

“ La correcta selección de los conductos de admisión y escape en la construcción naval, como premisa de aprovechamiento energético ”

A. Bubaire, I. Sobrado y M. I. Alfonso
CID Naval. Cuba

SUMMARY

The correct design of the intake and exhaust Diesel engines conduits, on the great of ships, bring guarantee about the correct operation. That permit to be useful energy and the maximum possibilities of power. This work shows the experiments results, that carried out, to determine the optimum values of resistance in the intake and exhaust conduits of an energy installation for a ship in construction. These experiences can be applied to ships in repair.

INTRODUCCION

La carencia de recursos energéticos y el alza de los precios del petróleo a escala mundial, son la causa de la constante búsqueda de soluciones para hacer más eficientes las instalaciones energéticas. En la construcción naval esta problemática se aborda en diferentes direcciones: el perfeccionamiento del casco y de las instalaciones energéticas.

El presente trabajo trata acerca de una de las vías, mediante la cual se pueden obtener importantes logros en el trabajo eficiente de los motores diesel a bordo de las embarcaciones. Los fabricantes de motores establecen los parámetros de presión en la admisión y contrapresión en el escape para los cuales se declara la potencia nominal. Durante la construcción y reparación de los buques no siempre es posible cumplir con las exigencias de los fabricantes, por esta razón es necesario realizar la construcción de los conductos de admisión y escape de forma tal que la resistencia hidráulica garantice el trabajo de los motores con parámetros de explotación cercanos a los valores óptimos.

Es muy común encontrar opiniones de especialistas, que plantean que mientras menor sea la contrapresión en el escape, más eficiente trabajará el motor diesel. Estas opiniones, según hemos podido comprobar, no son totalmente correctas, ya que existen bajos valores de presiones en el escape del motor en los cuales los niveles de eficiencia no son los mayores.

Las experiencias reflejadas en este trabajo son aplicables a todas aquellas embarcaciones con instalaciones energéticas con motores diesel sobrealimentados.

Análisis teórico de la Influencia conjunta de la contrapresión en el escape y resistencia en la admisión.

Haciendo un análisis teórico, podemos deducir que la acción conjunta de la resistencia en la admisión y la contrapresión en el escape en mayor medida ejerce una gran influencia en el empeoramiento del trabajo del motor; en primer lugar, por la disminución considerable de la masa de aire que llega al cilindro en comparación con la influencia de estos factores por separado [1]. En la fig 1, con líneas continuas se muestra el diagrama indicador del motor de cuatro tiempos en condiciones normales y, con líneas discontinuas, el diagrama con elevada resistencia en la admisión y contrapresión en el escape.

Como se puede observar del diagrama, aumenta el trabajo de bombeo, y como consecuencia, disminuye la eficiencia mecánica η_m . Analizando las ecuaciones (para un motor concreto) de la potencia efectiva y la expresión para el coeficiente de exceso de aire:

$$N_e = K \times G_c^{\text{ciclo}} \times \eta_i \times \eta_m \times n, \quad (\text{Kw}) \quad (1)$$

$$\alpha = V_s \times \rho_{\text{aire}} \times \eta_H / L_0 \times G_c^{\text{ciclo}} \quad (2)$$

donde:

K- Valor constante.

G_c^{ciclo} - Consumo de combustible por ciclo. (g/ciclo)

η_i - Eficiencia indicada.

η_m - Eficiencia mecánica.

n- Frecuencia de giro del cigüeñal. (1/min)

V_s - Volumen del cilindro (m^3)

ρ_{aire} - Densidad del aire (Kg/m^3)

η_H - Coeficiente de llenado

L_o - Cantidad de aire teóricamente necesaria para la combustión de un kilogramo de combustible. (Kg)

Podemos observar que el aumento de la resistencia en la admisión y contrapresión en el escape, como consecuencia de la disminución de ρ_{aire} , η_H y η_m , la potencia efectiva del motor también disminuye y de esta forma su economía, justificado por la siguiente expresión:

$$g_e = G_c^h / N_e \quad (g/Kw h) \quad (3)$$

donde:

g_e - Consumo específico de combustible

G_c^h - Consumo de combustible por hora

Esto en mayor grado influye en la disminución de potencia y aumento del consumo específico de combustible en los motores de dos tiempos. En la explotación es necesario también tener en cuenta que en estas condiciones de trabajo es posible el paso de los gases de escape del cilindro al colector de admisión. También, en mayor medida, esto puede ocurrir mientras mayor sea el traslazo valvular de los órganos de admisión y escape. Para eliminar estos casos en algunos motores se utilizan dispositivos especiales para disminuir el traslazo de las válvulas en casos de posible trabajo en estos regímenes [2].

