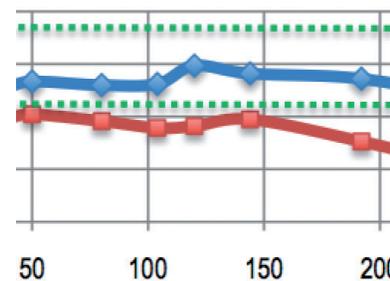


# Motores marinos de combustión interna. Estudio fisicoquímico del agua de refrigeración



## MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES. PHYSICOCHEMICAL STUDY OF COOLING WATER

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5809> | Recibido: 12/04/2013 • Aceptado: 06/11/2013

M<sup>a</sup> Luisa Fernández-Feal, M<sup>a</sup> Mercedes del Coro Fernández-Feal, Luis R. Sánchez-Fernández, Santiago Seoane-López, José Ramón Pérez-Prado

UNIVERSIDADE DA CORUÑA. Centro de Investigaciones Tecnológicas. C.I.T. Campus de Esteiro – 15403 Ferrol. Tfno: +34 981 337400 Ext. 3419. [combust@cdf.udc.es](mailto:combust@cdf.udc.es)

### ABSTRACT

- As a prelude for their use in the engine, it is studied in the laboratory how some physicochemical characteristics of the "anticorrosive emulsifiable oil/water" emulsions employed as cooling water in marine internal combustion engines vary in the course of time. This cooling water has been kept at the engine's standard working temperature in order to evaluate the maximum time interval for which the predetermined optimal values of these characteristics were kept. The tests have been carried out on 2% (v/v) solutions of anticorrosive emulsifiable oil in water, using two different oils. The study has been performed on the previously mentioned solutions which were kept at 85°C for 0, 32, 50, 80, 104, 120, 144, 192 at 242 hours; after which, the same physicochemical characteristics were measured. These characteristics are: pH, specific conductivity, chlorides, hardness and the percentage of anticorrosive emulsifiable oil dissolved in water.
- Keywords: cooling water, water quality, internal combustion engines.

### RESUMEN

Como paso previo a su utilización en el motor, se estudia en laboratorio cómo varían con el tiempo algunas características fisicoquímicas de las emulsiones "aceite anticorrosivo emulsionable/agua" que se utilizan como "aguas de refrigeración" en determinados motores marinos de combustión interna. Estas "aguas de refrigeración" se han mantenido a la temperatura en que prestarían servicio en el motor, con el fin de evaluar el tiempo máximo en que mantienen sus propiedades en valores óptimos preestablecidos.

Los ensayos se realizan sobre disoluciones preparadas al 2% (v/v) con dos "aceites anticorrosivos emulsionables" comerciales distintos y agua. El estudio se lleva a cabo sobre las disoluciones anteriormente mencionadas mantenidas a 85°C durante 0, 32, 50, 80, 104, 120, 144, 192 y 242 horas, transcurridas las cuales se procede a determinar en las mismas las características más significativas para establecer su estado: pH, conductividad específica, cloruros, dureza y porcentaje de aceite emulsionable anticorrosivo disuelto.

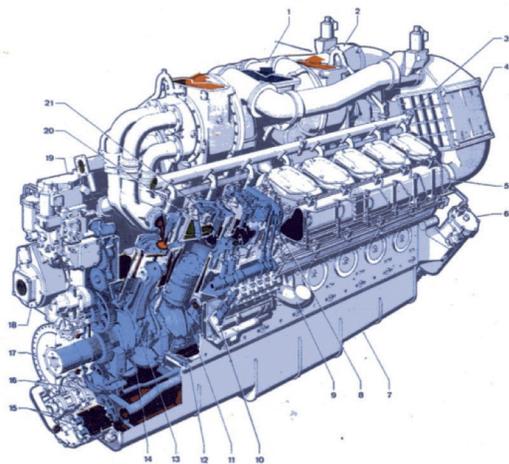
**Palabras clave:** agua de refrigeración, calidad de agua, motores de combustión interna.

### 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo tiene como objetivo establecer a partir del estudio de las características fisicoquímicas más significativas de las emulsiones formadas con el agua, cuál de los dos aceites comerciales anticorrosivos emulsionables ensayados (identificados como T.O. y T.S2.) es el más idóneo para constituir el termofluido que va a actuar en el sistema de refrigeración de un motor MTU 956 (motor marino de combustión interna) utilizado como sistema propulsor en las corbetas tipo DESCUBIERTA y patrulleros tipo LAZAGA y ANAGA de la *Armada Española*. Se comprueba si estas características se mantienen, a lo largo del tiempo, entre los límites que se establecen como óptimos.

El motor diesel 16V 956 TB91 es un motor de propulsión marina de cuatro tiempos, con una cilindrada total de 152,8 L, regulador de velocidad, activación secuencial de ocho turbocompresores de alta y baja presión controlados por válvulas electro-neumáticas, refrigeración del aire de sobrealimentación externo por agua salada, activación hidráulica de corte de bancadas, sistema de enfriamiento y lubricación individual por pistón, control de las rpm diferencial entre cigüeñal y árbol de levas y reducción de carga automática.

