



CONGRESO INTERNACIONAL DE
V DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL

Marzo 15 - 17 de 2017

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

CN Ricardo Lugo V.

PhD Mario Álvarez G.

PhD Bienvenido Sarria L.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Antecedentes:

Modernización Unidades tipo Fragatas clase Almirante Padilla incluye nuevo sistema de climatización

Especificaciones técnicas requerían equipos de igual capacidad.

Criterio de selección: costo inicial.

No se observaron oportunidades de ahorro en el nuevo sistema

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Características del sistema:

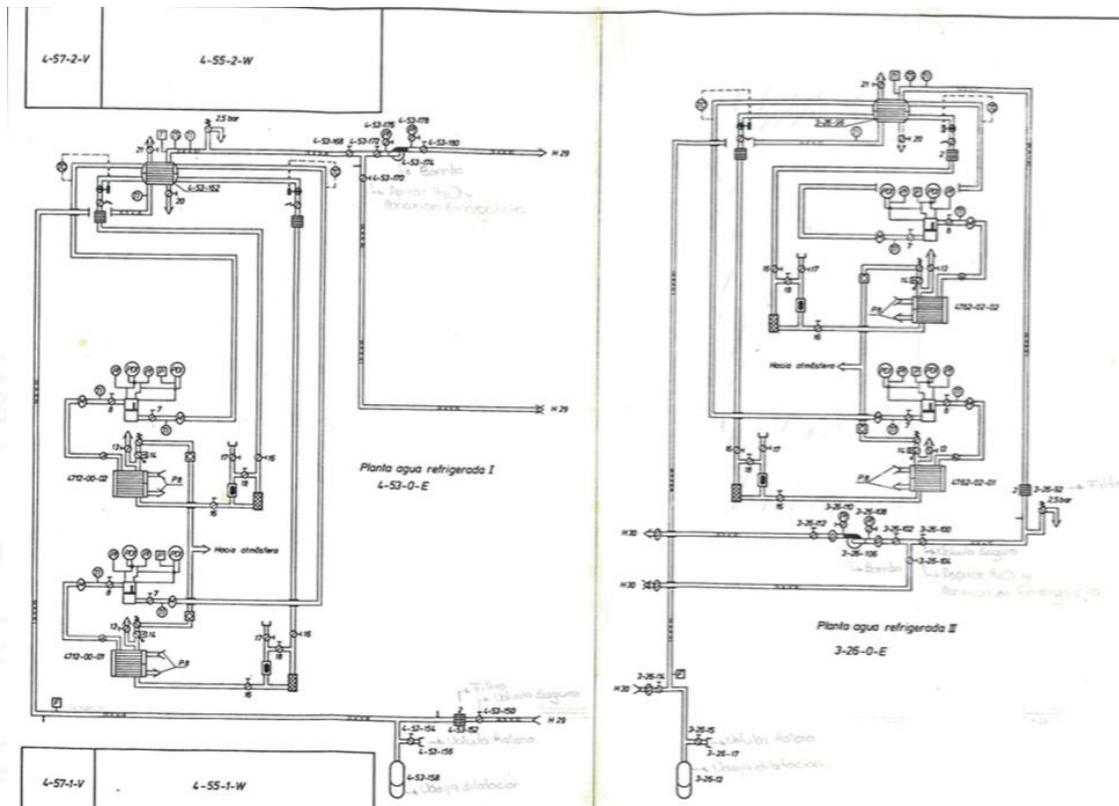
Dos (2) plantas tipo chiller de 457 kW (130 TR) cada una; una como respaldo.

Seis (6) unidades manejadoras denominadas (UMA) Z las cuales climatizan las zonas habitacionales y tienen capacidad para renovar y recircular el aire.

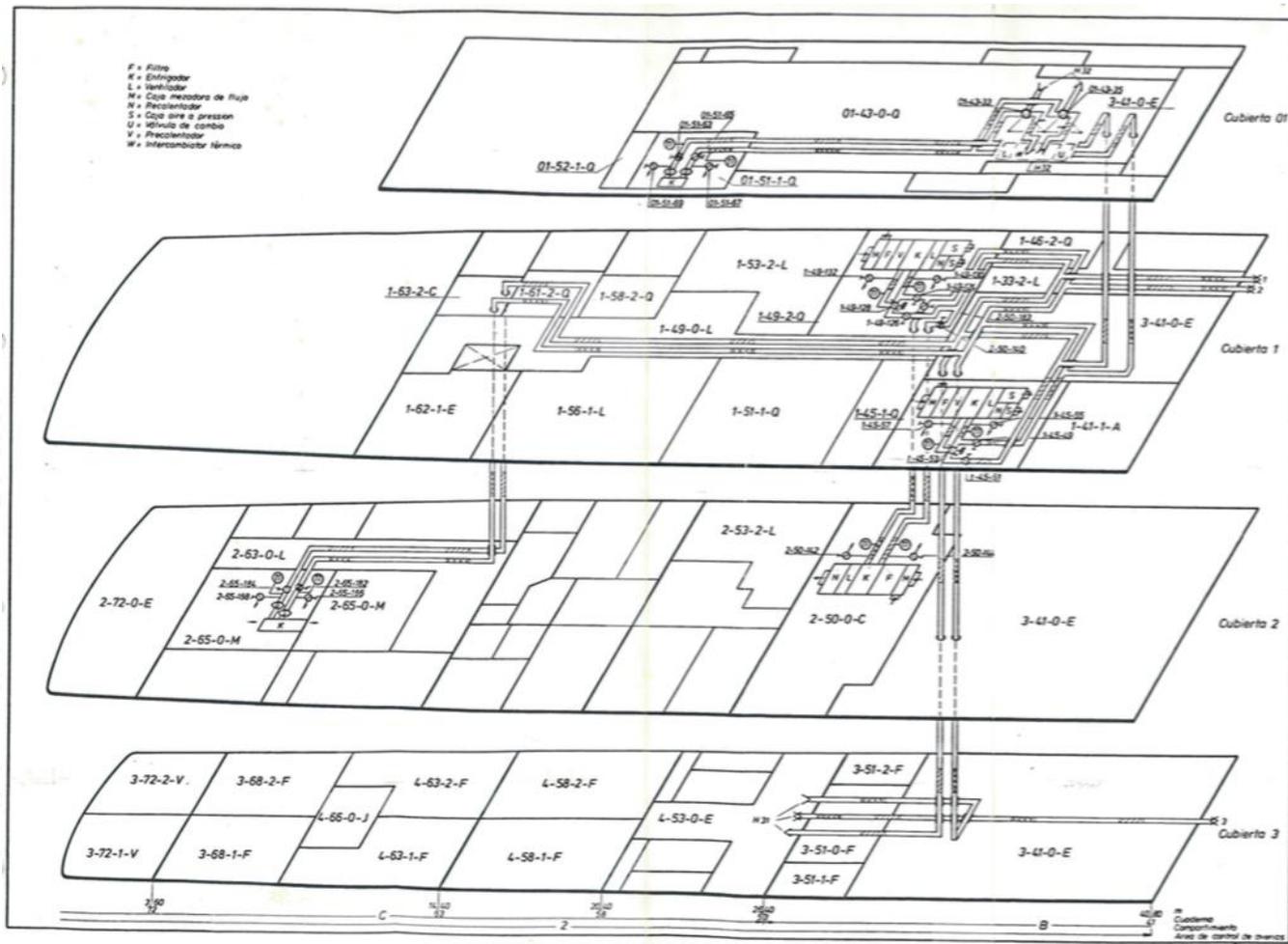
Una (1) unidad manejadora denominada L.