Por lo antes expuesto, en condiciones de explotación con resistencia en la admisión y contrapresión en el escape, utilizando las características limitadoras de cada motor, es necesario disminuir la entrega de combustible con el objetivo de evitar la sobrecarga.

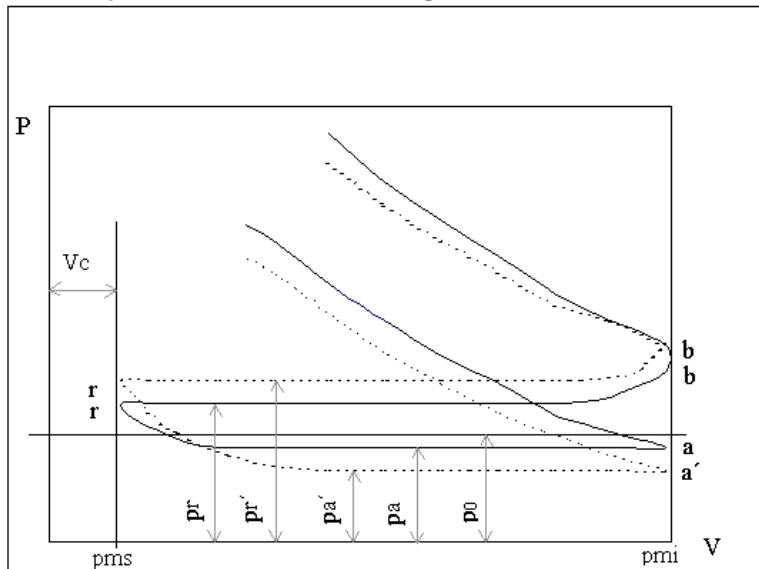


Figura 1- Influencia conjunta del vacío en la admisión y la contrapresión en el escape en el diagrama indicador, correspondiente a las carreras de admisión y escape.

..... Con elevado vacío y contrapresión
___ En condiciones normales.

Donde:

P_r - Presión de escape.

P_a - Presión de admisión.

P_o - Presión atmosférica.

Determinación del consumo específico de combustible, coeficiente de exceso de aire, potencia efectiva y temperatura de los gases como indicadores principales de explotación.

El experimento contempla la obtención de las características de carga del motor en el régimen nominal bajo la influencia del incremento de la resistencia de admisión y la contrapresión en el escape. Este se realizó con un

agregado diesel-generator con motor DEUTZ BF6M y generador STAMFORD de 120 Kw de potencia y 1800 RPM.

Los objetivos de los experimentos son los siguientes:

- Establecer los modelos matemáticos que describen el comportamiento del consumo específico de combustible (g_e), del coeficiente de exceso de aire (α), de la potencia efectiva (N_e) y de la temperatura de los gases de escape en función de los factores antes mencionados.
- Determinar los valores óptimos de presión de admisión y escape que permitan el hacer valoraciones acerca del diseño de los conductos de admisión y escape en el buque.

Los modelos obtenidos permiten realizar mediante cálculos las diferentes combinaciones de presión de admisión y escape para garantizar el mejor funcionamiento del motor.

Debido a que como condición del experimento se estableció un valor constante de la potencia, la evaluación de su comportamiento en función de los parámetros de entrada se realiza considerando el consumo horario de combustible constante con un valor igual al obtenido para las condiciones dadas para la potencia nominal y dividiendo este por el valor del consumo específico de combustible.

Conociendo el modelo matemático que describe el fenómeno físico y teniendo el plan del experimento, se procede a estimar los coeficientes del modelo, utilizando el método de los mínimos cuadrados como herramienta para el procesamiento de la información obtenida.

Los modelos obtenidos para estos parámetros son los siguientes:

- Para el consumo específico de combustible g_e (g/Kw h):

$$g_e = 7151.4 - 6658 \times P_1 - 12023 \times P_2 + 5243.6 \times P_2^2 - 5002.5 \times P_1 \times P_2^2 + 11496 \times P_1 \times P_2 \quad (4)$$

El gráfico para g_e , en función de las presiones de admisión y escape, se muestra en la fig 2.

