

# MANTENIMIENTO, RECICLAJE Y RENOVACIÓN DE CATALIZADORES DE AUTOMÓVILES

• Jaime Condori Marza\*

## Resumen

El proyecto estuvo orientado a la determinación de procedimientos específicos para el uso, mantenimiento y reciclaje de catalizadores de automóviles, estableciendo criterios técnicos para la prestación de servicios del catalizador dentro del tiempo de trabajo previsto en las especificaciones del fabricante, y evitar su extracción prematura e injustificada o, en el caso de que éstos ya no efectúen la modificación de los gases contaminantes. Proponiendo además, un procedimiento para recuperar el platino de los monolitos cerámicos de convertidores catalíticos en desuso.

**PALABRAS CLAVES:** Metales de uso en la catálisis de gases de escape. Catalizador. Mantenimiento preventivo. Procesos de reciclaje para monolitos catalizadores en desuso.

## Abstract

The project was aimed at determining specific procedures for use, maintenance and recycling of automobiles catalytic converters, establishing specific technical criteria that contributes to the efficient work of the catalyst within the working time depicted in the manufacturer's specifications and therefore avoids his untimely and unjustified extraction or, in the event that they no longer fulfill the function of neutralizing polluting gases. Also proposing a method for recovering platinum ceramic monoliths of catalytic converters disused.

**KEYWORDS:** Metals for use in the catalysis of exhaust gases. Catalyst. Preventive Maintenance. Monoliths recycling processes for exhaust gas catalysts.

## Resumo

O projeto teve por objetivo determinar procedimentos específicos para a utilização, manutenção e reciclagem de catalisadores para automóveis, que estabelece os critérios técnicos específicos que contribuem para o trabalho eficiente do catalisador dentro do tempo de trabalho especificado nas especificações do fabricante e, portanto, evitar sua extracção intempestiva e injustificada, ou, no caso de deixarem de cumprir a função de neutralizar gases poluentes. Também propõe um método para a recuperação de platina monólitos de cerâmica de conversores catalíticos em desuso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metais para utilização na catálise de gases de escape. Catalisador. Manutenção preventiva. Reciclagem monólitos catalisadores de gás de escape processos.

**Article history:** Received 30 July 2015. Style revision 12 august 2015. Accepted 19 august 2015

## INTRODUCCIÓN

En el funcionamiento de motores (ciclo de cuatro tiempos) a través de la producción de gases por combustión (reacción combustible-oxígeno), se produce una mezcla de compuestos gaseosos de escape: Vapor de agua H<sub>2</sub>O, Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>, Oxígeno residual, Monóxido de Carbono CO, combustible no quemado HC y Óxidos de Nitrógeno NO<sub>x</sub>. En esta mezcla, los más peligrosos para el medio ambiente y el ser humano son: CO, HC y NO<sub>x</sub>. En consecuencia, para contrarrestar sus efectos principalmente sobre el medio ambiente, desde hace tiempo atrás se están incluyendo en los automóviles sustancias químicas (*catalizadores positivos*<sup>1</sup>) que en el menor tiempo posible cambian la composición de los gases de escape antes de liberarlos a la atmósfera, reduciendo la proporción de CO, HC y NO<sub>x</sub> en la mezcla de emisiones de escape.

La inclusión de convertidores catalíticos post combustión, en los vehículos modernos, busca reducir sustancialmente las emisiones de gases contaminantes. Pero para lograr este resultado, todos los otros componentes del sistema de control de emisiones y principalmente los compuestos químicos componentes de los catalizadores, deben *mantenerse activos y eficaces* para reducir en los gases de escape la presencia de: CO, HC y NO<sub>x</sub>. Sin embargo, en nuestro medio es frecuente observar que, por ignorancia técnica o por un inadecuado mantenimiento, se desechan los catalizadores originales de los vehículos y no se los reemplaza. Afectando así, los niveles de contaminación gaseosa post combustión. Sustancias

Esta situación observada, ha conducido a proponer y desarrollar el proyecto de la Carrera de Mecánica Automotriz, Facultad de Tecnología: Mantenimiento, reciclaje y renovación de catalizadores de automóviles en las ciudades de La Paz y El Alto, financiado con recursos de IDH – UMSA.

<sup>1</sup> Materiales que intervienen en una reacción química, aumentando la velocidad de reacción parcial o totalmente sin cambiar su composición interna.

## DESARROLLO

### Etapas del proyecto

1. Mediciones<sup>2</sup> en los gases de escape (392<sup>3</sup> automóviles ciudades de La Paz y El Alto).
2. Determinar la eficiencia del catalizador<sup>4</sup>.
3. Reciclar el platino, a partir del tratamiento químico de los convertidores catalíticos.

