

# Ventajas del uso de la inyección electrónica para vehículos diesel pesados en las condiciones de Cuba.

**J. Luis Reyes González, F. Téllez Granda, O. Lee Sánchez.**

Grupo de Motores Térmicos. Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables.  
Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
Calle 127 s/n CUJAE Marianao, C Habana, Cuba.  
Teléfonos: 260 5060, 260 0641 al 51 - Ext. 281  
Fax: (537) 2672964  
E-mail: joseluis@ceter.ispjae.edu.cu

(Recibido el 12 de noviembre del 2000, aceptado el 21 de marzo del 2002)

## Resumen

Tomando en cuenta la importancia que tiene para Cuba el obtener una eficiencia energética elevada en los motores de combustión interna, al igual que el control de las emanaciones de gases tóxicos en los mismos, se realizó este trabajo donde se demuestran las ventajas tanto en el orden económico como ecológico de los motores diesel con mando electrónico para equipos pesados empleados en la transportación de carga por camiones en la empresa Cubalse.

Por medio de métodos experimentales y estadísticos, se obtuvo el consumo de combustible y la humosidad en motores con inyección electrónica (Detroit) y en motores que utilizan los métodos tradicionales (Cummins). Los resultados demostraron la superioridad en ambos aspectos de los motores con inyección electrónica.

Se realizó una valoración del tiempo de amortización de la inversión inicial necesaria para utilizar en el parque existente esta novedosa técnica de la inyección electrónica.

**Palabras claves:** Eficiencia energética, inyección electrónica, consumo de combustible, motores de combustión interna.

## 1. Introducción.

A partir de los avances introducidos por la electrónica y la computación, entre las décadas de los 80 y 90, se han podido realizar innumerables progresos en la industria automotriz, mejorando en gran medida la eficiencia y productividad de los motores de combustión interna, conjuntamente con el aporte al desarrollo de la protección del medio ambiente.

El siguiente trabajo, brinda la oportunidad de analizar, una de las tecnologías desarrolladas en el mundo de la industria automotriz, como es: el agregar un mando electrónico, con diagnóstico incorporado en los motores Diesel para equipos pesados, en la transportación por carretera. [1, 6].

La ventaja económica de esta tecnología, es reflejada en el trabajo, a través de una investigación realizada en la base de transporte de la empresa Cubalse, donde se adquirieron a partir de 1996 un parque de vehículos con esta tecnología.

Se demuestra la superioridad de esta tecnología, con respecto a los motores Diesel tradicionales, con relación

al consumo de combustible y el control de emisiones de humo al medio ambiente. Por medio de investigaciones realizadas en 11 camiones con inyección electrónica y 11 camiones sin inyección electrónica, pudo ser demostrada la superioridad de los primeros.

Los objetivos de este trabajo son:

1. Obtención de los índices de consumo en la base de transporte de la empresa Cubalse en equipos con inyección electrónica y sin ella.
2. Investigación sobre los porcentos de opacidad, en los vehículos con inyección electrónica (Detroit) y mecánicos (Cummins).
3. Ventajas de la inyección electrónica, en cuanto al consumo de combustible y niveles de opacidad, con relación a los motores mecánicos

## 2. Desarrollo.

En la primera etapa del trabajo fueron escogidos 11 camiones con motores Cummins NI4 con sistema de

alimentación convencional cuyas características técnicas son:

#### Motores Cummins N14

Potencia nominal	350 HP
Frecuencia de rotación max.	1800 r.p.m.
Cantidad de cilindros en línea	6
Cilindrada	14 L
Relación de compresión	16.3:1

En la segunda etapa fueron seleccionados 11 camiones con motores Detroit Diesel con mando electrónico, cuyas características técnica son.[1]:

#### Motores Detroit Diesel con mando electrónico:

Potencia nominal	430 HP
Frecuencia de rotación max.	1800 r.p.m.
Cantidad de cilindros en línea	6
Cilindrada	12.7 L
Relación de compresión	15:1

Primeramente se analizó el consumo de combustible en ambos casos, realizándose una prueba en carretera a todos los camiones, En el viaje de ida los camiones salían con 25 toneladas de carga y regresaban descargados. En las tablas 1 y 2 se muestran los resultados.

Tabla 1. Motores Cummins mecánicos.

No. Carro	Índice (Km/l) cargado	Índice (Km/l) sin carga
140	2.01	2.21
141	2.00	2.18
142	2.01	2.20
143	2.03	2.23
144	2.02	2.22
145	2.01	2.20
146	1.98	2.16
147	2.02	2.22
148	2.01	2.21
149	2.02	2.22
150	1.99	2.17

Se puede detectar que los índices de consumo, tanto cargados como descargados, son superiores en los Detroit como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2. Motores Detroit Diesel.