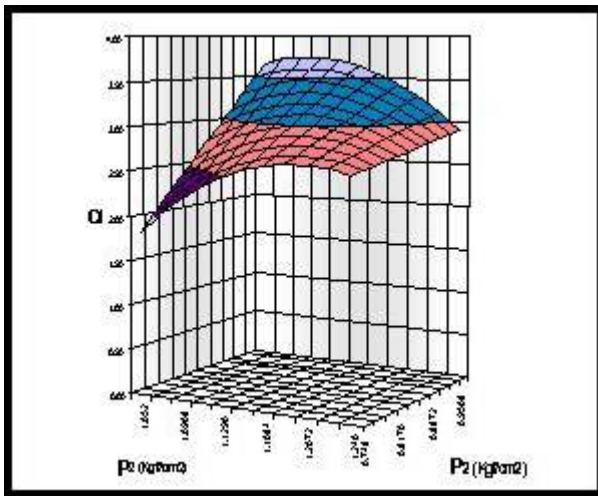


Figura 2 Dependencia del consumo específico de combustible de la presión de admisión y de escape.

- El modelo obtenido para el coeficiente de exceso de aire α se expone a continuación:

$$\alpha = 85.12 + 43.33 \times P_1 - 33.68 \times P_1 \times P_2 + 117.5 \times P_2 - 38.47 \times P_2^2 \quad (5)$$

El gráfico de la función respuesta se muestra en la fig 3:

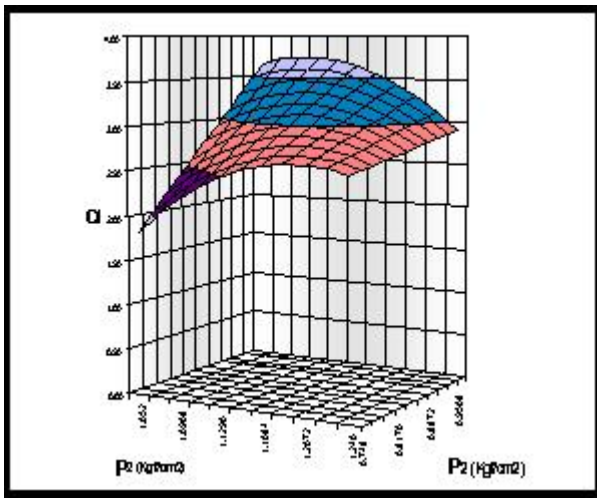


Figura 3 Variación del coeficiente de exceso de aire α en función de la presión de admisión y escape.

- El modelo obtenido para la potencia efectiva (N_e) en función de la presión de admisión y escape es el siguiente:

$$(N_e) = 2757 + 2737.5 \times P_1 + 4973.4 \times P_2 - 2175.5 \times P_2^2 + 2050.5 \times P_1 \times P_2^2 - 4712 \times P_1 \times P_2 \quad (6)$$

- El gráfico de la función respuesta se muestra en la fig 4.

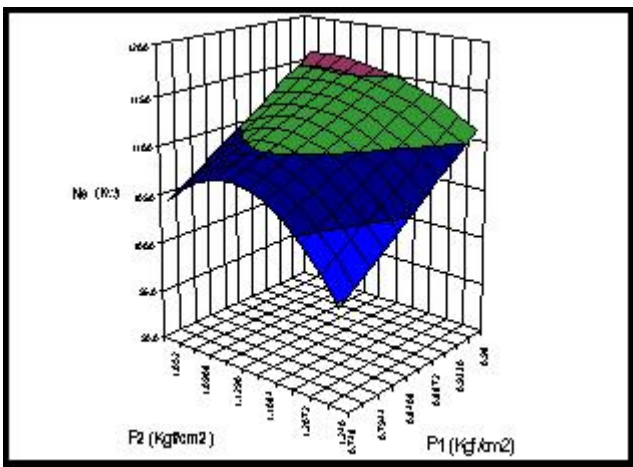


Figura 4 Dependencia de la potencia efectiva de la variación de la presión de admisión y escape.

- El modelo obtenido para la temperatura de los gases de escape (t_g) en función de las presiones de escape y admisión es el siguiente:

$$t_g = 16287.3 - 19120.7 \times P_1 - 26052 \times P_2 + 463.436 \times P_1^2 - 13330 \times P_1 \times P_2^2 + 30632.4 \times P_1 \times P_2 + 11517.2 \times P_2^2 \quad (7)$$

- El gráfico de la función respuesta se refleja en la fig 5.

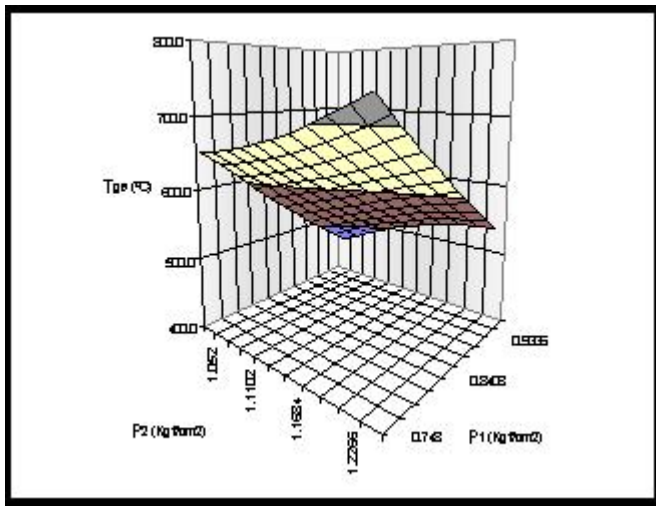


Figura 5 Variación de la temperatura de los gases de escape en función de las presiones de admisión y escape.

