CONDENSADOR RETRÁCTIL PARA FURGONETAS DE BAJA CAPACIDAD

RETRACTILE CONDENSER FOR LOW CAPACITY VANS

Recibido: 27/11/07
Aceptado: 10/03/08

Lázaro V. Cremades Oliver
Dr. en Ciencias Químicas y
Dr. en Ingeniería Química
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (ETSEIB)

Jordi Segura Castells
Ingeniero Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (ETSEIB)

RESUMEN

Las furgonetas frigoríficas de baja capacidad en las que la cabina está enlazada con el compartimento de carga, generalmente ubican el equipo condensador del sistema frigorífico en el techo del vehículo de forma fija. En este trabajo se presenta el diseño de un sistema retráctil para el condensador con el fin de mejorar la aerodinámica del vehículo cuando el sistema está en su posición retraída (viaje en vacío o con carga no frigorífica) como cuando el sistema frigorífico está en su posición levantada (en funcionamiento). El trabajo incluye un estudio de la normativa existente, análisis de patentes, estudio de mercado, estudio de sistemas frigoríficos y de aspectos aerodinámicos. Por último, se ha realizado un estudio económico para conocer el ahorro medio de combustible debido a la mejora aerodinámica, para una furgoneta representativa del segmento. Según este estudio, se estima que la inversión necesaria podría recuperarse al cabo de 57000 km.

Palabras clave: sistema frigorífico, furgoneta, condensador, aerodinámica, ahorro de combustible.

ABSTRACT

The refrigerating vans of low capacity in which the cabin is connected with the cargo compartment, generally located the condensing equipment of the refrigerating system in the ceiling of the vehicle in a fixed way. This work shows the design of a retractable system for the condenser with the purpose of improving the aerodynamics of the vehicle and so reducing the fuel needs. When the van travels empty or with nonrefrigerating load, the system is in its lowest position, otherwise the refrigerating system is in raised position (in operation). The work includes a study of the existing regulations, patent analysis, market study, study of refrigerating systems and aerodynamic aspects. Finally, an economic study has been made to know the average fuel savings due to the aerodynamic improvement, for a representative van. According to this study, we estimate that the necessary investment could be recovered in less than 57000 km.

***Key words**: refrigerating system, vans, condenser, aerodynamics, fuel savings.*

INTRODUCCIÓN

Las furgonetas frigoríficas se utilizan para la distribución de productos perecederos, sobre todo alimentos y algunos productos farmacéuticos, a fin de no romper la cadena de frío. En el caso de las furgonetas frigoríficas de baja capacidad, se trata de vehícu-

los que no salen de fábrica con el sistema refrigerador adaptado ni incluido en su diseño original, sino que se suele instalar posteriormente por empresas independientes de la marca del vehículo. Hay dos formas para transformar una furgoneta convencional a una isotérmica: carrozándola de nuevo o aprovechando la carrocería. Después de esta transformación, se agujerea la chapa y se adaptan los sistemas frigoríficos comerciales a la carrocería. Estos sistemas comerciales suelen constar de tres partes principales: el equipo condensador, el equipo evaporador y el equipo de control situado en la cabina del conductor.

Los primeros vehículos utilizados de este tipo eran furgonetas diseñadas a partir de la plataforma de un vehículo utilitario. En la primera columna de la Fig. 1 se pueden ver unos ejemplos de estos vehículos de partida y en las siguientes columnas las furgonetas que se derivan. Como puede observarse, en las furgonetas de la 1ª evolución, existe un escalón entre la cabina del conductor y la zona de carga, que provoca una pérdida de aerodinámica del vehículo. Este escalón se aprovechaba para ubicar el equipo condensador en el caso de que la furgoneta fuera frigorífica o refrigerada. De esta forma, el equipo de frío no tenía una repercusión importante en la aerodinámica del vehículo (que seguía siendo baja), pero hacía que el conductor tuviera que soportar todo el ruido del equipo sobre su cabeza.

Con el tiempo, aspectos como el consumo de combustible y la aerodinámica fueron cobrando interés. Algunos fabricantes, diseñaron accesorios (Fig. 2) para mejorar estos aspectos, marcando así las tendencias en los nuevos diseños de furgonetas de baja capacidad.

