



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

EFFECTO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS MOTORES
A DIESEL EN EL AHORRO
DE COMBUSTIBLE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO
P R E S E N T A
ISAI ALVAREZ PADILLA

DIRECTOR DE TESIS:
ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO

CO - DIRECTOR DE TESIS:
M. en I. EMILIANO ANGUIANO ROJAS



CIUDAD UNIVERSITARIA,

MAYO 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi Señor Jesucristo, mi Dios y mi Salvador quien me amó, me transformó, y le dio sentido, fortaleza, seguridad, dicha, paz y felicidad a mi vida. De quien recibí la vida eterna, por su puro amor y su misericordia infinita, quien escribió mi nombre en el libro de la Vida.

A mis padres Daniel y Lucila; por su amor, comprensión, apoyo incondicional, educación, formación, cariño y paciencia, durante mi larga estancia en la facultad de Ingeniería. Y quienes han sido y serán una gran bendición especial de parte de Dios, tanto en la vida de Judith como en la mía. Gracia por sus enseñanzas y por apoyarme durante todos mis estudios: ¡¡ Que Dios les bendiga siempre !!.

A Judith mi esposa; por ser una bendición de los cielos para mí y quien es una ayuda idónea de parte del Creador, para mí; de quién recibo en todo momento: amor, ternura, comprensión, paciencia, consejo, amistad y apoyo incondicional. Por su ayuda invaluable en la realización de ésta tesis.

A mis hermanos Cesia, Daniel y Heber Juan por sus enseñanzas, cariño, compañía, ayuda y apoyo incondicional, durante todo éste tiempo.

A mis suegros: B. Domingo y Judith y a mis cuñados: Josué e Isaac: Para quienes tanto Judith como yo, somos objeto de un cariño muy especial, cuidados, atenciones, apoyo desinteresado y quienes son una bendición muy especial de parte de Dios para nosotros. A ellos Muchas Gracias y que Dios les bendiga abundantemente todos los días de su vida. Y les devuelva en bendiciones de los cielos su apoyo continuo y cariñoso hacia Judith y hacia mí.

A mis amigos y hermanos de la INPC “El Divino Redentor” de Virginia # 188 esq. Av. Lago Col. Nativitas, por su amistad, cariño, apoyo y solidaridad que nos han brindado desde el primer domingo que llegamos a ésta Iglesia. Particularmente el mostrado en nuestras situaciones difíciles, donde nos mostraron su amistad, apoyo, compañerismo y amor Cristiano.

A la empresa DIRREC. Dirigida por los hermanos Rodríguez Esquivel, (Jerónimo y Raúl). Por su ayuda, apoyo desinteresado, experiencia compartida y por la información bibliográfica proporcionada para la realización de ésta tesis, así como por los videos proporcionados.

Al Sr. Heriberto Báez González. Por su amistad y apoyo desinteresado y por la información bibliográfica proporcionada (libros y manuales) para la realización de ésta tesis.

A mi Director de Tesis: M. en I. Armando Maldonado S. Por sus valiosas aportaciones, por su valioso tiempo, paciencia, atenciones que me dedicó durante la realización de éste trabajo, de una manera desinteresada, amable y cordial. Por su interés mostrado hacia ésta tesis: Muchas Gracias Ing. Maldonado.

***“ Todo lo que te viniere a la mano para hacer,
hazlo según tus fuerzas;
porque en el sepulcro,
a donde tú vas,
no hay obra,
ni industria,
ni ciencia,
ni sabiduría”***

Eclesiastés 9.10

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

Capítulo I: *CONCEPTOS BÁSICOS*

1.1 El motor diesel.....	4
1.2 Ciclo diesel termodinámico.....	4
1.3 Ciclo dual.....	7

Capítulo II: *SISTEMAS DE INYECCIÓN EN MOTORES A DIESEL*

2.1 La dificultad de la inyección del combustible en el motor diesel.....	11
2.2 Tipos de sistemas de combustión diesel.....	13
2.3 Sistema de inyección directa.....	13
2.4 Sistema de inyección indirecta.....	19

Capítulo III: *COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA INYECCIÓN*

3.1 Bombas de Inyección Tradicionales.....	23
3.2 Bombas en Línea.....	24
3.3 Bombas Rotatorias.....	30
3.4 Control Electrónico de Bombas Rotativas.....	33
3.5 Interconexión de Bombas Tradicionales e inyectores.....	35
3.6 Sistemas de Conducto Común y Sistemas Electrónicos de Inyección de Combustible	37
3.7 Inyección de Combustible Electrónica (EUI)	38

**Capítulo IV: *IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS EN EL CONSUMO DE
COMBUSTIBLE***

4.1 La perspectiva de Cummins® en cuanto a Economía de Combustible.....	42
4.2 Rendimiento de Combustible Diesel en Kilómetros/ Litro Cummins®.....	47
4.3 La perspectiva de International® en cuanto a Economía de Combustible.....	48
4.4 La perspectiva de Caterpillar® en cuanto a Economía de Combustible.....	51
4.5 La perspectiva de Scania® en cuanto a Economía de Combustible.....	53
4.6 La perspectiva de Volvo® en cuanto a Economía de Combustible.....	56
4.5 La perspectiva de la CONAE en cuanto a Economía de Combustible.....	59
4.6 La perspectiva de Comercial Mexicana® en cuanto a Economía de Combustible	60

Capítulo V: <i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>.....	62
---	-----------

BIBLIOGRAFÍA.....	66
--------------------------	-----------

ANEXOS.....	69
--------------------	-----------

INTRODUCCIÓN

La aplicación de los motores a diesel en nuestros días es bastante amplia, ya que los podemos encontrar en: yates, submarinos, subestaciones eléctricas, barcos, maquinaria de agricultura, equipo de desasolve y dragado, equipo para minería, automóviles, camiones de servicio pesado, autobuses de transporte, entre muchos más.

Aún dentro de la aplicación camiones de servicio pesado y autobuses de transporte, habrá más subdivisiones, el objeto de éste análisis, sólo contempla, una fracción de los dos últimos mencionados. El resto de las aplicaciones queda fuera del alcance de éste trabajo.

La evolución de la tecnología en motores diesel ha permitido mejorar el comportamiento y por lo tanto, el rendimiento de combustible, sin embargo; Es importante señalar que hay poca información sobre los rendimientos de combustible de los vehículos en operación.

En algunas entrevistas realizadas a diversas empresas transportistas, nos mencionaron que “las políticas internas, impiden dar información al respecto”. Por ello en éste trabajo se investigó la tecnología de inyección de las diferentes marcas de fabricantes, así como el rendimiento de combustible real en un caso práctico, lo que permitió no solo confirmar que la inyección electrónica, mejora el rendimiento comparado con la inyección mecánica, sino también nos permite determinar el rango en el que se encuentra éste rendimiento.

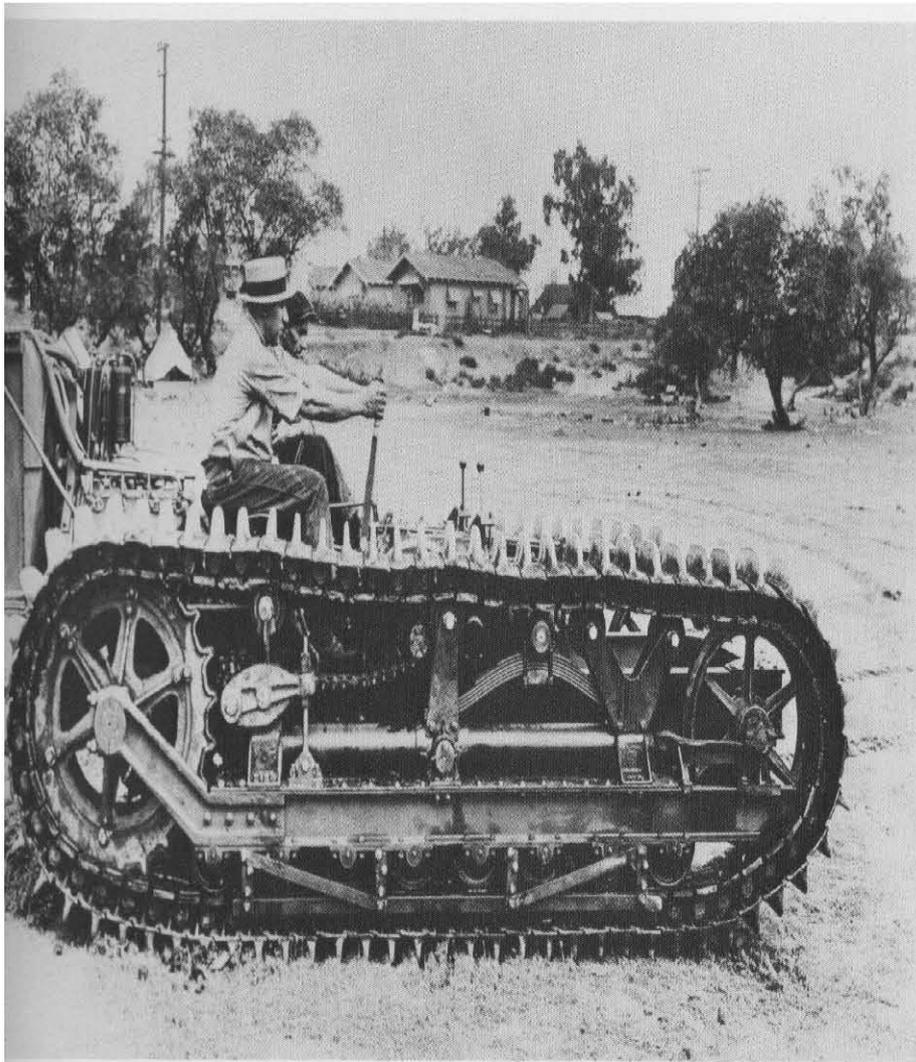
OBJETIVO

- ❖ Realizar un análisis del efecto de la tecnología electrónica aplicada en el sistema de combustible de los motores a diesel (uso transporte de carga y pasaje), así como diversos criterios que repercuten en el consumo de combustible diesel.

CAPITULO I

CAPITULO I

CONCEPTOS BÁSICOS



First track-type tractor to travel over 25 mph, Stockton c. 1918

Development of this specially designed tractor was encouraged because of the need for high speed mobilization of artillery. The track shoes were specially designed for maximum traction.

Photograph gift of Warren H. Atherton LB67-7332-175

EL MOTOR DIESEL

Un motor diesel es un motor de combustión interna en el cuál la ignición del combustible se produce por el calor de la compresión. la bobina y las bujías del motor de automóvil de gasolina se sustituyen por la bomba de inyección de combustible y los inyectores.

En un motor de ignición por chispa, el combustible se enciende mediante la energía proporcionada desde una fuente externa. Un método alternativo para iniciar el proceso de combustión en un motor alternativo consiste en elevar la temperatura de aire y mezcla de combustible por encima de su temperatura de ignición. Un motor construido con base en éste principio recibe el nombre de *motor de ignición por compresión* (IC). Utilizando relaciones de compresión en el intervalo 14:1 a 24:1 y empleando *diesel* como combustible en vez de gasolina, la temperatura del aire dentro del cilindro excederá la temperatura de ignición al final de la carrera de compresión. Si el combustible se alimentara con aire, como sucede en los motores de ignición por chispa, la combustión comenzaría a través de toda la mezcla al alcanzar la temperatura de encendido. En tal caso, no se tendría control sobre la duración del proceso de combustión.

Para superar esta dificultad, el combustible se inyecta en el cilindro mediante una operación por separado. La inyección comienza cuando el émbolo se encuentra cerca de la posición de punto muerto superior (PMS). Por esto, el motor de IC difiere del motor de ignición por chispa (ICh) principalmente por el método de obtener la combustión y en el ajuste de tiempo del proceso de combustión.

CICLO DIESEL TERMODINAMICO

En la figura 1 se presenta un diagrama *PV* de un motor de ignición por compresión a una carga especificada. Debe señalarse que el moderno motor de IC, llamado a menudo *motor diesel* tiene un diagrama *PV* muy parecido al de un motor de ignición por chispa a plena carga.

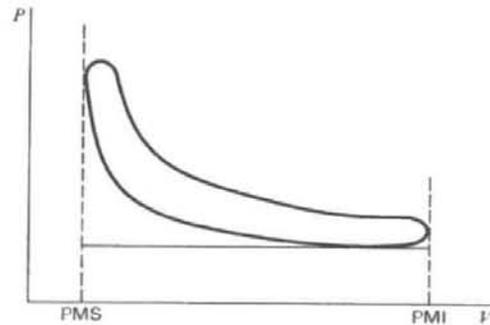


Fig. 1 Ciclo Diesel (Diagrama P-V)

En los primeros motores de este tipo, la parte de combustión del ciclo era un poco más cercano a un proceso a presión constante. Como resultado, el ciclo teórico que se usó al principio para modelar el motor de encendido por compresión era el ciclo Diesel. El ciclo recibió ese nombre en honor a Rudolph Diesel*, quien obtuvo una patente para una máquina de ignición por compresión en la década de 1890.

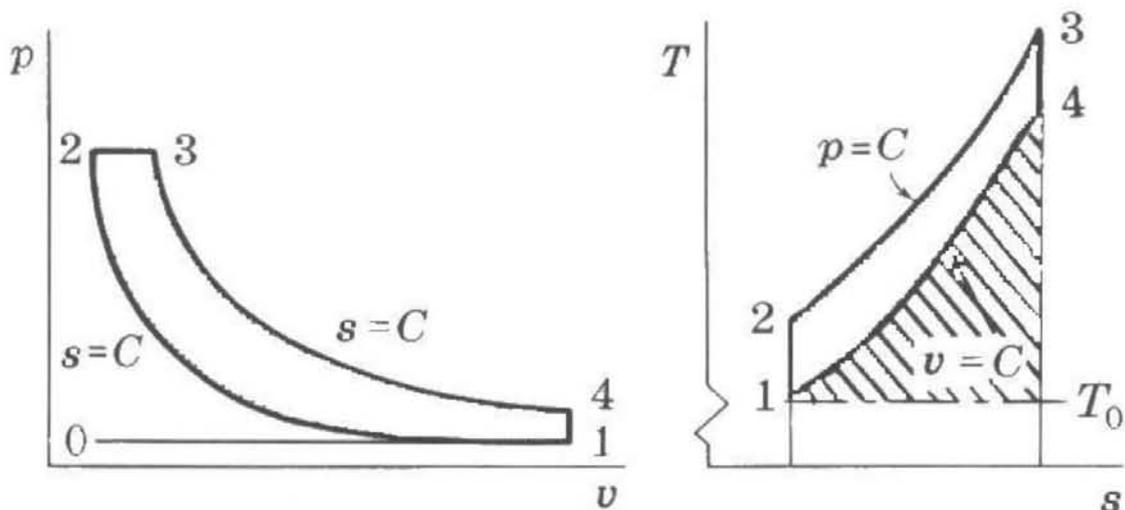


Fig 2 Ciclo Diesel

La eficiencia térmica del ciclo Diesel es

$$e = W/Q_A = \oint dQ / Q_A$$

donde

$$Q_A = h_3 - h_2$$

y

$$Q_R = u_4 - u_1$$

es:

$$(a) \quad e = \frac{W}{Q_A} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}, \quad \text{con } k = \text{constante}$$

expresando T_2 en términos de T_1 a lo largo de la isentrópica 1-2 (Fig 2)

$$(b) \quad T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = T_1 r_k^{k-1}$$

A lo largo de la línea (2-3) de presión constante, la Ley de Charles dá:

$T_3/T_2 = V_3/V_2$. Donde $r_c = V_3/V_2$ denominado *relación de corte*.

$$(c) \quad T_3 = T_2 \left(\frac{V_3}{V_2} \right) = T_1 r_k^{k-1} r_c$$

De igual manera que en la ecuación (b) se escribe la relación T - V para la línea isentrópica (3-4), como sigue.

$$(d) \quad T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{r_c V_2}{V_1} \right)^{k-1} = T_1 r_k^{k-1} r_c \left(\frac{r_c V_2}{V_1} \right)^{k-1} = T_1 r_c^k$$

Donde se ha usado la definición de r_c, T_3 de la ecuación (c), y $V_4=V_1$, sustituyendo, los valores calculados para T_2, T_3, T_4 dentro de la ecuación (a) considerando a $k = constante$, se obtiene la siguiente expresión:

$$e = 1 - \frac{T_1 r_c^k - T_1}{k(T_1 r_k^{k-1} r_c - T_1 r_k^{k-1})} = 1 - \frac{1}{r_k^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]; \quad [k = constante]$$

Un ciclo teórico que se acerca más que el ciclo de Diesel al funcionamiento real de los motores modernos de ignición por compresión es el "ciclo dual". Como se observa en la fig. 3, a un breve proceso 2-x de adición de calor a volumen constante le sigue un segundo proceso x-3 de adición de calor a presión constante. Las otras tres partes del ciclo son similares a las que se encuentran en los ciclos de Otto y de Diesel.

EL CICLO DUAL

El ciclo dual recibe también los nombres de *ciclo mezclado* o de *presión limitada*. Observe que el empleo de un proceso de suministro de calor en dos pasos permite que el ciclo dual teórico modele muy bien la parte superior izquierda de la curva real de operación mostrada en la fig. 1 para un motor de ignición por compresión.

La eficiencia térmica de un ciclo dual estándar de aire es función de las cantidades de calor de entrada y de salida. El calor agregado durante el proceso a volumen constante 2-x es. $q_{entrada} = c_v(T_x - T_2)$

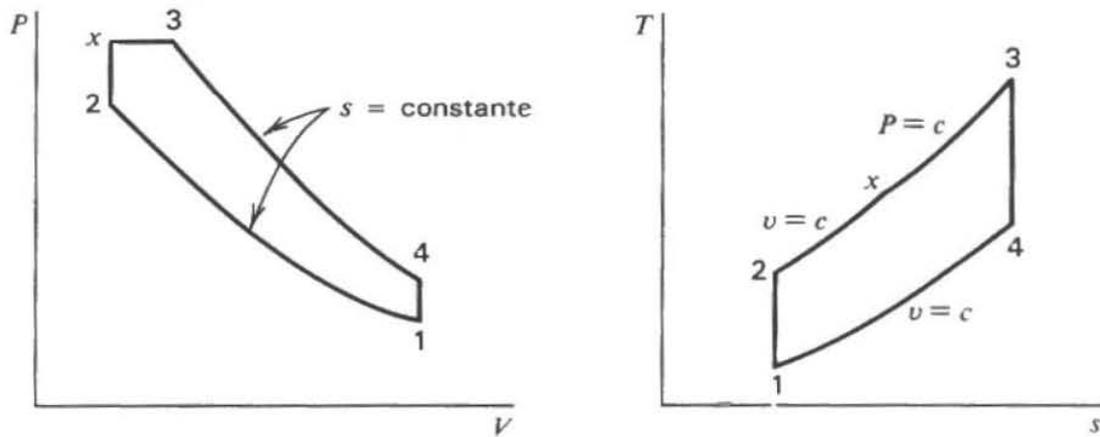


Fig. 3 Ciclo Dual de Combustión

Si se supone que las capacidades térmicas específicas son constantes. Para la trayectoria a presión constante x-3, la adición de calor es:

$$q_{entrada} = c_p(T_3 - T_x)$$

Por lo tanto, el calor total de entrada para el ciclo dual es:

$$q_{entrada, total} = c_v(T_x - T_2) + c_p(T_3 - T_x)$$

El calor expulsado a lo largo de la trayectoria de volumen constante es:

$$q_{salida} = c_v(T_4 - T_1)$$

En consecuencia, la eficiencia térmica de un ciclo dual de aire estándar, considerando capacidades térmicas específicas constantes, es:

$$\eta_{t, dual} = \frac{q_{entrada} - q_{salida}}{q_{entrada}}$$

$$e = \frac{W}{Q_A} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_x - T_2) + c_p(T_3 - T_x)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_x - T_2) + k(T_3 - T_x)}$$

$$e = 1 - \frac{1}{r_k^{k-1}} \left[\frac{r_p r_c^{k-1} - 1}{r_p - 1 + r_p k (r_c - 1)} \right];$$

donde

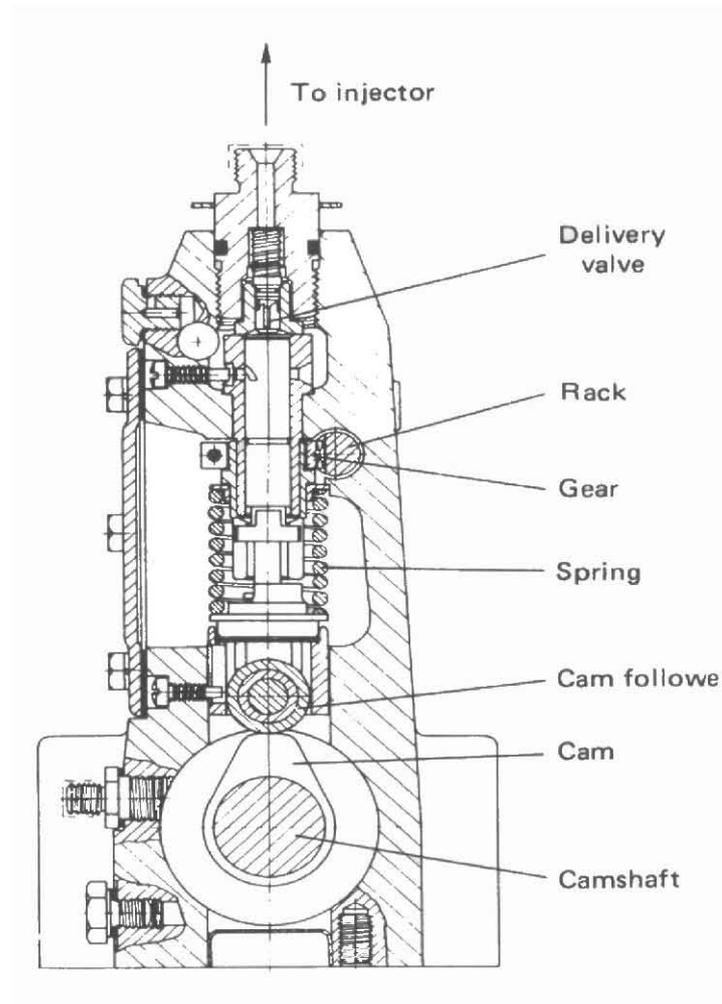
$$r_p = \frac{p_3}{p_2}$$

$$r_c = \frac{V_3}{V_x} = \frac{V_3}{V_2}$$

CAPITULO II

CAPITULO II

Sistemas de Inyección en Motores a Diesel



LA DIFICULTAD DE LA INYECCIÓN DEL COMBUSTIBLE EN EL MOTOR DIESEL

Este problema era relativamente sencillo en los motores lentos y pesados cuyos cilindros tenían grandes dimensiones, a causa de la cantidad extraordinariamente grande de combustible que se inyectaba cada vez y el largo intervalo que había entre dos inyecciones consecutivas. Pero si se considera un motor diesel de 4 a 6 cilindros que gira de 600 a 2500 r.p.m., éste problema se convierte en una verdadera preocupación.

