

OPTIMIZACION DE LOS INDICES ECONOMICOS DE LOS MOTORES DIESEL AUTOMOTRICES EN LOS REGIMENES DE CARGAS PARCIALES Y DE VACIO

Guillermo Lira Cacho, Marco Antonio García Ortiz.

Facultad de Ingeniería Mecánica, sección de posgrado.
Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

El presente estudio teórico - experimental enfoca principalmente las particularidades de los procesos de trabajo de los motores diesel en los regímenes de cargas parciales y de vacío y, el método más simple y efectivo para mejorar estos parámetros de funcionamiento, especialmente el de los índices económicos. Este método, según lo demuestra nuestra investigación, es el de la regulación de la presión inicial del combustible en la línea de alta presión (LAP); desde la línea de alimentación (baja presión) y, mediante la válvula de regulación de la presión inicial (válvula RND, por su procedencia rusa).

Este sistema es muy interesante ya que es aplicable a los motores diesel, con sistema de inyección del tipo separado, que se encuentran actualmente en explotación y, prácticamente mantiene la estructura original del sistema de inyección de combustible. La aplicación de este sistema, permite suministrar adicionalmente combustible en la LAP aprovechando el fenómeno hidrodinámico que se produce al final de cada inyección y así, intensificar los procesos de inyección y mejorar los procesos de pulverización, de formación de la mezcla y de la combustión.

Los ensayos experimentales se realizaron en el banco Cussons con motor Ricardo E6 del Instituto de Motores de Combustión Interna de la Universidad Nacional de Ingeniería. Mostraremos algunos resultados comparativos de la presente investigación.

ABSTRACT

This theoretical - experimental investigation mainly focuses: The particular running processes of diesel engines at partial and idle loads and, the simplest and most effective method to improve these running parameters, specially economical indexes. According to our investigation results, this method is the initial fuel pressure regulation in the high pressure line; from the feed line (low pressure) and, by means of the initial pressure regulation valve (RND valve, russian origin).

This is an interesting system, owing to it is applicable to diesel engines with separated injection systems, which are being operated and, maintains practically its original fuel system structure. Its application lets to supply additional fuel to the high pressure line, taking advantage of the hydrodynamic phenomenon, which occurs after each injection ending and so that, intensify the injection processes and, improve the atomizing, fuel-air mixture forming and combustion processes.

The experimental assays were developed at Cussons test stand with Ricardo E6 engine of the Institute of internal combustion engines of the National Engineering University. We shall show some comparative results of this research.

INTRODUCCIÓN

Sabemos que, los motores de combustión interna consumen ingentes cantidades de energía proveniente del petróleo; de los cuales, los motores de los vehículos constituyen la mayor parte. Uno de los principales problemas del empleo de los motores de combustión interna, específicamente los motores diesel en diferentes condiciones de operación, es la búsqueda del aumento de la efectividad del funcionamiento y, en particular, de la economía de combustible; ya que éste representa un gran

porcentaje del costo de operación del motor diesel y que, depende en gran medida de los regímenes de funcionamiento. Con el crecimiento del parque automotor y la disminución de las reservas de petróleo, la solución al problema de la disminución del consumo de combustible es muy importante [1].

En el régimen nominal y cercanos a él, los índices económicos alcanzan valores óptimos; pero, en los regímenes de vacío y de cargas parciales la efectividad de funcionamiento disminuye sustancialmente. Los regímenes de vacío y de cargas parciales son los de mayor

frecuencia en la vida útil de los motores diesel y; durante el trabajo en estos regímenes, el consumo de combustible se incrementa considerablemente. El motor diesel, en estas condiciones, trabaja inestablemente debido al trabajo inestable de su sistema de inyección, disminuyendo su capacidad de corrección de suministro de combustible y por tanto su adaptabilidad [2]; por eso es necesario solucionar estos problemas para mejorar el rendimiento y la potencia del motor, reducir la toxicidad de los gases de escape; y principalmente, mejorar la economía de combustible.

Considerando estos lineamientos, una buena alternativa para mejorar los índices económicos y de potencia del motor, en estos regímenes, es la utilización del método de la regulación de la presión inicial en la línea de alta presión del sistema de inyección de combustible. Es preciso señalar que este sistema no requiere del rediseño del motor de combustión interna; sino que, es adaptable a motores diesel, ya existentes, con sistema de inyección del tipo separado que se encuentran en explotación; permitiendo, además, mantener la estructura original de su sistema de inyección.

FUNDAMENTO TEORICO

Análisis de los regímenes de explotación de los motores diesel.

El aumento del parque automotor, de los tractores y máquinas agrícolas y, de los motores diesel electrogeneradores y; la disminución de las reservas petrolíferas hacen que, el aumento de la economía de combustible en los regímenes de explotación sea un objetivo muy importante de lograr.

El motor diesel, durante su explotación, trabaja durante mucho tiempo con cargas parciales; disminuyendo su rendimiento efectivo y aumentando el consumo específico de combustible. El trabajar en regímenes de vacío, aumenta el consumo de combustible hasta en 20-30% del que se tiene con altas cargas[2]. En la fig. 1 se grafica el diagrama típico de la variación de la carga (N_e) y de la economía (g_e) de un motor diesel de tractor durante el tiempo (τ) de explotación. Se puede apreciar que durante la explotación, el motor trabaja mucho tiempo en regímenes de cargas parciales. El motor trabaja casi un 40% de τ , con

cargas menores que el 50%. El tiempo de trabajo en los regímenes de vacío es aproximadamente de 20%, en particular para motores de tractores y de automóviles, en diferentes condiciones de funcionamiento [3].