Con el tiempo, aspectos como el consumo de combustible y la aerodinámica fueron cobrando interés

Fig. 1. Ejemplos de la evolución del diseño de furgonetas de baja capacidad

En **España**, el primer fabricante que empieza a vender furgonetas de baja capacidad tipo *monobloc* es **Peugeot** con el modelo **Partner** en 1999, seguido de **Citröen** con el modelo **Berlingo**. Posteriormente, todos los nuevos diseños de estos tipos de furgonetas han adoptado esta posición. En la 3ª columna de la Fig. 1 se pueden observar algunos vehículos de este tipo. De esta forma, se suprime el escalón y mejora la aerodinámica del vehículo, pero, en caso de disponer de sistemas de refrigeración, no se encuentra una ubicación idónea para su instalación.

El sistema convencional consiste en montar el aparato condensador en el techo del vehículo, en una posición más atrasada para evitar el ruido directo sobre el conductor (Fig. 3). Con el diseño final de estas furgonetas de baja capacidad, surge la necesidad de mejorar la disposición del sistema condensador para reducir las pérdidas aerodinámicas.

A continuación se presenta el diseño patentado [1] de un nuevo sistema retráctil de la unidad condensadora que es la que se opone al flujo de aire, para mejorar la aerodinámica de las furgonetas frigoríficas de baja capacidad con el fin de reducir el consumo de combustible respecto al de una furgoneta convencional. Este equipo condensador debe permanecer elevado sobre el techo de la furgoneta cuando el sistema refrigera-

Fig. 2. Cubierta aerodinámica del condensador en furgonetas de primera evolución

dor esté funcionando y ha de estar oculto, en caso contrario. Aparte, se pretende mejorar la aerodinámica del diseño actual con el sistema elevado. El sistema está pensado para furgonetas frigoríficas con capacidad de carga entre 2,5 y 4 m^3 de serie, con una parte de su recorrido hecho por carretera en vacío o en combinación con transporte no frigorífico. El sistema propuesto también es válido para furgonetas de mayor capacidad con fijación del equipo condensador en el techo. Para fijar ideas nos referiremos en todo momento a un modelo representativo del segmento estudiado: **Peugeot Partner** (3 m^3 de carga útil). En cuanto al equipo frigorífico, nos referiremos al modelo B-080 de la marca *Thermo King* [2].

2. FUNDAMENTOS DE AERODINÁMICA

Para poder valorar cuál es la mejor solución para reducir el consumo de combustible debido a la resistencia aerodinámica que ofrece el equipo

Fig. 3. Colocación habitual del condensador en una furgoneta frigorífica

condensador hace falta tener en cuenta una serie de factores definidos a continuación que influyen en este aspecto [3].

La resistencia aerodinámica es la fuerza que se opone al avance del vehículo a través del aire. Por lo tanto, no se tienen que considerar ni las fuerzas debidas al rozamiento con el suelo ni las fuerzas debidas a pendientes. Respecto a la interacción vehículo-aire, hace falta diferenciar el flujo de aire que circula por la parte interior al vehículo del flujo que circula por la parte exterior. El flujo de aire interior es necesario para la refrigeración del motor y del equipo condensador y para la circulación de aire para el habitáculo del conductor. El flujo de aire exterior crea zonas de presión, depresión y rozamiento viscoso. Este rozamiento viscoso origina un gradiente de velocidad entre las partículas en contacto con la superficie de la carrocería y la zona de fluido que circula libremente. La presión sobre la capa límite está determinada por el flujo que circula fuera de ella [4]. Si la presión aumenta, aumenta el rozamiento entre la superficie y el fluido, entonces se produce el retraso del flujo con la consecuente separación de la capa límite e incluso inversión de velocidades.

