

PROPULSION DIESEL Y TURBOGAS DE ACOPLAMIENTO HIDRODINAMICO

Julio Vergara Aimone*



Introducción

Este trabajo describe las características y atributos del sistema de propulsión DAG-HD (Diesel And Gas, de acoplamiento o combinación HidroDinámica), y sus propulsores. Esta es una

planta propulsora de concepción reciente en su utilización como sistema integrado, pero relativamente antigua si se consideran sus componentes en forma separada, siendo apropiada, en general, para la propulsión de buques de guerra, desde patrulleras hasta fragatas. Una de las características más obvias de este sistema propulsivo es que combina ventajosamente algunas de sus similitudes a una planta CODAG (COmbined Diesel And Gas) con otras de una planta CODOG (COmbined Diesel Or Gas), compensando sus respectivas desventajas.

Antes de describir esta planta, conviene destacar que un buque de guerra es un gran sistema en el cual interactúan distintos subsistemas, en un compromiso frente a un cupo limitado de espacio, peso, rendimiento y recursos. En otras palabras, el buque de guerra moderno no es la suma de un: "sistema plataforma móvil" más un "sistema de armas" y un "sistema de soporte", sino

que es un producto de tales factores, lo que significa que una determinada planta propulsora puede degradar o mejorar el rendimiento de los otros sistemas y subsistemas. Por ello, dicha planta debe ser vista, analizada o diseñada como un ente integrado al buque, considerando sus beneficios y efectos adversos en los demás subsistemas. Esto resulta más claro a la inversa: si un diseñador define un buque con un cierto desempeño operativo, afectará obligatoriamente la naturaleza y rendimiento de los distintos subsistemas, entre ellos la planta propulsora, con sus fuentes de poder, sus dispositivos de reducción y reversión y, en forma especial, sus propulsores. Esta lógica, que parece más evidente en sistemas muy comprometidos, tales como un avión de combate o un submarino de propulsión nuclear, también se aplica en buques de guerra de superficie, sólo que su diseño es algo menos interdependiente, lo cual permite más grados de libertad y eventualmente acepta desajustes menores respecto del rendimiento óptimo.

Así como hay factores de compromiso entre la planta propulsora y el resto de los sistemas del buque, entre los cuales se resalta el rendimiento y autonomía, también existen factores de compromiso entre la fuente de poder y los propulsores, el tren de transmisión y el sistema de gobierno, entre los que destaca la velocidad rotacional

* Capitán de Fragata, Licenciado en Ciencias Navales e Ingeniero Naval Mecánico (A.P.N.). M.B.A. de la Universidad Adolfo Ibáñez. Ph.D. en Nuclear Materials Engineering, M.Sc. en Naval Architecture and Marine Engineering, M.Sc. en Materials Engineering, y M.Sc. en Nuclear Engineering del Massachusetts Institute of Technology. Profesor de Posgrado de Arquitectura, Construcción e Ingeniería Naval de la Academia Politécnica Naval.

óptima de cada elemento y la geometría y posición del propulsor. De igual modo, existe compromiso entre los elementos de la planta propulsora, donde sobresalen la confiabilidad, redundancia, mantenibilidad, disponibilidad y simplicidad de los componentes integrados y su soporte técnico, el consumo específico de combustible, el régimen de operación, la aceleración y reversibilidad, la densidad de potencia en peso y volumen, y la interrelación con sus equipos auxiliares.

A pesar de la restricción por compromisos, en este trabajo se intentará inicialmente dar una descripción del sistema propulsivo relativamente desacoplado del resto del buque, y más adelante se enunciarán algunas interrelaciones con los otros subsistemas, ejemplificándolo, hacia el final de éste, en los elementos de la particular planta propulsora de las nuevas corbetas y fragatas alemanas MEKO clase A. Para explicar esta arquitectura, conviene situarse en una planta propulsora CODAG, que tiene el atributo de balancear las conocidas ventajas y desventajas de la propulsión Diesel y la propulsión turbogás, en un amplio espectro de velocidades, como son: el consumo específico y autonomía razonables a velocidades moderadas (potencia relativamente baja) al ser impulsado por la planta Diesel, con emisiones de gases de baja energía, y por otro lado una alta densidad de potencia, en peso y volumen, con menores sollicitaciones termomecánicas para la operación a alta velocidad, al ser impulsado por la turbogás, además de proveer al buque una buena capacidad de aceleración y un bajo nivel de ruido. Lo anterior, se cumple con maquinarias cuyo costo específico de inversión es relativamente parejo, típicamente alrededor de los 300 US\$/kW instalados.

