

SISTEMA PARA MEJORAR LAS CARACTERISTICAS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES DIESEL EN LA ALTURA

Guillermo Lira Cacho, Jorge Ponce Galiano
Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

Se presentan los fundamentos teóricos de un sistema para mejorar el arranque de los motores diesel en la altura, que incluye una válvula especial, denominada RND, utilizada para introducir líquidos inflamables a la línea de alta presión del sistema de inyección, y así reducir el período de retraso del encendido durante el arranque. Complementariamente, se propone el método de desconexión parcial de cilindros para evitar que el motor se apague después de arrancar. También, se presentan los resultados experimentales del tiempo de arranque, utilizando líquidos inflamables, en un banco de pruebas con simulación de altura estrangulando la admisión.

ABSTRACT

This paper shows the theoretical principles of a new complementary starting system for a Diesel engine operating in altitude conditions. This system includes an special valve, named RND, used to supply inflammable and volatile liquids toward the high pressure line of the injection system. This system permits to reduce the ignition delay at the starting. It also prevent the engine to turn out after starting. Some experimental results in a stationary testing bench specially structured to simulate the altitude are shown.

INTRODUCCION

El arranque de los motores Diesel, en condiciones de altura, se empeora notablemente debido a las menores presiones y temperaturas del aire atmosférico. En estas condiciones surgen problemas para que el arrancador eléctrico mueva al motor; y también para que se produzca el autoencendido de la mezcla aire combustible y, finalmente, para que el motor comience a trabajar autónomamente y en forma estable.

El primer problema se puede resolver fácilmente aumentando la potencia del arrancador; mientras que el segundo, por ejemplo, calentando el aire en el múltiple de admisión, o empleando líquidos inflamables. Sin embargo, incluso después de resolver estos problemas hay la posibilidad que, después del inicio del arranque, el motor se apague. La razón fundamental por la cual el motor se podría apagar después del arranque, es que el tiempo de calentamiento supera significativamente el tiempo de aceleración. Por otro lado, debido a que el ángulo de retraso del encendido aumenta proporcionalmente a la velocidad de giro del motor durante la fase de aceleración, el inicio del

encendido se va desplazando hacia la línea de expansión, alejándose del punto muerto superior y, en determinado momento, el motor se apaga. Para eliminar este defecto es necesario disminuir la aceleración del motor, manteniendo el suministro de combustible constante.

En este trabajo se propone disminuir la aceleración del motor, después del arranque, mediante la desconexión parcial de los cilindros (supresión de la inyección a algunos cilindros), aumentando el suministro de combustible en los cilindros que continúan trabajando, para así mantener un mínimo desbalance positivo entre la potencia desarrollada y la potencia consumida por el motor. Como resultado de esto, aumenta el tiempo necesario para que el motor alcance a calentarse lo suficiente sin que se apague.

El sistema de desconexión de cilindros que se propone deriva el combustible de la línea de alta presión hacia la línea de baja presión. El sistema consta de una válvula unidireccional (tipo check), que se instala en la línea de alta presión del sistema de inyección; esta válvula se abre por

diferencia de presiones cuando se produce una onda de depresión después del cierre de la aguja del inyector. El tiempo de apertura de esta válvula se controla mediante una bobina electromagnética.

Complementariamente, para mejorar la autoinflamación del combustible y facilitar el arranque, se propone inyectar líquidos inflamables (alcohol, bencina, gasolina, etc.) en los cilindros no desconectados. Para realizar esto, se utilizarán unas válvulas especiales (denominadas RND), las cuales, básicamente, son las mismas que en el caso anterior, pero sin bobina. Este método evita el funcionamiento rígido y el desgaste del motor cuando se suministran estos líquidos a través del múltiple de admisión.