La capa límite es la separación entre el flujo de aire que sigue la superficie donde se tienen que considerar los efectos viscosos y la zona de aire donde no se consideran estos efectos. En el ataque del aire a una superficie primero la capa límite es laminar y después se hace turbulenta. Interesa que esta capa límite sea lo más laminar posible siguiendo la superficie del vehículo con objeto de disminuir la velocidad media de las partículas y la resistencia de fricción. La existencia de un gradiente de presiones condiciona el grosor de la capa límite. Si el gradiente de presiones es negativo, la resultante de las fuerzas de presión favorece el flujo del fluido, la capa límite se engancha al cuerpo y crece más lentamente. De esta forma el flujo no se separa y las pérdidas y la resistencia al avance disminuyen. La rugosidad de una superficie puede hacer mejorar la resistencia al avance: hace que se forme una zona de turbulencia en la parte posterior de los objetos más estrecha.

Cuando el vehículo circula a una cierta velocidad, en su parte posterior se incrementa la presión, se produce separación del flujo y se forma un efecto de succión que también contribuye a la resistencia aerodinàmica. Para valorar le eficacia aerodinámica, desde el punto de vista de la resistencia al avance, es necesario considerar tanto el **área frontal del vehículo**, A_f, como el **coeficiente de penetración**, C_D (adimensional), denominado también coeficiente de resistencia o coeficiente aerodinámico, que representa la eficacia de la forma de un cuerpo para desplazarse a través del aire [5]. C_D se determina de forma experimental en túneles de viento donde se ob-

La resistencia aerodinámica es la fuerza que se opone al avance del vehículo a través del aire

servan las corrientes de viento que se generan por el movimiento relativo entre el vehículo y el aire. El producto de estas dos variables se conoce como *factor de resistencia aerodinámica* (A_fC_D) expresado en m^2.La fuerza de rozamiento aerodinámico o resistencia aerodinámica (F_a) definida anteriormente se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_a = \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f v^2$$

donde ρ_a es la densidad del aire (se puede tomar 1,225 kg/m^3) y v es la velocidad del vehículo (m/s). Hay que señalar que la resistencia aerodinámica aumenta con el cuadrado de la velocidad.

Para el caso del vehículo estudiado (**Peugeot Partner**), el fabricante facilita los siguientes datos [6]: C_D = 0,37; A_fC_D= 0,9 m^2. Por lo tanto: A_f = 2,43 m^2

Y para el equipo frigorífico estudiado (*Thermo King* B-080): A_f = 0,14 m^2; C_D = 2 (aproximadamente) por la relación entre el área frontal y la longitud (si la carcasa fuera más larga haría que el flujo de aire dispersado se volviera a juntar y disminuiría el C_D). Por lo tanto: A_fC_D= 0,28 m^2.

3. ALTERNATIVAS EXISTENTES PARA REDUCIR LA RESISTENCIA AERODINÁMICA

Para tener un conocimiento del estado de la técnica se ha hecho un estudio de las patentes y modelos de utilidad relacionados con los sistemas de refrigeración aplicables a furgonetas y, en especial, de los diferentes diseños del grupo condensador [7]. De forma resumida, entre las alternativas que permitirían reducir la resistencia aerodinámica en las furgonetas actuales se pueden citar las siguientes:

- **Modificación de la carrocería**. Se trata de recortar una parte de la chapa que enlaza el parabrisas con la zona de carga para integrar el equipo condensador en la parte frontal superior de la cabina. Es decir, se trataría de volver al sistema antiguo en el que el condensador se situaba encima del escalón entre la cabina y la zona de carga. Con este sistema se consigue apenas no aumentar el área frontal, pero empeora el coeficiente aerodinámico (CD ≈ 2).

- **Carcasa aerodinámica con apertura frontal**. Se crea una carcasa envolvente de los componentes más aerodinámica cuidando sobre todo su parte frontal. Esta, con una inclinación progresiva incluye una entrada de aire hacia el radiador del condensador con un mecanismo móvil que actúa como una persiana abriendo unas láminas un cierto ángulo, según las necesidades de refrigeración del condensador. En caso de no requerir la opción frigorífica de la furgoneta, las láminas están totalmente cerradas y el aire sigue la forma de la carcasa aerodinámica. Con esta solución se consigue una mejora aerodinámica importante cuando el sistema frigorífico está apagado, pero es inadecuado para las furgonetas de baja capacidad ya que la longitud de techo disponible es inferior a la requerida para su instalación. Un diseño más reducido (peor aerodinámica) obligaría a desplazar el equipo condensador sobre la cabina tal como se ubicaba en las antiguas furgonetas (generando un problema acústico para el conductor).