Para que se pueda apreciar este problema, es necesario considerar lo precisa que ha de ser la bomba de inyección de un motor Diesel. Supóngase, por un momento, que un motor Diesel de cuatro cilindros y cuatro tiempos funciona a 1100 r.p.m. y consume 7.5 litros de combustible por hora. Esto quiere decir que se necesitan 550 inyecciones por minuto, o sea 33,000 inyecciones por hora. *Es decir, estos 7.5 litros de combustible deben dividirse exactamente, por medio de una bomba de émbolo ordinaria, en 33,000 partes iguales y se necesitan 4,400 de estas partes para reunir un litro. Esto significa que en el caso considerado, cada inyección impulsa únicamente 0.055 cm^3 de combustible.*

Este combustible debe medirse y se debe inyectar en el cilindro a través de una tobera muy pequeña en un periodo de tiempo extremadamente corto.

Para la introducción del combustible líquido al interior del cilindro, cuando éste se encuentre lleno de aire a la presión final de compresión, se pueden emplear dos procedimientos:

- 1.- Dejar entrar en la cámara de combustión, y mediante una válvula, una cierta cantidad de aire comprimido a presión mucho mayor que la presión de compresión, interponiendo al paso de este aire el combustible que debe quemarse en cada realización del ciclo y que es entonces **soplado**, hacia el interior, a donde llega mezclado con aire.

2.- Inyectar el combustible sirviéndose de una bomba de alta presión que lo haga entrar al cilindro en el momento y durante el tiempo preciso de la combustión.

Al primer método se le denomina **soplado del combustible, o inyección por aire**, se dice de la máquina que es un **motor con compresor**. Ambas designaciones son defectuosas : la primera porque fácilmente puede confundirse con el método de inyección directa y la segunda porque hay motores de este sistema que no llevan compresor mientras que algunos motores de inyección directa lo tienen - para otros fines distintos que la inyección- de modo que el hecho de llevar acoplado un compresor no da idea exacta del sistema empleado para la introducción del diesel.

El procedimiento citado en segundo lugar también se llama de otras muchas maneras: **inyección sólida, motor sin compresor**, etc., que ofrecen faltas análogas a las señaladas anteriormente. **Inyección directa** parece el término más apropiado para ella. En el sistema de inyección directa, la bomba de combustible lo impulsa hasta el inyector por un tubo de donde previamente se ha extraído el aire a fin de que en su interior haya solamente un líquido “el combustible” que por ser incompresible transmite fiel e instantáneamente al inyector los cambios de presión que se efectúan en la bomba.

Esta bomba está accionada por una leva y sus válvulas de aspiración y descarga son manejadas de tal modo que la impulsión por el tubo que va al inyector se realiza solamente en el momento y durante el tiempo necesario de la combustión.

Para inyectar el combustible, que antes de comenzar el período se encontraba en reposo, hay que transmitirle una cierta fuerza que se manifiesta en velocidad de las gotas de *combustible*. Esta fuerza la suministra el aire comprimido en el sistema de soplado, y la presión de descarga de la bomba en el sistema de inyección directa.

Con el fin de obtener una buena combustión, hay que pulverizar el *combustible* en partículas muy finas. Esto se consigue por la presión de inyección y el diseño del inyector.

Las partículas de combustible, al mismo tiempo que recorren su trayectoria a través de la cámara de combustión, van absorbiendo el calor del aire de compresión, hasta que su temperatura llega al punto de inflamación del *combustible*, en tal instante se produce el encendido.

Por último, aparece el proceso de combustión de cada partícula, dando origen a los gases cuya expansión produce el empuje sobre el pistón.

TIPOS DE SISTEMAS DE COMBUSTION DIESEL

Los motores diesel están divididos dos categorías básicas, de acuerdo al diseño de su cámara de combustión: (1) motores de inyección directa (DI), los cuales tienen una cámara de combustión simple, abierta, dentro de la cuál el combustible es directamente inyectado.

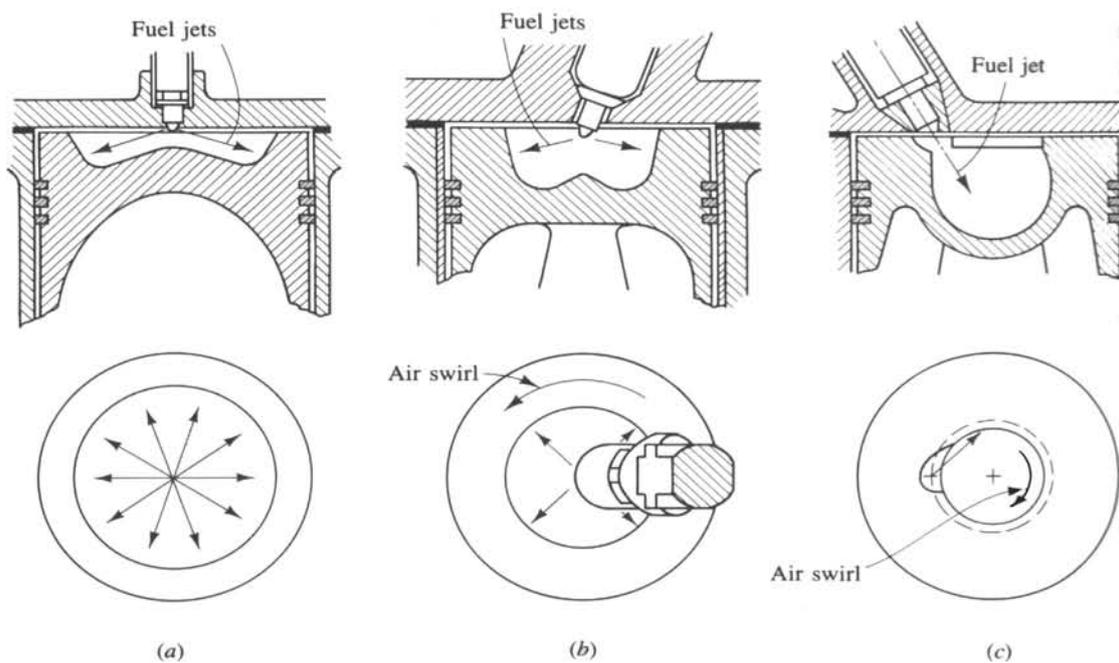
(2) motores de inyección indirecta, en donde la cámara esta dividida en dos regiones y el combustible es inyectado en la precámara, la cual está conectada a la cámara principal (situada encima de la corona del pistón), por medio de una boquilla, o uno o más orificios. Los motores de inyección indirecta diseñados, son usados solo en motores pequeños.

SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA.

El *momentum* y la *energía* del chorro de combustible inyectado, son suficientes para lograr la distribución de combustible adecuada y las proporciones de mezclado con el aire. No se requiere agregar aire en movimiento. La forma de la cámara de combustión es usualmente un hueco poco profundo en la corona del pistón (nota:

La corona del pistón es la parte alta del pistón) y un inyector tipo “*multihole*” (*multiorificios*) central es usado.

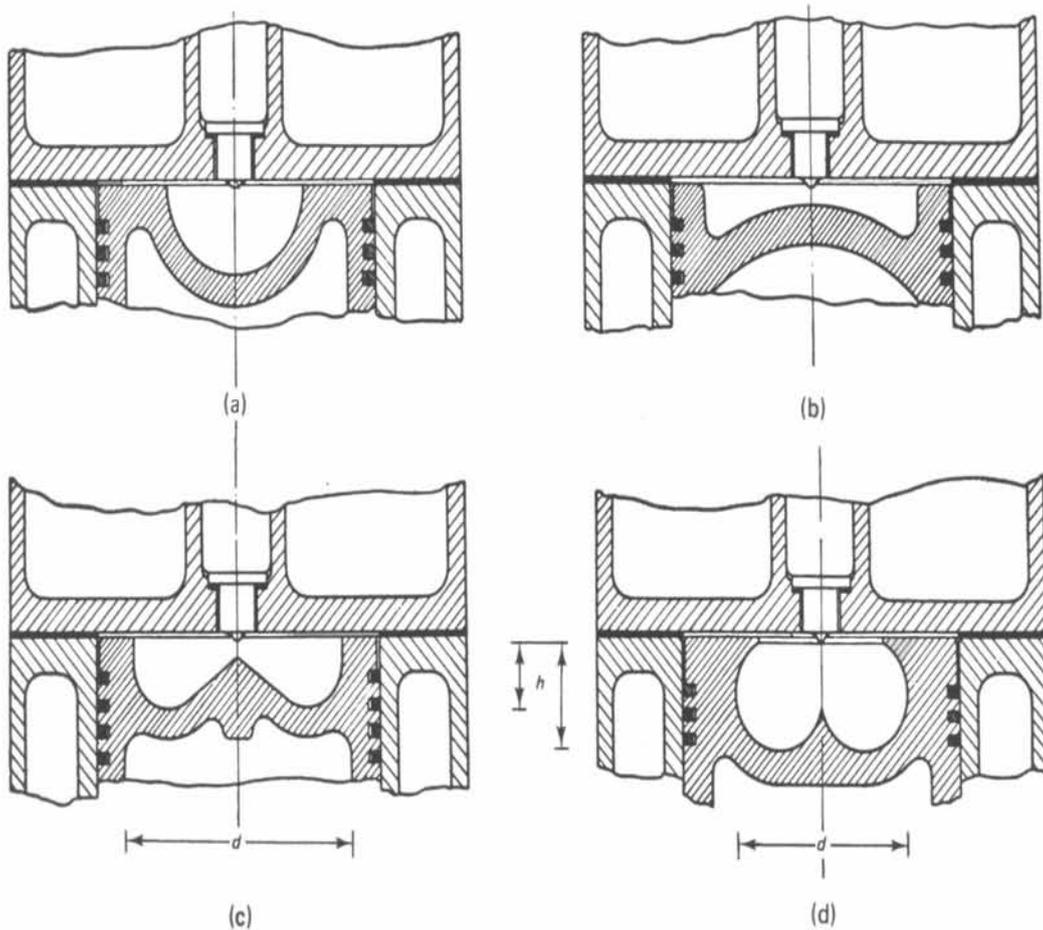
Conforme se disminuye el tamaño del motor será necesario incrementar la cantidad de turbulencia del aire usado para lograr, rápidos promedios de mezclado aire-combustible. La turbulencia del aire es generado por el diseño apropiado del puerto de entrada, el régimen de turbulencia puede ser incrementado conforme el pistón se aproxime al punto muerto superior. Por el forzamiento del aire hacia los ejes cilíndricos, dentro de una hendidura tipo “*tazón en el pistón*” (“*bowl-in-piston*”) de la cámara de combustión.



Tipos comunes de Inyección Directa en los motores con sistema diesel (a) Cámara de combustión con boquilla multiorificios, típicos en motores grandes. (b) Cámara de combustión “tazón en pistón” con turbulencia y boquilla multiorificios. (c) Cámara de combustión “tazón en pistón” con turbulencia y boquilla de simple orificio. (b) y (c) Cámaras de combustión usadas en Inyección Directa en motores medianos y motores pequeños.

Las figuras mostradas (b) y (c) muestran los dos tipos de sistemas de “inyección directa” con remolino, en motores de uso común. La figura (b) muestra un sistema

de inyección directa con remolino, con un inyector de boquilla con orificios laterales (multilateral) localizado centralmente. Aquí la meta del diseño es, minimizar la cantidad de combustible líquido, que choca con la superficie del pistón. La figura (c) muestra su boquilla de inyección de combustible de agujero único, orientado, donde mucho del combustible es depositado en la superficie del pistón cóncavo. Estos dos tipos de diseños son usados en maquinaria diesel de talla mediana (10-15cm. De diámetro) y con incremento de remolino, en maquinaria diesel de talla pequeña (8-10cm. De diámetro).



Diferentes tipos de cámaras de combustión en inyección directa. (a) Cámara de combustión hemisférica; (b) Cámara de combustión “tazón poco profundo”. (c) Cámara de combustión “tazón toroidal poco profundo” ($d/h \approx 4$); (d) Cámara de combustión “tazón toroidal profundo” ($d/h \approx 2$).

A todas las cámaras de combustión se les exige tanto buen desempeño en términos de economía de combustible, como potencia; cuando éstas son diseñadas apropiadamente.

$$\text{Promedio de turbulencia} = \frac{\text{Velocidad de turbulencia (rpm)}}{\text{Velocidad del motor (rpm)}}$$

La velocidad de turbulencia variará durante la inducción y la carrera de compresión, por ello se usa un valor promedio. Para pruebas de flujo estable la velocidad angular variará, a través del diámetro interior, pero un valor promedio es dado directamente, por un anemómetro de paleta.

Si existe una velocidad uniforme axial, entonces:

$$M = \frac{1}{8} \dot{m} \omega B^2 \quad \text{donde} \quad M = \text{momento o flujo de momento (N-m)}$$

\dot{m} = velocidad de flujo másico (kg/s)

ω = velocidad angular de la turbulencia (rad/s)

B = diámetro interior del cilindro (m)

Si la anemometría de hilo caliente o la anemometría láser doppler, se usaran para definir el campo de flujo en el cilindro, y un simple valor fuese requerido para cuantificar la turbulencia, entonces:

$$M = \int_0^{B/2} \int_0^{2\pi} \rho v_t(r, \theta) v_a(r, \theta) r^2 dr d\theta$$

donde: ρ = densidad del aire

v_t = velocidad tangencial

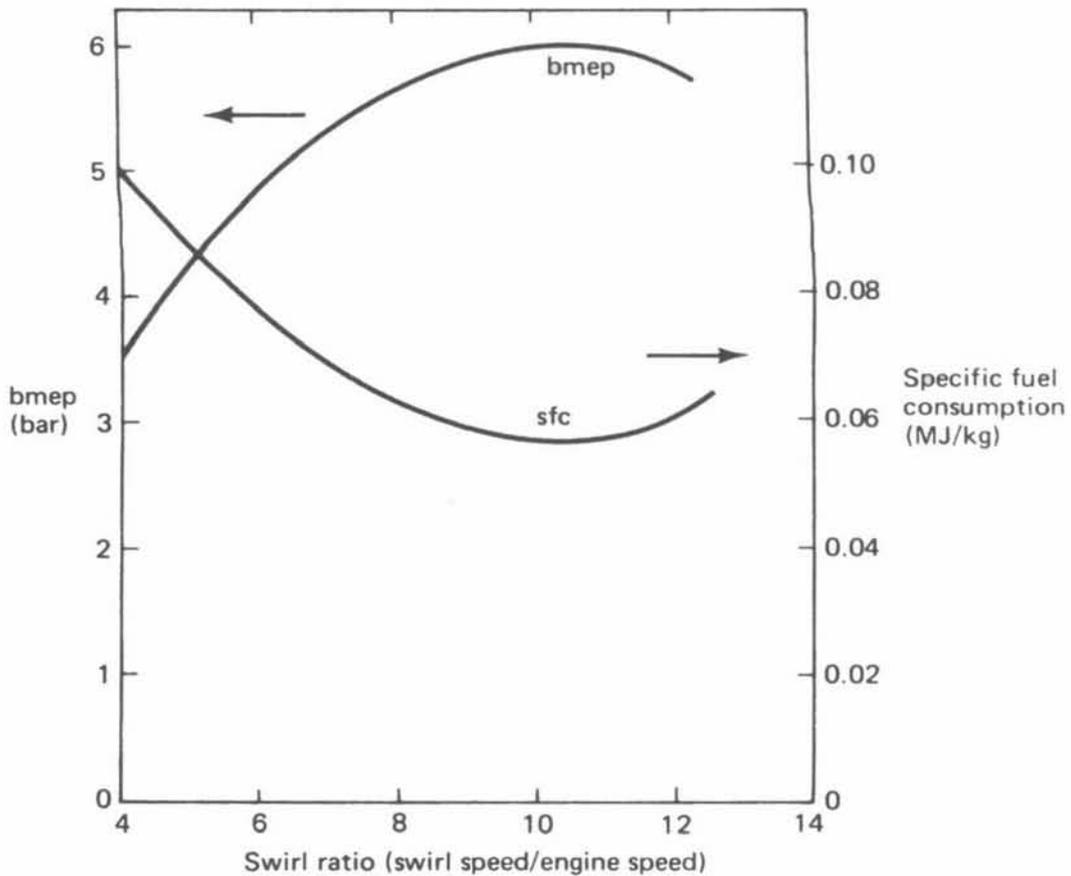
v_a = velocidad axial

r = coordenada radial

θ = coordenada angular

Ricardo y Hempson (1968), reportaron resultados extensos de un motor en el cual la turbulencia podría variar. Los resultados para la velocidad de un flujo de combustible constante, son mostrados en la figura de abajo. Para esas condiciones la velocidad de turbulencia óptima, tanto para óptima economía como para potencia de salida es cerca de 10.5

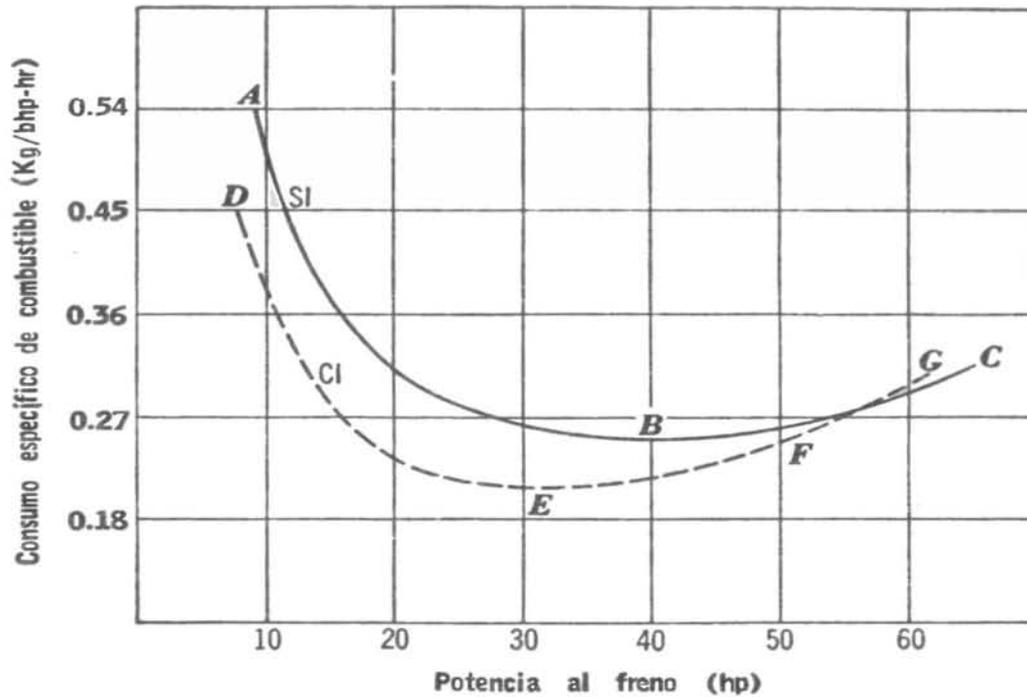
Cuando la velocidad de flujo de combustible fue reducida, la razón óptima de turbulencia fue reducida también, pero esto incurrirá en una pequeña falta, en el desempeño y en la economía del combustible.



