

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**XXX JORNADA TÉCNICA DE ENERGÍA**

**INGENIERO ROBERTO BARRAZA**

**TEMA A PRESENTAR:**

**MOTORES DE RANGO PESADO MÁS EFICIENTES Y MENOS  
CONTAMINANTES**

**ELABORADO POR:**

**HECTOR ANTONIO ARABA HOA**

**FECHA: 18 DE SEPTIEMBRE DE 2007**



Araba Hoa, Héctor Antonio. 2007

© 2007 Motores de rango pesado más eficientes y menos contaminantes por Araba Hoa, Héctor Antonio. Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver esta licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Fuente del documento UTP-Ridda2:

<http://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/3148>

## INTRODUCCIÓN

Todos los Motores de Combustión contaminan el medio ambiente con sus gases de escape, esta contaminación afecta al planeta y a los seres vivos.

Hoy en día, los combustibles fósiles se utilizan en el 98% de los vehículos en circulación, y será la fuente de energía que permanecerá en los próximos años

Aunque ya existen otras fuentes de energía más económicas y menos contaminantes como el Hidrógeno, y el GLP (Gas Licuado Propano), hay que ser consciente que aún falta mucho para que se termine el petróleo, se estima que este valioso recurso llamado también "oro negro", se agotará en aproximadamente 50 años y es mentira que se va a dejar de utilizar sin terminarlo por completo, si es la materia prima de las multimillonarias empresas petroleras, además de ser uno de los mercados más extensos.

La contaminación de los motores diesel es peligrosa, la ausencia de normas al respecto o el no cumplimiento de las mismas, hace que los habitantes de las grandes ciudades respiren sustancias nocivas, con alto contenido de gases venenosos.

Se puede afirmar entonces que gran parte de los contaminantes de los gases de escape, inhalados en una fuerte dosis son muy nocivos para la salud. Algunos de ellos provocan enfermedades graves en el sistema respiratorio y en la piel, mientras que otros en ciertas condiciones, pueden provocar la muerte a corto o largo plazo.

El monóxido de carbono (CO) es un tóxico violento, los hidrocarburos no quemados o evaporados, los óxidos de nitrógeno y los dióxidos de azufre atacan las vías respiratorias. En cuanto a las partículas de carbono, las mismas podrían ser cancerígenas.

La contaminación de los motores es proporcional al estado del motor (bueno o malo) y a su tamaño, los motores terrestres de mayor rango son los motores de

## MOTORES DE RANGO PESADO MÁS EFICIENTES Y MENOS CONTAMINANTES

rango pesado o "Heavy Duty", por esa razón son motores de gran tamaño, y si están en mal estado pueden ser grandes fuentes de contaminación ambiental.

Por tal razón los Motores de Rango Pesado a través de los años han venido mejorando su desempeño con nuevas tecnologías que mejoran sus características de Consumo de Combustible y de Contaminación, además de ser más sencillos de operar, y con intervalos de mantenimiento más prolongados. La causa principal para haber logrado esto es la incorporación de la Electrónica, los sensores y actuadores en los motores que antes eran solamente Mecánicos para crear así, los motores modernos de ahora.

**INDICE**

Algunas aplicaciones de los Motores Diesel de Rango Pesado -----	1
¿Por qué diseñan para disminuir la contaminación de sus motores? -----	2
Gases que se obtienen de la combustión -----	3
Efectos de los gases contaminantes -----	4
Aspectos principales a tratar en esta presentación -----	5
Las Tecnologías que han contribuido con la eficiencia, la economía y la no contaminación tenemos -----	5
Módulo de Control Electrónico -----	6
Sistema Inyección Electrónica -----	8
Recirculación de los gases de Escape -----	12
Turbos de Geometría Fija -----	18
Turbos de Geometría Variable -----	18
Sistema de turbo-componentes -----	23
Sistema ACERT -----	25
Reducción del Goteo y Emisiones del Cárter -----	29
Filtro de Partículas Diesel (DPF) -----	31
Anexos -----	35

**Algunas aplicaciones de los Motores Diesel de Rango Pesado:**

➤ Transporte

○ Camiones



○ Buses



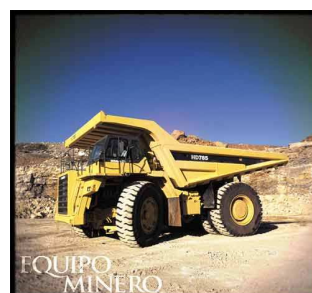
➤ Equipo Marítimo.



➤ Equipo Agrícola.



➤ Equipo Minero.



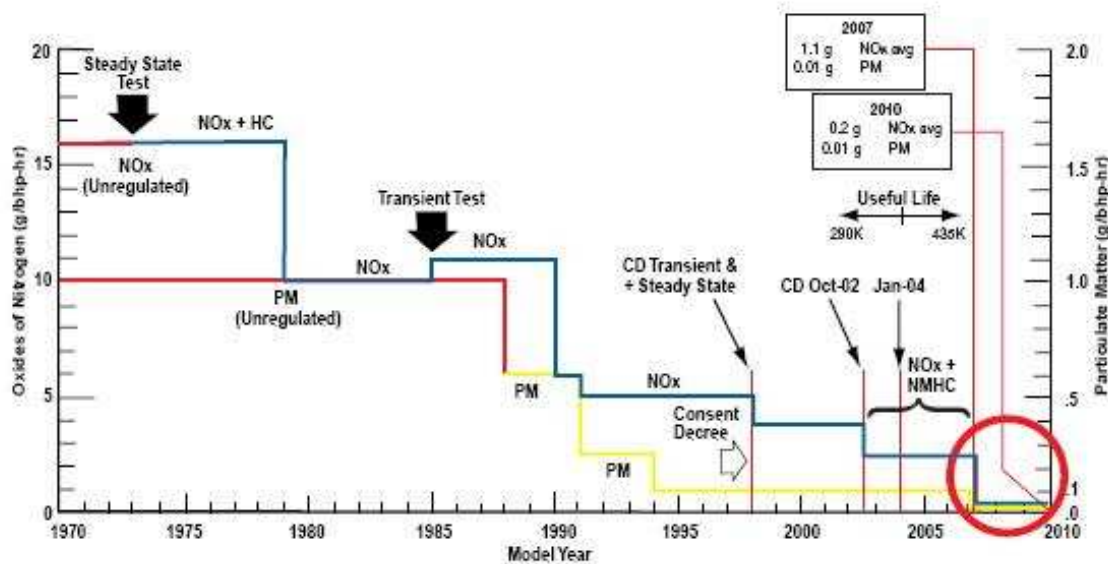
➤ Generación Eléctrica.



**¿Por qué todos los fabricantes americanos diseñan para disminuir la contaminación de sus motores?**

La EPA (Environmental Protection Agency) que es la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha regulado los motores diesel de servicio pesado “heavy duty” desde los años 70. Aunque los estándares de las emisiones llegan a ser cada vez más y más difíciles de satisfacer, la industria del motor diesel ha podido siempre continuar mejorando la durabilidad del motor, confiabilidad, funcionamiento, y economía de combustible. Una mirada rápida en el lado derecho inferior de la carta también demuestra que las emisiones de los motores diesel construidos en 2007 y más allá se acercarán a cero.

**EPA Heavy-Duty Engine Emission Standards**



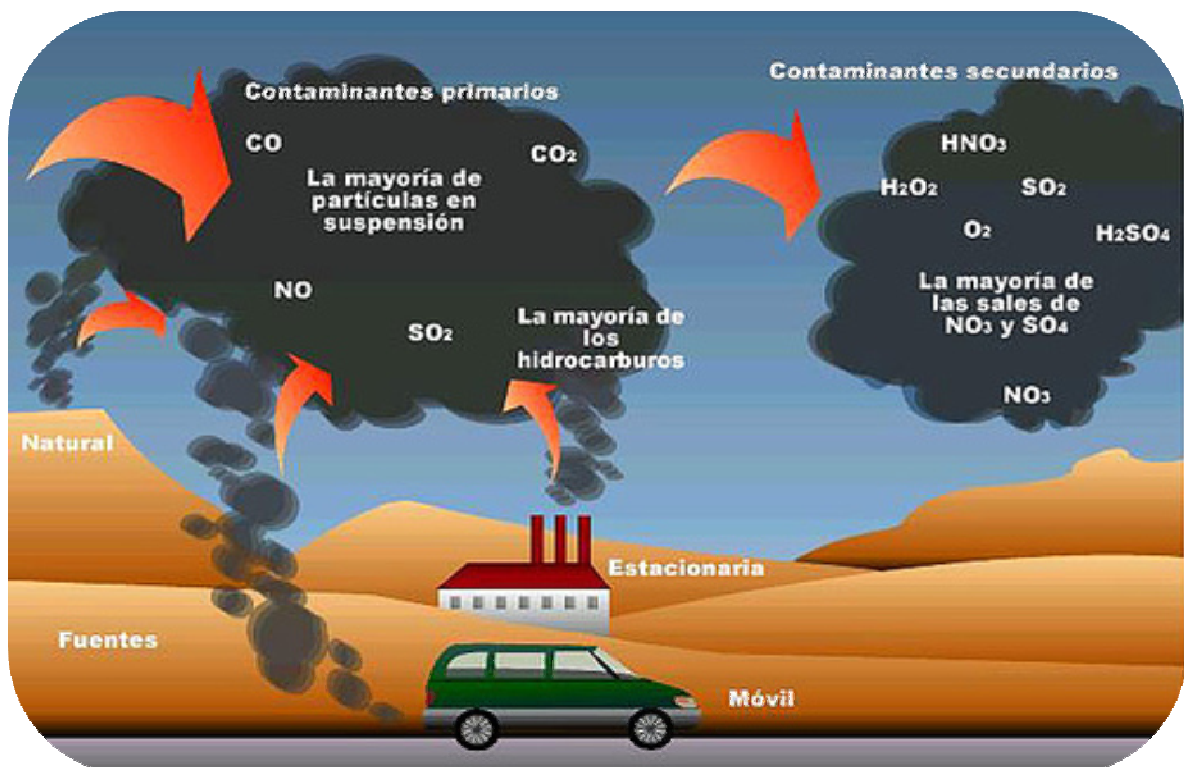
En 1998, un grupo de fabricantes de motores diesel para servicio pesado, firmaron un decreto de consentimiento con la EPA y el Departamento de Justicia de los Estados Unidos. En ese momento, los fabricantes de motores hicieron un compromiso para cumplir los estándares de Enero del 2004 de 2.5 gramos de NOx + NMHC en Octubre del 2002, como parte de una “provisión para tomar la delantera”. Los fabricantes de motores de servicio pesado



hicieron una inversión significativa en desarrollo de tecnología y de productos para cumplir a tiempo los requerimientos del decreto con la EPA, el cual se diseñó específicamente para establecer un campo de juego a nivel para todos los fabricantes de motores quienes firmaron el citado decreto de consentimiento de las necesidades que hay para resolver los problemas de contaminación ambiental a nivel mundial.