- **Condensador en la parte delantera del vehículo**. El compresor se sitúa en el interior del capó, por lo que no se aumenta el área frontal de la furgoneta. Esta disposición es complicada puesto que los modelos de furgoneta actuales no presentan huecos en el interior; todos los sistemas están muy juntos y se tendrían que redistribuir. Y colocarlo en el exterior, por delante del parachoques, sería poco adecuado en caso de choque frontal, y las conducciones de tubos y cables serían más complicadas.

- **Condensador interior**. Este sistema se basa en ubicar el equipo condensador dentro del recinto de carga junto con el evaporador. Actualmente ya hay equipos frigoríficos de este tipo en el mercado (p.e., sistema Frigosoft de la marca Diavia [8]). Estos se instalan en furgonetas medianas o grandes puesto que al incluir el condensador y los sistemas auxiliares dentro del recinto isotérmico se pierde capacidad de carga muy crítica en los vehículos estudiados. Por otra parte, para tener una buena capacidad de refrigeración, hace falta que el aire incida sobre el evaporador; esto requiere una entrada de aire que también aumenta la resistencia aerodinámica.

- **Condensador retráctil**. Se trata de un sistema retráctil que esconde el condensador dentro del recinto de carga cuando éste no funciona. Con este sistema se consigue una ganancia aerodinámica total respecto al sistema convencional cuando el vehículo circula sin carga o con carga no frigorífica. Esta es básicamente la solución propuesta en el presente trabajo.

La Tabla 1 resume de forma comparada el factor de resistencia aerodinámica del diseño convencional con el resto de disposiciones analizadas, distinguiendo cuando el sistema frigorífico está en funcionamiento de cuando no lo está. Como puede ob-

Alternativa	A_fC_D funcionando	A_fC_D sin funcionar
Convencional	0.28	0.28
Modificación de la carrocería	0.25	0.25
Carcasa aerodinámica	0.22	0.03
Condensador delantero	0.23	0.23
Condensador interior	—	—
Condensador retráctil	0.28	0

Tabla 1. Valores de A_fC_D de las distintas alternativas

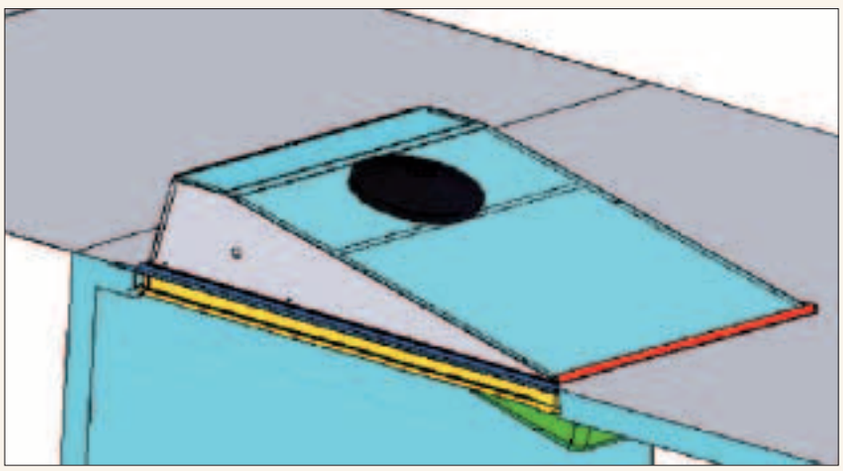

Fig. 4. Diseño propuesto con el condensador en posición elevada (sistema frigorífico en marcha)

servarse, excluyendo el caso del condensador interior que no es adecuado para furgonetas de baja capacidad, el valor de A_fC_D cuando el equipo de refrigeración está en funcionamiento es similar en todas las alternativas. Pero cuando el equipo está en reposo, el mejor valor se tiene sólo en el caso del condensador retráctil. El objetivo principal de este trabajo ha sido pues diseñar una carcasa retráctil que mejore la aerodinámica de ésta cuando el sistema de refrigeración funcione. Esta elección se ha realizado teniendo en cuenta también las limitaciones anteriormente expuestas de los otros sistemas aplicados al tipo de furgoneta estudiado.