En cuanto a economía de operación, esta combinación compensa la ventaja de consumo específico de combustible relativamente uniforme en casi todo el espectro de potencia del motor Diesel, con

la simplicidad de mantenimiento de la turbogás, justificándose cuando el perfil de operación del buque es poco intensivo y la utilización de velocidades extremas es circunstancial. Si el costo del combustible no es relevante para una armada, esta modalidad no se justifica, recomendándose una planta propulsora con un conjunto de turbogás de crucero y otro de turbogás de potencia, tipo COGOG (COmbined Gas Or Gas), como es el caso de la mayoría de las fragatas y destructores estadounidenses e ingleses, o una equivalente con sincronización de velocidades, tipo COGAG (COmbined Gas And Gas). Por otro lado, si el costo del combustible fuera crítico, pero se pudiera tolerar un mayor gasto y complejidad de mantenimiento, entonces se permite la propulsión basada sólo en motores Diesel, en una configuración propulsiva CODAD (COmbined Diesel And Diesel), como se observa típicamente en lanchas y corbetas europeas. Esta alternativa no es usual en buques más grandes, cuando hay limitaciones de volumen y peso para propulsión.

En el caso de los países en desarrollo, los costos de combustible y de mantenimiento son muy relevantes, como también lo es el costo de inversión, lo cual obliga a optimizar el tamaño y volumen interno del buque. Por ello, una planta combinada con motores Diesel y turbogás es una solución adecuada. Hoy, se observa un marcado crecimiento de la experiencia mundial con turbogás, en diferentes industrias, con una experiencia global de más de 50 años, de los cuales se registran más de 40 años en buques de guerra.

Descritos los componentes básicos de las plantas CODAG y CODOG, falta entonces señalar la modalidad de combinación de las fuentes de poder. La planta CODAG utiliza la propulsión Diesel hasta la velocidad de crucero, y a partir de esa "agrega" la potencia de las turbinas a gas. Esta configuración es ventajosa desde el punto de vista del peso y volumen instalado, evitando adquirir potencia que no se utiliza, y por ello resulta una

planta relativamente compacta y liviana. La planta CODOG, típica en fragatas europeas, sustituye los motores Diesel sobre la velocidad de crucero, por las turbogás, lo que implica adquirir turbinas más poderosas.

En ciertos diseños CODAG y CODOG, predominante en corbetas o fragatas con velocidades máximas inferiores a 30 nudos, se puede interconectar los ejes propulsores, de manera de utilizar un solo motor Diesel a velocidad económica, moviendo ambos ejes propulsores, y además utilizar una sola turbogás sobre una caja reductora cruzada, que también puede accionar ambos ejes. En el particular diseño de una turbogás y ejes interconectados, las diferencias de las cajas reductoras para propulsión CODAG y CODOG no son muy visibles. Las plantas CODOG deben alternar los motores Diesel y la turbogás, al acelerar y frenar alrededor de la velocidad de transición, mientras que la planta CODAG sólo debe agregar o quitar la turbogás en este tipo de maniobras. Una planta CODAG puede operar como CODOG, excepto para máxima velocidad, en que requiere toda la potencia instalada.

No obstante, existen algunas diferencias prácticas entre las configuraciones CODAG y CODOG. La primera posee una caja reductora más compleja ya que debe sincronizar y sumar las potencias Diesel y turbogás, sobre la velocidad de crucero, aunque el uso de hélices de paso controlable (CRPP) y de coplas sincrónicas facilita este proceso. Las plantas CODOG usualmente poseen motores Diesel de menor potencia, para reducir su costo inicial, con lo cual las velocidades de tránsito con motores Diesel son más bajas, en un par de nudos, que con una CODAG. La planta CODOG es más simple de adaptar al propulsor, ya que se diseña la caja reductora respectiva sin depender del diseño de la caja de la turbogás. La planta CODAG debe acoplarse en todo el rango de potencia, lo cual hace que los motores operen en forma limitada a velocidades rotacionales intermedias. Esta limitación puede compensarse con una

tecnología de reducción un poco más compleja y cara, al utilizar una caja reductora de doble relación de engrane (two step-gear), la cual permite ajustar las razones de velocidades de rotación del motor Diesel y de la turbogás. Esta solución es deseable cuando el costo del combustible es alto o su costo futuro es incierto. La planta CODAG en su versión two step-gear, se incorporará a partir de la fragata alemana clase Sachsen (F-124), en construcción.

El Sistema de Propulsión DAG-HD.

Este sistema consiste simplemente en asignar a cada fuente de poder su propio propulsor, acoplando la potencia en el medio marino, lo que elimina la relativa complejidad del sistema de reducción cruzado tipo "And", logrando plantas propulsoras CODAG (y también CODAD y COGAG) más simples. Por ello, al sustituir el acoplamiento mecánico por uno hidrodinámico externo, no justifica el prefijo "CO" del acrónimo de las combinaciones, quedando las anteriores como DAG (y también DAD y GAG). Sólo para claridad, se le agrega el sufijo HD.