### ¿Cuáles son los gases que se obtienen de la combustión del diesel?

- Vapor de Agua (Steam of Water) → H<sub>2</sub>O
- Dióxido de carbono (carbon dioxide) → CO<sub>2</sub>
- Nitrógeno (Nitrogen) → N<sub>2</sub>
- Los Hidrocarburos (Hydrocarbons) → HC
- El monóxido de carbono (Carbon Monoxide) → CO.
- Partículas (Particulate Matter) → PM
- Óxidos de Nitrógeno (Oxides of Nitrogen) → NO<sub>x</sub>



Las tres primeras emisiones no son consideradas como contaminantes aunque el calentamiento global de la tierra se le atribuye en parte a las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).



### **Gases contaminantes de la combustión diesel y controlados por EPA**

- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Partículas (PM)
- Oxido de Nitrógeno (NOx)

### **Efectos de los gases contaminantes**

- **Monóxido de Carbono (CO):** El Monóxido de Carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido. No irrita - no hace toser- pero es muy venenoso. Se emite más monóxido de carbono al aire durante los meses del invierno. Esto se debe a que el combustible es consumido con menos eficacia a bajas temperaturas, en los países donde cae nieve el problema se incrementa aún más.
- **HidroCarburos (HC):** Principalmente residuos de combustible que no se quemaron dentro del motor. La ingestión de hidrocarburos puede afectar 3 sistemas orgánicos fundamentales: pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso.
  - a) Pulmón, los síntomas respiratorios son: tos, ahogo, y ronqueras. Síntomas respiratorios como tos persistente, cianosis, retracción intercostal, taquipnea. Generalmente se inician inmediatamente después de la ingesta de hidrocarburos.
  - b) Generalmente son irritantes de boca, faringe e intestino. Se han observado vómitos espontáneos hasta en el 40% de los pacientes. Muchos presentan nauseas, malestar intestinal, distensión abdominal, eructos y flatulencia.
  - c) SNC (sistema nervioso central), es inusual la aparición de síntomas como letargia, aturdimiento estupor y coma (conviene descartar en este caso la presencia de aditivos tóxicos como insecticidas o HC aromáticos,



o bien la posibilidad de una ingesta intencional de gran volumen, o bien la presencia de una neumonía por aspiración grave).

- **Partículas (PM):** Estas partículas conocidas también como hollín o carbonilla cuya presencia se puede notar en color negro del humo, son generadas por una incompleta combustión en el motor y pueden ser cancerígenas para los seres vivos.
  
- **Óxido de Nitrógeno (NOx):** Los óxidos de nitrógeno, además de influir en los niveles de ozono y la formación de la lluvia ácida, perjudican a la salud. Afectan especialmente al sistema respiratorio al dañar el tejido pulmonar, causando muertes prematuras.  
A corto plazo ya se notan los efectos, irritación en los ojos, nariz y garganta, infecciones respiratorias, ataques de asma, ataques del corazón, así como cambios peligrosos en el bombeo del corazón.

#### **Aspectos principales a tratar en esta presentación:**

- a) Eficiencia.
- b) Economía.
- c) Contaminación.

#### **Las Tecnologías más relevantes que han contribuido con la eficiencia, la economía y la no contaminación tenemos:**

- Módulo de Control Electrónico.
- Sistema Inyección Electrónica.
- Tecnologías del 2002 para Cummins, Detroit Diesel, Mack, Mercedes-Benz y Volvo.
  - Recirculación de los Gases de Escape.
  - Turbocargadores de Geometría Variable.
  - Reducción del Goteo y Emisiones del Cáster.
- Tecnologías del 2002 para Caterpillar
  - Sistema ACERT

- Tecnologías del 2007 para todos los fabricantes.
  - Filtro de Partículas Diesel.
  - Catalizador de Oxidación Diesel.

### **Desarrollo de cada componente.**

**Módulo de Control Electrónico (ECM – Electronic Control Module):** Recibe las señales eléctricas enviadas por los distintos sensores; de temperatura, de aire de admisión y del circuito de enfriamiento del motor; de la presión de sobrealimentación del turbo, de la velocidad del motor; de la posición o relación de la transmisión, de la posición del acelerador, coordinando todos los subsistemas y manejando los accesorios del motor controlando así los complejos procesos de combustión que generan la potencia de un motor para lograr una economía de combustible óptima.

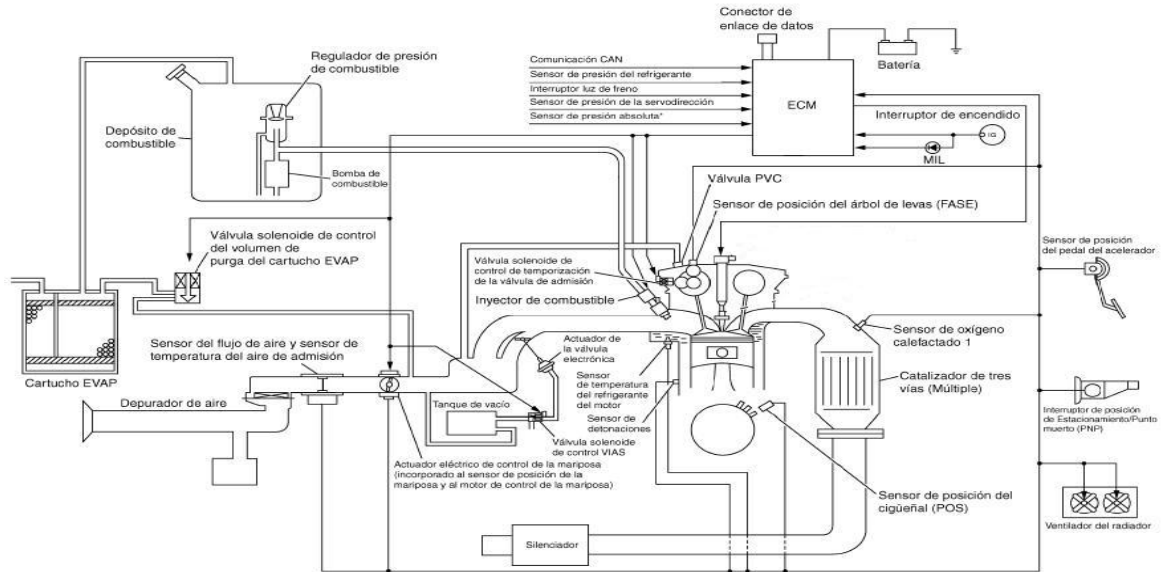
### **Las ventajas del control electrónico.**

- El funcionamiento se ajusta con precisión automáticamente para conseguir un rápido arranque, una rápida aceleración y un alto nivel de potencia.
- Hay potencia de reserva disponible para poder aceptar fácilmente cargas adicionales.
- La potencia completa está disponible en una gama de varios cientos de rpm.
- Mejora la economía de consumo.
- Se elimina prácticamente el humo.
- Las emisiones se reducen drásticamente.
- La velocidad del motor es uniforme, para que la aceleración y el desplazamiento sean más uniformes.
- La sincronización del motor se consigue sin necesidad de añadir un sistema mecánico.
- Facilita la localización de averías.
- Permite la administración de los datos del motor.
- Protege el motor.

El ECM recibe información aproximadamente veinte veces por segundo de todos los sensores del motor y la transmisión, transmite los datos para que el sistema los evalúe y envía las órdenes de control del motor. La sincronización de la inyección del combustible se optimiza en los arranques en frío para generar menos humo blanco, y el suministro de combustible a cualquier velocidad del motor se equilibra automáticamente. El resultado es un aumento de la eficacia del motor y una mejora de su rendimiento.

Los ingenieros electrónicos diseñan los sistemas de control incluyendo un módulo de control de motor electrónico, mazos de cables y sensores que pueden soportar las condiciones más difíciles. Los sistemas electrónicos se comprueban para que resistan temperaturas extremas, vibraciones, corrientes magnéticas, interferencias de radio y descargas electrostáticas. Todos los componentes están completamente sellados y comprobados a presión para resistir contaminantes.





**Sistema Inyección Electrónica:** Los motores electrónicos se controlan mediante la regulación del flujo de combustible a la cámara de combustión. El funcionamiento se ve afectado no sólo por la cantidad de combustible suministrado, sino también por la presión, la sincronización y la duración de cada ciclo de inyección.

Existen varias razones por las que los motores diesel modernos usan sistemas de combustible de inyección

electrónica en los que cada inyector contiene las piezas necesarias para presurizar combustible y controlar la inyección, en lugar de usar el viejo diseño de sistema de combustible de bomba, el conducto y el inyector. Pero las dos razones más importantes son que la inyección electrónica mejora la presión y la precisión del suministro de combustible.

Common-Rail Fuel System



En los sistemas de combustible de inyección electrónica la presión de inyección de combustible sigue generándose a través conexiones mecánicas con el árbol de levas. Pero la sincronización y la duración de la inyección del suministro de combustible se controlan con precisión mediante mensajes electrónicos enviados a los inyectores.

El diesel almacenado en el depósito de combustible a baja presión es aspirado por una bomba de transferencia y enviado a un conducto común a todos los inyectores. Una segunda bomba de alta presión inyecta el combustible al cilindro.

El conducto común es una tubería de la que parte una ramificación de tuberías para cada el inyector de cada cilindro.



La principal ventaja de este sistema es que la presión con que trabaja es casi independiente de la velocidad del motor y de su carga; es decir, aunque no se acelere a fondo y el motor gire despacio, es posible inyectar el diesel a una presión muy alta y casi constante durante todo el proceso de inyección. Para personas con experiencia y nociones de este tema, este sistema es similar a un sistema muy conocido, el sistema de los motores Cummins mecánicos , donde el inyector aprovecha la presión que levanta la bomba inyectora y además la

incrementa con la ayuda del árbol de levas, el inyector es llamado bomba-inyector.

La óptima atomización o pulverización del combustible por parte de los inyectores electrónicos, controlados por una central de inyección electrónica, y la alta presión a la que trabaja el sistema hacen que se aumente potencia en todo el rango de revoluciones, se reduzca el consumo de combustible y se disminuya la cantidad de emisiones contaminantes, en especial de los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos sin quemar.