No. carro	(Km/L) Cargado	Km/L sin carga
101	2.17	2.38
102	2.18	2.39
103	2.17	2.38
104	2.18	2.39
105	2.18	2.39
106	2.19	2.40
107	2.20	2.40
108	2.25	2.49
109	2.24	2.48
110	2.24	2.48
185	2.25	2.50

Tabla 3. Valores medios del índice de consumo Km/l.

Motores	Cargados	Descargados
Cummins	2	2.2
Detroit	2.2	2.4

De aquí se puede asegurar que los camiones con motores Detroit con mandos electrónicos, tienen una eficiencia energética de un 10 % superior al Cummins.

Además de estas pruebas se realizó una en explotación durante un año, controlándose el consumo y el kilometraje. En las tablas 4 y 5 se ve los resultados por trimestre y anuales.

Tabla 4 Motores Cummins mecánicos.

Trim	Kms Cargado	Consumo cargado (l)	Kms sin carga	Consumo sin carga (l)
I	93066	46497	51631	23439
II	95001	47221	48975	22157
III	92612	46210	50319	22925
IV	87993	44915	45758	20850
Anual	368672	184843	196683	89371

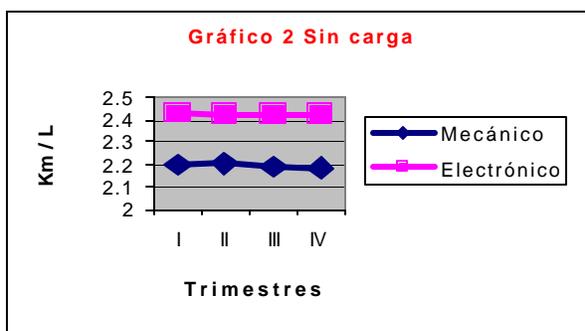
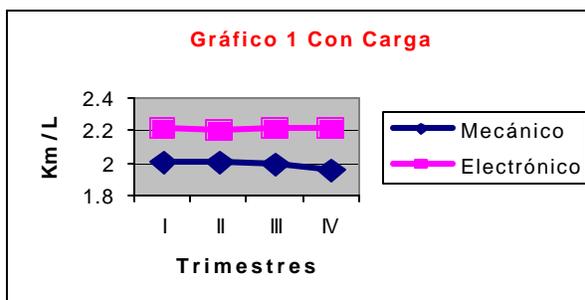
De aquí se obtiene que el índice de consumo anual para los motores Cummins mecánicos es 2.06 Km/l, o sea 48.5 litros cada 100 Km.

Tabla 5 Motores Detroit electrónicos.

Trim.	Kms Cargado	Consumo cargado (l)	Kms sin carga	Consumo sin carga (l)
I	97610	44254	55756	22952
II	95211	43255	53106	21902
III	97278	44028	52729	21759
IV	93283	42255	55043	22756
anual	383382	173792	216634	89369

De aquí se obtiene que el índice de consumo anual para los motores Detroit electrónico es 2.28 Km/l, o sea 43.9 litros cada 100 Km.

Para simplificar el análisis sobre el consumo de combustible se representan los resultados de forma gráfica, en los gráficos 1 y 2 se muestran las curvas de los índices de consumo trimestral tanto para los Cummins como los Detroit, notándose que en todos los trimestres el Detroit supera al Cummins



Después de analizar el comportamiento del consumo de combustible fue necesario la valoración de los vehículos teniendo en cuenta la humosidad de los mismos.

Para el análisis de los índices de humo, obtenidos en los camiones, con motores Cummins N14 mecánicos y Detroit (DDEC II, DDEC III) con inyección electrónica, se utilizó un equipo que brinda el por ciento de humo o

por ciento de opacidad en los vehículos analizados, la escala de dicho equipo muestra niveles desde 0% hasta el 100%. Como referencia, se utilizó la Resolución 11-99 del MITRANS donde plantea un nivel máximo de opacidad de un 29%, en la prueba de máximas revoluciones. Es por esta resolución que se rigen las mediciones en Cuba [2].

Las pruebas fueron efectuadas en 5 camiones con motores Cummins N14, y en 6 camiones con inyección electrónica, tres de ellos DDEC II y otros tres DDEC III. Todos estos camiones, se incluyen en los análisis de consumo. Se realizaron 3 tipos de pruebas en cada vehículo; la primera, con el motor en ralentí; la segunda a máximas revoluciones, coincidiendo esta con las pruebas realizadas nacionalmente y la tercera con aceleración libre, o sea, se aceleraron los motores 5 veces a máximas revoluciones y en la quinta aceleración, se efectuó la medición según normas internacionales [3, 4, 5].

Las tablas 6 y 7 y 8 reflejan los valores en las mediciones en ralentí, revoluciones máximas y aceleración libre.

Tabla 6. Cummins N14 1992.

