

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORAS AL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN BUQUE MILITAR

Fernando Anhudia Valencia¹, Ernesto Martinez²

RESUMEN

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. 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 emplea esta basada en inspecciones externas e internas, mediciones de espesores por ultrasonido, evaluación de los instrumentos de medición existentes en el sistema, evaluación de parámetros de funcionamiento de los 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 tipos de agua existentes en el sistema para determinar las condiciones con que estas entran al mismo. Una vez realizada la inspección a 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.

SUMMARY

The air conditioning system dates of the year 80, time in the one which to state in operation as much in sailing as in port the 365 days of the year giving origin to that it becomes one of the systems at the present time more used inside the ship. The main objectives of this thesis are: To determine the continuity, repair or change of the or of the teams that are part of the air conditioning system. To determine the necessary improvements in case you conclude the continuity or repair of the teams for this way to be able to lengthen the useful life of the same ones. And to give alternative of solution in case you conclude to change partial or totally the system. The analysis methodology that is used this based on external and internal inspections, measurements of thickness for ultrasound, evaluation of the existent measurements instruments in the system, evaluation of parameters of operation of the teams, the same ones that will be gathered when the ship is navigating, as when it is in port, it will also be carried out a chemical analysis to the existent types of water in the system to determine the conditions with which these they enter to the same one. Once carried out the inspection to the teams and after processing all the obtained information, the results will be analyzed comparing them with the parameters recommended by the maker or according to established norms according to the requirement of the same ones, for this way to determine the continuity, repair or change, such and like it settled down in the main objectives of the thesis. Finally the conclusions and necessary recommendations will be given to improve the operation of the system and this way to lengthen the useful life of the teams.

1. INTRODUCCIÓN

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.

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

¹Ingeniero Mecánico 2005; (email: fanchund@espol.edu.ec); ²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983, Profesor, (email: emartine@espol.edu.ec)

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 intención de reducir dichos costos de mantenimiento en el futuro.

2. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN

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.

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

A continuación la tabla I presenta los equipos y fluidos principales seleccionados para la evaluación de las condiciones actuales de operación.

Tabla I.- Equipos seleccionados para inspección

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

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

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.

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.

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.

2.5 Metodología de Inspección para las Tuberías.

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

2.6 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.

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

La metodología utilizada para realizar el análisis del agua de mar y refrigerada está basada en los siguientes puntos:

Análisis químicos a los dos tipos de aguas.
Predicción de las tendencias del agua a originar corrosión, depósitos o incrustaciones.

3. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 COMPRESORES

Inspección de los controles de seguridad del compresor.

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

Tabla II.- Inspección de los controles de seguridad de los compresores #1 y #2

INSTRUMENTACIÓN	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXISTE
COMPRESOR No. 1			
Presostato de Alta Presión	X		
Presostato de Baja Presión	X		
Presostato Diferencial de Aceite	X		
COMPRESOR No. 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 tabla III muestra los resultados obtenidos de las presiones de succión y descarga para determinar la relación de compresión del compresor # 1.

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

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

Inspección de la presión de aceite.

La tabla IV muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección de la presión de aceite al compresor # 1.

Tabla IV.- Presión de Aceite del Compresor #1

Hora	Dif. Presión Aceite (Psi)	Relación con Presión Succ. (Psi)	Observación
09:30	89,5	43,5	No esta dentro del rango
10:00	87,5	42,5	No esta dentro del rango
10:30	84	42,5	No esta dentro del rango
11:00	84	43,0	No esta dentro del rango
14:00	87	41,0	No esta dentro del rango
14:30	88,5	42,5	No esta dentro del rango
15:00	88,5	42,5	No esta dentro del rango
14:00	89	42,0	No esta dentro del rango
14:30	89	42,0	No esta dentro del rango
15:00	89	42,0	No esta dentro del rango
15:30	89	42,0	No esta dentro del rango
09:30	88,5	41,5	No esta dentro del rango
10:00	89	42,0	No esta dentro del rango
10:30	87	43,0	No esta dentro del rango
11:00	87	42,0	No esta dentro del rango

Inspección de temperatura de descarga de freón.