En el sistema de refrigeración del motor MTU 16V 956 TB91, el agua de refrigeración es impulsada por una bomba centrífuga movida por el eje cigüeñal a través de una rueda intermedia. Esta bomba aspira el agua del circuito de refrigeración y la descarga en



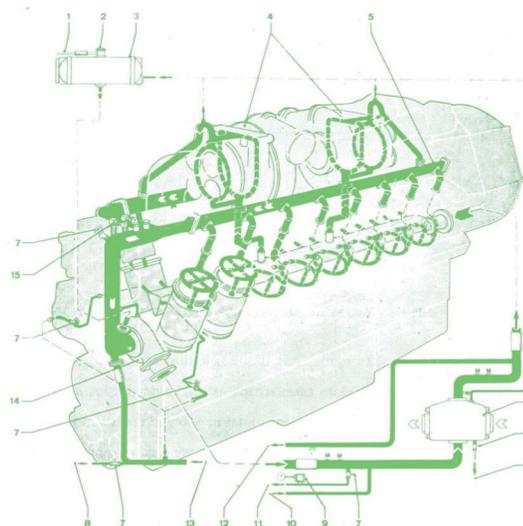
1. Turbosobrealimentador.
  2. Chapaleta de cierre instantáneo.
  3. Conducto de salida del agua refrigerante.
  4. Refrigerador del aire de carga.
  5. Tubo conductor del aire de carga.
  6. Filtro de discos de tamiz para el aceite del motor.
  7. Cártér de aceite.
  8. Distribución.
  9. Codo de llenado de aceite.
  10. Bomba de inyección de combustible.
  11. Pistón.
  12. Bloque motor.
  13. Biela.
  14. Eje cigüeñal.
  15. Bomba del aceite del mecanismo.
  16. Bomba del aceite de refrigeración de los pistones.
  17. Pletina de salida de fuerza, lado HKS.
  18. Bomba de agua no tratada.
  19. Regulador del motor.
  20. Inyector de combustible.
  21. Culata.
- Agua refrigerante del motor.  
 Aceite del motor.  
 Aire.  
 Gases de escape.

Fig. 1: Motor Diesel de Propulsión Marina MTU 16V 956 TB91  
Fuente: Publicación nº57. Escuela de Energía y Propulsión de la Armada

circuito cerrado a través del enfriador de agua dulce, entrando en el colector de refrigeración del motor para refrigerar las camisas de abajo hacia arriba y entrando en las culatas a través de los orificios que comunican el bloque con la culata. Una vez que refrigera las culatas, el agua sale por un tubo de cada una de las mismas y de éstas hacia un colector en forma de “V” para ser aspirada por la bomba. De los colectores de salida de las culatas sale un tubo por cada lado del motor para refrigerar las dos turbosoplantes. A la salida de las turbosoplantes el agua es conducida desde el colector general de retorno a la aspiración de la bomba. En la parte más alta del motor va montado un tanque de compensación, en comunicación con el circuito de refrigeración que sirve para desaireación y para compensar las posibles pérdidas de agua que haya en el circuito.

El motor dispone de un sistema de precalentamiento que permite calentar el agua de refrigeración como mínimo hasta 40°C para facilitar el arranque, evitar los desgastes anormales por arranque en frío y la formación de carbonillas en la cámara de combustión. La temperatura del agua de refrigeración se mantiene dentro de los límites establecidos gracias a un enfriador tubular de flujo cruzado incorporado al sistema de refrigeración del motor.

De forma general, el sistema de refrigeración de un motor



1. Conducto de reboso.
  2. Válvula de cierre.
  3. Depósito de compensación del agua refrigerante.
  4. Turbosobrealimentador.
  5. Colector de salida del agua de refrigeración.
  6. Refrigerador del agua de refrigeración.
  7. Válvula de bloqueo.
  8. Desagüe.
  9. Presostato.
  10. Conducto de llenado.
  11. A la indicación mecánica de la presión.
  12. Al equipo de precalentamiento.
  13. Desde el equipo de precalentamiento.
  14. Bomba de agua de refrigeración del motor.
  15. Termostato.
- M. Punto de medición.  
 ( ) Kp/cm<sup>2</sup>.

Fig. 2: Circuito de refrigeración motor MTU 16V 956 TB91  
Fuente: Publicación nº57. Escuela de Energía y Propulsión de la Armada

marino de combustión interna consta de dos circuitos independientes, uno cerrado que emplea un fluido que circula a través de él, termofluido que va a ser el que absorba el calor sobrante generado en la cámara de combustión y otro abierto, exterior, que emplea como termofluido el agua de mar. Como circuito de refrigeración propiamente dicho se considera al primero, el cerrado. Este circuito presenta la desventaja de que potencia la acción agresiva de los componentes nocivos que contenga el termofluido que circula por él.

La base del termofluido que suele emplearse en los circuitos cerrados de refrigeración de los motores de combustión interna es el agua dulce por sus excelentes cualidades físicas, su gran capacidad de transmisión de calor, su bajo costo y su gran abundancia en la naturaleza. El “agua de refrigeración” no puede ser agua pura o destilada o agua natural ya que originaría graves problemas en los circuitos de refrigeración, problemas que derivan por una parte de la propia composición del agua empleada y por otra parte de la naturaleza del material del que esté formado el circuito de refrigeración.

A la hora de valorar la calidad del agua uno de los factores a tener en cuenta es su dureza: la concentración de compuestos minerales, de cationes polivalentes que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Las sales que contiene el agua forman una delgada película compuesta principalmente de carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>) que dificulta el paso del oxígeno disuelto hacia la superficie del

metal produciendo un mecanismo de protección de las superficies metálicas en contacto con el agua dulce, frente a la corrosión por la formación de sales insolubles.

