a través de una superficie o estructura. Normalmente a este coeficiente se lo denomina con la letra "U" y viene expresada en BTU / (hr*ft^2*ºF).

El inverso del valor "U" representa la resistencia térmica "R" ejercida por los distintos materiales que componen la estructura; esto es:

$$\mathbf{U = \frac{1}{\Sigma R}}$$

Las paredes que están expuestas al sol, son paredes compuestas de varios materiales; estos son: acero naval, lana de vidrio y un acabado decorativo; mientras que las particiones no llevan aislamiento térmico a menos que el espacio adyacente genere carga térmica, como por ejemplo, la cocina, o cuarto de máquinas. La estructura del techo y piso, para las distintas cubiertas del Buque, son iguales que las paredes expuestas al sol; es decir, están aisladas. Las variables utilizadas para el cálculo de este coeficiente son:

h_0: Coeficiente convectivo del aire exterior.

h_i: Coeficiente convectivo del aire interior.

K_1: Coeficiente conductivo del acero naval.

K_2: Coeficiente conductivo de la lana de vidrio.

K_3: Coeficiente conductivo del acabado decorativo.

K_4: Coeficiente conductivo del aluminio.

I_1: Espesor de la plancha de acero naval.

I_1`: Espesor de la plancha de acero naval para particiones.

I_2: Espesor de la plancha de la lana de vidrio.

I_3: Espesor de la plancha del acabado decorativo.

I_4: Espesor de la plancha de aluminio.

A continuación la tabla 4 muestra las resistencias térmicas para cada uno de los materiales que

Tabla 4
Resistencias Térmicas.

			RESISTENCIA (hr*ft2*ºF/BTU)	
MATERIAL	**ESPESOR (IN)**	**K (BTU*in/hr*ft2*ºF)**	**L / K**	**1 / h**
Acero Naval-Exterior	0,315	310	0,00102	
Acero Naval-Interior	0,24	310	0,00077	
Aluminio	0,25	1420	0,00018	
Lana de Vidrio	1	0,27	3,7	
Acabado	0,08	0,34	0,24	
Aire Exterior				0,25
Aire Interior				0,61

forman las distintas paredes en el interior del buque.

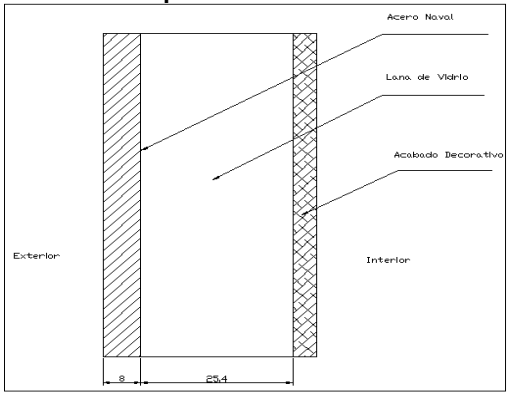
1.3.1 Cálculo del coeficiente "U" para paredes exteriores.

Las paredes exteriores del Buque son de acero naval y de aluminio; lo que representa la cubierta 100 del piso hacia abajo es de acero naval, es decir las cubiertas 200 y 300, en tanto que del piso hacia arriba es de aluminio, es decir las 01 y 02.

Cálculo para paredes de acero naval.

Las paredes exteriores del Buque tienen la siguiente estructura.

Figura 2
Estructura de las paredes exteriores de acero naval



Sobre la base de los valores de resistencia indicados anteriormente procedemos a realizar el cálculo de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_o}\right)+\left(\frac{I_1}{K_1}\right)+\left(\frac{I_2}{K_2}\right)+\left(\frac{I_3}{K_3}\right)+\left(\frac{1}{h_i}\right)}$$

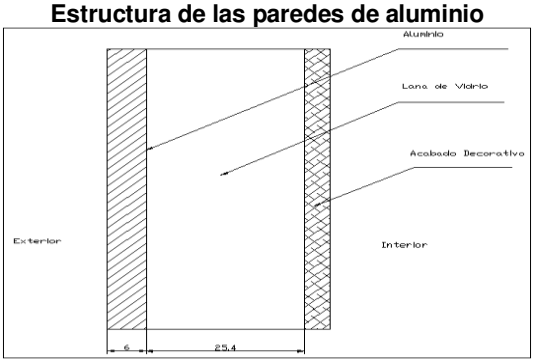
Por lo que se tiene el siguiente valor:

$$U = 0.208 \frac{BTU}{(hr * ft^2 * ºF)}$$

Cálculo para las paredes de aluminio

Las paredes exteriores de aluminio del Buque tienen la siguiente estructura:

Figura 3
Estructura de las paredes de aluminio



Sobre la base de los valores de resistencia indicados anteriormente procedemos a realizar el cálculo de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_o}\right)+\left(\frac{I_4}{K_4}\right)+\left(\frac{I_2}{K_2}\right)+\left(\frac{I_3}{K_3}\right)+\left(\frac{1}{h_i}\right)}$$

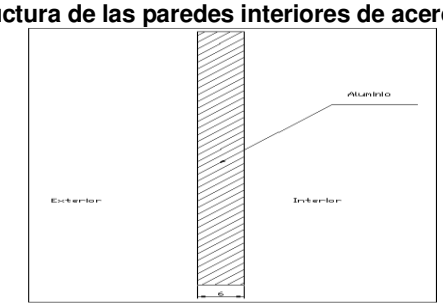
Por lo que se obtiene el siguiente valor:

$$U = 0.208 \frac{BTU}{(hr * ft^2 * ºF)}$$

1.3.2 Cálculo del coeficiente "U" para paredes interiores

Las paredes interiores del Buque tienen la siguiente estructura:

Figura 4
Estructura de las paredes interiores de acero naval



Sobre la base de los valores de resistencia indicados anteriormente procedemos a realizar el cálculo de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i}\right) + \left(\frac{I`_1}{K_1}\right) + \left(\frac{1}{h_i}\right)}$$

Por lo que se obtiene el siguiente valor:

$$U = 0.819 \frac{BTU}{(hr * ft^2 * ^oF)}$$

1.3.3 Techos y Pisos

En lo que respecta a techos y pisos, que para el caso del Buque se denominan Cubiertas, son de igual estructura que las paredes, por lo que se considerará para cubiertas, el mismo valor del coeficiente “U” para paredes.

1.4 Factores sensibles y latentes del aire exterior.

Estos factores nos indican la cantidad de calor (BTU / hr), en forma sensible o latente, que introducimos al sistema por cada CFM de aire exterior. Los parámetros que intervienen en el cálculo son los siguientes:

H_{ext}: Entalpía a las condiciones del aire exterior.
H_{int}: Entalpía a las condiciones de diseño para el aire interior.
ΔH: Diferencia de entalpías entre el aire exterior y el interior.
ΔT: Diferencia de temperaturas de bulbo seco entre el aire exterior y el interior.

Para determinar H_{ext} se ingresa a la carta psicrométrica con las condiciones de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo para las diferentes horas del día, las mismas que se encuentran tabuladas en la tabla 5. H_{int} se determina de la misma forma que H_{ext} pero a las condiciones internas de diseño del aire.
En la tabla 5 se encuentran tabulados los valores de entalpía del aire exterior para varias horas del día, y el valor de la entalpía del aire interior para las condiciones de diseño. Una vez

determinados los parámetros arriba mencionados procedemos a calcular los factores de la siguiente manera.

Factor sensible del aire exterior (BTU / hr * CFM):

$$q_S = 1.0825 * \Delta T$$

Factor latente del aire exterior (BTU / hr * CFM):

$$q_L = q_T - q_S$$

Donde;
Factor Total (BTU / hr * CFM) es igual a:

$$q_T = 4.5 * \Delta H$$

De acuerdo a la tabla 2, vemos que las condiciones de temperatura más crítica ocurren a las 15H00, y de la tabla 5 obtenemos los valores de H_{ext} , H_{int} y ΔH a esta hora.

Aplicando las ecuaciones para calor sensible, latente y total tenemos que:

$$q_S = 18.4025 \frac{BTU}{hr * CFM} \qquad q_L = 51.0325 \frac{BTU}{hr * CFM}$$

En la tabla 5 se incluyen también los valores de q_S y q_L para las demás horas del día.

Tabla 5
Factores sensibles y latentes del aire exterior para Guayaquil.

Datos del Aire Exterior para Guayaquil								
HORA	**Tdb (ºF)**	**Twb (ºF)**	**H ext.**	**ΔT (ºF)**	**ΔH**	**q_S (BTU/hr*cfm)**	**q_L (BTU/hr*cfm)**	**q_T (BTU/hr*cfm)**
10	80,5	76,4	39,93	5,5	11,81	5,954	47,191	53,145
11	84	77,8	41,32	9	13,2	9,743	49,658	59,45
12	87	78,7	42,22	12	14,1	12,99	50,46	63,45
13	90	79,4	42,93	15	14,81	16,238	50,408	66,645
14	91,5	79,8	43,34	16,5	15,22	17,861	50,629	68,49
15	92	80	43,55	17	15,43	18,403	51,033	69,435
16	91,5	79,8	43,39	16,5	15,27	17,861	50,854	68,715

Condiciones Exteriores	**Tdb. (ºF)**	**Twb. (ºF)**	**HR (%)**	**H (BTU/Lb)**
	75	62,5	50	28,12

1.5 Áreas a climatizar y generadores de carga internas

En esta parte nos referiremos a una evaluación de generadores de carga térmica por cada área a climatizar, en la que consta la generación de cargas térmicas por: el número de personas, la cantidad de luces y equipos en vatios, divididos y agrupados en zonas y de acuerdo al mobileto que climatiza esa zona. Para el cálculo no se considerará la cantidad total de personas, ya que la

misma persona que en un momento se encuentra en un lugar, momentos después está en otro y se estaría redundando en cargas por persona. En la tabla 6 se tabula todos los generadores de carga interna, los cuales serán útiles para la estimación de la carga térmica.

