

NUEVA TECNOLOGÍA CERÁMICA PARA LA CATÁLISIS Y LA DISMINUCIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES Y PARTÍCULAS CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA

Joan Antoni Cusidó

Dpto. de Física e Ingeniería Nuclear

Lázaro V. Cremades

Margarita González

Dpto. de Proyectos de Ingeniería

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Abstract

Internal combustion engines have been causing a lot of pollution, as in their combustion process produce harmful gases such as CO, hydrocarbons, NO_x and particulate matter.

Environmental requirements on polluting aspects of the transport sector and in motor vehicles especially, and the demand for sustainable technology for the planet, lead to the need to improve the devices for depuration of gaseous and particulate matter emissions.

On the other hand, we can not forget the costs of implementing these systems in the automotive sector in a scenario of economic crisis, with increasing offer and declining demand.

In this context, we have been working on a project called MEDEA, which aims to achieve a new technology that combines the following parameters: simplicity; reduced cost of implementation; reduced emissions (able to meet Euro 6 regulations and reduce CO₂ emissions to 130 g/km); and durability.

In this paper we present the development and results of the first phase of this project carried out on behalf of the Chair SEAT.

Keywords: *ceramic foam; emissions; gases; particulate matter; motor vehicles*

Resumen

Los motores de combustión interna han sido causantes de una gran parte de la contaminación ambiental, ya que en su proceso de combustión producen gases nocivos, tales como CO, hidrocarburos, NO_x y material particulado.

Las exigencias ambientales sobre los aspectos contaminantes del sector transporte y en especial en los vehículos a motor, y la demanda de tecnología sostenible para el planeta,

conlleven a la necesidad de mejorar los elementos de depuración de emisiones gaseosas y de material particulado.

Por otro lado, no podemos obviar los costes de implementación de estos sistemas en el sector del automóvil en un escenario de crisis económica, de incremento de la oferta y de disminución de la demanda.

En este contexto, se ha estado trabajando en un proyecto, llamado MEDEA, cuyo objetivo es alcanzar una nueva tecnología que aúna los siguientes parámetros: simplicidad; disminución del coste de implementación; disminución de las emisiones (capaz de cumplir la normativa Euro 6 y disminuir las emisiones de CO₂ a 130 g/km); y durabilidad.

En esta comunicación se presentará el desarrollo y los resultados de la primera fase de este proyecto llevado a cabo por encargo de la Cátedra SEAT.

Palabras clave: *espuma cerámica; emisiones contaminantes; gases; material particulado; vehículos a motor*

1. Introducción

Los motores de combustión interna han sido causantes de una gran parte de la contaminación ambiental, ya que en su proceso de combustión producen gases nocivos, tales como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el material particulado (PM) y también el dióxido de carbono (CO₂), gas responsable en gran parte del efecto invernadero. El CO es un gas inodoro, incoloro y muy tóxico. El CO tiene un tiempo de vida en la atmósfera de 1 – 2 meses y el CO₂ tiene un tiempo de vida de 50 – 200 años, pero el CO se oxida a CO₂ prolongando así su permanencia en la atmósfera; algo similar pasa con el metano (Faust, 2009).

En cuanto a los hidrocarburos emitidos, el más común es el metano. No tiene consecuencias negativas sobre la salud humana, pero si contribuye al incremento del efecto invernadero. Pero existen otros hidrocarburos que al estar en grandes concentraciones pueden llegar a afectar la salud humana, en especial las vías cardiorrespiratorias y ser cancerígenos. Los NO_x, en presencia de hidrocarburos, contribuyen a la formación de ozono en la troposfera y sirven como catalizador para la formación de la niebla tóxica fotoquímica y la lluvia ácida. El óxido nitroso (NO) es uno de los mayores causantes del calentamiento global con un tiempo de vida medio de 170 años, después le siguen el amoníaco y el ión nitrato (Faust, 2009).

El material particulado, también conocido como hollín, está formado por partículas de tamaño < 3 μm que se introducen en las vías respiratorias y en el torrente sanguíneo causando grandes problemas en la salud, pudiendo llegar a ser cancerígeno.