Tipo de agua	mg/L CaCO <sub>3</sub>	°fH	°dH
Agua blanda	0 - 60	0,0 - 6,0	< 3,35
Agua moderadamente dura	61-120	6,1 - 12,0	3,35- 6,70
Agua dura	121- 180	12,1 - 18,0	6,71-10,05
Agua muy dura	> 180	>18,0	>10,05

Grado francés (°f / TH): Equivale a 10,0 mg CaCO<sub>3</sub>/L de agua

Grado alemán (°dH): Equivale a 17,9 mg CaCO<sub>3</sub>/L de agua

Tabla I: Clasificación de la del agua por su Dureza OMS (Organización Mundial de la Salud)

Todas las aguas en la naturaleza contienen una cierta cantidad de sales disueltas; un agua blanda, en la que la concentración de sales de calcio y magnesio es baja, no puede formar la película protectora de carbonato de calcio por lo que resulta más corrosiva que las denominadas aguas duras en las que la concentración de sales de calcio y magnesio es elevada; el exceso de estas sales en solución puede también hacer no adecuada el agua para su uso como agua de refrigeración de motores, en este último caso se requiere darle al agua un tratamiento para remover completamente, o disminuir a valores tolerables el contenido de sales en solución. Un agua de excesiva dureza, deberá ser tratada para disminuir esta a valores tolerables.

En la Tabla II y en la Figura 3 se muestran los tipos de agua existentes en las distintas partes de España de acuerdo al valor de la dureza de las mismas y valores concretos de la dureza de algunas ciudades españolas. Pero la dureza del agua no es por sí sola el único factor que determina si es posible la formación de la película protectora en el sistema de refrigeración, otros factores que influyen son la alcalinidad total, el pH y los sólidos disueltos.

El agua empleada como termofluido en un circuito de refrigeración de un motor de combustión interna debe cumplir unos requisitos fisicoquímicos determinados, por lo que se necesita acondicionar dicha agua para que resulte menos corrosiva a los elementos más sensibles del motor en los que se emplea: hay que establecer el tipo de sustancia o sustancias idóneas para que al adicionarlas al agua se forme el “agua de refrigeración” adecuada para el circuito; estas sustancias únicamente pueden utilizarse en sistemas de circulación cerrada, en los que, a excepción de las pérdidas debidas a fugas y a la evaporación, no presentan un consumo significativo.

En motores marinos de combustión interna la tendencia actual es utilizar como sustancias acondicionadoras del agua de refrigeración aceites anticorrosivos emulsionables, anticongelantes anticorrosivos o anticorrosivos solubles en agua. Existen en el mercado varias empresas que fabrican y distribuyen estos productos, tanto en el mercado nacional como en el internacional, existiendo incluso especificaciones que deben cumplir las mencionadas sustancias acondicionadoras:

- MTL 5047: Aceite anticorrosivo emulsionable.
- MTL 5048: Anticongelante anticorrosivo.

- MTL 5049: Anticorrosivo soluble en agua.

Algunos fabricantes de motores marinos de combustión interna como MTU (MTU Friedrichshafen GmbH) o MAN (MAN Diesel & Turbo), recomiendan como termofluido a emplear en los circuitos de refrigeración de sus motores una emulsión “aceite anticorrosivo emulsionable /agua”. Los aceites anticorrosivos emulsionables están formados por un aceite base de naturaleza parafínica, acompañado de aditivos anticorrosivos y emulsionantes. Estos aceites forman una fina película de aceite en el sistema de refrigeración que impide la corrosión sin disminuir la conductividad y mantienen el circuito en las buenas condiciones de uso, es decir, sin fangos, lodos, incrustaciones o corrosiones, a la vez que el peligro de intoxicaciones se reduce o minimiza. No es adecuado su uso, si el agua refrigerante puede llegar a tener, durante el funcionamiento del motor o en reposo, una temperatura inferior a 0°C o superior a 90-95°C.

Los aceites anticorrosivos emulsionables se requieren en caso de temperaturas altas o enfriamientos notables. Son utilizados en barcos con motores MAN y motores MTU series 595, 1163 y 956 sin intercambiadores de calor de placas. En la actualidad se recomienda su sustitución y eliminación progresiva en base a la cada vez más restrictiva legislación contra la contaminación ambiental.

Un correcto control del pH favorece la utilización de las emulsiones de “aceite anticorrosivo emulsionable/agua” como termofluido en los sistemas de refrigeración: se debe mantener el valor de su pH en zona básica ya que en esta zona el agua deja de ser agresiva para los metales ferrosos; el hierro aumenta su pasividad al encontrarse en presencia de álcalis y oxígeno disuelto, con lo cual disminuye sensiblemente su velocidad de corrosión; pero no se deben alcanzar valores de pH superiores a 9,8 porque entonces se aceleraría la corrosión de los metales no férricos, como es el caso del cobre y del aluminio. En esta zona de pH se favorece la formación de los

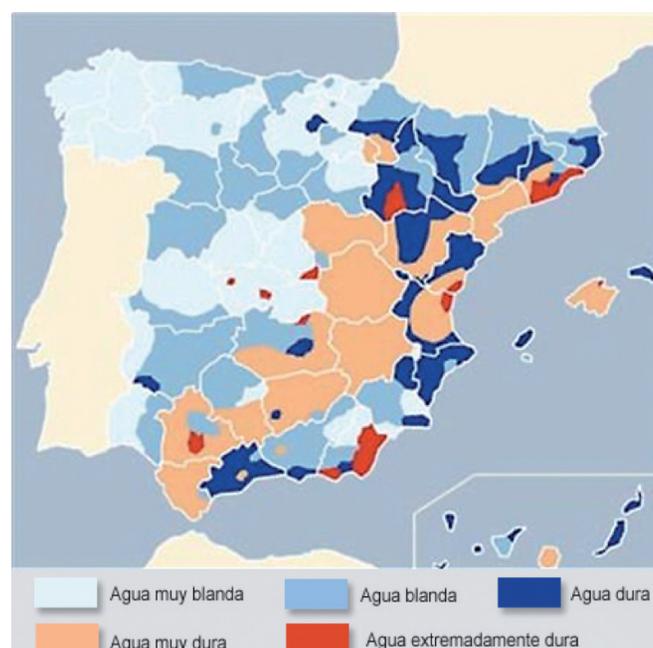


Fig. 3: Mapa de la dureza del agua en España

<http://www.sistemagua.com/informacion-sobre-el-agua/69-dureza-del-agua-en-espana.html>

correspondientes hidróxidos y su posterior precipitación.