Tabla 6
Generadores de Carga Interna

Zona	Climatizador /Cubierta	Área-piso (ft^2)	Luces (Watt)	Otros Climatizadores	Personas
Capitán	C1/100	83,5	278		1
Cuarto de oficiales	C1/100	129,5	205		4
Comedor de tripulantes	C1/200	151,4	258		20
Local de girocompás	C1/200	112,5	120		3
Comedor de suboficiales	C1/200	104,6	265		8
Cuarto de oficiales	C1/200	63,7	345		2
Cuarto de tripulantes	C1/200	118,5	360		25
Bodega	C2/100	88,1	53		1
Cuarto de tripulantes	C2/200	21,5	438		25
Cuarto de suboficiales	C2/200	177,5	158		8
Secretaría	C2/200	67,24	240	MI-3	3
Enfriamiento	C2/200	67,24	53	MI-3	2
Cuarto de radar	C3/100	210	263	MI6-MI5	2
Cuarto de control	C3/100	186,8	480	MI7	3
Sala de radio	C3/100	124,8	400	MI4-MI4A	2
Local de albatros	C3/01	52,3	105	MI14	1
Santa Bárbara	C3/01	50,4	105		2
C.O.C	C3/01	660,4	435	MI del 9 al 13	15
Cuarto del sonar	C3/300	142,3	420	MI1	1
Puente de gobierno	CL-3A-B	211	180		1
Depósito de munición	CL2	278	240		1
Depósito de munición	CL1	270	240		1

Altura promedio de los compartimentos: 7.6 ft
Nota: El calor generado por los equipos eléctricos como radios, TV, etc. se los carga a luces por la poca cantidad de estos.
C: Climatizador CL: Climatizador local MI: Mobileto Integrador (serpentín-ventilador)

2. CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO

La estimación de la carga térmica ha sido realizada de manera manual en la que se considera un día y hora de diseño definido, es decir, condiciones exteriores fijas. Para este proyecto, el día de diseño se define como un día en el cual la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo son máximas y se tiene la máxima ganancia de calor. El manual de ASHRAE, en su parte de "Fundamentals" define este método como un procedimiento de un solo paso en el que se usa la diferencia total equivalente de temperatura, factores de carga de enfriamiento solar y factores de cargas internas.

2.1 Componentes de carga para embarcaciones navales

La estimación de la carga de enfriamiento se la evaluará sobre la base del calor producido por las siguientes fuentes:

- Radiación solar.
- Transmisión de calor a través del casco, cubiertas y mamparos.
- Disipación de calor (sensible y latente) de ocupantes.
- Ganancia de calor debido a luces.
- Ganancia de calor (sensible y latente) debida a aire de ventilación.
- Ganancia de calor debido a motores y otros equipos eléctricos.
- Ganancia de calor a través de maquinaria y equipos.

2.2 Determinación de las cargas externas

En este cálculo se consideran las siguientes cargas externas:

1. Transmisión de calor a través de barreras (cubiertas, casco y mamparos) causados por:
    - Diferencia de temperatura que se tiene en los dos lados de la barrera.
    - Efectos solares sobre paredes, cubiertas y techos expuestos al sol.

2. Aire exterior necesario para ventilación.

2.2.1 Transmisión de calor a través de barreras

Para determinar la transmisión de calor a través de barreras se utilizarán los siguientes parámetros:

U: Coeficiente global de transferencia de calor (determinado en la sección anterior).
A: Área de transferencia de calor.
ΔT: Diferencia de temperatura entre los dos lados de la barrera.

La transmisión de calor, Q, a través de barreras se lo calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\boxed{Q = U * A * \Delta T}$$

Para efectos de simplificar cálculos, al casco se lo considerará como paredes exteriores, y, de acuerdo a la orientación de estas, el ΔT (diferencia total equivalente de temperatura) se lo obtiene de la tabla 7.

Tabla 7
Diferencias Totales Equivalentes de Temperaturas para Paredes Exteriores

Paredes oscuras y latitud sur (paredes metálicas)							
Orientación	**08:00 a.m.**	**10:00 a.m.**	**12**	**13:00 p.m.**	**14:00 p.m.**	**15:00 p.m.**	**16:00 p.m.**
S	8	12	18	21	23	24	24
SE	36	35	26	27	27	27	26
E	47	55	40	36	31	30	29
NE	32	49	48	42	36	33	30
NE	5	22	39	43	46	42	37
NO	5	12	26	38	50	57	63
O	5	11	19	30	41	54	67
SO	5	11	18	23	27	37	47

Fuente: "Guía de aplicación" TRANE Company, tabla 22

En lo que respecta a las cubiertas expuestas, éstas se encuentran en una posición horizontal, por lo que su orientación con respecto al sol será siempre la misma y la diferencia total equivalente de temperatura la podemos hallar tabulada en la tabla 8.

Tabla 8
Diferencias Totales Equivalentes de Temperaturas para Cubiertas Expuestas.

Diferencias totales de temperatura para techos planos oscuros sin tumbado						
Material	peso (lb/ft^2)	8	10	12	14	15
Lámina de acero (1" aislamiento)	7	19	49	71	79	39,5

Fuente: "Guía de aplicación" TRANE Company, tabla 23

En lo que respecta a mamparos o particiones y cubiertas interiores se estimó el ΔT como diferencia entre la temperatura del ambiente adyacente no acondicionado y la temperatura de diseño del cuarto que queremos acondicionar y que para efectos de nuestros cálculos se la fijó en un promedio de **10 ºF.** Las áreas de transferencia de calor de las barreras se las obtiene de los planos de compartimientos del buque.

2.2.2 Aire exterior necesario para ventilación

El aire exterior es usualmente usado para controlar el nivel de olor y así proporcionar condiciones de confort de los ocupantes; este aire de ventilación impone una carga de enfriamiento y deshumidificación sobre los equipos de aire acondicionado debido al calor y a la mezcla que debe ser removida.

ASHRAE, en su capítulo 28 de "Fundamentals", en la parte de requerimientos de ventilación para embarcaciones navales recomienda 5 cfm por persona para áreas de tropa y 10 cfm para otras áreas. Sobre la base de estas recomendaciones y a la tabla 9 se escoge las siguientes normas.

NORMAS DE VENTILACIÓN	
CFM / Personas	10
CFM / Ft2	0,25

Tabla 9
Estándares de Ventilación

Aplicación		Número de Fumadores	CFM / Persona		CFM por FT^2 superficie de suelo
			Recomendado	Mínimo*	Mínimo*
	Normal	Pequeño	20	15	
Apartamentos	de Lujo	Muy pequeño	30	25	33
Banco		Pequeño	10	7,5	
Barbería		Grande	15	10	
Bares, Cóctel		Grande	30	25	
Corredores					0,25
Tiendas		Pequeño	7,5	5	0,05
Cuarto Directores		Muy Grande	50	30	
Farmacias		Grande	10	7,5	
Fábrica		Ninguno	10	7,5	0,1
Funerales		Ninguno	10	7,5	
Garaje					1
	Operación	Ninguno			2
	Seguridad	Ninguno	30	25	1,33
Hospital	Privado	Ninguno	20	15	
Hotel		Grande	30	25	0,33
	Restaurantes				4
Cocinas	Residencias				2
Laboratorios		Pequeño	20	15	
Cuarto de reunión		Muy grande	50	30	1,25
	General	Pequeño	15	10	
	Privada	Ninguno	25	15	0,25
Oficina	Privada	Grande	30	25	0,25
	Cafetería	Grande	12	10	
Restaurantes	Meriendas	Grande	15	12	
Aula de escuela		Ninguno			
Cine		Pequeño	15	10	

*Cuando se utiliza los mínimos, adoptar el valor mayo
Fuente: Carrier “Handbook of Air Conditioning System Design”, parte 1, página 91, tabla 45

De estas dos normas seleccionadas se utilizará la que represente la mayor cantidad de aire de ventilación; si se selecciona los 10 cfm por persona, se deberá multiplicar 10 por el número de personas que se encuentran en el área a climatizar, obteniendo de esta manera los cfm. Caso contrario, si se selecciona los 0.25 cfm por pie cuadrado, se deberá multiplicar 0.25 por el área del piso del ambiente a climatizar. Para calcular la ganancia de calor sensible y latente del sistema se multiplica la cantidad de cfm con los factores sensibles y latentes de aire exterior, tabuladas en la tabla 5 de la sección anterior, obteniéndose de esta manera la ganancia de calor en BTU / hr, por aire exterior.

2.3 Determinación de las Cargas Internas

La ganancia de calor interna, se refiere al calor sensible y latente dentro del espacio del aire acondicionado generado por los ocupantes, luces, maquinarias, etc.

2.3.1 Cargas por personas

El calor generado por el cuerpo humano se establece de acuerdo al individuo y al nivel de actividad que este realice. En la tabla 10 se tabula la ganancia de calor por persona de acuerdo al grado de actividad y a la temperatura de diseño de bulbo seco del espacio a acondicionar. Para efecto de nuestros cálculos se toma en consideración que las personas dentro del buque se encuentran desarrollando trabajos ligeros dentro de un

Tabla 10

Ganancia de Calor por Persona (BTU / hr)

Grado de Actividad	Aplicación Típica	Temperatura de bulbo seco del cuarto					
		80 ºF		75 ºF		70 ºF	
		Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentados, en reposo	Teatro, escuela	195	155	230	120	260	90
Sentados, Trabajo muy ligero	Colegio	195	205	240	160	275	125
Empleado de oficina	Oficina, hotel, apartamento, escuela superior	200	250	245	205	285	165
De pie, marcha lenta	Almacenes, tienda	200	250	245	205	285	165
Sentado, de pie	Farmacia	200	300	255	245	290	210
De pie, marcha lenta	Banco	200	300	255	245	290	210
Sentado	Restaurante	220	330	280	270	320	230
Trabajo ligero en el banco de taller	Fábrica, trabajo ligero	200	530	295	455	365	385
Baile o danza	Sala de baile	245	605	325	525	400	450
Marcha, 3 mph	Fábrica, trabajo pesado	300	700	380	620	460	540
Trabajo pesado	Pista de bolos, fábrica	465	985	525	925	605	845

Nota: Si es mujer multiplicar el factor por 0.85; sin son niños, multiplicar el factor por 0.75
Fuente: Adaptado de “Handbook of Air Conditioning System Design”; parte 1, página 94, tabla 48

ambiente a 75 ºF. Con estos dos parámetros ingresamos a la tabla 10 y obtenemos el calor generado por cada persona, sensible y latente, para luego ser multiplicado este último valor por el total de personas. La tabla 6 indica la cantidad de personas que ocupan cada zona considerada en el cálculo de carga.

2.3.2 Cargas por luces

El calor generado por las luces es de naturaleza sensible, en donde la potencia eléctrica de entrada (Watt) es convertida en luz y calor; para determinar el valor de calor generado por luces del tipo incandescente se utiliza la siguiente relación.

$$Q = (Watt_{entrada}) * 3.41$$

Si las luces son del tipo fluorescente, la ganancia de calor en BTU / hr esta dado por:

$$Q = (Watt_{entrada}) * 3.41 * 1.25$$

En donde el 1.25 se debe al calor generado por el balaustro. En la tabla 6 se tabula los valores en vatios de la cantidad de luces instaladas para cada zona considerada en el cálculo de carga.

