

# Evaluación de tecnologías para la eficiencia energética en vehículos de carga por carretera

*Evaluation of road freight energy efficiency technologies for HDVs*

Matías Aresti<sup>1</sup>, Martín Tanco<sup>2</sup>, Daniel Jurburg<sup>3</sup>, Diego Moratorio<sup>4</sup>, Julio Villalobos<sup>5</sup>

Recibido: junio 2016

Aceptado: setiembre 2016

**Resumen.-** Las emisiones debidas al consumo de combustible por parte del sector transporte es una de las fuentes principales de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, llevando a grandes problemas como el calentamiento global y la contaminación atmosférica. Los vehículos de carga por carretera son responsables de una gran porción de estas emisiones, y es por esto que existe una gran cantidad de planes de mejora de eficiencia energética y reducción de emisiones para este tipo de vehículos. Entre estos planes se encuentran desarrollos tecnológicos para la hibridación de vehículos, desarrollo de mejores sistemas logísticos y la creación de tecnologías para la eficiencia energética o la reducción de emisiones.

En esta publicación se presenta una revisión bibliográfica de las tecnologías que han demostrado ser las más eficaces en la mejora de la eficiencia energética en vehículos de carga pesados, y de los métodos de mayor aplicación a nivel mundial para cuantificar su efectividad, entendiendo la importancia de la generación de información científica para el fomento del uso de las mismas. Además, se presenta una aplicación práctica de un procedimiento de evaluación de efectividad mediante ensayos en condiciones reales (NCh 3331) para determinar el efecto del uso de un componente de mejora aerodinámica en vehículos de carga de madera. Los resultados demuestran un ahorro en el consumo de combustible de un 3,19% con los vehículos cargados, mientras que no se puede afirmar estadísticamente que exista un ahorro con los mismos descargados. Considerando las medias de los impactos, se obtiene un ahorro global de un 2,2%.

**Palabras clave:** Transporte carretero; Eficiencia energética; Verificación de componentes; Reducción de emisiones.

*Summary.- Fuel consumption derived emissions in the transportation sector are one of the major sources of global greenhouse gas (GHG) emissions, that lead to large problems like global warming and atmospheric contamination. Road freight heavy duty vehicles (HDVs), and especially Class 8 trucks, are responsible for a large portion of these emissions, and that is why a large number of energy efficiency and emission reduction plans have been created for that vehicle class. Powertrain hybridization, logistic systems improvements and the development of technologies for energy efficiency improvement and emission reductions are the main focus of these plans.*

*This study presents a literature review on the main technologies available for energy efficiency improvement for HDVs and the most widely used test procedures to test their effectiveness,*

---

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (Uruguay), Fondo Sectorial de Energía 2014, Proyecto FSE\_1\_2014\_1\_104284.

<sup>1</sup> CINOI, Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, maaresti@um.edu.uy

<sup>2</sup> CINOI, Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, mtanco@um.edu.uy

<sup>3</sup> CINOI, Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, djurburg1@um.edu.uy

<sup>4</sup> CINOI, Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, dmoratorio@correo.um.edu.uy

<sup>5</sup> CTL, Facultad de Ingeniería, Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, Chile, jvillalobosc@unab.cl

*understanding that scientific information availability is essential for the promotion of the use of these technologies. Furthermore, a practical application of a real-world testing procedure (NCh 3331) to test the impact of an aerodynamic improvement device on timber trucks is presented. A 3.19% improvement in fuel consumption was obtained with fully loaded vehicles, whereas no impact can be statistically justified with unloaded vehicles. An average 2.2% impact on fuel consumption is obtained considering the average impact of the use of the aerodynamic improvement component on both situations.*

**Keywords:** Road Freight transportation; Energy efficiency; Technology verification; GHG emission reduction.

**1. Introducción.-** El impacto del transporte en el medio ambiente es una preocupación a nivel mundial. En el pasado, el foco estaba puesto únicamente en las mejoras en eficiencia energética por cuestiones económicas, con un enfoque hacia la reducción de costos. En la actualidad, toman gran notoriedad y relevancia las consecuencias medioambientales debidas a la quema de combustibles fósiles por parte del transporte, en relación a otras fuentes de emisiones. Estas emisiones componen el 23% de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el uso de energía [1], lo que ha llevado al desarrollo de tecnologías que permitan reducir los efectos negativos de la quema de combustibles fósiles en el sector [2], sobre todo en el caso de los vehículos de carga pesados.

Se estima que las emisiones debidas al transporte deberían ser reducidas globalmente en al menos un 50% para el año 2050 para mitigar los efectos en el medio ambiente, lo que ha llevado a compromisos de reducción de emisiones en la mayoría de los países del mundo, entre ellos Uruguay [1].

Para lograr estos objetivos, se deberá hacer un uso extensivo de las tecnologías de mejora existentes y futuras, tanto para la reducción del consumo de combustible como para la reducción de las emisiones debidas a su uso. Estas tecnologías tienen varios enfoques. El primer enfoque es el de la mejora de la eficiencia energética de los vehículos, cuyas tecnologías pueden ser divididas en aquellas que se basan en la hibridación del sistema de propulsión, y las que no modifican al mismo, como ruedas de baja resistencia a la rodadura, componentes de mejora aerodinámica, lubricantes y aditivos, entre otros [2]. El otro enfoque es la creación de sistemas de tratamiento de emisiones como convertidores catalíticos o filtros de partículas.