A nivel normativo, la Directiva 70/220/CEE (CEE, 1970) ha sido la base de las normas aplicadas en la Unión Europea para la disminución de las emisiones causadas por los motores de combustión interna. Cada Directiva aprobada por el Consejo conlleva unos valores límites de emisiones contaminantes que deben ser tenidos en cuenta por los fabricantes de automóviles. En la Tabla 1 se pueden ver los valores límites reglamentados a través de las normas Euro 1 hasta las Euro 5 y 6. La Euro 5 tiene una fecha de aplicación con un rango comprendido entre 9/2009 – 12/2010, mientras que la Euro 6 tiene una fecha

abierta a partir del 01/2011, para que pueda ser implementada y cumplida por los diferentes países de la Unión Europea.

Tabla 1. Emisiones reguladas en la Unión Europea (mg/km) (MMA, 2006)

		CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
Diesel						
1991-1995	Euro 1	2720	-	970	-	140
1996-2000	Euro 2	1000	-	700	-	80
2001-2004	Euro 3	640	-	560	500	50
2005-8/2008	Euro 4	500	-	300	250	25
9/2009-12/2010	Euro 5	500	-	230	180	5
01/2011-	Euro 6	500	-	170	80	5
Gasolina						
1991-1995	Euro 1	2720	-	970	-	-
1996-2000	Euro 2	2200	-	500	-	-
2001-2004	Euro 3	2300	200	-	150	-
2005-8/2008	Euro 4	1000	100	-	80	-
9/2009-12/2010	Euro 5	1000	100	-	60	5
01/2011-	Euro 6	1000	100	-	60	5

(*) Nota: Exención, hasta el 1 de septiembre de 2012, para vehículos M1 Diesel pesados especiales: Vehículos con masa superior a 2000 kg que sean diseñados para llevar siete o más pasajeros, especiales, o para llevar sillas de ruedas. Estos vehículos seguirán las normas de los vehículos N1.

Las exigencias ambientales sobre los aspectos contaminantes del sector transporte y en especial en los vehículos a motor, por la reciente incidencia sobre el fenómeno del cambio climático y a la postre en la demanda de tecnología sostenible para el planeta conllevan a la necesidad de mejorar los elementos de depuración de emisiones gaseosas y de material particulado. Por otro lado, no podemos obviar los costes de implementación de estos sistemas en el sector del automóvil en un escenario de crisis económica, de incremento de la oferta y de disminución de la demanda.

En enero de 2008, el Gobierno Español para incentivar la compra de vehículos con menos emisiones contaminantes, decretó que los automóviles nuevos tuviesen un descuento en el impuesto de matriculación de la siguiente forma:

- Vehículos que emitan menos de 120 g/km de CO₂: Exentos.
- Vehículos que emitan de 121 – 160 g/km de CO₂: 4.75%
- Vehículos que emitan de 161 – 200 g/km de CO₂: 9.75%
- Vehículos que emitan más de 201 g/km de CO₂: 14.75%