2.3.3 Cargas por equipos eléctricos varios

Por equipos varios se consideran el calor generado por televisores, computadoras, cafeteras, extractores de humo, entre otros equipos.

La elaboración manual de la estimación de la carga térmica se llevó a cabo con la ayuda de una hoja de cálculo realizada en Excel, en la que se utilizaron todos los parámetros, fórmulas, tablas, recomendaciones establecidas con anterioridad para el cálculo de cargas internas y externas. Se decidió adicionar un factor de seguridad del 10 % a la carga térmica obtenida para cada zona, considerando ciertos parámetros que no hayan sido tomados en cuenta. A continuación se presenta las tablas en donde se detallan los cálculos de carga realizados para cada zona del buque de acuerdo a las áreas que llegan los climatizadores.

2.4 Resultados Obtenidos.

Los resultados obtenidos en el Cálculo de Carga Térmica Instantánea para el Buque se detallan en la tabla 11, además se muestran las demás tablas en donde constan todos los cálculos realizados para cada área de climatización.

Tabla 11
Resultados de Cálculo de Carga Térmica.

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA					
EMBARCACIÓN			Buque Militar		
ZONA			Todas		
FECHA DE DISEÑO			21 de Marzo		
HORA DE DISEÑO			15H00		
ALTURA (ft)			7,6		
RESULTADOS OBTENIDOS					
CLIMATIZADORES	**ÁREA (ft2)**	**CFM (mando)**	**CFM (exterior)**	**T.R***	**H.P.**
C1	831,73	1330,8	330	6,752	0,9
C2	1026,23	1641,968	231,8	6,388	0,8
C3	1697	1647,3	424,2	9,3	1
CL-3A,B	210,9	337,4	52,7	1,058	0,2
TOTALES	**3765,86**	**4957,468**	**1038,7**	**23,498**	
CARGA TÉRMICA: 24 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN					

*T.R.: Toneladas de Refrigeración

AIRE DEMANDADO (CFM)	340,8
CFM / FT2	1,6
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)	73,990

De acuerdo a estos resultados, la carga térmica demandada en el buque cuando está atracado en los muelles de BASUIL es de 24 toneladas de refrigeración.

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 2)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C1 - Cubierta 200				
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		618,73				
		ÁREA (ft^2)	**U (Btu/hr*ft^2*ºF)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
TRANSMISIÓN	Techo	309,4	0,208	77,5	4987,53	
	Piso	618,7	0,208	20	2573,79	
	Pared exterior 1	344,3	0,208	40	2864,58	
	Pared exterior 2	342	0,208	36	2560,9	
	Pared exterior 3	92	0,819	15	1130,220	
	Pared interior	164,2	0,208	15	512,304	
		NÚMERO			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
CARGAS INTERNAS	Personas	25			7375	11375
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	1170			4987,13	
	Bombilla (watt)	0			0	
			CFM	**q_S (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
AIRE EXTERIOR	Sensible		250	18,403	4600,625	
	Latente		250	51,033		12758,125
	Fan load		990		2165,18	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					33757.246	24133,13
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			57890,371	BTU / hr Instantáneo		
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD			63679,408			
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO			**5,307**	**Toneladas de Refrigeración**		
AIRE DEMANDADO (CFM)			990			
CFM / FT2			1,6			
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)			93,563			

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 3)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C2 - Cubierta 100				
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		127,11				
		ÁREA (ft^2)	**U (Btu/hr*ft^2*ºF)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
TRANSMISIÓN	Techo	127,11	0,208	77,5	2049,01	
	Piso	0	0	0	0	
	Pared exterior 1	74,48	0,208	40	619,674	
	Pared exterior 2	69,92	0,208	30	436,301	
	Pared exterior 3	79.8	0,208	15	466.830	
	Pared interior 1	38	0,819	36	597.542	
		NÚMERO			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
CARGAS INTERNAS	Personas	2			590	910
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	128			545,6	
	Bombilla (watt)	0			0	
			CFM	**q_S (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
AIRE EXTERIOR	Sensible		31,7775	18,403	584,785	
	Latente		31,7775	51,033		1621,685
	Fan load		203,376		444,81	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					6334,555	2531,685
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			8866,241	BTU / hr Instantáneo		
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD			9752,865			
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO			**0,813**	**Toneladas de Refrigeración**		
AIRE DEMANDADO (CFM)			203,376			
CFM / FT2			1,6			

CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)	69,753	

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 4)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C2 - Cubierta 200				
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		621,12				
TRANSMISIÓN		**ÁREA (ft^2)**	**U ($Btu/hr*ft^{2*ºF}$)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Techo	372,672	0,208	77,5	6007,47	
	Piso	621,12	0,208	15	1937,89	
	Pared exterior 1	229,52	0,208	40	1909,606	
	Pared exterior 2	0	0	0	0,000	
	Pared exterior 3	229,52	0,208	36	1718,646	
	Pared interior 1	156,56	0,208	15	488,467	
CARGAS INTERNAS		**NÚMERO**			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Personas	20			5900	9100
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	760			3239,5	
	Bombilla (watt)	0			0	
AIRE EXTERIOR			**CFM**	**qs (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Sensible		200	18,403	3680,500	
	Latente		200	51,033		10206,500
	Fan load		993,792		2173,54	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					27055.626	19306,500
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			46362,126	BTU / hr Instantáneo		
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD			50998,339			
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO			**4,250**	**Toneladas de Refrigeración**		
AIRE DEMANDADO (CFM)			993,792			
CFM / FT2			1,6			
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)			74,643			

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 5)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C2 - Cubierta 200		Sta. Bárbara		
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		278				
TRANSMISIÓN		**ÁREA (ft^2)**	**U ($Btu/hr*ft^{2*ºF}$)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Techo	278	0,208	77,5	4481,36	
	Piso	0	0	0	0	
	Pared exterior 1	104,88	0,208	40	872,602	
	Pared exterior 2	0	0	0	0,000	
	Pared exterior 3	104,88	0,208	36	785,341	
	Pared interior 1	60,8	0,819	15	746,928	
CARGAS INTERNAS		**NÚMERO**			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Personas	1			295	455
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	240			1023	
	Bombilla (watt)	0			0	
AIRE EXTERIOR			**CFM**	**qs (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Sensible		69,5	18,403	1278,974	
	Latente		69,5	51,033		3546,759
	Fan load		444,8		972,83	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					10456,035	4001,759
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			14457,794	BTU / hr Instantáneo		
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD			15903,573			
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO			**1,325**	**Toneladas de Refrigeración**		
AIRE DEMANDADO (CFM)			444,8			

CFM / FT2	1,6	
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)	52,006	

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 6)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		CL-3AB - Cubierta 100				
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		210,9				
		ÁREA (ft^2)	**U (Btu/hr*$ft^{2*ºF}$)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
TRANSMISIÓN	Techo	210,9	0,208	77,5	3399,71	
	Piso	0	0	0	0	
	Pared exterior 1	74,784	0,208	40	622,203	
	Pared exterior 2	167,2	0,208	30	1043,328	
	Pared exterior 3	74,784	0,208	36	559,983	
	Pared interior 1	0	0	0	0,000	
		NÚMERO			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
CARGAS INTERNAS	Personas	1			295	455
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	180			767,25	
	Bombilla (watt)	0			0	
			CFM	**qs (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Sensible		52,725	18,403	970,272	
AIRE EXTERIOR	Latente		52,725	51,033		2690,689
	Fan load		337,44		738,02	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					8395,763	3145,689
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			11541,452	BTU / hr Instantáneo		
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD			12695,597			
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO			**1,058**	**Toneladas de Refrigeración**		
AIRE DEMANDADO (CFM)			337,44			
CFM / FT2			1,6			
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)			54,725			

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 7)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C32 - Cubierta 01				
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		763				
		ÁREA (ft^2)	**U (Btu/hr*$ft^{2*ºF}$)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
TRANSMISIÓN	Techo	763	0,208	77,5	12299,6	
	Piso	0	0	0	0	
	Pared exterior 1	209,76	0,208	40	1745,203	
	Pared exterior 2	164,92	0,208	62	2126,808	
	Pared exterior 3	266	0,208	36	1991,808	
	Pared interior 1	0	0	0	0,000	
		NÚMERO			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
CARGAS INTERNAS	Personas	15			4425	6825
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	645			2749,31	
	Bombilla (watt)	0			0	
			CFM	**qs (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
	Sensible		190,75	18,403	3510,277	
AIRE EXTERIOR	Latente		190,75	51,033		9734,449
	Fan load		1220,8		2670,04	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					31518,009	16559,449
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			48077,458	BTU / hr Instantáneo		

10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD	52885,204	
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO	**4,407**	**Toneladas de Refrigeración**
AIRE DEMANDADO (CFM)	1220,8	
CFM / FT2	1,6	
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)	63,011	

CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 8)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C3 - Cubierta 300				
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		143				
		ÁREA (ft^2)	**U (Btu/hr*ft^{2}*ºF)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
TRANSMISIÓN	Techo	0	0	0	0	
	Piso	0	0	0	0	
	Pared exterior 1	99,712	0,208	10	207,401	
	Pared exterior 2	99,712	0,208	10	207,401	
	Pared exterior 3	0	0	0	0	
	Pared interior 1	91,2	0,208	15	284,544	
		NÚMERO			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
CARGAS INTERNAS	Personas	1			295	455
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	340			1449,25	
	Bombilla (watt)	0			0	
			CFM	**qs (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
AIRE EXTERIOR	Sensible		35,75	18,403	657,889	
	Latente		35,75	51,033		1824,412
	Fan load		228,8		500,41	
CARGA TOTAL DEL EQUIPO					3601,895	2279,412
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR			5881,307	BTU / hr Instantáneo		
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD			6469,438			
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO			**0,539**	**Toneladas de Refrigeración**		
AIRE DEMANDADO (CFM)			228,8			
CFM / FT2			1,6			
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)			41,128			

