

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS MOTORES DIESEL A BORDO DE LAS UNIDADES A FLOTE DE LA ARMADA NACIONAL

Ricardo A Lugo Villalba^a
rlugo@cotecmar.com

Miguel Calvache Ramírez"
calvache117@gmail.com

Yecson Omar Rico Granados"
yeri85@gmail.com

Fecha de recepción: agosto de 2012, Fecha de aceptación: enero de 2013

Resumen: La Armada Nacional de Colombia (ARC) destina anualmente una cantidad de dinero en la compra del combustible para mover sus unidades a flote, las cuales en su gran mayoría son propulsadas por motores de combustión interna. En este sentido se ha encontrado que a pesar que el rendimiento de este tipo de máquinas es muy bajo, del orden del 30 al 40%, las tecnologías de cogeneración permiten aumentar el rendimiento global hasta un 85% si se logra dar un uso útil a la energía residual generada por los mismos. En el presente estudio se encontraron algunas tecnologías de cogeneración en artefactos navales las cuales pueden ser aplicables a las necesidades de la institución como son la climatización con base en tecnologías por sorción¹, desalinización por evaporación, calentamiento de ACS² y generación de electricidad. Finalmente se contrastan los datos aproximados de cantidad de energía necesaria para cada tecnología dependiendo el número de tripulantes, carga térmica y otras características de cada buque con la energía residual disponible de motores propulsores y generadores para hallar algunos buques con mejores posibilidades de implementación. Así mismo se propone mejorar el manejo de la información técnica y registro de los parámetros de operación de las unidades creando sistemas de medición y documentación electrónica.

^a Ingeniero Naval, Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial, Cartagena, Colombia.

¹ Ingeniero Naval, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" Cartagena, Colombia.

² Término utilizado para agrupar los procesos de absorción y adsorción.

³ Agua caliente sanitaria

Palabras clave: Cogeneración, poligeneración, energía residual, buques, diésel, absorción, desalinización.

Abstract The National Colombian Navy expend big amount of money every year to buy fuel to move its vessels, which ones are propelled by internal combustion engines. In that way and however the performance of this kind of machines are very low, in order of 30 to 40%, the cogeneration's technologies allow grow up its global performance until a 85% if the rejected heat is usefully used. In the research some technologies of cogeneration on ships were founded and can be applied to solve some institution's necessities as the sorption refrigeration, freshwater makers, and heaters of water and generation of electricity. Finally, the approximated data of the amount of energy needed to each one technology, which depends of the quantity of people on board, cold load and another issues of each vessel, is contrasted with the available energy of its engines and thus find some war ships with better opportunities of implementation. As additional recommendation is proposed get in better the technical information management and register of the operation parameters of the ships, making measuring and electronic documentation systems.

Keywords: Cogeneration, ships, vessel, diesel, absorption, freshwater maker.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible en la Armada Nacional representa uno de sus mayores rubros (el segundo en gastos de funcionamiento), (Jefatura de Operaciones Logísticas - Armada República de Colombia, 2012) debido al consumo de los motores que se encuentran instalados en sus buques de guerra, así como al perfil de operación propios de la misión de la Armada Nacional referida a la presencia y soberanía en los ríos y mares de Colombia.

Sin embargo, al momento se observa que a nivel mundial existen varios lugares donde se han implementado sistemas que aprovechan la energía residual térmica de los motores de combustión interna para generar otro tipo de trabajo, en un proceso de cogeneración, trigeneración o poligeneración, para así producir calor y/o frío funcional para otros procesos que se requieran y obtener independencia de la energía eléctrica generada desde el combustible Diésel. Entre estos ejemplos se encuentran hospitales, hoteles, centros educativos y fábricas industriales, donde producen su propia energía eléctrica y aprovechan el calor para algunos procesos (calentamiento de agua para confort, para tratamientos médicos, pasteurización de productos etc.) y en otros casos incluso frío para refrigerar sus productos o climatizar sus instalaciones (García Garrido & Fraile Chico, 2008) , (Internacional EnergyAgency, 2008) .