### Objetivos:

- Determinar los niveles de emisión de gases contaminantes de automóviles con y sin catalizador, en base a mediciones de emisiones vehiculares en las ciudades de La Paz y El Alto, que orienten sobre las condiciones adecuadas de operación y uso de catalizadores.
- Establecer parámetros técnicos para el mantenimiento y renovación de convertidores catalíticos de acuerdo con las especificaciones técnicas de prestación.
- Identificar un método de extracción del platino, como metal activo, de los catalizadores en desuso.

<sup>2</sup> Analizador de Gases Alfatest Mod. Discovery G4: Con capacidad para detectar monóxido de carbono CO, oxígeno O<sub>2</sub>, hidrocarburos no quemados HC, bióxido de carbono CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. Analizador de Calidad de Aire Delta Ohm, Mod. HD21AB17 que permite medir contemporáneamente los parámetros: Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, Monóxido de carbono CO, Presión atmosférica, Temperatura y Humedad relativa.

<sup>3</sup> Involucró la participación voluntaria de propietarios de una gama de modelos, procedencia y estado de vehículos, cubriendo un amplio rango de kilometraje (3000 a más de 10000 km), lo cual, sin embargo, no constituye necesariamente una muestra representativa del parque automotor local.

<sup>4</sup> Para la determinación de la eficiencia del convertidor catalítico se aplica la siguiente expresión:

$$EF_M = \frac{A_s - A_c}{A_s} \cdot 100$$

Donde:

EF<sub>M</sub>: Eficiencia del Convertidor catalítico respecto a M, (M representa la medición de cada uno de los gases analizados: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC). A<sub>S</sub>: Medida en volumen de la emisión registrada del gas escogido sin el convertidor catalítico. A<sub>C</sub>: Medida en volumen de la emisión registrada del gas escogido con el convertidor catalítico.

## Vigencia de los convertidores catalíticos

Los convertidores catalíticos fueron instalados en Estados Unidos por primera vez, aceptando las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en 1975. La utilización de convertidores catalíticos en vehículos de Europa comienza en 1986 y su inclusión en adelante, logró disminuir notablemente la contaminación, incluso con la demanda creciente de vehículos. En la actualidad los *convertidores catalíticos de tres vías son un estándar para más del 80% de los automóviles nuevos en el mundo.*

En el ámbito nacional, se considera al convertidor catalítico como parte del equipamiento estándar en los automóviles importados, sin embargo, no se cuenta con una normativa específica que regule la inclusión del catalizador en los automóviles nuevos que ingresan en el país, es más, en el Reglamento de la Ley 3467 para la Importación de Vehículos Automotores, en su capítulo II, artículo 4, dice: *“Los vehículos automotores nuevos fabricados con volante de dirección a la izquierda no están sujetos a la presentación de ningún certificado técnico ni medio ambiental”*. De este modo, las disposiciones legales, y normativa vigente sólo se refieren a la contaminación atmosférica y medición de emisiones gaseosas en fuentes móviles, como es el caso de la Ley 1333 – Ley de Medio Ambiente y su reglamentación en materia de contaminación atmosférica.

## Resultados de las mediciones:

En las ciudades de La Paz y El Alto, se midió la presencia de: HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> procedentes de los tubos de escape de la muestra de automóviles establecida (régimen de 1000 a 2500 rpm), utilizando el analizador de gases Alfatest Mod. Discovery G4. Si bien, esta prueba se usa para analizar los gases de escape y posteriormente establecer si los niveles de emisión se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente<sup>5</sup>, también puede usarse para determinar el *estado del catalizador*. Ver tabla 1

**Tabla 1**  
Valores de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en gases de escape  
Ciudad de La Paz

| % Volumen       | Máximo | Promedio | Mínimo |
|-----------------|--------|----------|--------|
| CO              | 0,45   | 0,18     | 0,14   |
| CO <sub>2</sub> | 14,70  | 11,17    | 10,80  |
| O <sub>2</sub>  | 10,12  | 3,17     | 0,19   |

Fuente: Elaboración propia

### Criterio de evaluación

|                 |                                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> | Valores elevados indican una alta eficiencia                                                          |
| O <sub>2</sub>  | Valores elevados indican una situación de mezcla pobre                                                |
| CO              | Valores altos indican una situación de mezcla rica y son un indicador de <b>combustión incompleta</b> |

Fuente: Tenneco Inc. Understanding catalytic converter 2013

Por lo tanto, las mediciones de CO obtenidas, muestran que el convertidor mantiene su actividad catalítica.

Este resultado, es menor al *límite máximo de CO permisible de 2,5 % en volumen –NB 62002*, según el año de fabricación del vehículo periodo 1998 a 2004.

<sup>5</sup> NB 62002 Calidad de aire y el Reglamento sobre contaminación atmosférica de la Ley 1333.

En cuanto a los valores de NO<sub>x</sub>, es necesario aclarar que el nivel emitido se comprueba normalmente en un *dinamómetro con el motor sometido a carga parcial*. En consecuencia, los datos obtenidos con el analizador de gases se consideran sólo como aproximaciones.