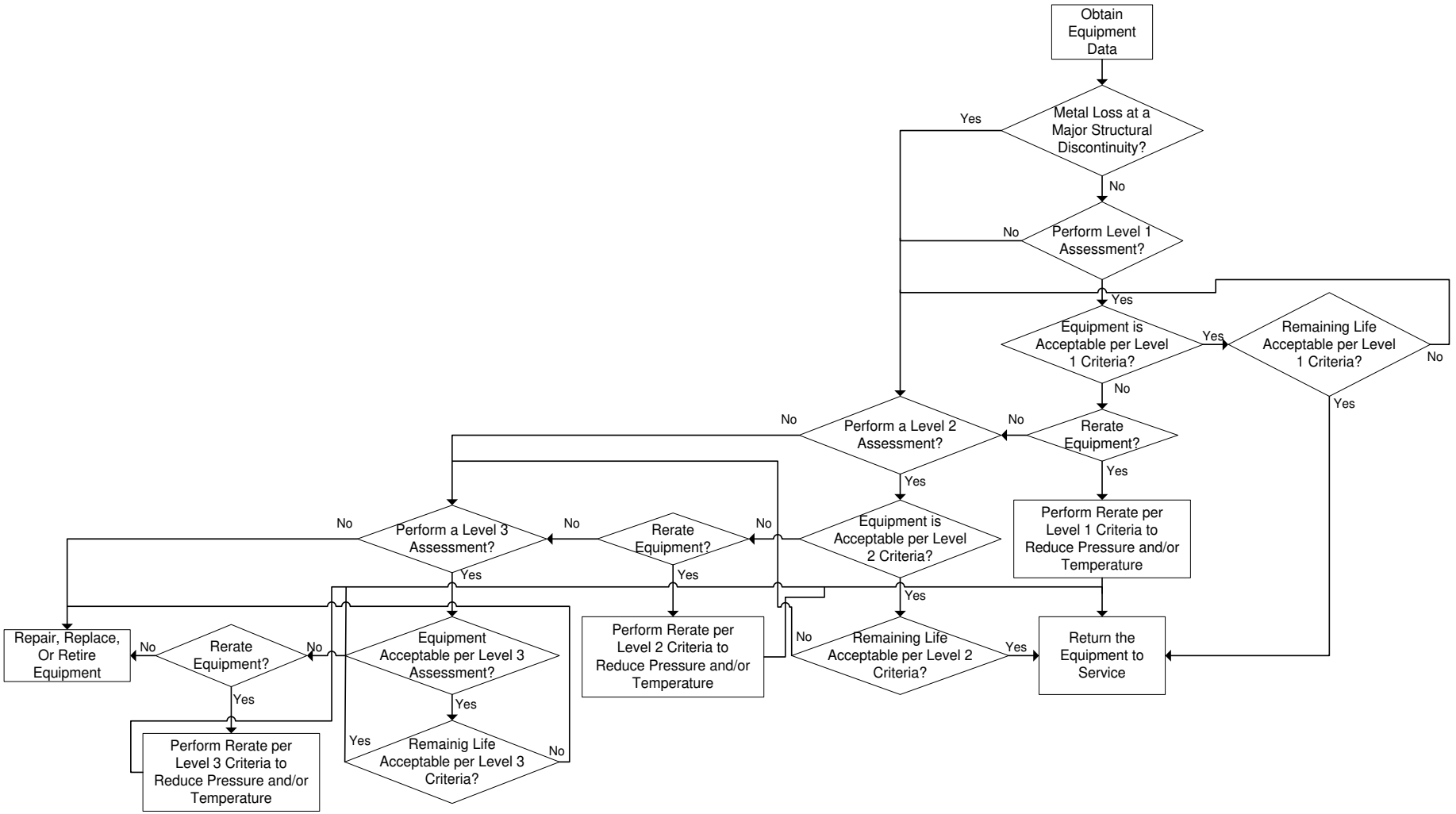
CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA (HOJA 9)						
EMBARCACIÓN		Buque Militar				
ZONA		C3 - Cubierta 200		POPA		
FECHA DE DISEÑO		21 de Marzo				
HORA DE DISEÑO		15:00				
ALTURA (ft)		7,6				
ÁREA DEL PISO (ft2)		270				
		ÁREA (ft^2)	**U (Btu/hr*ft^{2}*ºF)**	**∆T (ºF)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
TRANSMISIÓN	Techo	270	0,208	77,5	4352,4	
	Piso	270	0,208	15	842,4	
	Pared exterior 1	104,88	0,208	40	872,602	
	Pared exterior 2	0	0	0	0	
	Pared interior 1	104,88	0,208	15	327,226	
	Pared interior 2	148,2	0,208	15	462,384	
		NÚMERO			**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
CARGAS INTERNAS	Personas	1			295	455
	Equipos (watt)	0			0	
	Fluorescentes (watt)	240			1023	
	Bombilla (watt)	0			0	
			CFM	**qs (Btu/hr*cfm)**	**Q_S (Btu/hr)**	**Q_L (Btu/hr)**
AIRE EXTERIOR	Sensible		67,5	18,403	1242,169	
	Latente		67,5	51,033		3444,694
	Fan load		432		525,61	

CARGA TOTAL DEL EQUIPO		9942,790	3899,694
CAPACIDAD DEL EQUIPO A UTILIZAR	13842,484	BTU / hr Instantáneo	
10% + POR FACTOR DE SEGURIDAD	15226,732		
CAPACIDAD TOTAL DEL EQUIPO	**1,269**	**Toneladas de Refrigeración**	
AIRE DEMANDADO (CFM)	432		
CFM / FT2	1,6		
CARGA ESPECÍFICA (BTU/hr*ft2)	51,268		

APÉNDICE E

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

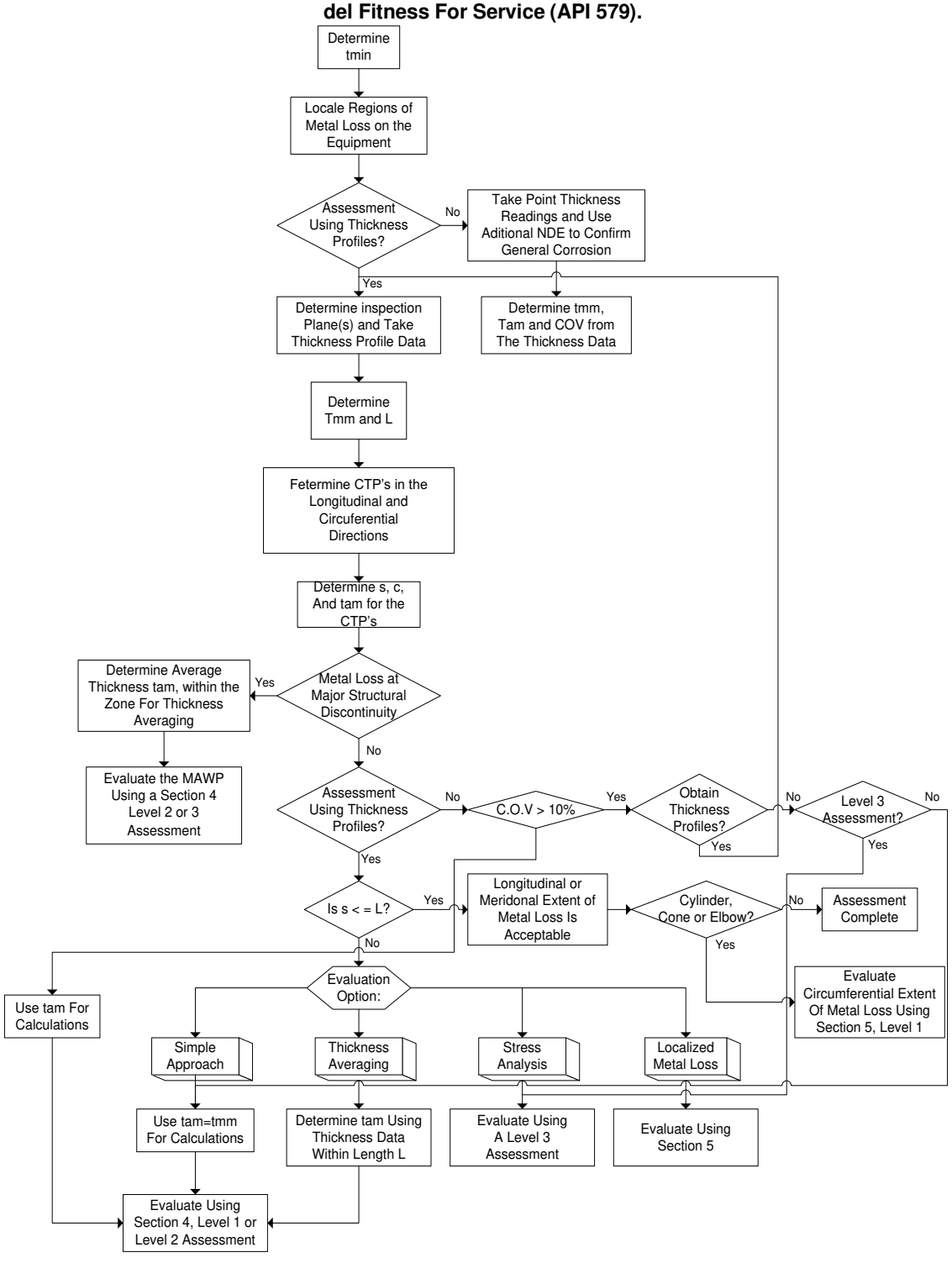
Descripción de los procedimientos de cálculos para evaluar un componente con pérdida general de metal.



APÉNDICE F

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Procedimiento de cálculo para evaluar un componente con pérdida de metal usando secciones 4 y 5 del Fitness For Service (API 579).



APÉNDICE G

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Modelo de una plantilla para cómputo del COV para mediciones puntuales de espesores.

Location	Thickness Reading (t)	(t-FCA)	$(t\text{-}FCA)^2$
1			
2			
3			
…			
…			
…			
…			
…			
13			
14			
15			
…			
…			
…			
…			
…			
N			
		$S_1 = \sum_{i=1}^{N}(t_i - FCA) =$	$S_2 = \sum_{i=1}^{N}(t_i - FCA)^2 =$

Notes:

1. N is the total number of thickness readings, the number of thickness readings should be greater than or equal to 15.
2. The equation for the Coefficient Of Variation (COV) is:

$$COV = \frac{t_{SD}}{t_{am} - FCA}$$

$$t_{SD} = \left(\left\{ \frac{S_2}{N} - (t_{am} - FCA)^2 \right\} \left\{ \frac{N}{N-1} \right\} \right)^{0.5}$$

$$t_{am} - FCA = \frac{S_1}{N}$$

APÉNDICE H

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Parámetros para computar la longitud para promedios de espesores.