Este sistema propulsivo está permitido cuando no existen interacciones físicas o hidrodinámicas que degraden la eficiencia o pongan en peligro la integridad de los propulsores, y se justifica cuando la suma de las potencias desarrolladas (P_D) por cada uno de estos supera la potencia desarrollada por un propulsor único con las fuentes de poder acopladas mecánicamente, o cuando hay otros beneficios operacionales, como por ejemplo bajar el nivel de ruido o navegar en aguas someras. Como la planta propulsora usualmente tiene fuentes de poder para baja potencia y otras para alta potencia, es lógico que los respectivos propulsores sean los más eficientes para los distintos niveles de potencia o velocidad. Estos pueden ser típicamente hélices de tipo tornillo, hélices en bulbos externos (movidas por motores eléctricos, y soportadas en hidroplanos acimutales para gobierno sin timón), o

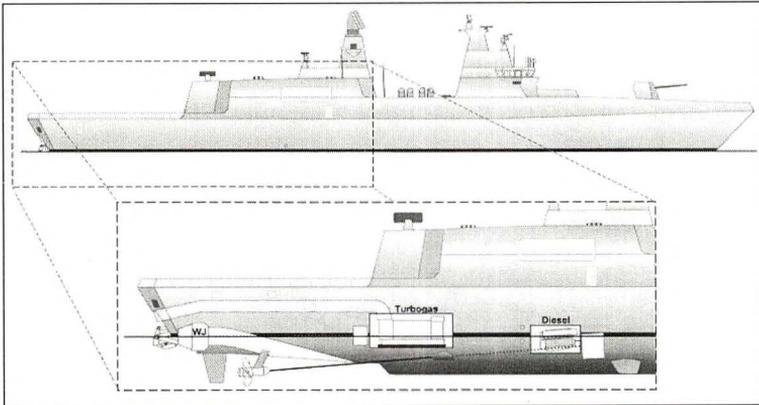


Figura 1. Detalle de la propulsión DAG-HD en tres ejes de una fragata.

water jets (propulsores "a chorro"), con o sin capacidad de gobierno y reversión.

En particular, el tipo de propulsión de las corbetas y fragatas alemanas MEKO clase A, es el que se muestra en la figura 1 (nótese los propulsores y fuentes de poder).

Esta planta consiste en dos motores Diesel con sus respectivos propulsores tipo tornillo, y una turbogás dedicada, vía reductor simple, a un propulsor tipo water jet, en un tercer eje en la línea de crujía, que se coloca en servicio en modo "And" a velocidades bastante superiores a los 20 nudos, cooperando al empuje de las hélices clásicas. Las cajas reductoras de los motores están construidas de tal forma, que se acoplan y permiten mover los ejes laterales con un sólo motor Diesel, para una operación más económica, como si fuera una planta CODAD cruzada, como se indica en la figura 2.

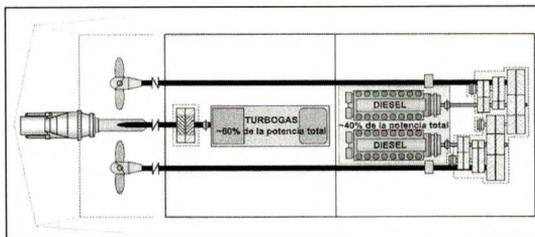


Figura 2.

Esquema de una planta propulsora DAG-HD con tres ejes.

El propulsor water jet es más compacto que una hélice convencional, lo cual, junto con hélices de menor diámetro, permite que este concepto de tres ejes pueda ser instalado en corbetas y fragatas. Aunque la primera aplicación del water jet data de 1881, en un vapor para aguas someras, se instala en unidades de guerra de bajo desplazamiento a partir de los años 70, y por ello, en general, no es muy conocida. Este propulsor se

ha utilizado en más de 800 lanchas, ferries, catamaranes y transportes de alta velocidad con instalaciones de hasta de 25000 kW por eje, e impulsores de más de 2 metros de diámetro, y también en lanchas patrulleras y misileras (ej. Göteborg, Fearless, etc.). Prontamente, se verá en corbetas y fragatas furtivas, tales como: la corbeta sueca YS2000 clase Visby, de 600 tons., la corbeta francesa CCX 21 (concepto avanzado, derivado de la fragata La Fayette, de 3000 tons.), o la corbeta inglesa Cougar-118 (concepto avanzado de BAeSEMA, de 2800 tons.). En estos últimos diseños, la propulsión es exclusivamente a chorro, excepto en la corbeta CCX-21 que utiliza un bulbo, otra tendencia moderna de propulsores de alta eficiencia y baja cavitación, para sus acciones ASW a baja velocidad.