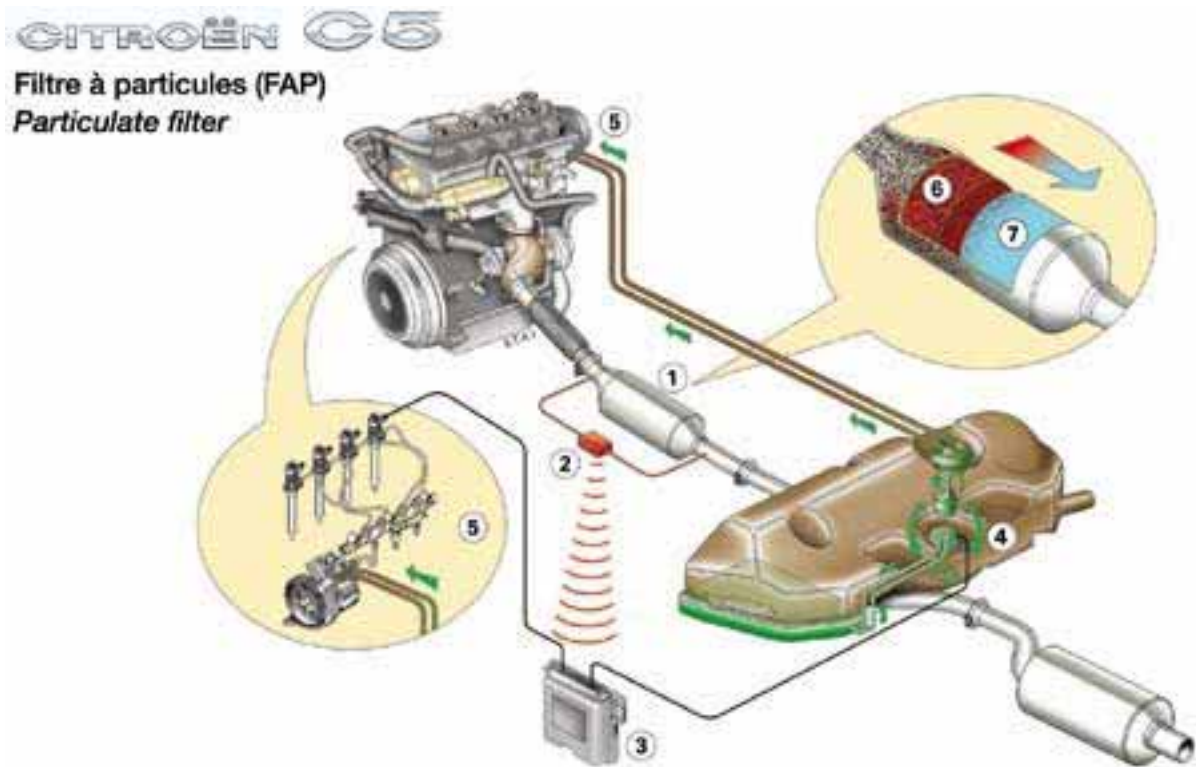
Es en este contexto en el que se sitúa el trabajo aquí presentado, fruto de un proyecto denominado MEDEA, realizado para SEAT. A continuación, se presentan los resultados de la primera fase de este proyecto (Cusidó, Cremades & Ramírez, 2009).

2. Objetivo

El proyecto MEDEA persigue implementar una nueva tecnología para la disminución de las emisiones de CO₂, del material particulado y demás elementos contaminantes de los gases de escape, tanto para cumplir con las normas Euro 5 y 6, como para la exención del impuesto de matriculación, que sea simple, económica, y eficaz, como una alternativa a los dispositivos actualmente existentes.

Existe ya una tecnología que adopta elementos cerámicos (generalmente, cordierita) dopados con platino para reducir de forma notable las emisiones de CO y NO_x, que se ha completado con la adición de filtros de partículas, también con resultados aceptables. Ejemplo de esta tecnología es el sistema implementado en el Citroën C5 (Figura 1).

Figura 1. Filtro de partículas en el Citroën C5 (PSA, 2008)



1. Ensamblaje del filtro de partículas y pre-catalizador
2. Sensores de temperatura y presión
3. Unidad ECU del motor
4. Inyección de aditivo al combustible en el tanque principal si es necesario
5. Información específica enviada a la cabeza del inyector cuando se necesita post – combustión
6. Pre – catalizador
7. Filtro de partículas

Lo que se propone aquí es simplificar ambos sistemas en uno solo, con la intención de lograr dos objetivos:

- I. Mejorar los rendimientos en un único sistema.
- II. Reducir los costes de implantación.

Por eso se propone emplear un nuevo material cerámico refractario y esponjoso basado en alúmina (Al_2O_3) y rutilo (TiO_2), dopado con elementos catalizadores de desarrollo propio a base de sales no solubles de vanadio, rodio y paladio, sin descartar la presencia minoritaria de sales de platino. Una ventaja de emplear como material base la alúmina es que ésta por sí misma también actúa de catalizador, aspecto que la cordierita empleada convencionalmente no dispone. Las características de percolación amorfa, así como también el carácter microporoso del producto, darían lugar a una muy superior superficie específica de contacto de los gases con los elementos catalizadores y a la vez de filtrado de partículas. Sería por lo tanto una tecnología totalmente novedosa que podría aportar mayores rendimientos a un menor coste.

3. Sistemas existentes para disminuir las emisiones de los motores de combustión

Para la reducción de los gases contaminantes se están utilizando varios procedimientos, entre los cuales podemos citar (Twigg, 2007): “common rail”, inyección de aire en el escape, recirculación de gases de escape, convertidores catalíticos y filtros de partículas. Algunos de ellos son específicos de los motores Diesel.