La tabla V muestra los resultados obtenidos en los cálculos para hallar la temperatura de descarga de freón 22 (R 22) para el compresor # 1

Tabla V.- Inspección de temperatura de descarga de Freón 22 en compresor # 1

Hora	Temp. Aspir. (°F)	Fact. "C"	Temp. Desc. (°F)	Observación
09:30	22	1,31	171,42	Ninguna
10:00	22	1,31	171,42	Ninguna
10:30	18	1,31	166,18	Ninguna
11:00	18	1,31	166,18	Ninguna
14:00	23	1,31	172,73	Ninguna
14:30	23	1,31	172,73	Ninguna
15:00	23	1,31	172,73	Ninguna
14:00	24	1,31	174,04	Ninguna
14:30	24	1,31	174,04	Ninguna
15:00	24	1,31	174,04	Ninguna
15:30	24	1,31	174,04	Ninguna
09:30	24	1,31	174,04	Ninguna
10:00	24	1,31	174,04	Ninguna
10:30	21	1,31	170,11	Ninguna
11:00	22	1,31	171,42	Ninguna

Inspección del control de capacidad del compresor.

La tabla VI muestra los resultados obtenidos al inspeccionar el estado actual de estos elementos que constituyen el control de capacidad de los compresores.

Tabla VI.- Inspección de los equipos de control de capacidad de los compresores # 1 y # 2

INSTRUMENTACIÓN Y / O ACCESORIO	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXIS.
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 VII muestra el total de horas trabajadas por los compresores # 1 y # 2 y su porcentaje de utilización anual.

Tabla VII.- Tiempo de servicio de los compresores # 1 y # 2

COMPRESOR # 1		
Horas al día	Total Horas anuales	Porcentaje Utilización anual (%)
20	4818	55
COMPRESOR # 2		
Horas al día	Total Horas anuales	Porcentaje Utilización anual (%)
20	3066	35

Análisis de Resultados

Toda la instrumentación que forma parte de los controles de seguridad de los compresores se encuentran en estado operativo.

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.

El cálculo de carga térmica realizado 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.

3.2 CONDENSADORES Y EVAPORADORES

Inspección de los controles de seguridad de los evaporadores.

La tabla VIII muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección a los controles de seguridad de los evaporadores.

Tabla VIII.- Inspección de los controles de seguridad de los evaporadores # 1 y # 2

INSTRUMENTACIÓN	CONDICIÓN ACTUAL		
	OP	NOP	NO EXIST
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 refrigerada en los condensadores y evaporadores respectivamente.

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

Tabla IX.- Temperatura de entrada y salida de condensador # 1

Hora	Temp. Entrada	Temp. Salida	Dif. Temp.	Observaciones
09:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
10:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
10:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
11:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
14:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
15:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
09:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
10:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
10:30	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.
11:00	25,5	27,5	2	Bajo dif. Temp.

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

Tabla X.- Temperatura de entrada y salida de evaporador # 1

Hora	Temp. Entrada	Temp. Salida	Dif. Temp.	Observaciones
09:30	5,5	2	3,5	Bajo dif. Temp.
10:00	3	0	3	Bajo dif. Temp.
10:30	2	-1	3	Bajo dif. Temp.
11:00	2	-1	3	Bajo dif. Temp.
14:00	5	2	3	Bajo dif. Temp.
14:30	5,5	2,5	3	Bajo dif. Temp.
15:00	5,5	2,5	3	Bajo dif. Temp.
14:00	5,5	2,5	3	Bajo dif. Temp.
14:30	5,8	2,8	3	Bajo dif. Temp.
15:00	5,8	2,5	3,3	Bajo dif. Temp.
15:30	5,8	2,5	3,3	Bajo dif. Temp.
09:30	4	1	3	Bajo dif. Temp.
10:00	4,5	1	3,5	Bajo dif. Temp.
10:30	4	1	3	Bajo dif. Temp.
11:00	3,2	0,2	3	Bajo dif. Temp.

Tiempo de servicio de los condensadores y evaporadores.

La tabla XI 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 XI.- 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

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.

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.

3.3 BOMBAS DE AGUA.

Inspección de los controles de seguridad de las bombas de agua.