Por lo anterior es necesario realizar un estudio en el tema para determinar de qué manera estas tecnologías existentes pueden ser aplicadas a los artefactos y unidades navales que la Armada Nacional posee en la actualidad o incluso entre las que planea construir acuerdo sus criterios de diseño. Por tanto se considera como problema formulado para el presente trabajo de investigación el saber qué ventajas ofrecen las tecnologías implementadas en el aprovechamiento energético en motores de combustión interna y como serían aplicables en las unidades navales a flote de la Armada Nacional.

2. ANÁLISIS DE LAS UNIDADES DE LA ARMADA NACIONAL PARA C °GENERACIÓN

Inicialmente se estudió a las unidades a flote de la Armada Nacional al obtener la información básica de cada una y técnica de motores, equipos de refrigeración y cantidad de personal en un proceso un poco largo debido a que ésta no se encuentra centralizada o actualizada en los sistemas de información que se tienen como lo es la plataforma SAP³. En este análisis se comprueba que el perfil

³SAPO software. <http://www.sap.com/index.epx> - plataforma de manejo integral de datos corporativos.

operacional de los buques de la ARC es muy variable entre cada uno debido a que se consideran operaciones donde no se requiere viajar de un puerto a otro y así mantener una carga de motor relativamente constante, sino que por el contrario se deben realizar pausas para establecer controles de área y demás patrullajes que se designen, al igual que no existe una correlación entre la potencia de los motores propulsores y los generadores (Figura 1) ni entre la cantidad de personal y la potencia eléctrica requerida a bordo (Figura 2), debido a que existen diferentes capacidades de operación (guerra submarina, aérea, de interdicción, de apoyo, etc.) que varían sustancialmente la cantidad de equipos y personal requerido.