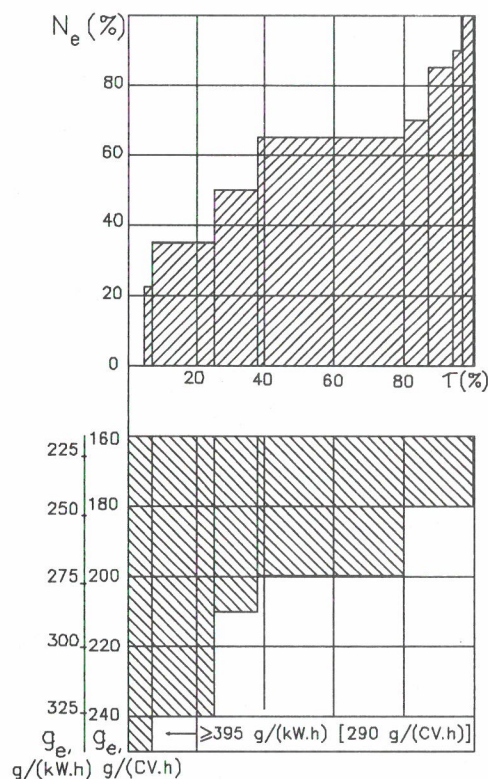


Fig. 1. Variación de la carga (N_e) y de la economía de combustible (g_e) de un motor diesel de tractor durante su explotación (τ , tiempo)

El tiempo de trabajo de los motores de tractores en los regímenes de vacío y de cargas parciales es muy grande, debido al gran porcentaje de trabajo de éstos como máquinas de autotransporte, incluyendo paseos sin carga [4]. En los motores de vehículos de transporte urbano, el tiempo de trabajo cerca de los regímenes de la característica externa es de aproximadamente 40%; sin embargo, los regímenes de carga más frecuentes se encuentran en la zona de bajas cargas [4].

Como se puede deducir de esta primera figura: El tiempo de explotación en los regímenes de cargas parciales y de vacío, es mayor que aquel de carga nominal o próximos a él. El consumo específico de combustible, en los regímenes de cargas parciales, es muy elevado; especialmente en los cercanos al vacío.

En caso de utilizar el motor en calidad de fuente energética del automóvil, deberá tenerse en cuenta que en función de las condiciones viales, la velocidad de movimiento y la carga del vehículo, así como la potencia del motor y la frecuencia de rotación del cigüeñal, varían entre límites muy amplios. La experiencia obtenida en el servicio de vehículos muestra que, la mayor parte del tiempo, el motor no trabaja a máxima carga, siendo diferentes las frecuencias de rotación [5].

Los regímenes de trabajo típicos de los vehículos en condiciones de marcha por la ciudad con tráfico intenso, se presentan en la fig. 2. Los experimentos muestran bruscas oscilaciones en la velocidad de movimiento V_a (curva 1) y en la frecuencia de rotación del cigüeñal del motor (curva 2). Además, las cargas aplicadas en función de la posición de la cremallera fluctúan entre medianas y mínimas posiciones (curva 3). La máxima posición de la cremallera fue del 40% de h_c [5].

Gran importancia, para el motor del vehículo, tiene la estabilidad de funcionamiento a marcha en vacío y a baja frecuencia de rotación del cigüeñal. Este régimen tiene lugar durante el calentamiento del motor, en caso de cortas paradas, al realizar los cambios de velocidad, etc. El trabajo del motor en el régimen de vacío se caracteriza por la igualdad de la energía desarrollada por el motor y la energía consumida para vencer las pérdidas mecánicas. Para asegurar el funcionamiento más económico del motor, se debe tender a disminuir la velocidad de rotación mínima tolerable durante el servicio [5].

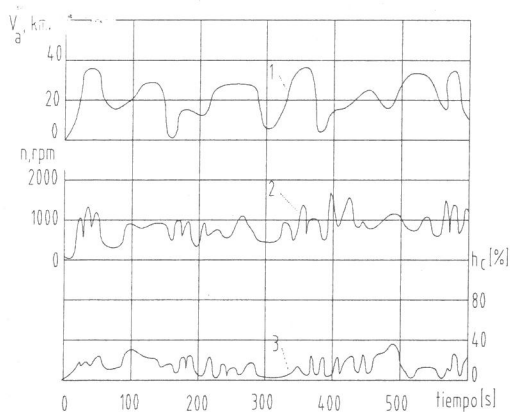


Fig.2. Los regímenes típicos de funcionamiento de los vehículos en condiciones de marcha por la ciudad con tráfico intenso, [5].

Influencia de la disminución de la carga sobre los índices y parámetros de funcionamiento.

El análisis de las características de inyección demuestra que al disminuir el suministro cíclico de combustible, la duración de la inyección decrece; los instantes reales de inyección cambian en correspondencia con la variación de las fases geométricas (se retrasa el inicio y se adelanta el fin de la inyección) y las presiones máximas de inyección disminuyen [5]. Estos factores hacen que la calidad de los procesos de inyección y pulverización de combustible disminuyan notablemente, decreciendo a la vez su capacidad de corrección y por tanto su adaptabilidad [6].

