

INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN**1.0 Objetivo:**

Evaluar el comportamiento de emisiones cuando se usa el dispositivo Convertidor Catalítico de Oxidación Diesel Engelhard, en dos vehículos medianos diesel. Lo anterior para pruebas transientes en carga (método FTP-75), midiendo Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx) y Material Particulado; y pruebas en aceleración libre en flujo parcial, midiendo la opacidad de las emisiones.

2.0 Alcance y campo de aplicación:

Los vehículos que participaron en este programa experimental se describen a continuación:

- Vehículo Mediano 1:
 - Placa Patente Única SF 4200
 - Año Fabricación 1998
 - Marca Kia
 - Modelo Besta 2.7 Diesel, 12 Pasajeros

- Vehículo Mediano 2:
 - Placa Patente Única TB 1408
 - Año Fabricación 1999
 - Marca Asia
 - Modelo Topic 2.7 Diesel

El programa de seguimiento se llevó a cabo entre el 30/11/01 y el 15/03/02. Se realizaron un total de seis series de mediciones a cada vehículo, de las cuales la primera y la última se llevaron a cabo con el vehículo sin el dispositivo Convertidor Catalítico de Oxidación Engelhard. Cada serie de mediciones contempló los dos ensayos ya señalados (opacidad en aceleración libre y FTP-75).

La series de medición sin el dispositivo se consideran como situación base de comparación y respecto de la cual se evalúan los resultados con el dispositivo incorporado al vehículo.

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Alisha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

3CV-ST-E001-V02-02

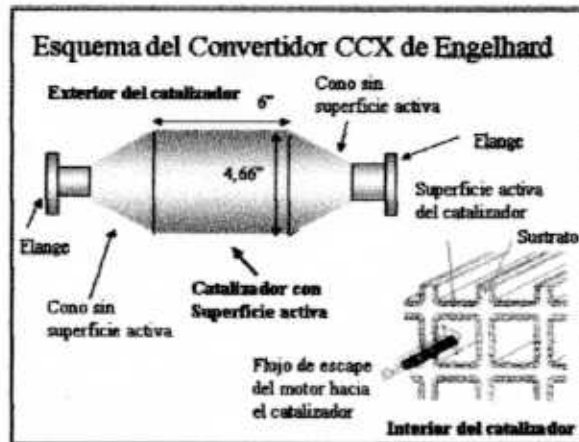
Página 2 de 9

INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

Las mediciones base del Asia Topic, consideran el uso del convertidor original de fábrica en el vehículo. El Kia Besta no contempla convertidor catalítico de fábrica y por tanto sus mediciones bases son sin convertidor catalítico alguno.

Se entregan a continuación las principales características del convertidor de oxidación diesel Engelhard:

- Marca Engelhard
- Modelo CCX 4.66/6
- Diámetro 4.66 pulgadas
- Largo incluyendo flanges 44.5 cm



Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Aliosha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

3.0 Métodos de Medición:

Los resultados informados corresponden a mediciones que se ajustaron a los siguientes procedimientos:

- Opacidad en aceleración libre conforme procedimiento de Revisión Técnica y Decreto Supremo N° 4/94 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
- FTP-75, conforme CFR 40 parte 86.

4.0 Documentación de referencia:

- Manual de procedimientos de revisión técnica clase A1
- Decreto Supremo N° 4/94 Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
- Carpeta Programa Experimental 3CV/EXP/022/01
- Estadística Murray R. Spiegel (Serie Schaum)

5.0 Método Estadístico Para el Análisis de Resultados.

5.1 Test de Diferencia de Medias

Puesto que en general se cuenta con una muestra de 2 mediciones para las mediciones sin dispositivo y cuatro para las con dispositivo, es necesario aplicar el test de la diferencia de medias. Es por ello que para analizar si a partir de los resultados es posible concluir que los valores de emisiones con el dispositivo, son menores que los resultado sin el dispositivo (vehículo en condiciones originales de fábrica), se emplea un test de hipótesis con los siguientes enunciados:

H₀: El valor de la media de emisiones de la muestra tomada al vehículo con el dispositivo es igual a la media de emisiones de la muestra tomada al vehículo sin el dispositivo ($\langle X \rangle_{\text{con}} = \langle X \rangle_{\text{sin}}$).