Haciendo foco en las tecnologías para la reducción del consumo de combustible, el uso de las mismas está inevitablemente ligado a la información científica en cuanto a la efectividad que las mismas tienen de acuerdo a los objetivos para los que están diseñadas. En el caso de las tecnologías para la eficiencia energética, la correcta determinación del impacto que estas tienen en el consumo de combustible es un dato crítico para el fomento, o no, de su uso. Se debe considerar además que no todas las tecnologías son útiles para todas las tipologías de vehículos, y es por eso que se deben realizar estudios que permitan discernir, para distintos tipos de vehículos, qué componentes son efectivos y en qué medida.

Es por esto que surgen, a nivel mundial, diversas organizaciones y programas dedicados al fomento de tecnologías que han demostrado ser eficaces en el ahorro de consumo de combustible. Quizás el caso más notorio es el programa SmartWay de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA) que es una iniciativa público-privada que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la polución creada por el transporte de carga en las cadenas de suministro [3].

Otros planes a destacar son Green Freight Europe [4] y Green Freight Asia [5], en Europa y Asia, respectivamente, que basan la mayor parte de su actividad en el reconocimiento de empresas

debido a su grado de preocupación y acción en cuanto a la reducción de sus emisiones debidas al transporte; y el Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT), que provee investigaciones y análisis científicos a entes que se dediquen a la regulación en cuestiones ambientales [6].

Son muchas las tecnologías disponibles para la eficiencia energética en vehículos de carga, así como también los métodos para medir su efectividad, es por esto que en la presente publicación se busca realizar una breve revisión bibliográfica en donde se buscará identificar las tecnologías de mayor aplicación y efectividad comprobada a nivel mundial, y los métodos más comunes para medir su impacto, tanto en el consumo de combustible como en otras variables.

También se presentarán la metodología y resultados de una serie de pruebas realizadas en Uruguay para medir el impacto en el consumo de combustible producido por el uso de un deflector de techo en camiones de transporte de rolos de madera. Para este estudio se realizaron pruebas en condiciones reales de manejo, buscando cuantificar el impacto en dos condiciones de operación: con el vehículo cargado con su capacidad máxima de carga, y sin carga. De esta manera se buscó obtener un resultado de impacto global promedio en el consumo en las condiciones habituales de operación.

**2. Revisión Bibliográfica.-** Son muchos y muy variados los factores que influyen en el consumo de combustible de un vehículo. En una revisión de la literatura, Demir, Bektas y Gilbert [7] identifican muchos de estos factores, que pueden ser divididos en cinco categorías según sean dependientes de: el vehículo, el ambiente, el tráfico, el conductor o las operaciones. Considerando el vehículo como tal, los factores que más influyen son su construcción, es decir su peso bruto, su forma externa, el tipo y tamaño de motor; las condiciones del mismo, como la temperatura del motor; los fluidos que está utilizando, como el tipo de combustible y lubricantes y otros factores como la edad, el mantenimiento y el uso de otros componentes como por ejemplo ruedas especiales.

**2.1 Tecnologías para la eficiencia energética en vehículos de carga.-** El creciente interés en la eficiencia energética y la reducción de emisiones de los vehículos, en particular los de carga, ha generado el advenimiento de una serie de componentes tecnológicos para la mejora de la eficiencia energética de los mismos. Las tres categorías principales son detalladas a continuación.

**2.1.1 Elementos de mejora aerodinámica.-** Cuando se está circulando a una velocidad constante, la mayoría de la energía que se está utilizando está destinada a vencer la fuerza de rozamiento producida por el aire en el vehículo. Surgen por tanto tecnologías con el objetivo de disminuir la resistencia aerodinámica tanto del tractor como del tráiler, por tratarse de uno de los factores de mayor influencia en el consumo de combustible, particularmente a velocidades de circulación en ruta (mayores a 80 km/h).

Algunos ejemplos de estas tecnologías son deflectores de cabina, montados sobre la cabina del vehículo para disminuir la resistencia aerodinámica con el tráiler; collares de cabina, para reducir el espacio entre la cabina y el tráiler; carenados laterales colocados entre los ejes del tráiler para reducir la resistencia en su parte inferior y colas de barco para reducir la turbulencia detrás del remolque.