Ocho (8) unidades manejadoras denominadas U para talleres y bodegas; las unidades tipo L y U tienen capacidad de recirculación

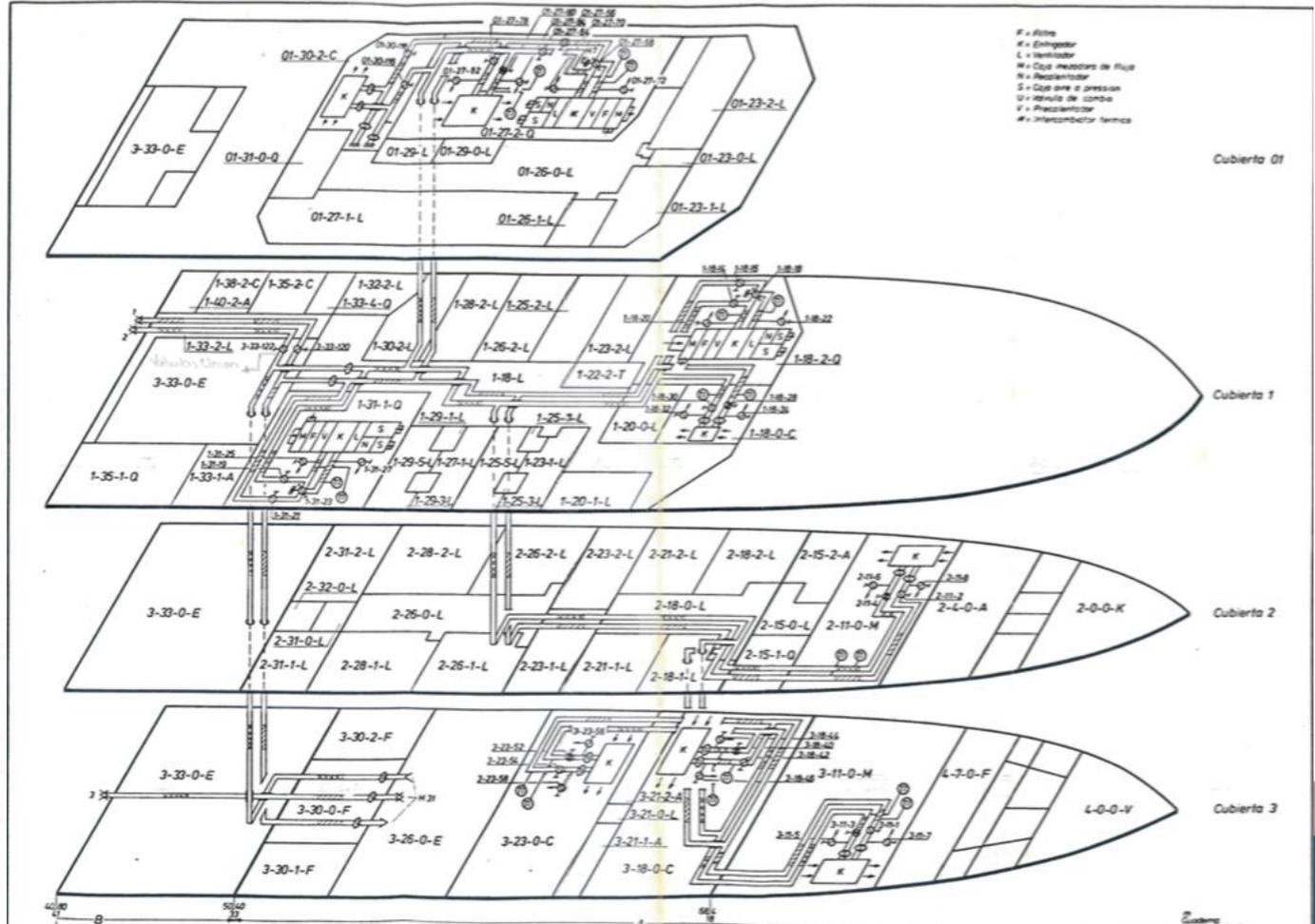
CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS



CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS



CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS



CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Tabla 2. Variación de temperatura de las láminas expuestas al sol

HORA	TEMPERATURA C		HR
	Horizontal	Vertical	%
7	29,15	29,60	89%
8	34,73	38,02	
9	43,25	41,84	
10	47,91	41,65	
11	52,80	41,88	
12	57,88	41,69	
13	62,95	41,50	
14	62,63	42,43	
15	59,83	44,45	
16	50,10	43,97	
17	42,70	38,68	

Fuente: resultados de la investigación.