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Alisha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

H1: El valor de la media de emisiones de la muestra tomada al vehículo con el dispositivo es menor a la media de emisiones de la muestra tomada al vehículo sin el dispositivo ($\langle X \rangle_{con} < \langle X \rangle_{sin}$)

Para contrastar la hipótesis H_0 de que las medias de las muestras con dispositivo y sin dispositivo son iguales, se considera la distribución de la diferencia de las medias, que para muestras pequeñas, como las de este estudio, siguen una distribución Student (t), donde

$$t = (\langle X \rangle_{con} - \langle X \rangle_{sin}) / (\sigma \cdot \sqrt{1/N_{con} + 1/N_{sin}})$$

$$\sigma = \sqrt{(N_{con} \cdot S_{con}^2 + N_{sin} \cdot S_{sin}^2) / (N_{con} + N_{sin} - 2)}$$

$$S = \hat{S} \cdot \sqrt{(N-1)/N}$$

Donde,

- $\langle X \rangle$: Media de la Muestra
- N : Tamaño de la Muestra
- sin : Sufijo que indica la muestra sin dispositivo
- con : Sufijo que indica la muestra con dispositivo
- S : Desviación Estándar de la Población
- \hat{S} : Desviación Estándar de la Muestra

Considerando un nivel de significación del 95%, el valor del estadístico t para definir la región de rechazo de la hipótesis H_0 es de $t < -2.13$ (distribución Student, $N_{con}=4$, $N_{sin}=2$ y 95% de significación).

De lo anterior cuando el estadístico t resulte menor que -2.13 , podremos afirmar, con un nivel de confianza del 95%, que las mediciones con el dispositivo resultaron

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Alisha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

3CV-ST-E001-V02-02

Página 5 de 9

INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

menores que las mediciones sin el dispositivo, de manera estadísticamente significativa, para la emisión medida.

A su vez si t se encuentra entre $+2.13$ y -2.13 diremos que no hay diferencia estadísticamente significativa en los resultados de emisión medidos antes y después del dispositivo.

Por último si el estadístico t resulte mayor que $+2.13$, podremos afirmar, con un nivel de confianza del 95%, que las mediciones con el dispositivo resultaron mayores que las mediciones sin el dispositivo, de manera estadísticamente significativa, para la emisión medida.

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Alisha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

6.0 Resultados:

6.1 Resultados Generales de Emisiones:

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para las distintas pruebas realizadas:

TABLA N°1: Resultados de emisiones para el vehículo Kía Besta.

Fecha de Control	Número de Control	Kilometraje	Opacidad Aceleración Libre (m-1)	Prueba FTP 75					Contenido de Azufre (ppm)
				HC (g/litro)	Nox (g/litro)	CO (g/litro)	MP (g/litro)	CO2 (g/litro)	
(*) 04/01/02	1	129.360	1,34	0,06	1,06	0,34	0,04	235,53	259
18/01/02	2	130.409	1,88	0,05	1,03	0,08	0,06	227,43	209
25/01/02	3	130.848	2,17	0,02	1,02	0,06	0,07	232,29	no se toma
21/02/02	4	133.730	2,03	0,02	1,14	0,07	0,06	241,94	269
07/03/02	5	134.878	2,99	0,03	1,03	0,1	0,05	235,21	251
(*) 08/03/02	6	134.910		0,05	1,06	0,35	0,06	231,15	251
Valor de Norma			2,5	0,5	1,43	0,2	0,18	n/a	389
Promedio sin Convertidor			1,340	0,055	1,060	0,345	0,050		
Desv. Estandar sin Convertidor				0,007	0,000	0,007	0,014		
Promedio con Convertidor			2,268	0,030	1,055	0,083	0,060		
Desv. Estandar con Convertidor			0,496	0,014	0,057	0,013	0,008		
t			3,740	-2,265	-0,117	-26,458	1,155		

(*) Mediciones base

TABLA N°2: Resultados de emisiones para el vehículo Asia Topic.