**A continuación presento un cuadro de tecnologías utilizadas por cada fabricante de motores de rango pesado.**

Feature	Cat C13	Cat C15	Cummins ISM	Cummins ISX
Emissions Technology	ACERT	ACERT	Cooled EGR	Cooled EGR
Displacement	763 cu. in. (12.5L)	928 cu. in. (15.2L)	661 cu. in. (10.8L)	912 cu. in. (14.9L)
Configuration	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder
Weight	2270 lbs.	2890 lbs.	2200 lbs.	2940 lbs.
Bore x Stroke	5.12" x 6.18"	5.4" x 6.75"	4.82" x 5.79"	4.99" x 4.68"
Horsepower and Torque Range	335 hp - 1450 lb-ft to 470 hp - 1750 lb-ft	435 hp - 1550 lb-ft to 625 hp - 2050 lb-ft	280 hp - 1150 lb-ft to 425 hp - 1550 lb-ft	385 hp - 1450 lb-ft to 565 hp - 1850 lb-ft
RV and Emergency Vehicle Peak hp and Torque Rating	525 hp - 1650 lb-ft	625 hp - 2050 lb-ft	500 hp - 1550 lb-ft	525 hp - 1650 lb-ft
Peak Torque RPM	1200	1200	1200	1200
Compression/Exhaust Brake	Cat Compression Brake	Cat Compression Brake	Compression brake	Compression brake
Maintenance Intervals	30,000 miles	30,000 miles	25,000 miles	25,000 miles
Sump Capacity	42 quarts (39.7L)	40 quarts (37.9L)	41 quarts (38.8L)	54 quarts (51.1L)
Overhaul	B50 = 1,000,000 miles	B50 = 1,000,000 miles	B50 = 750,000 miles	B50 = 1,000,000 miles
Fuel System Description	MEUI	MEUI	EUI	EUI
Emissions Level	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC

Feature	Detroit Diesel Series 60 (12.7L)	Detroit Diesel Series 60 (14L)	Mack E7 ASET	Mercedes-Benz MBE 4000	Volvo VED12
Emissions Technology	Cooled EGR	Cooled EGR	Cooled EGR	Cooled EGR	Cooled EGR
Displacement	778 cu. in. (12.7L)	858 cu. in. (14.0L)	728 cu. in. (12.0L)	781 cu. in. (12.8L)	740 cu. in. (12.1L)
Configuration	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder	In-line 6 cylinder
Weight	2585 lbs.	2640 lbs.	2350 lbs.	2070 lbs.	2477 lbs.
Bore x Stroke	5.12" x 6.30"	5.24" x 6.62"	4.875" x 6.5"	5.03" x 6.53"	5.16" x 5.90"
Horsepower and Torque Range	380 hp - 1350 lb-ft to 455 hp - 1550 lb-ft	455 hp - 1550 lb-ft to 515 hp - 1650 lb-ft	310 hp - 1360 lb-ft to 460 hp - 1660 lb-ft	350 hp - 1350 lb-ft to 450 hp - 1550 lb-ft	365 hp - 1350 lb-ft to 465 hp - 1650 lb-ft
RV and Emergency Vehicle Peak hp and Torque Rating	455 hp - 1550 lb-ft	515 hp - 1650 lb-ft	460 hp - 1660 lb-ft	450 hp - 1550 lb-ft	465 hp - 1650 lb-ft
Peak Torque RPM	1200	1200	1200 & 1100	1200	1200
Compression/Exhaust Brake	Compression brake	Compression brake	Compression brake	Compression brake	Compression brake
Maintenance Intervals	15,000 miles	15,000 miles	10,000 miles	25,000 miles	15,000 miles
Sump Capacity	39 quarts (36.9L)	39 quarts (36.9L)	40 quarts (37.9L)	44 quarts (41.6L)	34 quarts (33L)
Overhaul	B50 = 850,000 miles	B50 = 850,000 miles	B50 = 1,000,000 miles	B50 = 850,000 miles	B50 = 1,000,000 miles
Fuel System Description	EUI	EUI	Electronic Unit Pumps	EUI	EUI
Emissions Level	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC	2004 Compliant at 2.5g NOx + HC



**Tecnologías del 2002 en Motores Cummins, Detroit Diesel, Mack, Mercedes-Benz y Volvo**

**Recirculación de los Gases de Escape y Turbocargadores de Geometría Variable, mejor conocida como tecnología EGR/VGT.**

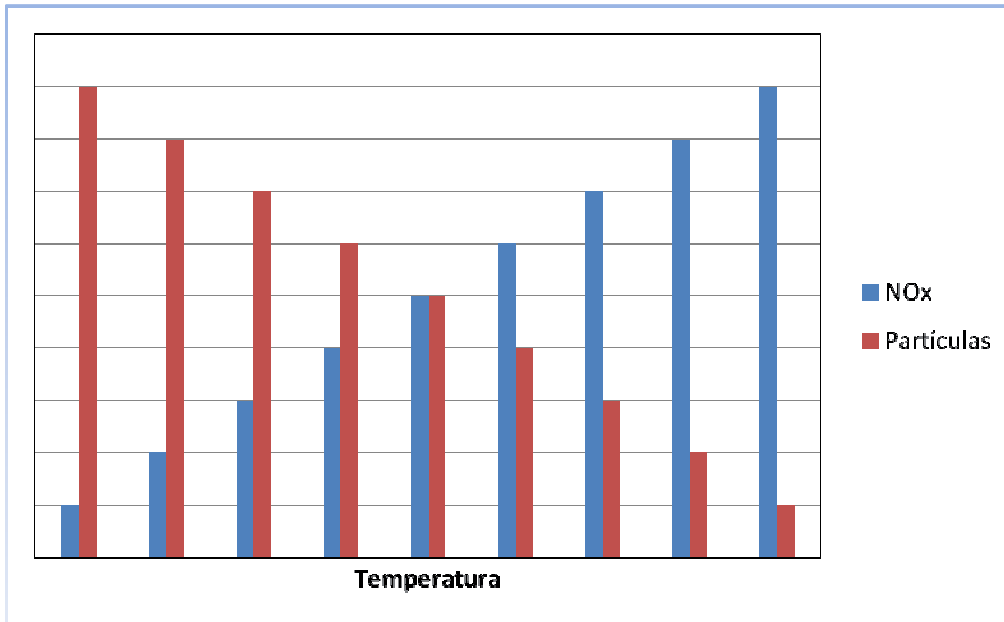
*Recirculación de los Gases de Escape.*

Como todo diseñador diesel se lo dirá, es difícil conseguir estar libre de partículas (humo visible), e igualmente difícil conseguir estar libre de óxidos de nitrógeno, o NOx. Conseguir estar libre de ambos al mismo tiempo es *realmente* difícil. La solución al problema que esto crea es hacer un trueque NOx/partículas.

En un motor diesel, las partículas ocurren debido al quemado incompleto del combustible, entonces, elevando la temperatura pico del cilindro ayuda a resolver este problema.

Por otra parte, las emisiones de NOx ocurren debido a la alta temperatura del cilindro. La solución a los NOx sería bajar la temperatura del cilindro, pero combatir el NOx tiende a elevar las partículas.

Adelantar la inyección de combustible crea temperaturas más altas y quema las partículas, mientras que retrasar la inyección de combustible reduce las temperaturas y el NOx, pero tiende a hacer más partículas, por tal razón es necesario crear el trueque.

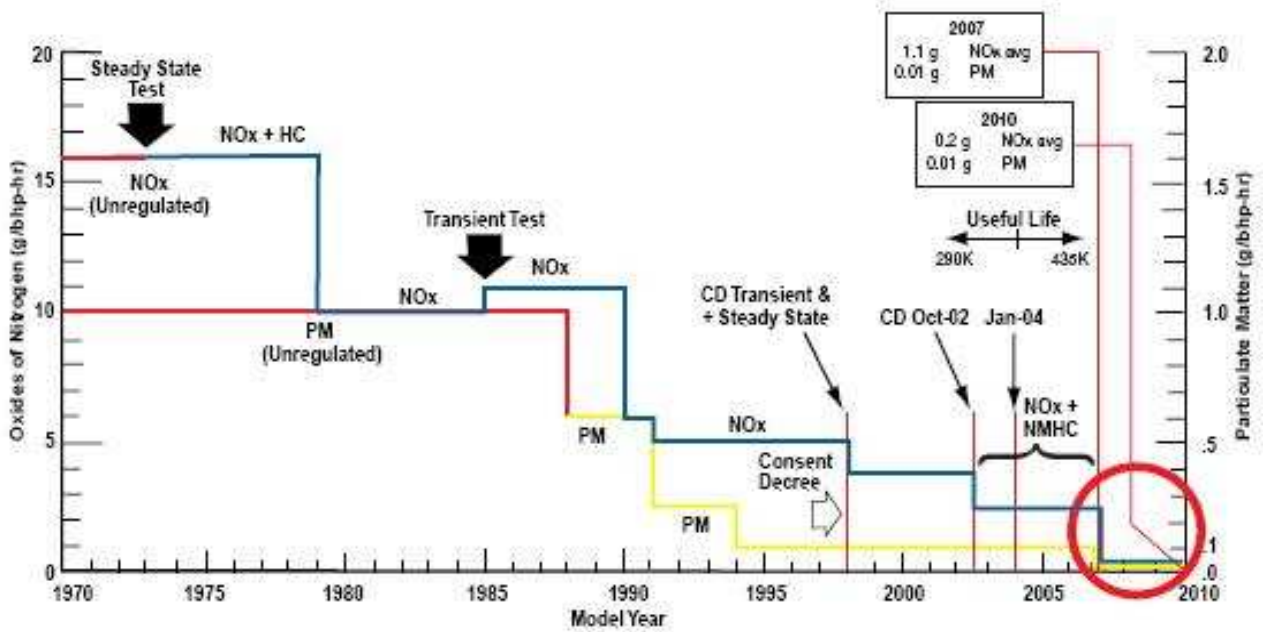


En el gráfico anterior vemos como las Partículas (humo negro) que están en color rojo disminuyen al incrementar la temperatura, pero al mismo tiempo los óxidos de nitrógeno NOx se incrementan.

En 1994, los motores a diesel de rango pesado eran tan limpios que usted difícilmente podía ver el humo. Eso ocurrió conforme las partículas alcanzaban su nivel actual de 0.1 gramo por hp-hora. El NOx en ese punto estaba en 5 gramos por hp-hora, menos de la mitad del nivel de 1988.