En la tabla 2, se muestran los valores de Hidrocarburos volátiles HC en los gases de escape:

**Tabla 2**  
Valores de HC en gases de escape  
Ciudad de La Paz

| % Volumen | Máximo | Promedio | Mínimo |
|-----------|--------|----------|--------|
| HC        | 75     | 62       | 25     |

Fuente: Elaboración propia

### Criterio de evaluación

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HC >><br>O <sub>2</sub> >> | Mediciones altas de HC, junto a lecturas altas de oxígeno, señalan fallas de encendido en el motor o desequilibrio de los cilindros. Esto puede causar que el convertidor se sobrecaliente y que la envoltura se ponga roja y se descolore, lo cual hará que el sustrato se derrita. |
| HC <<                      | Mediciones de HC bajas son siempre mejores para la eficiencia del motor y del convertidor.                                                                                                                                                                                           |
| HC >                       | Una lectura elevada de HC puede asociarse con un exceso de carbono que inhibe la acción del catalizador.                                                                                                                                                                             |

Fuente: Tenneco Inc. Understanding catalytic converter 2013

La interpretación de resultados permite establecer que las lecturas bajas de HC (promedio registrado) indican que el convertidor está funcionando. Por otra parte, las causas potenciales de mediciones altas de HC pueden ser: *Una carga excesiva en el motor o el vehículo. Un sistema deficiente en la calidad de suministro del combustible. Sensores de oxígeno desgastados. Contrapresión excesiva. Chispa deficiente o encendido débil.*

Por otra parte, teniendo en cuenta que las mediciones fueron desarrolladas sobre automóviles con catalizador, es evidente la intención de verificar la eficiencia de éste en la reducción de las emisiones vehiculares, lo cual es posible mediante la comparación de los valores obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en la NB 62002, que en el caso particular establece lo siguiente:

|                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| Fabricación vehículo | (Desde 1800 msnm) |
| Periodo 1998 a 2004  | HC 450 ppm        |

En cuanto a los resultados de las mediciones efectuadas en la ciudad de El Alto. Ver tablas 3 y 4.

**Tabla 3**  
Valores de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en gases de escape  
Ciudad de El Alto

| % Volumen       | Máximo | Promedio | Mínimo |
|-----------------|--------|----------|--------|
| CO              | 6,55   | 1,10     | 0,00   |
| CO <sub>2</sub> | 14,90  | 12,60    | 2,40   |
| O <sub>2</sub>  | 13,71  | 4,50     | 0,38   |

Fuente: Elaboración propia

*Las lecturas elevadas de CO indican una situación de mezcla rica y son un indicador de combustión incompleta atribuible al estado de mantenimiento de los vehículos automotores, sin embargo, el promedio registrado está por debajo del límite permisible de 2,5 % en volumen –NB 62002.*

**Tabla 4**  
**Valores de HC en gases de escape**  
**Ciudad de El Alto**

| % Volumen<br>HC | Máximo | Promedio | Mínimo |
|-----------------|--------|----------|--------|
|                 | 79     | 66       | 21     |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indican problemas de control de emisiones del motor, lo cual puede relacionarse con un convertidor que esté fallando pero, también, puede deberse a que hay más de un problema relacionado con el motor. Por lo tanto, para establecer que los resultados obtenidos corresponden al efecto específico, es decir, la actividad del catalizador, se efectuó una prueba comparativa.

### Resultados de la prueba de comparación

Se midió la presencia de cuatro gases generados por la combustión del motor, bajo dos condiciones: funcionando el motor con catalizador y sin catalizador, utilizando el equipo analizador de gases calibrado y en una secuencia de trece mediciones de forma consecutiva, ver tabla 5.

**Tabla 5**  
**Resultados de las mediciones de gases de escape**  
**sin el convertidor catalítico**

| %               | Prueba<br>VEH. 1<br>Promedio | Prueba<br>VEH. 2<br>Promedio | VALORES MÁXIMOS<br>DE REFERENCIA<br>NB62002 |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| CO              | 2,49                         | 2,20                         | 2,5                                         |
| CO <sub>2</sub> | 13,57                        | 11,78                        | -                                           |
| O <sub>2</sub>  | 9,83                         | 10,49                        | -                                           |
| HC (ppm)        | 55,66                        | 53,00                        | 450                                         |

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas efectuadas sin convertidor catalítico para dos vehículos como motor a gasolina, indican valores muy próximos los límites de referencia NB 62002 (CO y HC).

La tabla 6, registra los resultados obtenidos al medir las emisiones con el convertidor catalítico, durante una operación que puede considerarse similar a la normal y efectuada a la temperatura de 400 °C en el convertidor.