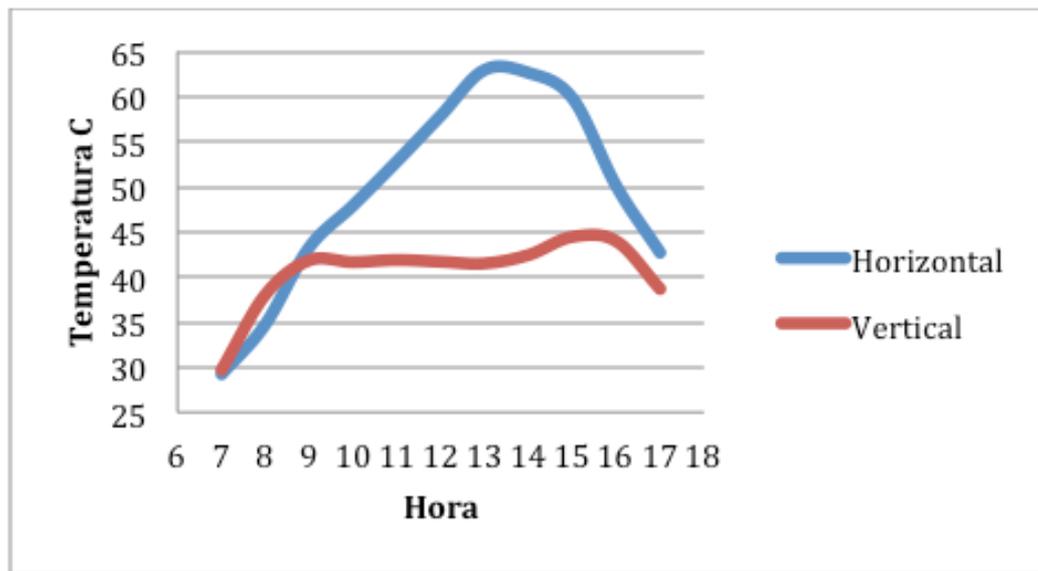


Figura 1. Variación de la temperatura superficial de la cubierta del buque.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Cálculo del sistema de climatización:

Temperatura exterior de bulbo se seco:	35 C
Temperatura exterior de bulbo húmedo:	27,7 C
Temperatura interior de bulbo seco:	25,5 C
Temperatura interior de bulbo húmedo:	18,3 C (HR 50%)
Temperatura de la lámina horizontal expuesta al sol:	63 C
Temperatura de la lámina vertical expuesta al sol:	52 C
Temperatura del agua de mar:	29,5 C

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Cálculo del sistema de climatización:

TIPO DE CARGA	ECUACION	VARIABLES	FUENTE DE DATOS
TRANSMISION POR PAREDES Y TECHOS	$q_{\text{tot}} = U \times A \times \text{CLTD}_c + (78 - T_r) + (T_o - 85)] f$ $\text{CLTD}_c = [(\text{CLTD} + \text{LM}) K]$	<p>CLTD: Diferencia de temperatura para la carga de enfriamiento según el grupo a que pertenece la pared</p> <p>LM: Corrección de acuerdo a la latitud del lugar y el mes de diseño seleccionado.</p> <p>K: Corrección por color</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.
VIDRIO	<p><i>Conducción</i> $q = U \times A \times \text{CLTD}_c$</p> <p><i>Radiación</i> $q = A \times \text{SC} \times \text{SHGF} \times \text{CLF}$</p>	<p>SC: Coeficiente de sombreado para vidrio</p> <p>SHGF: Factor de ganancia de calor Solar en Btu/h*ff².</p> <p>CLF: Factor de carga de enfriamiento Para vidrios.</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.
ILUMINACION	$q = 3,41 \times W \times \text{CLF} \times \text{Ful} \times \text{Fsa}$	<p>$\text{Ful} = W \text{ Instalado} / W \text{ usado} = 64/64 = 1$</p> <p>Fsa = Factor especial de iluminación depende del tipo de luminaria y balastro</p> <p>CLF = Factor de carga de enfriamiento. depende del # de horas encendida</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Cálculo del sistema de climatización:

EQUIPOS DE POTENCIA	$Q_{motor} = 2545 \left(\frac{P}{E_M} \right) \times F_{UM} \times F_{LM}$	<p><i>P</i> = La potencia nominal del motor en HP.</p> <p><i>E_M</i> = eficiencia del motor, como una fracción decimal menor a 1,0.</p> <p><i>F_{UM}</i> = El factor de uso se aplica cuando se conoce que el motor será usado de forma intermitente durante un tiempo significativo de no uso del total de horas de operación.</p> <p><i>F_{LM}</i> = Factor de carga que corresponde a la fracción de la potencia nominal del eje que está siendo desarrollada por el equipo bajo las condiciones de la carga de enfriamiento estimada.</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.
EQUIPOS MENORES	$q_{sensible} = q_{entrada} \times F_U \times F_R$	<p><i>F_U</i> = factor de uso</p> <p><i>F_R</i> = factor de radiación</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.
PERSONAS	$q_{sensible} = G_{sp} \cdot N \cdot CLF$ $q_{latente} = G_{lp} \times N$	<p><i>G_{sp}</i>, <i>G_{lp}</i>: ganancia de calor sensible y latente por persona respectivamente.</p> <p><i>CLF</i>: Factor de Carga de enfriamiento para personas</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.
INFILTRACION PUERTAS	$q_s = 1,1 \times CFM \times \Delta T$ $q_l = 4840 \times CFM \times \Delta W$	<p>ΔT: Diferencia de Temperatura = T_{exterior} – T_{interior}. °F</p> <p>ΔW: Diferencia de humedad específica en lb vapor de agua / lb aire seco. Los valores de W se obtienen de la carta psicrométrica.</p> <p><i>CFM</i>: Caudal de infiltración o ventilación de aire. (ff³/min).</p>	ASHRAE. (1989). Fundamentals Handbook. Atlanta, USA.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Resultado del cálculo del sistema de climatización:

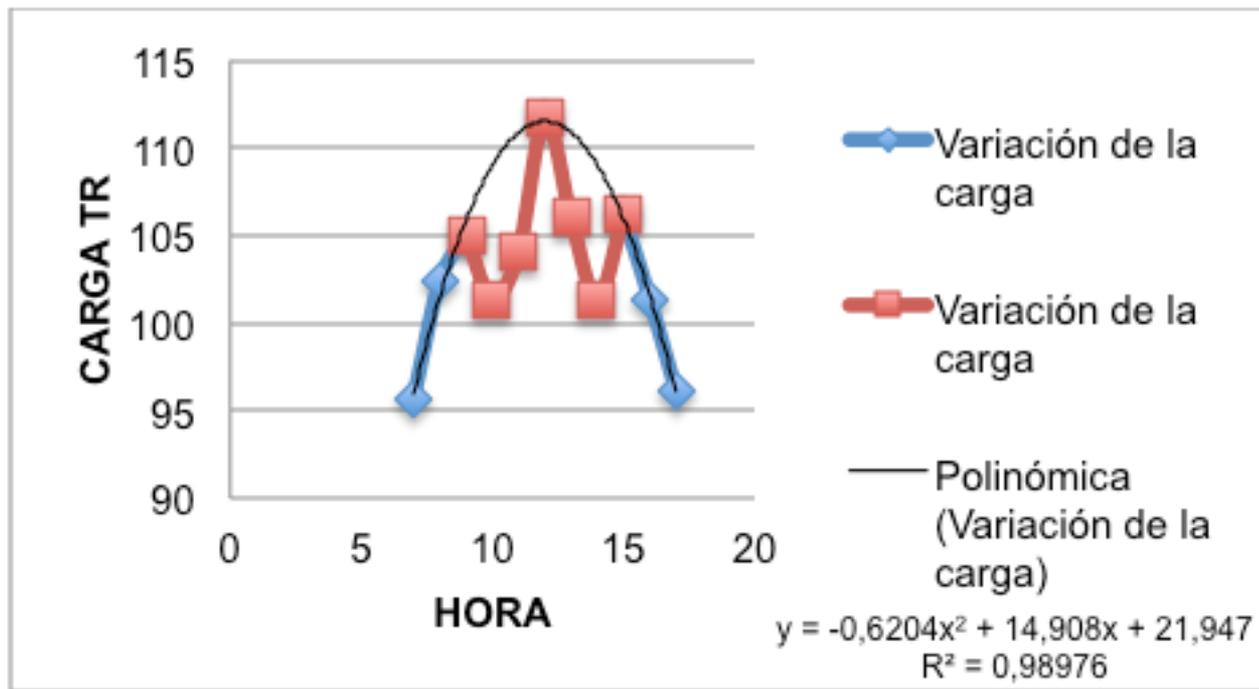


Figura 2 variación de la carga total en función de la hora.

Fuente: resultados de la investigación.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Variación de la carga de las UMA (Z):

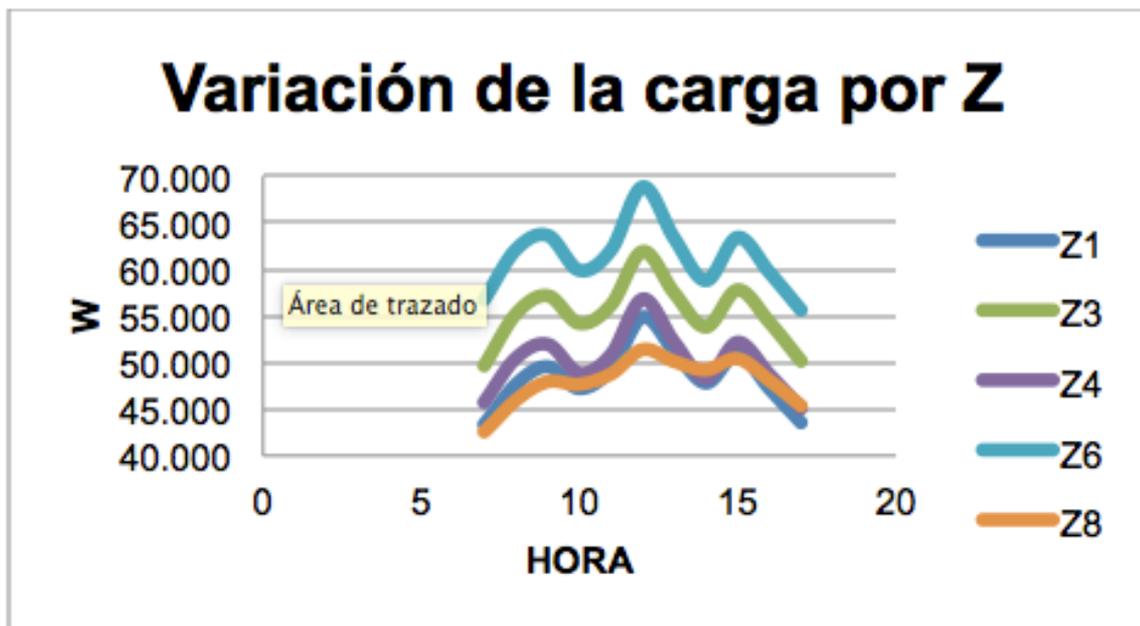


Figura 3 variación de la carga en función de la hora para los grandes consumidores.