El consumo específico de combustible (sfc) se define como el cociente del gasto másico \dot{m}_f y la potencia de salida

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

La potencia perdida por fricción (fhp) es el factor de significación para el aumento del consumo de combustible a altas velocidades, en tanto que las pérdidas de calor, son el factor más significativo a bajas velocidades.



Consumo específico de combustible de los motores existentes ECH y EC a velocidad constante.

La potencia obtenida de un motor se denomina *potencia al freno* (bhp) y algunas veces *potencia de flecha*. La potencia total desarrollada sobre el émbolo del motor se llama *potencia indicada* (ihp).

Una parte de la potencia indicada desarrollada al quemarse el combustible y el aire no aparece como potencia al freno ya que se emplea en vencer la fricción en los cojinetes, anillos y otras partes mecánicas del motor además en la inducción de la carga de aire-combustible y en la expulsión de los gases de escape. La potencia para realizar esas tareas se llama la *potencia perdida por fricción* (fhp). La potencia al freno es menor que la indicada, en una cantidad igual a la potencia consumida en las fricciones del motor:

$$ihp = bhp + fhp$$

El rango operativo normal de mezcla aire combustible para un motor convencional encendido por chispa ECH, usando como combustible gasolina es: $12 \leq A/F \leq 18$; y para un motor encendido por compresión EC, usando como combustible diesel, éste es: $18 \leq A/F \leq 70$. Como es evidente en el motor EC, la relación aire-combustible es un poco mayor y la combustión puede ser muy completa.

El consumo específico de combustible en el motor EC es menor que en el del ECH no sólo por la razón arriba mencionada sino también por la mayor relación de expansión que experimenta el motor EC.

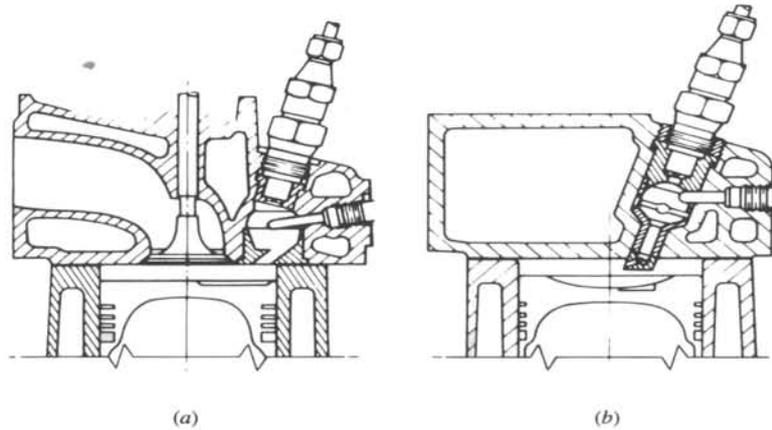
Esta ventaja continúa con cargas en aumento hasta que se tienen cargas pesadas. Entonces el motor ECH enriquece la mezcla para obtener potencia máxima y por ello aumenta el consumo específico de combustible. El motor EC en este margen, encuentra dificultades porque el exceso de aire disminuye y el proceso de combustión continúa, dentro de la carrera de expansión en su búsqueda por oxígeno. De hecho si la carga continúa hasta un máximo absoluto, el color del humo de escape del motor EC se hará de un color negro objetable y el consumo específico de combustible será mayor, que para el motor ECH.

SISTEMA DE INYECCIÓN INDIRECTA

La turbulencia de aire generado en la entrada, a pesar de la amplificación lograda en la cabeza del pistón, no provee suficientemente altas proporciones de mezcla "aire-combustible", para pequeños motores diesel de alta-velocidad, tales como los usados en automóviles.

Los sistemas de inyección indirecta o de precámara de combustión han sido usados donde se requiere inyección de combustible a altas revoluciones por minuto.

Dos sistemas de inyección indirecta, pueden definirse (1) sistemas de “cámara turbulenta” y (2) sistemas con precámara de combustión, las cuales, se ilustran más adelante.



Dos tipos comunes de motores diesel pequeños con sistema de combustión de inyección indirecta:
(a) swirl prechamber . (b) turbulent prechamber

Durante la compresión el aire es forzado de la cámara principal por encima del pistón a la cámara auxiliar, a través de un orificio (o varios orificios). Además hacia el final de la carrera de compresión, se genera un flujo vigoroso de aire dentro de la cámara auxiliar.

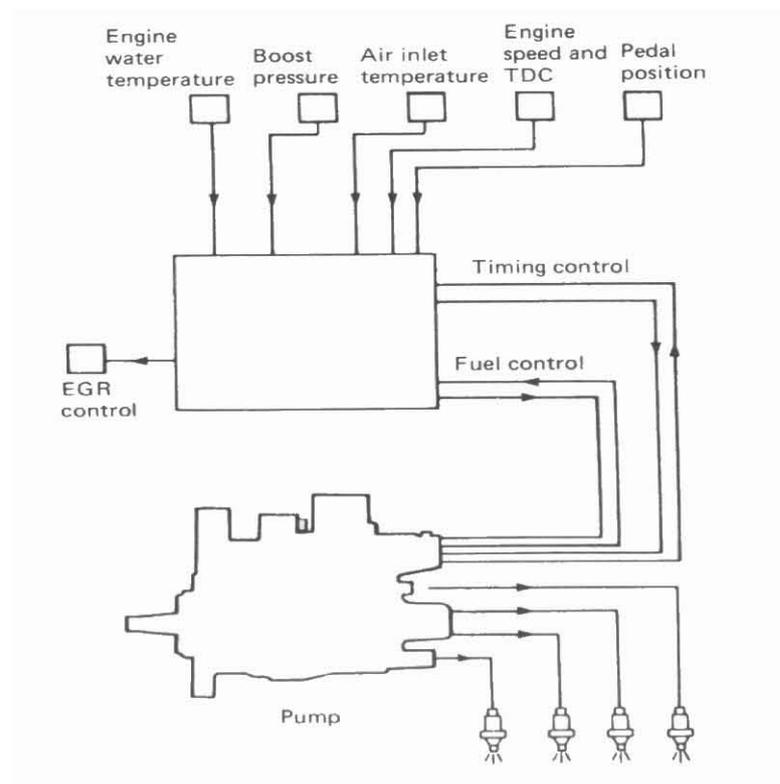
El combustible es normalmente inyectado dentro de la cámara auxiliar por un inyector a más bajas presiones que las utilizadas en sistemas de inyección directa. La combustión comienza en la cámara auxiliar, la presión se eleva, asociándose a las fuerzas del fluido de combustión que retroceden dentro de la cámara principal, donde el chorro emitido por el inyector arrastra y se mezcla con el aire de la cámara principal.

La bujía mostrada a la derecha de la precámara en la figura anterior es una “ cold-starting aid ” . La bujía es calentada previo a la puesta en marcha del motor para garantizar el encendido temprano del combustible, en el proceso de encendido del motor.

CAPITULO III

CAPITULO III

Comparación entre las Diferentes Tecnologías Aplicadas a la Inyección



Por muchas décadas el arreglo más común para inyección de combustible en motores diesel fue, usar un inyector bomba, conectado por una línea de combustible hacia cada inyector. Este es el tipo de sistema ilustrado en la figura de abajo.

Más recientemente, la inyección de combustible a altas presiones a conducido a un incremento en el uso de inyectores y un sistema de conducto común de inyección de combustible. Las unidades de inyección son aquellas en las que los elementos de bombeo e inyectores están juntos, con los elementos de bombeo operando desde un árbol de levas en la parte superior del cilindro.

Esto elimina la “línea de combustible de alta presión” y su propagación asociada de presión retrasada, así como elasticidad. El sistema de conducto común “riel común” de inyección de combustible, tiene una bomba de combustible de alta presión, la cuál produce una presión estable y controlada, y el inyector tiene que controlar el principio y final de la inyección.

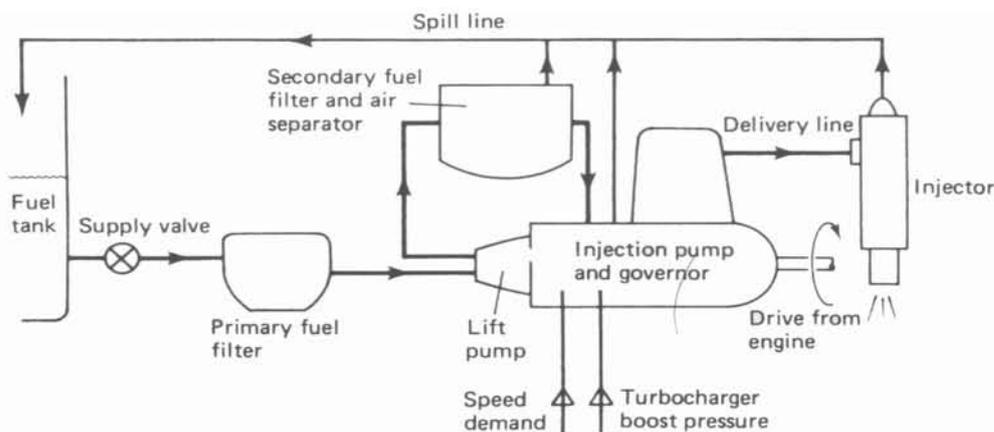


FIGURA 3.1 Sistema de inyección de combustible para un motor de Ignición

En general el tanque de combustible está por debajo del nivel de la bomba de inyección y la “bomba de combustible” provee combustible a presión constante (de aproximadamente 0.75 bar \approx 75 kPa) proveyendo a la bomba del inyector.

El filtro de combustible secundario contiene la válvula reguladora de presión, si el aire es arrastrado dentro de la bomba de inyección, ésta no puede proveer la correcta medición de la cantidad de combustible. Esto es esencial para remover cualquier partícula de agua u otras impurezas del combustible debido al fino espacio libre en la bomba de inyección y en el inyector.

La bomba de inyección contiene un *gobernador* para controlar la velocidad del motor, sin el *gobernador* la velocidad de marcha en vacío variaría y el motor podría sobre-revolucionarse cuando la carga en el motor se reduzca.

La bomba de inyección está acoplada directamente al motor, la bomba controla la cantidad y *distribución de* del combustible. La cantidad de combustible inyectado dependerá de la carga del motor.

La cantidad máxima de combustible que puede ser inyectado antes de que la descarga se convierta en humo variará con la velocidad, y en el caso de un motor turbocargado, éste también variará con la presión de operación del turbo.

La *distribución del combustible para* la inyección debe variar con la velocidad del motor y con la carga bajo algunas circunstancias, conforme la velocidad del motor se incrementa, la *distribución del tiempo de inyección del combustible*, debe avanzar para tener en cuenta la casi constante ignición retrasada, conforme la carga se incrementa la ignición retardada, podría reducirse para una determinada *distribución del tiempo de encendido* de la inyección, o para la misma ignición retardada el combustible puede ser inyectado con anticipación.

BOMBAS DE INYECCIÓN TRADICIONALES

Originalmente el combustible fue inyectado por un chorro de aire de muy alta presión, pero éste está siendo reemplazado por la inyección de combustible de alta presión. El elemento de bombeo es invariablemente la combinación

pistón/cilindro, las diferencias surgen en el conteo del combustible. Una posibilidad mencionada anteriormente es tener un inyector bomba que es una combinación bomba e inyector.

La bomba es operada directamente desde el *árbol de levas* haciendo más difícil la variación de la *distribución de encendido*

El combustible puede ser *medido (o contabilizado)* a altas presiones como en el *sistema de riel común* o a *bajas presiones* como en el *sistema de inyector bomba*. En el *sistema de riel común* un suministro de combustible a alta presión hacia el inyector es controlado por una válvula mecánica o eléctrica. Así conforme la velocidad se incrementa a carga constante, el tiempo de inyección requerido, se incrementará y el periodo de inyección ocupa una fracción grande del ciclo.

El *sistema de inyector bomba* se usa extensamente, hay dos principales tipos: bombas en línea o rotativas (o bombas distribuidoras). Con las bombas en línea (o árbol de levas) existe un bombeo separado y medición de elementos por cada cilindro también por separado.

BOMBAS EN LINEA

Unos elementos de bombas en línea son mostrados en la figura 3.2, pertenecientes a "Lucas Minimec Pump". En la parte inferior de la carrera del émbolo (a) el combustible entra al barril a través de los elementos de bombeo en la lumbrera de admisión. Conforme el émbolo buzo se mueva hacia arriba (b) su principal avance lento en bloques del combustible, en la lumbrera de admisión así como el bombeo pueden empezar en ese momento.

Además el movimiento del émbolo buzo presuriza el combustible, y la válvula de *admisión* se abre y el combustible fluye hacia el inyector (o inyectores). La carrera o altura del émbolo buzo es constante y es determinada por la altura de la leva.

La cantidad de combustible *entregado* es controlada por la parte de la *carrera* (o *altura*) que es usada para el bombeo. Por la rotación del émbolo buzo, la posición en la cuál la *ranura vertedora* descubre el *puerto vertedor*, puede cambiar (c) y este varía la carrera de bombeo. La *ranura vertedora* está conectada a un agujero axial en el émbolo buzo, y el combustible fluye retrocediendo a través del *puerto vertedor* a la galería del combustible.

La rotación del émbolo buzo es controlada por *una palanca*, la cuál está conectada a un *control de varilla*. El *control de varilla* es impulsado por el gobernador y el *obturador*. Una alternativa del arreglo es tener una *cremallera* en lugar de un *control de varilla*, y estos se acoplan con *engranes* en cada *émbolo buzo*. (ver figura 3.2).

La *válvula de descarga* actúa también como una *válvula de no-retorno* y a su vez también despresuriza parcialmente el *tubo de descarga* hacia el inyector. Esto permite a la aguja del inyector *ocupar rápidamente su asiento*, previniendo así *gotear* al inyector (o *que éste escurra*).

La *válvula de descarga* tiene una sección cilíndrica que actúa como un pistón en la *sección mayor*, pero antes la válvula asienta en su superficie cónica, esto despresuriza la línea de descarga de combustible