Los resultados experimentales reflejan, como cuestión interesante en la figura 2, que el consumo específico de combustible en las líneas de presión de admisión constantes, al variar la presión de escape, posee un punto intermedio en que el consumo específico alcanza un valor mínimo con respecto al resto de los puntos, que conforman la curva de los valores de presión de admisión constantes. Además, este punto no coincide precisamente con los valores mínimos de contrapresión en el escape. De esto podemos inferir, que existe un valor de contrapresión en el escape que influye positivamente en la economía del motor. Por estas razones, los fabricantes de motores especifican en la documentación técnica los valores de presiones de admisión y escape, para los cuales declaran la potencia del motor. De este análisis podemos plantearnos la tarea de determinar los valores óptimos de presión de admisión y escape, donde el consumo específico de combustible alcance su valor mínimo.

En la fig 3, de igual forma, se observa el área de la superficie de respuesta donde el coeficiente de exceso de aire alcanza los valores más recomendables para el mejor funcionamiento del motor. Esto se debe a que el demasiado exceso de aire puede traer consigo la disminución de la temperatura de la combustión y arrastre de la mezcla combustible al escape.

En la fig 4 se observa el mismo fenómeno que en la fig 2, donde se puede definir la zona de mayor potencia efectiva para determinados valores de presión de admisión y escape, coincidiendo estos con los mismos valores de los gráficos anteriores.

En la fig 5 se aprecia como la superficie respuesta de la temperatura de los gases de escape se comporta casi como una superficie plana donde los valores mayores se encuentran en la zona de menor presión de admisión, encontrando el máximo en el punto convergente de mayor contrapresión de escape y de menor presión de admisión. En este punto es donde el motor trabaja en peores condiciones desde el punto de vista termodinámico. Dada la posibilidad de obtención del mínimo consumo específico de combustible, ante la convergencia de determinados valores de las variables independientes, reflejadas en la superficie de respuesta del modelo matemático, se puede determinar para que valores de presiones de admisión y escape se obtienen, en su convergencia, los valores óptimos de consumo de combustible.

Para el cumplimiento de este objetivo se tuvo en cuenta tres condiciones necesarias para el planteamiento del problema:

- a) El valor óptimo se halla para una magnitud, manteniendo las otras constantes;
- b) Presencia de grados de libertad en el objeto (en nuestro caso tenemos dos grados de libertad condicionados por las variables);
- c) La magnitud a optimizar se expresa matemáticamente.

De igual forma podemos decir, que los valores óptimos de potencia efectiva y de coeficiente de exceso de aire se encuentran en los mismos límites del consumo específico de combustible, esto evidencia el perfeccionamiento del ciclo termodinámico del motor en esta zona.

En la práctica de la construcción naval, es difícil obtener los valores deseados de resistencia hidráulica en los conductos de admisión y escape. Por esta razón, desde el proceso de diseño, se llegan a compromisos para la construcción de estos sistemas, donde se afectan los valores deseados de presiones de admisión y escape del motor.

Conclusiones.

1. La obtención de los modelos matemáticos permite, desde la etapa de proyecto, evaluar las características

de explotación del motor diesel sobrealimentado en función de las resistencias hidráulicas de los conductos de admisión y escape.

2. El presente trabajo permite aplicar sus resultados a todas las instalaciones energéticas con motores diesel sobrealimentados por su carácter práctico.
3. La determinación de los valores óptimos de resistencias de los conductos de admisión y escape en las instalaciones energéticas con motores diesel permite un considerable ahorro de recursos energéticos y mejor explotación de los motores.

Bibliografía

1. Bubaire Martínez Alfonso. "Motores diesel en condiciones anormales." Cuarto Simposio Marítimo Internacional SYMTECHNAVAL 2001. C. Habana.
2. Iushin V. "Motores Navales de Combustión Interna. Teoría de los procesos de trabajo." Leningrado 1975.
3. Sigar A. B. "Teoría de los motores de Combustión interna navales". Leningrado 1978.
4. V. Guittis. "Fundamentación teórica de la explotación de los motores Diesel navales." Moscú 1985.