Figura V.- (De izquierda a derecha) Deflector de cabina, Collar de cabina, Carenado lateral de tráiler y Cola de barco

**2.1.2 Ruedas.-** El desarrollo de este componente del vehículo tiene dos objetivos: la disminución de la resistencia a la rodadura y la disminución del peso de las ruedas. La resistencia a la rodadura es producida principalmente por la pérdida de energía al deformarse el neumático por el contacto con el suelo, factor que es además dependiente de la presión del neumático [8]. Para disminuir la resistencia a la rodadura se han desarrollado neumáticos fabricados con compuestos que les permite minimizar la energía perdida al rodar. Este tipo de neumáticos pueden producir ahorros de un 3% o más en el consumo de combustible de camiones de carga [9]. Se pueden usar pares de neumáticos o neumáticos anchos, siendo los últimos ventajosos debido a su menor peso y resistencia aerodinámica. Existen además ruedas con llantas de acero, acero de bajo peso y de aluminio, en orden decreciente de peso, que sirven para reducir el peso total del vehículo y, por tanto, mejorar su eficiencia.

Por último, existen también sistemas automáticos para el monitoreo de la presión de los neumáticos para asegurarse de que se está trabajando a la presión óptima recomendada por el fabricante, este mecanismo ayuda en la reducción de la resistencia a la rodadura.

**2.1.3 Aditivos y lubricantes.-** Se han desarrollado una gran cantidad de aditivos y lubricantes para mejorar las capacidades del motor y de la combustión.

En cuanto a los aditivos, se alega que una mejora en las condiciones de la combustión, sumado a un efecto de limpieza de los inyectores y válvulas de los pistones tienen como resultado una disminución en el consumo de combustible, así como también de las emisiones del vehículo. Los lubricantes destinados al ahorro de combustible, por su parte, tienen una composición especial que les permite ahorrar combustible cuando se los compara con lubricantes tradicionales, manteniendo el mismo nivel de rendimiento [10].

**2.2 Métodos de prueba de componentes.-** Existe una gran cantidad de procedimientos de prueba para evaluar la efectividad de componentes, como por ejemplo pruebas de dinamómetro de chasis y de motor, dinámica de fluidos computacional, pruebas en túneles de viento y pruebas en condiciones reales en ruta o pista de prueba [11]. Cada uno de estos métodos tiene sus fortalezas y debilidades, dependiendo del tipo de componente que se está probando y de los recursos que se tienen a disposición.

**2.2.1 Dinamómetro de chasis.-** Para realizar esta prueba, el vehículo completo se monta en un dinamómetro de chasis, que es un dispositivo que consta de uno o más rodillos cilíndricos donde se apoyan las ruedas del vehículo. Estos cilindros tienen la función de simular condiciones de circulación sobre el vehículo, generando distintas cargas en las ruedas del mismo para simular resistencia a la rodadura, cargas de inercia y resistencia aerodinámica. Usualmente se somete al vehículo a condiciones de aceleración y velocidad predeterminadas para anular el efecto de condiciones distintas de manejo en distintas pruebas.

Como ejemplo de aplicación se encuentra el de la empresa Total [10], que realizó un estudio comparativo del consumo generado utilizando el lubricante 10W-40 comparado con el lubricante 15W-40 de referencia, utilizando un dinamómetro de chasis, constatándose ahorros de entre 0.6 y 0.7%.

**2.2.2 Prueba en dinamómetro de motor.-** Para realizar esta prueba, se instala un motor en un dinamómetro de motor, a través del cual se miden la potencia y el torque en el cigüeñal del mismo. Se pueden medir las emisiones del motor en el escape y estos resultados se pueden relacionar con el consumo de combustible del motor. Al igual que sucede con el dinamómetro de chasis, se simulan distintas condiciones a las que se ve sometido el elemento en cuestión.

Una gran desventaja de este tipo de metodología para probar eficiencia energética en vehículos de carga es que se alega que no es representativo de condiciones reales de manejo [12]. Por su parte, algunas ventajas del mismo son que se trata de un procedimiento consistente con los programas existentes para la regulación de emisiones vehiculares y que no se incurre en errores debidos a factores humanos ni a deslizamiento de los elementos rodantes como en el caso del dinamómetro de chasis.

A modo de ejemplo, en un estudio realizado por Clifford, Millar, Parish y Wood [13], se utilizó un dinamómetro de motor para probar el efecto de siete tipos distintos de aditivos para gasoil, en comparación con la utilización de combustible diésel únicamente, obteniendo como resultado que ninguno de los siete produjo un ahorro mayor al 0,27% en el total de la prueba.

**2.2.3 Pruebas en ruta o pista.-** Este método consiste en operar vehículos por un circuito previamente diseñado que puede ser una pista cerrada o una ruta. El procedimiento con mayor aplicación a nivel global es el SAE J1321 [14], siendo el método más utilizado para verificar componentes en el programa SmartWay [15]. Se han producido, además, adaptaciones al mismo, como en el caso del Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN) con su norma NCh 3331 [16], que busca adaptar los procedimientos establecidos en el procedimiento SAE a la realidad local del país.

Este tipo de procedimientos permite evaluar el impacto en el consumo de combustible debido al uso de diversas tecnologías en condiciones de manejo mucho más cercanas a condiciones reales, y de ahí su gran valor y la gran cantidad de experimentaciones que se hacen de esta manera. Su gran versatilidad permite realizar pruebas de cualquier tipo de componentes, como por ejemplo de mejora aerodinámica [17, 18, 19], ruedas de bajo consumo [18, 20], lubricantes [21], e incluso para comparar vehículos y ver el efecto de la carga en el consumo [22, 23].