**Tabla 6**  
**Resultados de las mediciones de gases de escape**  
**con el convertidor catalítico**

| %               | Prueba<br>VEH. 1<br>Promedio | Prueba<br>VEH. 2<br>Promedio | VALORES MÁXIMOS DE<br>REFERENCIA |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| CO              | 0,30                         | 0,31                         | 2,5                              |
| CO <sub>2</sub> | 13,48                        | 11,76                        | -                                |
| O <sub>2</sub>  | 9,30                         | 9,98                         | -                                |
| HC (ppm)        | 45,6                         | 26,0                         | 450 ppm                          |

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas realizadas permiten observar que el empleo del convertidor catalítico determina:

- Una notable reducción en la cantidad de CO que se emite a la atmósfera.
- Una reducción en la cantidad de hidrocarburos HC no quemados.

Sin embargo, las mediciones efectuadas no permiten establecer diferencias importantes en la emisión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

### Evaluación de la actividad catalítica

La actividad del catalizador determina el porcentaje de conversión en los componentes contaminantes. A partir de las mediciones efectuadas al vehículo 1 (por ejemplo) se establece que:

$$EF_{CO} = \frac{2,49 - 0,3}{2,49} \cdot 100 = 87,95\%$$

Sucesivamente para los otros contaminantes se tiene:

$$EF_{CO_2} = 0,66\%$$

$$EF_{O_2} = 5,39\%$$

$$EF_{HC} = 18,07\%$$

Lo cual muestra que, la actividad de conversión del catalizador es mayor sobre el CO y HC, pudiéndose establecer además que, en comparación con vehículos accionados por motores Otto desprovistos de sistemas para la reducción de gases de escape, la inclusión de convertidores catalíticos conduce a una disminución en las emisiones contaminantes.

Por otra parte, los valores obtenidos coinciden con resultados reportados en fuentes bibliográficas, donde se marcan diferencias significativas entre las emisiones de un motor sin catalizador (100% de emisiones) con los sistemas con catalizador de tres vías de ciclo abierto y cerrado, ver tabla 7.

**Tabla 7**  
**Comparación de emisiones del motor con y sin catalizador**  
**para dos tipos de convertidores catalíticos**

|                                                  | (%) CO  | (%) HC | (%) NO <sub>x</sub> |
|--------------------------------------------------|---------|--------|---------------------|
| Sin catalizador                                  | 100     | 100    | 100                 |
| Catalizador tres vías ciclo abierto <sup>6</sup> | 40 - 60 | 40     | 20 - 40             |
| Catalizador tres vías ciclo cerrado <sup>7</sup> | 0 - 20  | 0 - 20 | 0                   |

Fuente: Elaboración propia

Con el catalizador de tres vías de ciclo cerrado se puede impedir casi por completo la expulsión de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, con una composición estequiométrica de la mezcla. Lo cual, es posible solamente, si el catalizador y todos los otros componentes del sistema de control de emisiones estén operativos durante el funcionamiento del vehículo.

<sup>6</sup> Catalizador de dos vías también denominado catalizador de tres vías de ciclo abierto. Doble catalizador con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos de escape, reduciendo los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, mientras que en el segundo cuerpo actúa sobre los gases empobrecidos favoreciendo para este propósito la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono CO y los hidrocarburos HC. Requiere para su activación una mezcla rica o estequiométrica (aire - combustible).

<sup>7</sup> Catalizador de tres vías de ciclo cerrado: Su evolución tecnológica ha desplazado a los catalizadores de tres vías de ciclo abierto, porque en estos se actúa simultáneamente sobre tres gases de escape: monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC y óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>. Para que los catalizadores de tres vías funcionen perfectamente es imprescindible que la mezcla aire-gasolina tenga la adecuada composición que se acerque a la relación estequiométrica (1k combustible: 14,7 k de aire). Necesitando para este propósito de un dispositivo que controle la composición de la mezcla. Este dispositivo es la sonda lambda o sensor de oxígeno, que efectúa correcciones constantes sobre la mezcla inicial de aire y combustible, según el valor de la cantidad de oxígeno que hay en los gases de escape antes de pasar por el catalizador.

Por otra parte, es necesario advertir que hay varios aspectos que deben tomarse en cuenta en la actividad de los catalizadores de tres vías: los primeros momentos tras el arranque del automóvil en frío, cuando el catalizador está todavía frío y se produce la mayor parte de las emisiones de CO e HC; el funcionamiento en condiciones normales de conducción; por tanto, este análisis debe ser asumido sólo como una aproximación descriptiva de las condiciones de operación a nivel local.

### Mantenimiento de catalizadores en los automóviles

Existen condiciones específicas de servicio que deben cumplirse para una adecuada actividad de los catalizadores durante el tiempo de vida previsto por los fabricantes que usualmente diseñan los catalizadores para una durabilidad mínima de *80000 kilómetros o 5 años*. Para lograr este período de vida útil se deben considerar varios aspectos y factores técnicos vinculados con la utilización y cuidado del convertidor catalítico, en tal sentido y como uno de los resultados establecidos para el proyecto se formula el siguiente *protocolo de uso de catalizadores*.