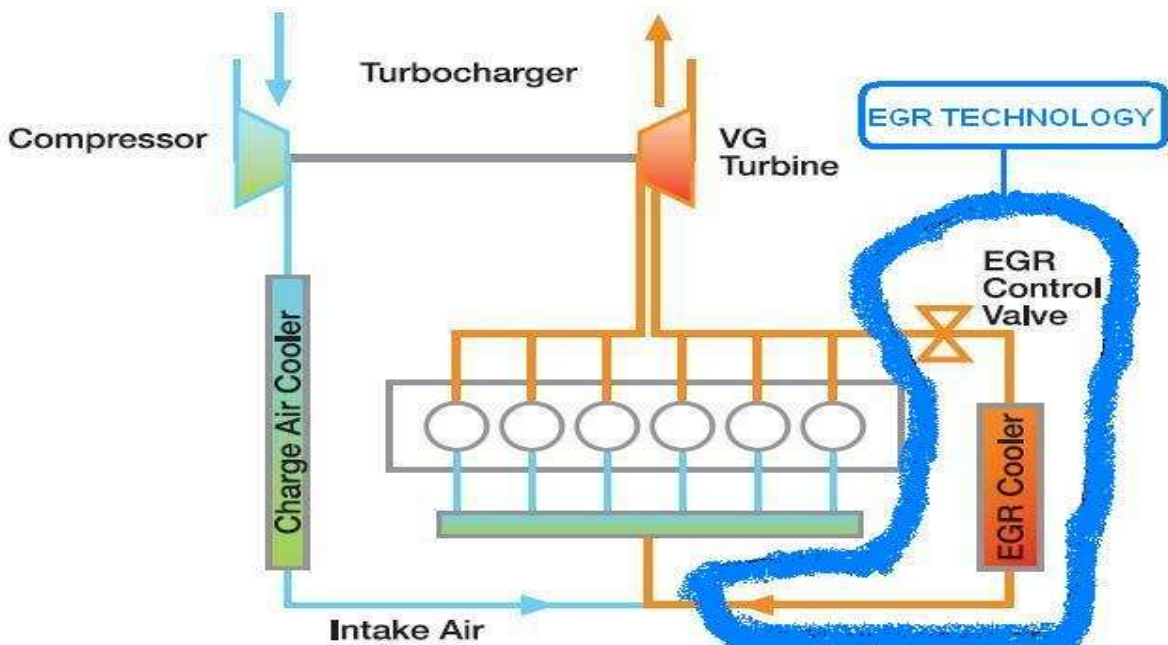
En 1998, se le exigió a la industria que bajara nuevamente el NOx, esta vez a 4 gramos, manteniendo las partículas en el nivel de 1994 de 0.1 gramo. A partir del 2002, con las partículas aún en un sexto del nivel comparado con 1988, el NOx debe bajar a sólo 2 gramos.

## EPA Heavy-Duty Engine Emission Standards



Una tecnología exitosa para conseguir estar libre de NOx es la recirculación del gas de escape (EGR – Exhaust Gas Recirculation). Cuando un motor usa EGR, algunos de sus gases de escape son forzados de vuelta hacia la admisión con el aire fresco que está absorbiendo el motor.

### Cooled-EGR Schematic



El propósito de EGR es bajar la temperatura pico de la flama dentro de la cámara de combustión.

EGR trabaja con el siguiente objetivo.

Forzar algo de escape de vuelta

dentro del cilindro por lo que se reduce ligeramente la concentración de oxígeno. Eso retarda la combustión un poco, haciendo las cosas un poco más frías. Pero, los gases de escape tienen otra cualidad y es que toma una gran cantidad de energía calentarlo.

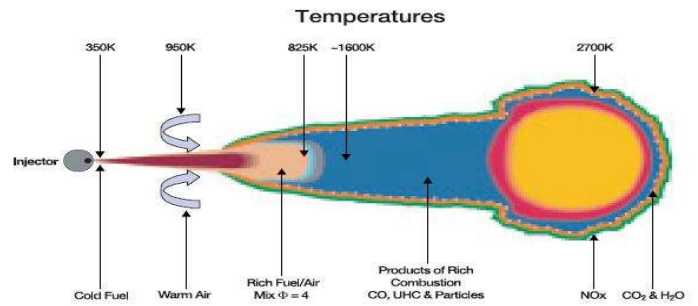
Así que si usted agrega a un poco de escape, la temperatura pico del cilindro cae bastante, incluso si usted quema la misma cantidad de combustible. Eso aniquila al NOx.

EGR trabaja bien en vehículos propulsados por gas porque el

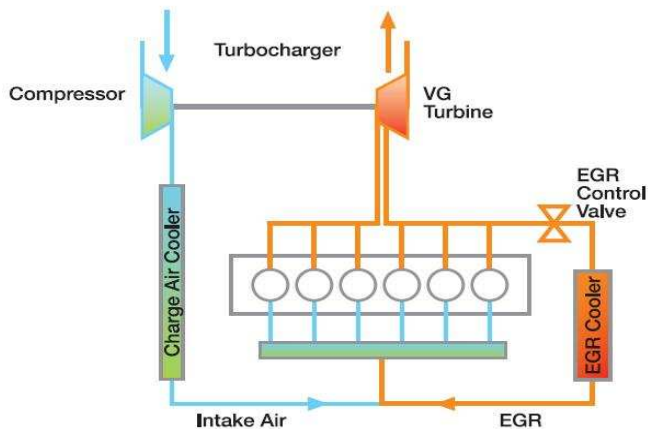
combustible y el aire se mezclan bien dentro del cilindro, lo cual deja pocas partículas, pero en los motores a diesel, el combustible tiene problemas para encontrar suficiente aire cuando choca primero contra el cilindro, y esto crea partículas. La concentración reducida de oxígeno producida por EGR hace incluso peor el problema de las partículas. Así que es mejor minimizar la cantidad de EGR necesaria.

Esto condujo a los ingenieros en la mayoría de fabricantes de motores a diesel para camiones, a probar algo no hecho en los motores: enfriar el gas de escape antes de ponerlo de vuelta dentro del cilindro.

Characteristics of Diesel Combustion



Cooled-EGR Schematic



El escape sale del turbo a temperaturas de 538°C o más. Pero, si el escape que se recirculará está más frío, esto reduciría las temperaturas pico incluso más y minimizaría la cantidad necesaria de escape recirculado.

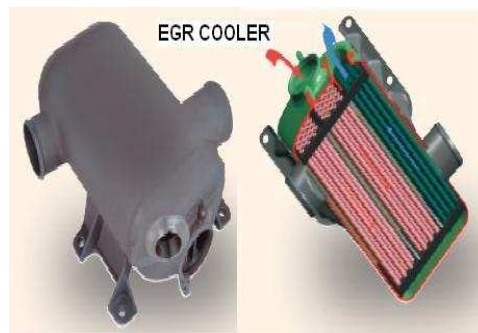
A todo esto surge una gran pregunta ¿Cómo será enviado el escape de vuelta hacia la admisión y como será enfriado?

Sería fácil sólo purgar gas de escape del múltiple de escape, el cual opera a alta presión debido al turbo y reducirlo dentro del sistema de admisión justo después del filtro de aire. Iría luego hacia el compresor del turbo, a través del postenfriador y terminaría en el motor, pero este método atenta contra la efectividad del “cooler” del motor. (Ver figura de EGR Technology).

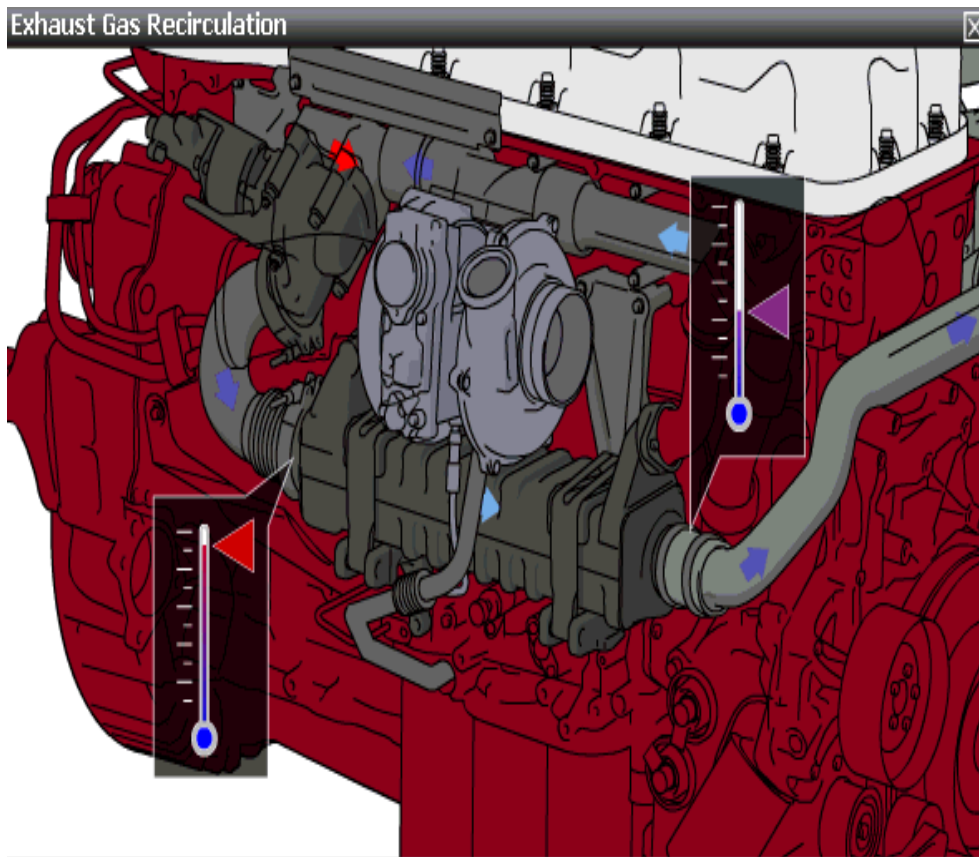
El escape contiene ácido sulfúrico y otros ácidos debido al azufre en el combustible diesel y a la combustión incompleta. Los ácidos no causan problema si permanecen vaporizados, pero si ellos se enfrían, licúan y condensan sobre partes metálicas del motor, resultan rápidamente problemas de corrosión.

El postenfriador aire-aire haría descender tanto la temperatura de ese escape recirculado que los ácidos atacarían al motor.

El medio de enfriamiento ideal resulta el líquido refrigerante del motor el cual disminuirá la temperatura de los gases de escape. Así que los ingenieros han diseñado enfriadores que usan camisa de enfriamiento y reducen la temperatura de escape a sólo aproximadamente 121°C porque el refrigerante del motor es mantenido caliente por el termostato del sistema de enfriamiento. De modo que el sistema EGR del diesel para camión pesado tendrá un intercambiador de calor que lleva calor del gas de escape muy caliente al refrigerante caliente del motor, para evitar sobreenfriar el escape



recirculado. El intercambiador de calor estará hecho de acero inoxidable de modo que el escape potencialmente corrosivo no lo corroerá. Esto significa que el sistema de enfriamiento del motor en especial el radiador tendrá más calor para disipar (al menos 25% más aproximadamente) debido a que enfría el block y enfriará también los gases de escape que serán reintroducidos en el motor.



Un turbo eficiente genera presión (aire fresco que entra al motor comprimido por el turbo) en el múltiple de admisión que está muy por arriba de la presión en el múltiple de escape. El escape necesita ser forzado dentro del múltiple de admisión altamente presurizado. La respuesta para usuarios de EGR probó ser una tecnología llamada Turbocargador de Geometría Variable (VGT – Variable Geometry Turbocharger).

Pero la pregunta es: ¿Qué es un turbocargador de geometría variable?

Primero explicaremos como funciona un turbo sencillo.