De acuerdo a las tendencias observadas en buques de guerra y mercantes, muchas hélices clásicas tenderían a desaparecer, siendo sustituidas por bulbos propulsores externos al casco, con hélices de succión de paso fijo más estatores pre- o pos-flujo, o bien hélices contrarrotatorias de muy alta eficiencia, para crucero y tránsito, accionadas por motores eléctricos, además de propulsores a chorro para alta velocidad. Por ahora, la solución alemana es intermedia, pues aparte del water jet, cuenta con un par de hélices de paso controlable de alta eficiencia, de

diámetro moderado y palas curvadas hacia la estela, para un bajo nivel de ruido y vibraciones.

Fundamentos Teóricos de los Propulsores.

El principio de funcionamiento de los propulsores tipo tornillo es conocido ampliamente y con una extensa literatura disponible. Por esta razón, en esta oportunidad se omite su análisis.

El propulsor a chorro de agua es una "hélice entubada", típicamente de 3 a 7 palas según la eficiencia esperada, más silenciosa a alta velocidad que una hélice clásica (transfiere menos energía hidroacústica al medio marino). Esta hélice de impulso, que actúa como una bomba de flujo mixto axial-radial, recibe agua por un conducto curvado desde una aspiración a ras del casco o la quilla, y la expulsa acelerando el chorro, utilizando el principio de conservación de la cantidad de movimiento junto al teorema de acción y reacción, a través de una tobera y un ducto de diámetro relativamente pequeño, situado en el espejo de popa. Al girar este impulsor, accionado por una fuente de poder externa al ducto, se arrastra un volumen de agua que produce una disminución de la presión en la aspiración del casco y genera una diferencia de velocidades entre la del chorro expulsado y la del agua en la tobera, lo cual redundará en un aumento de la presión en la descarga. Esta diferencia de presiones es la que origina la fuerza de empuje en el buque.

La parte más crítica de este sistema, que se muestra en la Figura 3, es el ducto de aspiración. Su longitud no debe ser muy grande para evitar pérdidas de presión por fricción, pero tampoco debe ser muy corta porque la curvatura resultaría muy abrupta, con pérdidas de presión por aceleración. Además, debe considerarse la presencia de la capa límite entre flujo laminar y turbulento que se produce en el medio marino viscoso cercano al casco, y cuyo espesor va aumentando hacia la popa. Todas estas características deben conjugarse

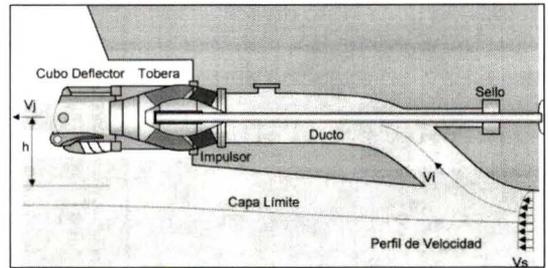


Figura 3.
Diagrama esquemático de un propulsor a chorro.

al diseñar el ducto, ya que un diseño deficiente podría comprometer más del 10% de la potencia motriz.

En este sistema, la velocidad del agua en el impulsor es menor que aquella en una hélice de tornillo, y su correspondiente presión es mayor, por lo que el inicio de la cavitación en éste se produce a velocidades mayores, y eventualmente es eliminado.

Algunos lectores pueden omitir los siguientes cuatro párrafos, más técnicos, sin perder continuidad. El ruido pulsante del impulsor es menor dada la simetría del flujo en el ducto, comparado con el flujo en la popa de un buque con hélice tradicional, lo que también contribuye a una mayor eficiencia rotativa relativa (hR). Además, a altas velocidades puede interactuar con el casco generando un factor de deducción de empuje negativo, lo que se traduce en una mayor eficiencia del casco (hH). Su rendimiento ideal (esto es para un flujo no viscoso) es superior al de una hélice normal, en especial a alta velocidad, o con alta demanda de empuje (más "cargadas"), similar al concepto de hélices en toberas o tipo CLT (Contracted and Loaded Tip propellers), pues reducen la circulación libre en el extremo de las palas. En condiciones reales de flujo viscoso, el rendimiento del water jet es comparable al de una hélice clásica, pero su uso se prefiere para alta demanda de potencia, donde el rendimiento de esta última se ha degradado.