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

El diseño propuesto consiste en un sistema retráctil compuesto por una carcasa, unos elementos auxiliares de sujeción y de aislamiento, y un mecanismo de elevación/descenso de todo el conjunto, que encierran el sistema frigorífico (condensador-evaporador), instalable en el techo de cualquier vehículo, aunque especialmente en el de las furgonetas de baja capacidad.

Cuando el vehículo transporta carga perecedera, el sistema frigorífico está en funcionamiento de forma que el condensador asoma al exterior desde la parte superior del techo del vehículo (Fig. 4). Cuando el vehículo no transporta ninguna carga o bien la carga transportada no es perecedera, el sistema frigorífico está apagado y bajado (Fig. 5). La acción de encender o apagar el sistema se lleva a cabo a voluntad del conductor a través de un interruptor situado en la cabina, el cual cierra o abre, respectivamente, el circuito eléctrico que une el sistema de elevación del conjunto con la fuente de alimentación, generalmente, la batería del vehículo. Cuando el conductor cierra el sistema, éste se retrae automáticamente. La acción elevación/retracción también puede darse de forma automática según las necesidades frigoríficas del recinto isotérmico (regulación por termostato).

Cuando el vehículo no transporta ninguna carga o bien la carga transportada no es perecedera, el sistema frigorífico está apagado y bajado

El sistema retráctil consta de dos bisagras en su parte posterior de forma que cuando el equipo condensador está elevado, la carcasa presenta un perfil lateral triangular y cuando el equipo está bajado, la base superior de la carcasa, enrasa con el techo del vehículo. El aislante térmico se dispone bajo la base inferior de la carcasa. Las aristas de la base frontal de la carcasa están redondeadas para disminuir la resistencia aerodinámica. La

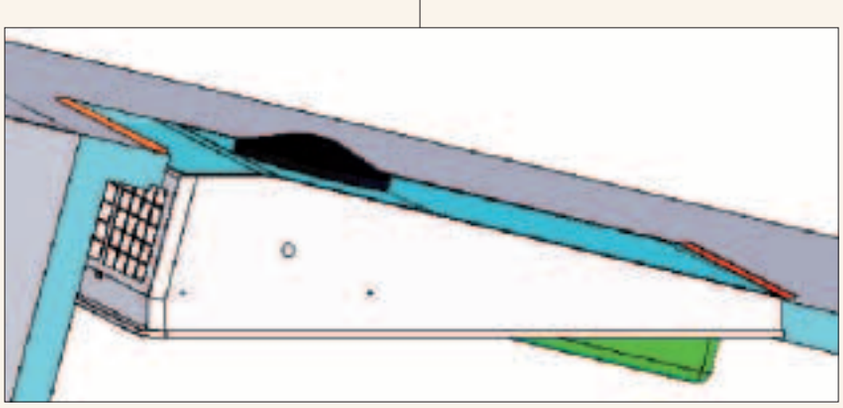

Fig. 5. Diseño propuesto con el condensador en posición retraída (sistema frigorífico parado)

