

Depósitos en Sistemas de Combustión: Degradación Química del Combustible y Eficiencia del Motor

Por Juan Montiel

La tecnología automotriz avanza hacia motores más eficientes y potentes como los sistemas GDI y PFI, lo que aumenta la sensibilidad de los componentes a la calidad del combustible. Este boletín analiza cómo residuos como gomas, barnices, lacas y carbonilla afectan el rendimiento y la integridad de los motores.

Este trabajo resume los principios que hacen de la limpieza química profunda una solución moderna, eficiente y confiable para la industria, permitiendo a los gestores de flotas de transporte reducir costos de mantenimiento y maximizar la vida útil de sus activos.

Este es el Boletín #247 de nuestro programa de Boletines Informativos mensuales. Todos los boletines están disponibles en formato pdf en <https://www.widman.biz>

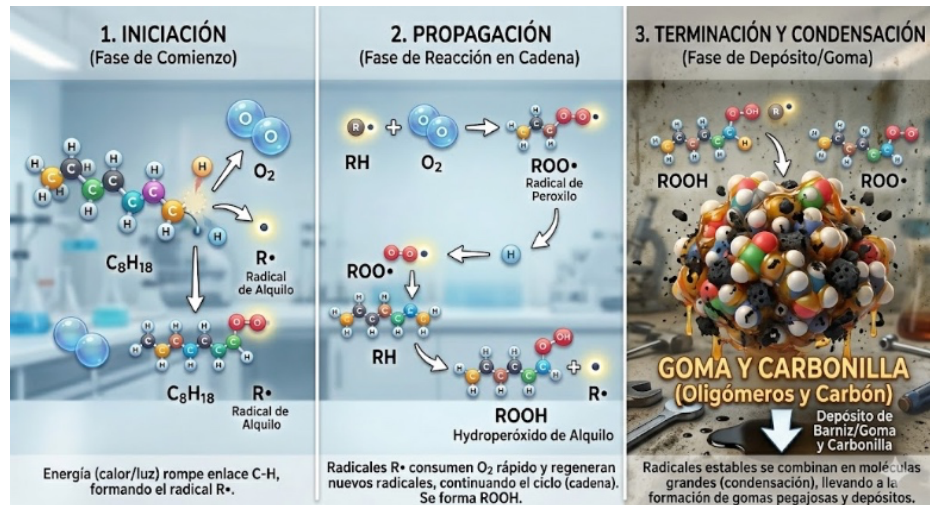
[Descargar iBooks](#) — [Descargar Kindle](#) — [Descargar PDF](#)

El problema

El abastecimiento de combustibles en el mundo lleva sus desafíos de producción (destilación del petróleo), logística de entregas, negociaciones a largo plazo, precios fluctuantes, conservación de la limpieza en la cadena de transporte, aplicaciones adecuadas y problemas de motores como efecto del resultado del cúmulo de acciones desde que el petróleo en estado bruto llega a la refinería hasta que consumimos en nuestros motores industriales o simplemente automóviles que usamos.

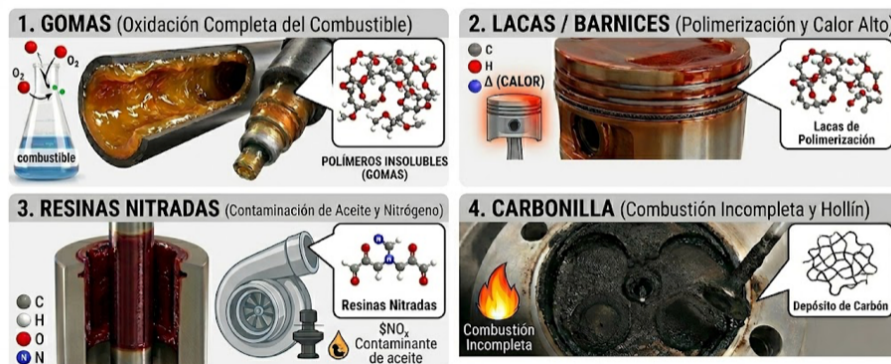
Si el caso escala al manejo de flotas de transporte el impacto es mucho mayor, por tanto el combustible no debe verse simplemente como una fuente de energía, sino como un fluido químico complejo propenso a la inestabilidad. La problemática de los combustibles de baja calidad o mal “estabilizados” radica en su tendencia a la formación de subproductos sólidos y semisólidos que alteran el ciclo de combustión. Mencionar que en un motor operando a 3.000 RPM, las válvulas abren y cierran 25 veces por segundo; cualquier micra de depósito afectará la operación.