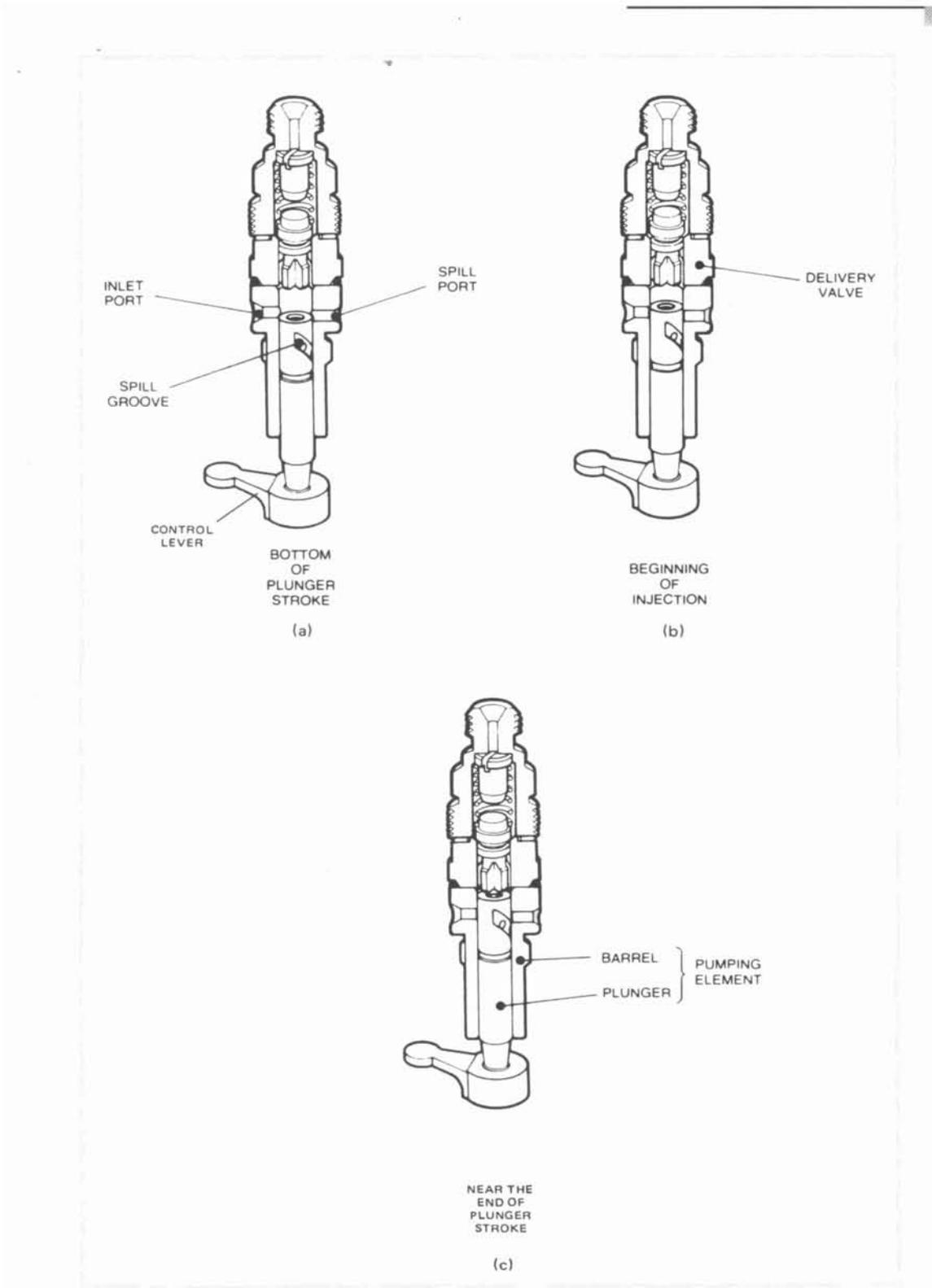


FIGURA 3.2 Elementos de Bombeo de Combustible de una bomba en-línea

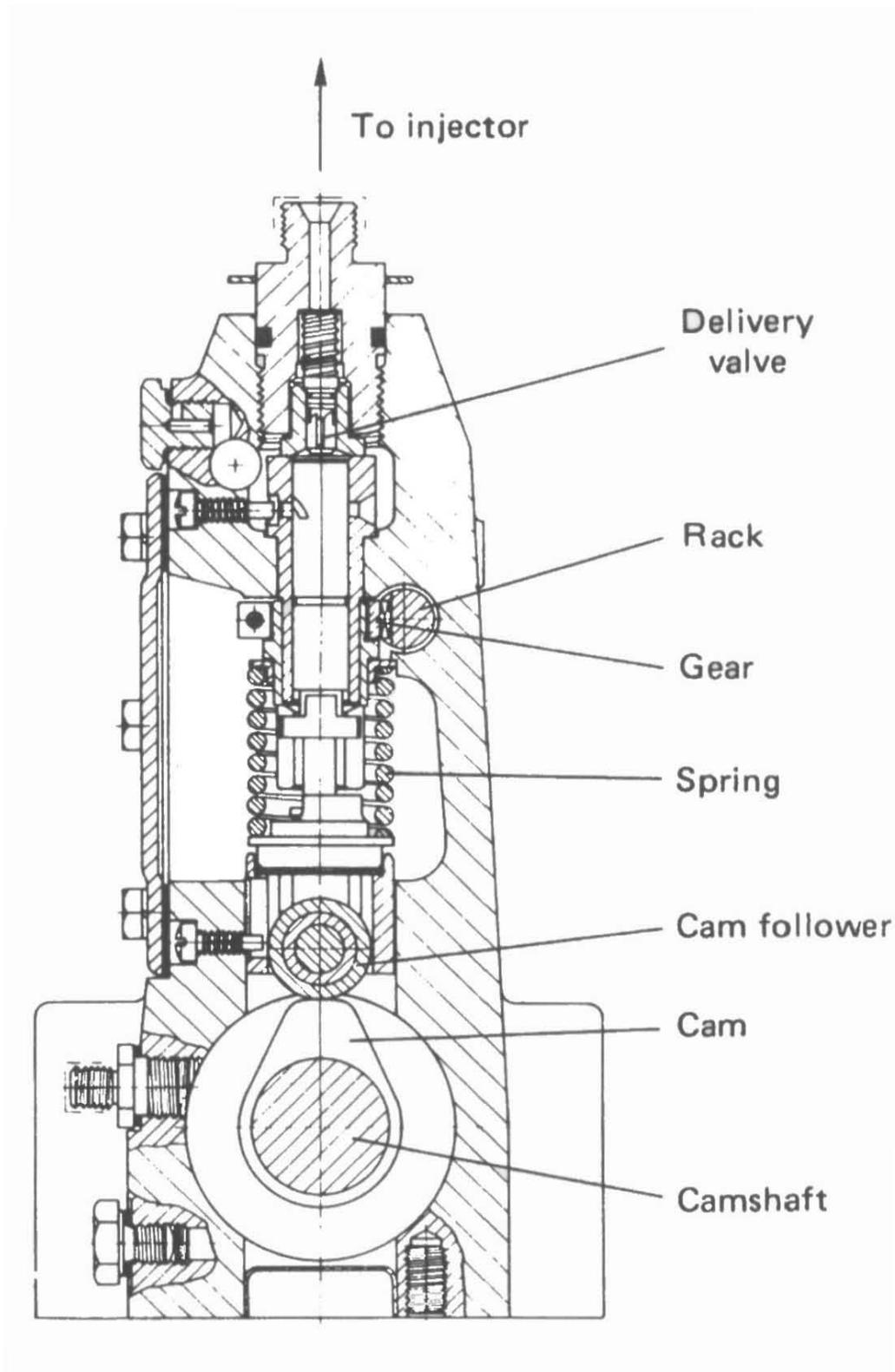


FIGURA 3.3 Sección de una Bomba de Combustible *en - línea*

Cuando los elementos de bombeo se detienen. El efecto de la *válvula de descarga* se muestra en la figura 3.4. A causa de las altas presiones, los esfuerzos de contacto en la leva son muy altos, y una leva del tipo seguidor de rodillo es utilizado.

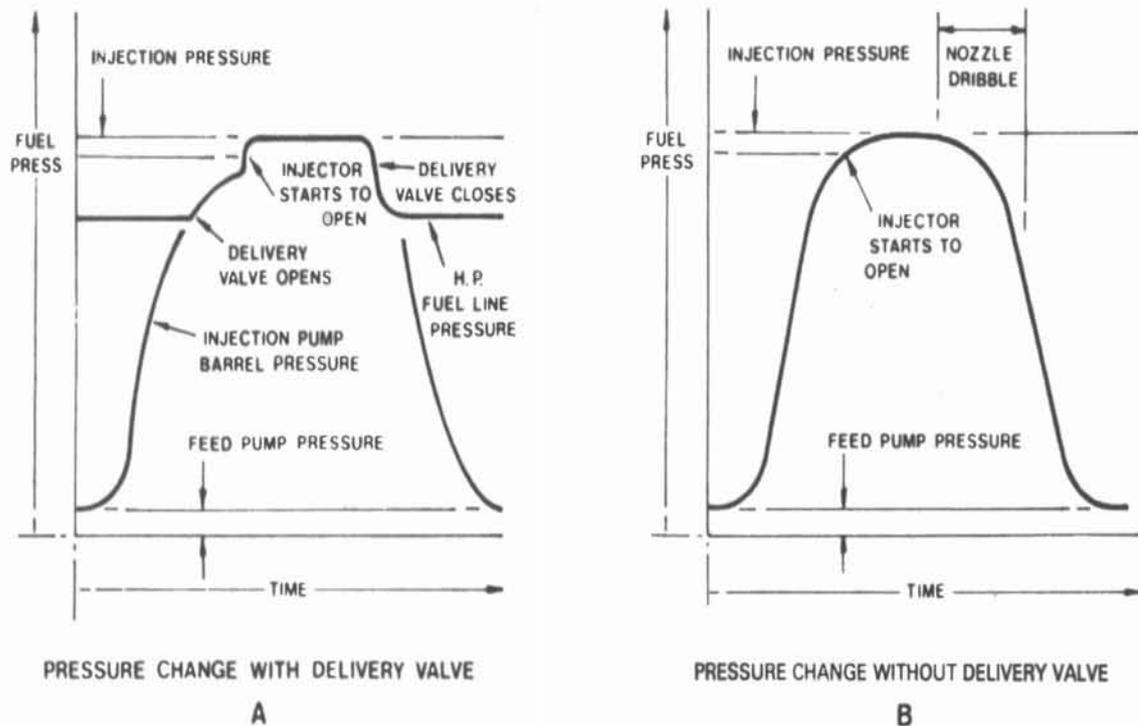


FIGURA 3.4 Efecto de la *válvula de descarga* del inyector

El bombeo de combustible se calibra para que coincida con la llegada un poco antes del émbolo al punto muerto superior. El resorte desacelera el pistón en el final de la carrera ascendente, y acelera el pistón en el comienzo de la carrera descendente.

El perfil de la leva es diseñado cuidadosamente par evitar que el seguidor de la leva *salte (o brinque)* despegándose.

A altas velocidades el tiempo de inyección se reduce y la presión de inyección aumenta, de esta forma se logra la medición exacta de combustible bajo todas las condiciones de operación, las *filtraciones (fugas)* provenientes de los elementos de bombeo tienen que ser mínimos.

Filtraciones son directamente proporcionales a

- Densidad de combustible
- Diferencia de presiones
- Diámetro
- Cilindro/sección libre desgastada
- Recíproco de la longitud del recubrimiento
- Recíproco de la viscosidad

La importancia de un *espacio libre* pequeño es en sí mismo evidente, y para ese final la *barra abarrilada* y el pistón están *traslapados*; el *espacio libre* es de cerca de 1 micra. Un diagrama de una *bomba en línea* completa se muestra en la figura 3.5. El gobernador y el auto-avance están *acoplados* por resortes.

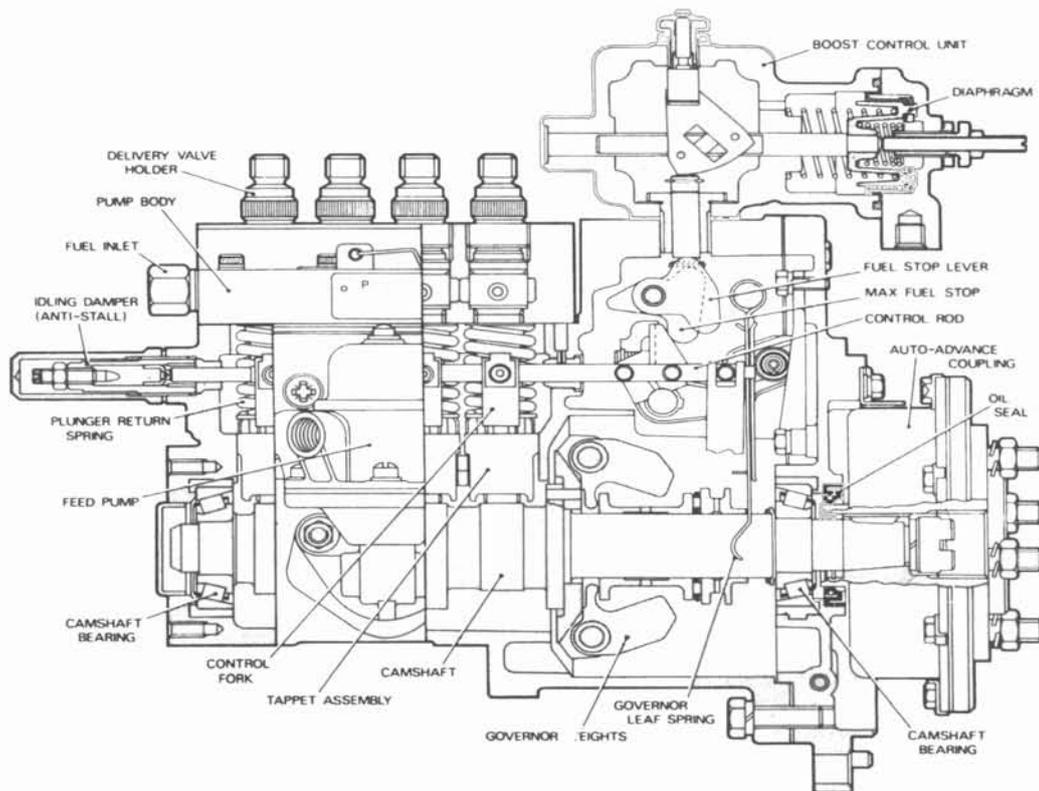


FIGURA 3.5 Vista seccional de una "CVA Minimec fuel pump"

La unidad de *control reforzadora* limita el combustible suministrado cuando el turbocargador no está en su relación de presión diseñada. La *bomba alimentadora* de combustible es una *bomba de diafragma* operada desde el árbol de levas.

Para compensar el combustible descargado de cada elemento bombeado, la posición del controlador puede ser ajustado en el *control de varilla*. El *controlador* se engancha en las palancas, mismas que controlan la rotación del *émbolo buzo*.

BOMBAS ROTATORIAS

Bombas rotatorias (rotativas) o bombas distribuidoras tienen un elemento simple de bombeo y un elemento medidor de combustible. La descarga apropiada de combustible al inyector, es controlada por un rotor. Dichas unidades son más compactas y económicas que una *"bomba- en- línea"* con varias cilindros y elementos de medición.

Los problemas de calibración son evitados y hay menos partes móviles. Así mismo las bombas rotatorias no pueden lograr las mismas presiones de inyección como en las *bombas en línea*, y sólo recientemente han sido desarrolladas para *motores diesel de inyección directa (DI)*.

El sistema de bombeo rotativo de combustible es mostrado en las figuras 3.6 y 3.7 las cuales muestran los detalles de la bomba de alta presión y rotor para un motor de 6 cilindros.

La *bomba de traslado (bomba de trasiego)* es una *bomba de placas corredizas* situadas al final del rotor. El bombeo de salida es proporcional a la velocidad del rotor, y la *transferencia de presión* se mantiene constante por la *válvula reguladora*.

El valor deseado es regulado por el gobernador y controla la cantidad de combustible que fluye hacia el rotor a través del *puerto de medición* y con la presión requerida.

Haciendo referencia a la figura 3.7 la bomba de émbolos buzos que producen las presiones de inyección, esta formada por cilindros que rotan. El movimiento de los émbolos buzos proviene de una leva estacionaria con 6 lóbulos internos. El *ajuste de fase* es tal que los émbolos buzos se mueven cuando un *puerto cargador* coincide con la *admisión* de combustible, conforme el rotor se mueve circularmente, el combustible es *aislado de la admisión*.

Además la rotación causa que el *puerto distribuidor* coincida con una *salida* y el combustible es presionado por el movimiento centrípeto de la bomba de émbolos buzos

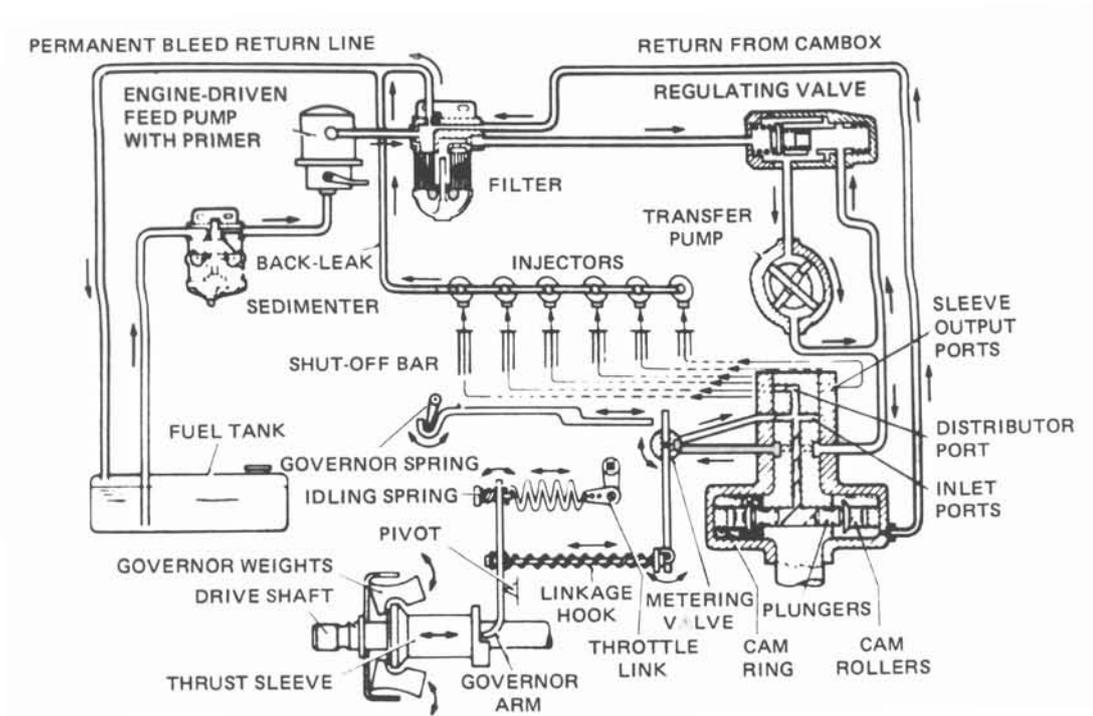


Figura 3.6 Sistema de bombeo rotativo de combustible

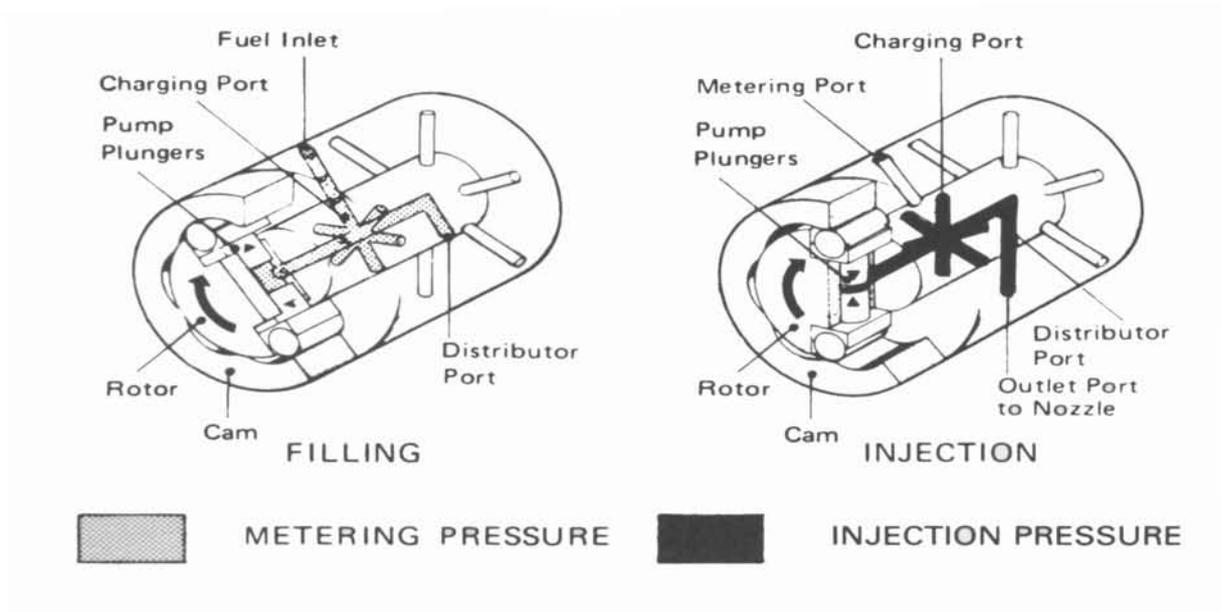


Figura 3.7 Rotor y bomba de alta presión de una bomba de combustible rotativa

El gobernador puede ser mecánico o hidráulico, *la distribución de encendido de la inyección*, puede ser retardada para iniciar, un exceso de combustible puede ser suministrado para un arranque en frío, y el gobernador puede ser usado para regular el máximo *combustible descargado*.

La *distribución del encendido de la inyección* es modificada por la rotación de la leva. Con una *bomba de paletas* la presión de salida aumentará, con un incremento de velocidad y esto puede ser usado para controlar el *avance de la inyección*. Un diagrama de una bomba rotativa se muestra en la figura 3.8

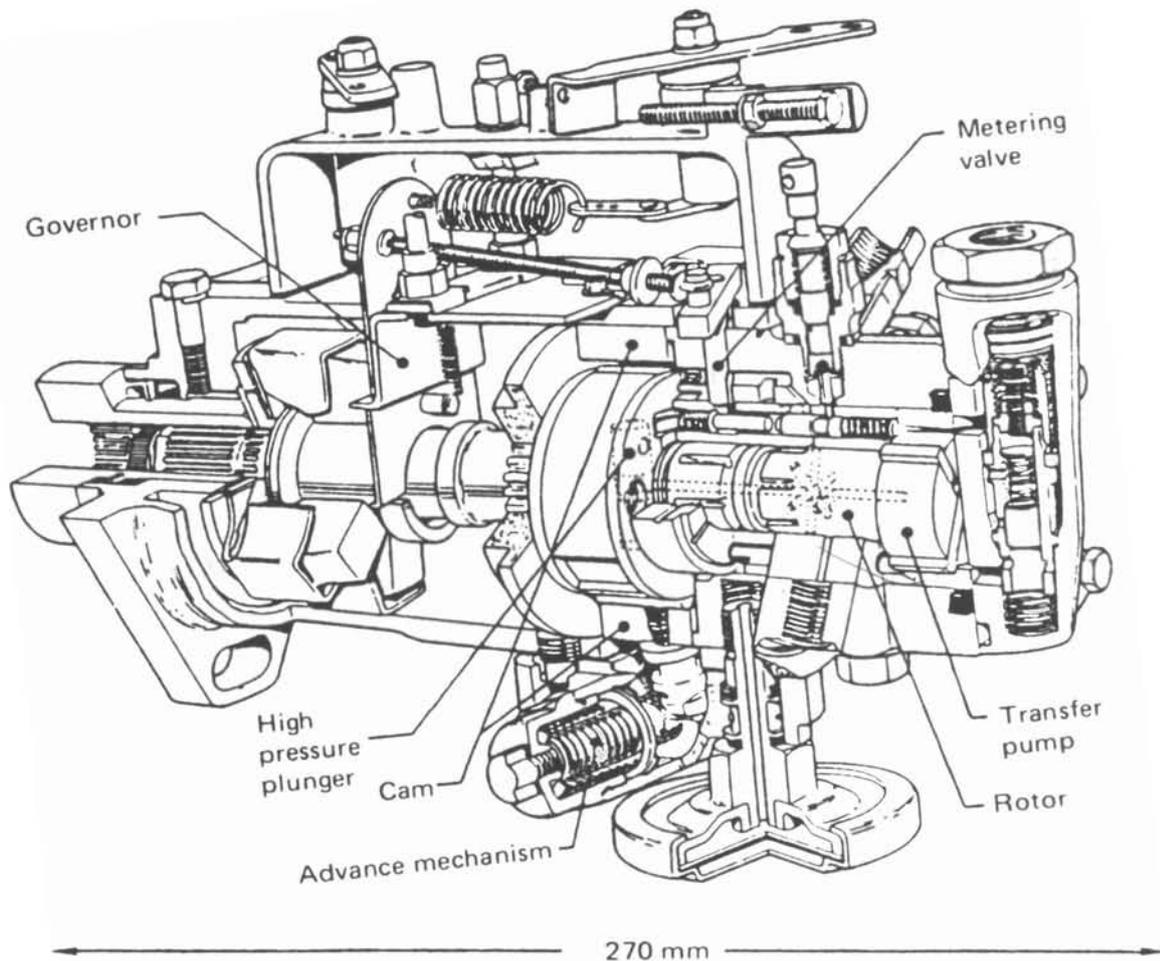


Figura 3.8 Distribuidor tipo bomba de combustible o típica rotativa

CONTROL ELECTRÓNICO DE BOMBAS ROTATIVAS

Los sistemas de control de lazo abierto pueden ser usados para mejorar las aproximaciones usadas para bombas avanzadas, pero los mejores resultados son obtenidos con controles de lazo abierto. Un sistema de control electrónico como el mencionado es mostrado en la figura 3.9.