Parameters To Compute The Length For Thickness Averaging

RSF_a	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
R_t	Q	Q	Q	Q	Q
0.900	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
0.895	21.19	50.00	50.00	50.00	50.00
0.875	4.93	50.00	50.00	50.00	50.00
0.850	2.82	50.00	50.00	50.00	50.00
0.845	2.62	29.57	50.00	50.00	50.00
0.825	2.07	6.59	50.00	50.00	50.00
0.800	1.68	3.65	50.00	50.00	50.00
0.795	1.62	3.38	36.82	50.00	50.00
0.775	1.43	2.63	8.01	50.00	50.00
0.750	1.26	2.11	4.35	50.00	50.00
0.745	1.23	2.03	4.01	42.94	50.00
0.725	1.12	1.77	3.10	9.20	50.00
0.700	1.02	1.54	2.45	4.93	50.00
0.695	1.00	1.51	2.36	4.53	47.94
0.675	0.93	1.37	2.05	3.47	10.16
0.650	0.86	1.24	1.77	2.73	5.39
0.625	0.80	1.13	1.56	2.26	3.77
0.600	0.74	1.04	1.40	1.95	2.94
0.575	0.70	0.96	1.27	1.71	2.43
0.550	0.65	0.89	1.16	1.53	2.07
0.525	0.61	0.83	1.07	1.38	1.81
0.500	0.58	0.77	0.99	1.26	1.61
0.475	0.55	0.72	0.92	1.15	1.45
0.450	0.51	0.68	0.86	1.06	1.32
0.425	0.49	0.64	0.80	0.98	1.20
0.400	0.46	0.60	0.74	0.91	1.10
0.375	0.43	0.56	0.70	0.84	1.01
0.350	0.41	0.53	0.65	0.78	0.93
0.325	0.38	0.50	0.61	0.73	0.86
0.300	0.36	0.46	0.57	0.67	0.79
0.275	0.34	0.43	0.53	0.63	0.73
0.250	0.31	0.40	0.49	0.58	0.67
0.200	0.27	0.35	0.42	0.49	0.57

Notes:

1. The equation for Q is:

$$Q = 1.123\left[\left(\frac{1-R_t}{1-R_t/RSF_a}\right)^2 - 1\right]^{0.5} \quad for \quad R_t < RSF_a \qquad (4.15)$$

$$Q = 50.0 \quad for \quad R_t \geq RSF_a \qquad (4.16)$$

2. The length for thickness averaging is given by Equation (4.3)

APÉNDICE I

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Estado de la ratificación/aceptación/aprobación de los acuerdos sobre la protección de la capa de ozono estratosférica o adhesión a dichos acuerdos.

	Firma	Firma	Ratificación*	Ratificación*	Ratificación*	Ratificación*	Ratificación*	Ratificación*
País	Convenio de Viena	Protocolo de Montreal	Convenio de Viena	Protocolo de Montreal	Enmienda de Londres	Enmienda de Copenhague	Enmienda de Montreal	Enmienda de Beijing
Alemania	22.3.1985	16.9.1987	30.9.1988(R)	16.12.1988(R)	27.12.1991(R)	28.12.1993(R)	5.1.1999(R)	28.10.2002(R)
Arabia Saudita			1.3.1993(Ad)	1.3.1993 (Ad)	1.3.1993(Ad)	1.3.1993(Ad)		
Argentina	22.3.1985	29.6.1988	18.1.1990(R)	18.9.1990(R)	4.12.1992(R)	20.4.1995(Ad)	15.2.2001(R)	
Australia		8.6.1988	16.9.1987(Ad)	19.5.1989(R)	11.8.1992(Ac)	30.6.1994(Ac)	5.1.1999(Ac)	
Austria	16.9.1985	29.8.1988	19.8.1987(R)	3.5.1989(R)	11.12.1992(R)	19.9.1996(Ap)	7.8.2000(R)	
Bolivia			3.10.1994(Ad)	3.10.1994(Ad)	3.10.1994(Ad)	3.10.1994(Ad)	12.4.1999(Ad)	
Brasil			19.3.1990(Ad)	19.3.1990(Ad)	1.10.1992(Ac)	25.6.1997(R)		
Canadá	22.3.1985	16.9.1987	4.6.1986(R)	30.6.1988(R)	5.7.1990(Ac)	16.3.1994(R)	27.3.1998(R)	9.2.2001(Ac)
Chile	22.3.1985	14.6.1988	6.3.1990(R)	26.3.1990(R)	9.4.1992(Ac)	14.1.1994(R)	17.6.1998(R)	3.5.2000(R)
China			11.9.1989(Ad)	14.6.1991(Ad)	14.6.1991(Ad)	22.4.2003(Ad)		
Colombia			16.7.1990(Ad)	6.12.1993(Ad)	6.12.1993(Ad)	5.8.1997(Ac)	16.6.2003(Ad)	
Costa Rica			30.7.1991(Ad)	30.7.1991(Ad)	11.11.1998(R)	11.11.1998(R)		
Croacia			8.10.1991(Sc)	8.10.1991(Sc)	15.10.1993(R)	11.2.1997(R)	8.9.2000(R)	25.4.2002(R)
Cuba			14.7.1992(Ad)	14.7.1992(Ad)	19.10.1998(R)	19.10.1998(Ap)		
Ecuador			**10.4.1990(Ad)**	**30.4.1990(Ad)**	**23.2.1993(R)**	**24.11.1993(Ac)**		
Egipto	22.3.1985	16.9.1987	9.5.1988(R)	2.8.1988(R)	13.1.1993(R)	28.6.1994(R)	20.7.2000(R)	
El Salvador			2.10.1992(Ad)	2.10.1992(Ad)	8.12.2000(Ad)	8.12.2000(Ad)	8.12.2000(Ad)	
Emiratos Árabes Unidos			22.12.1989(Ad)	22.12.1989(Ad)				
Eslovaquia			28.5.1993(Sc)	28.5.1993(Sc)	15.4.1994(Ap)	9.1.1998(Ad)	3.11.1999(Ap)	22.5.2002(R)
Eslovenia			6.7.1992(Sc)	6.7.1992(Sc)	8.12.1992(Ac)	13.11.1998(Ac)	15.11.1999(R)	23.1.2003(R)
España		21.7.1988	25.7.1988(Ad)	16.12.1988(R)	19.5.1992(Ac)	5.6.1995(Ac)	11.5.1999(Ac)	19.2.2002(Ac)
Estados Unidos de América	22.3.1985	16.9.1987	27.8.1986(R)	21.4.1988(R)	18.12.1991(R)	2.3.1994(R)	1.10.2003(R)	1.10.2003(R)

Fuente: Protocolo de Montreal R: Ratificación Ad: Adhesión Ac: Aceptación Ap: Aprobación Sc: Sucesión

* La entrada en vigor es transcurridos 90 días desde la fecha de ratificación/adhesión/aceptación/aprobación para los Estados novatos que se hicieron Partes en el tratado después de su entrada en vigor.

APÉNDICE J1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Relación de compresión, presiones de succión y descarga para compresor # 1 (Valores tomados en navegación).

Fecha	Localización	Hora	Presión Succ. (Psi)	Presión Desc. (Psi)	Relación Compres.	Observa-ción
02/06/2004	Navegación a Manta	08:30	45	205	4,556	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	09:30	45	205	4,556	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	10:00	47	207	4,404	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	11:00	47	205	4,362	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	14:00	46	202	4,391	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	14:30	46	202	4,391	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	15:00	46	202	4,391	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	08:55	46	202	4,391	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	09:30	46	195	4,239	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	10:00	46	210	4,565	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	11:30	47	202	4,298	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	14:00	46	225	4,891	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	15:00	48	205	4,271	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:30	50	222,5	4,450	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:00	50	224	4,480	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:30	50	225	4,500	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	12:00	51	225	4,412	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	14:30	51,5	227,5	4,417	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:00	51	226	4,431	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:30	51	226	4,431	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	16:00	51,5	226	4,388	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	07:45	44,5	205	4,607	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:15	44,5	205	4,607	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:45	42,5	202,5	4,765	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	09:30	43,5	205	4,713	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:00	47	207,5	4,415	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:20	47	200	4,255	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:50	46	202,5	4,402	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:20	46	200	4,348	Normal

APÉNDICE J2

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Presión de aceite del compresor # 1 (Valores tomados en navegación)

Fecha	Localización	Hora	Difer. Presión Aceite (Psi)	Relación con Presión Succ.	Observación
02/06/2004	Navegación a Manta	08:30	86	1,911	No esta dentro del rango
02/06/2004	Navegación a Manta	09:30	87	1,933	No esta dentro del rango
02/06/2004	Navegación a Manta	10:00	88	1,872	No esta dentro del rango
02/06/2004	Navegación a Manta	11:00	88	1,872	No esta dentro del rango
02/06/2004	Navegación a Manta	14:00	87	1,891	No esta dentro del rango
02/06/2004	Navegación a Manta	14:30	87	1,891	No esta dentro del rango
02/06/2004	Navegación a Manta	15:00	87	1,891	No esta dentro del rango
03/06/2004	Navegación a Manta	08:55	87	1,891	No esta dentro del rango
03/06/2004	Navegación a Manta	09:30	87	1,891	No esta dentro del rango
03/06/2004	Navegación a Manta	10:00	87	1,891	No esta dentro del rango
03/06/2004	Navegación a Manta	11:30	86	1,830	No esta dentro del rango
03/06/2004	Navegación a Manta	14:00	88	1,913	No esta dentro del rango
03/06/2004	Navegación a Manta	15:00	88	1,833	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:30	90,5	1,810	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:00	91	1,820	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:30	91	1,820	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	12:00	91,5	1,794	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	14:30	92	1,786	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:00	92	1,804	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:30	92	1,804	No esta dentro del rango
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	16:00	92	1,786	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	07:45	85,5	1,921	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:15	85	1,910	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:45	83,5	1,965	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	09:30	85	1,954	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:00	88	1,872	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:20	78	1,660	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:50	82	1,783	No esta dentro del rango
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:20	75	1,630	No esta dentro del rango

APÉNDICE K1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Temperaturas de entrada y salida del condensador # 1 (valores tomados en navegación)

Fecha	Localización	Hora	Temp. Entrada	Temp. Salida	Dif. Temp.	Observaciones
02/06/2004	Navegación a Manta	08:30	26	28	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	09:30	26	28	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	10:00	26	28	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	11:00	26	28	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	14:00	26	28	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	14:30	26,5	28	1,5	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	15:00	25	28	3	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	08:55	25	27	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	09:30	25	27	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	10:00	25	27	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	11:30	25	27	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	14:00	25	27	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	15:00	25	27	2	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:30	26	28	2	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:00	26	28	2	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:30	25,5	28	2,5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	12:00	25,5	28	2,5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	14:30	25,5	28	2,5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:00	25,5	28	2,5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:30	25,5	28	2,5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	16:00	25,5	28	2,5	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	07:45	24	26	2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:15	24	26	2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:45	23,8	26	2,2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	09:30	23,8	26	2,2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:00	23,5	26	2,5	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:20	24	26	2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:50	24	26	2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:20	23,5	26	2,5	Bajo dif. Temp.