Esos depósitos o subproductos en motores no son solamente “suciedad” sino son el resultado de reacciones químicas complejas de degradación térmica y oxidativa de hidrocarburos.



Diferenciación química de depósitos

Vale la pena diferenciar estos depósitos en el motor, que son los que hacen daño y se forman de diferentes maneras adentro de acuerdo al tipo de proceso químico que se forma, éstos son:



Tipo	Naturaleza química	Estructura	Solubilidad	Dificultad de remoción
Gomas	Polímeros oxigenados	Cadenas largas con O_2	Media	Media
Lacas / barnices	Polímeros termoeestables	Redes tridimensionales	Baja	Alta
Resinas nitradas	Aromáticos nitrados	Alta densidad	Muy baja	Muy alta
Carbonilla	Carbono amorfo	Estructura grafitica parcial	Nula	Muy alta

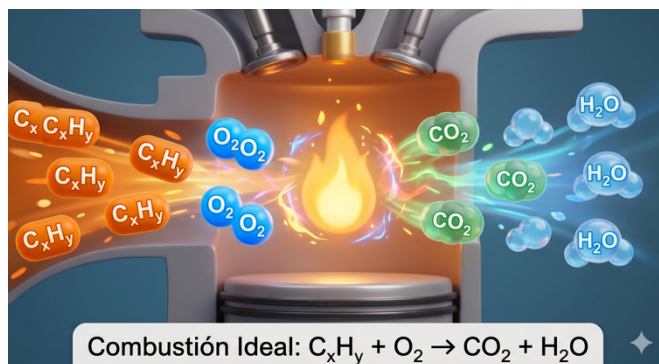
Consideraciones técnicas: las raíces químicas del problema

La aparición de estos depósitos depende de dos factores clave: presión y temperaturas extremas. Si el combustible es de baja calidad, el problema se agrava. Podemos mencionar 3:

- 1. Oxidación y Polimerización (Gomas, Lacas y Barnices):** Los combustibles modernos contienen hidrocarburos insaturados que, al reaccionar con el oxígeno y el calor, sufren procesos de polimerización. Esto genera "gomas" viscosas que, al evaporarse los componentes ligeros, se transforman en "barnices o lacas" duros y termoeestables. Estas sustancias se adhieren a los inyectores, vástagos de válvulas, guías de válvulas, etc., afectando las tolerancias micrométricas.
- 2. Carbonización por Pirólisis (Carbonilla):** Si el combustible no se quema bien por mala atomización, exceso de hidrocarburos pesados o impurezas, ocurre pirólisis (descomposición térmica) en vez de oxidación. Esto genera residuos de carbono amorfo que se acumulan en el pistón y la cámara de combustión.
- 3. Mayor Inestabilidad en Motores Modernos (GDI):** En los motores de inyección directa (GDI), el inyector está expuesto directamente al calor de la llama. Los depósitos de carbono aquí alteran el patrón de pulverización (*spray pattern*), causando que el combustible se deposite en las paredes del cilindro o gotee, lo que deriva además en dilución del aceite lubricante.

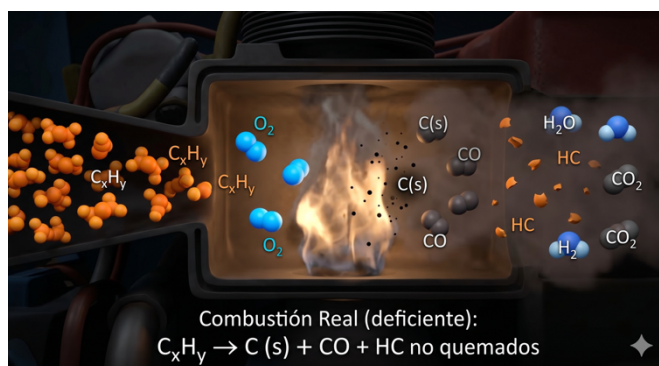
En general el concepto es que la cantidad de depósitos que quedan luego de la combustión generarán problemas en el motor, se incrementan si hay más hidrocarburos pesados:

Esta imagen visualiza un buen proceso donde el combustible y el oxígeno reaccionan por completo, generando la mayor cantidad de energía limpia.