Fuente: resultados de la investigación.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Variación del caudal de aire de las UMA:

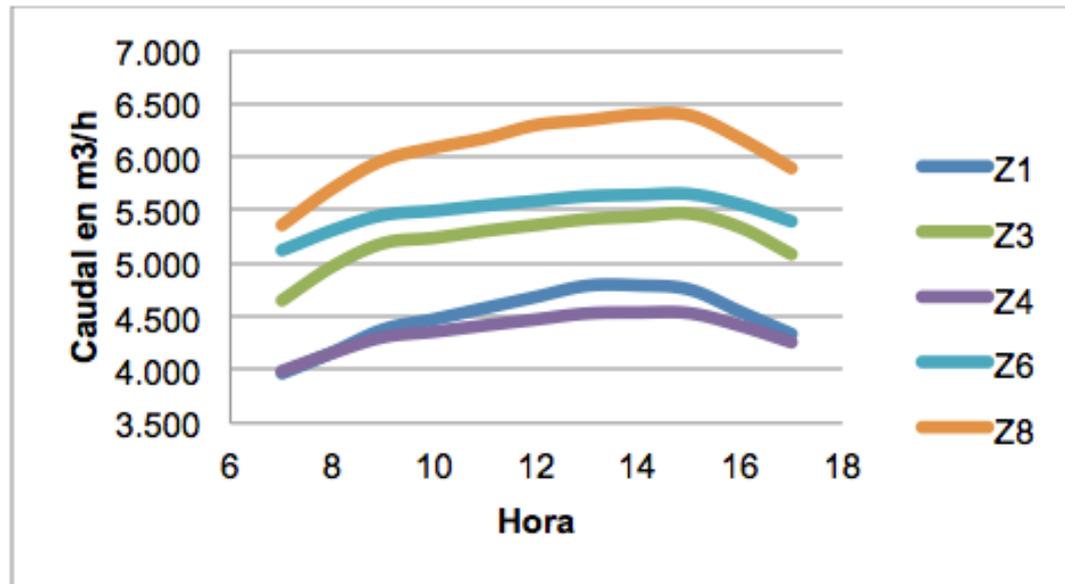
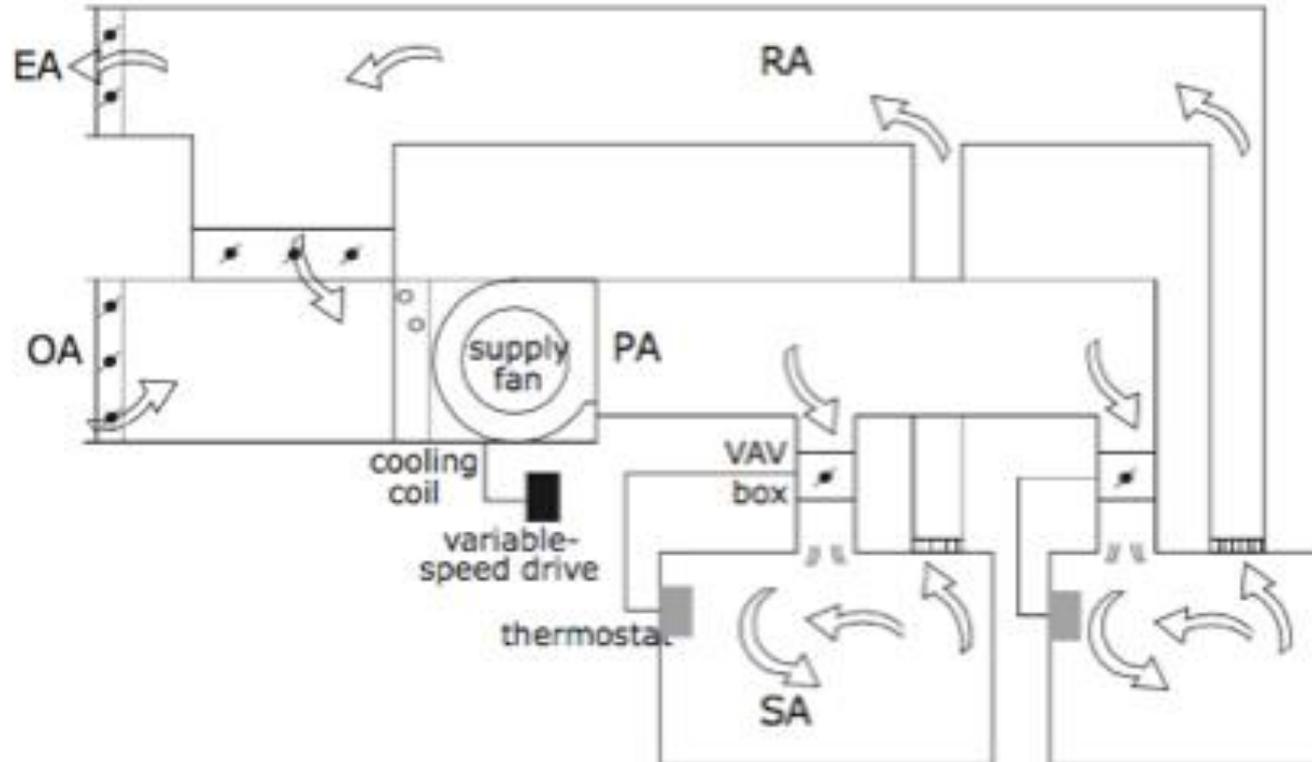


Figura 4. Variación de las cargas en los espacios climatizados en función de la hora .