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

Tabla XII.- 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 XIII muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección en muelle de la presión de descarga de la bomba de agua refrigerada # 1

Tabla XIII.- Presión de descarga de la bomba de agua refrigerada # 1.

Fecha	Localiz.	Hora	Pres. Desc. (Psi)	Observ.
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

La tabla XIV muestra los resultados obtenidos al realizar la inspección en muelle de la presión de descarga de la bomba de agua de mar.

Tabla XIV.- Presión de descarga de la bomba de agua de mar.

Fecha	Localiz.	Hora	Pres. Desc. (Psi)	Observ.
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

Tiempo de servicio de las bombas de agua.

La tabla XV 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 XV.- 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	90,00

Análisis de Resultados

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.

3.4 MOTORES ELÉCTRICOS

Inspección del estado del material de los motores eléctricos.

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 1, 2, 3 Y 4.

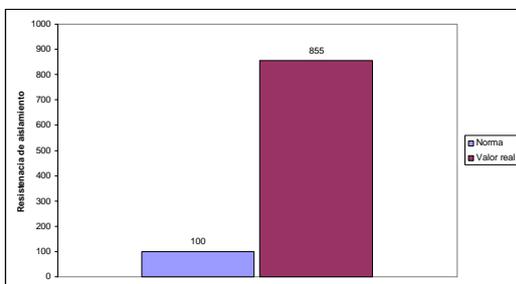


Figura 1.- Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para compresor # 1

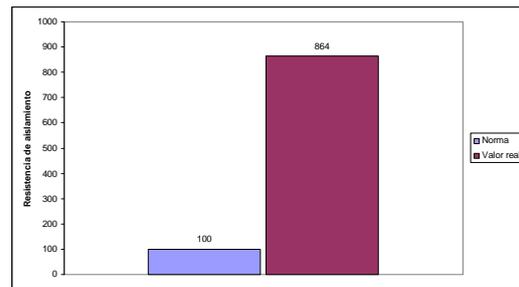


Figura 2.- Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para compresor # 2

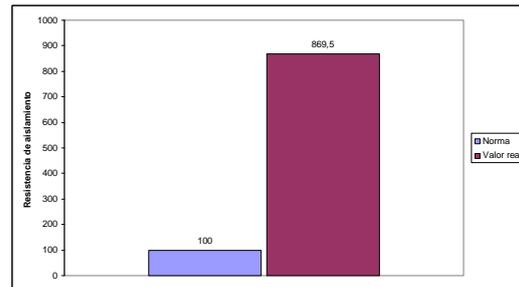


Figura 3.- Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para bomba de agua refrigerada # 1 y # 2

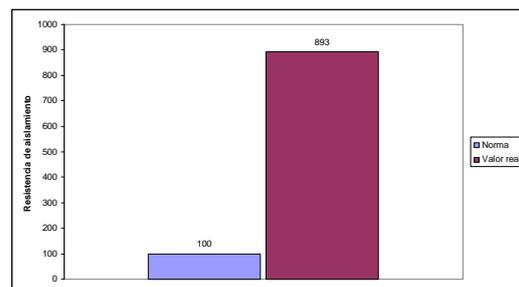


Figura 4.- Comportamiento de la resistencia real de aislamiento con relación a la norma dada por la IEEE para bomba de agua salada

Determinación del rendimiento de los motores eléctricos.

Las figuras 5, 6, 7 y 8 presentan el comportamiento del rendimiento real y el rendimiento nominal de los motores eléctricos de los equipos del sistema de climatización.