Otro factor a favor del empleo de esta emulsión en los circuitos de refrigeración de motores marinos de combustión interna lo determina el hecho de que la emulsión posee un punto de ebullición superior al punto de ebullición del agua empleada en su preparación lo que garantiza, junto a la temperatura de trabajo que se encuentra en torno a los 85°C, que no se producirá, en régimen de trabajo normal, la ebullición

Comunidad autónoma *Provincia - **Ciudad	DUREZA mg/L Ca CO <sub>3</sub>	Tipo de agua
<b>Andalucía</b> *Córdoba - Málaga		Moderadamente dura Blanda
<b>Aragón</b> *Huesca **Zaragoza	284	Dura Media
<b>Asturias</b>		Moderadamente dura
<b>Baleares</b>		Moderadamente dura
<b>Canarias</b>		Moderadamente dura
<b>Cantabria</b>		Moderadamente dura
<b>Castilla La Mancha</b> *Toledo *Guadalajara *Cuenca *Albacete		Blanda Moderadamente dura Dura Muy dura
<b>Castilla-León</b> *Salamanca, Avila, Segovia, Soria, Burgos *Valladolid, Palencia *Burgos		Blanda Moderadamente dura Dura
<b>Cataluña</b> *Lleida, Girona, Barcelona *Tarragona **Barcelona	315	Moderadamente dura Dura
<b>Comunidad Valenciana</b> *Alicante, Valencia *Castellón **Valencia	354	Dura Muy dura
<b>Extremadura</b> *Badajoz *Cáceres		Blanda Moderadamente dura
<b>Galicia</b> **A Coruña	26,3	Blanda
<b>La Rioja</b>		Moderadamente dura
<b>Madrid</b> **Madrid	25	Blanda
<b>Navarra</b>		Moderadamente dura
<b>País Vasco</b> *Alava **Bilbao	200	Blanda Moderadamente dura
<b>Ceuta y Melilla</b>		Dura

Tabla II. Tipo de agua en función de la Dureza en España  
[www.naturatips.com/agua/agua-en-espana.html](http://www.naturatips.com/agua/agua-en-espana.html)

del “agua de refrigeración” por lo que se evitan problemas de condensaciones, fugas o posibles corrosiones.

La formación de una capa protectora de aceite junto al aumento de la presión de vapor del termofluido por la adición del aceite minimizan los posibles problemas de erosión por cavitación que pueden surgir en el circuito como consecuencia de la circulación forzada del termofluido a través del mismo.

El agua de refrigeración formada por la mezcla del “aceite anticorrosivo emulsionable” y el agua dulce debe mantener sus características fisicoquímicas dentro de unos límites fijados por el constructor del motor, al objeto de conseguir que el circuito de refrigeración se encuentre en las mejores condiciones de funcionamiento.

pH	8,5 - 9,8
% de aceite emulsionable	1 - 2% (v/v)
Cloruros	< 100 mg/L
Aniones totales	< 200 mg/L
Dureza total	<9,5 °dH = 17 °F

Tabla III: Características fisicoquímicas de la emulsión

Los límites óptimos de las características fisicoquímicas del agua dulce utilizada para preparar la emulsión son las establecidas por el astillero (NAVANTIA) a partir de las recomendadas por la empresa diseñadora del motor (MTU):

	NAVANTIA NM-1984e	MTU A001061/34E
pH	= 6,5 - 8,0	= 6,5 - 8,0
Cloruros	< 40 mg/L	< 100 mg/L
Aniones totales	< 100 mg/L	< 200 mg/L
Dureza total	< 9,5 °dH = 17 °f	< 15,0 °dh =26,85 °f

Tabla IV: Características fisicoquímicas del agua dulce

La preparación del agua de refrigeración en estos motores puede hacerse fuera del motor, calentando el agua a 80°C, añadiendo a ésta y mezclando bien el aceite anticorrosivo necesario para a continuación llenar el tanque de almacenamiento y desde este el circuito de refrigeración o, llenando el circuito con el agua de características adecuadas y tras desgasificar y esperar a que la temperatura sea la de régimen, sacar del circuito unos 10 litros de agua a los que adicionar el aceite necesario para la capacidad total del circuito que una vez tratados se devolverán al circuito con el motor en marcha.

## 2. METODOS DE ENSAYO

Para la determinación de cada una de las características objeto del estudio las muestras se han analizado siguiendo la normativa establecida al efecto:

- 1) Concentración de iones hidrógeno, pH a 20°C: ASTM D1293-12. Standard Test Methods for pH of Water.
- 2) Conductividad específica: ASTM D1125- 95 (2009). Standard Test Methods for Electrical Conductivity and

Resistivity of Water.

3) Determinación de Cloruros: ASTM D512-10. Standard Test Methods for Chloride Ion In Water.

4) Determinación de la concentración de aceite anticorrosivo en el líquido refrigerante: IP 137/55. Methods of test for petroleum and its products. Oil content of soluble cutting oil dispersion.

Prescripciones MTU relativas a fluidos y lubricantes A001061/34E.

Rotura de la emulsión por adición de HCl concentrado.

5) Dureza cálcica y magnésica: ASTM D1126-12. Standard Test Method for Hardness in Water.

Todos los métodos han sido puestos a punto y validados conforme a los requisitos establecidos en los procedimientos.

### 3. RESULTADOS

Para cada una de las emulsiones formadas, la media de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo de estudio, de cada una de las características establecidas en el ensayo y determinadas según los procedimientos citados en el apartado anterior, se recogen en las Tablas V y VI.