### **Turbocargadores.**

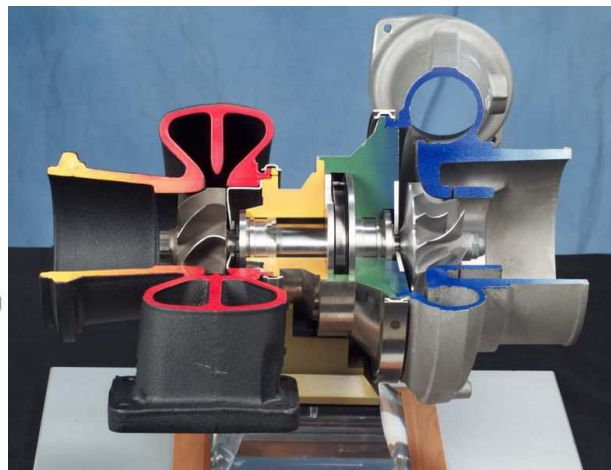
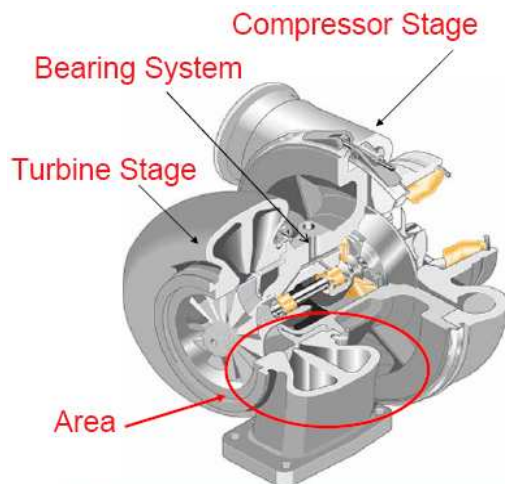
Los turbocargadores consisten en una turbina movida por los gases de escape conectada con un compresor radial, proporcionando un suministro de aire comprimido al motor.

**Según la geometría existen dos tipos de turbos.**

- a) Turbos de Geometría Fija.
- b) Turbos de Geometría Variable (VGT).

### **Turbos de Geometría Fija.**

A una velocidad del motor dada, la velocidad de turbo puede ser cambiada solamente cambiando la tasa de combustible inyectado al motor. Es decir a una tasa de inyección de combustible fija, la presión del turbo también está fijada. Si se inyecta más combustible, más poderosa será la explosión de la combustión del cilindro y con más presión saldrán los gases del escape, si aumenta la presión aumenta la velocidad de la turbina del turbo y aumenta la presión del aire comprimido.



### **Turbos de Geometría Variable.**

Todos los turbos tienen una boquilla que reduce los gases que salen del múltiple de escape y usa esa restricción para crear un flujo de alta velocidad.



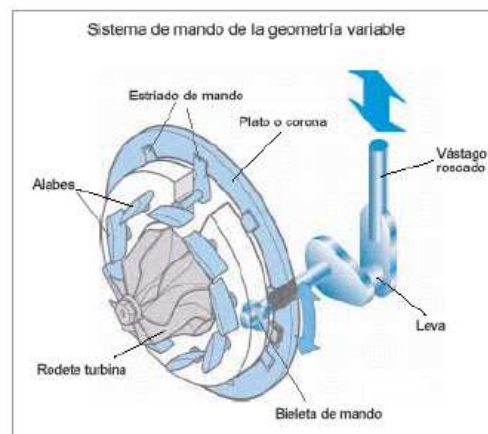
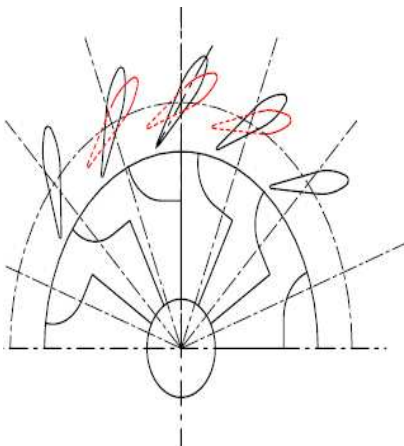
Esos gases moviéndose rápido chocan con las aspas de la turbina del turbo y lo hacen girar. El tamaño de esa boquilla es un gran factor para hacer corresponder el tamaño del turbo con el motor.

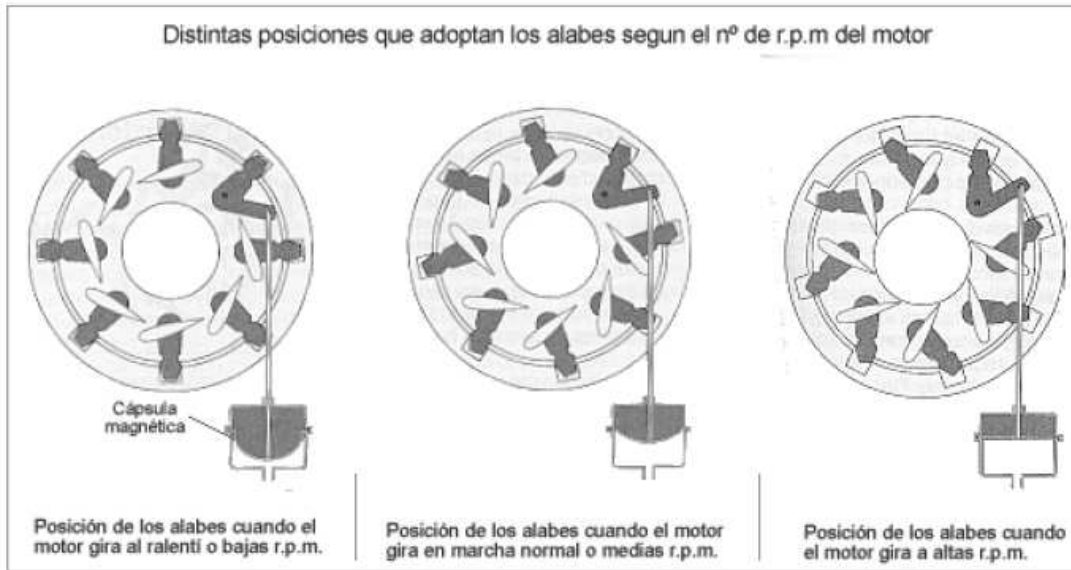
Variando el área crítica por donde van los gases de escape hacia la turbina, el gas de escape puede ahora variar la velocidad del turbo, alzar la presión del aire comprimido y la presión del múltiple de escape, independiente de la velocidad y de la carga del motor.

Un turbo de geometría variable permite variar el tamaño de la boquilla de modo que la correspondencia del turbo pueda cambiarse por el módulo de control electrónico (ECM) del motor.

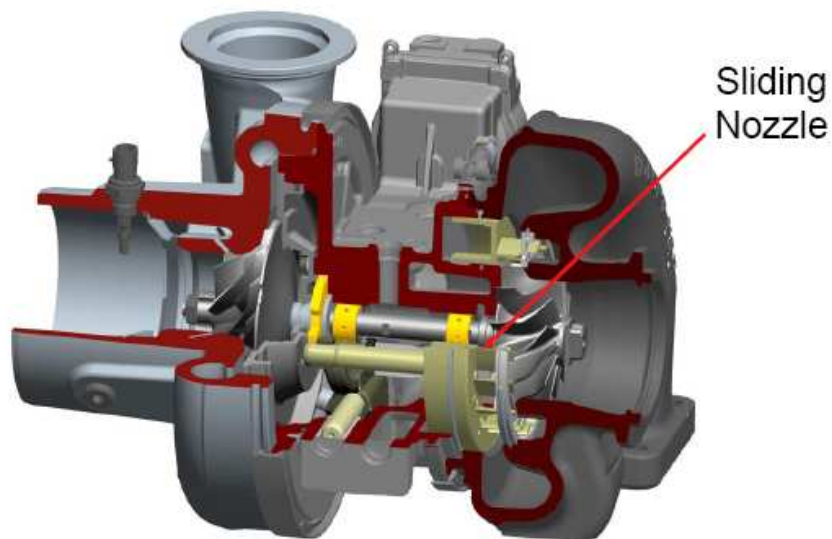
### **Hay dos tipos de boquillas variables.**

1. **Swing Vane o Alabes Movibles:** La boquilla consiste de álabes giratorios arreglados en un círculo. Los álabes están unidos junto con un mecanismo giratorio, y giran uniformemente para formar aberturas más anchas o más angostas dependiendo del ángulo de los álabes conforme el ECM del motor ordene cambios en el tamaño de la boquilla de escape.



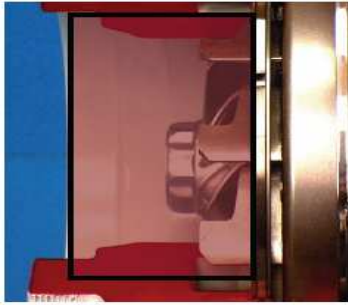


2. **Sliding Nozzle o Anillo Deslizante:** Los gases del escape pasan a través de un pasaje en forma de anillo en el camino a la turbina impulsora del turbocargador y un collarín deslizante permite variar el ancho de ese pasaje según sea necesario por órdenes del ECM.



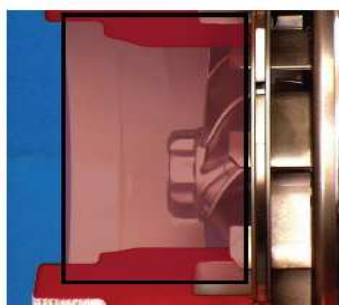
**Nozzle ring fully closed**

- **Min.** turbine volute exit area
- **Max.** exhaust manifold pressure
- **Max.** shaft speed
- **Max.** turbo boost



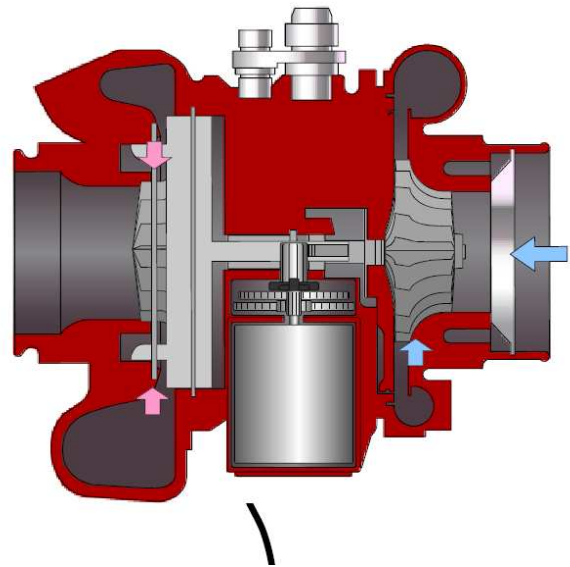
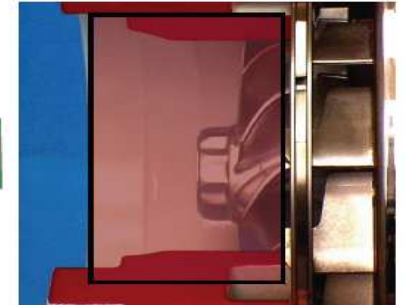
**Nozzle ring in mid position**