**2.2.4 Dinámica de fluidos computacional (CFD).-** Este método de verificar tecnologías es reconocido por el programa SmartWay como una prueba válida para verificar componentes de mejora de la resistencia aerodinámica de vehículos de carga. El objetivo de este método es cuantificar la reducción en el coeficiente de arrastre (coeficiente de resistencia aerodinámica) del vehículo debida a la adición de elementos de mejora aerodinámica. Para hacer esto se simula por computadora el diseño exterior del vehículo con y sin el elemento de mejora y se determinan los coeficientes de arrastre en ambas situaciones.

A modo de ejemplo, Hakansson & Lenngren [24] utilizaron esta metodología para cuantificar la reducción en el coeficiente de arrastre producido por once tecnologías con distintos ángulos de impacto del viento en camiones de carga. El resultado principal del estudio muestra que las zonas de mayor potencial de mejora son debajo y detrás del tráiler.

**2.2.5 Prueba de desaceleración.-** Consiste en lanzar el vehículo desde una cierta velocidad con el motor desengranado, mientras se mide continuamente la velocidad y la distancia recorrida hasta que el mismo se detiene [25]. Mediante esta prueba se pueden determinar la fuerza de arrastre total, que es asignada a fuerzas aerodinámicas o de resistencia a la rodadura [26]. A modo de ejemplo, Shetty y Surcel [27] realizaron una prueba de desaceleración para evaluar el efecto de usar estacas desmontables en camiones de transporte de madera, obteniendo mejoras de un 28% en el coeficiente de arrastre aerodinámico.

**2.2.6 Prueba en túnel de viento.-** Este tipo de pruebas son utilizadas para determinar la fuerza sobre un vehículo debida a la acción del viento, pudiéndose determinar el coeficiente de arrastre. Al igual que los métodos por dinámica de fluidos computacional y prueba de desaceleración, permite calcular la variación en el coeficiente de arrastre aerodinámico debida a la utilización de tecnologías destinadas a disminuirlo.

Consiste en colocar el vehículo, o un modelo a escala del mismo, en un túnel de viento, sometiéndolo a diversas condiciones de velocidad de viento. En el estudio realizado por Shetty y Surcel [27], mencionado anteriormente, se utilizó también esta metodología para determinar el impacto del nuevo diseño de estacas, obteniendo como resultado mejoras del coeficiente de arrastre aerodinámico de hasta un 35%.

**2.2.7 Determinación de resistencia a la rodadura: Prueba en laboratorio.-** El objetivo de este tipo de pruebas es determinar el coeficiente de resistencia a la rodadura de un neumático mediante una prueba controlada en un laboratorio.

Chuang [28] realizó un estudio comparativo entre dos procedimientos existentes (uno desarrollado por SAE y otro por la ISO), obteniendo como resultado coeficientes de resistencia a la rodadura ligeramente menores para el procedimiento ISO, pero porcentajes de cambio idénticos para ambos métodos cuando se comparan dos tipos distintos de neumáticos.

**2.3 Resumen.-** Un resumen de las metodologías identificadas, sus posibles usos y procedimientos estandarizados existentes para llevarlas a cabo se muestra a continuación en la Tabla III.

Método	Tecnologías <sup>6</sup>	Métrica <sup>7</sup>	Procedimiento
Dinamómetro de Chasis	AyL	Combustible Ahorrado	SAE J2711, CFR 40 1065
Dinamómetro de Motor	AyL	Combustible Ahorrado	CFR 40 1065
Prueba en Ruta/Pista	ADyn,AyL,R	Combustible Ahorrado	SEE J1321, SAE J1526, SAE J1264, NCh 3331
Dinámica de Fluidos Computacional	ADyn	Cd	SAE J2966
Prueba de Desaceleración	ADyn, R	Cd/Crr	-
Túnel de Viento	ADyn	Cd	SAE J1252
Prueba de Resistencia a la Rodadura	R	Crr	SAE J1269, SAE J2425, ISO 28580

Tabla III.- Resumen de métodos para la cuantificación del efecto del uso de diversas tecnologías. Adaptado de [11]

<sup>6</sup> AyL = Aditivos y Lubricantes, ADyn = Elementos de mejora aerodinámica, R = Ruedas

<sup>7</sup> Cd = Coeficiente de arrastre aerodinámico, Crr = Coeficiente de resistencia a la rodadura

### 3. Prueba de efecto del uso de un deflector de techo usando el procedimiento NCh 3331

#### 3.1 Metodología

**3.1.1 Generalidades.-** El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar el impacto en el consumo de combustible producido por un deflector de techo con extensiones laterales de cabina en camiones de carga de madera. Para esto se hizo uso del procedimiento NCh 3331, que, como se vio anteriormente, es un procedimiento de prueba en condiciones reales de operación, derivado del procedimiento SAE J1321 con modificaciones para la mejor aplicabilidad local en las condiciones nacionales de Chile.

Se optó por utilizar este procedimiento ya que, a partir de la experiencia de pruebas anteriores usando los dos procedimientos mencionados previamente, se determinó que los requisitos del procedimiento chileno se adaptan de mejor manera a la realidad nacional de Uruguay.