Durante el periodo de ensayo y según ha transcurrido el tiempo se ha procedido a determinar sobre alícuotas de las muestras de las “aguas de refrigeración” formadas por adición de dos “aceites anticorrosivos emulsionables” identificados como T.O. y T.S2., a agua dulce y mantenidas a 85°C, los valores correspondientes de pH, conductividad específica, concentración de cloruros, porcentaje de aceite emulsionado detectado en la misma y dureza.

A la vista de los resultados obtenidos, hay que resaltar lo siguiente:

#### 3.1. pH A 20°C

El agua pura se encuentra débilmente ionizada y tiene un pH de 7,0 a 20°C, en estas condiciones se produce un ataque lento al hierro puro originándose una corrosión del mismo, depositándose sobre su superficie una película de óxido ferro-

so. Este proceso en la zona de pH de 4,0 a 10,0 presenta una velocidad de corrosión que es independiente del valor del pH y que sólo depende de la velocidad de difusión del oxígeno en la superficie del metal. La barrera de difusión principal compuesta por óxido ferroso hidratado se renueva continuamente por el proceso de corrosión. Dentro de este intervalo de pH, de 4,0 a 10,0 unidades, la superficie del hierro está siempre en contacto con una solución salina saturada de óxido ferroso hidratado cuyo pH es aproximadamente 9,5.

Para valores de pH inferiores a 4,0 “zona ácida”, la película de óxido ferroso se disuelve, el pH de la superficie del metal disminuye; el metal queda en contacto más o menos directo con el medio acuoso con lo que aumenta la velocidad de corrosión.

Para valores de pH superiores a 9,5-10,0, “zona básica”, se produce una disminución de la velocidad de corrosión del hierro ya que este aumenta su pasividad en presencia de álcalis y oxígeno disuelto. Sin embargo, los metales no férricos como el cobre y el aluminio aumentan su corrosión en esta zona.

El pH de las disoluciones al 2% (v/v) de “aceite anticorrosivo emulsionable/agua potable” es superior, más básico, al que presenta el agua de partida utilizada para su constitución (6,591). Los valores de pH de las disoluciones ensayadas disminuyen, se van haciendo más ácidas a medida que aumenta el tiempo como se observa en la Figura 4 en la que se ha marcado en trazo punteado el intervalo de pH que se considera óptimo.

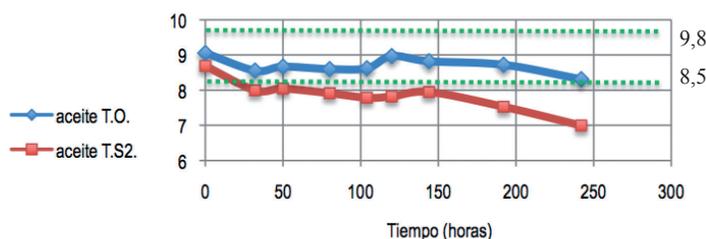


Fig. 4: Variación del pH a 20°C de las disoluciones “aceite anticorrosivo emulsionable/agua” frente al tiempo

DISOLUCIÓN	TIEMPO	CLORUROS	pH a 20°C	CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA a 20°C	ACEITE DISUELTO	DUREZA TOTAL*
	HORAS	mg/L		µS/cm	% (V/V)	°f /TH
AGUA POTABLE	0	36	6,591	95,1	0,0	3,20
ACEITE “T.O.”	0	50	9,054	236,0	2,0	3,85
	32	36	8,555	216,5	2,0	4,35
	50	36	8,667	235,0	2,0	4,65
	80	37	8,598	248,5	1,9	5,10
	104	36	8,621	232,5	1,9	5,20
	120	38	8,968	238,5	1,8	5,65
	144	37	8,820	228,0	1,8	5,70
	192	36	8,720	208,0	1,8	5,80
	242	37	8,310	202,5	1,8	6,00

\* grados hidrotimétricos franceses (°F/TH). 1°f = 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>

Tabla V. Características fisicoquímicas del agua potable y la disolución de “aceite anticorrosivo emulsionable T.O./agua” en función el tiempo

DISOLUCIÓN	TIEMPO	CLORUROS	pH a 20°C	CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA a 20°C	ACEITE DISUELTO	DUREZA TOTAL*
	HORAS	mg/L		µS/cm	% (V/V)	°f / TH
AGUA POTABLE	0	36	6,591	95,1	0,0	3,20
ACEITE "T.S2"	0	77	8,687	353,0	2,0	3,25
	32	39	7,997	332,0	1,9	4,20
	50	40	8,044	358,0	1,9	4,55
	80	40	7,914	352,5	1,8	4,60
	104	44	7,785	327,0	1,8	4,20
	120	42	7,819	319,5	1,7	4,20
	144	43	7,948	302,0	1,7	5,30
	192	45	7,527	294,0	1,7	6,20
	242	43	6,995	271,5	1,7	7,55

\* grados hidrotimétricos franceses (°f/TH). 1°f = 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>

Tabla VI: Características fisicoquímicas del agua potable y la disolución de "aceite anticorrosivo emulsionable T.S2/agua" en función el tiempo

La diferencia entre los valores de pH obtenidos en relación al tiempo es menor para las disoluciones formadas a partir de aceite T.O. (0,740 unidades de pH) que para las formadas a partir de aceite T.S2. (1,692 unidades de pH). Las disoluciones de "aceite anticorrosivo emulsionable" T.O. se acidifican en el transcurso del tiempo llegando a un valor cercano al límite óptimo establecido a las 192 horas de funcionamiento.