- Reducing turbine volute exit area
- Increasing exhaust manifold pressure
- Increasing shaft speed
- Increasing turbo boost



**Nozzle ring fully open**

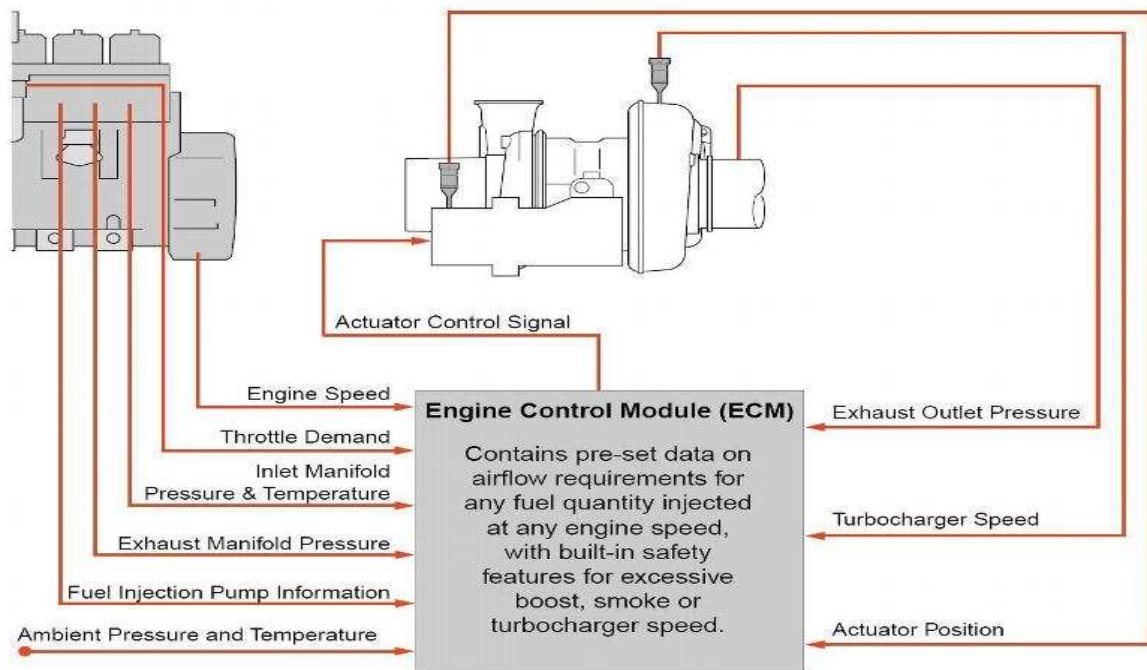
- **Max.** turbine volute exit area
- **Min.** exhaust manifold pressure
- **Min.** shaft speed
- **Min.** turbo boost



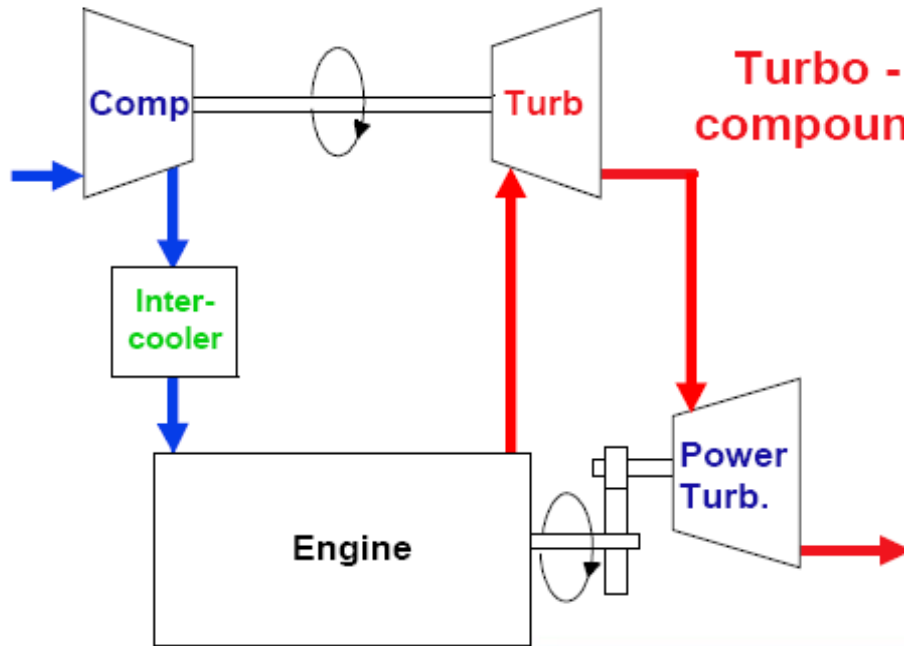
**Beneficios del Turbocargador de Geometría Variable**

- Modula el Flujo de EGR.
- Reduce las emisiones.
- Alta densidad de energía para el motor.
- Incrementa el rango de velocidad del motor.
- Incrementa el torque a baja velocidad del motor.
- Mejora la respuesta del Motor.
- Mejora el frenado del motor.

Este gráfico muestra las señales que envía el turbo VGT al ECM par que el ECM tome decisiones y envíe señales de control de posición al VGT.

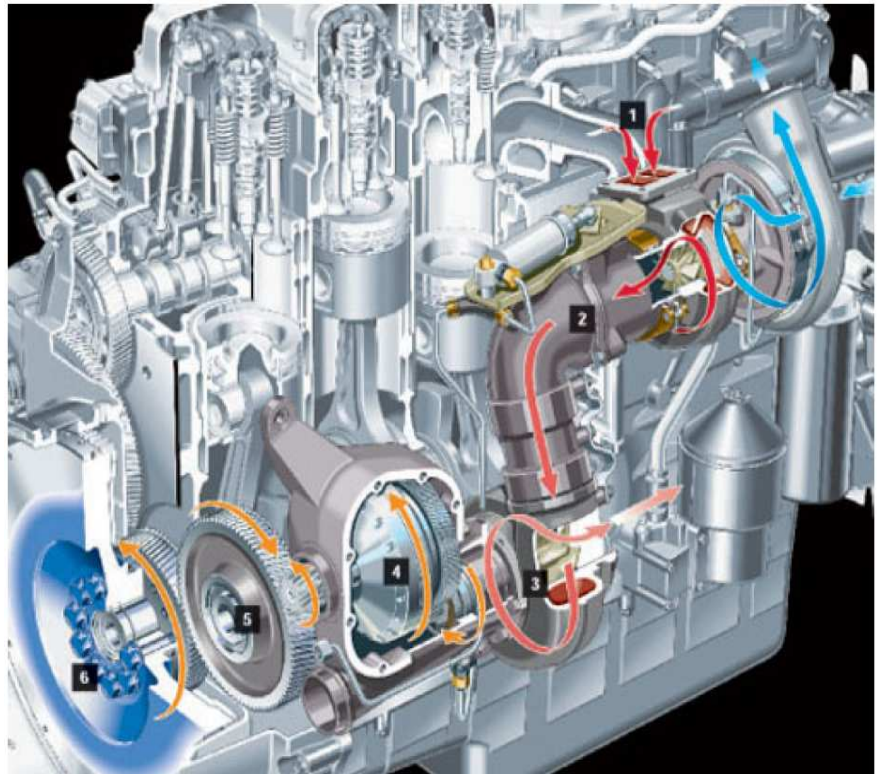


**Sistema de turbo-componentes (Utilizado por Scania)**



**Esquema de un sistema con turbo componentes**

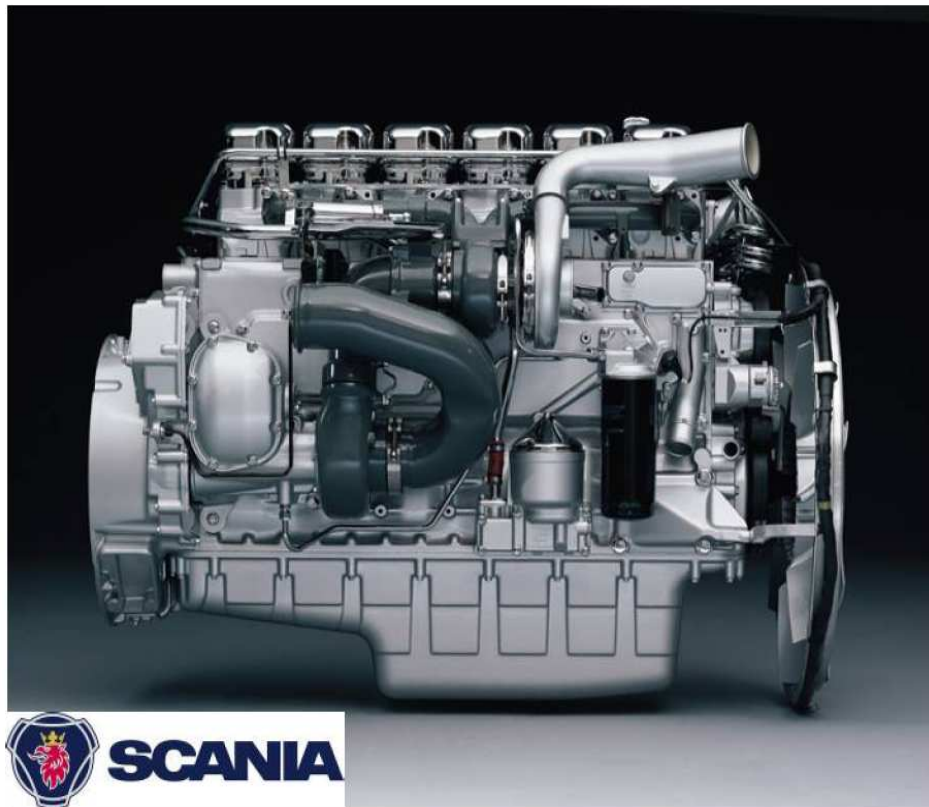
El sistema de turbo-componentes es relativamente nuevo para la aplicación de los camiones de diesel, pero en realidad el concepto viene de algún tiempo atrás. El concepto fue usado por primera vez a finales de la década de 1940 y 1950 en donde se utilizaron para dos motores de aviones, pero la promesa de su bajo consumo de combustible se vio pronto obsoleta con la aparición de la turbina de gas y los motores de propulsión a chorro.





¿Qué es turbo-componentes? En el caso de los motores diesel automotrices, se trata de colocar una turbina de potencia aguas abajo del turbo-cargador. La turbina de potencia genera más trabajo, reutilizando los gases de escape provenientes del turbo-cargador original. La potencia generada por la turbina, es llevada de vuelta al cigüeñal del motor por medio de un sistema sofisticado de transmisión. Este sistema se diferencia de un turbo-cargador ordinario porque no tiene un compresor ni una rueda de compresión. En lugar de esto, utiliza un engrane conectado al eje de la turbina.