3.1 “Common rail”

El sistema moderno de inyección directa empleada en los motores diesel es una variante de la inyección directa de los motores a gasolina. Cuenta con una alimentación de alta presión (1000 bar) de combustible por un conducto común (“common rail”) a válvulas solenoides individuales, en oposición a la bomba de combustible de baja presión alimentada por una bomba con inyectores de combustible de alta presión, controlados por las levas del árbol de levas. Una de las principales características de los sistemas common rail diesel actuales son los inyectores piezoeléctricos para mayor precisión con el combustible y lográndose presiones de hasta 1700 bar (Lai & Dingle, 2005).

Las válvulas solenoides o piezoeléctricas hacen posible un buen control sobre el tiempo de inyección y la cantidad, así como la mayor presión proporciona una mejor atomización del combustible. Los motores con “common rail” no requieren de un tiempo de calentamiento y producen menos ruido y sus emisiones son menores en comparación con los motores más antiguos. En los viejos motores diesel, un distribuidor de tipo bomba de inyección es regulado por el motor, suministrando a través de los inyectores ráfagas de combustible y rociando la cámara de combustión del motor. Como el combustible está a baja presión y el control de la entrega de combustible no puede ser preciso, el spray es relativamente grueso y el proceso de combustión es relativamente ineficaz.

3.2 Inyección de aire en el escape

Se trata de un dispositivo de post-combustión, cuyo objetivo es introducir cierto volumen de aire en el colector de escape, con el fin de completar la combustión de los gases expulsados del cilindro, antes de salir al exterior. El oxígeno aportado de esta manera se combina fácilmente con los hidrocarburos que salen del cilindro a gran temperatura, completando su combustión, y junto con el monóxido de carbono lo transforman en bióxido de carbono. La inyección se realiza en las proximidades de las válvulas de escape, con el objeto de aprovechar las máximas temperaturas en estas zonas, mediante una bomba.

3.3 Recirculación de gases de escape

También denominado EGR, tiene como propósito fundamental la disminución de los NO_x emitidos durante el funcionamiento del motor, lo cual se logra regresando una pequeña

proporción (5 – 15%) de los gases de escape al colector de admisión, para ser introducidos en la cámara de combustión junto con los frescos. La mezcla así formada resulta empobrecida, lo que implica una sensible disminución de la velocidad de la combustión, reduciendo las temperaturas y presiones límites. Y así, se reduce la tasa de emisión de los NO_x , dado que solamente se forman con temperaturas y presiones elevadas.

Una limitación que presenta es que la reducción de los componentes reactivos en la cámara de combustión lleva al incremento del hollín. La cantidad de recirculación de los gases de expulsión también afecta el periodo de encendido. Si la velocidad de la recirculación de los gases de emisión es lo suficientemente grande para bajar la carga parcial, el retardo de ignición es tan grande que el componente difusivo de la combustión disminuye tanto que la ignición no se produce hasta que un gran porcentaje de la mezcla de aire/combustible se ha realizado.

3.4 Convertidores catalíticos

Estos dispositivos convierten los HC, CO y NO_x presentes en los gases de escape, en compuestos inactivos. El catalizador es un producto que puede provocar una transformación química, sin participar realmente en la acción global, sino solamente en etapas intermedias, haciendo que las diferentes moléculas del gas puedan ponerse en contacto con mayor facilidad para formar nuevos compuestos. Los catalizadores se disponen en forma de revestimiento interno en la caja de expansión del sistema de escape del vehículo, donde los gases a su paso son expuestos a la acción catalizadora del revestimiento. Generalmente se disponen dos tipos de catalizadores: uno para NO_x y otro para CO y HC. Bajo la acción catalizadora, los NO_x son descompuestos en oxígeno y nitrógeno; los HC son convertidos en CO_2 y H_2O ; y el CO es transformado en CO_2 .

Para asegurar la acción catalizadora y completar la combustión, es necesario asegurar la presencia de suficiente oxígeno, para lo cual el sistema de convertidor catalítico suele combinarse con un sistema de inyección de aire en el escape. En algunos casos se suele combinar el sistema de recirculación de gases con el de convertidor catalítico, donde el primero se encarga de la reducción de los NO_x , mientras que el otro hace lo propio con los HC y CO. Por tal razón, se dispone de un solo catalizador en lugar de dos (Alonso, 1997).