Si se define al factor μ como la relación entre la velocidad del buque (Vs) y la

velocidad de la vena de agua (V_j), la eficiencia ideal del water jet, sin pérdidas y en ausencia de la capa límite, estará dada por la siguiente razón de potencias:

$$\eta_{j0} = \frac{P_u}{P_i} = \frac{[T_{bruto} - R_m] \cdot V_s}{\frac{1}{2} \dot{m} \cdot V_j^2 - \frac{1}{2} \dot{m} \cdot V_s^2} = \frac{\dot{m} \cdot (V_j - V_s) \cdot V_s}{\frac{1}{2} \dot{m} \cdot (V_j^2 - V_s^2)} = \frac{2 \cdot V_s}{V_j + V_s} = \frac{2 \cdot \mu}{1 + \mu}$$

La eficiencia del water jet, cuando se incluyen las pérdidas en la tobera, dadas por el coeficiente i , las pérdidas en la aspiración, dadas por el factor z , y las pérdidas al elevar la columna de agua una altura h , para una fracción de estela en la aspiración w , se logra la siguiente relación:

$$\eta_{ji} = \frac{P_u'}{P_i'} = \frac{2 \cdot \mu \cdot (1 - (1 - w) \cdot \mu)}{1 + \psi - (1 - \zeta) \cdot (1 - w)^2 \cdot \mu^2 + 2 \cdot g \cdot h / V_j^2}$$

Las dos expresiones anteriores son idénticas si la velocidad de la aspiración es igual a la velocidad del buque, y si no hay pérdidas. La figura 4 indica algunas características de la eficiencia. Se aprecia que la eficiencia ideal es máxima cuando la velocidad del buque es igual a la velocidad del chorro, pero esta condición no se recomienda, pues cuando hay pérdidas en la entrada, se desarrolla inestabilidad en el

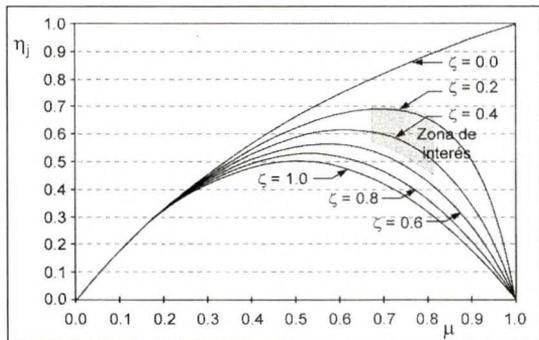


Figura 4. Rendimiento del Propulsor a Chorro, con pérdidas en la aspiración.

flujo. Luego, es conveniente ajustar el diseño del casco y del ducto, para lograr un factor de pérdida en la aspiración z entre 0.2 y 0.5, y una contracción del chorro del orden del 20 al 35%. Por lo tanto, la eficiencia del propulsor, ajustando los otros componentes que afectan la eficiencia, se sitúa entre el 55 y 70%, valor que es comparable al de una hélice convencional. Junto con la mejor eficiencia relativa rotativa y eficiencia del casco, se obtiene una mayor eficiencia propulsiva en su condición de diseño.

En una planta propulsora convencional, es usual que se optimicen las hélices de tornillo para la velocidad de tránsito normal, perdiendo eficiencia a mayores velocidades. En una planta CODAG o CODOG se aplica potencia a través de las dos hélices y por lo tanto no es posible ajustar adecuadamente la eficiencia nominal de las distintas fuentes de poder al propulsor, para distintas velocidades. Por ello, resulta útil utilizar el water jet a altas velocidades, asociado únicamente a la fuente de poder de máxima potencia, como una turbogás, que no es eficiente a baja potencia, y optimizar las hélices de tornillo para la velocidad de tránsito, asociado solamente a los motores Diesel.

Como en esta planta el empuje para propulsar el buque se distribuye en tres ejes, se permiten hélices cuyos diámetros son aproximadamente 70% de las hélices de un buque típico, cada una de las cuales asume un 20% del empuje total de máximo poder, dejando el 60% para el water jet, y además permanecen mejor protegidas. En un buque clásico, cada hélice de tornillo debe ser diseñada para soportar la mitad del empuje total. Aparte de las ventajas obvias en la firma acústica, pues permite obtener hélices más silenciosas, su menor "carga" las hace más eficientes. La figura 5 muestra

la relación entre la eficiencia ideal de la hélice y el coeficiente de empuje (C_T) para algunas hélices, en que se aprecia la ventaja relativa del water jet. Asimismo, éste podría ser usado en operaciones especiales donde se requiera una baja presión dinámica, y hacer al buque más furtivo a nuevas armas submarinas, lo que no es posible con hélices tradicionales.

Cuando ambos tipos de propulsores operan juntos, las hélices de tornillo funcionan con un paso superior al de diseño, para un torque similar, sin una pérdida significativa de eficiencia, compensada por la ganancia de eficiencias rotativa y de casco. Cuando se usa sólo el water jet, el paso de las palas de las hélices de tornillo debe colocarse en el máximo.