Además muestra un flujo equilibrado de moléculas de combustible (naranjas) y oxígeno (azules) se unen para reaccionar. En el centro, una llama que libera mucha energía, y los únicos productos de salida son moléculas translúcidas de dióxido de carbono (verdes) y agua (azules claros). La ecuación de Combustión Ideal: $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

Esta otra imagen visualiza el proceso imperfecto que ocurre cuando falta oxígeno, lo que resulta en productos secundarios indeseados y menos energía.



La cámara de combustión se ve más oscura y sucia. El combustible (naranjas) lucha por encontrar suficiente oxígeno (pocas azules). En el centro, una llama libera humo negro genera "productos de desecho" de la combustión deficiente: partículas de carbono sólido (soot), monóxido de carbono (gris oscuro) e hidrocarburos no quemados. La ecuación Combustión Real: $C_xH_y \rightarrow C(s) + CO + HC \text{ (no quemados)}$

El "Efecto Esponja" en Válvulas de Admisión

Imaginen un motor de inyección. Con el uso de combustible estándar, se acumulan depósitos porosos en la cara posterior de la válvula de admisión.

- **Fase de Aceleración:** El sistema inyecta una cantidad extra de combustible (enriquecimiento) esperando juntarse con el O_2 del aire.
- **El Problema:** El depósito poroso absorbe hasta un 20% de ese combustible líquido antes de que llegue al cilindro.
- **Resultado:** El motor recibe una mezcla "pobre" (falta de combustible), provocando un retraso en la respuesta (*hesitation*). Segundos después, cuando el depósito se satura, libera el combustible sobrante de forma descontrolada, causando una mezcla "rica" que aumenta las emisiones y el consumo innecesariamente, perdiendo así también una cantidad de combustible.



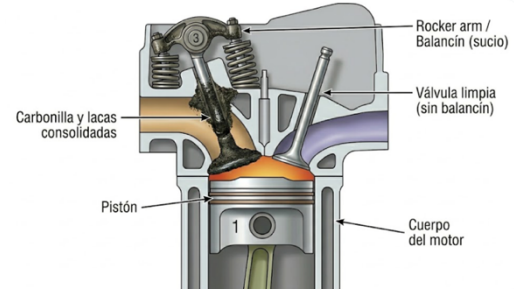
Figura transformada para fines ilustrativos:
la incidencia de la carbonilla en la válvula

Consecuencias para las empresas y usuarios

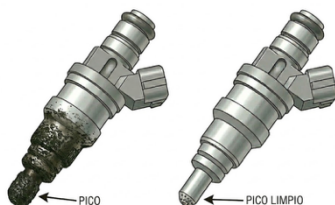
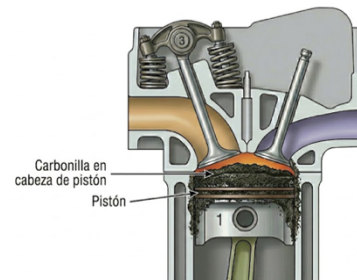
1. **Termodinámicas:** Aumento de temperatura del motor (por la formación de ese aislante térmico), Pre-ignición (LSPI- puntos calientes inducen al autoencendido) y Cambio de volumen efectivo de cámara la cual se reduce y aumenta la compresión.
2. **Mecánicas:** Daño a pistones, terminan perforados y fusionados en caso extremo, las válvulas pierden sellado y en catástrofe se doblan, los inyectores, hacen gotear el combustible o el patrón de spray no es uniforme, los anillos se pegan e inician desgaste (ring sticking).
3. **De potencia:** La restricción de flujo por válvulas mal selladas o bloqueadas, altera la mezcla aire/combustible, el motor pierde fuerza de tracción y torque.
4. **De consumo:** El motor exige más combustible para realizar el mismo trabajo mecánico, los inyectores sucios rocían gotas irregulares y se quema más combustible, además del efecto esponja que hace ineficiente la quema.
5. **De paros no programados:** Desgaste prematuro de las piezas o averías catastróficas, resultan en mantenimientos correctivos costosos y motores inactivos. La acumulación de gomas, carbonillas, barnices y/o resinas a la larga provocarán un fallo catastrófico ya que su efecto es acumulativo.
6. **Químicas en el lubricante:** Dilución del aceite por presencia de combustible en cárter, formación de barnices en aceite generando problemas adicionales, otras veces aumento de viscosidad por oxidación, generación de lodos (sludge) por excesiva presencia de hidrocarburos no combustionados.