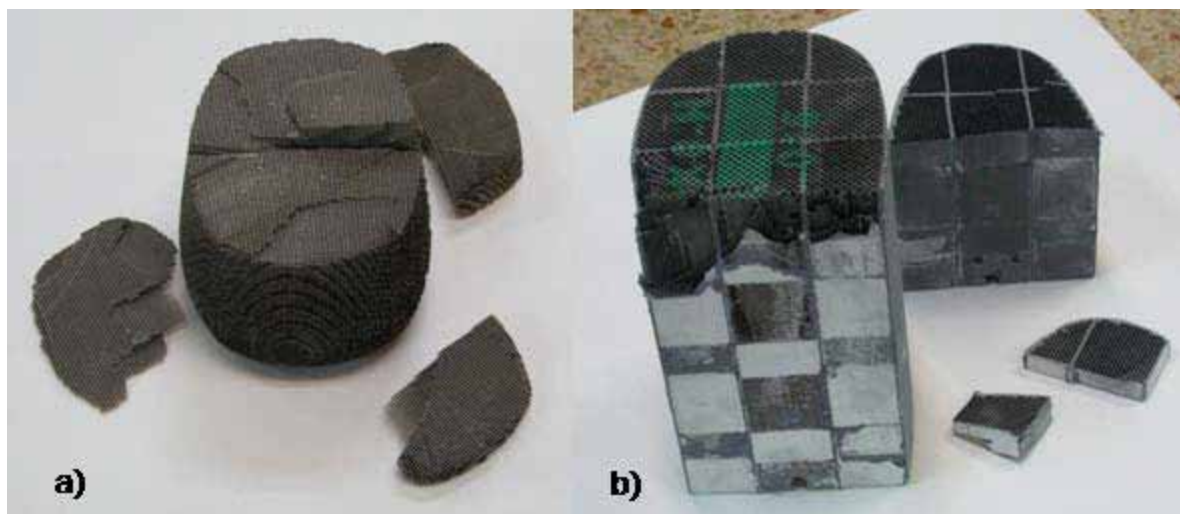
El catalizador está constituido en su interior por una estructura o monolito de material cerámico en forma de panel de abeja, para que haya una mayor área de contacto entre los gases y el material catalítico con el cual está recubierto. Este material consiste generalmente en metales preciosos como el platino y paladio que permiten la función de oxidación, y de rodio que interviene en la reducción, acelerando la reacción química. En su parte exterior el catalizador es un recipiente en acero inoxidable y está provisto de una carcasa-pantalla metálica antitérmica, también en acero inoxidable, que protege los bajos del vehículo de las altas temperaturas alcanzadas (Heck & Farrauto, 2001).

Los catalizadores existentes en el mercado suelen presentar unos soportes en forma de matriz cuadrada a base de cordierita (Figura 2a) o carburo de silicio (SiC) (Figura 2b). Para fabricarlos, se utilizan un molde con forma de rejilla por el cual se hace pasar la pasta mediante extrusión a presión.

3.5 Filtro de partículas

Consiste en un dispositivo con estructura similar al del panel de abeja, con una parte sellada y otra abierta, por la que los gases de expulsión son obligados a pasar. Así, los gases circulan libremente y el material particulado es retenido, formando una especie de capa, que al incrementarse la temperatura en un rango de 350 – 650 °C, se irá quemando. De esta forma se recupera el filtro y desaparece el material particulado. El filtro de partículas suele estar elaborado en cerámica (cordierita, carburo de silicio, titanato de aluminio).

Figura 2. Catalizador a base de: a) cordierita, y b) carburo de silicio



El proceso de regeneración del filtro de partículas requiere de un sistema de control y monitoreo. Este sistema registra el estado del filtro, como por ejemplo el nivel de saturación, la estrategia de regeneración a utilizar, y el monitoreo del filtro en si. Además, estos sistemas de monitoreo pueden intervenir en la inyección de combustible, en el sistema de toma de aire y en la dosificación de aditivos (Bosch, 2005).

4. Nuevo soporte de catalizador/filtro de partículas propuesto

En el marco del proyecto MEDEA, hemos realizado diversas pruebas en laboratorio para obtener un nuevo soporte catalizador usando la técnica del “replicado cerámico”, a partir de una matriz base. Esta técnica consiste en sumergir el material de base en una suspensión cerámica, escurrirlo, secarlo y cocerlo a una temperatura tal que el material de base desaparece, pero no el material cerámico, el cual “replica” la estructura reticular del material de base.