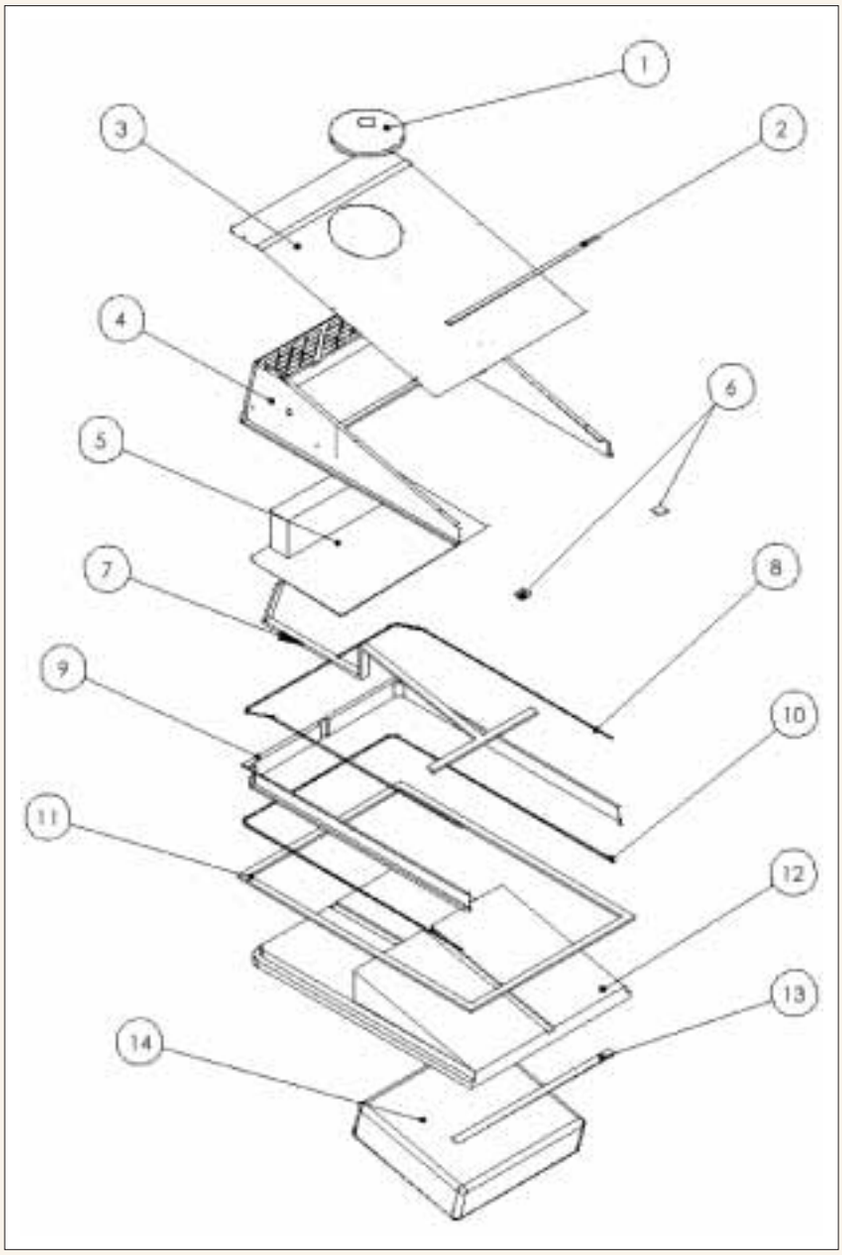

Fig. 6. Despiece de la solución propuesta

pared interior de la carcasa se recubre del mismo grosor de aislante que el resto de la furgoneta. La parte móvil y la parte fija entran en contacto a través de una junta aislante térmica cuando el equipo está elevado y es estanca con el sistema bajado.

En la Fig. 6 puede verse el despiece del sistema propuesto. El ventilador (1) se monta sobre la tapa (3) de chapa, mediante cuatro tornillos. La tapa (3) se fija también mediante tornillos sobre la carcasa (4), y es la pieza que se debe retirar en caso de revisión o avería del sistema frigorífico. El equipo condensador (5) permanece fijado a la parte frontal de la carcasa (4) mediante las mismas fijaciones que en el equipo convencional. El peso de estos componentes y del equipo evaporador (14) está soportado en la parte móvil por la estructura interior (7), que está articulada a la estructura exterior (11) mediante las dos bisagras (6). El marco exterior (9) encaja en la carcasa (4) y limita la expansión de aislante tipo poliuretano, como también lo hace la parte inferior de la carcasa (4). Estos dos elementos tienen fijadas dos juntas. Finalmente, se fijan las dos juntas planas (2) y (13) por encima y por debajo de las bisagras, y se sujeta el equipo evaporador (14). El aislante se coloca de tal forma que el condensador queda fuera del recinto isotérmico mientras que el evaporador queda dentro. Las juntas minimizan las posibles pérdidas de frigorías y dan continuidad isotérmica al aislante (12) de la parte móvil con el aislante de la parte fija de la carrocería.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