Las señales de la unidad de control operan a través de servo-mecanismos hidráulicos, de otra manera sería el convencional inyector/bomba. La óptima

distribución *de inyección (timing)* y cantidad de combustible son controlados por el microprocesador en respuesta a varias entradas, tales como: “driver demand”, velocidad del motor, turbocargador reforzador de presión, temperatura de admisión de aire y temperatura del refrigerante del motor.

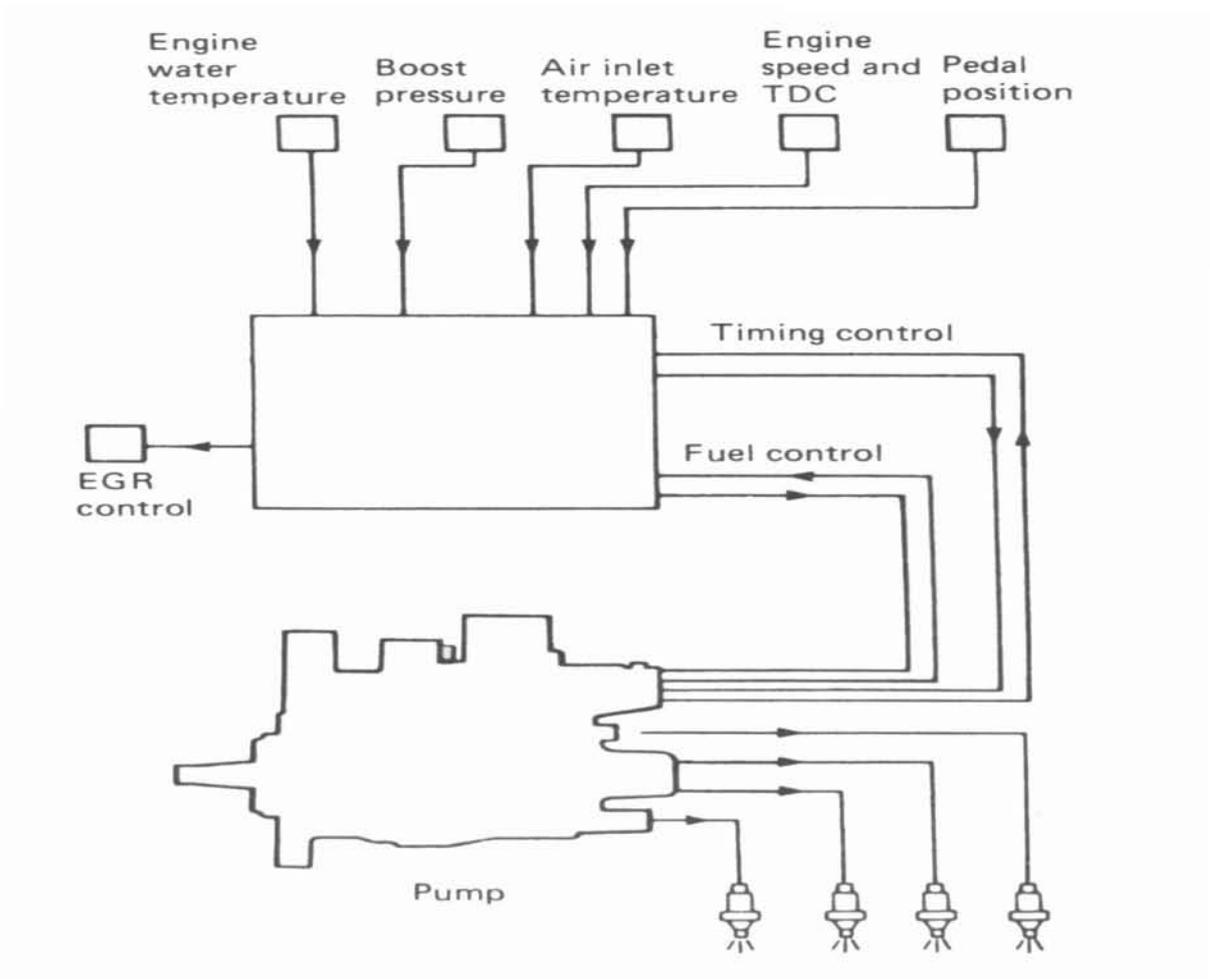


Figura 3.9 Arreglo esquemático de un control electrónico de inyección de combustible

INTERCONEXIÓN DE BOMBAS TRADICIONALES E INYECTORES

Después de que la bomba descarga a válvula abierta, habrá un retraso de cerca de 1 ms por metro de longitud de tuberías antes de que la inyección de combustible comience.

Para mantener la misma inyección de combustible retrasada, para todos los cilindros, las longitudes de tuberías de combustible deben ser idénticas.

Las ondas de compresión pueden ser completa o parcialmente reflejadas, de regreso en la boquilla como una onda de compresión si la boquilla está cerrada, o como una *onda de rarefacción* si la boquilla está abierta.

Durante un periodo típico de inyección, de unos pocos milisegundos, las ondas viajarán entre la bomba y el inyector varias veces. La presión en línea del combustible puede elevarse varias veces durante la expulsión, y el periodo de inyección puede ser extendido por un 50%.

Los volúmenes de aceite en el inyector y en la bomba tienen un efecto considerable en la onda de presión. El sistema de inyección de combustible está propenso a varias faltas, incluyendo inyección secundaria y goteos posteriores.

Los efectos de ondas de presión pueden conducir a inyecciones secundarias —es decir, combustible inyectado después de que ha finalizado la inyección principal— La inyección secundaria puede conducir a un pobre consumo de combustible, humo en escape y formación de carbón en la boquilla del inyector.

La figura (3.10) muestra un diagrama de presión de una línea de combustible en el cuál hay una onda de presión después del periodo de inyección principal que es suficiente para abrir el inyector.

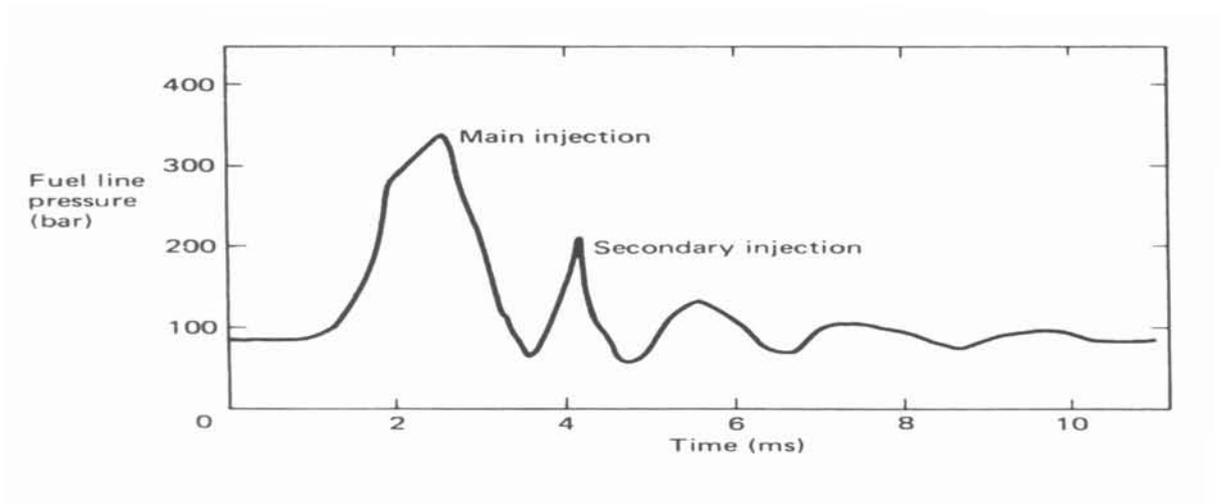


Figura 3.10 Ondas de presión en la línea de combustible proveniente de la bomba hacia el inyector

La inyección secundaria puede ser evitada por incremento en la longitud de las líneas de combustible o cambiando los volúmenes del combustible en la bomba o inyector.

Goteo posterior es un fenómeno similar; en este caso la onda de presión ocurre mientras el inyector debe estar cerrándose. El inyector no cierra completamente y algo de combustible entrará a la boquilla también a baja presión para formar ("spray") pulverización.

Problemas con interconexiones de tuberías son desde luego eliminadas con unidades inyectoras, dado que la bomba e inyector están combinadas. Estas unidades inyectoras pueden ser encontradas en motores grandes, especialmente largas tuberías de combustible pueden ser eliminadas, y la masa (volumen) de la unidad inyectora puede ser acomodada más fácilmente.

SISTEMAS DE CONDUCTO COMUN Y SISTEMAS DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE ELECTRÓNICO

Los sistemas de conducto común (CR) y los sistemas electrónicos de unidades inyectoras (EUI) eliminan los problemas asociados con la interconexión de tuberías en los sistemas tradicionales *bomba e inyector en línea (PLI)*.

Ellos también tienen “alcance” para inyección piloto (para controlar la cantidad de combustible inyectado durante el periodo de ignición retrasada), y características más deseables de presión de inyección.

La figura (3.11) muestra como la presión de inyección varía significativamente con la velocidad del motor para sistemas *“bomba e inyector en línea” (PLI)* y que para bajas velocidades solo presiones bajas de inyección son posibles. Las bajas presiones de inyección limitan la cantidad de combustible que puede ser inyectado, a causa de la utilización pobre de aire, limitando así la baja velocidad torque del motor. Con los sistemas de conducto común hay control independiente de la presión de inyección, dentro del amplio rango de velocidad de operación.

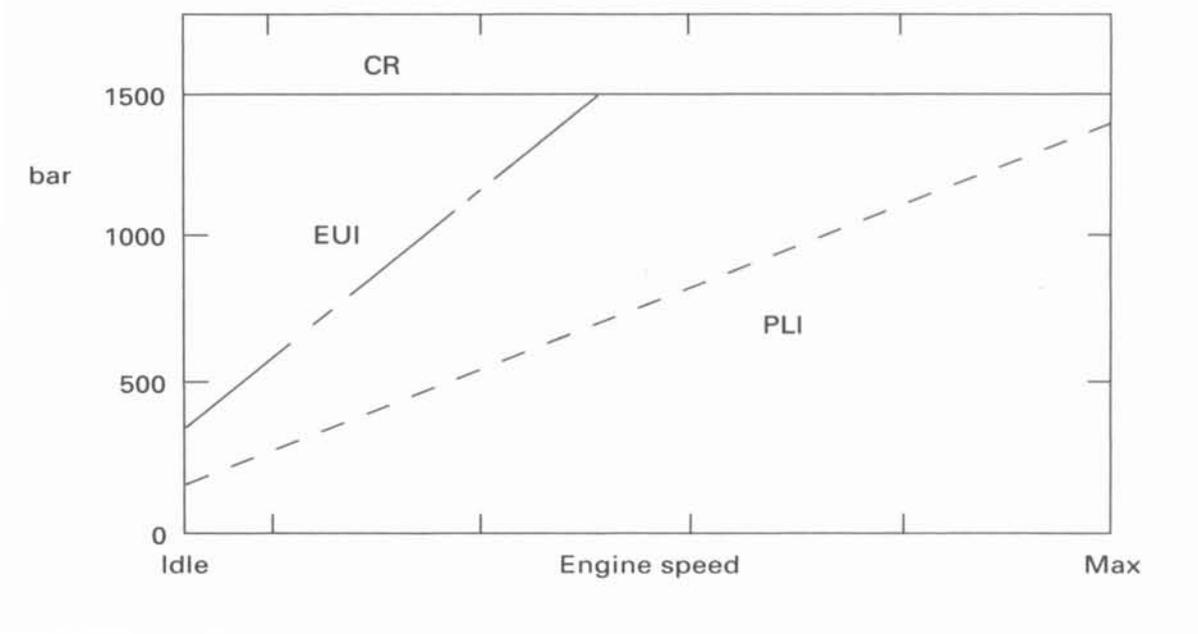


Figura 3.11

UNIDAD DE INYECCION DE COMBUSTIBLE ELECTRÓNICA (EUI)

La figura 3.12 muestra el sistema de inyección de combustible electrónica Lucas Diesel Systems, los cuales contienen tanto el elemento de bombeo de combustible de alta presión como el inyector boquilla. El dispositivo está colocado en la cabeza del cilindro, y es impulsado desde un árbol de levas. La cantidad y la *distribución de encendido de la inyección (timing)* son ambas controladas electrónicamente a través de un “*colenoid actuator*”.

El “*colenoid*” es un solenoide de construcción patentada que puede responder muy rápido (periodos e inyección del orden de 1 ms) con el objeto de controlar presiones de inyección muy altas (por encima de los 1600 bar o mas).

El “*colenoid*” controla la *válvula vertedora*, y es operada a 90 V, para reducir el calibre del alambre de los *embobinados (devanados o bobinajes)* aun todavía tiene “*bajas pérdidas resistivas*”. La bomba de émbolo buzo, desplaza el combustible diesel, y tan rápido como la *válvula vertedora* es cerrada, la presión del combustible aumenta.

La inyección es terminada por la apertura nuevamente de la “*válvula vertedora*”; las presiones de inyección pueden ser tan altas como 1500 bar.

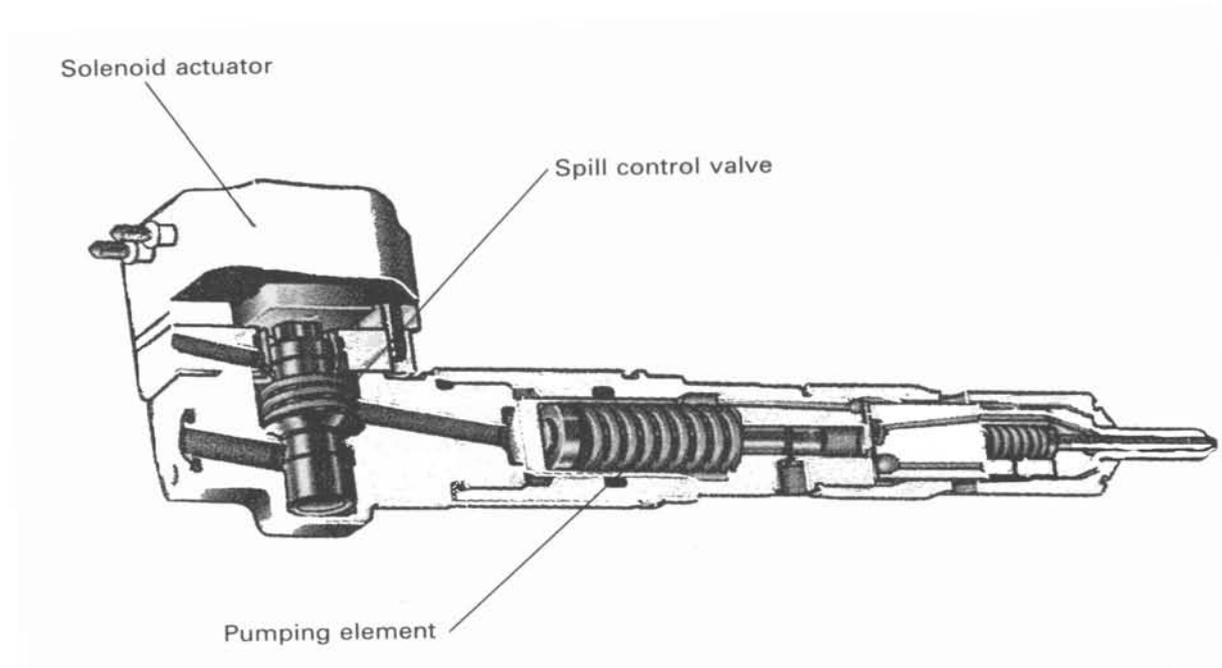


Figura 3.12 Sección de una unidad inyector

La velocidad de respuesta es tal que la “inyección piloto” puede ser empleada, para limitar la cantidad de combustible inyectada durante el periodo de ignición retrasada. “Point out that timing consistencies” cerca de 5 microsegundos son requeridos: esto corresponde al intervalo de tiempo, en el cual aproximadamente 0.5 mm^3 de combustible son inyectados. Estas unidades están controladas para asegurar un $\pm 4\%$ de tolerancia en el nivel de alimentación de combustible, a través del rango de operación, una mayor fuente de variación es atribuible a la tolerancia de flujo de la punta de la boquilla.

Las EUIs son ampliamente usadas en camiones de aplicación servicio pesado, dado que ellas permiten el mejor intercambio para obtener bajas emisiones de NO_x y un bajo consumo de combustible.

Una alternativa de acercamiento a las EUIs es el inyector de combustible electrohidráulico manufacturado por Caterpillar® (HEUI, también manufacturado por otros fabricantes). La figura 3.13 muestra la HEUI, la cual usa un sistema intensificador de presión hidráulica, con una relación de compresión 7:1 generando así las presiones de inyección.