En este estudio se pone de manifiesto que las emulsiones formadas con el "aceite anticorrosivo emulsionable" comercial identificado como T.S2. no cumplen con los requisitos de pH óptimo establecidos para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración, puesto a que a su continua acidificación se suma que ya en el momento de la constitución de la emulsión el valor del pH se encuentra al límite.

De acuerdo a los datos, el pH será un factor determinante para establecer el número de horas de funcionamiento a las que fijar el control del "agua de refrigeración" dado que se produce una acidificación no deseable del agua de refrigeración con el tiempo.

### 3.2. CONCENTRACIÓN DE CLORURO

Las sales corrosivas más abundantes en el agua potable son los cloruros.

Rara vez es el ión cloruro el causante de la corrosión, pero debido a su pequeño tamaño tiene una gran movilidad lo que le permite acelerar las reacciones de corrosión, esta aceleración es proporcional a su concentración debido a la capacidad que presenta este ión para penetrar e incrementar la velocidad de disolución del hierro y su contribución al contenido de electrolitos. La concentración máxima de ión cloruro en el agua potable para una dureza media es de 100 mg/L, superado este valor la corrosión crece rápidamente.

En aleaciones una elevada concentración de cloruros produce ataque intragranular y en el acero inoxidable corrosión en picaduras profundas; además los cloruros actúan potenciando el poder corrosivo de los sulfatos.

Los valores obtenidos para la concentración de cloruro en las disoluciones ensayadas, para ambos aceites, a lo largo del estudio es inferior a las presentada en el momento de la constitución de las disoluciones (0 horas-85°C.).

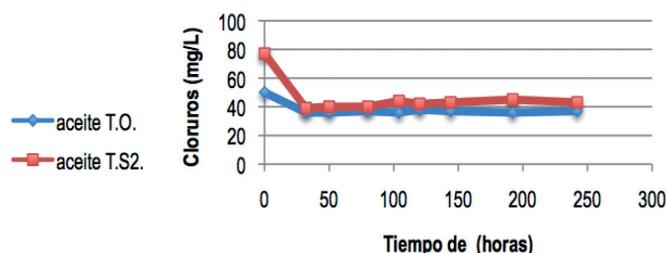


Fig. 5: Variación de concentración de cloruros de las disoluciones "aceite anticorrosivo emulsionable/agua" frente al tiempo

Como se observa en la Figura 5, la concentración de cloruro permanece prácticamente estable a lo largo del tiempo de duración del ensayo y por debajo de los 100 mg/L establecidos como óptimos en el ensayo. Las emulsiones formadas a partir de ambos aceites presentan la misma variación. La concentración de cloruros no se ve afectada por el tiempo.

### 3.3. % DE ACEITE ANTICORROSIVO EMULSIONABLE DISUELTO

Los requisitos técnicos desarrollados para la aplicación de este tipo de emulsiones establecen que el porcentaje de "aceite anticorrosivo emulsionable" debe estar entre un 1 y un 2% en (v/v) para que la protección anticorrosiva del circuito sea efectiva.

En el estudio llevado a cabo las emulsiones se han constituido con un 2% (v/v) de "aceite anticorrosivo emulsionable".

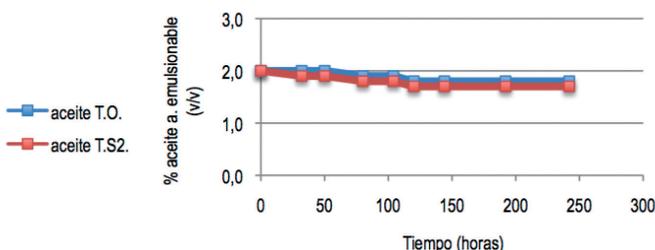


Fig. 6: Variación de % (v/v) aceite anticorrosivo emulsionable de las disoluciones "aceite anticorrosivo emulsionable/agua" frente al tiempo

Los niveles en % de “aceite emulsionado han sido controlados durante el tiempo de estudio poniéndose de manifiesto que dicho nivel permanece constante en el tiempo tanto para emulsiones constituidas a partir del aceite T.O. como para las constituidas a partir del T.S2. Los valores encontrados para las disoluciones del aceite T.O. se apartan un 10% del valor inicial frente al 15% de separación del aceite T.S2.

La Figura 6 permite observar que los valores obtenidos de % de aceite emulsionado se encuentran dentro de los límites establecidos como óptimos o adecuados.

### 3.4. CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA

Existe una relación entre el contenido de sales disueltas y su conductividad. Es necesario conocer la temperatura de la determinación dado que esta juega un papel determinante en la solubilidad de las sales presentes.

Para disoluciones formadas a partir de ambas clases de “aceite anticorrosivo emulsionable” comprobamos que este parámetro aumenta su valor al principio del ensayo a medida que aumenta el tiempo para luego comenzar a disminuir progresivamente a partir de las 120 horas en el caso del aceite T.O. y de las 104 horas el aceite T.S2.

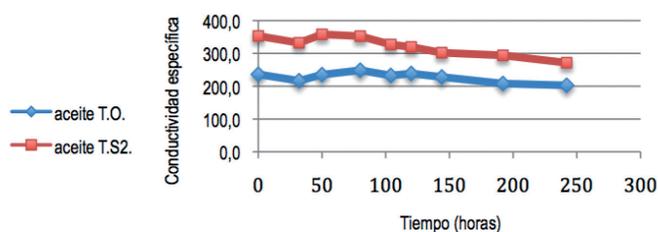


Fig. 7: Variación de la conductividad específica de las disoluciones “aceite anticorrosivo emulsionable/agua” frente al tiempo.

Los valores concuerdan con la variación sufrida por el pH durante el tiempo en que se ha llevado a cabo el estudio como se aprecia en las Figuras 8 y 9.