Fecha de Control	Número de Control	Kilometraje	Opacidad Aceleración Libre (m-1)	Prueba FTP 75					Contenido de Azufre (ppm)
				HC (g/litro)	Nox (g/litro)	CO (g/litro)	MP (g/litro)	CO2 (g/litro)	
(*) 04/01/02	1	102.215	1,15	0,05	0,8	0,06	0,03	260,18	249
18-01-02	2	102.600	1,22	0,05	0,84	0,09	0,04	252,81	261
25-01-02	3	103.067	1,23	0,05	0,83	0,08	0,04	255,73	no se toma
21-02-02	4	105.386	1,34	0,04	0,86	0,1	0,04	260,03	293
14-03-02	5	107.021	2,08	0,04	0,88	0,09	0,08	278,6	
(*) 15/03/02	6	107.053	1,56	0,04	0,85	0,07	0,05	265,65	283
Valor de Norma			2,5	0,5	1,1	0,2	0,08	n/a	300
Promedio Convertidor Original			1,150	0,045	0,825	0,065	0,040		
Desv. Estandar Convertidor Original			0,290	0,007	0,035	0,007	0,014		
Promedio con Convertidor Engelhard			1,468	0,045	0,853	0,090	0,050		
Desv. Estandar con Convertidor Engelhard			0,412	0,006	0,022	0,008	0,020		
t			0,952	0,000	1,217	3,651	0,617		

(*) Mediciones base

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Alisha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

6.2 Resultados en FTP-75:

Para el vehículo Kía Besta, tanto para el HC como para el CO medidos en el ciclo FTP-75, se tiene que t es menor que -2.13 , con lo cual se puede afirmar con un 95% de certeza que se producen reducciones estadísticamente significativas, para este vehículo cuando opera con el dispositivo.

Esto es consistente con las características del equipo (convertidor de oxidación), el cual actúa sobre las emisiones de HC y CO.

La eficiencia de un convertidor se calcula como:

$$Ef_i = \frac{[e_i]_e - [e_i]_s}{[e_i]_e} \cdot 100\%$$

Ef_i : Eficiencia del convertidor para el contaminante i .

$[e_i]_e$: Emisiones totales del contaminante i a la entrada del convertidor.

$[e_i]_s$: Emisiones totales del contaminante i a la salida del convertidor.

Para calcular la eficiencia del convertidor Engelhard en reducir las emisiones de HC y CO consideraremos las dos últimas mediciones efectuadas en el vehículo Kia, asumiendo que la última medición con el dispositivo (medición 5 de la Tabla N° 1), corresponde a las emisiones a la salida del convertidor y la medición siguiente, sin el dispositivo (medición N°6 en la Tabla N°1), a las emisiones a la entrada del convertidor. Esto es posible de asumir ya que ambas mediciones se hicieron seguidamente, sin que el vehículo saliera del laboratorio. De esta forma los valores de eficiencia calculados para este convertidor son de un 40% para los HC y de un 71% para el CO.¹

Para el material particulado y el NOx, en cambio no se observan cambios estadísticamente significativos entre las emisiones del vehículo con y sin el dispositivo². Esto se verifica al observar que el estadígrafo t se encuentra en el rango de indiferencia $2.13 < t < -2.13$ para ambos contaminantes. Efectivamente no era posible esperar reducciones de los NOx pues no se trata este de un convertidor de reducción sino sólo de oxidación.

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Alisha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

3CV-ST-E001-V02-02

Página 8 de 9

INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

Para el vehículo Asia Tópic, no existen cambios estadísticamente significativos entre las emisiones del vehículo operando con el convertidor Engelhard y las del vehículo operando con su convertidor original, para los contaminantes HC, NO_x y Material Particulado. Esto se verifica al observar que el estadígrafo t se encuentra en el rango de indiferencia $2.13 < t < -2.13$.

En lo que respecta al CO se verifica que el estadígrafo t es mayor que 2.13, con lo cual se rechaza la hipótesis H_0 y se acepta con un 95% de certeza que las emisiones de CO para el vehículo operando con el convertidor Engelhard presenta un aumento estadísticamente significativo de las emisiones.