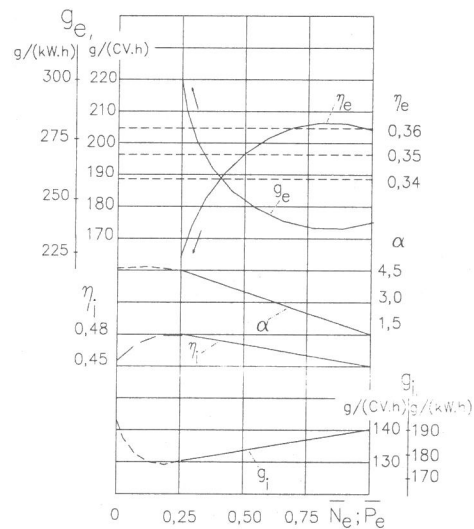


Fig.3. Variación de los principales parámetros de funcionamiento del motor diesel según la característica de carga, [7].

La disminución de la carga permite también disminuir la temperatura de la cámara de combustión, que sumada a los deficientes procesos de formación de la mezcla conllevan a un empeoramiento de la combustión, consecuentemente la eficiencia efectiva disminuye y el consumo específico de combustible aumenta (disminución de la economía de combustible) [2].

En la figura 3 podemos apreciar claramente lo enunciado previamente: El consumo específico de combustible se incrementa con la disminución de la carga (incremento del coeficiente de exceso de aire α), siendo más notorio en los regímenes de cargas parciales cercanos al vacío, [7].

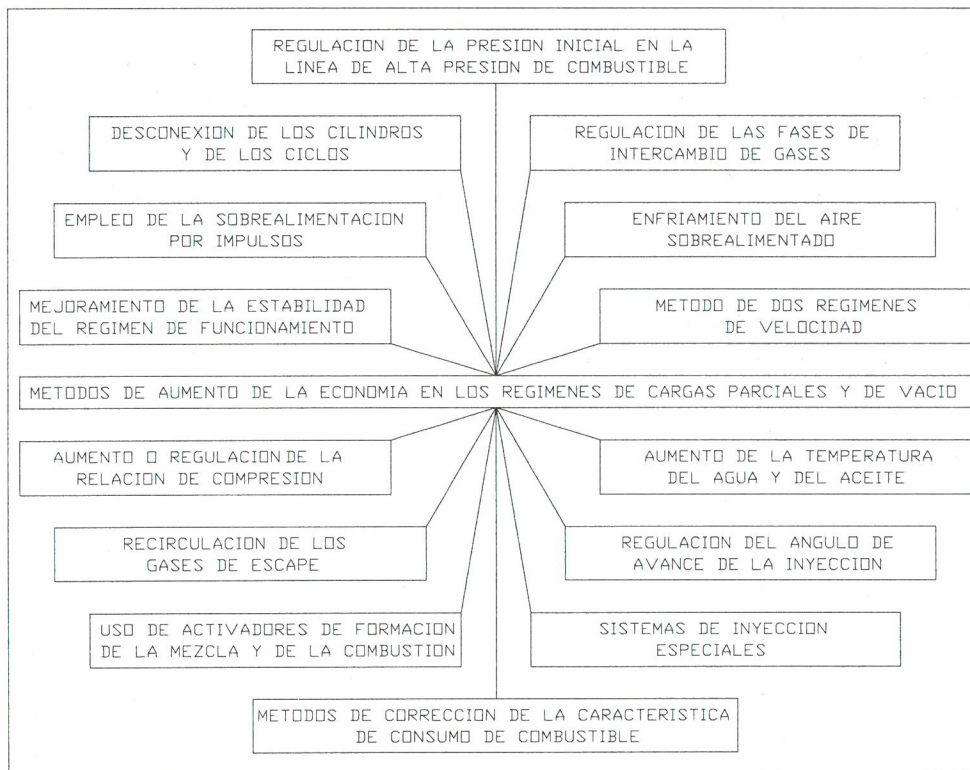
MÉTODOS DE AUMENTO DE LA ECONOMÍA DE TRABAJO DEL MOTOR DIESEL EN LOS REGÍMENES DE CARGAS PARCIALES Y DE VACÍO.

Existen diferentes métodos y medios para la disminución del consumo de combustible, en los regímenes de cargas parciales y de vacío. En el cuadro 1, hacemos mención generalizada de los diferentes métodos para aumentar la economía en estos regímenes. Es posible la existencia de otras, pero los más importantes son mencionados en este cuadro [2].

Como se puede apreciar en el gráfico son varios

desconectados y estabilizar el funcionamiento del motor pero, es recomendable utilizarlo en motores con gran número de cilindros. Todos estos sistemas, excepto el método de la regulación de la presión inicial que aplicaremos, presentan un factor negativo que es el que deben ser utilizados en nuevos modelos de sistemas de inyección o de motor o, en diseños o construcciones modificadas. Es preciso señalar que existen diferentes medios de regular la presión inicial de inyección, los cuales también se aplican en nuevos sistemas de inyección de combustible pero, nuestro método se aplica a motores diesel existentes que se encuentran en explotación y prácticamente

CUADRO 1: MÉTODOS DE AUMENTO DE LA ECONOMÍA EN LOS REGÍMENES DE CARGAS PARCIALES Y DE VACÍO



FUENTE : [2].

los métodos que persiguen este fin, tanto los que trabajan con los sistemas de alimentación de combustible como los que con el propio motor diesel. De todos estos, los que ejercen una gran influencia en el mejoramiento de los procesos de trabajo del motor, por tanto en su economía de combustible, son los métodos de corrección de la característica de consumo de combustible. Los sistemas con desconexión de los cilindros son eficientes para bajas cargas por que permiten aumentar la eficiencia indicada en los cilindros no

mantiene la estructura original de su sistema de inyección (ver la siguiente sección).