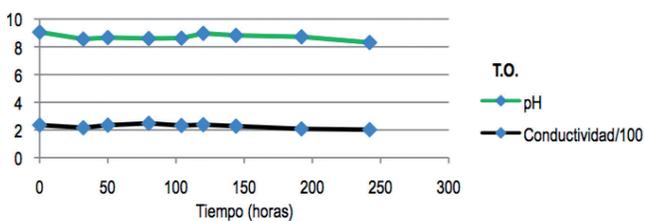


Fig. 8. Comparación de la variación del pH y la conductividad específica de las disoluciones de “aceite anticorrosivo emulsionable T.O./agua” frente al tiempo

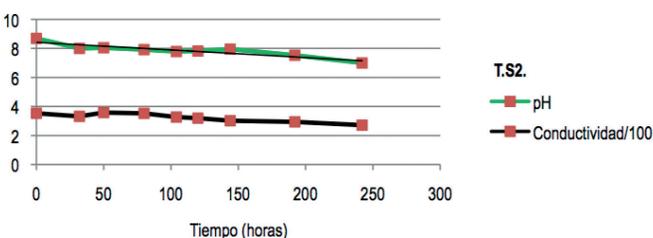


Fig. 9: Comparación de la variación del pH y la conductividad específica de las disoluciones de “aceite anticorrosivo emulsionable T.S2./agua” frente al tiempo

### 3.5. DUREZA TOTAL

La dureza del agua es la medida de la concentración de compuestos minerales de cationes polivalentes (principalmente divalentes y específicamente los alcalinotérreos) que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.

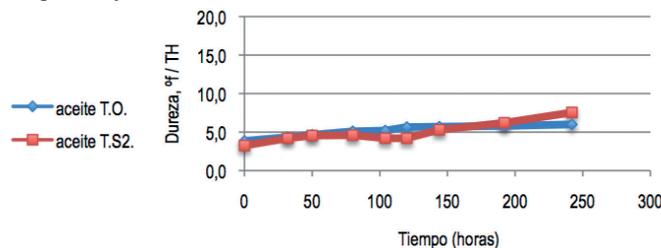


Fig. 10: Variación de la dureza de las disoluciones “aceite anticorrosivo emulsionable/agua” frente al tiempo

De acuerdo a los límites preestablecidos, el valor de la Dureza Total del agua potable empleada en la preparación del “agua de refrigeración” debe de ser como máximo de 9,5 °dH / 17 °f, es decir, debe utilizarse agua dura al objeto de que las disoluciones formadas no originen problemas por posibles depósitos calcáreos en los circuitos de refrigeración ni presenten una gran tendencia a la formación de espuma, ya que una baja concentración de calcio y magnesio no sería capaz de apantallar la tendencia a la espumación que le confieren a los aceites empleados los aditivos anticorrosivos que poseen. Esto conlleva el enmascaramiento del volumen real de las mismas y la absorción excesiva de oxígeno en su seno con el consiguiente riesgo de provocar procesos de corrosión en el circuito.

El agua dulce de partida en este estudio es blanda, las disoluciones preparadas a partir de la misma aumentan su dureza a medida que transcurre el tiempo del ensayo y esto ocurre con las disoluciones formadas a partir de ambas clases de “aceite anticorrosivo emulsionable”. Esta tendencia se confirma en ensayos realizados con agua dulce de superior dureza, lo que constata que el valor de la dureza se convierte en un factor a tener en cuenta para establecer el número de horas de funcionamiento a las que fijar el control del “agua de refrigeración” aunque dado que el valor límite fijado para esta característica es bastante alto no se convierte en un valor determinante a la hora de establecer las horas de funcionamiento.

### 4. DISCUSIÓN

El acondicionamiento y preparación del refrigerante debe efectuarse antes de la primera puesta en marcha de la instalación o tras un nuevo llenado del circuito. Mediante el acondicionamiento y preparación del refrigerante se generan capas protectoras o de recubrimiento en las paredes de las cámaras y espacios de refrigeración que evita los fenómenos de: corrosión, erosión y cavitación.

La carga de líquido refrigerante se prepara a base de agua dulce y un aditivo apropiado, pero para el buen funcionamiento del motor es indispensable realizar la comprobación de las propiedades del agua dulce con la que se forma la emulsión y la vigilancia permanente de las características fisicoquímicas del líquido refrigerante que va a actuar como termofluido.

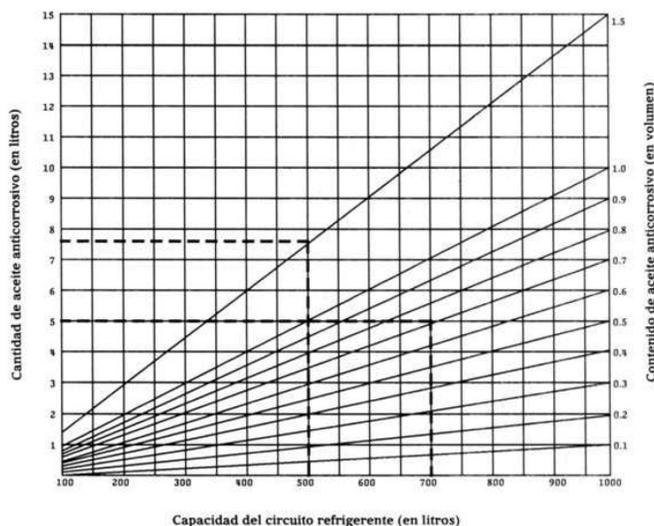


Tabla VII: Formación de la mezcla de agua dulce de dureza adecuada

Si el agua dulce de partida es de alta dureza debe ser sometida a un proceso previo de ablandamiento para disminuir la dureza a valores aceptables utilizando un método de precipitación química, mediante el uso de resinas intercambiadoras de iones de ciclo sódico o mediante la adición de agua destilada de acuerdo a los datos obtenidos utilizando la Tabla VII.