#### 1) INSPECCIÓN VISUAL DEL SISTEMA DE ESCAPE.

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Puntos de inspección             | Tubos de escape. Empaques y sellos del sistema de escape. Convertidor catalítico. Silenciadores. Resonadores. Colgadores / soportes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Verificaciones                   | Estado e integridad del tubo de escape y del catalizador. Atornillado de los componentes. Contacto con la parte inferior de la carrocería del vehículo. Vibración excesiva o movimiento excesivo del sistema de escape. Colgadores o soportes del sistema de escape apretados con torsión o retorcidos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Interpretación de defectos       | Corrosión excesiva. Rupturas en cualquier parte del dispositivo. Ausencia del dispositivo. Fallas de los empaques que garanticen la estanqueidad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Criterio de aplicación de fallas | <b>Fallas leves:</b> Golpes y abolladuras. Dificultades en la evacuación de los gases producto de la combustión del motor hacia la atmósfera. Emisiones y ruidos excesivos que afecten a los pasajeros.<br><br><b>Fallas graves:</b> Ausencia del catalizador desde la salida de producción. Modificaciones que afecten la eficacia y efectividad del dispositivo. Daños, rupturas en el catalizador. Fallas de los empaques que garanticen la estanqueidad del dispositivo. Daños en el tubo de escape que interfieran la trayectoria del combustible. Escape libre, sin el respectivo dispositivo silenciador de explosiones. |
| Decisión                         | Asegurar el buen funcionamiento de todos los componentes de la cadena de descontaminación y, si es necesario, sustituir los componentes defectuosos. Si se confirma que el convertidor catalítico del vehículo está dañado, es urgente su reemplazo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

#### 2) IDENTIFICACIÓN DE AVERÍAS

**Criterio:** Un convertidor catalítico, puede averiarse sin una causa atribuible, por lo tanto, debe buscarse el problema original y solucionarlo para evitar que se tenga que reemplazar el convertidor de forma innecesaria. Por lo tanto, la falta de un diagnóstico apropiado de las fallas y la falta de reparación de los componentes asociados, probablemente provocarán una falla temprana del catalizador.

**Pruebas:** Una prueba simple es inspeccionar y golpear ligeramente el catalizador (utilizando un mazo de caucho) y escuchar para determinar si hay componentes desprendidos, o si el sustrato cerámico se encuentra fragmentado. Esta prueba básica, sin embargo sólo permite establecer si el catalizador está o no fragmentado, no permite determinar si existe una obstrucción o sinterización del sustrato. Se aplican otros ensayos específicos de diagnóstico: **1) Prueba de diferencia de temperaturas, 2) Prueba de presiones. 3) Prueba con analizador de gases**, que permiten determinar si el catalizador está activado o no.

#### 3) ATENCIÓN DE PROBLEMAS

**Ajuste del motor:** Ajuste completo del motor, asegura que todos los cilindros tienen una chispa adecuada y sin pérdidas en los mismos. Revisar el estado de los lóbulos del árbol de levas y la correa o la cadena de sincronización para determinar si hay desgaste. Realizar una prueba de compresión para identificar el estado de los anillos de los pistones, el tren de válvulas y las cámaras de combustión. Si el vehículo está equipado con la válvula EGR, ésta, debe ser inspeccionada para comprobar si funciona correctamente. Inspeccionar regularmente el consumo excesivo de aceite del motor porque la generación de partículas en el motor puede obstruir el panel del monolito catalizador.

**Ajuste del sistema de encendido del motor:** Ajustar el encendido para que no llegue combustible sin quemar al catalizador. La alta temperatura y el exceso de combustible puede producir una combustión no deseada provocando que el cuerpo del panel catalizador se funda provocando (taponamiento del tubo de escape, pérdida de potencia del motor y rotura del material cerámico). La regulación en el sistema debe permitir que la mezcla de aire y combustible explote en el momento exacto, (este momento varía de acuerdo con el modelo del motor pero más o menos está entre los 15° adelante del salto de la chispa).

**Corrección de problemas del sistema de combustible:** Realizar pruebas de presión del combustible y de fugas. Un descenso rápido de presión puede indicar que los inyectores de combustible tienen fugas o que existe un problema con el regulador de la presión del combustible o la válvula unidireccional del suministro.

El filtro de combustible debe ser reemplazado de acuerdo con el programa de mantenimiento recomendado por el fabricante. Evitar la contaminación del combustible por: agua en el tanque, aire atrapado en los rieles del combustible, lo cual puede causar fallas en los cilindros.

El exceso de hollín debido a una mezcla excesivamente rica, provoca la obstrucción del panel taponando sus canales estrechos.

**Atención de códigos de falla:** Varios códigos de problemas OBD afectarán el rendimiento del convertidor, por tanto se deben corregir todos los códigos de falla (los del motor antes de corregir los códigos del convertidor). Para ello se empieza conectando la terminal de diagnóstico del vehículo (generalmente debajo del volante, cerca de los pedales) a un escáner OBD. Luego se determina el código de problema que viene del vehículo.