MÉTODO DE REGULACION DE LA PRESIÓN INICIAL DE INYECCION DESDE LA LINEA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE

Antecedentes

Los índices de economía de combustible y ecológicos de los motores diesel automotrices y de

tractores pueden ser mejorados optimizando los parámetros de la inyección de combustible para cada régimen de funcionamiento [6]. La intensidad del suministro de combustible, así como el carácter constante del ángulo de adelanto de la inyección, influyen notoriamente sobre la economía del motor, la cual depende en particular de la presión inicial de combustible en la línea de alta presión [8].

Uno de los parámetros más importantes para mejorar los procesos de inyección es la presión inicial del combustible, la cual proviene de la presión residual previa en la línea de alta presión [9]; por lo tanto, regulando la presión inicial se pueden mejorar los parámetros de inyección y los índices económicos de los motores diesel automotrices.

El grado de influencia de la presión inicial en el proceso de suministro de combustible depende, ante todo, de la relación del volumen de suministro cíclico de combustible con el volumen de la línea de impulsión; por lo tanto, la efectividad del empleo de los sistemas con RND crece con la disminución de la carga [9].

El empleo de los sistemas con RND promete, más adelante, tomar una posición de procedimiento complementario; aumentando la economía de combustible, la potencia y la duración (vida útil) de los motores diesel [2].

Estructura y principio de funcionamiento del método.

Después de finalizado el proceso de inyección, la presión en la línea de impulsión cae bruscamente alcanzando valores inclusive menores que la atmosférica; esta presión residual vendrá a ser la inicial del siguiente ciclo de inyección [8].

Este método tiene el siguiente principio [6]: Después del final de la inyección, cuando la válvula impelente 2 con su anillo de descarga cae en su asiento; se forma en la línea de alta presión 3 una onda de depresión, abriéndose la válvula de retención 4 (válvula de regulación de la presión inicial de inyección, válvula RND) y, por diferencia de presiones el combustible complementario, proveniente de la línea de baja presión 5, ingresa a la línea de alta presión (ver fig. 4). Debido a que la onda de depresión recorre la línea 3 varias veces hasta amortiguarse y, correspondientemente varias veces se abre la válvula RND (períodos $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ en la fig. 5); el combustible complementario, proveniente de la

línea de baja presión (LBP), ingresa en pequeñas cantidades, en función a los niveles de depresión.

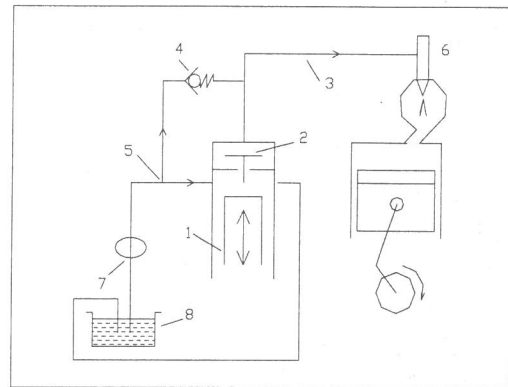


Fig.4. Sistema de regulación de la presión inicial (sistema RND): 1-bomba de inyección, 2-válvula impelente, 3-LAP, 4-válvula RND, 5-LBP, 6-inyector, 7-bomba de baja presión, 8-tanque de combustible.

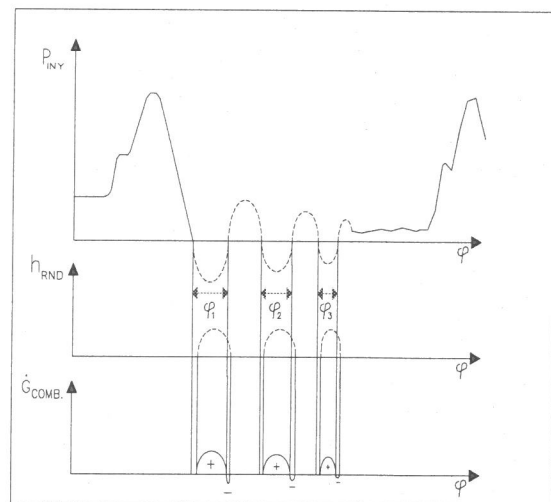


Fig.5. Esquema oscilográfico de la variación de la presión de combustible en la línea de impulsión (P_{iny}), el paso de la válvula RND (h_{RND}) y el caudal del combustible complementario (G_{COMB}).

Debido a la estructura de la válvula RND, el suministro de combustible complementario sucede durante el movimiento de ésta en dirección de apertura, es decir cuando la presión del combustible complementario es mayor que en la línea de alta presión. Tan pronto que la presión en la línea de inyección alcanza valores mayores que la presión del combustible complementario, la

válvula se cierra y se interrumpe el flujo. Sin embargo, debido al rozamiento y a la inercia de la válvula RND es inevitable pequeños retornos de la línea de alta presión al de combustible complementario [6], tal como se puede apreciar en la fig. 5 (con signo negativo).

Una importante peculiaridad de esta válvula es que cuando disminuye la carga (disminuye el suministro cíclico de combustible) permite un mayor ingreso de combustible complementario a la línea de inyección; esto debido a que crece la intensidad y la amplitud de la onda de depresión, por acción del anillo de descarga de la válvula impelente [10].