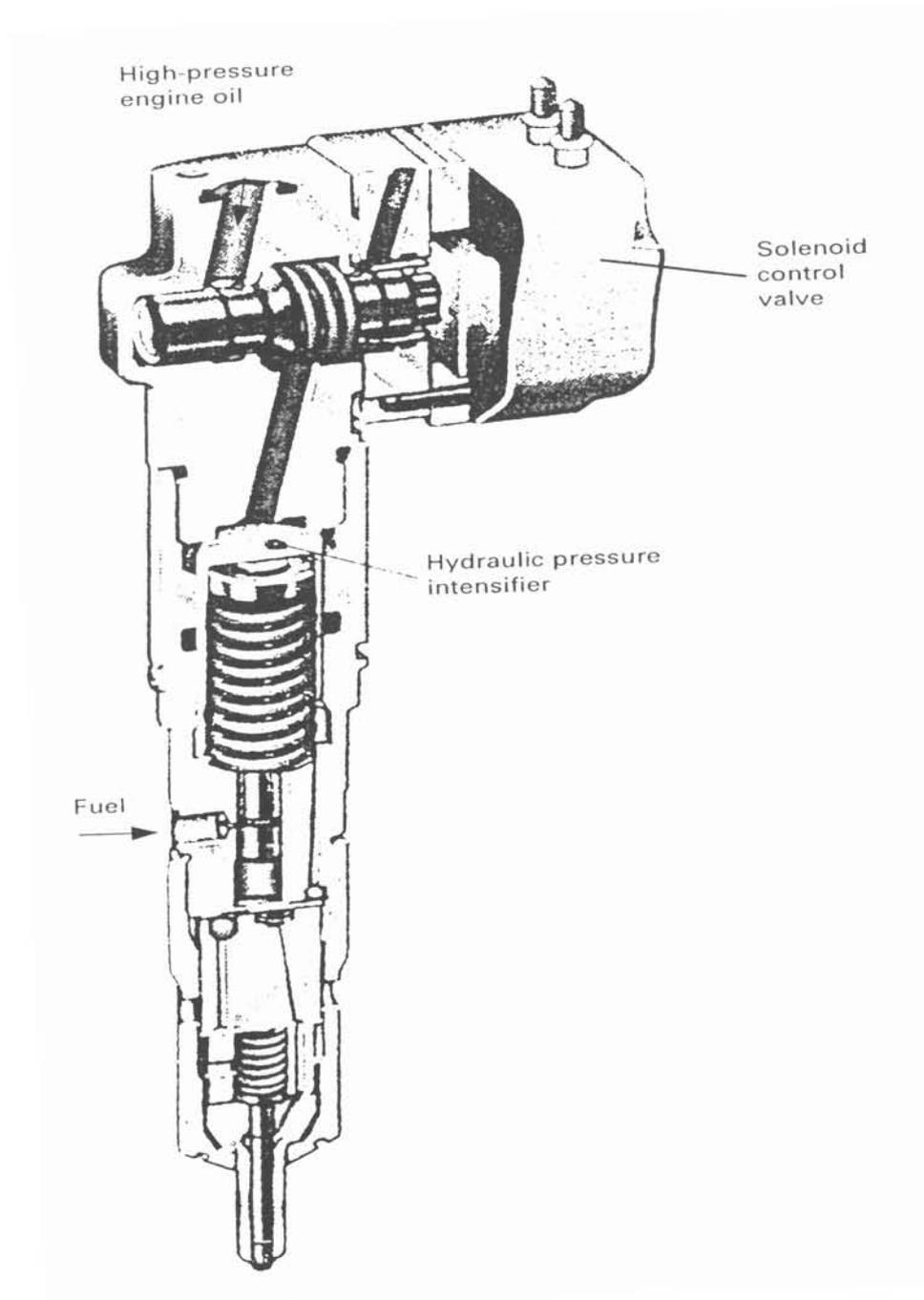
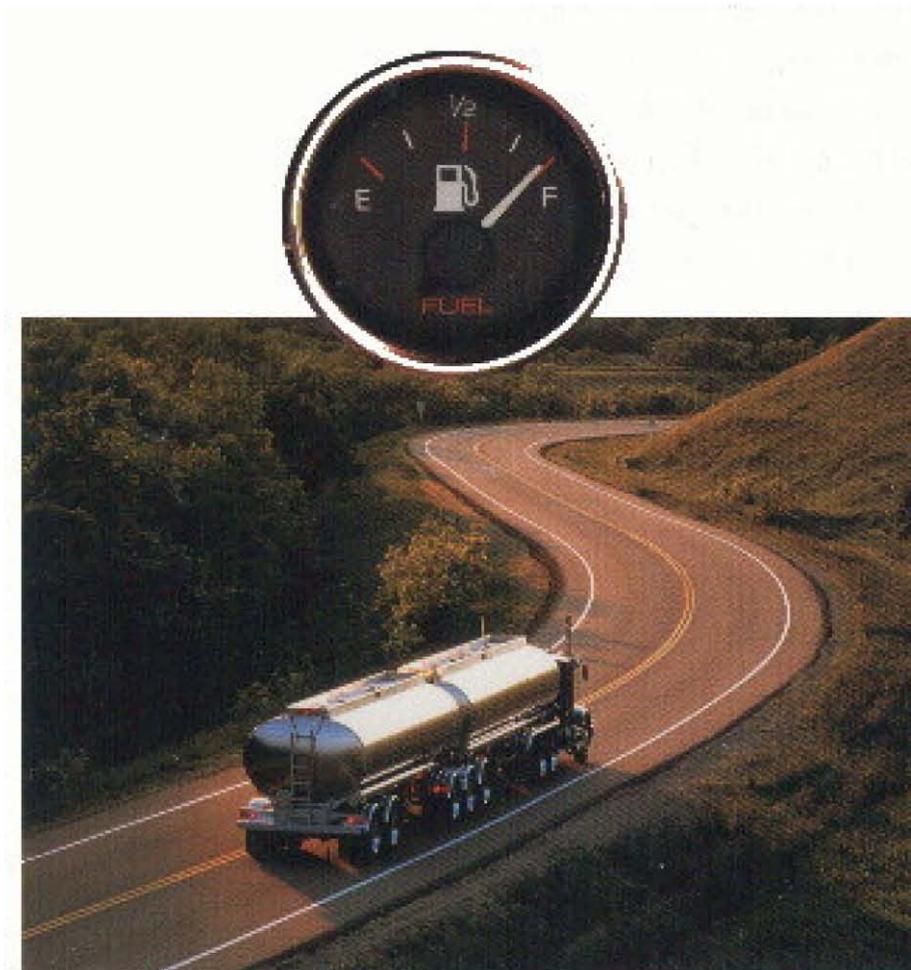


Figura 3.13

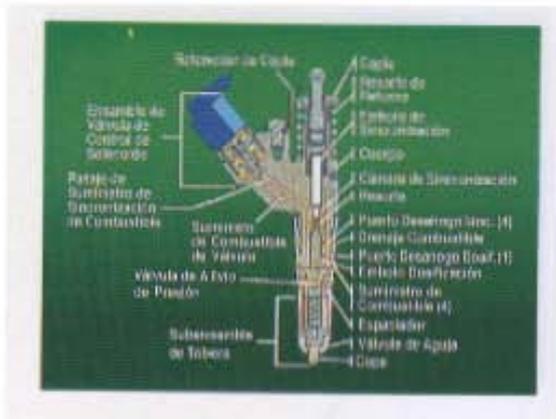
CAPITULO IV

CAPITULO IV

IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DIESEL

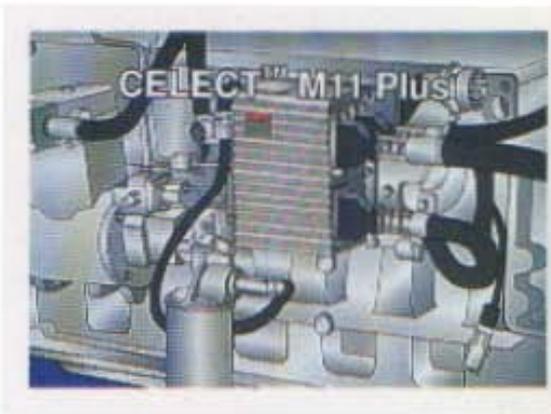


LA PERSPECTIVA DE CUMMINS® EN CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE

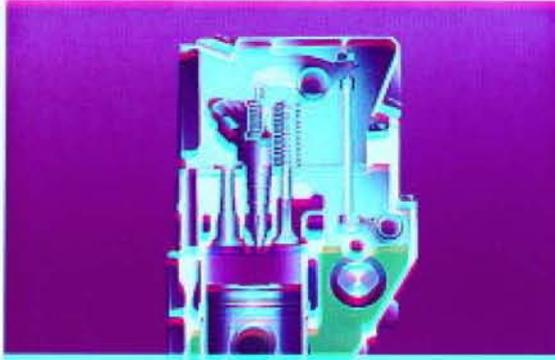


El sistema CELECT Plus tiene un nuevo inyector, que incluye nuevo ensamble de barril, tobera del inyector con mayores barrenos de atomización en la copa y un nuevo ángulo de atomización modificado, cuyos beneficios entre otros son:

- **Mejor economía de combustible**
- Menores emisiones



El Sistema de Combustible CELECT™ Plus en el M11 Plus representa el último avance tecnológico sobre los sistemas de combustible estándar. El sistema usa la electrónica para controlar con precisión las funciones de dosificación y sincronización. Este sistema basado en computadora mejora el rendimiento del motor, **optimiza la economía del combustible** y reduce las emisiones de escape.



El M11 Plus tiene un árbol de levas montado en el motor. Minimizar la distancia entre los seguidores de leva y los balancines proporciona un tren de válvulas e inyectores con respuesta para un rendimiento máximo del motor para una excelente potencia y **economía del combustible**.



El **turbocargador HOLSET™** da una mejor relación aire-combustible para:

- ✓ **Economizar combustible**
- ✓ Caballos de fuerza mayores
- ✓ Mejor operación del motor
- ✓ Protección al medio ambiente



La economía de combustible en el **ISB** se ha mejorado de 2% al 4% sobre los B5.9 del último año. Para una mejor **economía de combustible**, opere el motor en el rango de revoluciones menores recomendadas, haciendo un cambio ascendente en su transmisión.

Cummins recomienda: Para una mejor **economía de combustible**, operar el motor en el rango de revoluciones menores recomendadas, haciendo un cambio ascendente en su transmisión. Observe las siguientes gráficas en dónde se indican áreas recomendadas para ahorro de combustible. Diesel.

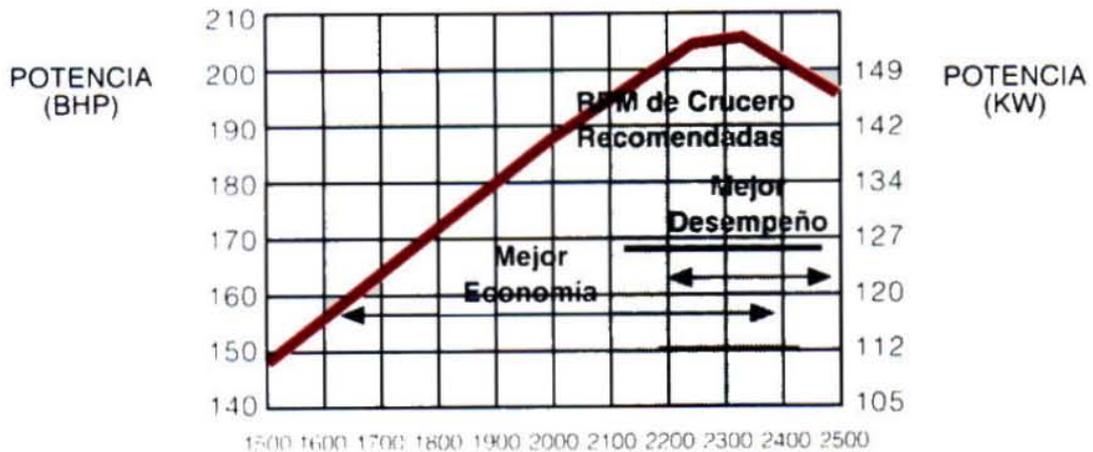


Figura 4.1 Potencia v.s. RPM, ilustrando el área recomendada para el ahorro de combustible en el motor Cummins ISB205

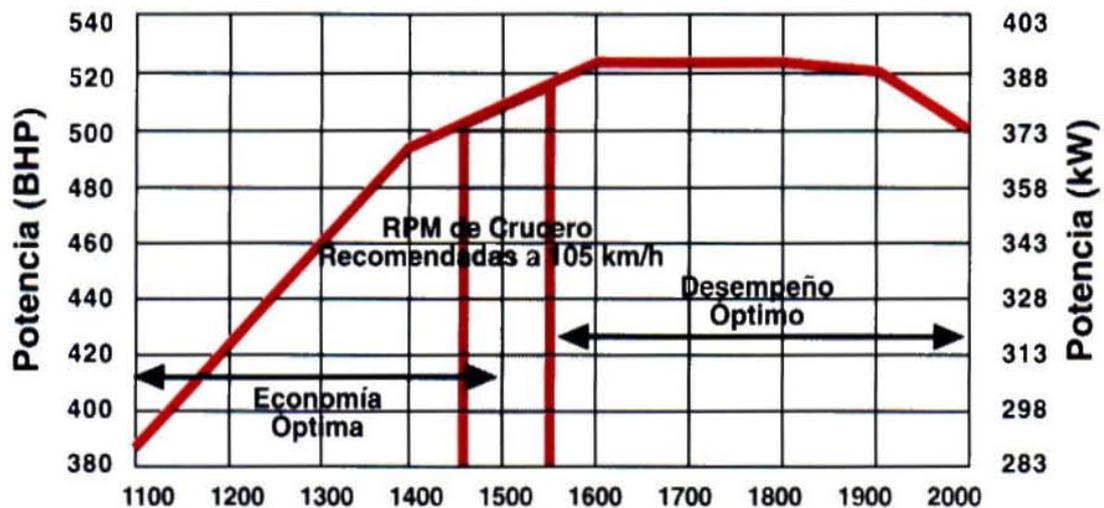


Figura 4.2 Potencia v.s. RPM, ilustrando el área recomendada para el Ahorro de combustible en el motor Cummins ISB 500.

NOTA IMPORTANTE: Desempeño en condiciones estándar SAE J 1995 de 300 ft (90m) de altitud, (29.61 pulg. Hg (100 kPa)) de presión barométrica, 77.0 °F (25°C) de temperatura de aire de admisión y 0.30 pulg Hg (1 kPa) de presión de vapor de agua con combustible Diesel No.02, en el momento del embarque.

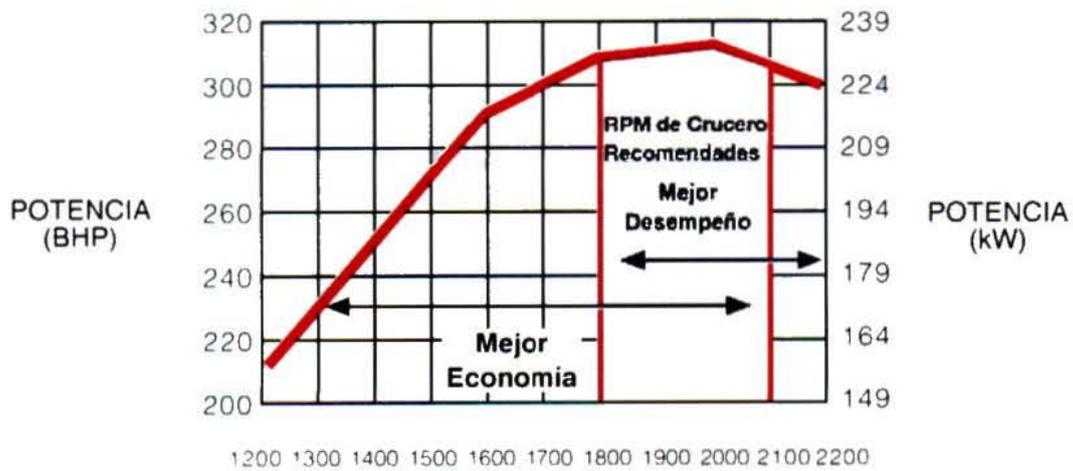


Figura 4.3 Potencia v.s. RPM, ilustrando el área recomendada para el Ahorro de combustible en el motor *Cummins ISC 315*

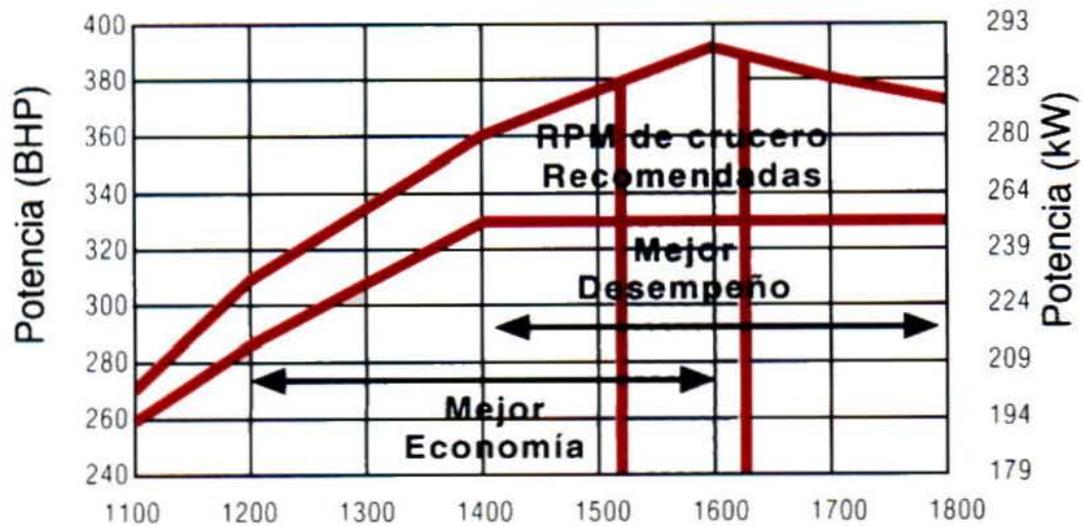


Figura 4.4 Potencia v.s. RPM, ilustrando el área recomendada para el Ahorro de combustible en el motor *Cummins ISM 330 ESP*

NOTA IMPORTANTE: Desempeño en condiciones estándar SAE J 1995 de 300 ft (90m) de altitud, (29.61 pulg. Hg (100 kPa)) de presión barométrica, 77.0 °F (25°C) de temperatura de aire de admisión y 0.30 pulg Hg (1 kPa) de presión de vapor de agua con combustible Diesel No.02, en el momento del embarque.

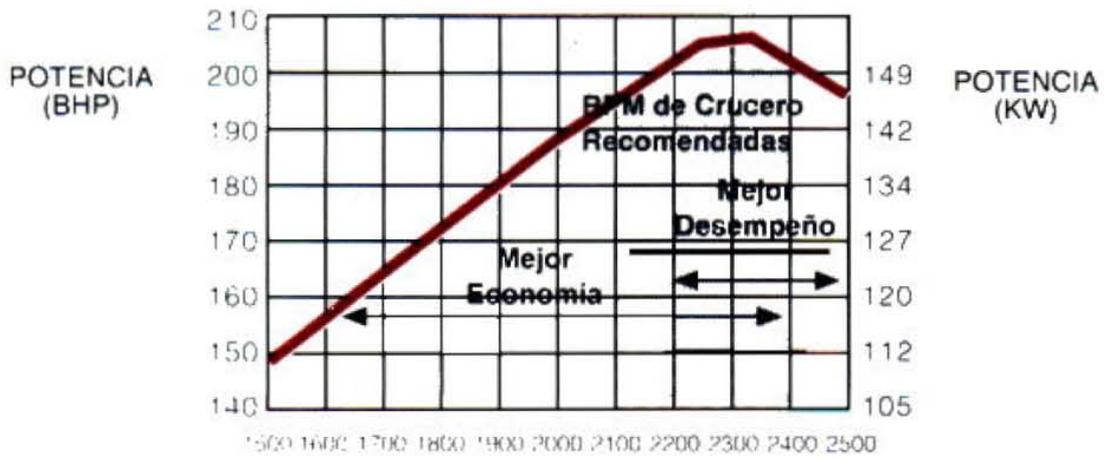


Figura 4.5 Potencia v.s. RPM, ilustrando el área recomendada para el Ahorro de combustible en el motor *Cummins ISB 205*

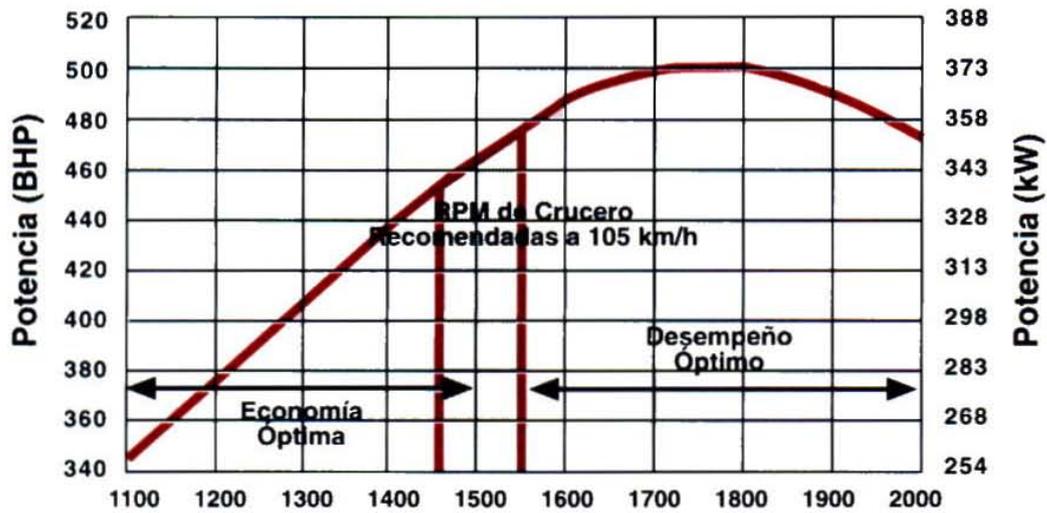


Figura 4.6 Potencia v.s. RPM, ilustrando el área recomendada para el Ahorro de combustible en el motor *Cummins ISX 475*

RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE DIESEL EN

Kilómetros/Litro **PERSPECTIVA CUMMINS®**

Es difícil expresar un rendimiento estimado en motores diesel, tal y como se puede mencionar en un automóvil convencional a gasolina, en el cuál se conoce de antemano, el número de ocupantes, capacidad de la cajuela, peso del vehículo, para entonces ponderar el número de kilómetros que daría por litro consumido de gasolina.