El procedimiento consiste básicamente en realizar dos instancias de pruebas con dos vehículos idénticos. En la primera, los vehículos realizan un mínimo de tres vueltas (trayectos) a un circuito previamente diseñado sin modificación alguna en su configuración, adaptándose a determinados requisitos establecidos. De esta manera se establece el cociente promedio de consumos entre ambos. A este set de trayectos se le llama Segmento Base. En la segunda instancia de pruebas (Segmento de Prueba) se le agrega, únicamente a uno de los vehículos (vehículo de prueba), el componente o tecnología cuya efectividad se pretende determinar y se deja el otro vehículo (vehículo de control) sin modificar. Una vez hecho esto, se realiza un nuevo set de al menos tres trayectos, determinándose el nuevo cociente de consumos entre los vehículos y permitiendo, mediante el análisis estadístico de resultados, cuantificar el efecto porcentual sobre el consumo de combustible que tuvo el componente instalado, mediante la comparación del segundo cociente de consumos con el primero.

De esta manera se logra aislar el efecto de factores como el clima y la forma de conducción (los conductores de los vehículos son siempre los mismos), entre otros, bajo el supuesto de que cualquier condición externa estaría afectando a ambos vehículos de la misma manera. Es en esto donde reside el gran potencial de este procedimiento de prueba, que permite evaluar la efectividad de componentes controlando el efecto de los factores externos no deseados.

El consumo de combustible es medido con precisión mediante el uso de tanques removibles que son pesados antes y después de la realización de cada trayecto en una balanza previamente calibrada. Estos tanques cuentan con acoples rápidos que permiten su rápida remoción del vehículo para ser pesados en el tiempo que hay entre trayectos. Imágenes de los tanques instalados en vehículos se pueden ver en la Figura VI.



Figura VI.- Imagen lateral (izquierda) y superior (derecha) de un tanque conectado a un vehículo

El resultado de los promedios de los cocientes de los consumos de los vehículos de prueba y control para el segmento base y el segmento de prueba son luego comparados utilizando herramientas de análisis estadístico. Estas son provistas por los desarrolladores de los procedimientos y dan como resultado el porcentaje de combustible ahorrado debido a la incorporación del componente a probar, en este caso el deflector de techo. El porcentaje de ahorro se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{Combustible ahorrado} = \frac{(T/C)_{Base} - (T/C)_{Prueba}}{(T/C)_{Base}}$$

*Ecuación 1.- Cálculo de ahorro de combustible*

Donde (T/C)<sub>sub</sub> corresponde al cociente de consumos entre el vehículo de prueba (T) y control (C) en el segmento indicado en el subíndice.

Para asegurar la repetitividad de los tiempos de trayecto (que tienen que estar dentro del rango de un +/- 0,5% del tiempo total de vuelta) y para verificar que la prueba se realice en condiciones correctas viajan a bordo de los vehículos observadores que se encargan de hacer registros parciales de tiempo y de registrar cualquier evento no deseado o anormal que suceda durante un trayecto.

Para el correcto desarrollo de las pruebas y la minimización de los efectos de factores externos que no son de interés, se utilizó una serie de herramientas e instrumentos. Estos fueron utilizados para medir las condiciones ambientales, el consumo de combustible, el tiempo de trayectos y la velocidad de circulación; y para comunicarse entre miembros del equipo.

**3.2 Detalles de las pruebas realizadas.-** Se realizaron dos rondas de pruebas para determinar el impacto en el consumo de combustible producido por el uso de un deflector de techo con extensiones laterales en camiones de transporte de madera. En una de las pruebas se probó el componente con el vehículo cargado a su capacidad máxima y en la otra se lo probó con el vehículo con el tráiler sin carga. Esto se hizo para poder cuantificar el impacto promedio en las dos condiciones más habituales de operación en ruta de los vehículos. Imágenes del componente instalado en uno de los vehículos se pueden ver en la

Figura VII.

Se realizaron 4 días de prueba, en la semana del 29 de febrero al 4 de marzo de 2016, para obtener los resultados de los segmentos de base y prueba para los vehículos cargados, con un peso bruto total (PBT) de unas 45 toneladas, y descargados, con un PBT de unas 14 toneladas. Dichos pesos fueron controlados de modo de respetarse los requisitos establecidos en el procedimiento NCh 3331.





Figura VII.- Imágenes del deflector de techo instalado en el vehículo de prueba

Se utilizaron dos vehículos VOLVO FMX 400 dedicados al transporte de madera. Las características técnicas de los mismos se detallan en la Tabla IV y una imagen de estos en el sitio de prueba se puede ver en la Figura VIII.