¿Cuáles son sus ventajas? Su principal ventaja, es que aprovecha energía que anteriormente se desperdiciaba, incrementando la eficiencia térmica del motor (de 42% a 46%). En pocas palabras, se extrae más energía del combustible consumido. Esto crea un motor más poderoso y provee una mayor eficiencia.



**Sistema ACERT Utilizado por Caterpillar, Caterpillar es el único fabricante que no utiliza EGR/VGT.**

Para empezar ACERT significa:

A Advance

C Combustion

E Emissions

R Reduction

T Technology

Que es: Tecnología Avanzada para Reducción de Emisiones de la Combustión.

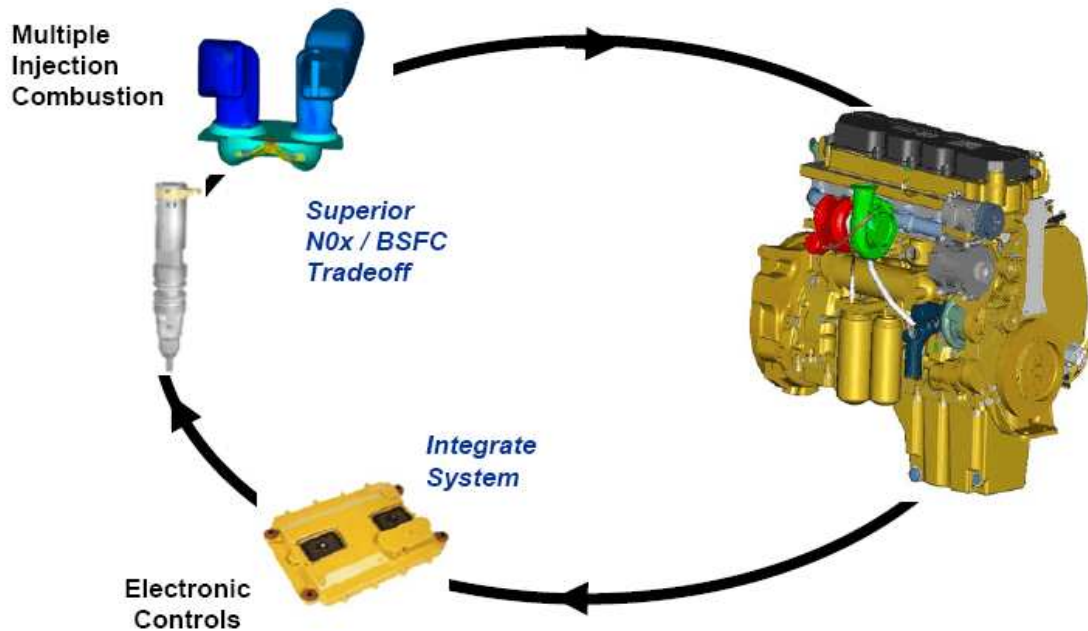
Componentes del sistema ACERT: Turbo, ECM, Inyectores. Los motores con tecnología ACERT no usan VGT, por tanto usan dos turbos en serie donde uno actúa a altas RPM y el otro a bajas RPM, en cambio el sistema VGT usa un solo turbo y actúa a baja, media y altas RPM del motor.



El objetivo de ACERT es lograr un Control preciso del ciclo de combustión utilizando los sistemas de suministro del combustible, manejo del aire y los sistemas electrónicos del motor.



ACERT maneja la combustión utilizando una combinación de manejo del aire, inyección múltiple, y puesta a punto cuidadoso para bajar la formación de NOx

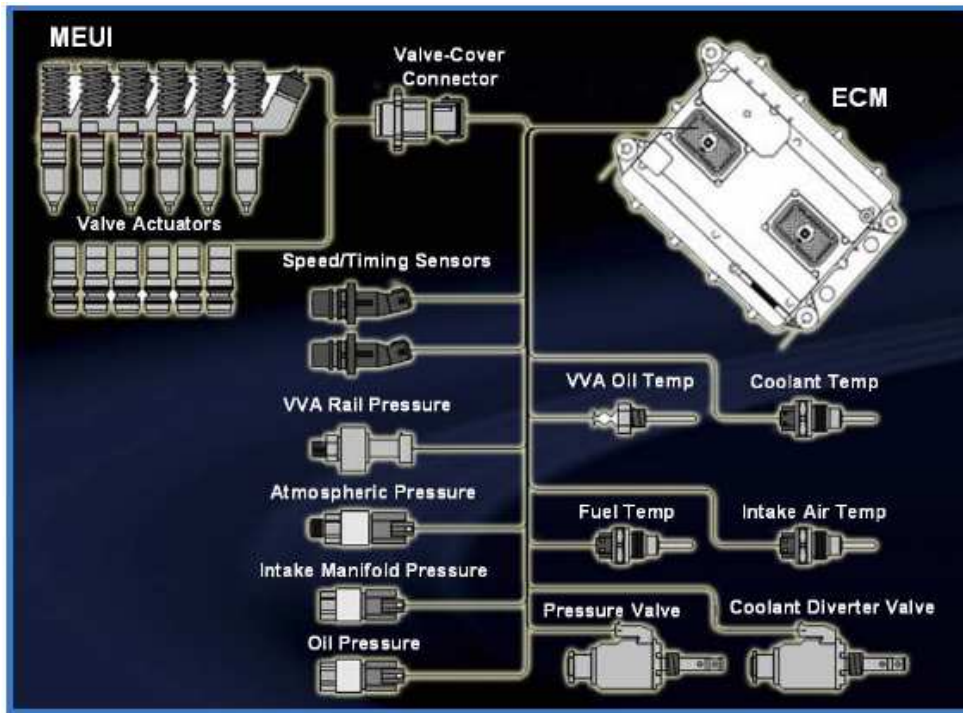


El manejo de aire lo logran con los dos turbos en serie, la inyección múltiple y la puesta en punto de la inyección se logra con los inyectores y el Módulo de Control Electrónico.

La inyección múltiple consiste en hacer pequeñas inyecciones de diesel mientras el pistón va subiendo en su tiempo de compresión, estas inyecciones aumentan la temperatura del motor y precalientan la cámara de combustión para cuando llega la verdadera inyección que comenzará la carrera de combustión del pistón, esto provoca un quemado casi completo del diesel y elimina las partículas a la vez que mantiene la temperatura apropiada para controlar los NOx.

Pero, esto provoca un mayor consumo de combustible, debido a la múltiple inyección, en cambio EGR/VGT no provoca mayor consumo debido a que usan los gases de escape para controlar la temperatura del cilindro.

**Diagrama de componentes del sistema ACERT**



**Inyectores que utiliza ACERT para la Múltiple Inyección**

MEUI – Mechanic Electronic Unit Injector

Unidad Inyector Mecánico Electrónico

HEUI – Hydraulic Electronic Unit Injector

Unidad Inyector Hidráulico Electrónico

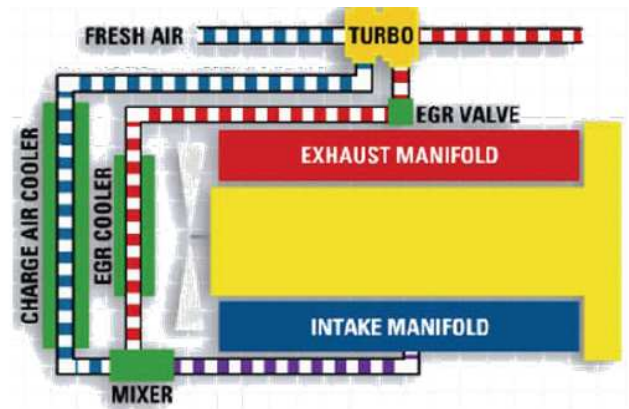
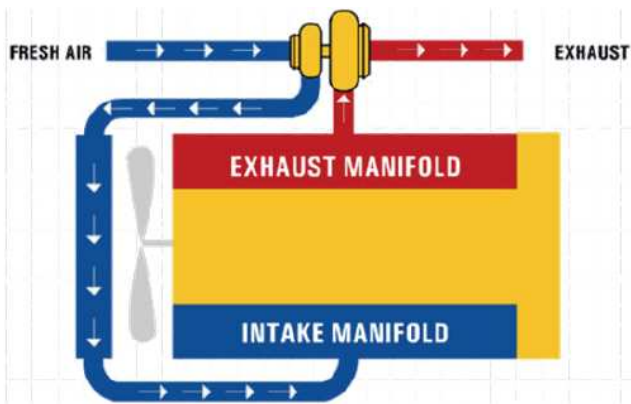
Ambos inyectores provocan la múltiple inyección y son controlados por el ECM, pero la diferencia entre estos inyectores radica en el hecho que el inyector mecánico actúa con la ayuda del eje de levas y el hidráulico actúa con la ayuda de una presión hidráulica proveniente de una bomba.

En el inyector mecánico el ECM no se tiene control del eje de levas, pero en el inyector hidráulico el ECM controla la apertura de una electroválvula hidráulica que manda un pulso de presión al inyector la cual reemplaza la función del eje de levas y hace que el ECM tenga aún más control en los tiempos de la Inyección.

Capacidad de los Inyectores.

- Múltiple Inyección
- Variación del tiempo de inyección y la cantidad de Combustible.

### Breve Comparación



C-15

ACERT (Recuerde son 2 Turbos)



EGR/VGT

Nota: Los motores mostrados son Caterpillar C15 y Cummins ISX

### **Reducción del Goteo y Emisiones del Cárter.**

Sistema de Ventilación del Cárter es un innovador producto usado para controlar el goteo de aceite y las emisiones del cárter en aplicaciones para motores Diesel.

¿Que son las emisiones del Cárter?

Las emisiones del cárter, comúnmente referidas como el alivio del motor, es el resultado de la alta presión de los gases y el escape de aceite alrededor de los anillos del pistón, y respirado a la atmósfera. El alivio comúnmente ocurre en todas las aplicaciones de motores a Diesel.



El alivio son gases aceitosos compuestos de aerosol y partículas de aceite. Estos gases aceitosos atraen polvo y otras partículas en el aire resultando en la acumulación de contaminantes sobre la superficie y parte baja del motor. Esta condición requiere el incrementar la limpieza en los compartimentos del motor y últimamente en altos costos de mantenimiento del este, además, esto resulta en evidencias claras de; aceite en asfaltos de carreteras, avenidas, estacionamientos, pisos del garaje y caminos.

¿Cómo es que el Sistema Enviroguard OCV trabaja?