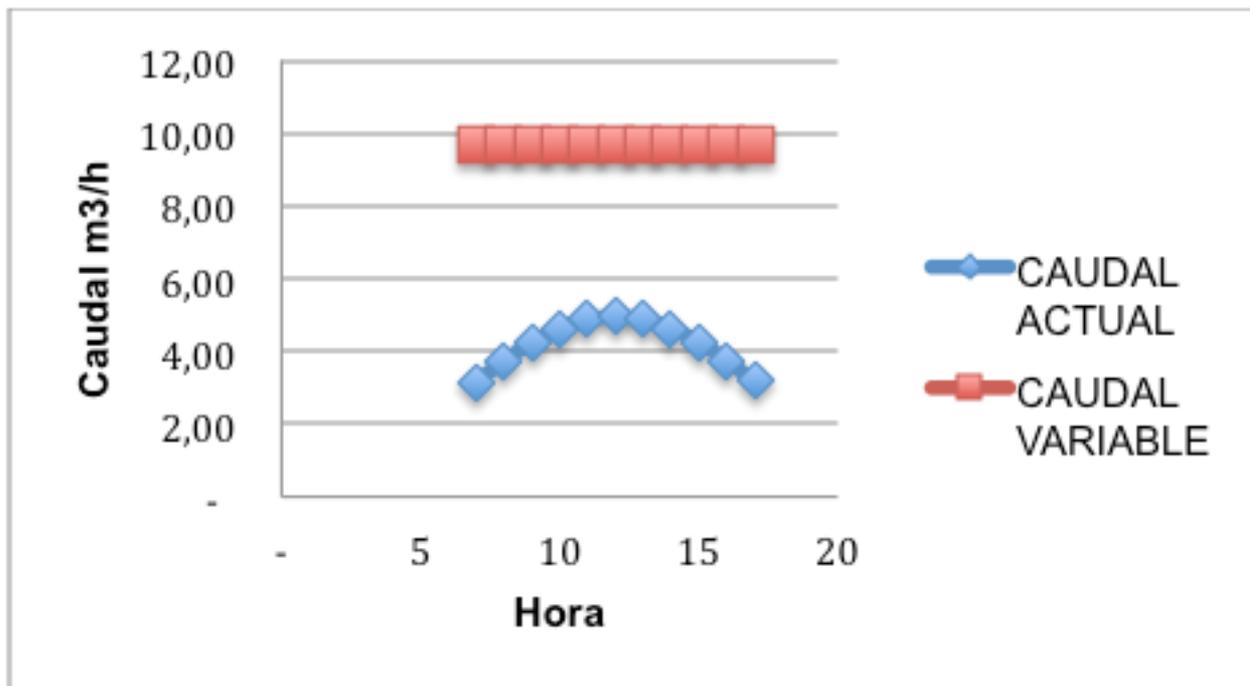
CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Sistema propuesto para variación de la carga de las UMA (Z):



CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Variación del caudal de agua fría:



Ecuación de la curva de caudal variable: $H = -0,337Q^2 + 8,0991Q + 11,928$ $R^2 = 0,98989$

Figura 7. Comportamiento del caudal en función de la hora del día.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Variación de potencia de la bomba de agua fría

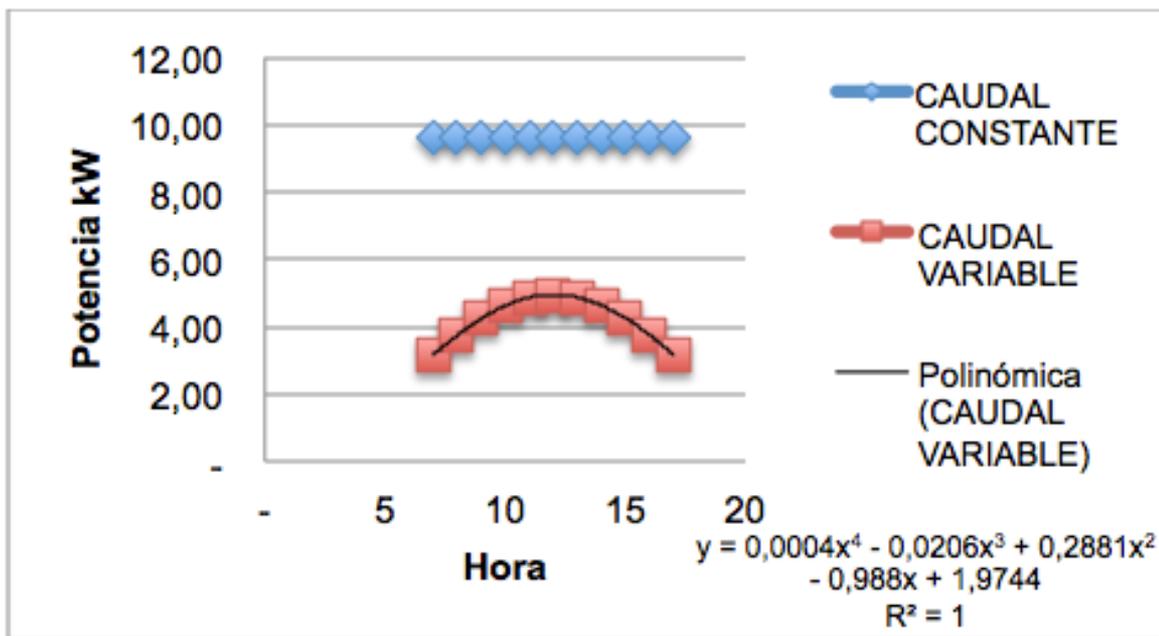


Figura 8. Variación de la potencia consumida por la bomba en función de la hora del día.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Comparación entre consumo actual y variable:

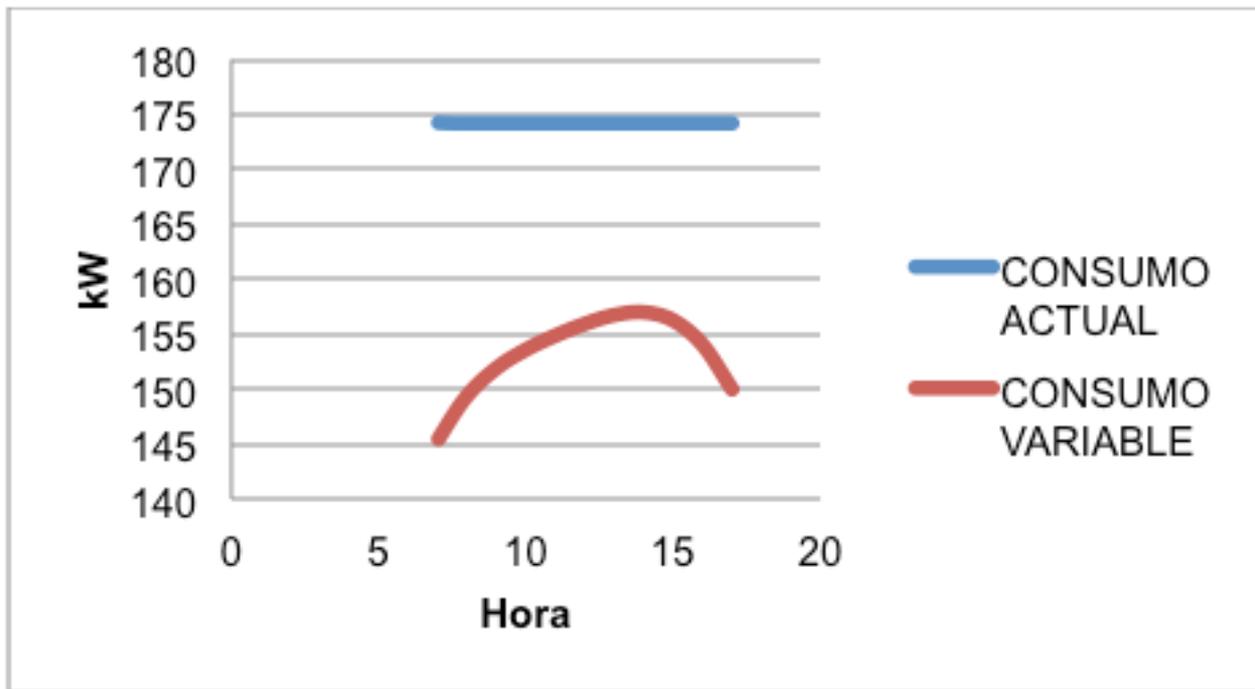
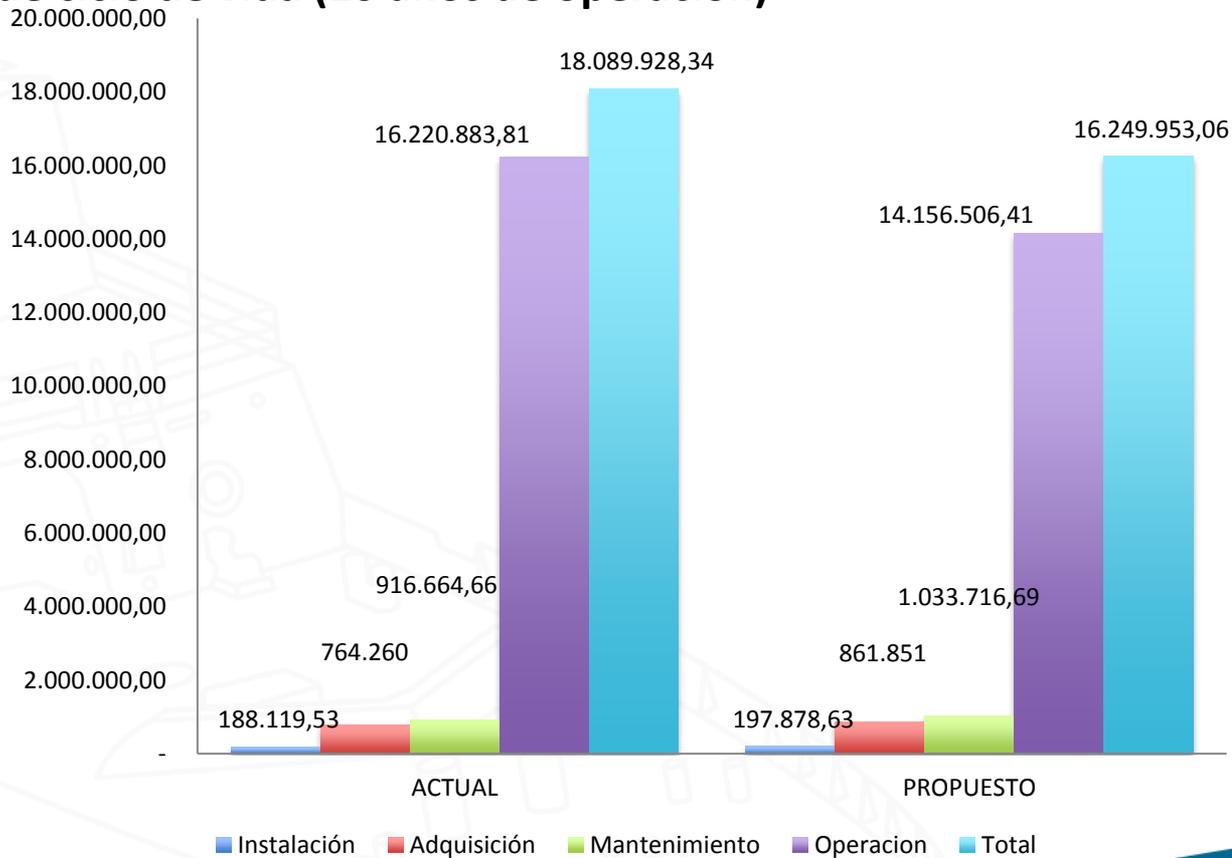