En el caso de motores a diesel, los fabricantes en su literatura no mencionan algún tipo de rendimiento, además, debido a los múltiples factores que intervienen en el mismo, tales como: uso, tipo y peso de carga, condiciones y tipo de carretera, condiciones climáticas (viento, nieve, lluvia, etc.), aerodinámica del vehículo, tren de engranajes o tren de fuerza, calidad del combustible diesel, tipo de operación (operador capacitado), adecuado mantenimiento (en tiempo y forma), caja de velocidades, siendo éstos los más importantes; la línea **Cummins®** expresa que al menos en México algunos datos reportados son como sigue :

TIPO DE MOTOR	MODELO	RENDIMIENTO ESTIMADO Kilómetros/Litro	POTENCIA REPORTADA	USO MENCIONADO
<i>Electrónico</i>	<i>N14 Signature</i>	1.3	<i>@ 600 hp</i>	<i>No reportado</i>
<i>Electrónico</i>	<i>ISX</i>	1.8	<i>@ 450 hp</i>	<i>No reportado</i>
<i>Electrónico</i>	<i>ISB</i>	2.5	<i>No reportada</i>	<i>No reportado</i>
<i>Electrónico</i>	<i>ISM</i>	3.8	<i>No reportada</i>	<i>Autobús pasaje</i>
<i>Electrónico</i>	<i>N14</i>	2.8 a 3.0	<i>No reportada</i>	<i>Carga frutas y legumbres</i>
<i>No Electrónico*</i>	<i>N14*</i>	1.6	<i>@ 450* hp</i>	<i>Carga pesada*</i>
<i>No Electrónico*</i>	<i>N14*</i>	2.4	<i>@ 450* hp</i>	<i>Sin carga*</i>

LA PERSPECTIVA DE INTERNATIONAL® EN CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE

VENTAJAS DE LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA EN MOTORES DIESEL INTERNATIONAL®

Beneficios:

- ✓ Economía de combustible optimizada
- ✓ Rendimiento superior
- ✓ Luces de motor en el tablero
- ✓ Características programables
- ✓ Recolección de datos
- ✓ Indicador de intervalos de servicio
- ✓ Protección del motor
- ✓ Diagnóstico computarizado

CARACTERÍSTICAS ELECTRÓNICAS PROGRAMADAS POR EL CLIENTE EN EL ECM (ELECTRONIC CONTROL MODULE)

- ✓ *Control de Crucero*
- ✓ *Gobernador de Velocidad Máxima*
- ✓ *Rendimiento de Combustible Diesel*
- ✓ Control de Retardador
- ✓ Aviso de Alarma y Apagado de Motor
- ✓ Códigos de Falla (lectura y apagado)

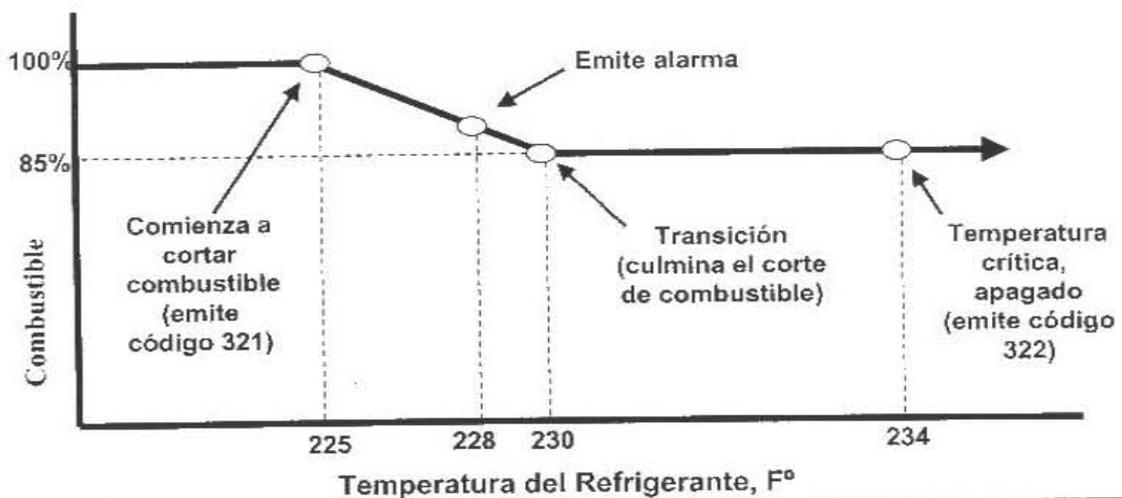
Observe los tres primeros, ya que están directamente relacionados con el ahorro de combustible diesel, llama la atención que éstos parámetros puedan programarse previamente por el cliente a través de alguna herramienta electrónica conectada al ECM (Electronic Control Module).

En el modelo VT 365 de International® Motor V8, se mencionan las siguientes características

Más potencia	De 8.5% a 9.5% de aceleración más rápida
Más MPG	De 1% a 10% más de ahorro de combustible
Menos emisiones	11% Menos NO _x (todos los índices) 40 % Menos ruido.

Asimismo se cita el control electrónico sobre el recalentamiento, que incide directamente en un ahorro de combustible, como se observa en la figura de abajo.

*Características Electrónicas Programadas en Fábrica:
Protección Contra Recalentamiento*



Además la firma *International®* cita en su literatura lo siguiente.

"..... con frecuencia, una queja por baja potencia y ahorro de combustible deficiente se debe simplemente a un elemento sucio del filtro de aire....."

En concreto la perspectiva de *International®* en cuanto a economía de combustible se aprecia en función de los múltiples aspectos que a continuación se enlistan:

- ❖ Uso racional del vehículo con motor a diesel.
- ❖ Inyección Electrónica.
- ❖ Uso del ECM (Electronic Control Module).
- ❖ Peso y tipo de carga.
- ❖ Condiciones y tipo de carretera.
- ❖ Condiciones climáticas (viento, nieve, lluvia, etc.)
- ❖ Aerodinámica del vehículo.
- ❖ Tren de engranajes o tren de fuerza.
- ❖ Tipo de operación, (operadores capacitados).
- ❖ Adecuado mantenimiento (en tiempo y forma).
- ❖ Calidad del combustible diesel.
- ❖ Elemento sucio del filtro de aire.

LA PERSPECTIVA DE CATERPILLAR® EN CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE

CAUSAS BÁSICAS PROBABLES QUE INFLUYEN NEGATIVAMENTE EN EL AHORRO DE COMBUSTIBLE

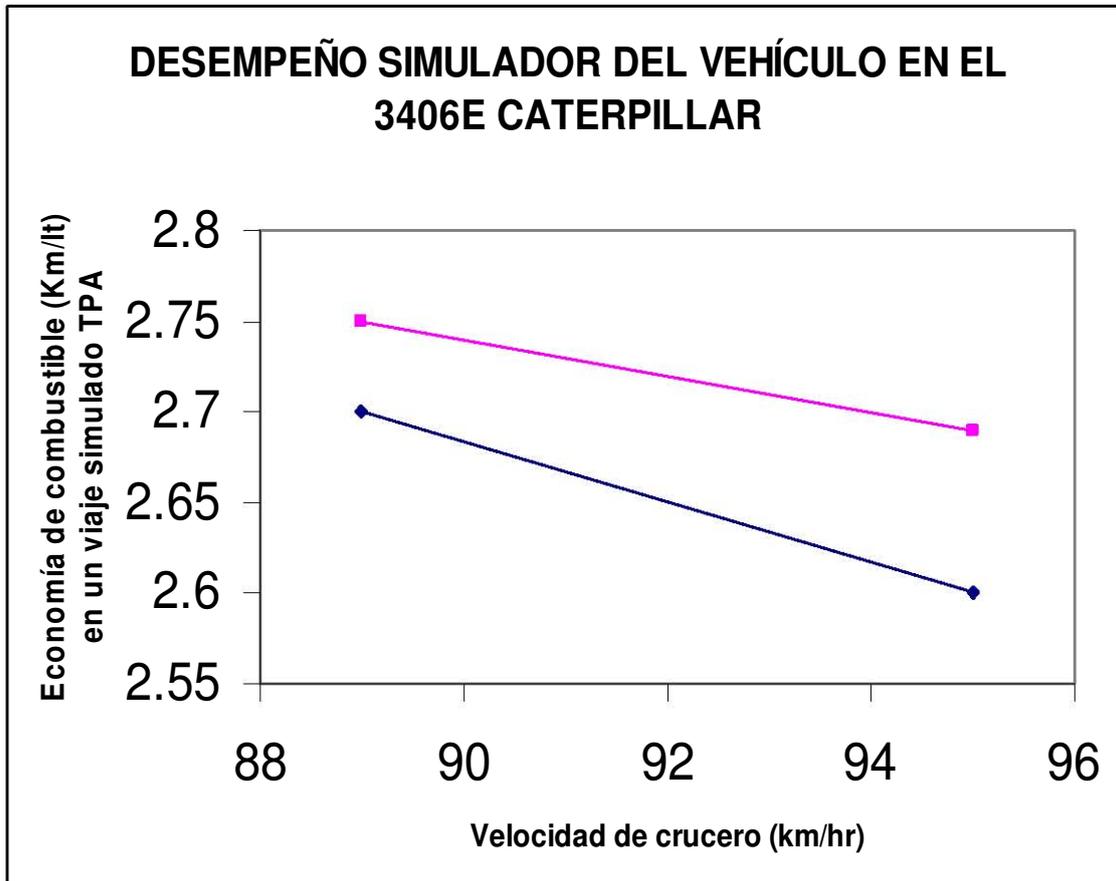
- Operación del vehículo.
- Especificaciones del vehículo.
- Suministro de combustible (combustible de baja calidad).
- El sistema de admisión de aire o el de escape está atorado.

Pero *Caterpillar®* recomienda que para atacar éstas fallas se proceda como sigue:

- Comprobar en el ECM (Electronic Control Module) los valores totales de tiempo en baja en vacío para ver si hay demasiado tiempo a baja en vacío. Comprobar si el límite de velocidad de desplazamiento programado por el cliente se ha programado muy alto.
- Tomar en cuenta las condiciones atmosféricas tales como nieve, viento, condiciones de la carretera, etc.

- Tren de engranajes o tren de fuerza, aerodinámica del vehículo o cargas más pesadas de lo común.
- Comprobar la calidad del combustible.

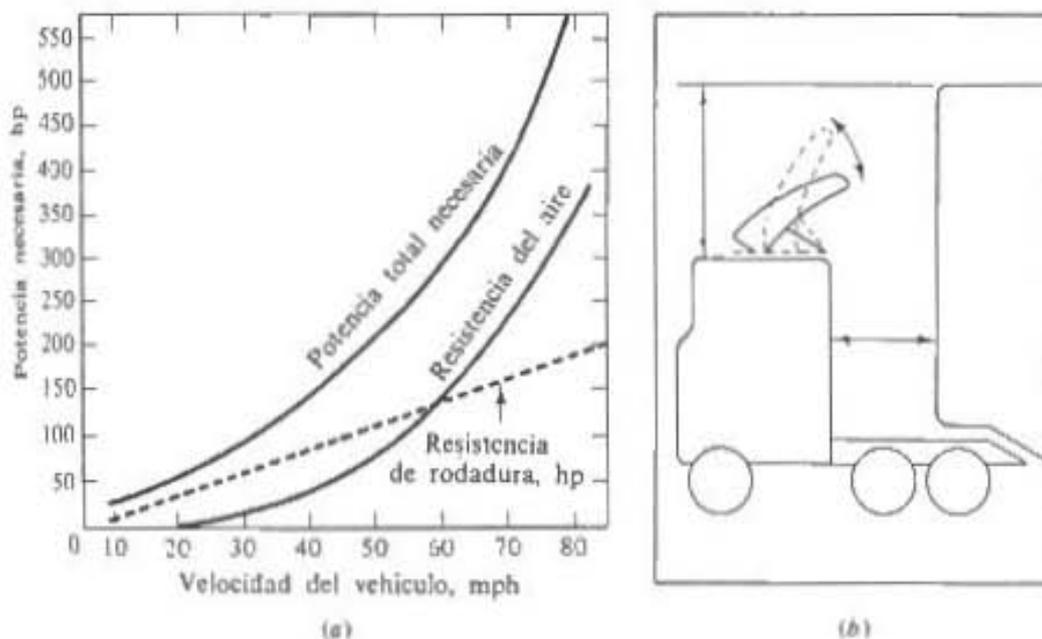
- Comprobar los sistemas de admisión de aire y de escape para ver si están atorados o tienen fugas.



NOTA ACERCA DE LA GRÁFICA MOSTRADA : Datos técnicos del camión simulado con motor 3406E, 375 HP con Par Múltiple. TPA (Truck Performance Análisis) Programa de Análisis de Funcionamiento del Camión. Transmisión: 18 velocidades (sobremultiplicación de 0.73); Relación de eje trasero: 4.33 economía; 4.63 rendimiento. Tractor y remolque 2.4 m. X 4.1 m. Diseño aerodinámico. Llantas 11 X 24.5 pulg. (radiales). PBV (Peso bruto del vehículo) 55,000.00 Kg. (110,000.00 Lbs).

LA PERSPECTIVA DE SCANIA® EN CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE

Algunos aspectos que contribuyen a la economía de combustible de acuerdo a lo mencionado por Scania®, son los siguientes: El perfil aerodinámico de los camiones Scania®, (cabina en forma de cuña), minimiza la resistencia al aire en el frente y reduce la turbulencia en los bordes, esto representa una fuerte ventaja ante vientos muy fuertes así como un significativo ahorro de combustible.



Reducción de la resistencia en un camión con remolque: (a) potencia necesaria para vencer la resistencia; (b) deflector añadido a la cabina para reducir la resistencia del aire en un 20 por 100 (Uniroyal Inc.)

El control preciso de los inyectores de combustible, individualmente en cada cilindro, así como la carga en el motor durante los cambios de velocidades, siendo controlados ambos, aseguran constantemente, una combustión con uso bajo de combustible.

El turbocargador Scania® proporciona eficiencia en el motor a muy bajas velocidades, proporcionando el alto torque que beneficia la economía de combustible.

Es importante también subrayar que al mejorar la técnica de manejo de los operadores, se ha demostrado, que contribuye 10% o más a la economía de combustible.

Un estudio realizado por Scania®, arrojó los siguientes datos: Un camión ha sido conducido 150,000.00 Kilometros por año, y ha consumido 40 litros por cada 100 Km., es decir 60,000.00 litros por año. Si se reemplazara al camión por un modelo Scania® cuyo consumo es de 35 litros por cada 100 Km. (12.5 % menos combustible) se habrá ahorrado 7,500 litros de combustible en un año.

Con los modelos de la serie P- y R- (electrónicos) se ha mejorado fuertemente la economía de combustible hasta un 3%, esto gracias a las mejoras en aerodinámica, controles electrónicos inteligentes, reducción de peso, (entre otros).

El sistema de inyección a alta presión de Scania® HPI (high pressure injection system), es un sistema altamente eficiente, como resultado de ajustes minuciosos de diversas variables para asegurar una entrega de combustible siempre exacta y precisa.

Asimismo debido a la mejora del Scania® EGR (Exhaust Gas Recirculation), recirculador de gases de salida y a la del SCR (Selective Catalytic Reduction), un tipo de convertidor catalítico, ha sido posible para Scania®, controlar y cuidar el nivel de emisiones contaminantes.

En concreto la perspectiva de Scania® en cuanto a economía de combustible se aprecia en función de los aspectos que a continuación se enlistan:

- ❖ Peso total del vehículo.
- ❖ Controles electrónicos inteligentes.
- ❖ Alto desarrollo tecnológico en la cámara de combustión.
- ❖ Investigación y desarrollo en eficiencia de combustión.
- ❖ Sistemas de Inyección de combustible a Alta Presión Scania®.
- ❖ Turbocargador recomendado por Scania®.
- ❖ Resistencia al rodamiento & uso correcto de tipo de llantas.
- ❖ Tipo adecuado de transmisión.
- ❖ Aerodinámica del camión.
- ❖ Conductor experimentado y debidamente capacitado.
- ❖ Condiciones de carretera y caminos en general.
- ❖ Tráfico y congestionamiento.



LA PERSPECTIVA DE VOLVO® EN CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE

Los datos que Volvo® publica junto con los criterios, dispositivos y situaciones que influyen en la economía de combustible, se citan a continuación:

La tecnología detrás de los motores Volvo electrónicos (VE Engine):

- ❖ VECTRO II Es una Unidad de Inyección Electrónica (EUI), es el nervio central del motor Volvo®, ésta monitorea continuamente las condiciones del motor y realiza ajustes para producir, operación confiable, periodos de servicio largos, bajos costos de operación y un **rendimiento de combustible**.
- ❖ Interenfriador aire a aire : Proporciona una **economía de combustible** superior y un alto desempeño del motor.
- ❖ Bajo peso de motor comparado con nivel de potencia, produce un **bajo consumo de combustible** y una excelente respuesta.