Este método se ha implantado tomando en consideración la necesidad de no alterar el sistema de inyección original del motor, por lo tanto la optimización de la cantidad de combustible complementario a suministrar dependerá de los parámetros constructivos de la válvula RND (ver fig.6), tales como la masa de la válvula de retención 13, la rigidez del resorte antagonista 14, la sección de paso de la válvula, la caída de presión en el sistema; asimismo, también dependerá del régimen de funcionamiento del motor, de las características constructivas del sistema de inyección y de las propiedades físicas del combustible en ensayo [9]; y así como de la presión en la línea del combustible complementario [2].

La válvula de regulación de la presión inicial RND.

La válvula RND (ver la fig. 6) es una válvula de retención que está constituida por un cuerpo central 1, el cual posee tres racores roscados 2,3,4. El cuerpo central se une, mediante el racor 2, con la tubería de alta presión 5 proveniente de la bomba de inyección 17, y mediante el racor 3 con la tubería 6 conducente al inyector 7. El racor 4 se une con la parte superior 8 del cuerpo central mediante el extremo roscado 9 y; con la cañería de combustible complementario 10 a través del perno de rebose 11. En el interior del cuerpo central se aloja el asiento 12 con su válvula de retención 13, el resorte antagonista 14 sirve para mantener presionada la válvula en su asiento. Para asegurar la estanqueidad se utilizan dos empaquetaduras de aluminio 15, y el tope 16 regula la carrera de la válvula [10].

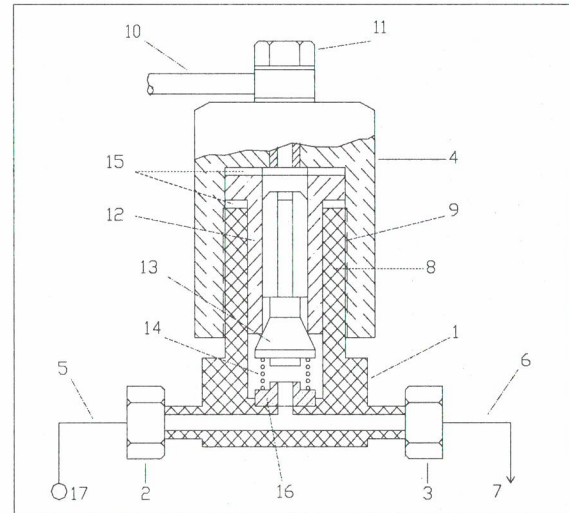


Fig.6. La válvula de regulación de la presión inicial de inyección RND.

DESCRIPCION DEL BANCO DE PRUEBAS Y DEL SISTEMA DE REGULACION DE LA PRESIÓN INICIAL IMPLANTADO

Como objeto de pruebas para nuestra investigación experimental empleamos el banco de pruebas Cussons (dinamómetro, dispositivos de registro, tablero de control y mando) que cuenta, además, con el motor monocilíndrico Ricardo E6 de compresión variable (versión diesel) y, en éste se basará nuestro estudio comparativo. Este banco se encuentra ubicado en el Instituto de Motores de Combustión Interna.

La implantación del sistema de regulación de la presión inicial de inyección se aplica sobre el sistema de inyección del motor Ricardo (ver la fig. 7), de tal forma que no modifique la estructura original de su sistema de inyección de combustible. La toma del combustible complementario, el que se necesita para regular la presión de combustible en la línea de alta presión, proviene desde la línea de baja presión o alimentación 2 y, mediante la válvula de regulación RND 3 permite realizar su cometido. La presión de alimentación de combustible es generada por una bomba