En nuestro caso, el material de base ha sido la espuma de poliuretano. Para ello, se han utilizado dos espumas de densidades diferentes: una de poro grueso y otra de poro fino (Figura 3). Por otro lado, se han preparado diferentes formulaciones de barbotinas cerámicas en las cuales se han sumergido las espumas de poliuretano.

Tras escurrir el líquido sobrante de la suspensión cerámica, las espumas impregnadas de barbotina se han secado en una estufa y seguidamente se han cocido en horno eléctrico hasta una temperatura máxima de 1200 °C durante 1 hora, según una rampa con una duración total de 14 horas. Algunos ejemplos de los productos finales obtenidos pueden verse en la Figura 4.

Tras obtener el soporte, hace falta sellarlo para impedir que los gases de combustión puedan evacuarse por las paredes laterales del soporte. Para ello, se ha ensayado un recubrimiento externo a base de mortero refractario, de forma similar al empleado en los sistemas catalizadores convencionales (Figura 5).

Figura 3. Espumas de poliuretano de dos densidades diferentes



Figura 4. Soportes catalizador de poro grueso y poro fino obtenidos en laboratorio



Figura 5. Soportes catalizador de poro grueso sin y con recubrimiento exterior, obtenidos en laboratorio



El nuevo producto presenta ciertas ventajas respecto a los soportes catalizadores de cordierita o de SiC:

- Para su fabricación, no hace falta emplear la extrusión de pasta cerámica, que es una técnica mucho más costosa que la técnica de replicado cerámico aquí ensayada.
- El producto presenta una irregularidad en los canales libres que provoca un mayor contacto gas-sólido, que puede mejorar el rendimiento global del catalizador, con una pérdida de carga similar, para la eliminación de partículas y también de gases contaminantes.
- Los materiales cerámicos empleados para la síntesis del soporte son de por sí activos como elementos catalizadores de las reacciones de oxidación, pero es posible agregar elementos activos catalizadores para potenciar las reacciones de oxidación o de reducción.
- El soporte presenta una densidad mucho menor que el soporte convencional, lo cual quiere decir menor peso de catalizador.
- La tecnología empleada es fácilmente escalable a nivel industrial.

5. Aproximación a la producción industrial del catalizador/filtro de partículas

A continuación, se describe aproximadamente lo que sería el proceso industrial a seguir para el uso de la tecnología experimentada en laboratorio.

En primer lugar, las espumas de poliuretano se suministran en forma plana de 2 x 1 m² y 10 cm de espesor. Este material existe en diferentes modalidades y fabricantes; suele emplearse en filtros de aire en instalaciones industriales, climatización, etc.

El material base (en forma de plancha o cilindro) se sumerge previamente en una solución al 5% de sal sódica, aluminato sódico o pelculante orgánico para dotar de carga iónica la superficie del material. Tras 5 minutos se extrae y se seca a 100 °C durante 12-24 horas. A nivel industrial, se puede aprovechar el intercambio de calor de los gases provenientes del horno cerámico.

Por otro lado, se preparan las barbotinas cerámicas en una relación de un 35-40% de agua por materia seca. La mezcla se dispone en un molino de bolas convencional para homogenizar y deflocular la pasta. Una vez medida la viscosidad y tixotropía se traslada a depósitos agitados para mantener sus propiedades reológicas, y de allí se vierte a unas balsas de acero inoxidable u otro material.

Los productos de poliuretano se sumergen en las balsas, provistas en su parte inferior de un sistema de agitación suave que impide la precipitación de la barbotina. Las planchas de poliuretano permanecen sumergidas en la barbotina durante unos minutos; a continuación se elevan por encima de la balsa y se vuelven a sumergir, repitiéndose esta etapa no menos de tres veces. La barbotina resultante puede ser reutilizada. Una vez escurridas las piezas, por gravedad y ventilación forzada, se secan a temperaturas elevadas, esto es, por encima de 100° C y por un tiempo superior a 12 horas.