APÉNDICE K2

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Temperaturas de entrada y salida del evaporador # 1 (valores tomados en navegación)

Fecha	Localización	Hora	Temp. Entrada	Temp. Salida	Dif. Temp.	Observaciones
02/06/2004	Navegación a Manta	08:30	3	1	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	09:30	4	2	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	10:00	5.5	3	2.5	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	11:00	7	5	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	14:00	6	4	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	14:30	6	4	2	Bajo dif. Temp.
02/06/2004	Navegación a Manta	15:00	6	4	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	08:55	2	0	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	09:30	2	0	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	10:00	3	1	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	11:30	3	1	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	14:00	4	2	2	Bajo dif. Temp.
03/06/2004	Navegación a Manta	15:00	8	6	2	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:30	5.5	5	0.5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:00	5.8	3	2.8	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:30	6	3.5	2.5	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	12:00	6.8	4	2.8	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	14:30	7	4.9	2.1	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:00	7.2	4.9	2.3	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:30	7.1	5	2.1	Bajo dif. Temp.
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	16:00	7.1	5	2.1	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	07:45	2	0	2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:15	2	-0.5	2.5	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:45	1.8	-1	2.8	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	09:30	4	1	3	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:00	4	1	3	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:20	2	-2	4	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:50	4	0.8	3.2	Bajo dif. Temp.
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:20	1.5	-2	3.5	Bajo dif. Temp.

APÉNDICE L

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Presión de descarga de la bomba de agua de mar y agua refrigerada # 1 (valores tomados en navegación)

Fecha	Localización	Hora	Pres. Desc. B.A.M (PSI)	Pres. Desc. B.A.R (PSI)	Observación
02/06/2004	Navegación a Manta	08:30	23	49	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	09:30	23	49	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	10:00	23	49	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	11:00	23	49	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	14:00	23	49	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	14:30	23	49	Normal
02/06/2004	Navegación a Manta	15:00	23	49	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	08:55	23	49	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	09:30	23	49	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	10:00	23	49	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	11:30	23	49	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	14:00	23	49	Normal
03/06/2004	Navegación a Manta	15:00	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:30	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:00	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:30	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	12:00	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	14:30	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:00	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	15:30	23	49	Normal
06/08/2004	Navegación a Esmeraldas	16:00	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	07:45	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:15	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	08:45	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	09:30	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:00	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:20	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	10:50	23	49	Normal
08/08/2004	Navegación a Esmeraldas	11:20	23	49	Normal

APÉNDICE M1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Valores medidos con el analizador de potencia al motor eléctrico del compresor # 1 (valores tomados en navegación)

Fecha/Hora	Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic	DHV	DHI	Fp	Wn
08/06/2004@04:00:00.000 PM	448,679	449,562	450,846	53,191	54,146	53,678	4,444	0,828	0,71724	1789
08/06/2004@04:15:00.000 PM	449,963	449,364	450,031	53,137	54,552	53,568	4,104	0,626	0,71763	1788
08/06/2004@04:30:00.000 PM	448,624	449,722	449,708	53,048	54,709	53,432	5,130	1,032	0,71367	1758
08/06/2004@04:45:00.000 PM	448,828	449,133	450,337	54,027	53,189	53,68	4,102	1,366	0,71646	1786
08/06/2004@05:00:00.000 PM	448,487	449,493	449,724	54,07	53,404	53,287	5,311	1,332	0,71603	1787
08/06/2004@05:15:00.000 PM	447,197	447,243	448,903	53,571	54,549	52,901	3,971	1,306	0,71637	1786
08/06/2004@05:30:00.000 PM	447,624	447,357	448,762	53,781	54,547	53,001	1,205	1,262	0,71511	1784
08/06/2004@05:45:00.000 PM	448,579	448,663	449,902	53,513	54,443	52,93	0,791	1,264	0,71499	1788
08/06/2004@06:00:00.000 PM	448,627	449,018	449,929	54,237	53,834	52,858	2,723	1,063	0,71569	1783
08/06/2004@06:15:00.000 PM	448,879	449,011	449,464	53,778	54,45	53,008	4,017	1,002	0,71536	1788
08/06/2004@06:30:00.000 PM	449,446	448,346	449,436	54,226	53,741	52,791	5,188	0,800	0,71682	1787
08/06/2004@06:45:00.000 PM	448,968	448,683	449,398	54,875	52,841	53,21	6,466	0,823	0,7182	1788
08/06/2004@07:00:00.000 PM	449,36	448,763	449,672	53,585	54,253	52,562	5,063	0,784	0,73024	1788
08/06/2004@07:15:00.000 PM	448,231	446,49	449,453	53,812	53,891	52,684	4,190	0,926	0,7248	1787
08/06/2004@07:30:00.000 PM	450,424	448,814	450,292	53,875	53,981	52,81	1,625	0,956	0,7241	1788
08/06/2004@07:45:00.000 PM	450,325	449,635	450,155	52,928	53,925	52,656	4,861	0,536	0,73212	1787
08/06/2004@08:00:00.000 PM	450,392	449,47	450,229	53,91	53,811	52,745	5,950	0,539	0,72461	1788
08/06/2004@08:15:00.000 PM	450,636	449,595	450,283	53,595	53,754	52,736	5,133	0,680	0,72706	1787
08/06/2004@08:30:00.000 PM	450,453	448,482	450,288	53,859	53,218	52,77	5,864	0,777	0,72291	1789
08/06/2004@08:45:00.000 PM	450,32	449,382	450,183	53,671	53,637	52,54	4,931	0,611	0,72322	1788
08/06/2004@09:00:00.000 PM	449,865	448,811	450,657	53,583	53,938	52,681	4,630	0,747	0,72349	1787
08/06/2004@09:15:00.000 PM	450,224	449,637	450,765	53,252	53,731	52,533	4,215	0,628	0,72662	1785
08/06/2004@09:30:00.000 PM	450,936	449,444	450,378	53,945	52,752	53,188	4,892	0,787	0,72824	1788
08/06/2004@09:45:00.000 PM	451,094	449,391	451,039	54,003	52,583	53,116	5,805	0,884	0,72423	1785
08/06/2004@10:00:00.000 PM	449,044	447,521	450,594	53,493	53,648	52,793	4,746	1,064	0,72361	1787
08/06/2004@10:15:00.000 PM	449,039	447,377	450,156	53,079	53,518	52,689	1,703	1,090	0,72559	1789
08/06/2004@10:30:00.000 PM	450,039	449,764	451,014	53,864	53,58	52,741	0,765	0,880	0,71529	1788
08/06/2004@10:45:00.000 PM	450,853	449,68	451,073	53,819	53,478	52,8	2,800	0,708	0,71511	1785
08/06/2004@11:00:00.000 PM	449,889	450,119	451,23	54,493	52,404	53,013	4,461	1,335	0,71624	1787
08/06/2004@11:15:00.000 PM	450,416	450,405	450,831	53,689	53,382	52,743	6,270	2,230	0,71667	1787
PROMEDIOS	**449,548**	**449,984**	**450,839**	**53,440**	**53,764**	**53,211**			**0,717**	**1788,000**

APÉNDICE M2

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Valores medidos con el analizador de potencia al motor eléctrico del compresor # 2 (valores tomados en navegación)

Fecha/Hora	Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic	DHV	DHI	Fp	Wn
08/06/2004@11:30:00.000 PM	449,222	448,008	451,234	54,493	52,404	53,013	4,39	5,87	0,71533	1783
08/06/2004@11:45:00.000 PM	451,018	450,018	450,996	53,689	53,382	52,743	3,32	4,43	0,71605	1789
08/07/2004@12:00:00.000 AM	450,965	451,011	451,343	53,72	53,585	52,729	5,03	7,32	0,7157	1785
08/07/2004@12:15:00.000 AM	451,116	451,402	452,539	52,911	54,563	52,799	4,24	9,69	0,71563	1784
08/07/2004@12:30:00.000 AM	451,581	451,15	451,713	53,178	54,387	52,989	4,97	9,45	0,71602	1786
08/07/2004@12:45:00.000 AM	451,213	451,856	451,356	53,066	54,222	53,063	3,63	9,26	0,71818	1786
08/07/2004@01:00:00.000 AM	451,387	451,146	451,242	53,043	54,152	52,954	1,68	8,95	0,71885	1786
08/07/2004@01:15:00.000 AM	450,938	450,286	451,57	53,131	54,194	52,864	0,90	8,96	0,71273	1785
08/07/2004@01:30:00.000 AM	450,872	450,583	450,894	53,007	54,347	52,851	2,55	7,54	0,71266	1788
08/07/2004@01:45:00.000 AM	449,916	450,481	451,613	53,075	54,388	52,731	3,72	7,11	0,70979	1788
08/07/2004@02:00:00.000 AM	450,319	450,696	451,115	53,519	53,804	52,545	4,81	5,67	0,71096	1789
08/07/2004@02:15:00.000 AM	449,504	447,093	450,466	54,075	52,821	52,744	5,94	5,56	0,70668	1784
08/07/2004@02:30:00.000 AM	449,617	447,378	449,791	54,114	52,769	52,77	4,52	6,57	0,71468	1784
08/07/2004@02:45:00.000 AM	451,285	450,361	448,267	53,978	53,927	52,088	4,09	6,78	0,71383	1783
08/07/2004@03:00:00.000 AM	448,217	448,762	451,425	54,015	53,788	52,138	1,99	3,8	0,71445	1787
08/07/2004@03:15:00.000 AM	451,237	449,986	448,777	53,937	54,132	52,064	4,07	3,82	0,72226	1783
08/07/2004@03:30:00.000 AM	451,152	450,04	448,691	53,806	53,955	52,059	4,97	4,82	0,71842	1784
08/07/2004@03:45:00.000 AM	450,62	450,728	448,599	53,247	54,544	52,44	4,54	5,51	0,72015	1785
08/07/2004@04:00:00.000 AM	450,478	450,889	448,736	52,739	54,335	52,441	5,49	4,33	0,72435	1789
08/07/2004@04:15:00.000 AM	450,506	450,964	448,774	52,713	54,431	52,351	4,72	5,3	0,72963	1788
08/07/2004@04:30:00.000 AM	449,503	449,048	447,53	53,076	53,105	52,705	4,37	4,45	0,7293	1788
08/07/2004@04:45:00.000 AM	448,83	448,456	447,757	52,85	53,235	52,602	4,38	5,58	0,72913	1788
08/07/2004@05:00:00.000 AM	449,755	450,141	448,186	52,526	54,129	52,31	4,68	6,27	0,72509	1788
08/07/2004@05:15:00.000 AM	449,173	449,504	448,038	52,431	53,825	52,534	5,58	7,54	0,72529	1789
08/07/2004@05:30:00.000 AM	448,894	449,77	447,51	51,855	53,648	52,831	4,82	7,73	0,72441	1785
08/07/2004@05:45:00.000 AM	448,918	449,74	447,275	51,305	53,613	52,788	2,11	6,24	0,71948	1784
08/07/2004@06:00:00.000 AM	447,344	447,556	447,287	52,103	52,471	53,071	1,09	5,02	0,72561	1784
08/07/2004@06:15:00.000 AM	448,824	450,164	446,755	51,171	53,729	52,968	2,61	9,4	0,72948	1784
08/07/2004@06:30:00.000 AM	448,561	449,861	448,06	51,681	53,813	53,032	4,08	8,98	0,75406	1786
08/07/2004@06:45:00.000 AM	446,556	447,696	445,436	51,913	54,319	52,583	5,64	8,97	0,75363	1789
08/07/2004@07:00:00.000 AM	446,93	448,001	445,515	51,962	54,137	52,496	5,14	9,5	0,74968	1785
PROMEDIO	449,821	449,767	449,306	52,978	53,811	52,655			0,722	1786