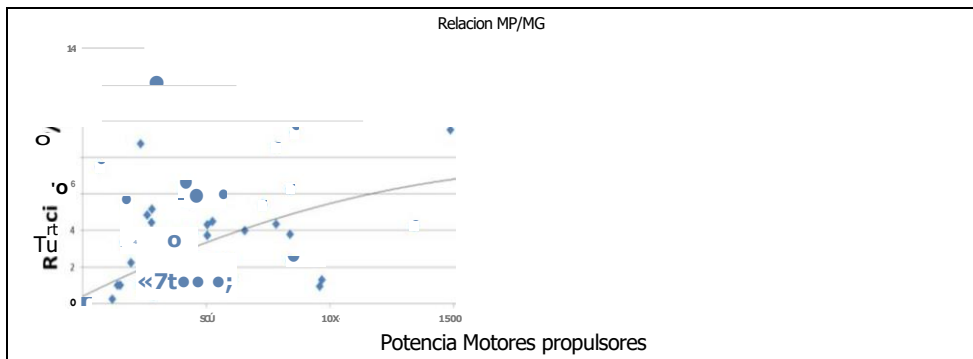


Figura 1. Relación MP/MG de las Unidades a flote de la ARC

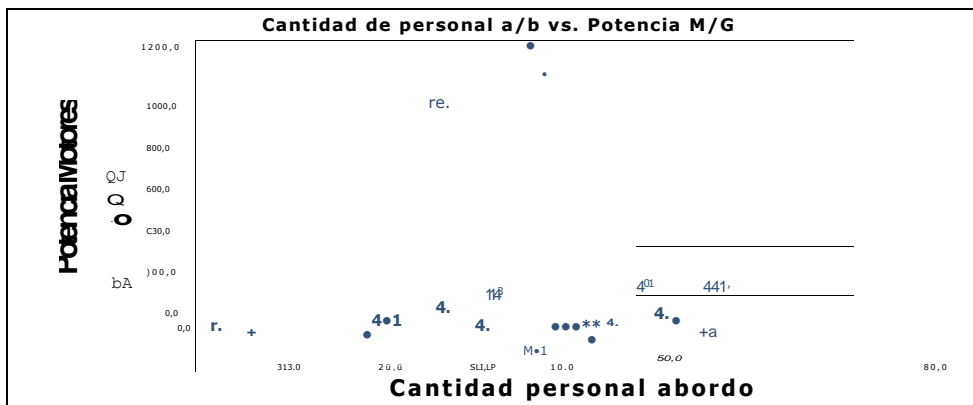


Figura 2. Comparación de la cantidad de personal a/b con la potencia de sus motores generadores

En el mismo sentido se indagó por conocer la eficiencia energética de los motores diésel y sus oportunidades de mejorar su rendimiento global, encontrando que en promedio se tiene un 65% de energía no aprovechada y que considerando las condiciones reales de intercambio de calor se puede lograr el uso de un 37% del total entregado por el combustible para cogenerar (Caterpillar), (García Garrido & Fraile Chico, 2008), (Internacional Energy Agency, 2008), (Wang, Zhang, & Peng, 2011). Es así que se determina acuerdo los rubros ejecutados en los últimos años que aproximadamente en la ARC se podría utilizar una energía que en la actualidad se está disipando al ambiente por un valor de \$4'136.548 USD⁴ aproximadamente, tal y como se puede ver en el diagrama 1, derivado del total del rubro utilizado en la compra de combustible. (Oficina de Planeación Logística - Armada Nacional, 2012).

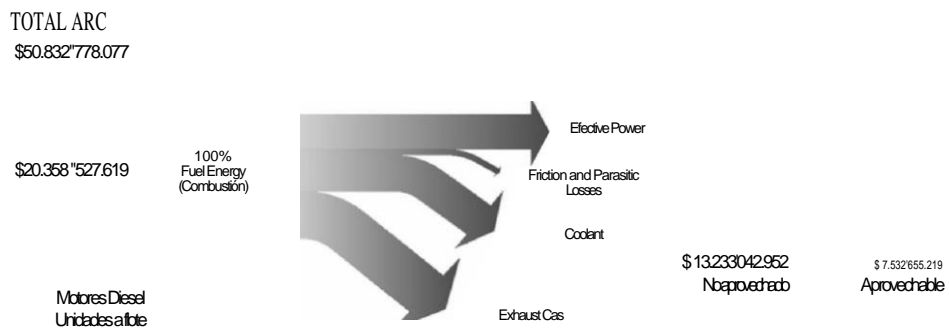


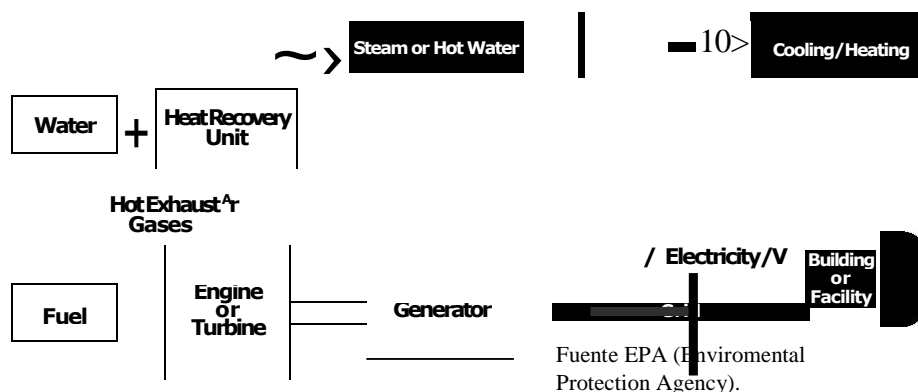
Figura 3. Distribución del rubro de compra de combustible en la ARC
Fuente. <http://www.cleargas.org/>

3 COGENERACION

En general la cogeneración procura utilizar una sola fuente de energía (en el caso estudiado el combustible) para producir dos o más procesos útiles (propulsión y/o generación y otro proceso). En la Figura 3 se muestra un ejemplo de cogeneración donde se produce electricidad y vapor a partir del combustible en una sola máquina principal.