Seguidamente, se procede a una segunda imprimación con una barbotina de baja viscosidad y elevada tixotropía que permita incorporar los óxidos de metales de catálisis. Recordemos que, aunque el material cerámico ya contiene metales catalizadores como el aluminio y el titanio, se puede completar su composición con soluciones tamponadas de

óxidos de paladio, rodio, zirconio, tungsteno, etc., para dar cobertura a los procesos de catálisis óxido/reductora de los gases provenientes de los motores de combustión.

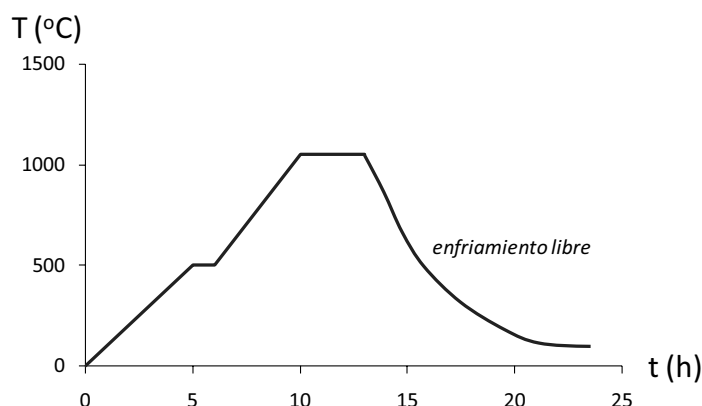
Tras las imprimaciones, las planchas adquieren un peso considerable cada una (\cong 100 kg, al menos cinco veces el peso inicial del poliuretano).

Debemos señalar que en el estadio actual de la investigación desconocemos si la segunda imprimación se deberá llevar a cabo con el producto en verde (cocción previa) o bien después de un primer proceso de sinterización. En todo caso, una segunda cocción (bicocción) tendría lugar a baja temperatura (1000° C) para impedir “embeber” los óxidos catalizadores en el sustrato de titanato de aluminio.

En el proyecto MEDEA, hemos hecho especial hincapié en hallar procedimientos industriales de bajo coste. Sabiendo que el proceso de ceramización puede suponer el 40% del coste de producción, se ha procurado que la propuesta se circunscriba al ámbito medio de un proceso térmico, esto es, no superar la barrera de 1300 °C que supone la disposición de hornos de la cerámica sanitaria (porcelana, gres, etc.). Se trata de hornos intermitentes ya disponibles con facilidad, que no conllevarán elevados costes de implementación. Debemos señalar que hornos capaces de operar a mayor temperatura (1800 °C), como sería el caso de optar por cerámicas de carburo de silicio, podrían invalidar la propuesta por su elevado coste, tanto de compra como por consumo energético.

Nuestra propuesta asume que esta producción se llevaría en una empresa ya preexistente del sector sanitario como diversificación de su producción habitual. La curva de cocción en horno que se presenta en la Figura 6. ha estado contrastada por ensayos en laboratorio. A escala industrial pueden darse algunas modificaciones. En relación a la primera parte de la misma, se debe mencionar que se produce una destrucción pirolítica del poliuretano, por que deben tomarse precauciones en esta primera fase (5 horas), para alcanzar 500 °C y un “plateau” de 1 hora a esta temperatura. Para el resto de la programación, para alcanzar la temperatura máxima no se prevén mayores dificultades a las propias de un tratamiento térmico convencional.

Figura 6. Curva de sinterización cerámica aproximada



Un segundo proceso de sinterización tendría lugar a temperaturas próximas a los 1000° C, con el objetivo de que los óxidos de los metales catalizadores se adhirieran a la superficie de la matriz cerámica. Con ello, se garantizaría su presencia en la superficie del cuerpo cerámico y por tanto poder realizar con efectividad las reacciones químicas requeridas.

Las planchas, una vez finalizado el proceso de cocción, se cortan en paralelepípedos de 30 x 10 x 9 cm³. No se considera necesario efectuar un corte refrigerado por agua, ya que se trata de un material cerámico de baja densidad.

Es bien sabido que la cerámica es un material duro y frágil a la vez. Para mantener una estructura esponjosa en condiciones mecánicas y térmicas especialmente duras (vibraciones y temperaturas elevadas), se hace necesario proteger el producto con un cementado lateral que proteja la pieza cerámica. Este cementado refractario se puede aplicar por "spray". Luego, el producto se calefacta a 250° C para obtener un resultado óptimo. Se debe tener especial atención en que la refracción por secado no conlleve a la separación de la superficie del filtro de la capa cerámica en contacto. Por ello el cemento refractario debe aplicarse en forma diluida y secado inicialmente al aire, antes de su incorporación en la estufa de secado a 250° C.