APÉNDICE M3

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Valores medidos con el analizador de potencia al motor eléctrico de bomba de agua refrigerada # 1 (valores tomados en navegación)

Fecha/Hora	Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic	DHV	DHI	Fp	Wn
18/06/2004 @ 09:15 AM	444,2	443,4	444,5	12,6	12,6	12,4	4,81	5,99	0,7	3548
18/06/2004 @ 09:30 AM	443,5	444,5	443,5	12,4	12,5	12,5	5,94	11,4	0,71	3546
18/06/2004 @ 09:45 AM	444,5	443,8	444,1	12,3	12,7	12,4	4,52	9,42	0,69	3544
18/06/2004 @ 10:00 AM	443,2	444,6	440,2	12,4	12,8	12,2	4,09	11,43	0,72	3546
18/06/2004 @ 10:15 AM	442,6	444,9	444,9	12,5	12,9	12,3	1,99	12,58	0,71	3545
18/06/2004 @ 10:30 AM	441,5	444,7	444,5	12,4	12,5	12,5	4,07	8,19	0,7	3548
18/06/2004 @ 10:45 AM	442,6	44,9	441,2	12,5	12,8	12,3	4,97	9,76	0,7	3544
18/06/2004 @ 11:00 AM	440,7	444,5	447,5	12,6	12,9	12,3	4,95	7,48	0,69	3546
18/06/2004 @ 11:15 AM	443,2	443,6	449,5	12,4	12,8	12,4	4,97	7,52	0,69	3547
18/06/2004 @ 11:30 AM	444,8	444,8	442,6	12,3	12,7	12,4	5,68	8,7	0,71	3547
18/06/2004 @ 11:45 AM	443,4	444,8	445,3	12,4	12,9	12,3	5,52	10,06	0,72	3543
18/06/2004 @ 12:00 PM	444,5	438,5	449,6	12,5	12,9	12,4	5,94	10,77	0,7	3541
18/06/2004 @ 12:15 PM	443,8	437,8	448,6	12,4	12,8	12,5	4,52	9,24	0,7	3540
18/06/2004 @ 12:30 PM	444,6	443,6	444,5	12,4	12,3	12,6	4,09	6,16	0,69	3542
18/06/2004 @ 12:45 PM	444,9	444,9	449,5	12,4	12,1	12,3	1,99	7,32	0,7	3541
18/06/2004 @ 13:00 AM	444,7	441,5	447,5	12,3	12,4	12,5	4,07	7,64	0,71	3540
18/06/2004 @ 13:15 PM	44,9	439,5	445,9	12,5	12,5	12,6	4,97	9,29	0,72	3539
18/06/2004 @ 13:30 PM	444,5	444,2	442,5	12,3	12,6	12,4	4,54	10,69	0,71	3547
18/06/2004 @ 13:45 PM	443,6	443,5	441,6	12,6	12,7	12,3	5,49	10,87	0,7	3547
18/06/2004 @ 14:00 PM	444,8	444,5	445,6	12,5	12,7	12,4	4,72	9,39	0,7	3548
18/06/2004 @ 14:15 PM	444,8	443,2	448,9	12,4	12,5	12,3	4,37	7,43	0,72	3549
18/06/2004 @ 14:30 PM	438,5	442,6	442,6	12,3	12,5	12,4	4,38	7,55	0,69	3546
18/06/2004 @ 14:45 AM	437,8	441,5	445,8	12,4	12,4	12,5	4,68	8,87	0,7	3548
18/06/2004 @ 15:00 PM	443,6	442,6	449,6	12,4	12,4	12,6	5,58	6,33	0,69	3547
18/06/2004 @ 15:15 PM	444,9	440,7	441,2	12,3	12,3	12,5	4,82	8,51	0,69	3546
18/06/2004 @ 15:30 PM	444,8	443,2	445,6	12,3	12,1	12,6	2,11	13,92	0,69	3543
18/06/2004 @ 15:45 PM	444,7	444,8	448,9	12,5	12,1	12,8	1,09	10,45	0,7	3544
18/06/2004 @ 16:00 PM	443,2	443,6	447,5	12,3	12,3	12,6	2,61	9,4	0,7	3551
18/06/2004 @ 16:15 PM	444,5	441,2	448,6	12,2	12,5	12,8	4,08	9,9	0,71	3550
18/06/2004 @ 16:30 PM	449,8	440,6	446,5	12,4	12,6	12,7	5,64	9,76	0,72	3549
18/06/2004 @ 16:45 PM	447,1	448	449,5	12,3	12,4	12,8	5,14	8,51	0,72	3548
PROMEDIO	430,910	430,274	445,735	12,403	12,555	12,471			0,703	3545,484

APÉNDICE M4

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Valores medidos con el analizador de potencia al motor eléctrico de bomba de agua refrigerada # 2 (valores tomados en navegación)

Fecha/Hora	Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic	DHV	DHI	Fp	Wn
18/06/2004 @ 09:15 AM	444,2	443,4	444,5	12,6	12,6	12,4	4,81	5,99	0,7	3548
18/06/2004 @ 09:30 AM	443,5	444,5	443,5	12,4	12,5	12,5	5,94	11,4	0,71	3546
18/06/2004 @ 09:45 AM	444,5	443,8	444,1	12,3	12,7	12,4	4,52	9,42	0,69	3544
18/06/2004 @ 10:00 AM	443,2	444,6	440,2	12,4	12,8	12,2	4,09	11,43	0,72	3546
18/06/2004 @ 10:15 AM	442,6	444,9	444,9	12,5	12,9	12,3	1,99	12,58	0,71	3545
18/06/2004 @ 10:30 AM	441,5	444,7	444,5	12,4	12,5	12,5	4,07	8,19	0,7	3548
18/06/2004 @ 10:45 AM	442,6	44,9	441,2	12,5	12,8	12,3	4,97	9,76	0,7	3544
18/06/2004 @ 11:00 AM	440,7	444,5	447,5	12,6	12,9	12,3	4,95	7,48	0,69	3546
18/06/2004 @ 11:15 AM	443,2	443,6	449,5	12,4	12,8	12,4	4,97	7,52	0,69	3547
18/06/2004 @ 11:30 AM	444,8	444,8	442,6	12,3	12,7	12,4	5,68	8,7	0,71	3547
18/06/2004 @ 11:45 AM	443,4	444,8	445,3	12,4	12,9	12,3	5,52	10,06	0,72	3543
18/06/2004 @ 12:00 PM	444,5	438,5	449,6	12,5	12,9	12,4	5,94	10,77	0,7	3541
18/06/2004 @ 12:15 PM	443,8	437,8	448,6	12,4	12,8	12,5	4,52	9,24	0,7	3540
18/06/2004 @ 12:30 PM	444,6	443,6	444,5	12,4	12,3	12,6	4,09	6,16	0,69	3542
18/06/2004 @ 12:45 PM	444,9	444,9	449,5	12,4	12,1	12,3	1,99	7,32	0,7	3541
18/06/2004 @ 13:00 AM	444,7	441,5	447,5	12,3	12,4	12,5	4,07	7,64	0,71	3540
18/06/2004 @ 13:15 PM	44,9	439,5	445,9	12,5	12,5	12,6	4,97	9,29	0,72	3539
18/06/2004 @ 13:30 PM	444,5	444,2	442,5	12,3	12,6	12,4	4,54	10,69	0,71	3547
18/06/2004 @ 13:45 PM	443,6	443,5	441,6	12,6	12,7	12,3	5,49	10,87	0,7	3547
18/06/2004 @ 14:00 PM	444,8	444,5	445,6	12,5	12,7	12,4	4,72	9,39	0,7	3548
18/06/2004 @ 14:15 PM	444,8	443,2	448,9	12,4	12,5	12,3	4,37	7,43	0,72	3549
18/06/2004 @ 14:30 PM	438,5	442,6	442,6	12,3	12,5	12,4	4,38	7,55	0,69	3546
18/06/2004 @ 14:45 AM	437,8	441,5	445,8	12,4	12,4	12,5	4,68	8,87	0,7	3548
18/06/2004 @ 15:00 PM	443,6	442,6	449,6	12,4	12,4	12,6	5,58	6,33	0,69	3547
18/06/2004 @ 15:15 PM	444,9	440,7	441,2	12,3	12,3	12,5	4,82	8,51	0,69	3546
18/06/2004 @ 15:30 PM	444,8	443,2	445,6	12,3	12,1	12,6	2,11	13,92	0,69	3543
18/06/2004 @ 15:45 PM	444,7	444,8	448,9	12,5	12,1	12,8	1,09	10,45	0,7	3544
18/06/2004 @ 16:00 PM	443,2	443,6	447,5	12,3	12,3	12,6	2,61	9,4	0,7	3551
18/06/2004 @ 16:15 PM	444,5	441,2	448,6	12,2	12,5	12,8	4,08	9,9	0,71	3550
18/06/2004 @ 16:30 PM	449,8	440,6	446,5	12,4	12,6	12,7	5,64	9,76	0,72	3549
18/06/2004 @ 16:45 PM	447,1	448	449,5	12,3	12,4	12,8	5,14	8,51	0,72	3548
PROMEDIO	430,910	430,274	445,735	12,403	12,555	12,471			0,703	3545,484

APÉNDICE M5

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Valores medidos con el analizador de potencia al motor eléctrico de bomba de agua de mar (valores tomados en navegación)