<b>Dimensiones</b>	
Altura(mm)	2978
Ancho(mm)	2495
Largo(mm)	6311
<b>Datos del Motor</b>	
Modelo	D13A400 (Euro 3)
Cilindrada total (cm <sup>3</sup> )	5880
Potencia máxima (kW) @1600 rpm	294
Torque máx. (Nm) @1400 rpm	2000

Tabla IV.- Datos técnicos de los vehículos utilizados



Figura VIII.- Imagen de los vehículos en el campamento base

Se utilizó para las pruebas un segmento de la Ruta 1 de Uruguay que se extiende desde el kilómetro 50 hasta el 89, aproximadamente, dando como resultado un recorrido de 79,2 kilómetros, y tratándose de un trayecto sin cruces importantes y con condiciones relativamente bajas de tráfico. El campamento base, donde se encuentra el equipo y se realizan las distintas tareas necesarias para la ejecución de la prueba (como por ejemplo pesar los tanques para medir el consumo) se ubicó en la estación de servicio “ANCAP la 66”, ubicada en el kilómetro 66 de la Ruta 1.

Otra ventaja de la utilización de esta ruta es que la misma cuenta con dos carriles por cada sentido de circulación, lo que permite circular a las velocidades establecidas sin la necesidad de sobrepasar vehículos de manera habitual ni de entorpecer el tránsito de la ruta.

El protocolo de conducción está compuesto por el arranque de los vehículos, tramos a velocidad constante, fijada a 80 km/h por ser esta la condición normal de circulación de los vehículos de la empresa, dos puntos de retorno y el frenado final. Para asegurar una mayor homogeneidad en las condiciones de manejo se determinó que se realizaran paradas de 10 segundos previo a cada ingreso de los vehículos a la ruta (al salir del puesto base, y en los dos retornos). El observador a bordo del vehículo estaba encargado de contabilizar los segundos que tomara cada reingreso y registraba los segundos extra que pudieran tomarse. Esos segundos extra eran luego descontados del tiempo total del vehículo funcionando en ralentí al final del trayecto, previamente fijado a tres minutos. Esto asegura que, para cada trayecto, los vehículos se encuentren la misma cantidad de tiempo funcionando en este modo de operación.

### 3.3 Resultados.- En la

Tabla V se muestran los resultados del impacto del uso del deflector en el consumo de combustible, con y sin carga. Como se puede ver, en el caso del vehículo circulando cargado se puede asegurar que existe un ahorro de combustible con una media de 3,19%, mientras que sin carga no se puede asegurar que exista un impacto en el consumo de combustible (el intervalo de confianza es mayor que la media), y se obtiene una media de impacto de 0,79%. El intervalo de confianza se muestra como un  $\pm$  alrededor de la media de los resultados y corresponde a un intervalo de confianza de 95%.

Resultados de la Prueba con carga				Resultados de la Prueba sin carga			
	Nominal	Intervalo de confianza			Nominal	Intervalo de confianza	
Combustible ahorrado	3.19%	$\pm$	2.19%	Combustible ahorrado	0.79%	$\pm$	2.18%
Mejora	3.29%	$\pm$	2.26%	Mejora	0.80%	$\pm$	2.20%

Tabla V.- Resultados de la prueba con (izquierda) y sin carga (derecha)

Utilizando los datos de consumo de combustible y kilómetros recorridos por los vehículos, más el dato de densidad de combustible, que fue registrado para todos los días de prueba, se obtuvo que la economía de los vehículos sin utilizar el alerón era de 2,19 km/l y 3,24 km/l, con y sin carga, respectivamente. Considerando como dato que los vehículos recorren anualmente unos 250.000 km (dato provisto por el propietario) podemos realizar una estimación de los ahorros monetarios y de la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales producidas por la incorporación del dispositivo. Los resultados se muestran en la Tabla VI<sup>8</sup>.

Combustible ahorrado (l/año)	2126
Ahorro Monetario (US\$/año)	2579
Reducción de emisiones CO <sub>2</sub> (ton/año)	5,56

Tabla VI.- Ahorros debidos al uso del deflector<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Para estimar los ahorros económicos se utilizó el tipo de cambio para Uruguay al 12/5/16 (31,9 \$U/US\$) y el precio del combustible el mismo día (38,7 \$U/l). Para el cálculo de emisiones se utilizaron datos del combustible nacional provistos por ANCAP: PC<sup>i</sup> = 3,64E-5 TJ/l y contenido de carbono igual a 71896 kgCO<sub>2</sub>/TJ.

<sup>9</sup> Los resultados se muestran en base a un recorrido anual de 250.000 km con recorridos 50% del tiempo con carga y 50% del tiempo sin carga.

**4. Discusión y conclusión.-** El cambio climático y la contaminación ambiental son factores de trascendental importancia sobre los cuales se deben tomar medidas para que estos no se vuelvan problemas aún mayores. El transporte, y en particular el transporte de carga por carretera, contribuyen en gran medida a la emisión de GEI a la atmósfera, lo cual es un factor causal de los problemas mencionados anteriormente.

Si realmente se desean alcanzar las metas de reducción de emisiones en este sector se deberán poner en práctica planes de mejora con una rápida capacidad de implementación. Estos planes pueden ser de diversa naturaleza, como por ejemplo mejoras logísticas, incorporación de vehículos más limpios o la utilización de tecnologías para la eficiencia energética y la disminución de emisiones.