En el caso de OBD II, por ejemplo, un convertidor catalítico tapado siempre resultará en un código de problemas OBD II (que puede ir entre P0420 y P0439). La función del catalizador es importante para cumplir con los estándares de emisión, por lo que el sistema de diagnóstico tiene un monitor independiente de la eficacia del convertidor catalítico.

**Comprobación del sensor de oxígeno:** Comprobar su funcionamiento para asegurarse que el vehículo esté en control de combustible.

El sensor delantero debería estar muy activo y típicamente oscilar rápidamente desde aproximadamente 0 hasta menos de 1 V. Si el sensor delantero muestra un voltaje bajo o nulo, dicho sensor podría estar defectuoso; o podría haber una fuga en el escape antes o inmediatamente detrás del sensor.

El sensor trasero debería emitir una señal constante. Si la señal es inferior a 250 mV, se debe comprobar si hay actividad pisando rápidamente a fondo el acelerador o aumentando la velocidad del motor hasta aproximadamente 2000 rpm. Se debería observar algo de movimiento. Revisar el silicón del anticongelante o del sellante que no obstruya al sensor del oxígeno.

**Corrección de fugas:** Comprobar todas las áreas de soldadura para determinar si hay grietas, especialmente en los puertos de los sensores de oxígeno. Comprobar todas las conexiones de los tubos para verificar si hay alineación inapropiada o empaques quemados. Comprobar todas las conexiones y abrazaderas para determinar si hay fugas.

Fugas internas en el sistema de enfriamiento pueden destruir un convertidor catalítico. Si el sistema de enfriamiento no tiene mantenimiento, la acumulación de sedimentos reduce la transferencia de calor desde las cámaras de combustión aumentando así, las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

#### RECOMENDACIONES ADICIONALES

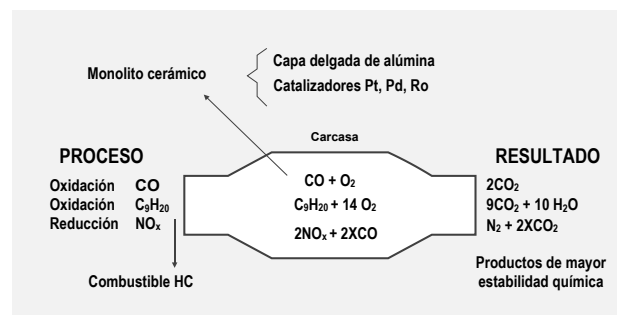
1. No arrancar el vehículo empujándolo, el motor podría expulsar hacia el escape, combustible sin quemar que pasaría al catalizador y se quemaría en él, produciéndose la fusión del monolito cerámico. Si la batería está descargada, utilizar una batería auxiliar, nunca el empujón.
2. No conducir el vehículo con el motor apagado y arrancar luego, el combustible por el movimiento puede llegar hasta el catalizador. No tener el motor a marcha mínima prolongada. Si el motor funciona así durante más de 20 minutos, o 10 minutos con motor acelerado pero sin carga, el material catalizador se recubrirá de hidrocarburos sin quemar.
3. Mientras el motor esté encendido, no debe desconectarse más de un cable de bujía o solo hacerlo por un tiempo muy corto para fines de pruebas. Esto evita que mezcla carburante pase al escape sin ser quemada. No permitir que el depósito de gasolina se vacíe, pues da lugar a un suministro irregular del combustible, provocando falsas explosiones y una elevada temperatura del catalizador que puede llegar a fundirse.
4. No utilizar aditivos en el combustible, varios de ellos pueden envenenar el catalizador e inutilizarlo de forma prematura. No utilizar gasolina con plomo (pequeñas cantidades de este producto son suficientes para envenenar el catalizador).
5. En los cambios de lubricantes, no se debe superar el nivel máximo de aceite en el cárter. No debe prolongarse por mucho tiempo la medición de la compresión del motor.
6. No debe conducirse el vehículo por terreno accidentado, aunque la pieza está prácticamente escondida entre la plataforma o chasis, el componente puede ser dañado, perdiendo eficiencia.
7. Dadas las temperaturas altas de funcionamiento del catalizador y no sólo por su integridad sino también por la seguridad del mismo vehículo, no se debe estacionar el automóvil en lugares que tienen hierba alta o sobre pilas de hojas secas o materiales inflamables, ya que los componentes del sistema de escape y particularmente el catalizador cuando están calientes fácilmente pueden ocasionar la combustión de tales materiales.
8. En el reemplazo del catalizador, o en la reparación del sistema de escape, no debe ocurrir el cambio de la posición original del catalizador que generalmente está dispuesta cerca del motor y cuenta con un recubrimiento para darle estabilidad térmica y también preservar a los otros componentes del vehículo.