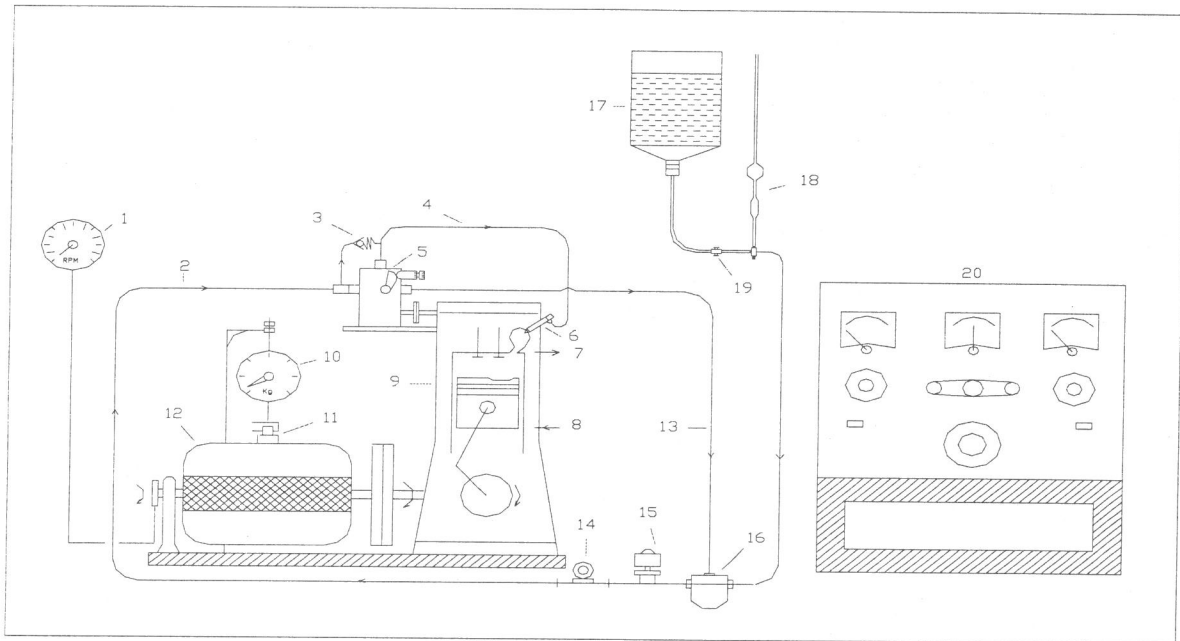


Fig.7. Esquema general del banco de pruebas Cussons con motor monocilíndrico Ricardo E6: 1-tacómetro, 2-línea de suministro de combustible, 3-válvula RND, 4-LAP, 5-bomba de inyección, 6-inyector, 7-salida del refrigerante, 8-entrada del refrigerante, 9-motor Ricardo, 10-balanza, 11-brazo torsor, 12-dinamómetro, 13-línea de rebose, 14-manómetro, 15-bomba eléctrica de combustible, 16-filtro de petróleo, 17-tanque de combustible, 18-fluviómetro, 19-válvula de corte de combustible, 20-mecanismo de control eléctrico.

eléctrica 15 y es de aproximadamente 0,15 MPa. El consumo de combustible se mide por medio del fluviómetro 18 una vez que la válvula de corte de combustible 19 sea accionada. La fuerza dinamométrica se controla por la balanza graduada 10, las revoluciones del motor por el tacómetro 1 y, la posición de la cremallera por el micrómetro adosado en la bomba de inyección 5.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Antes de realizar cada experimento se realizaron calibraciones y mediciones de las condiciones ambientales en que se ejecutaron los experimentos. Luego se verificó el buen funcionamiento de los dispositivos de registro tanto de temperatura (temperaturas del aceite, del refrigerante, del combustible, etc.) como de otras magnitudes del motor Ricardo. Después del término de los ensayos, los dispositivos fueron nuevamente verificados y calibrados.

Se revisaron los niveles de aceite, refrigerante y combustible, luego se puso en marcha el motor y, se mantuvo en funcionamiento a un medio de

velocidad hasta obtener el nivel óptimo de temperatura del refrigerante y del aceite de lubricación (aproximadamente 70 y 60 °C respectivamente).

En primer lugar se controló el estado técnico del motor monocilíndrico Ricardo previo a los ensayos, mediante el levantamiento de las curvas características externas de velocidad comparándolas con los originales o certificados técnicos.

Se definieron las cargas a ensayar. Como nuestra investigación se basa en el comportamiento de los motores diesel a cargas parciales y de vacío, éstas son para 10%, 30%, 50% de la posición de la cremallera h_c (desde 600 hasta 1400 rpm.) y para el régimen de carga nominal (100% h_c , desde 1000 hasta 3000 rpm); con este último se puede graficar la característica externa de velocidad.

Una vez determinados los puntos de carga y de velocidad en pleno funcionamiento del motor se registraron los siguientes parámetros:

1. La carga en función de la posición de la cremallera (% h_c);
2. Las rotaciones del motor (rpm.);
3. El volumen de combustible suministrado (cm^3 , constante);

4. El tiempo en que se consume el volumen de combustible fijado (s);
5. La fuerza dinamométrica (kg.);
6. Las temperaturas de entrada y salida del refrigerante ($^{\circ}\text{C}$);
7. La temperatura de aceite de lubricación del motor ($^{\circ}\text{C}$).

Los ensayos experimentales en primer lugar fueron para el sistema de inyección normal del motor Ricardo y, seguidamente para el sistema de inyección con regulación de la presión inicial RND. Los datos fueron registrados en sus respectivos protocolos de pruebas.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En primera instancia, al ensayar según la característica externa de velocidad con ambos sistemas se observa que, prácticamente, el sistema RND no modifica el comportamiento de las características de consumo específico de combustible (g_e) ni de la potencia efectiva (N_e); es decir que al emplear el sistema RND, en altas cargas, los parámetros de funcionamiento del motor diesel varían insignificativamente (ver la fig. 8). Esto es muy importante ya que al emplear este sistema, el motor diesel podrá trabajar normalmente en los regímenes nominales o próximos a él, manteniendo los mismos índices económicos, de potencia y de toxicidad.

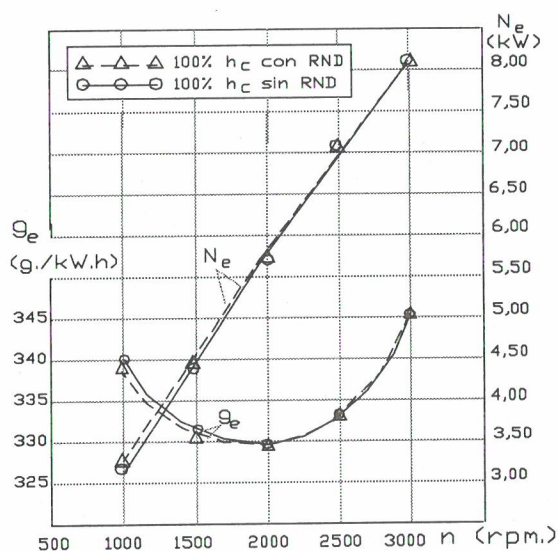


Fig. 8. Característica externa de velocidad (régimen nominal)