FUNDAMENTACION TEORICA

El proceso de trabajo del motor Diesel durante el arranque en frío y en condiciones de altura tiene una serie de particularidades en comparación con el arranque en condiciones normales. Los principales parámetros del proceso de arranque que son influenciados por la altura son:

a) Presión y temperatura al final de la compresión

(p_c y T_c). En general, los pequeños valores de p_c y T_c durante el arranque (30 - 40 % menor que en el régimen nominal) se explican por las mayores fugas de aire (falta de estanqueidad) a través de las holguras entre las paredes del cilindro y los anillos. El cierre un tanto tardío de la válvula de admisión (tardío sólo en este régimen) origina el escape de una parte de la carga fresca de aire. Las paredes frías del motor también provocan una disminución del exponente politrópico y de la compresión del aire.

Existen fórmulas mediante las cuales se pueden calcular los valores de las presiones y temperaturas al final de la compresión durante el arranque a diferentes alturas y velocidades de rotación [3]. Empleando estas fórmulas, se puede demostrar como en la altura, los valores de p_c y T_c , durante el arranque, disminuyen notablemente. Con una velocidad del arrancador de $n = 100$ rpm, la presión p_c disminuye, aproximadamente, en 50 % (a 2.000 m s.n.m.) y 60 % (a 4.000 m s.n.m.) con respecto al valor de p_c en el régimen nominal y al

nivel del mar; mientras que la temperatura absoluta (en K) disminuye en 32 y 35 %, respectivamente.

b) Período de retraso del encendido (τ_i)

El retraso del encendido, es decir, el que hay entre el momento que se inyecta el combustible y el momento en que éste se autoinflama, se puede calcular a través de la fórmula de Arrhenius :

$$\tau_i = \frac{k}{p_c^m} \cdot \exp [E / (\bar{R} \cdot T_c)]$$

donde: k , m , E y \bar{R} son constantes.

Como se puede observar, τ_i depende de los valores de p_c y T_c , los cuales en el arranque en frío y en condiciones de altura disminuyen notablemente, tal como se vio en el párrafo anterior. Es importante mencionar que en el arranque, la presión de inyección de combustible disminuye significativamente, lo que origina una deficiente pulverización y formación de la mezcla aire-combustible, provocando un crecimiento mayor del período de retraso del encendido. A medida que el motor se va calentando y acelerando se va estabilizando el proceso de inyección, lo que mejora el arranque.

A medida que aumenta la velocidad del motor (después de haberse iniciado el arranque), τ_i disminuye apreciablemente en los primeros ciclos de funcionamiento del motor, para luego ir disminuyendo más lentamente. Al mismo tiempo, crece la velocidad de rotación del motor, por lo que el ángulo de retraso del encendido (ϕ_i) aumenta paulatinamente. Esto último ocasiona que el inicio de la combustión se vaya desplazando hacia la línea de expansión, es decir, alejándose del punto muerto superior (ver Fig.1). El desplazamiento del momento del encendido y de la combustión hacia la línea de expansión ocasiona que el encendido sea débil y que la combustión no sea completa. Si es que la velocidad sigue aumentando, τ_i puede comenzar a crecer, con lo cual el encendido, finalmente, se suprime. De esta

manera, si es que el ángulo de inicio de la inyección se mantiene constante, el inicio de la combustión se va a retrasar mas, pudiendo llegar el momento en que el motor se apaga.

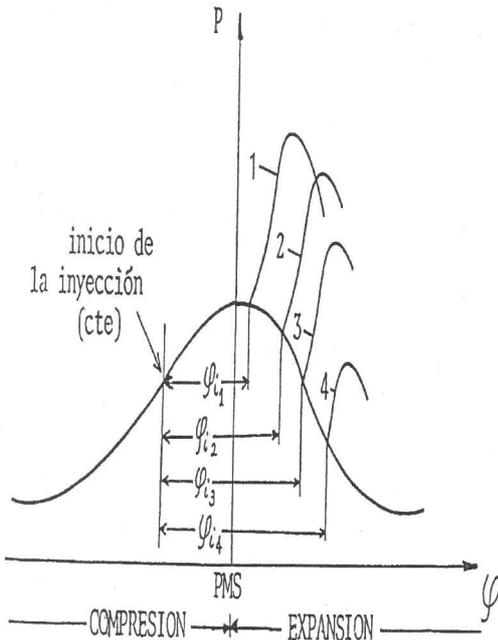


Fig. 1- Variación del diagrama indicado durante el arranque (inicio de la inyección constante). $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$.

c) Velocidad crítica de arranque (n_{crit}).