#### REGENERACIÓN Y REEMPLAZO DEL CATALIZADOR

1. **Regeneración/Limpieza:** La regeneración consiste fundamentalmente en la restitución de la condición activa del catalizador, sin desmontaje previo. Esto significa tratar de restaurar las condiciones iniciales del catalizador sin alterar su aspecto exterior. Sin embargo, se reconoce que, aunque, los productos y procedimientos ofertados prometen una limpieza total del catalizador, esto, técnicamente no es posible, ya que, cuando el catalizador se obstruye, la limpieza no es total y el catalizador no restituye sus condiciones nuevamente. Por lo tanto, en la mayor parte de los casos lo más conveniente será su reemplazo.
2. **Reemplazo:** Los fabricantes indican que, en términos generales, los catalizadores tienen una vida útil de al menos 80000 kilómetros, o bien 5 años. Por lo tanto, en automóviles que superan los 100000 km de recorrido, el convertidor catalítico seguramente ya ha cumplido su vida útil y corresponde cambiarlo. Por otra parte, si antes de este plazo se comprueba que el convertidor catalítico está en mal estado o averiado, también será necesario el recambio. En este último caso, es importante eliminar las causas porque el reemplazo del convertidor catalítico sin haber reparado la causa de la falla puede ocasionar que el nuevo convertidor también se dañe. La sustitución del convertidor catalítico deteriorado por otro nuevo proporcionará al motor una mayor potencia.

#### Reciclaje de catalizadores, recuperación del platino

Una vez sustituidos, los catalizadores agotados, según su estado final, pueden destinarse al reciclaje. En este caso, los catalizadores agotados son tratados como una fuente potencial de metales nobles y se pueden someter a procedimientos mecánico-metalúrgicos para recuperar: platino, paladio y rodio.



Fuente: Elaboración propia

Proponiéndose un procedimiento experimental para la recuperación del *Platino a partir de los monolitos cerámicos* de catalizadores agotados de uso automotriz:

### Proceso de recuperación del platino:

|                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I1:<br/>Ingreso</b>                                                | Separación de convertidores catalíticos de forma oval o cilíndrica.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>O1:<br/>Acondicionamiento preparatorio del residuo catalítico:</b> | Apertura mecánica de la carcasa, extracción del monolito cerámico de estructura porosa con múltiples celdillas en forma de panal de abejas, en la superficie está la capa con los metales catalizadores, como el Platino. Para retirar cualquier fragmento de metal en el monolito cerámico debido a la apertura de la carcasa, se debe pasar por un imán. |
| <b>O2:<br/>Molienda hasta obtener polvo fino:</b>                     | Reducción mecánica de tamaño. Trituración del residuo catalítico, primero utilizando máquina trituradora de dientes, en un segunda molienda, pulverizar el material.                                                                                                                                                                                       |
| <b>M1:<br/>Peso inicial monolito cerámico:</b>                        | El residuo catalítico pulverizado se pesa para determinar posteriormente el rendimiento del proceso.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>O3:<br/>Disolución del monolito cerámico:</b>                      | Disolver la muestra pesada en una mezcla de tres partes de ácido clorhídrico con una parte de ácido nítrico. Agitar vigorosamente hasta homogenizar la mezcla. Calentar a 80 °C y llevar a ebullición lenta por 120 minutos para asegurar una extracción completa.                                                                                         |
| <b>O4:<br/>Eliminación de óxidos de nitrógeno:</b>                    | Evaporar hasta eliminar los óxidos de nitrógeno a semi sequedad. Enfriar el residuo y retomar con agua destilada.                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>O5:<br/>Decantación:</b>                                           | Los lodos deben ser enjuagados con agua destilada hasta que la solución esté completamente clara. Para ello se debe decantar durante 60 minutos.                                                                                                                                                                                                           |
| <b>O6:<br/>Filtración:</b>                                            | Filtrar, hasta que en la solución final no exista turbidez o quede libre de partículas sólidas.                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>O7:<br/>Obtención de solución Ácido Hexacloroplatínico:</b>        | Separación del platino de todos los otros metales que componen el catalizador, esta separación se lleva a cabo mediante el uso de reactivos que precipitan selectivamente (dejan en el fondo del vaso de precipitado esponja de platino). Lo que se obtiene es platino en solución con una concentración de 344 ppm aprox.                                 |
| <b>O8:<br/>Adición de solución saturada de Cloruro de Amonio:</b>     | Se adiciona solución saturada de cloruro de amonio, agitando vigorosamente durante 15 minutos.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>E1:<br/>Formación de cristales de esponja platino:</b>             | Se deja reposar durante 24 horas. Precipitando cristales del compuesto cloro platinato de amonio de <b>color anaranjado</b> .                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>O9:<br/>Filtración 2:</b>                                          | Se filtran los cristales de cloro platinato de amonio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>O10:<br/>Calcinación:</b>                                          | Se transfiere el residuo de cristales a un crisol de porcelana para luego calcinarlo a 800 °C.                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>O11:<br/>Obtención de Esponja de platino:</b> | Después de la calcinación.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>O12:<br/>Fundición:</b>                       | El proceso que se requiere a continuación, para obtener el platino, es un proceso de fundición, para lo cual, la esponja de platino debe ingresarse a un horno de paredes refractarias que tenga la capacidad de llegar a una temperatura mínima de 1800 °C (para poder fundir el platino).       |
| <b>R1:<br/>Almacenaje de Platino:</b>            | El producto final obtenido, platino metálico (que de acuerdo a la experiencia realizada, alcanza a 1 gr de platino por kg de monolito cerámico, aproximadamente), se almacena de manera adecuada para su comercialización o uso, ya sea en forma de polvo o en su estructura de platino metálico. |

### CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la medición comparativa de gases, muestra diferencias en los niveles de emisión entre las condiciones evaluadas: con catalizador y sin catalizador, haciendo evidente que el catalizador cumple la función de acelerar la transformación de los gases contaminantes CO y HC.
2. Las mediciones efectuadas sobre la muestra de vehículos, identifica la necesidad de especificaciones técnicas de uso que eviten el deterioro prematuro, junto con la exigencia de un manejo racional, en el marco de un determinado estándar de eficiencia. Por lo tanto, se hace necesario instaurar estándares específicos no sólo para la regulación de emisión de gases contaminantes (HC, CO, NO<sub>x</sub>), sino también para el uso racional y disposición final de los (catalizadores), que lamentablemente no existe dentro del marco normativo vigente en el país.
3. Con la aplicación de las pruebas establecidas en este trabajo junto con la atención de los dispositivos de diagnóstico a bordo (OBD), se puede identificar el funcionamiento anormal de los catalizadores (convertidores), haciendo posible establecer la condición del equipo catalizador de tal manera que se pueda implementar el mantenimiento adecuado que evite posibles daños en los catalizadores, y a la vez aumentar su tiempo de vida útil.
4. La recuperación de platino a partir de catalizadores agotados (reciclaje) determina que éstos son una fuente potencial, después de ser sometidos a un tratamiento específico.
5. Finalmente, se puede concluir que el protocolo de mantenimiento de catalizadores, como un resultado de este proyecto puede ser de utilidad para distintos usuarios: (conductores y personal de talleres de servicio automotriz).



## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Alonso Pérez, J. M., (s.f.), Técnicas del Automóvil: Inyección de Gasolina y Dispositivos Anticontaminantes, Paraninfo S.A., Madrid – España,

Barroso, A. F.J., 1998, Análisis de los gases de escape en vehículos de gasolina catalizados, CESVIMAP, N° 23, pp:25-29, Madrid – España,

Cámara Chilena de Comercio de Repuestos y Accesorios Automotrices A. G. 2008, Nuevo sistema de control a catalizadores catalíticos. Revista del Repuesto Automotor, N° 17, pp: 6-11, Santiago – Chile,

AirTek, Inc., 2010, Catalytic Converters. CATCO®, USA,

De Nevers, N., 1997, Ingeniería de control de la contaminación del Aire, Mc Graw - Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., México,

González, V., J. R., Gutiérrez Ortiz, M. A., González, M., MP., Botas Echavarría, J. Á., 2002, Catálisis, Automóvil y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco, Barcelona – España.

Grupo Editorial CEAC S.A., 2003, Manual CEAC del Automóvil, Gráficas Mármol S.L., Madrid – España,

Heralecký, P., Fernández, R., 2010, Platino – Demanda y oferta. España. Obtenido de: <http://www.bolsalibre.es/articulos/view/platino-demanda-oferta>

IBNORCA, NB 62002, Calidad de aire y Emisiones de Fuentes Móviles; Generalidades; Clasificación y Límites Máximos Permisibles, La Paz – Bolivia,

IBNORCA, NB 62003: Calidad del aire - Evaluación de gases de escape de fuentes móviles con sistema de encendido por chispa - Método de ensayo en marcha mínima (Ralentí) y velocidad cruce v especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación máximos permisibles, La Paz – Bolivia,

MagnaFlow, 2013 Convertidores Catalíticos, Estados Unidos, Obtenido de: [http://www.magnaflow.com/00espanol/02catalytic\\_converters/00catalyticconverters.asp](http://www.magnaflow.com/00espanol/02catalytic_converters/00catalyticconverters.asp)

Mitchell International, Inc., 1998, Manual para ajuste de motores y control de emisiones, Tomo 3, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México,

Patrakhaltsev, N., Gorbunov, V., s.f., Toxicidad de los Motores de Combustión Interna, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú,

Poppe, M. SL, 2010, Fundamentos y aplicaciones en procesos industriales de la catálisis, Facultad Técnica, UMSA. La Paz – Bolivia,

Rincón, J., Asencio, I., Camarillo, R., Martín, A., 2008, Reciclado de catalizadores de automóviles, Universidad de Castilla – La Mancha, España,

Tenneco Inc., 2013, Understanding catalytic convert, Walker Emission Control, USA.

(\*), Licenciado en Mecánica Automotriz, Docente Carrera de Mecánica Automotriz Facultad de Tecnología – UMSA.