No. Carro	Ralentí (%)	r.p.m. máx (%)	Aceleración libre (%)
141	4.0	7.0	2.5
144	3.0	4.0	2.0
146	7.0	9.0	3.0
149	2.0	4.0	2.0

Tabla 7. Detroit DDEC II Serie 60 1991

No. Carro	Ralentí (%)	r.p.m. máx (%)	Aceleración libre (%)
101	2.0	2.5	2.0
103	2.0	2.0	2.0
104	2.0	2.0	1.0

Tabla 8. Detroit DDEC III Serie 60 1993

No. Carro	Ralentí (%)	r.p.m. máx (%)	Aceleración libre (%)
109	2.0	1.0	1.5
110	1.0	2.0	1.0
185	1.0	1.0	1.0

De las tablas mostradas se sacó el por ciento medio en cada medición realizada, tanto en los vehículos con motores mecánicos Cummins N14 y con inyección electrónica Detroit (DDEC II y DDEC III). Los mismos se muestran a continuación en la tabla 9.

Tabla 9.

Motores	% medio en ralentí	% medio en r.p.m. máx	% medio en aceleración libre
Cummins N14	4.0	6.0	2.3
Detroit DDEC II Serie 60	2.0	2.1	1.6
Detroit DDEC III Serie 60	2.0	2.0	1.1

Puede plantearse que todos los valores de opacidad, tanto en los motores Detroit con inyección electrónica y Cummins mecánicos, se encuentran en los niveles admisibles de opacidad, bajo la prueba de máximas revoluciones, que es la vigente en Cuba, según la Resolución 11-99. Aunque de los resultados obtenidos puede verse que los de inyección electrónica superan a los mecánicos.

### 3. Valoración económica.

De las tablas 4 y 5 se puede obtener el gasto anual promedio para un carro trabajando con motores Cummins y con Detroit en la base de la empresa Cubalse.

#### Vehículo con motor Cummins

Los Kms totales promedio en un año recorridos son 51441 por carro, por lo tanto el consumo promedio por carro con un índice de 2.06 Km/ l es de 24971 l/año.

Costo del combustible 0.46 USD/l. El costo total del combustible consumido por carro al año será 11487 USD.

#### Vehículo con motor Detroit.

Los Km. promedios en un año recorridos son 54547 por carro por lo tanto el consumo promedio por carro con un índice de 2.28 Km/l es de 23924 l/año.

El costo de combustible total consumido por carros al año 11005 USD.

De aquí se llega a la conclusión que La Base ahorró 428 USD al año por carro al utilizar los motores Detroit y además cada carro caminó 3106 Km. más.

Para poder comparar la ganancia verdadera es necesario igualar los kilómetros recorridos, supongamos 54547 para ambos, el Cummins tendrá un costo total anual producto de su consumo de combustible por carro de 12180 USD. por lo tanto la ganancia anual por carro sería de 1175 USD, si se tiene en cuenta que el valor inicial de un vehículo con motor Detroit con respecto a uno con Cummins es de 2000 USD superior, la inversión se paga en menos de 2 años, solo por consumo de combustible.

### 4. Conclusiones.

La explotación de equipos de transportación por carretera, con inyección electrónica, en la empresa Cubalse, ha brindado un resultado satisfactorio con respecto a vehículos que no utilizan esta técnica. Lo cual es de interés para la economía del país.

Los vehículos, con inyección electrónica poseen una emisión de por ciento de humo, por debajo de los vehículos exentos de esta tecnología, En todos los casos se cumple con la resolución 11- 99 del MITRANS sobre la opacidad permitida.

Al comprar los vehículos con motores de inyección electrónica su costo inicial es superior, pero esto se amortiza en menos de 2 años.

### 5. Bibliografía.

- 1 Detroit Diesel Automotive Power, 1995.
- 2 Estrategia Ambiental MITRANS CITMA. 1999.
- 3 Grau Miland. Technical Services Departament Fuel products troubleshooting, Guide injector fault. Diagnostic. 1993.
- 4 Orville, L Adams. Motores Diesel. Ed.7 Barcelona. Gustavo Gilli, 1980.
- 5 Pla Prades. Inyección Diesel para camiones y automóviles. Ed. CEAC. 1992.
- 6 Revista Detroit Diesel. Junio, 1994.

## Advantages of electronic injection for diesel engines in heavy duty equipment.

### Abstract.

Taking into consideration the importance of achieving a high efficiency in the internal combustion engines and emission control of the exhaust gases, this paper deals with economical and environmental advantages of the electronic controlled diesel engines in heavy-duty trucks, which are used by Cubalse in the transportation. The fuel consumption and the soot emission in Detroit motors (with electronic injection system) and Cummins (with traditional system), were studied using statistic and experimental methods, and the Detroit proved to be superior in both parameters. The pay back time for the investment needed to change the systems of all the existent trucks were calculated

**Key words:** Energetic efficiency, electronic injection, fuel consumption, internal combustion engine.