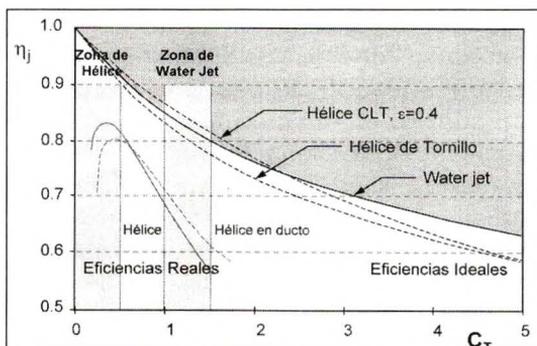


Figura 5.
Rendimiento ideal comparado del Water Jet.

Ventajas y Desventajas de la Planta DAG y del Propulsor a Chorro.

Para un mejor entendimiento del propulsor water jet, conviene apreciar sus ventajas y desventajas en el contexto de una planta propulsora DAG-HD y no como un componente aislado, y mejor aún frente a las plantas tipo CODAG y CODOG de una turbina con reductor cruzado. La planta DAG-HD supera las desventajas de esa planta CODOG permitiendo adquirir sólo la potencia justa y minimizar los espacios destinados a propulsión. Por razones de disponibilidad de potencias en las turbogás

comerciales más exitosas, una planta CODOG queda limitada a una velocidad máxima cercana a los 26 nudos en buques de desplazamiento sobre unas 3500 toneladas. Esto resulta una clara desventaja si el buque tiene previsto misiones de escolta a buques mercantes, transportes o catamaranes de alta velocidad, o si considera misiones de rescate. Asimismo, en maniobras con flotas de alta velocidad promedio, alrededor de los 22 nudos, una planta CODOG puede presentar desventajas, al estar acoplado y desacoplado alternadamente las fuentes de poder.

La planta DAG-HD, supera la mayoría de los inconvenientes de una planta CODAG. Esta evita la sincronización mecánica de los motores Diesel con la turbogás, y por ello salva eventuales perturbaciones que pudieran ocurrir por un mal procedimiento de sincronización. Esta planta incorpora las ventajas de una planta CODAG de caja reductora cruzada, con un diseño más simple y compacto, pues se puede operar ambos ejes con un motor Diesel. Una planta CODAG, o una DAG-HD, usando turbogás disponibles comercialmente, ajustadas a la respectiva potencia nominal, permite velocidades superiores a los 28 nudos en buques tipo fragata. Por tener motores Diesel más grandes, se puede operar con un sólo motor a velocidades de tránsito rápido, y ganar algunos nudos más con dos motores, y a partir de esa condición agregar la turbogás, en un proceso simple y confiable por las características propias de esta máquina térmica. Por encima, la eficiencia de una planta propulsora DAG-HD con water jet es superior a la de una planta CODAG, en gran parte el espectro de utilización, al tener las fuentes de poder ajustadas a las condiciones óptimas del propulsor respectivo, en especial si incluye cajas reductoras two step-gear en los motores Diesel.

Un sistema de tres ejes propulsores, con tres fuentes de poder dedicadas pero independientes, y con dos de estas últimas

interrelacionadas, es notablemente más confiable que una planta de dos ejes y tres fuentes de poder, y más confiable que dos plantas independientes, con dos fuentes de poder y un eje cada una, sin capacidad de cruzamiento. Por esta razón, hay mayor redundancia que en un buque de propulsión CODOG o CODAG de dos ejes independientes. Además, con hélices pequeñas se reduce el calado total y queda menos expuesto a varadas o golpes.

Algunas de sus desventajas son la exigencia de inspección y mantención del ducto de aspiración, lo que se simplifica con una compuerta de inspección desde el interior del buque. No obstante, como el buque opera hasta altas velocidades con los motores Diesel, el desgaste de este sistema es bajo. Además, un hombre puede inspeccionar la tobera y el impulsor del water jet en seco, caminando en su interior, con un leve encabuzamiento del buque.

Debido a la reducción de la carga en las ejes hélices y su menor tamaño, a la pequeña extensión del eje central, a la mayor simplicidad de la planta y a otros efectos, el costo de inversión de una planta DAG-HD resulta comparable al de una planta CODAG. El menor costo de operación, sin valorizar otras ventajas, la hace más rentable que la planta CODOG.

Impacto en el Resto del Buque.