Tal no es el caso para los regímenes de cargas parciales, ya que en éstos si existe una influencia positiva de la aplicación del sistema RND y; consecuentemente, aumentan la economía de combustible (disminución de g_e) y también la potencia del motor N_e (ver la fig. 9). En esta figura presentamos los resultados de los ensayos para dos cargas parciales: La primera para 30% de $h_{c,nom}$. y la segunda para 50% de $h_{c,nom}$. Podemos apreciar que el consumo específico de combustible g_e disminuye (aumenta la economía de combustible) y la potencia efectiva del motor N_e aumenta, al emplear el sistema RND. Los porcentajes de reducción del consumo específico (Δg_e) y de incremento de la potencia (ΔN_e) son considerables y, para el rango de velocidades de 600 - 1400 rpm., fluctúan: Para la carga de 30%, Δg_e desde 3,1% (600 rpm) hasta 1,1% (1400 rpm) y ΔN_e desde 8,5 hasta 1,5%, respectivamente. Los porcentajes van disminuyendo gradualmente conforme se incrementa la velocidad de rotación del motor. Para un 50% de carga, Δg_e desde 1,9 a 0,6% y ΔN_e desde 3,8 hasta 0,8%; disminuyendo gradualmente para el mismo rango de velocidades. Estos resultados son muy interesantes porque demuestran que, el sistema RND permite trabajar económicamente en estos regímenes y, además con mayores potencias para las mismas posiciones de la cremallera de la bomba de inyección.

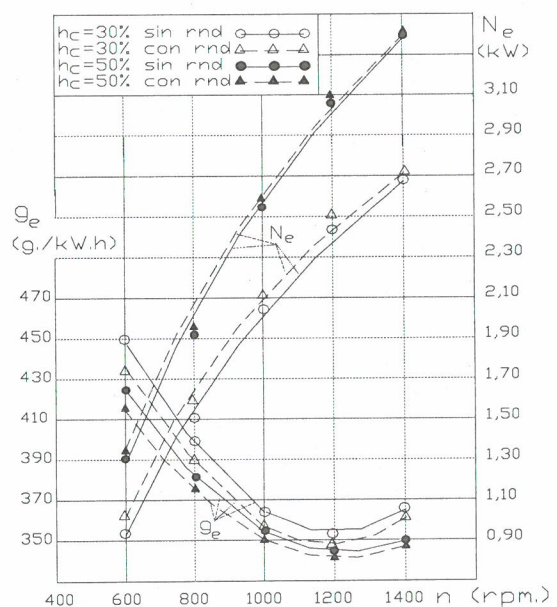


Fig. 9. Características parciales de velocidad para bajas cargas.

Una atención muy especial merece la fig. 10 donde se muestra las características para la carga mínima de funcionamiento (10% de $h_{c,nom}$), especialmente para la velocidad de rotación mínima (600 rpm). Este régimen es, prácticamente, el régimen de vacío. Podemos apreciar que, el Δg_e es de 3,8% y, al igual que para las cargas parciales, va disminuyendo hasta 1,8% a 1400 rpm. El porcentaje de incremento de potencia (ΔN_e), en el régimen mínimo de funcionamiento, es de 16% (600 rpm); este valor es realmente considerable porque lo podemos utilizar como potencia de reserva y, así, poder disminuir las rotaciones mínimas estables del motor en 10%, es decir desde 600 hasta 540 rpm. Esto es doblemente importante ya que: Empleando el sistema RND, es posible la disminución del consumo específico de combustible (g_e) y; si la velocidad de rotación mínima (n_{min}) también se reduce, la economía de combustible se incrementará mucho más (disminución del consumo horario de combustible).

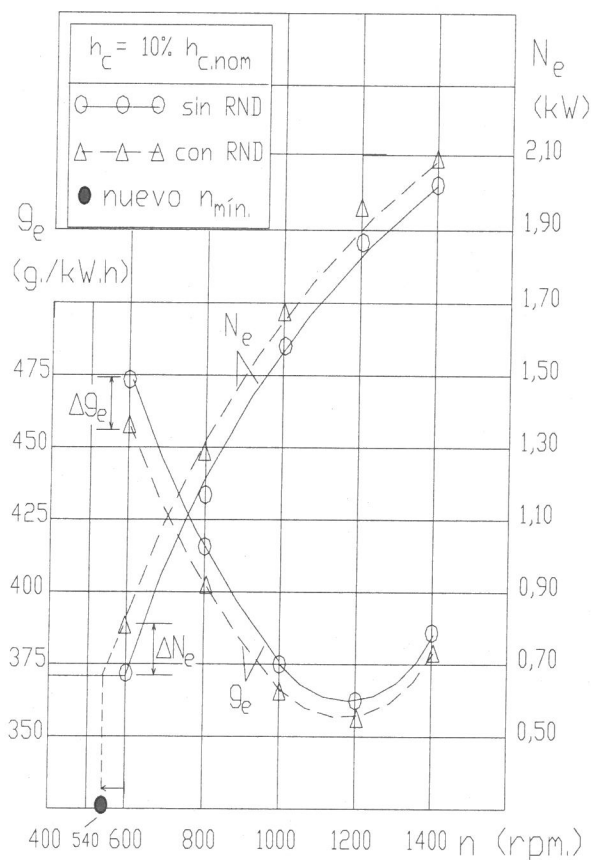


Fig.10. Característica de velocidad para el régimen de vacío.