⁴ Este valor se considera aproximado pues se deriva de un promedio de rendimientos y sistemas de escape entre las marcas de motores diésel más utilizadas en la Armada Nacional y no un estudio detallado de cada uno de ellos por separado. Tasa de cambio a fecha 03/DIC/12 — 1821.00 COP = 1 USD

En el caso estudiado, lo principal es entender cuáles motores pueden cogenerar y en qué se podría aprovechar el calor emitido. Para esto se entiende que por configuración, los más opcionados son los motores diésel los cuales se encuentran en cuartos de máquinas donde se pueden instalar equipos adicionales, contrario a los motores de gasolina fuera de borda que no permiten una instalación similar por su ubicación en la lancha y por tanto no es objeto de éste estudio.



Combined Heat and Power Partnership. Tomado de <http://www.epa.gov/chp/basic/index.html>

Figura 4. Diagrama general de cogeneración para un sistema de generación de electricidad

Por otro lado, a excepción del buque ARC Gloria, ningún otro buque está planeado para desarrollar operaciones en ambientes fríos y por tanto requieran calefacción, además que la necesidad de tener agua potable es casi constante para todos los buques y así aumentar su autonomía y bienestar. Por todo lo anterior se determinan que las tecnologías aplicables en las unidades a flote de la Armada Nacional son las de 1- refrigeración por sorción, 2- desalinización por evaporación, 3- calentamiento de ACS y 4- generación de electricidad.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada una de las tecnologías escogidas se estudiaron los diferentes avances, rendimientos, investigaciones y productos para lograr establecer unos valores de referencia en las necesidades de cada buque acuerdo sus datos particulares, desde un enfoque inicial y aproximado. Los criterios de estudio

establecidos son los mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de observación en las tecnologías de cogeneración analizadas

	REFRIGERACIÓN	DESALINIZACIÓN	ACS	GENERACIÓN
Motores generadores	SI	SI	SI	
Motores propulsores	SI			SI
Variables adicionales consideradas	Demanda de frío	Cantidad de personal	Cantidad de personal	Carga eléctrica del buque
Valores de referencia	Eficiencia equipos sorción = 0.5	20 gal/persona/día	9 litros/min Número de duchas	Eficiencia global = 0,0855 (intercambiador, turbina, alternador)

* Unidades Fluviales
 * Unidades en bahía
 * Instalaciones terrestres

ARC Gloria
 * Unidades para transporte de tropa

ARC Gloria
 * Todas las unidades a flote

* Grandes relaciones de MP/MG

Fuente: Elaboración propia

En general se estableció la potencia disponible de los motores para generar el 94,59% de la potencia nominal, debido a la relación entre éste

Potencia mecánica 0.35 – tipo de energías, determinada como Energía aprovechable para cogeneración $0.37 = 0.9495$;

lo anterior basado en el análisis de las energías aprovechables de los sistemas de enfriamiento del motor y gases de escape del mismo, considerando la temperatura mínima a la que pueden descender mencionados gases sin que se condensen y ocasionen corrosión a las tuberías, que dan como resultado una energía aprovechable promedio igual al 37% de la que ingresa por concepto de combustible. (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

Como resultado de estos análisis iniciales se establecieron las siguientes

relaciones destacadas así como el número total de buques que presentan relaciones

superiores a 1, dato que se encuentra al final de cada tabla como "Total buques".