Una explicación para esto último podría encontrarse en la carga de metal precioso de ambos convertidores o en la densidad de las celdas del convertidor.

6.3 Resultados de Opacidad en Aceleración Libre:

Los resultados de opacidad para la Kia Besta presentan un aumento estadísticamente significativo cuando las mediciones son hechas con el dispositivo instalado en el vehículo. Es posible afirmar esto con un 95% de certeza dado que el valor del estadígrafo t para esta prueba es superior a 2.13. Este aumento es en promedio de un 69% de la opacidad respecto del vehículo sin el dispositivo. Si bien esto no es consistente con las mediciones de Material Particulado en masa en el ciclo FTP-75, hay que tener en cuenta que la prueba de opacidad es principalmente un criterio de pasa/no pasa, con el fin de detectar a los vehículos de alta emisión.

Respecto del vehículo Asia Topic, no se observa diferencia estadísticamente significativa de la opacidad entre las emisiones del vehículo con el dispositivo Engelhard y con el convertidor original. Esto se verifica al observar el valor del estadígrafo t , el cual se encuentra en su zona de indiferencia ($2.13 < t < -2.13$).

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Aliosha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico



INFORME TÉCNICO PROGRAMA EXPERIMENTAL
CONVERTIDOR DE OXIDACIÓN

7.0 Conclusiones

Conforme los resultados obtenidos en el ciclo FTP-75, en el laboratorio de emisiones se concluye:

- El convertidor de oxidación diesel Engelhard produjo reducciones estadísticamente significativas en las emisiones de HC y CO con eficiencia del 40% y el 71% respectivamente, en el vehículo Kia Besta, motor 2.7 diesel, cuando se midió en ciclo transiente FTP-75, con un diesel de entre 250 y 300 ppm..
- El convertidor de oxidación diesel Engelhard no produjo cambios estadísticamente significativos en las emisiones de Material Particulado del vehículo Kia Besta, cuando se midió en ciclo transiente FTP-75, con un diesel de entre 250 y 300 ppm.
- Al comparar las emisiones del vehículo Asia Topic funcionando con el convertidor de oxidación diesel Engelhard y con el convertidor de oxidación diesel original, no se observan entre ambas diferencias estadísticamente significativa para el HC.
- Al comparar las emisiones del CO entre ambos convertidores de oxidación (Engelhard y original), aquellas derivadas del uso del convertidor Engelhard resultan ser mayores de manera estadísticamente significativa. Esta menor eficiencia del convertidor Engelhard puede obedecer a una menor carga de metales y/o a su menor densidad de celdas (entre otras razones posibles).
- Los resultados en aceleración libre, medidos en la Kia Besta, presentan un aumento significativo (69% en promedio), cuando se usa el convertidor de oxidación diesel Engelhard. Este resultado no es consistente con los valores medidos en el ciclo transiente, los cuales no presentaron variaciones en material particulado con y sin el convertidor. No obstante es necesario considerar que el objetivo principal de la prueba de aceleración libre es detectar a los vehículos de altas emisiones.
- Los resultados de opacidad en aceleración libre en el Asia Topic no presentan variaciones estadísticamente significativas entre las mediciones con el convertidor de oxidación diesel Engelhard y el original del vehículo.

¹ Valores de eficiencia de entre un 41% y un 45% para el CO y de un 91% son reportados para Convertidores de Oxidación Diesel (sigla en inglés DOC), medidos en ciclo transiente y con diesel de 350 ppm de azufre para un motor de vehículo pesado (DIESEL EMISSION CONTROL-SULFUR EFFECTS PROJECT, Department of Energy USA).

² Existe bibliografía internacional que reporta reducciones de material particulado mediante el uso de DOC, por la vía de la reducción de la fracción orgánica soluble (sigla en inglés SOF), no obstante estas reducciones dependen del nivel de azufre y las condiciones de operación del convertidor.

Fecha de Aprobación	Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
20/03/02	Nombre: Aliosha Reinoso Cargo: Jefe Planificación y Desarrollo	Nombre: Pamela Olivo Cargo: Coordinadora Laboratorio de Combustible	Nombre: Alfonso Cádiz Cargo: Secretario Técnico