Probablemente la incorporación de vehículos más eficientes, como por ejemplo vehículos híbridos, sea una de las soluciones con mayor impacto en la reducción de emisiones debidas al transporte, pero para su implementación es necesario el desarrollo de una infraestructura muy compleja y planes de renovación de flota a largo plazo. Se considera, por tanto, que se debería tomar el camino del fomento de la incorporación de tecnologías a los vehículos ya existentes en el país, al menos durante el período de cambio estructural hacia modelos de mayor impacto.

Ahora bien, si se decide fomentar el uso de estas tecnologías, se considera que es necesaria la generación de información científica para su uso por parte de los tomadores de decisiones del sector, para que estos puedan saber qué tipos de componentes son útiles y para qué tipología de vehículos. La experiencia obtenida a lo largo del presente proyecto, en donde se estuvo en contacto directo con directivos y trabajadores de empresas de transporte, muestra que es de vital importancia la generación de resultados que hayan sido obtenidos en condiciones locales. Esto se debe a que existe una actitud de desconfianza hacia los resultados mostrados por los distintos proveedores de componentes, debido a que no se tiene información de las condiciones en que se realizaron las pruebas o a que, generalmente, las mismas son realizadas en otros países. Todo esto genera la concepción de que los resultados no son aplicables a la realidad nacional, donde se alega que el combustible, los tipos de rutas y otros factores son distintos y, por tanto, los resultados no son extrapolables.

Esto reafirma la importancia de continuar realizando pruebas de componentes a nivel nacional, para evaluar como las diversas tecnologías existentes afectan el consumo y las emisiones de los vehículos del país, en las condiciones locales. Ya se han realizado una gran cantidad de rondas de experimentación en rutas y circuitos nacionales y se ha demostrado que se tienen las capacidades técnicas y de instrumentación para realizar pruebas de acuerdo a los protocolos SAE 1321 y NCH 3331. Por lo tanto, se considera que se deben elaborar mecanismos que permitan continuar realizando pruebas de componentes, fomentando el uso de aquellos que muestren tener mayor potencial de mejora de la eficiencia energética.

Por el otro lado, se considera que aún existen grandes posibilidades de avanzar en el rubro de la evaluación de efectividad de tecnologías en el país. Quizás una de las áreas con mayor posibilidad de mejora sea la de la cuantificación del impacto de las mismas en las emisiones vehiculares. Se considera que obtener capacidades en esta área es importante ya que existen tecnologías que, si bien no tienen impacto en el consumo de combustible (o el mismo es mínimo), producen grandes reducciones de las emisiones de GEI de los vehículos. Ejemplos de esto son filtros antipartículas y de reducción catalítica selectiva, usados en vehículos modernos. Para evaluar la efectividad de estas tecnologías se podrían utilizar dinamómetros de chasis (no hay ninguno en el país actualmente y tiene un alto costo) o se podrían realizar pruebas en condiciones reales de circulación utilizando sistemas portátiles de medición de emisiones (PEMS).

Los sistemas PEMS son una tecnología que ha tenido un gran crecimiento en los últimos tiempos. Se trata de equipos portátiles que se instalan sobre el vehículo (siendo removibles) y permiten realizar mediciones instantáneas de emisiones de una gran cantidad de gases de escape e incluso relacionarlas con el modo de operación. Tienen la ventaja de tener la capacidad de cuantificar emisiones en condiciones reales de circulación y de tener un costo significativamente menor a un banco de prueba, y es por eso que existe una tendencia hacia el uso de este tipo de dispositivos para la regulación y la experimentación en vehículos, tanto pesados como particulares [29].

Se han identificado casos de aplicación conjunta del procedimiento SAE J1321 con la utilización de equipos PEMS, dando como resultado no solo el impacto en el consumo de combustible, sino que también en las emisiones, en condiciones reales (aunque controladas) de circulación [18]. Se considera que la adquisición y uso de equipamientos de este estilo es un área de gran potencial para la generación de información de mayor precisión y valor.

En conclusión, se considera que la incorporación de componentes para la eficiencia energética y la reducción de emisiones es un camino con un gran potencial de desarrollo con la capacidad de ofrecer resultados en el corto o mediano plazo, y es por eso que debería ser abordado. Para esto será necesaria la continua experimentación de tecnologías para determinar su efectividad y fomentar su uso. Se destaca la necesidad de realizar instancias de experimentación en condiciones locales para generar confianza en los tomadores de decisiones del sector y, de esta manera, asegurar que las medidas que se tomen tengan una mayor efectividad.