Fecha/Hora	Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic	DHV	DHI	Fp	Wn
19/06/2004 @ 09:15 AM	444,9	442,6	444,2	9,5	9,2	9,5	5,864	5,996	0,71	1767
19/06/2004 @ 09:30 AM	444,5	440,7	443,5	9,5	9,1	9,5	4,931	6,563	0,73	1764
19/06/2004 @ 09:45 AM	441,2	443,2	444,5	9,4	9,2	9,5	4,630	6,475	0,74	1769
19/06/2004 @ 10:00 AM	447,5	444,8	443,2	9,3	9,2	9,4	4,215	6,561	0,74	1766
19/06/2004 @ 10:15 AM	449,5	443,4	442,6	9,3	9,1	9,3	4,892	6,267	0,72	1769
19/06/2004 @ 10:30 AM	442,6	444,5	441,5	9,4	9,2	9,3	5,805	6,401	0,72	1764
19/06/2004 @ 10:45 AM	445,3	443,8	444,5	9,4	9,4	9,2	4,746	6,460	0,72	1766
19/06/2004 @ 11:00 AM	449,6	444,6	449,5	9,4	9,4	9,3	1,703	6,533	0,73	1765
19/06/2004 @ 11:15 AM	448,6	444,9	447,5	9,3	9,5	9,1	0,765	6,462	0,73	1762
19/06/2004 @ 11:30 AM	444,5	444,7	444,5	9,3	9,5	9,1	2,800	6,123	0,78	1766
19/06/2004 @ 11:45 AM	449,5	44,9	443,5	9,3	9,4	9,4	4,461	6,016	0,79	1764
19/06/2004 @ 12:00 PM	447,5	444,5	444,1	9,3	9,3	9,4	6,270	6,010	0,72	1763
19/06/2004 @ 12:15 PM	445,9	443,6	440,2	9,4	9,3	9,4	5,774	6,259	0,73	1765
19/06/2004 @ 12:30 PM	442,5	444,8	444,9	9,5	9,4	9,5	4,589	6,163	0,73	1766
19/06/2004 @ 12:45 PM	441,6	443,4	444,5	9,4	9,4	9,6	5,579	6,025	0,74	1761
19/06/2004 @ 13:00 AM	445,6	444,5	441,2	9,3	9,4	9,1	5,708	6,122	0,71	1763
19/06/2004 @ 13:15 PM	448,9	443,8	447,5	9,3	9,3	9,3	5,619	6,192	0,71	1765
19/06/2004 @ 13:30 PM	442,6	444,6	449,5	9,5	9,3	9,3	6,260	6,274	0,72	1766
19/06/2004 @ 13:45 PM	444,5	444,9	442,6	9,5	9,3	9,1	5,784	6,399	0,73	1769
19/06/2004 @ 14:00 PM	443,5	444,7	445,3	9,5	9,4	9,1	5,990	6,341	0,73	1766
19/06/2004 @ 14:15 PM	444,1	44,9	449,6	9,5	9,3	9,5	4,745	6,476	0,73	1764
19/06/2004 @ 14:30 PM	440,2	444,5	437,8	9,3	9,4	9,4	4,878	6,250	0,72	1762
19/06/2004 @ 14:45 AM	444,5	443,6	443,6	9,4	9,5	9,1	5,476	6,210	0,71	1765
19/06/2004 @ 15:00 PM	443,6	441,2	444,9	9,4	9,5	9,9	5,837	6,336	0,71	1764
19/06/2004 @ 15:15 PM	444,8	445,6	444,8	9,5	9,4	9,8	3,023	6,328	0,7	1765
19/06/2004 @ 15:30 PM	444,8	448,9	444,7	9,6	9,3	9,9	4,188	6,310	0,73	1764
19/06/2004 @ 15:45 PM	438,5	447,5	443,2	9,7	9,3	9,9	2,733	6,248	0,74	1766
19/06/2004 @ 16:00 PM	437,8	448,6	444,5	9,1	9,3	9,9	1,024	6,302	0,74	1764
19/06/2004 @ 16:15 PM	443,6	446,5	449,8	9,2	9,3	9,4	0,427	6,289	0,74	1764
19/06/2004 @ 16:30 PM	444,9	449,5	447,1	9,1	9,3	9,5	0,460	6,288	0,72	1763
19/06/2004 @ 16:45 PM	444,8	438,5	444,5	9,2	9,4	9,7	0,446	6,328	0,72	1763
PROMEDIO	444,577	418,716	444,623	9,381	9,332	9,432			0,729	1765

APÉNDICE N1

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Cálculos realizados para inspección de tuberías de agua de mar utilizando código API 579 (Fitness For Service)

CÁLCULO DEL MÍNIMO ESPESOR REQUERIDO											
Muestra #	**Presión (P) (Psi)**	**Diám.Ext. (De) (in)**	**Diám.Inter. (Di) (in)**	**F.C.A (in)**	**Rc (in)**	**S (Psi)**	**E**	**t.min.circ (in)**	**t-min.long (in)**	**Tmin (in)**	**Tm (m**
1 A 6	100	4,5	4,026	0,065	2,078	1875	1	0,114	0,055	0,114	**2,9**

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN									
Muestra #	**Tam (mm)**	**F.C.A (mm)**	**S1**	**S2**	**N**	**(Tam-F.C.A) (mm)**	**T_{SD}**	**C.O.V (%)**	**CONCLUSIÓN**
1	5,625	1,651	59,615	236,952	15	3,974	0,066	1,673	Proceda al paso 6 usando Tam
2	5,592	1,651	59,115	232,99	15	3,941	0,036	0,904	Proceda al paso 6 usando Tam
3	5,629	1,651	59,675	237,45	15	3,978	0,077	1,933	Proceda al paso 6 usando Tam
4	5,585	1,651	59,015	232,271	15	3,934	0,095	2,408	Proceda al paso 6 usando Tam
5	5,662	1,651	60,165	241,427	15	4,011	0,087	2,161	Proceda al paso 6 usando Tam
6	5,373	1,651	111,67	415,989	30	3,722	0,116	3,118	Proceda al paso 6 usando Tam

RESULTADOS DE EVALUACIÓN								
Muestra #	**(Tam-F.C.A) (mm)**	**Tmin (mm)**	**Tmm (mm)**	**Tmm-F.C.A (mm)**	**Criterio # 1**	**Criterio # 2**	**RESULTADOS**	**CONCLUSIÓ**
1	3,974	2,908	5,54	3,889	Válido	Válido	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir
2	3,941	2,908	5,53	3,879	Válido	Válido	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir
3	3,978	2,908	5,45	3,799	Válido	Válido	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir
4	3,934	2,908	5,5	3,849	Válido	Válido	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir
5	4,011	2,908	5,58	3,929	Válido	Válido	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir
6	3,722	2,908	5,13	3,479	Válido	Válido	Criterio de Nivel 1 son Válidos	Tubería puede seguir

APÉNDICE N2

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Cálculos realizados para inspección de tuberías de agua refrigerada utilizando código API 579 (Fitness For Service)

CÁLCULO DEL MÍNIMO ESPESOR REQUERIDO											
Muestra #	Presión (P) (Psi)	Diám.Ext. (De) (in)	Diám.Inter. (Di) (in)	F.C.A (in)	Rc (in)	S (Psi)	E	t.min.circ (in)	t-min.long (in)	Tmin (in)	T
1	100	2,375	2,067	0,020	1,0532	1600	1	0,068	0,033	0,068	

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN									
Muestra #	Tam (mm)	F.C.A (mm)	S1	S2	N	(Tam-F.C.A) (mm)	T_{SD}	C.O.V (%)	CONCLUSI
1	3,296	0,5	41,94	117,622	15	2,796	1,672	334,425	Proceda al paso 6 usando
2	3,406	0,5	43,59	126,799	15	2,906	1,705	340,940	Proceda al paso 6 usando
3	3,326	0,5	42,39	120,232	15	2,826	1,681	336,214	Proceda al paso 6 usando
4	3,401	0,5	43,52	126,634	15	2,901	1,703	340,646	Proceda al paso 6 usando
5	3,275	0,5	41,62	115,732	15	2,775	1,666	333,167	Proceda al paso 6 usando
6	3,236	0,5	82,02	224,938	30	2,736	1,654	330,817	Proceda al paso 6 usando

RESULTADOS DE EVALUACIÓN								
Muestra #	(Tam-F.C.A) (mm)	Tmin (mm)	Tmm (mm)	Tmm-F.C.A (mm)	Criterio # 1	Criterio # 2	RESULTADOS	CONCL
1	2,796	1,737	3,06	2,560	Válido	Válido	Criterios de nivel son válidos	Tubería puede
2	2,906	1,737	3,28	2,780	Válido	Válido	Criterios de nivel son válidos	Tubería puede
3	2,826	1,737	3,1	2,600	Válido	Válido	Criterios de nivel son válidos	Tubería puede
4	2,901	1,737	3,12	2,620	Válido	Válido	Criterios de nivel son válidos	Tubería puede
5	2,775	1,737	3,05	2,550	Válido	Válido	Criterios de nivel son válidos	Tubería puede
6	2,736	1,737	3,05	2,550	Válido	Válido	Criterios de nivel son válidos	Tubería puede

APÉNDICE N3

Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

Cálculos realizados de tasa de corrosión y vida restante para tuberías de agua de mar y agua refrigerada

TUBERÍAS DE AGUA DE MAR							
Muestra #	**Tinicial (mm)**	**Tam (mm)**	**Tmin (mm)**	**K**	**t (años)**	**Tasa de Corrosion (mm/años)**	**Vida Restante (años)**
1	6,02	5,625	2,908	1	3	**0,132**	**20,635**
2	6,02	5,592	2,908	1	3	**0,143**	**18,813**
3	6,02	5,629	2,908	1	3	**0,130**	**20,877**
4	6,02	5,585	2,908	1	3	**0,145**	**18,462**
5	6,02	5,662	2,908	1	3	**0,119**	**23,078**
6	6,02	5,373	2,908	1	3	**0,216**	**11,430**

TUBERÍAS DE AGUA REFRIGERADA							
Muestra #	**Tinicial (mm)**	**Tam (mm)**	**Tmin (mm)**	**K**	**t (años)**	**Tasa de Corrosion (mm/años)**	**Vida Restante (años)**
1	3,912	3,296	1,737	1	5	**0,123**	**12,654**
2	3,912	3,406	1,737	1	5	**0,101**	**16,492**
3	3,912	3,326	1,737	1	5	**0,117**	**13,558**
4	3,912	3,401	1,737	1	5	**0,102**	**16,282**
5	3,912	3,275	1,737	1	5	**0,127**	**12,072**
6	3,912	3,236	1,737	1	5	**0,135**	**11,087**