El coste total de la ingeniería y el incremento de coste en material y mano de obra necesarios para la adaptación de un sistema frigorífico

El objetivo principal de este trabajo ha sido pues diseñar una carcasa retráctil que mejore la aerodinámica de ésta cuando el sistema de refrigeración funcione

El sistema retráctil consta de dos bisagras en su parte posterior de forma que cuando el equipo condensador está elevado, la carcasa presenta un perfil lateral triangular y cuando el equipo está bajado, la base superior de la carcasa, enrasa con el techo del vehículo

convencional al sistema propuesto sería de unos **420 €** [7], lo cual representa un incremento de un 6,7 % respecto al precio del equipo convencional y un 1,9 % respecto el total de la compra de la furgoneta más la transformación (precio de la furgoneta = 16370 €).

Para conocer el ahorro de combustible que puede lograrse con este sistema respecto al sistema convencional, vamos a asumir un consumo medio de 6,7 L de gasoil/100 km a 90 km/h de velocidad media y que la furgoneta funciona un 70% del tiempo con carga frigorífica (equipo subido) y el 30% del tiempo viaja en vacío o bien transporta carga no perecedera (equipo bajado con $A_f \cdot C_D = 0$). El nuevo diseño de la carcasa del equipo frigorífico tiene un $C_D = 0.7$ frente al $C_D = 2$ de la carcasa convencional.

Sabiendo que, al aumentar la fuerza de resistencia al avance un 10%, el consumo de combustible aumenta un 4,2% a la velocidad de 90 km/h [4], se puede calcular el aumento del consumo de una furgoneta frigorífica convencional respecto al de una furgoneta no frigorífica, que se estima en un 13%. En el caso del diseño propuesto, ese aumento de combustible sería de un 3%, es decir, **un 10% menor** que en el caso convencional. Por lo tanto, a lo largo de su vida útil (unos 250000 km) y en base a las condiciones antes asumidas, la furgoneta podría llegar a ahorrar hasta 2000 € en gasoil, o lo que es lo mismo, amortizar el sobrecoste del equipo frigorífico al cabo de 57000 km. Evidentemente, si las condiciones de funcionamiento provocaran un mayor consumo de combustible (mayor velocidad y mayor tiempo con el equipo bajado), el ahorro sería mayor y la amortización del equipo se produciría antes.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] CREMADES OLIVER, Lázaro Vicente y SEGURA CASTELLS, Jordi. "*Sistema frigorífico con condensador retráctil para furgonetas de baja capacidad*". Solicitud de Patente nº P200501917, 2005.

[2] THERMO KING. http://www.thermoking.com/tk/index.asp?region=euromideafrica, Ene. 2005.

[3] AGUIRRE BALCELLS, José Antonio. "*Perfiles aerodinámicos y sus aplicaciones al consumo de energéticos*". México: Vol. I. Ed. Limusa, S.A., 1984. ISBN: 9681817060.

[4] HUCHO, Wolf-Heinrich (ed.). "*Aerodynamics of Road Vehicles*". 4ª Ed. SAE International, 1998. ISBN: 978-0-7680-0029-0.

[5] LIESA MESTRES, Francisco. "*Vehicles II*". Barcelona : ETSEIB-CPDA, 2004. ISBN: 84-95355-57-4

[6] AUTONEWS. http://www.autonews.fr/fr/fiche-technique-auto/peugeot/partner/, Mayo 2007.

[7] SEGURA CASTELLS, Jordi (2005). "*Sistema frigorífic amb condensador retràctil per furgonetes de baixa capacitat*". Barcelona: Proyecto Final de Carrera, 2005. ETSEIB-UPC.

[8] DIAVIA. http://www.diavia.es, Feb. 2005. ■