La planta propulsora DAG-HD produce efectos colaterales positivos en la furtividad del buque y facilita su arreglo interno. Las plantas CODAG y DAG-HD son algunos de los sistemas más eficientes en cuanto a la descarga de gases. A velocidades típicas bajo los 22 a 23 nudos, la descarga de gases corresponde a la de la planta Diesel, y a velocidades sobre ese rango, una parte importante de la potencia suministrada es siempre Diesel, por lo que ésta siempre descarga menos gases y más fríos, aún a máxima potencia, que una planta CODOG. Pero, como el water jet se ubica en la

perpendicular de popa, casi en el espejo y paralelo a la quilla, y como la turbogás no requiere acoplarse en forma mecánica a los motores Diesel, ésta fuente se puede colocar justo a proa del propulsor, en vez de a proa de la fuente de poder Diesel como ocurre en CODAG y CODOG, por la inclinación de los ejes. Luego, la planta DAG permite una ventaja sin precedentes, que consiste en descargar los gases de la turbina directamente a la estela, sobre el cubo deflector del water jet. Si por encima, esos gases se enfrían inyectando un chorro de agua de mar, en un ducto del material apropiado, se logra un buque frío en su huella MIR, y que a su vez hace más segura la operación de helicópteros. La planta DAG-HD alemana incorpora este arreglo para la turbogás, y las opciones de descarga superficial y submarina para los motores Diesel, según la amenaza del momento. Por ello, este buque no requiere de chimeneas ni de pesados eductores enfriadores, eliminando los puntos de la superestructura calentados por los gases de escape, lo cual produce el efecto adicional de reducir la sección transversal de radar, y el de reducir los esfuerzos mecánicos y deflexiones en la superestructura. Asimismo, el water jet resulta práctico para ciertas operaciones especiales de baja firma acústica, y según sus materiales se puede lograr una baja firma magnética. Con estos atributos, se logra un buque más furtivo en todos sus planos, lo cual permite reducir el nivel de gasto en sistemas de autodefensa y guerra electrónica.

Al instalar la turbogás cerca del espejo de popa y al no requerir del reductor cruzado, se libera un enorme volumen al centro del buque, donde el movimiento relativo es menor, el cual puede ser redestinado a habitabilidad, mando y control, armas adicionales, lanzadores verticales, etc., lo cual optimiza los accesos, la distribución eléctrica y el acondicionamiento de aire. Por último, simplifica el reemplazo del compresor y la turbina de poder.

Modo de Operación de la Planta DAG con Propulsor a Chorro.

La aceleración y la detención del buque con la planta propulsora DAG y water jet es comparable a su contraparte CODAG o CODOG con hélice de paso controlable, pero presenta algunos atributos diferenciadores. El water jet no tiene limitaciones para operar fuera de la curva de absorción de potencia del buque, y la turbogás tiene escasas limitaciones en este aspecto. De esta manera, utilizando la cuchara deflectora en una posición intermedia, se podría dar la máxima potencia sin mover al buque. De este modo, el repliegue rápido de la cuchara permite iniciar una abrupta aceleración del buque. Para un frenado de emergencia, se obtiene un efecto similar, ya que empujando la base de la cuchara se desvía inmediatamente el flujo hacia proa, como se indica en la figura 6. Esta acción no crea esfuerzos alternados en el descanso del water jet ni en la fuente de poder, ya que el empuje en el impulsor no cambia de dirección. Por la independencia a la curva de potencia del buque, el water jet es poco sensible a los aumentos de resistencia por oleaje, remolque o fouling, aunque el sistema de control debe anticipar la demanda de potencia para evitar daños por erosión.

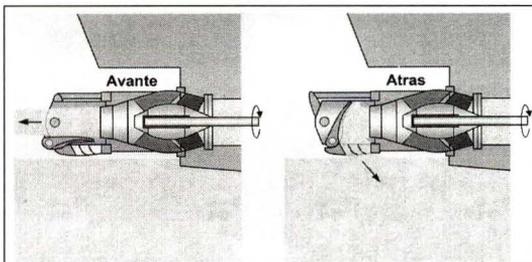


Figura 6.
Reversión con un propulsor a chorro.

La operación de viraje de un buque con este propulsor requiere una breve explicación. La maniobrabilidad del buque es muy buena cuando posee un cubo deflector con rotación acimutal. Así, dos

cilindros hidráulicos controlan el viraje y uno la reversa. A alta velocidad mantiene constante el momento de giro, pero la rotación del cubo produce una pérdida substancial de empuje, por lo que en este caso se prefiere el uso de timones direccionales. En buques equipados con varios water jets y sin timones, al contrario de la lógica, se recomienda efectuar el giro sólo con el water jet interno, ya que la velocidad de avance en éste es inferior y por ende su rendimiento es mayor. El water jet puede ser usado a baja velocidad, cuando existan razones que lo aconsejen, o emergencia, pero a costa de una muy baja eficiencia propulsiva. El concepto alemán, el water jet central no tiene capacidad de gobierno, y el viraje se realiza más eficientemente con dos timones, a popa de cada hélice.