Formulación para desalinización:

Potencia requerida para desalinización =PRD

$$PRD = \text{Cantidad de personal} \cdot 30 \frac{\text{gal}}{\text{litro}} \cdot 3.785 \frac{\text{litro}}{\text{persona} \cdot \text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{\text{galón} \cdot 24 \text{ horas}} \cdot \text{kWh}^*$$

Tabla 2. Mayores relaciones para desalinización (Unidades navales)

UNIDAD	Potencia disponible propulsores/Potencia requerida para desalinización
ARC Pijao*2	71,88595635
ARC Providencia	14,61875196
ARC José María Palas	12,32363917
ARC José María García y Toledo*2	11,71026674
ARC Almirante Padilla*4	11,13748195
ARC Malpelo	10,9153801
ARC 20 De Julio	9,493495067
ARC Cabo Tiburón*2	9,096192065
ARC 11 de Noviembre	7,501889627
ARC Quitasueño	7,318916709
TOTAL BUQUES	36

Fuente: *Elaboración propia*

*Las unidades señaladas con asterisco representa el número de buques "hermanos" o desarrollados en el mismo astillero bajos los mismos diseños y características técnicas. (Aplica para las tablas 2 a 6)

La potencia del A/A tomada para cada buque, corresponde a la demanda de frío, es decir las toneladas de refrigeración necesarias convertidas a valores de kW pero no representan el consumo eléctrico realmente, pues para los equipos de refrigeración por compresión se manejan eficiencias altas de 0.8 - 1.2 kW por tonelada de refrigeración aproximadamente, mientras que en los equipos de sorción se manejan rangos de 5.25 kW por tonelada de refrigeración, o sea una eficiencia de 0.66 aproximadamente, por lo que la potencia disponible se multiplica por éste factor y se divide por la carga de frío del buque.

Tabla 4. Mayores relaciones para desalinización (Unidades fluviales)

UNIDAD	Potencia disponible propulsores/Potencia requerida para desalinización
ARC Tenerife*8	26,15155219
PRF 320*3	18,83669594
ARC TBT 387*3	18,22906058
ARC CP. Filigonio Hichamon	11,89323965
ARC Diligente	6,587025039
TOTAL BUQUES	46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Mayores relaciones para refrigeración por sorción (Motores propulsores)

UNIDAD	Potencia disponible propulsores/Potencia requerida de refrigeración
ARC Arica*3	135,2000362
ARC TBT 387*	60,84001631
ARC Medardo Monzón Coronado	48,30943439
ARC Cabo Tiburón*2	45,29009474
ARC TECIM Jaime E. Cárdenas Gómez	45,04854757
ARC Rafael del Castillo y Rada	40,15718385
TOTAL BUQUES	78

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Mayores relaciones para refrigeración por sorción (Motores generadores)

UNIDAD	Potencia disponible propulsores/Potencia requerida de refrigeración
ARC José María Palas	4,9978935
ARC TE Juan Lucio*3	4,2611428
ARC Bahía Cupica*2	3,1959523
ARC Cabo Tiburón*2	2,8559933
ARC TEFIM Juan Ricardo Oyola Vera	2,6642857
ARC ProvidenciaARC CPCIM.	2,6631904
Guillermo Londerio Vargas*2	2,198035
TOTAL BUQUES	36

Fuente: Elaboración propia

Para la generación de electricidad se toma como base la energía disponible de los motores propulsores, multiplicando por algunos factores de eficiencia de las máquinas ser utilizadas y así tener una potencialidad de generación eléctrica.

Potencia motores $x a \times b \times c$

$a = 0.92$ (Eficiencia alternador)

$b = 0.9$ (Eficiencia intercambiador de calor, evaporador)

$c = 0.1$ (Eficiencia turbina de vapor).

En esta última se deja un valor muy bajo para tener un factor de seguridad respecto a la eficiencia de estas turbinas normalmente, sobre todo teniendo en cuenta que la temperatura con la que se va a evaporar es relativamente baja (400°C de los gases de escape) y se encuentra que la energía del vapor no será muy alta.