## Referencias

- [1] International Energy Agency, «Transport, Energy and CO<sub>2</sub>» Paris, France, 2009.
- [2] H. Zhao, A. Burke y M. Miller, «Analysis of Class 8 truck technologies for their fuel savings and economics» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 23, n° August 2013, pp. 55-63, 2013.
- [3] US Environmental Protection Agency, «US Environmental Protection Agency» 2014. [En línea]. Disponible: <http://www3.epa.gov/smartway/about/>. [Último acceso: 1 2 2016].
- [4] Green Freight Europe, «Green Freight Europe» 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.greenfreighteurope.eu/>. [Último acceso: 29 7 2015].
- [5] Green Freight Asia, «Green Freight Asia» 2015. [En línea]. Disponible: <http://greenfreightasia.org/>. [Último acceso: 29 7 2015].
- [6] ICCT, «The International Council on Clean Transportation,» 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.theicct.org/>. [Último acceso: 29 7 2015].
- [7] E. Demir, T. Bektas y L. Gilbert, «A review of recent research on green road freight transportation» *European Journal of Operational Research*, 2013.
- [8] S. K. Clark y R. N. Dodge, «Fundamentals of Rolling Loss» de *A Handbook for the Rolling Resistance of Pneumatic Tires*, Michigan, 1979, pp. 2-6.
- [9] US Environmental Protection Agency, *Low Rolling Resistance Tires: A Glance at Clean Freight Strategies*, 2010.
- [10] Total, «Total UK» 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.total.co.uk/lubricants/sustainable-development/fuel-economy-lubricants.html>. [Último acceso: 3 8 2015].
- [11] B. Sharpe, «Green freight programs and technology verification» 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.theicct.org/green-freight-programs-and-technology-verification>. [Último acceso: 13 6 2016].
- [12] B. Sharpe, «Testing methods for heavy-duty vehicle fuel efficiency: Trends from regulatory programs around the world and implications for India» 2015. [En línea].

- Disponible: <http://www.theicct.org/hdv-efficiency-test-procedures-trends-implications-india>. [Último acceso: 13 6 2016].
- [13] T. Clifford, D. Millar, D. Parish y N. Wood, «Diesel Fuel Additives Testing Summary for Fishermen» 2008. [En línea]. Disponible: <https://www.yumpu.com/en/document/view/26166965/diesel-fuel-additives-testing-summary-for-fishermen-seafish>. [Último acceso: 13 6 2016].
- [14] Society of Automotive Engineers (SAE), «J1321 - Fuel Consumption Test Procedure - Type II» 2012.
- [15] U.S. EPA SmartWay, «Track Testing for SmartWay Verification» 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.epa.gov/verified-diesel-tech/aerodynamic-track-testing-smartway-verification>. [Último acceso: 13 6 2016].
- [16] Instituto Nacional de Normalización, «Método de prueba para la determinación del consumo de combustible para vehículos de transporte terrestre» 2013.
- [17] M.-D. Surcel, J. Michaelson y Y. Provencher, «Track-test Evaluation of Aerodynamic Drag Reducing Measures for Class 8 Tractor-Trailers» SAE International, 2015.
- [18] L. J. Bachman, A. Erb y C. L. Bynum, «Effect of Single Wide Wires and Trailer Aerodynamics on Fuel Economy and NOx Emissions of Class 8 Line-Haul Tractor-Trailers» *SAE Technical Paper 2005-01-3551*, 2005.
- [19] Universidad Andres Bello, «Desarrollo de un Protocolo/Procedimiento Estándar de Evaluación de Tecnologías para la Eficiencia Energética en el Transporte Carretero, y su aplicación en Dispositivos Aerodinámicos en Vehículos de Operación de Transporte de Carga» 2012
- [20] T. Diller, R. Matthews, B. Shoffner, H. de la Fuente y M. Kasper, «The Effects of Low Rolling Resistance Tires on the NOx Emissions and Fuel Economy of Drayage Trucks» 2007.
- [21] AMSOIL, «Diesel Fleet Fuel Economy Study» 2012.
- [22] Universidad Andrés Bello, «Eficiencia Energética en el Transporte de Carga: Impacto de la Carga en el Consumo» 2013.
- [23] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, «Catálogo Tecno Eficiencia para el transporte pesado» 2016.
- [24] C. Hakansson y M. J. Lenngren, «CFD Analysis of Aerodynamic Trailer Devices for Drag Reduction of Heavy Duty Trucks» Göteborg, 2010.
- [25] I. Preda, D. Covaciu y G. Ciolan, «Coast Down Test - Theoretical and Experimental Approach» de *CONAT 2010 - International Automotive Congress*, Brasov, 2010.
- [26] Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, «Evaluation of fuel efficiency improvements in the Heavy-Duty Vehicle (HDV) sector from improved trailer and tire designs by application of a new test procedure» 2011.
- [27] M. Shetty y M.-D. Surcel, «Evaluation of the influence of Stakes on Drag and Fuel Consumption for a Tractor-Logging Trailer Combination» SAE International, 2014.
- [28] D. Chuang, «Packed Snow Performance of Low Rolling Resistance Class 8 Heavy Truck Tires» 2012. [En línea]. Disponible: <https://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-packed-snow-performance-eng-2913.htm> [Último acceso: 14 6 2016]
- [29] V. Franco, F. Posada Sánchez, J. German y P. Mock, «Real-World Exhaust Emissions from Modern Diesel Cars. Part 1: Aggregated results» 2014. [En línea]. Disponible: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_PEMS-study\\_diesel-cars\\_20141010.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_PEMS-study_diesel-cars_20141010.pdf) [Último acceso: 14 6 2016]