6. Consideraciones finales

En la producción industrial del soporte catalizador/filtro presentado, el aspecto más importante a tener en cuenta desde el punto de vista ambiental, es la formación de atmósferas contaminantes durante las primeras fases del proceso de cocción, al quemarse la espuma de poliuretano. No obstante, las emisiones procedentes de la pirolisis de la base de poliuretano durante el proceso de sinterizado pueden cumplir con la legislación vigente sin mayores dificultades técnicas.

Asumiendo que la planta se incluyera como línea de producción en una industria del sector cerámico-sanitario ya existente, estimamos que la inversión necesaria sería de unos 500.000 € para una producción anual de unas 10.000 unidades. En dicha inversión no se cuenta el coste de los hornos de sinterización, ya que se consideran como ya preexistentes en la industria cerámica (serían con mucho los elementos más costosos). El coste estimado de cada unidad de elemento filtrante/catalizador sería como mínimo de unos 50 €, teniendo en cuenta todos los costes de explotación (materias primas, energía, mano de obra, amortización e indirectos). A este coste hay que añadirle el de la carcasa y el de montaje del elemento (como referencia, actualmente el precio de un catalizador convencional completo es de unos 1.000 € PVP).

Esta hipótesis haría más viable la introducción del producto en el mercado y reduciría los riesgos. Si la producción fuese exitosa, por supuesto podría considerarse a posteriori la creación de una industria genérica que estuviera conectada con los fabricantes de las partes metálicas de los sistemas de escape o evacuación de los gases.

En el estado actual del proyecto MEDEA, se ha concluido la primera fase. Hace falta realizar experimentación a escala real aplicando el prototipo en pruebas de calle y carretera (100.000 ó 200.000 km). Para proseguir el proyecto, se está a la espera de conseguir la financiación necesaria.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a Claudia Ramírez su ayuda en la elaboración de la memoria del proyecto MEDEA y a la Cátedra SEAT su financiación en la primera fase de dicho proyecto.

8. Referencias

Alonso J.M. (1997). *Técnicas del Automóvil: Motores*. Madrid: Ed. Paraninfo.

Bosch, R. (2005). *Diesel Engine Management*. NJ: Ed. Wiley.

CEE (1970). *Directiva 70/220/CEE del Consejo, de 20 de marzo de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros en materia de medidas que deben adoptarse contra la contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a motor*. URL: http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=ES&numdoc=31970L0220&model=guichett. Acceso octubre 2008.

Cusidó, J.A., Cremades, L.V., & Ramírez, C.P. (2009). *Desarrollo de tecnología cerámica para la catálisis y la disminución de la emisión de gases y partículas contaminantes a la atmósfera integrado en un único elemento*. Proyecto MEDEA. Primera fase. Informe final. Barcelona: Ref. MEDEA_0912_0.

Faust, D.R. (2009). *Global Warming: Greenhouse Gases and the Ozone Layer*. The Rosen Publishing Group, Inc.

Heck, R.M., & Farrauto, R.J. (2001). Automobile exhaust catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 221 (1), 443-457.

Lai, M.D., & Dingle, P.J. (2005). *Diesel Common Rail and Advanced Fuel Injection Systems*. SAE International.

MMA (2006). *Energía, Transporte y Medio Ambiente*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino de España, Sección Estadística. URL: http://www.mma.es/secciones/info_estadistica_ambiental/estadisticas_info/memorias/2006/pdf/IV_4_ANEXO.pdf. Acceso noviembre 2008.

PSA (2008). *El sistema de filtro de partículas Citroën: para una mejor protección del medio ambiente*. URL: <http://www.automotriz.net/tecnica/filtro-particulas-citroen.html>. Acceso Octubre 2008.

Twigg, M.V. (2007). Progress an future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 70 (1-4), 2-15.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Lázaro V. Cremades

Dpt. de Projectes d'Enginyeria
ETSEIB-UPC, Av. Diagonal 647, planta 10
08028 Barcelona (Spain)
Phone: +34 934011750
Fax: +34 934016646
E-mail: lazaro.cremades@upc.edu