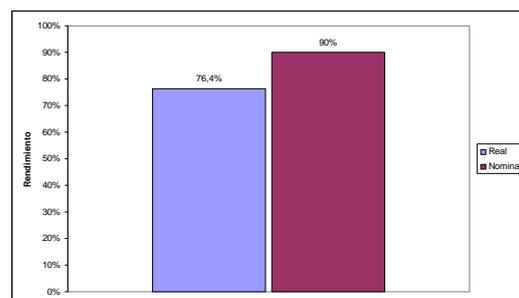


Figura 5.- Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico del compresor # 1 y # 2

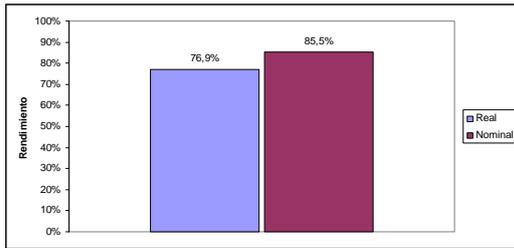


Figura 6.- Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico de las bombas de agua refrigerada # 1 y # 2

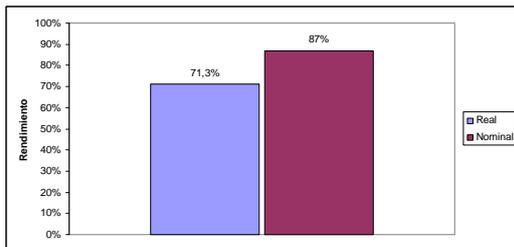


Figura 7.- Comportamiento entre el rendimiento real y rendimiento nominal del motor eléctrico de la bomba de agua de mar.

Análisis de Resultados

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.

3.5 TUBERÍAS

Inspección mediante medición de espesores para determinar la condición actual de las tuberías.

La tabla XVI muestra los datos de espesores tomados a cinco secciones diferentes de tuberías del sistema de agua de mar.

Tabla XVI Espesores tomados a tuberías de agua de mar

Núm. Lect. Tom.	Lect. Tub. 1 (tmm)	Lect. Tub. 2 (tmm)	Lect. Tub. 3 (tmm)	Lect. Tub. 4 (tmm)	Lect. Tub. 5 (tmm)
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. Mín.	5,54	5,53	5,45	5,5	5,58

La tabla XVII muestra los datos de una sección de tubería que fue desmontada del sistema.

Tabla XVII.- Espesores tomados a tubería de agua de mar desmontada.

Núm. Lect. Tom.	Lect. Tub. 6 (tmm)	Núm. Lect. Tom.	Lect. Tub. 6 (tmm)	Núm. Lect. Tom.	Lect. Tub. 6 (tmm)
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 XVII muestra los resultados obtenidos luego de haber realizados los respectivos cálculos descritos en la metodología de inspección para tuberías.

Tabla XVII.- Resultados obtenidos en inspección de tuberías de agua de mar

Tub.	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
1	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
2	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
3	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
4	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
5	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
6	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando

La tabla XVIII muestra los datos de espesores tomados a cinco secciones diferentes de tuberías del sistema de agua refrigerada.

Tabla XVIII Espesores tomados a tuberías de transporte de agua refrigerada.

Núm. Lect. Tom.	Lect. Tub. 1 (tmm)	Lect. Tub. 2 (tmm)	Lect. Tub. 3 (tmm)	Lect. Tub. 4 (tmm)	Lect. Tub. 5 (tmm)
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
Esp. Prom	3,3	3,41	3,33	3,4	3,28
Esp. Mín.	3,06	3,28	3,1	3,12	3,05

La tabla XIX muestra los resultados obtenidos luego de haber realizados los respectivos cálculos descritos en la metodología de inspección para tuberías.

Tabla XIX.- Resultado de inspección de tubería agua refrigerada

Tub.	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
1	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
2	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
3	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
4	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando
5	Criterio Nivel 1 Válido	Tub. puede seguir operando

Cálculo de la tasa de corrosión y vida restante de las tuberías.

La tabla XX 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.

Tabla XX.- Tasa de Corrosión Y Vida Restante

Tuberías de transporte de agua de mar		
Sección #	Tasa Corrosión (mm/años)	Vida Restante (años)
1	0,132	20,635
2	0,143	18,813
3	0,13	20,877
4	0,145	18,462
5	0,119	23,078
6	0,216	11,43
Tuberías de transporte de agua refrigerada		
Sección #	Tasa 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

Inspección visual externa

Para reforzar la inspección realizada a las tuberías mediante la metodología empleada, se realizó una inspección visual.