Modelo: Volvo® VE 345-465

Sistema de Inyección	Unidades de Inyección Electrónicas (EUI)
Sistema Electrónico de suministro	Vectro® II
Potencia máxima / Torque máximo	345hp@1700rpm/1350lb-ft@1100rpm 465hp@1700rpm/1650lb-ft@1100rpm
Economía Óptima de Combustible	1200 rpm - 1800 rpm

Modelo: VD12C 465 (465 HP 1650 lb-ft torque)

Sistema de inyección	Inyectores unitarios electrónicos (EUI)
Sistema de Control Electrónico	Vectro® II
Potencia/ Torque Máx. lb-ft	465 hp @ 1700 rpm 1650 lb-ft @ 1100 rpm
Rango de economía rpm	1450 rpm - 1650 rpm

Modelo: VD12C 425 (425 HP 1550 lb-ft torque)

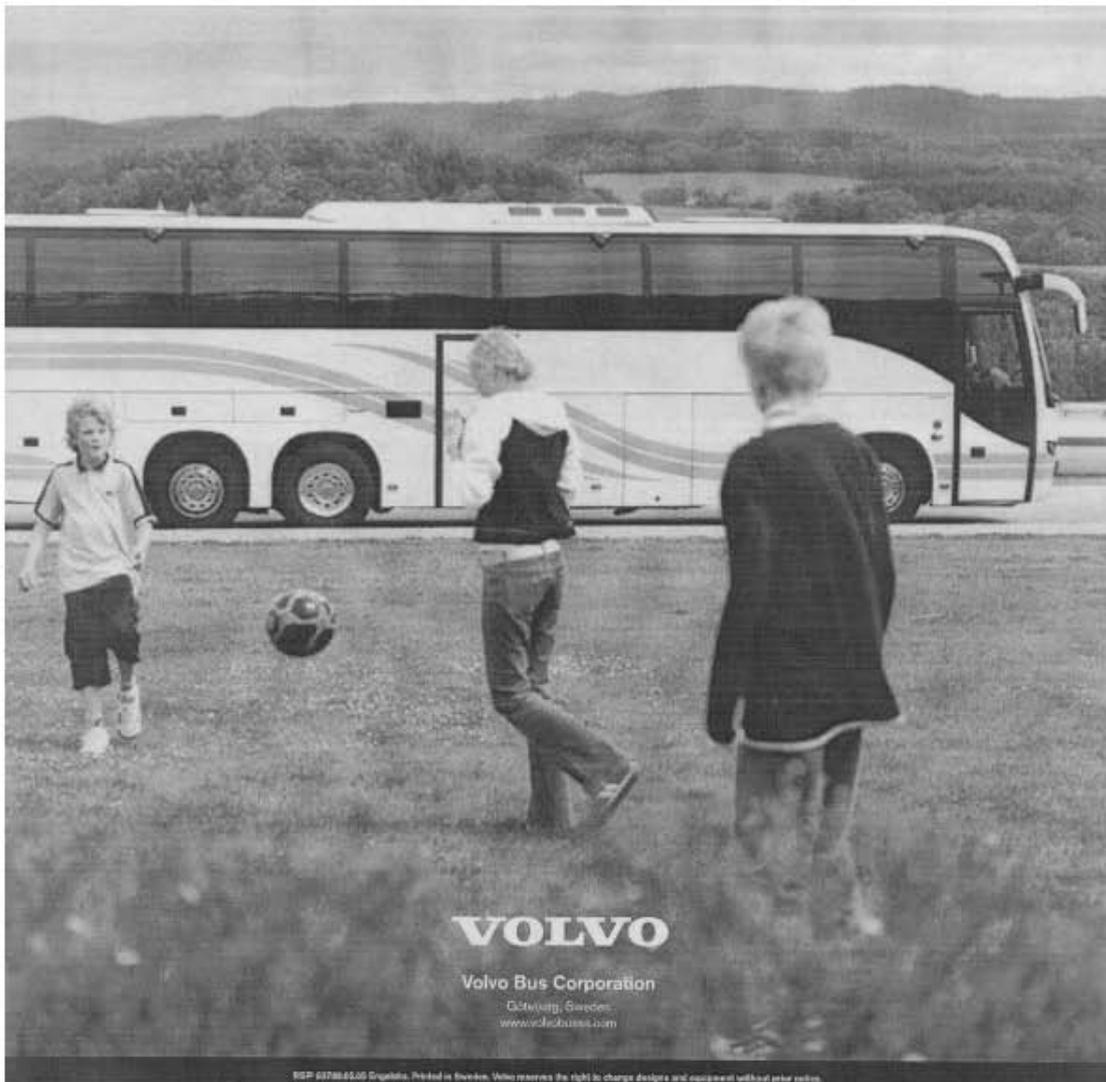
Sistema de inyección	Inyectores unitarios electrónicos (EUI)
Sistema de Control Electrónico	Vectro® II
Potencia/ Torque Máx. lb-ft	425 hp @ 1700 rpm 1550 lb-ft @ 1100 rpm
Rango de economía rpm	1450 rpm - 1650 rpm

Modelo: VD12C 385 (385 HP 1450 lb-ft torque)

Sistema de inyección	Inyectores unitarios electrónicos (EUI)
Sistema de Control Electrónico	Vectro® II
Potencia/ Torque Máx. lb-ft	385 hp @ 1700 rpm 1450 lb-ft @ 1100 rpm
Rango de economía rpm	1450 rpm - 1650 rpm

Modelo: VD12C 345 (345 HP 1350 lb-ft torque)

Sistema de inyección	Inyectores unitarios electrónicos (EUI)
Sistema de Control Electrónico	Vectro® II
Potencia/ Torque Máx. lb-ft	385 hp @ 1700 rpm 1450 lb-ft @ 1100 rpm
Rango de economía rpm	1450 rpm - 1650 rpm



LA PERSPECTIVA DE LA CONAE (COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA) EN CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE EN

Kilómetros/Litro

No existe en México alguna normatividad al respecto, pero los datos proporcionados por la CONAE, son de empresas de transporte de carga en operación normal. Y son los siguientes:

Rendimiento en motores de inyección mecánica está entre 1.0 a 1.5 $\frac{Km}{Lt}$.

Rendimiento en motores de inyección electrónica entre 1.8 a 3.0 $\frac{Km}{Lt}$.

TIPO DE INYECCIÓN	RENDIMIENTO EN KILÓMETROS/LITRO
Inyección mecánica (motores antiguos)	desde 1.0 hasta 1.5
inyección electrónica (motores actuales)	desde 1.8 hasta 3.0

CASO PRÁCTICO;
EMPRESA: COMERCIAL MEXICANA®.
GIRO: TIENDAS DE AUTOSERVICIO.

***PERSPECTIVA DE COMERCIAL MEXICANA® EN
CUANTO A ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE***

La Gerencia de Logística y Transporte de ésta importante cadena de tiendas de autoservicio con oficinas centrales en la Ciudad de México, cuyas sucursales están a lo largo y ancho de nuestra República Mexicana, dicha Gerencia es la encargada de surtir (fruta, cárnicos, y perecederos) a través de camiones motor diesel (tortons y trailers), todo cuanto se exhibe en sus sucursales y para quienes el ahorro de combustible diesel es fundamental para sus costos de transportación de mercancía, ya que representan miles de pesos al año de ahorro, además expresaron que :

EL AHORRO DE COMBUSTIBLE DE ÉSTA EMPRESA ES FUNCIÓN DE:

- ✓ Tipo y condición de carreteras.
- ✓ Conductores capacitados, honestos y con bastante experiencia.
- ✓ Unidades Diesel con inyección electrónica.
- ✓ Unidades Diesel con mantenimiento adecuado (bitácora).
- ✓ Condiciones climáticas y aerodinámica de las unidades.
- ✓ Uso de combustible diesel adecuado y de buena calidad.
- ✓ Tipo de carga y peso de la carga.
- ✓ Preferimos mandar un trailer que dos torton.
(en particular a la sucursal del centro de Guanajuato)
- ✓ El Horario para la transportación. (por el caso: sucursal Guanajuato)
- ✓ Nos agrada el Motor Caterpillar® porque en nuestras estadísticas es el más ahorrador, a pesar de su mantenimiento delicado y costoso.

En cuanto a expresar algún índice de rendimiento de combustible diesel, en la experiencia de Comercial Mexicana®, es como se ilustra en la siguiente tabla:

TIPO DE INYECCIÓN	RENDIMIENTO EN KILÓMETROS/LITRO
Inyección mecánica (motores antiguos)	desde 1.0 hasta 1.5
inyección electrónica (motores actuales)	desde 1.6 hasta 3.2

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



|
|

Después de haber realizado una investigación comparativa del efecto de la tecnología de los motores a diesel, en cuanto al ahorro de combustible en firmas comerciales tales como: Cummins®, International®, Caterpillar®, Scania®, Volvo®, en la Comisión Nacional para el ahorro de Energía (CONAE), en la cadena de tiendas de autoservicio Comercial Mexicana®, además de las consultas y entrevistas hechas a empresas dedicadas a la rectificación, reconstrucción de motores diesel, y mecánica diesel, así como a varios operadores transportistas de la Central de Abastos (Ciudad de México) y a una Escuela de Especialización en Mecánica Diesel Moderna, se concluye lo siguiente:

1.- El acceso a la información actualizada de la literatura, Manuales de Servicio, Estadísticas de Rendimiento Reales, Gráficas comparativas reales de los motores a diesel, de las firmas comerciales que se venden hoy en México, es muy escasa, porque en su mayoría está muy restringida, es celosamente guardada, no es de dominio público y (en su mayoría) sólo se consulta dentro de los Departamentos de Servicio de las firmas comerciales en sus diferentes sucursales. Aclarando que la información publicada con fines de publicidad y ventas, queda fuera de éste punto.

2.- La literatura (“disponible”) de las firmas comerciales de motores diesel en México, afirma, que, efectivamente, **existe un ahorro real de combustible diesel**, en los motores de inyección electrónica.

3.- Que dicho ahorro de combustible, se verifica (en operación normal), al comparar, una unidad diesel de inyección electrónica, bajo las mismas condiciones, con otra, en condiciones semejantes, pero de inyección mecánica.

4.- Al unificar los criterios, de las diferentes firmas comerciales en maquinaria diesel, citadas en el presente trabajo, quienes fueron: Cummins®, International®, Caterpillar®, Scania® y Volvo®, así como el criterio expresado por la cadena de tiendas Comercial Mexicana®, en cuanto al ahorro de combustible diesel. Todos ellos coinciden en que dicho ahorro, está en función de varios parámetros, que inciden directa o indirectamente. Siendo los más destacados:

- ✓ Uso de inyección electrónica.
- ✓ Uso de alguna Unidad de Control Electrónica Inteligente.
- ✓ Parámetros previamente programados en la Unidad de Control Electrónica Inteligente, que sean correctos y congruentes.
- ✓ Uso y tipo de carga.
- ✓ Condiciones y tipo de carretera.
- ✓ Condiciones climáticas (durante el viaje).
- ✓ Aerodinámica de la unidad diesel.
- ✓ Adecuado tren de engranaje o tren de fuerza.
- ✓ Calidad del combustible diesel.
- ✓ Tipo de operación adecuada (operadores calificados y capacitados).
- ✓ Adecuado mantenimiento (en tiempo y forma).
- ✓ Uso de Turbocargador recomendado.
- ✓ Operar la unidad diesel en el rango recomendado de revoluciones por minuto, RPMs (recomendadas).

- ✓ De existir alguna diferencia entre los resultados que el fabricante promete con los obtenidos por el cliente, debe considerarse que las pruebas se realizan en condiciones estándares de operación.

- ✓ Uso racional, cuidadoso e inteligente de la unidad diesel.

5.- En cuanto a los índices de rendimiento (kilómetros/ litro), reportados tanto por la CONAE, como por las firmas comerciales: Cummins®, Caterpillar®, International®, y confirmados por las estadísticas de la Gerencia de Tráfico y Logística de la cadena de autoservicio Comercial Mexicana®, y al coincidir toda éstas fuentes de información, teniendo presente los puntos arriba citados, se concluye que: El rendimiento (kilómetros/litro) de una unidad diesel con inyección electrónica con carga estará en el intervalo de **1.8 a 3.0 (Kilómetros/ Litro)**.

Mientras que en una unidad diesel con inyección mecánica (tradicional) y en iguales circunstancias su índice estará en el intervalo de **1.0 a 1.5 (Kilómetros/ Litro)**.

6.- Que un ahorro de combustible representará también menos contaminación ambiental y representará miles de pesos ahorrados por año.

7.- La tecnología diesel evoluciona continuamente y esto provoca mejoras muy significativas en el rendimiento de combustible y en el control de las emisiones contaminantes.

8.- Es recomendable e importante hacer una renovación o actualización del parque vehicular.

9.- Éste trabajo se considera preliminar, ya que se requiere hacer más investigación y recabar mucha más información, que enriquezca el tema abordado en ésta tesis.

BIBLIOGRAFIA Y OTRAS FUENTES

Adams, Orville.: "MOTORES DIESEL". Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona España 1968.

Caterpillar®.: "CAT® 3406E TRUCK ENGINE" ,United States of America, 2000.

Cummins® .:"MANUAL DE SERVICIO, (N14,ISB,ISC,ISX.)", México, 1999.

Faires Virgil Moring, Simmang Clifford M.:"THERMODYNAMICS",Macmillan Publishing CO., Inc. United States of America, 1985.

Ferguson Colin R.:"INTERNAL COMBUSTION ENGINES". John Wiley & Sons. United States of America, 1987.

Heywood John B.:"INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUNDAMENTALS". McGraw- Hill, Inc. United States of America, 1998.

International® from Navistar: "MANUAL DE DIAGNOSTICO, Diamond Logic®", México, 2003.

Makartchouk Andrei.:"DIESEL ENGINE ENGINEERING, THERMODYNAMICS, DYNAMICS, DESIGN, AND CONTROL.", McGraw-Hill, Inc. United States of America, 2001.

Miranda Pedro:"CONSTRUCCIÓN Y MANEJO DE LOS MOTORES DIESEL MARINOS Y ESTACIONARIOS", 6ª. Edición ampliada, Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona España, 1975.

Stone, Richard: "INTRODUCTION TO INTERNAL COMBUSTION ENGINES", Mac-Millan Press LTD, United Kingdom, 1999.

Van Wylen G., Sonntag R., Borgnakke C.,: "FUNDAMENTALS OF CLASSICAL THERMODYNAMICS". Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. Printed in the United States of América. 1990.

Wark, Kenneth Jr. : "TERMODINÁMICA", 5ª. Edición McGraw-Hill, México 1994.

White, Frank M. "MECÁNICA DE FLUIDOS" Mc Graw Hill, México 1998.

ENTREVISTAS:

Empresa DIRREC, ("Reconstrucciones Diesel y Conjuntos" & "Asesoría en Mecánica Diesel")

Sr. Heriberto Báez González ("Mecánico Diesel Especializado en Caterpillar®, Mercedes Benz®, International®, Detroit Diesel®, Ford®, GMC®").

Conductores Transportistas (Traileros & Tortons) de la "Central de Abastos" de la Ciudad de México.

Cummins® de México. (Algún Encargado de Servicio).

Ing. Antonio Hernández (Gerente General) "Centro Especializado en Diesel y Gasolina de México (C.E.D.G.A.)" Tlalnepantla, Edo. Mex.

Lic. Rubén Espinosa Barajas (Gerente General de Logística y Transporte) "Grupo Comercial Mexicana" México D.F.

|

PAGINAS Web :

http://www.volvo.com/trucks_global/.htm

<http://www.scania..com>

<http://www.international.com>

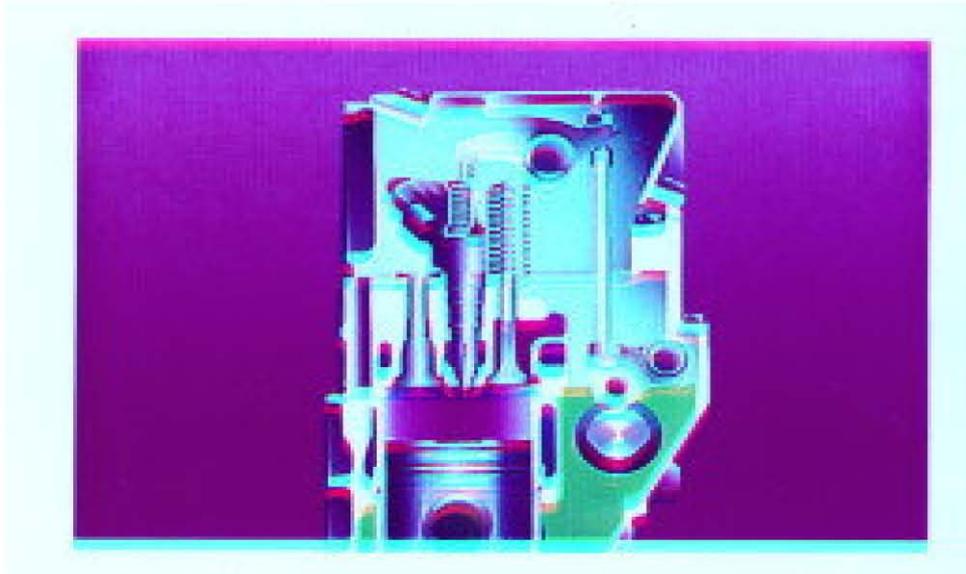
<http://www.cummins.com>

<http://www.caterpillar.com>

INYECTOR RECON® DE CUMMINS®



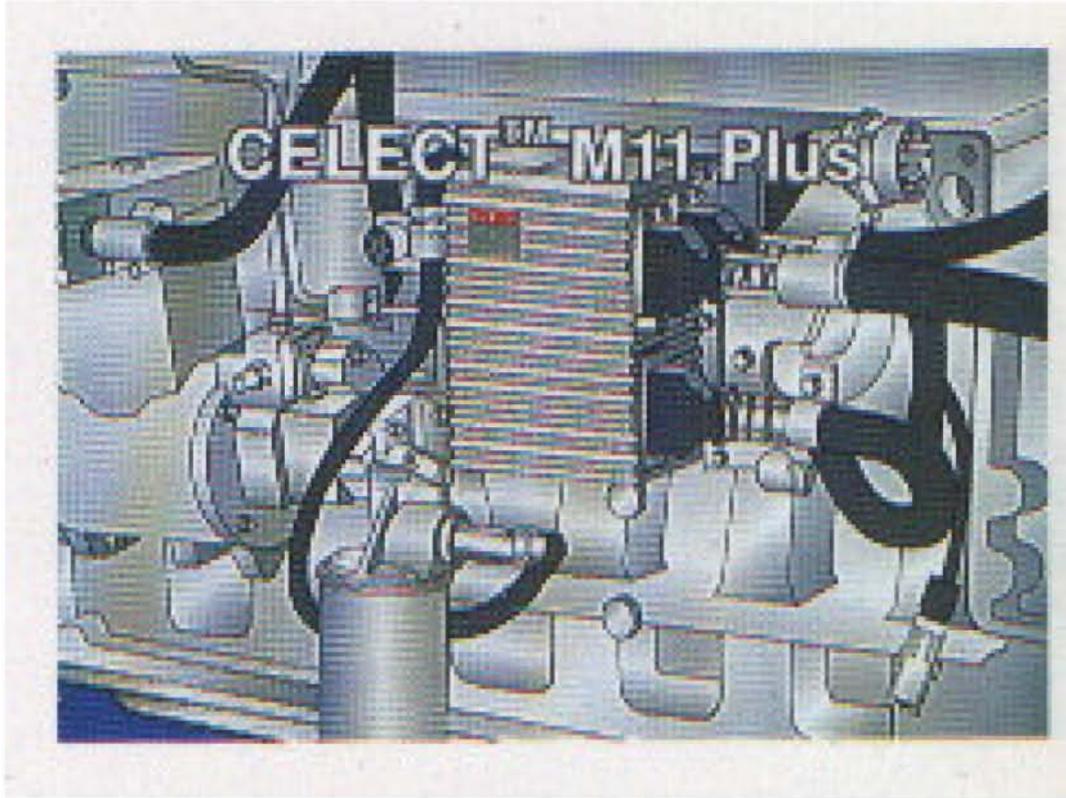
El M11 Plus DE CUMMINS®



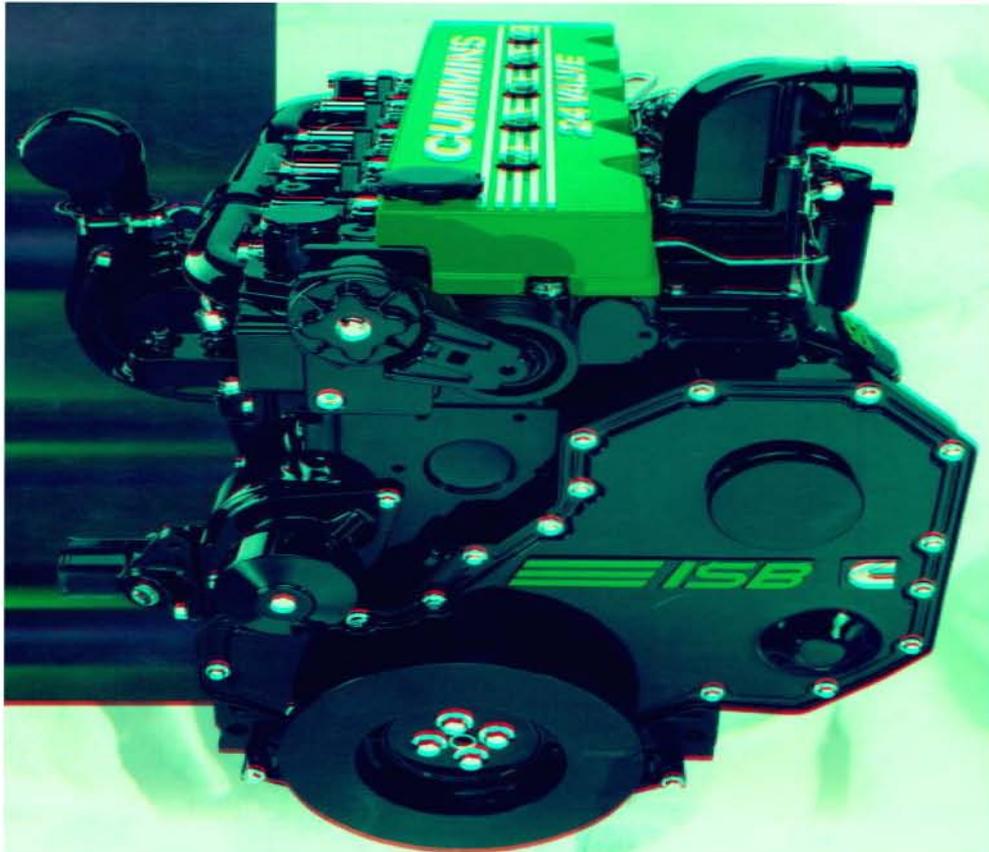
El turbocargador HOLSET™



CELECT® M11 Plus DE CUMMINS®



EL ISB DE CUMMINS®



EL ISB DE CUMMINS®