Zonas Críticas donde atacan estos elementos, como observamos estos elementos se adhieren a varias partes del motor y auto desde el tanque de combustible, pasando por la bomba, motor e incluso catalizador a la salida, pero las zonas donde a la primera instancia nos generan serios problemas son:

Depósitos en válvulas de admisión (IVD), la carbonilla, gomas, etc. se concentrarán principalmente en el cuello (inicio de vástago y donde la guía), la cara del platillo de la válvula.



Depósitos en Cámara de Combustión (CCD), en la cabeza del pistón y cilindro, el efecto es que aumenta artificialmente la compresión y provoca la detonación prematura (cascabeleo), si continúa habrá daño estructural.



Taponamiento de inyector, el inyector se tapona por la presencia de carbonilla o gomas, de manera parcial o total, si es parcial, habrá goteo de combustible y si el taponado es total todo ese sector no trabajará adecuadamente

Formas de limpieza más conocidas

La limpieza preventiva es recomendable: incluye uso de químicos para limpiar la cámara, limpieza y revisión de inyectores, filtros, sensores y filtros de combustible según horas o kilómetros. Estas acciones programadas cuestan menos que las correctivas. El mantenimiento puede gestionarse digitalmente o en registros manuales, para garantizar que el circuito de combustión esté siempre limpio.

Cuando no se controla la presencia de carbonilla, lacas, barnices o gomas, el problema aumenta y las acciones preventivas deben ser más rigurosas. Estas medidas pueden volverse correctivas, lo cual eleva significativamente los costos si no se actuó a tiempo. A continuación, resumo las tecnologías que pueden utilizarse para solucionarlo:

Técnica de Limpieza	Descripción	Ventajas	Desventajas	Efectividad Real
Descarbonización por Hidrógeno (HHO)	Inyección de gas hidrógeno en la admisión para elevar la temperatura de combustión y pirolizar el carbón.	Rápida aplicación (1-2 horas). Efectiva para limpiar la cabeza del pistón, parte del cilindro y reducir el problema de inmediato.	No llega a inyectores. No es efectiva en zonas frías como vástagos de admisión (guías). Riesgo de desprender fragmentos sólidos.	Media/Focalizada. Solo actúa en la cámara de combustión y parte del escape.
Limpieza Mecánica (Desarmado)	Extracción física de la culata para limpieza manual de válvulas, balancines, pistones y conductos.	Permite una inspección visual total del estado del metal. Limpieza al 100% de las piezas desmontadas.	Altísimo costo por lucro cesante y costo de mecánico. Riesgo de errores en el rearmado y reemplazo costoso de empaquetaduras.	Total. Pero solo se justifica en casos de falla mecánica catastrófica.
Limpieza con Cáscara de Nuez (Walnut Blasting)	Proyección a presión de micro-partículas orgánicas en los conductos de admisión.	Limpieza física profunda de válvulas de admisión sin dañar el metal.	Extremadamente localizada. No limpia inyectores, ni pistones, ni guías de válvula. Requiere equipo especial.	Alta en admisión. Es la mejor solución mecánica para el flujo de aire.
Química Dispersante (Detergencia Avanzada)	Uso de polímeros de alta polaridad (PIB) y fenoles mezclados con el combustible. (química de última tecnología)	No requiere paradas de flota. Limpia desde el tanque hasta el escape. Protege inyectores GDI/PFI.	Requiere constancia en la dosificación para máxima eficiencia.	Alta y continua. Excelente para prevención y limpiezas de choque no invasivas.
Limpieza por Ultrasonido (Inyectores)	Inmersión de inyectores en tina con fluido químico y ondas de alta frecuencia.	Recupera inyectores con obstrucciones críticas en el micro-filtro y la aguja interna.	Requiere desmontar los inyectores. No limpia el resto del motor (válvulas/pistón).	Alta en Inyectores. Ideal como complemento correctivo para el "pico" del inyector.