Figura 8.- Fallas en los cordones de soldadura debido a corrosión en tubería de agua de mar



Figura 9.- Bases de Ánodos de Zinc vacías



Figura 10.- Depósitos orgánicos encontrados en tubería de agua de mar.



Figura 11.- Inicio de corrosión localizada en tubería de agua refrigerada desmontada

Análisis de Resultados

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).

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 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-níquel 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).

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.

3.6 Refrigerante Freón 22 (R22)

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 °F y 14.7 psia.

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

El R22 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. 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.

3.7 Agua de Mar y Agua Refrigerada

De acuerdo a la metodología empleada para la evaluación del agua de mar y refrigerada se necesitó realizar un análisis químico para determinar varios parámetros que ayudarán a realizar la inspección. La tabla XXI 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 XXI.- Resultados de Análisis Químico.

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

Predicción de la tendencia a la formación de incrustaciones y corrosión.

La tabla XXII 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 XXII.- Resultados obtenidos de la predicción a la formación de incrustaciones y corrosión.

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

Análisis de Resultados

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 de incrustaciones, y cuando se calienta tiende a formar un depósito de cal, este depósito, y otras impurezas se acumulan en las tuberías, válvulas, bombas, oponiéndose a la circulación de los líquidos y reduciendo el intercambio de calor.

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.

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.

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 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.

4. PLANTEAMIENTO DE POSIBLES MEJORAS AL SISTEMA

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 la determinación de que elementos están generando más problemas de lo normal en el funcionamiento del sistema.

Las figuras 12 y 13 indican los porcentajes de fallas encontradas en los elementos mecánicos que han generado problemas en el sistema de climatización en los años 2003 y 2004.

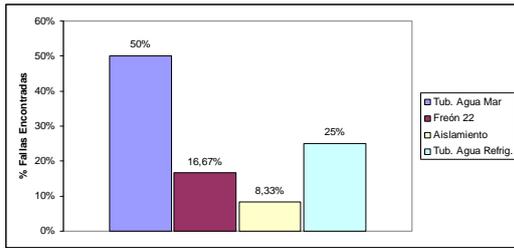


Figura 12.- Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al año 2003

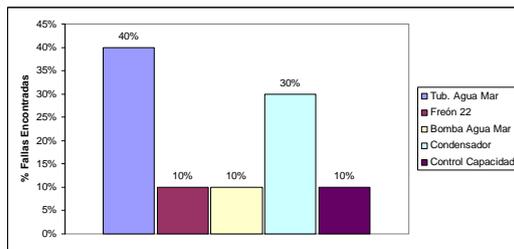


Figura 13.- Porcentaje de fallas encontradas en el sistema de climatización correspondientes al 2004.

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.

En base a las características mostradas de las alternativas 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 Químico al Agua Refrigerada.

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. La cantidad de inhibidor utilizada es de 14 litros la misma que va de acuerdo a la cantidad de agua existente en el sistema.

Sistema de Tuberías de Agua de Mar.

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.

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.

Sistema de Tuberías de Agua Refrigerada.

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.

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.

5. CONCLUSIONES

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.

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.

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.

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.

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 pueda realizar fácilmente.

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.

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

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.

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.

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.

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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANCHUNDIA, F (2005). “Evaluación de las condiciones actuales de operación y planteamiento de mejoras al sistema de climatización de un buque militar.

2. ASHRAE, “CD ASHRAE HANDBOOK”, 1998; Fundamentals, Equipment, applications, Refrigeration.

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

4. MANUAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL BUQUE, “Impianto Condizionamento Estrazione e Ventilazione”, Volumen 1 y 2, 1980.

5. BURGER H. JENING Y SAMUEL R. LEWIS, “Aire Acondicionado y Refrigeración” (Editorial Continental, 1991).

6. HOWARD F. RASE, “Diseño de Tuberías para Plantas de Proceso” (Editorial Blume, 1990).

7. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, “Piping Inspection Code, API 570”, 2001.

8. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, “Fitness For Service, API 579”, 2000.

9. CARRIER CORPORATION, “Open-Drive Compressors” 2004.

10. PABLO COFRÉ GUERRA, Marzo 2000, Corrosión en Aceros Inoxidables, <http://www.fastpack.cl>.