Figura 10 comparación entre el consumo actual y el consumo variable propuesto.

Fuente: resultados de la investigación.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Costo de ciclo de vida (20 años de operación)



CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

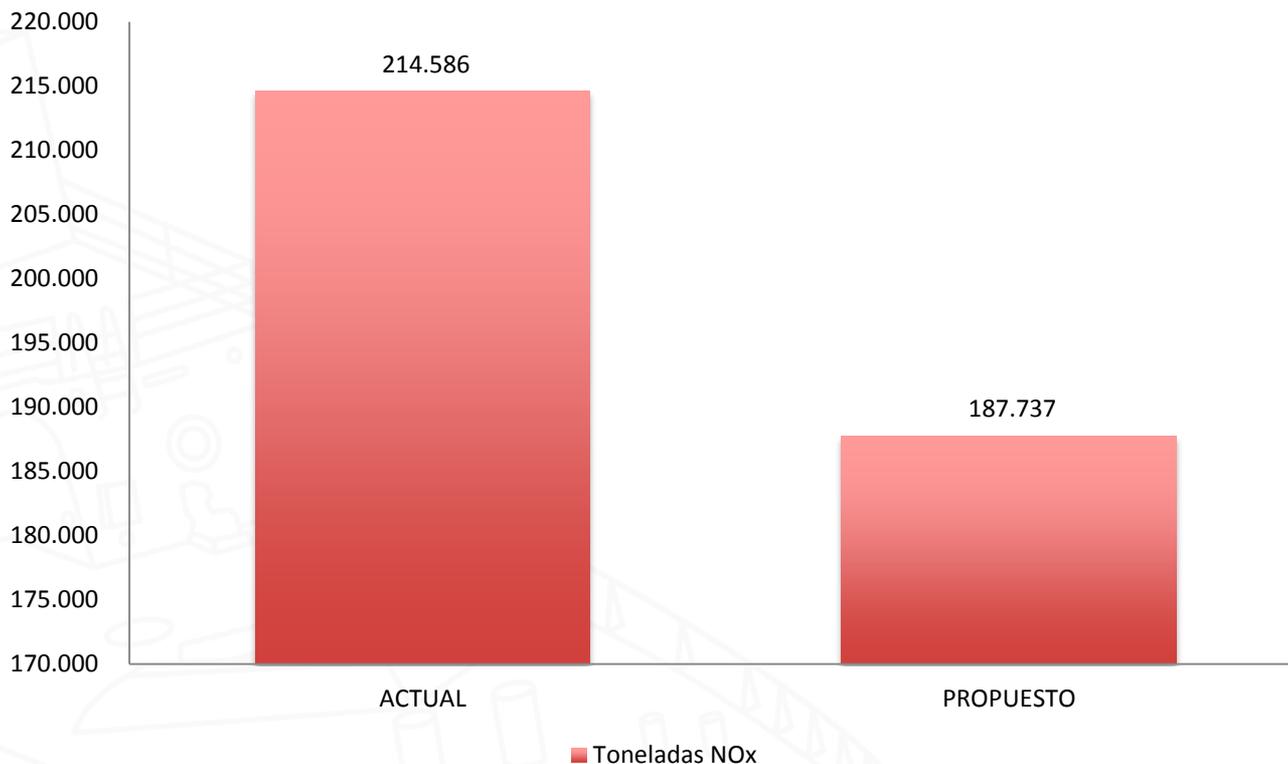
Costo de ciclo de vida, distribución de costos.



Figura 11. Distribución de los costos de la opción propuesta.

CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Impactos ambientales NOx acuerdo IMO



CÁLCULO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN MARINOS CON BASE EN AHORROS ENERGÉTICOS

Conclusiones:

Los métodos de cálculo de carga térmica actualmente utilizados no tienen en cuenta los cambios reales de temperatura de la lámina exterior de las embarcaciones en función de la hora y el lugar de operación, por lo cual el resultado del cálculo tendrá consumo constante y sobredimensionado.

Los costos de operación del activo corresponden al 87,12% de los costos totales en el ciclo de vida por lo cual los ahorros en operación tendrán impactos significativos en el costo de ciclo de vida.

Hay oportunidades de ahorro en la operación en los ventiladores de las Unidades manejadoras Z y en la bomba de agua fría pasando de un consumo energético constante a un consumo variable en función de la carga, la cual varía con la hora del día.

Integrando las medidas de ahorro propuestas a los ventiladores, tuberías y bombas, se estiman ahorros del 10,17% en el ciclo de vida del activo.

Debido al ahorro en combustible, los impactos ambientales se reducirían en 12,6% en emisiones de NOx en comparación con el sistema actual.



CONGRESO INTERNACIONAL DE
V DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL

Marzo 15 - 17 de 2017