Del análisis de las figuras 1 y 2, se concluye que para que el encendido y el arranque del motor no se interrumpan, la velocidad de rotación debe mantenerse menor que la velocidad n_4 , llamada velocidad crítica (para una presión y temperatura del ambiente determinadas), es decir: $n < n_{crit}$.

Mientras más grandes sean los valores de p_o y T_o , mayor será el valor de la velocidad crítica de arranque n_{crit} . Como datos referenciales: a $T_o = 20$ °C, la velocidad crítica de arranque es de 500 rpm; mientras que a $T_o = 5$ °C, esta velocidad debe ser menor que 160 rpm. La explicación de este fenómeno, aparentemente contradictorio, es que el tiempo de aceleración del motor, después del arranque, es mucho menor que el tiempo de calentamiento de las paredes del motor, lo que no permite que el período de retraso alcance su valor mínimo óptimo durante esta fase.

Como se puede observar en la Fig. 2, una vez que se alcanza la velocidad crítica n_{crit1} , es posible que el encendido deje de verificarse y el motor se

apaga. Después de que el motor se detiene, de nuevo hay que arrancarlo. También puede suceder que la velocidad disminuya hasta un valor en el cual de nuevo aparece el encendido (línea punteada), y el motor de nuevo se acelera, pero esta vez hasta una nueva mayor velocidad crítica $n_{crit 2}$. Este proceso puede repetirse varias veces; sin embargo, convencionalmente, se considera que el proceso de arranque es exitoso si es que después de no más de tres intentos de arranque, cada uno de los cuales no debe exceder 20 s. de duración, el motor comienza a trabajar establemente.

Aumentando excesivamente el suministro de combustible, el retraso del encendido también aumenta, lo que se explica por el enriquecimiento de la mezcla y también por la disminución de la temperatura del aire debido al exceso de combustible. Esto se empeora más en la altura debido al enriquecimiento natural de la mezcla causado por la altura.

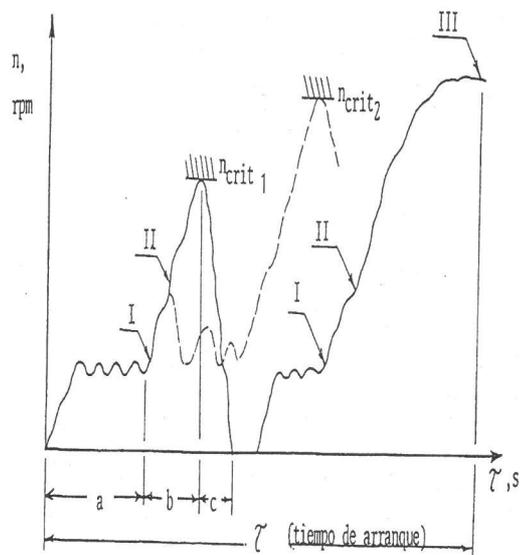


Fig. 2 - Variación de la velocidad de rotación durante el arranque del motor Diesel: a - motor movido por el arrancador; b - funcionamiento autónomo del motor; c - sin encendido (el motor apagándose); I - aparición del encendido; II - desconexión del arrancador; III - comienzo del trabajo estable y autónomo del motor.

SISTEMA PROPUESTO

Otra forma de disminuir la aceleración del motor después del arranque, para así evitar la posibilidad

el arranque. Sin embargo, en el caso del alcohol etílico se observa un incremento notable del tiempo de arranque, lo que probablemente se deba al alto valor del calor latente de vaporización de éste con respecto a los demás combustibles (el calor latente del alcohol es 920 kJ/kg, mientras el del petróleo varía de 210 a 250 kJ/kg), lo que provoca el enfriamiento de la mezcla y el retraso del encendido. Además de esto, la resistencia del alcohol etílico vaporizado a la auto-inflamación es grande (el número de octano del alcohol etílico según el método motor es 92).