La solución preventiva más interesante desde este punto de vista va siendo la solución química como principal tecnología a aplicar y complementar en casos extremos con alguna de las otras técnicas para lograr controlar la presencia desmedida de gomas y carbonilla entre otros:



Entendiendo la solución Química

Al ser la solución más interesante para el campo preventivo que es lo que nos interesa, revisaremos los compuestos químicos más importantes y sus características que hacen de la limpieza:

Químicamente, un DCA (Detergentes de Control de Depósitos) es una molécula con dos partes:

- Una "Cabeza" Polar: Se adhiere fuertemente a las partículas de carbón, barniz y laca.
- Una "Cola" Hidrocarbonada: Es soluble en el combustible.

Acción Química: La cabeza se pega al depósito y la cola queda tirando hacia el combustible líquido. Si hay suficientes moléculas rodeando el depósito, este es arrancado de la superficie metálica (por acción polar) y se mantiene en suspensión microscópica para ser quemado de forma inofensiva en el cilindro.



Los químicos usados para limpieza

Los más conocidos que han dado resultados aunque a medida que avanza la tecnología de producción de motores a combustión se deben tomar ciertas precauciones:

Químico	Rol Técnico	Función en el Combustible
Bases Alcohólicas	Base	El Metanol/Etanol, químicos solventes muy fuertes, son hidrófilos y resecan sellos y partes plásticas del sistema de combustión
PEA (Poli éter Aminas)	Detergente DCA.	Buena química con estabilidad térmica para limpiar cámaras de combustión calientes, efectiva en picos de inyectores.
PIB(Poliisobutileno)	Polímero base.	Aporta la "cola" soluble en aceite, lo que garantiza la solubilidad en el combustible
PIBSA(Intermediario)	Habilitador de reacción.	Es la plataforma reactiva. Se usa para fabricar detergentes (PIB-Aminas, PIB-Succinimidas).
PIB-Aminas / PIBA	Detergente DCA	El producto final. Excelente para mantener limpios los inyectores y admisiones desde temperatura media, su acción comienza en el tanque y recorre todo el circuito de combustión, hasta llegar al escape.

Conclusión para tu Gestión de Mantenimiento

Para mitigar estos efectos catastróficos en los motores, se requiere un enfoque de mantenimiento proactivo basado en la química de dispersión avanzada:

1. *Acción Detergente (Keep Clean)*: Los polímeros de alta polaridad y derivados de poliisobutileno (PIB) interactúan con partículas de carbón y ayudan a fragmentar y suspender depósitos para su eliminación. Los detergentes basados en PEA son efectivos, especialmente para inyectores y en temperaturas extremas. Mezclas de ambos tipos también ofrecen buenos resultados. Recomendaría su uso regular en el combustible para mantener limpias las cámaras de combustión.
2. *Limpieza de Choque (Clean Up)*: En vehículos con mucho kilometraje o donde el combustible contiene hidrocarburos sin procesar, se usa una dosis alta de dispersantes termoestables para restaurar la pulverización del inyector y eliminar bloqueos térmicos. Cuando el motor se estabiliza, se pasa a la fase "Keep Clean".
3. *Protección de Componentes Críticos*: El combustible tratado debe ser "ashless" para no dañar convertidores catalíticos ni sensores OBD, y compatible con elastómeros como Viton y mangueras. Los detergentes deben asegurar ambas condiciones.

Recomendaciones para el Futuro

- **Monitoreo**: Verifique los ahorros con métricas precisas; un consumo mayor puede ser señal de depósitos.
- **Aditivación**: Implemente mantenimiento preventivo para evitar fallas y prolongar la vida útil del aceite.
- **Detergente**: Prefiera tecnologías que cumplan estándares, protejan el motor, eviten LSPI y restauren potencia.

Desde Widman International, seguimos comprometidos en acompañar a cada uno de ustedes en la construcción de sistemas de mantenimiento más inteligente y rentable.

Widman International SRL contribuye a la capacitación de los ingenieros y usuarios en la industria para mejorar su competitividad. Para mayores informaciones prácticas, visite nuestra página Web:

www.widman.biz

Si usted conoce a otra persona que estuviera interesada en recibir estos boletines, favor escribir a info@widman.biz. Si no quiere recibir estos boletines mensualmente, puede escribir a info@widman.biz con la palabra "remove" en el asunto.

La información de este boletín técnico es de única y completa propiedad de Widman International S.R.L. Su reproducción total o parcial sólo será permitida a través de una solicitud a info@widman.biz no permitiendo que esta altere en sus características ni su totalidad.