CONCLUSIONES

1. El conocimiento teórico del comportamiento de los sistemas de inyección de combustible y de los motores de combustión interna en los regímenes de cargas parciales es de suma importancia, puesto que normalmente los libros especializados y la literatura correspondiente se dan para el régimen de carga nominal de funcionamiento.
2. Se ha presentado los fundamentos teórico-constructivos de un método de regular la presión inicial de combustible en la línea de alta presión, directamente desde la línea de alimentación y mediante la válvula de regulación de la presión inicial (válvula RND).
3. El sistema experimental ensayado, el cual toma el combustible complementario desde la línea de baja presión (alimentación) a una presión de 0,15 Mpa, ha resultado ser el más simple y efectivo. La simplicidad, por la forma de tomar el combustible complementario y; la efectividad, por que suministra el combustible a la línea de impulsión a una presión igual a la de la alimentación de combustible, mejorando la carga de la línea de alta presión.
4. Si a un motor diesel automotriz con sistema de inyección de tipo separado se adapta el sistema con RND desde la línea de baja presión a la línea de impulsión, la presión de inyección aumenta, mejorando así los procesos de pulverización, formación de la mezcla y combustión. Esto último permitirá en el motor diesel, un incremento de la potencia y, más aún, la disminución del consumo específico de combustible a cargas parciales.
5. El empleo del sistema RND permite disminuir el consumo específico de combustible en los regímenes de cargas parciales, especialmente en los cercanos al vacío. Los porcentajes de reducción del consumo específico (Δg_e) son considerables y varían desde 3,8% (para 10% h_c y n_{min}) hasta porcentajes pequeños que van disminuyendo gradualmente al acercarse a los regímenes de altas cargas.
6. El porcentaje de incremento de la potencia efectiva (ΔN_e) al emplear el sistema con RND es importantísimo debido a que éste puede ser utilizado como una potencia de reserva y, así poder reducir las rotaciones mínimas estables del motor. Si observamos el gráfico 10, el porcentaje incrementado de potencia es de

16% en el régimen de carga mínima (10% h_c) y n_{\min} (600 rpm.). Al extrapolar la característica de la potencia efectiva con RND hasta llegar al nivel de potencia para vencer las pérdidas mecánicas y mantener un régimen de rotaciones mínimas estables, podemos disminuir el n_{\min} en un 10%, es decir desde 600 rpm. hasta 540 rpm.

Como una conclusión general podemos señalar que, el diseño de este método de regular la presión inicial en la línea de impulsión o, la adaptación en los motores diesel con el sistema de alimentación de combustible de tipo separado crea un sistema de inyección cuyos procesos de inyección son estables, con una capacidad de corrección óptima. Este sistema permitirá aumentar la potencia efectiva y disminuir los consumos específico y horario de combustible, en los regímenes de cargas parciales y especialmente en los cercanos al vacío. También es posible la reducción del número mínimo estable de rotaciones, lo que conllevará, aún más, a la disminución del consumo de combustible (disminución del consumo horario de combustible); esta disminución de rotaciones, además, ampliará el rango útil de velocidades de rotación del motor e incrementará su vida útil. Para los regímenes de carga nominal y altas rotaciones no presentará problema alguno, ni en parámetros económicos, de potencia, ni de toxicidad; puesto que se adapta perfectamente y obedece a los procesos de inyección del sistema normal de inyección de combustible.

RECONOCIMIENTO

El autor del presente trabajo agradece su agradecimiento al profesor Nicolai N. Patrakhaltsev, doctor en ciencias técnicas, por su valiosa asesoría en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

1. SHKALICOVA V. P.; SANCHEZ L. A., PATRAKHALTSEV N. N. "Sobre las posibilidades de ampliación de los recursos de combustibles diesel y la regulación del proceso de trabajo del motor diesel con la variación de la composición del combustible". "Motores de combustión interna", publicación 48. Escuela Jarcov - Vitsa, Moscú-Rusia, 1988., pág.73-79.
2. PATRAKHALTSEV Nicolai N., Doctor en Ciencias Técnicas. Tópicos selectos sobre los regímenes de cargas parciales y de vacío. Sección de Post-grado, FIM-UNI, Lima-Perú, 1996 - Marzo 1998.
3. COVAL I. A.; SIMSON A. E., LUSHICHKI Y. V. "Disminución del consumo de combustible en explotación". "Construcción de motores", N° 1, Moscú-Rusia, 1980 pág. 31-39.
4. COSTIN A. C., PUGACHEV B. P., COCHINEV Y. N. Trabajo de los motores diesel en condiciones de explotación. Edit. construcción de máquinas. Leningrado-Rusia, 1989, 284 pág.
5. JOVAJ M. S. Motores de automóviles. Editorial MIR, Moscú-Rusia, 1982.
6. LIRA CACHO, Juan G., VALENZUELA O. D. "Influencia de la regulación de la presión inicial de inyección sobre los parámetros de funcionamiento de las bombas de inyección lineales". In: Tópicos selectos de motores de combustión interna. IMCI - UNI, Lima-Perú, 1991, pág. 41-71.
7. VANSHENDTA V. A. Manual de los motores diesel. Edit. construcción de máquinas, Moscú-Rusia, 1964. 598 pág.
8. PATRAKHALTSEV N. N. "Desarrollo de motores diesel de alto rendimiento y bajo nivel de toxicidad". In: Tópicos selectos de motores de combustión interna. IMCI - UNI - Lima-Perú, 1991, pág. 73-74.
9. PATRAKHALTSEV N. N. "Diseño del sistema de alimentación de combustible con regulación de la presión inicial". "Construcción de motores", N° 10, Moscú-Rusia, 1980, pág. 33-38.
10. LIRA CACHO, Juan G. "Inyección de gas licuado de petróleo en los motores diesel". "Tecnica", vol. 6, IGI-UNI, Lima-Perú, 1996. Pág. 41-47.