El alivio de gases son tomados directamente del motor al ensamble del Enviroguard™. El ensamble esta compuesto por una entrada y dos salidas y un solo medio filtrante. La entra de gases y aceite mezclado pasa directamente por el medio filtrante. Las partículas más pesadas de aceite y aerosol son capturadas y separadas por un material de tipo coalescente. Las partículas capturadas son regresadas al cárter y los gases filtrados son enviados a la atmósfera, tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

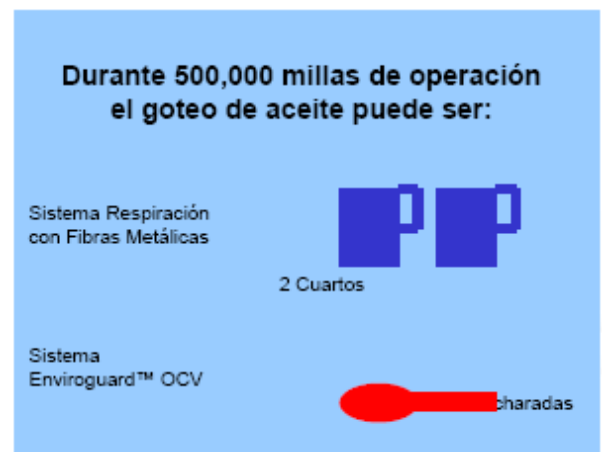


Este Sistema de Ventilación del Cárter no requiere servicio y está diseñado para trabajar hasta el final de la vida útil del motor. Esto tiene la intención de no tener costos de servicios intermedios para proveer un máximo de vida útil.

El sistema está disponible para todas las principales aplicaciones de motores a diesel de 60 a 640 HP. Todos los sistemas incluyen respirador, mangueras de instalación y conexiones, y un completo instructivo de instalación.

### **Beneficios**

- Operaciones Diesel Limpias.
- No tiene efectos en el desempeño del motor.
- Costo efectivo en solución para direccionar las emisiones del cárter.
- Control del goteo de aceite.
- Reducción del Consumo de Aceite
- Filtración Superior en Aerosoles
- Menor Mantenimiento al Motor por Residuos de Aceite.
- Reducción por Costos de Mantenimiento.
- No Requiere Servicio.
- Costo Efectivo en Diseño e Instalación
- Vida del Sistema = Vida del Motor





## **Tecnología del 2007 para todos los Motores de Equipo Pesado**

Esta tecnología recibe el nombre de Aftertreatment o Tratamiento Posterior y está formada por el Filtro de Partículas Diesel y el Catalizador de Óxidos Diesel, los cuales están juntos dentro de un recinto que a la vez va a reemplazar el silenciador convencional usado en estos motores.

### **Filtro de Partículas Diesel (DPF).**

El Filtro de partículas diesel (DPF) atrapa las partículas de hollín y las cenizas del material que salen por el tubo de escape.

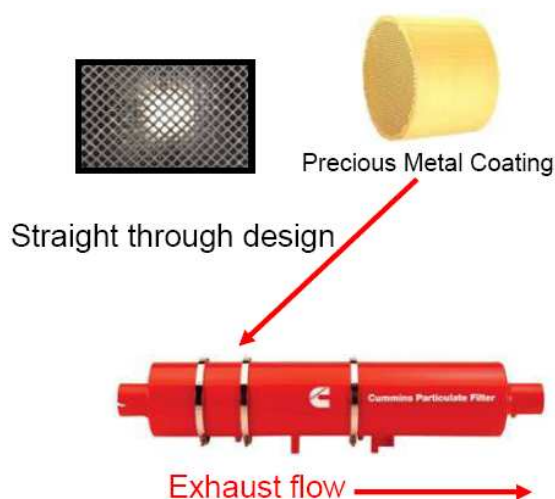
El calor generado durante una operación normal pasivamente oxida las partículas de carbono (C) produciendo CO<sub>2</sub> para limpiar el hollín del sustrato del filtro de cerámica. Este proceso tiene lugar a temperaturas de entre 350 y 500 °C

El calor del escape no es una temperatura lo bastante alta para oxidar con eficacia todo que ha sido recogido en el DPF.

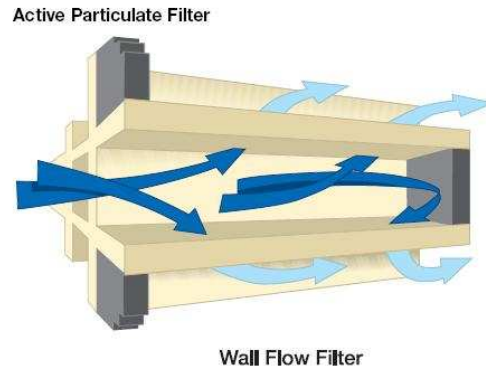
Para lograr la oxidación completa, el DPF señala al ECM del motor que requieren una “regeneración activa” y el diesel es inyectado por una válvula en la tubería de los gases de escape.

El diesel atomizado fluye por el tubo de escape y cubre el Platino (elemento químico catalizador) del DPF. La reacción de pasar levanta la temperatura a aproximadamente 650°C para completar la regeneración del DPF. El flujo de combustible es cortado y la temperatura de los gases de combustión regresa a lo normal en unos minutos.

La filtración de gas de escape para quitar partículas de hollín es lograda usando los medios de comunicación porosos de cerámica de cordierita o el carburo de silicio.

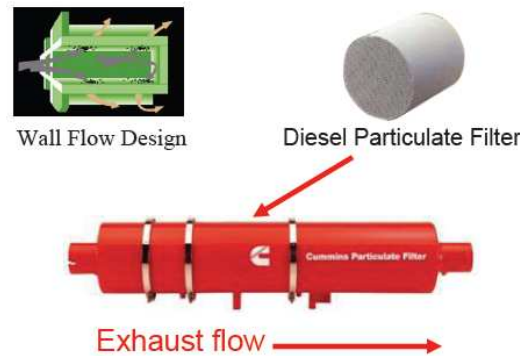


Un filtro típico consiste en una serie de pequeños canales por los cuales el gas de escape fluye. Los canales son sellados a sus lados y en sus extremos finales, forzando el gas de escape a fluir por la pared porosa (arriba y bajo en la figura de la derecha), capturando las partículas de hollín sobre la superficie y dentro de los poros de los medios de comunicación.



El hollín se acumula en el filtro, y cuando el calor suficiente está presente un acontecimiento de "regeneración" ocurre, oxidando el hollín y limpiando el filtro.

El desafío del diseño de DPF es que debe permitir la regeneración confiable y constante, de modo que el hollín sea quitado en todos los tipos de factores de trabajo. El empleo de este método "activo" implica la supervisión del "particulate filtran backpressure (sensor)" y los acontecimientos de regeneración y dirección de la temperatura que entra en el filtro.



El DPF puede requerir mantenimiento. Como los gases de escape fluyen a través del DPF, las partículas (hollín) son oxidadas a través de la regeneración para convertirlas en CO<sub>2</sub> y las partículas de aceite son atrapadas y convertidas en cenizas (Cenizas: Material incombustible, encontrado en los aditivos de aceite, que pueden solo ser removidos limpiando el filtro), mientras aire limpio viaja a través de las paredes hacia afuera del montón de gases de escape.



Si este es el caso, la ceniza debe ser limpiada o el filtro se tapaná.

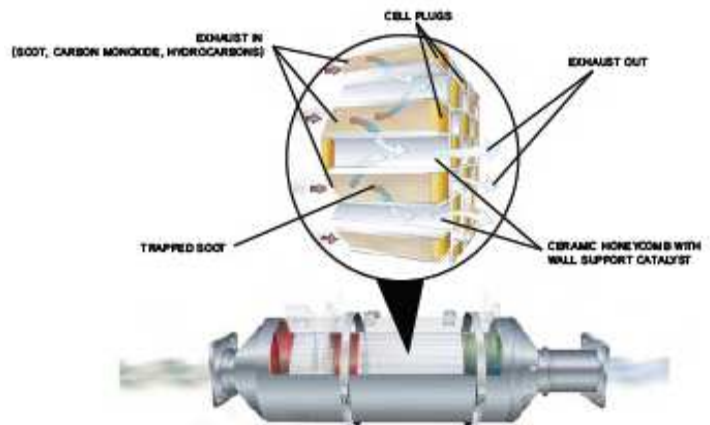
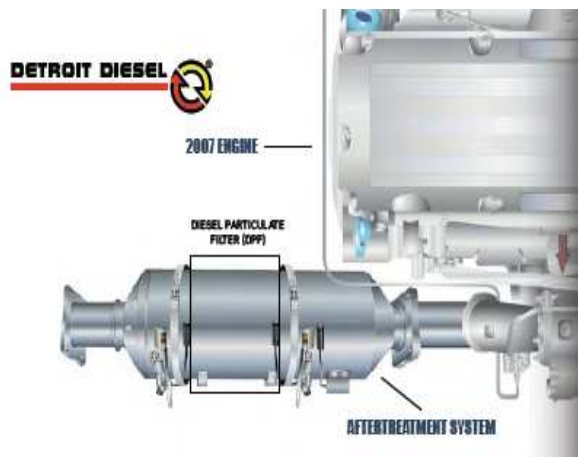


Como la ceniza aumenta en el DPF, la presión en el tubo de escape (backpressure) se incrementará, Cuando la backpressure alcanza niveles donde el funcionamiento del motor está en inhibición, se enviará una señal al operador para indicar que es tiempo de limpiar el filtro.

Actualmente se trabaja con fabricantes de aceite sobre el desarrollo de aceites de ceniza baja y entender como los componentes de diferentes aditivos pueden comportarse de manera diferente con respecto al taponamiento del filtro. De tal manera que si se requiere el mantenimiento del DPF, esperamos que estará en relativamente altos intervalos de hora.

Las partículas de hollín acumuladas se queman automáticamente en intervalos regulares cada 300 ó 500 kilómetros, dependiendo de la situación y del tipo de conducción.

Este proceso dura alrededor de diez minutos y el conductor no lo percibe.



En general, el nivel de partículas de hollín que no se queman disminuye aproximadamente en un 95%, si lo comparamos con un sistema que no tenga el DPF.

Un vehículo propulsado por diesel, con un DPF instalado, no emitirá humo visible de su tubo de escape.

Estos filtros contiene dos dispositivos que son: el filtro de partícula de diesel (DPF) y el catalizador de óxidos diesel (DOC).

El DOC convierte el NOx en NO<sub>2</sub> y luego cuando se combina con el carbón (C) lo convierte en CO<sub>2</sub> en el cual el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es considerado como un gas que no afecta la salud humana, pero si contamina el medio ambiente.

#### Características

- Cuerpo de acero inoxidable de gran calibre
- Sustituye al silenciador original de casi todo vehículo e incluye conexiones a la medida para los tubos o el tubo de escape
- Filtro de flujo de pared, con medio de cordierita o de carburo de silicona
- Abrazaderas de cierre rápido para retirar el núcleo del cuerpo del filtro
- Monitor de presión de retorno con luz indicador.



# ANEXOS

MOTORES DE RANGO PESADO MÁS EFICIENTES Y MENOS CONTAMINANTES



CUMMINS  
ISX



Caterpillar C15.