En el diseño DAG-HD alemán, el buque puede ser operado con un motor Diesel hasta alrededor de los 20 nudos, y con dos motores hasta 22 a 24 nudos, acorde al requerimiento del operador, lo que implica que gran parte de la vida útil se basa en propulsión Diesel. Sobre esa velocidad se activa la turbogás con el water jet. Las opciones de propulsión, en los respectivos campos de operación de las fuentes de poder, se representan en la figura 7.

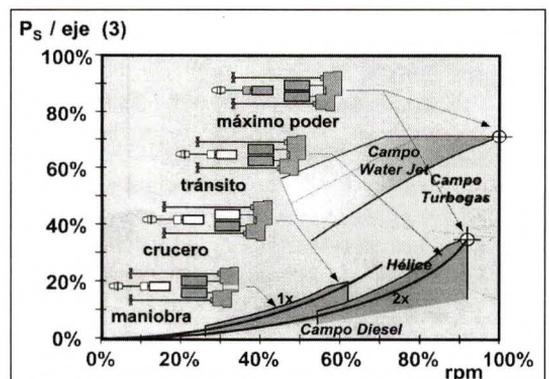


Figura 7.
Modo de operación de una planta propulsora DAG-HD con tres ejes.

Conclusiones.

Se ha descrito el sistema de propulsión DAG-HD, en contraste a las plantas CODAG y CODOG con una turbogás. Este sistema propulsivo ha sido adoptado por la fragata MEKO A-200 (SAN), recientemente seleccionada por la Armada de Sudáfrica para integrar su fuerza naval, y posiblemente en corbetas A-100 por parte de la Armada de Polonia. Se trata de un sistema avanzado que, por sus atributos, se estima se masificará en buques tipo corbeta o fragata donde existan restricciones de espacio, peso y recursos para inversión y operación.

Del análisis, se desprende que se trata de una planta eficiente en la mayor parte del espectro de velocidades, redundante,

maniobrable y confiable, y que cuenta con amplia experiencia en buques de guerra y mercantes, a nivel de sus componentes por separado. Asimismo, permite beneficios colaterales en otras capacidades del buque, en especial en los aspectos de furtividad, supervivencia y arreglo interno, y en su costo.

Las características propias de rendimiento y operación de los propulsores recomiendan utilizar esta planta con las hélices de tornillo y modo Diesel, hasta muy por encima de los 20 nudos y agregar potencia con la turbogás y su water jet para mayores velocidades, aunque este último conjunto pueda ser eventualmente usado, con restricciones de eficiencia, para maniobras especiales a baja velocidad.

BIBLIOGRAFIA

- abc LIPS, Advanced Naval Propulsion Systems, Catálogo 1998.
- Bohlayer W., The Answer to the Challenges of Tomorrow: The MEKO A-Class Corvettes and Frigates, SimTech Meko, Valparaíso, 1999.
- Breslin J.P. y Andersen P., Hydrodynamics of Ship Propellers, Cambridge Ocean Technology Series 3, Cambridge University Press, 1994.
- Burnett R., The British Naval Industry on Show, The Naval Architect, October 1997.
- DCN International, CCX21 Concept Corvette for the New Century, 1999.
- Enderlein G., Reduction of Acoustic, Radar and Infrared Signatures, SimTech Meko, Valparaíso, 1999.
- FMV, YS2000 The Visby Class Corvette, 1998.
- Jane's Navy International, Australia adopts catamaran transport, June 1999, Vol 105 N°5.
- Janssen J., Corvette Trends Turn the Tide, Jane's International Defense Review, 4/1998.
- Kennell C., Design Trends in High-Speed Transport, Marine Technology, July 1998.
- Mahn B. y Bunge M., The CODAG Propulsion of F124 Class Frigates, An Advanced Technical and Economical Solution, Naval Forces, Special Issue 5/97.
- Quereda R., El Rendimiento en el Sistema Propulsivo por Agua de Chorro, pág. 88 a 97, Ingeniería Naval, oct 1998.
- Reference List, abcLIPS Water Jets, 1999.
- Reference List, KaMeWa Water Jet Propulsion, KaMeWa Group, 1999.
- Sembler W.J., Pumps, Compressors, Blowers, and Ejectors, Chapter XIV, en Marine Engineering, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1992.
- Todd F.H., Resistance and Propulsion, Chapter VII, en Principles of Naval Architecture, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1967.
- Verbeek R. y Bulten N., Recent Developments in Waterjet Design, Lips Jets BV, The Netherlands.
- Vergara J., Elementos de Arquitectura, Construcción e Ingeniería Naval, apuntes de clases, Programa DAIN, Academia Politécnica Naval, 1998.

* * *