La disminución del tiempo de arranque cuando se introduce petróleo a través del RND (reducción de 34 y 35% a 150 y 2.500 m s.n.m., respectivamente) se debe, exclusivamente, a la mejora de la pulverización. Cuando se utiliza bencina y, principalmente, gasolina se observa una disminución sustantiva del tiempo de arranque (con bencina, se reduce en 17 y 18% a 150 y 2.500 m s.n.m., respectivamente; mientras que con gasolina, la reducción es de 40 y 42% a las mismas alturas, respectivamente), lo cual se debe a los dos factores mencionados.

Adicionalmente, en estos dos últimos casos, es importante mencionar que estos combustibles a bajas presiones de compresión (como sucede en el arranque) se autoencienden igual o más fácilmente que el petróleo diesel, lo que, naturalmente, no sucede a altas presiones de compresión [2].

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, en la primera fase de este proyecto de investigación, permiten establecer que mediante el suministro de algunos líquidos inflamables y volátiles, a través de una válvula especial y sencilla, denominada RND, e instalada en el sistema de inyección (sin ninguna modificación de éste), se logra reducir significativamente el período de retraso del encendido y el tiempo de arranque del motor, principalmente, en condiciones de altura (con la gasolina, el tiempo de arranque se redujo en 42% a 2.500 m s.n.m.). Este método difiere completamente del método tradicional de suministrar líquidos (principalmente, éter

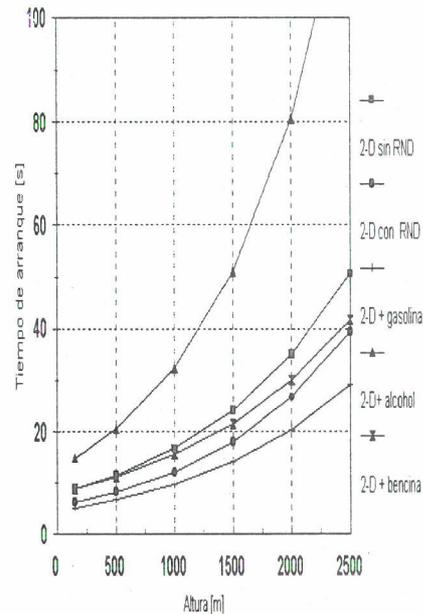


Fig.4- Variación del tiempo de arranque del motor RICARDO E6/TS en función de la altura, utilizando diversos líquidos inflamables.

dietílico), directamente al múltiple de admisión del motor, evitando así la combustión detonante durante el arranque.

Para la segunda parte de la investigación, se propone un segundo método, complementario al primero, que es el de la desconexión parcial de cilindros. Con este método, se lograría reducir la posibilidad de que el motor se apague después de arrancado, permitiendo que el calentamiento y la aceleración del motor sería paulatino, impidiendo de esta manera que el período de retraso aumente exageradamente a medida que el motor se va acelerando. Mientras que el suministro de algunos líquidos inflamables permite reducir el tiempo de arranque a cualquier nivel de altura, el método de desconexión de cilindros es más aplicable en condiciones de muy bajas temperaturas ambientales $<-5^{\circ}\text{C}$.

Los resultados obtenidos en la primera fase de la investigación permiten plantear la necesidad de proseguir con la experimentación; preferentemente, en condiciones reales de operación.

REFERENCIAS

1. Lira, G. "Inyección de gas licuado de petróleo en los motores Diesel", Revista TECNIA, vol. 6, N°1, pp. 41-47, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Nov. 1996.
2. Manusajhants, O.I., Materiales para automóviles, Editorial Transport, Moscú, 1989 (en ruso).
3. Miranda, P., Construcción y manejo de los motores Diesel marinos y estacionarios, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1971.
4. Penido Filho, P., O álcool combustível: obtenção e aplicação nos motores, Livraria Nobel, São Paulo, 1981 (en portugués).
5. Vsorov, B.A., Manual de motores Diesel para tractores, Editorial MIR, Moscú, 1986 (traducción al español).