Si el agua disponible es demasiado blanda, puede que el pH baje de 6,5 y que el contenido de CO<sub>2</sub> pueda ser demasiado elevado; en este caso podemos desgasificar el agua antes de su utilización calentándola a 80°C, con lo que su pH aumentará a valores adecuados.

Hay que tener en cuenta que cuando se llena por primera vez el circuito de refrigeración o tras una limpieza del mismo, se debe preparar la emulsión con un 0,5% más de aceite anticorrosivo emulsionable ya que aproximadamente este porcentaje de aceite es el que quedará adherido a las paredes del circuito de refrigeración mejorando la protección contra la corrosión.

Es indispensable que las “aguas de refrigeración” de los motores marinos de combustión interna se sometan periódicamente a controles para comprobar que las características fisicoquímicas fijadas por el fabricante del motor en que prestan servicio se mantienen en valores adecuados. Se recomienda comprobar diariamente el nivel del tanque de compensación y establecer la periodicidad con la que hacer los controles en los que determinar las características fisicoquímicas del fluido refrigerante y si no se encuentran dentro de los niveles de funcionamiento óptimo establecidos tomar las medidas correctoras oportunas.

Antes de la puesta en servicio del termofluido en el sistema de refrigeración del motor se constata como útil y extremadamente recomendable el realizar, en el laboratorio, un estudio previo de las características fisicoquímicas de la emulsión, aceite anticorrosivo emulsionable/agua, que se va a utilizar como “agua de refrigeración”. Este estudio previo sirve de filtro a la hora de la elección del aceite anticorrosivo emulsionable comercial a utilizar en su constitución y permite preestablecer los períodos de vigilancia sobre las características fisicoquímicas del “agua de refrigeración”, estos períodos se ajustarán en función de los datos obtenidos durante el funcionamiento del motor.

Actualmente la normativa de la empresa constructora, MTU, de los motores marinos de combustión interna sobre los que hemos basado el estudio recomienda la vigilancia a las 250 horas de funcionamiento con independencia del aceite anticorrosivo empleado en la constitución del “agua de refrigeración”. El programa de mantenimiento establece que transcurrido este tiempo se tomarán dos muestras del agua de refrigeración para su análisis, una para análisis “in situ” y otra que se enviará al Laboratorio. Los datos obtenidos se incorporan al software de seguimiento y diagnosis diseñado y controlado por el Astillero (NAVANTIA) constructor del buque. Tras el estudio realizado, generalizar este tiempo para cualquier aceite anticorrosivo emulsionable, en principio adecuado, parece algo excesivo si se trabaja sin conocer previamente el comportamiento de la emulsión formada. Recomendamos tras este estudio bajar el tiempo de vigilancia preestablecido a 170/200 horas de funcionamiento.

Los datos volcados al software permiten a los responsables del mantenimiento tomar las acciones correctoras más adecuadas en caso de desviaciones puntuales o accidentales de los parámetros óptimos de funcionamiento del sistema así como determinar el momento en que se ha producido la desviación y analizar sus causas.

Por último, de los dos aceites anticorrosivos emulsionables comerciales estudiados, el T.S2. no resulta adecuado para su uso de acuerdo a los requisitos preestablecidos: el pH en las emulsiones con un 1-2% de contenido de aceite no se encuentra dentro de los límites preestablecidos como óptimos por el fabricante.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.). Manual de Aguas para Usos Industriales. 3ª edición. México: Editorial LIMUSA, 1991. 456p. ISBN: 978-968-18-0451-0.
- [2] Bartz WJ. "Ecological and environmental aspects of cutting fluids". Lubrication Engineering. 2001. Vol.57-3p.13-16.
- [3] Bartz WJ. "Handbook of tribology and lubrication engineering. Dealing with cutting fluids". Tribologie und Schmierungstechnik. 2008. Vol.55-4p. 67-68.
- [4] Dado M. "Environmental risks associated with cutting fluids". Journal Strojirenská Technologie.2007. Vol.12 p.33-36.
- [5] Beceiro Yáñez, F.; González Iglesias, F. Motor propulsor Bazán-MTU-Modelo 16V 956 TB91. Escuela de Energía y Propulsión de la Armada. Dirección de Enseñanza Naval. 1997.
- [6] Federal specification. Cutting fluids: Emulsifiable oils. VV-C-846D, 27.09.2010. USA.
- [7] Federal specification. Cutting fluids: Emulsifiable oils. VV-C-846C, 19.08.2005. USA.
- [8] Federal specification. Cutting fluids: Emulsifiable oils. VV-C-846B, 16.10.1998. USA.
- [9] Federal specification. Cutting fluids: Emulsifiable oils. VV-C-846, 01.01.1987. USA.
- [10] Luo J, Ma L. "The film formation mechanism of high water-based emulsions". Conference Proceedings del STLE/ASME 2010 International Joint Tribology Conference, (San Francisco 17-20 de octubre de 2010), p.439-441. ISBN:978-079184419-9.
- [11] MTU\_ValueService Technical Documentation. Fluids and Lubricants Specification. A001061/34E. Germany, MTU Friedrichshafen GmbH: 2010. 106p.
- [12] MTL 5047 "Kühlmittelzusätze Emulgierbares Korrosionsschutzöl. Emulsifiable corrosion-inhibiting oils". Germany.
- [13] Navantia. Unidad Productiva Motores. Refrigerantes de Motor. NM-1984: 26.09.2007.
- [14] Schmid SR,Wilson WRD. "Lubrication mechanisms for oil-in-water emulsions". Lubrication Engineering. 1996.Vol.52-2 p.168-175.