Tabla 7. Mayores relaciones generación de electricidad

UNIDAD	Potencia disponible propulsores/Potencia eléctrica del Buque
ARC Arica*3	15,89445
ARC Almirante Padilla*4	3,85837
ARC TBT 387*3	3,12109
ARC 11 de Noviembre	2,11645
ARC TECIM Jaime E. Cárdenas Gómez	1,85409
ARC Medardo Monzón Coronado	1,85341
PRF 320*3	1,56055
ARC Rafael del Castillo y Rada	1,54121
ARC Cabo Corrientes	1,52325
ARC Tenerife*9	1,44437
ARC CS. Carlos Rodríguez	1,39650
ARC Valle del Cauca	1,02031
ARC Cabo Tiburón*2	1,01689
ARC Manacacias	1,01689
ARC Vengadora	1,01147
TOTAL BUQUES	33

Fuente: *Elaboración propia*

Para calentar un flujo de 8 gal/persona/día como ACS (Agua caliente sanitaria) para la ducha, en un flujo que surta a una cantidad de duchas igual a

1 (cantidad de personas), se requiere el siguiente valor de calor

$$= \frac{\text{Cantidad de personal}}{\text{min}} \cdot \frac{9 \text{ litros}}{\text{minuto}} \cdot 1000 \text{ g/litro} \cdot 1 \text{ cal/g} \cdot (50^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}) \cdot \frac{4.1868 \text{ J}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ s}} \cdot 60 \text{ s} \cdot 1000 \text{ w}$$

Lo anterior teniendo en cuenta que Por norma de clasificación ABS "CREW HABITABILITY ON SHIPS" se debe tener de una ducha por cada 6 tripulantes y un aumento de 20°C es suficiente para dar un confort al personal en la ducha.

Como resultado el 100% de los buques cumple éste requerimiento para los motores propulsores y un 82% para los motores generadores.

5 CONCLUSIONES

En el ámbito naval ya existen tecnologías de aprovechamiento sobre todo las difundidas por los buques mercantes en calentamiento de carga y espacios habitables. En los buques de la ARC se detectó un gran potencial de implementación y se recomienda el estudio a profundidad y detallado en cada una de las alternativas estudiadas (refrigeración por sorción, desalinización, ACS — HVAC y generación de electricidad) recomendando algunos buques en específico para cada caso.

Se recomienda realizar proyectos de investigación encaminados a determinar viabilidades de implementación de sistemas de cogeneración de energía eléctrica y refrigeración para las instalaciones militares de la Armada Nacional y así disminuir costos de funcionamiento y tener planes alternos en caso de blackout para no reducir su seguridad física.

REFERENCIAS

ANES (ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGIA SOLAR). (s.f.). Obtenido de: <http://www.anesmichoacan.mx/anes2009/jueves10sept2009/4Poligeneracion%20de%20energia%20y%20agua%20%20estado%20de%20las%20tecnologias%20y%20posibles%20aplicaciones.pdf>.

Caterpillar. (s.f.). Colling System -Application and instalation guide (Manual).

Federación de la Energía de la comunidad de Madrid - Fenecom. (s.f.). *Guía de la cogeneración*. Obtenido de <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Cogeneracion-fenercom-2010.pdf>

García Garrido, S., & Fraile Chico, D. (2008). *Cogeneración. Diseño, operación y mantenimiento de plantas*. España: Diaz de Santos.

Internacional Energy Agency. (2008). *Combinated Heat and Power Evaluating the benefits of greater global investment*. Paris.

Jefatura de Operaciones Logísticas - Armada República de Colombia. (2012). *Orden Administrativa 001*.

Oficina de Planeación Logística - Armada Nacional. (2012). *Envío información estadística rubro de compra de combustible*. Bogotá D.C.

Wang, T., Zhang, Y., & Peng, Z. (2011). A review of reseraches on thermal exhaust heat recovery with Rankine cycle.