



Impacto socio-económico de la **ultra**-depuración magnética de combustibles en la mitigación dinámica de emisiones y en mayor eficiencia energética.

Autor: César Augusto Gómez Rojas

ONE EYE INDUSTRIES, INC.
Calgary, CANADA
www.oneyeindustries.com
FILTER MASTER COLOMBIA S.A.S.
Bogotá, D.C - COLOMBIA
www.filtermaster.com.co
Cel.: 3105507902
Cesar.Gomez@filtermaster.com.co

RESUMEN

El combustible usado en Colombia, está por debajo de los estándares de limpieza ISO 4406 de la industria.

Niveles Mundiales de Limpieza del Combustible



- Abajo de los estándares de limpieza de la industria
- Satisface los estándares de limpieza de la industria
- Excede los estándares de limpieza de la industria

* Combustible a medidas de 4, 6 y 14 micras-C respectivamente

website Cummins – Niveles Mundiales ISO de limpieza de combustible.⁴

Las muestras de combustible en puntos de entrega a consumidor final y los análisis de caracterización de la contaminación, dieron mayor distribución de tamaños de partículas menores a 10µ y contenido de agua.

Existe gran diferencia entre los desempeños logrados del combustible y del equipo por fabricantes tecnología EURO vehicular con diesel limpio y los obtenidos aquí en la operación de la flota, con b-diesel sucio: 40% en promedio.

La tecnología de ultra-depuración (a un nivel sub-micrónico) magnética, invisible y autónoma, incorpora eficiencia probada de *armonización* de eco-diseños con alta pureza de combustible y eficiencia de combustión.

Al nivel del combustible, los balances *primarios* de materia y energía permitieron: a) inferir ganancia en eficiencia energética equivalente a 16.59 ¢US/bus.km, b) contar con una opción de efectiva mitigación de emisiones - cumpliendo con regulación local – y c) incorporar *reciclaje* para *eliminar* la disposición de toneladas diarias de filtros contaminados de celulosa.

Combinar la separación magnética en la cadena de distribución permite garantizar combustible nivel *verde*, amplía el impacto energético ambiental del grado de armonización e impulsa el uso de las aplicaciones de depuración al ciclo de aceites lubricantes. Los rangos de ahorro evidenciados:

Fluido	Ganancia - %	Fluido	Ganancia-%
Combustible	3-8	Hidráulico	15-25
Lubricante	15-20	Bombeo	10-20

Nota: el nivel depende de la edad del equipo y tren de limpieza

PALABRAS CLAVE

Absoluta; Armonización; Autónoma; Eco-filtración; Eficiencia Ambiental; Homologable; Tribología.

ABSTRACT

The fuel used in Colombia is below the international cleaning industry’s standards ISO4406.

Fuel samples at final fuel delivery points and the characterization analysis of its contamination showed a major particle size distribution below 10µ and water content.

It exists great difference between the fuel and the equipment performances gained by vehicular EURO technology manufacturers with clean diesel from those of fleet operation here with dirty b-diesel: 40% average.



The magnetic ultra-depuration (sub-micron level) technology, invisible and autonomous, incorporates proved efficiency of harmonization between eco-designs with high fuel purity and combustion efficiency.

At level of fuel, the mass and energy *primary* balances allowed: a) to infer an energy gaining index equivalent to 16.59 ¢US/bus.km, b) to count with an effective emission mitigation system in each vehicle – accomplishing with local regulation – and c) incorporate *recycling* to *eliminate* the daily disposal of tons of contaminated cellulose filters.

At combining powerful magnetic separation of contamination into the fuel delivery chain, *green* cleaning is fully achievable for enhancing environmental energy impact: harmonization with cleaning the cycles of lubes to increase their performance. The ranges of evidenced savings can be:

Fluid	Savings - %	Fluid	Savings-%
Fuel	3-8	Hydraulic	15-25
Lubricant Oil	15-20	Crude Pumping	10-20

Note: the level depends on equipment age

KEYWORDS

Absolute; Autonomous; Eco-filtration; Environmental Efficiency; Harmonization; Homologous; Tribology.

1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se contextualizan los resultados de investigaciones, análisis, pruebas extensas, piloto, casos prácticos, realizados en los últimos 15 años por varios Institutos de Energía e Investigación, Universidades e Industria en el entorno de calidad de combustibles y lubricantes y el impacto en la generación de emisiones al aire. Igualmente, los desarrollos de eco-diseños de parte de los fabricantes de motores, respaldan la garantía de rendimiento en la exigencia de un combustible muy limpio.¹⁻²⁻³⁻⁴

Este conocimiento permitió establecer parámetros de ingeniería, para diseñar y ejecutar un diagnóstico local para evidenciar la *causa raíz* de la baja eficiencia operacional de la flota vehicular EURO de transporte en la ciudad de Bogotá, D.C., desde su implementación.⁵⁻⁶

El levantamiento de información dentro del entornos de la operación del sistema de transporte no fue fácil pero sí suficiente para confirmar que por la falla técnica de la *baja pureza* del combustible empleado llevó a la pérdida de la garantía de parte de fabricantes y obligó a los operadores del sistema a la acción de contingencia –

“*tropicalización*”- de alterar la ingeniería del diseño original de inyección del combustible.⁷⁻¹⁰⁻¹¹

Encontrar el origen y grado de la contaminación del b-diesel (B8) y b-gasolina (E7) en Colombia hizo necesario consultar las normas y requisitos de calidad de combustibles, encontrando que aún no se incorpora la metodología internacional ISO-4406 para garantizar un combustible limpio todos los puntos de entrega y que las existentes sólo se limitan a propiedades físico-químicas en plantas de refinación. Los análisis físico-químicos y de conteo de partículas de muestras en puntos de entrega para consumo, mostraron resultados de deterioro en su calidad y aumentaron los contenidos de materiales sólidos muy finos (70% menor a 6µ), bacterias, agua. El combustible acumula contaminantes muy variados en los procesos de transporte, acopio, mezcla, distribución hasta los puntos de venta minorista.⁸⁻⁹⁻¹²⁻¹³

Cómo depurar eficientemente el combustible antes de su consumo: *armonización*?³⁻⁹⁻¹²⁻¹³⁻¹⁵⁻¹⁶⁻¹⁹

Los resultados del estudio de *viabilización* técnico-económica de incorporación de la ultra-depuración magnética de alto poder y primaria del combustible, tecnología probada, limpia, simple y eficiente.⁸

- ✓ 100% reusable y durable en acero inoxidable
- ✓ 100% diseño homologable que controla desgaste
- ✓ Incorpora Energía Magnética Autónoma
- ✓ Sistema Absoluto de Filtración (β-200)
- ✓ Nivel de separación < 1µ – (ISO-4406)
- ✓ Adhesión Estática: principio de separación de agua y sólidos no ferrosos. Efecto biocida¹⁹
- ✓ Limpieza que aumenta rendimiento de fluido
- ✓ Fácil de usar y limpiar. Libre de mantenimiento
- ✓ Inversión con alta tasa de recuperación (TIR≈10% mes, 16.59 ¢US/bus – Km)

Llamaremos *sistema de ecofiltración* al conjunto de elementos en acero inoxidable del sistema combinado de ultra-depuración magnética que *elimina el uso de filtros de celulosa y la disposición de residuos peligrosos*.

Incorporar un *tren ecofiltración* en los puntos de transferencia de combustible permitirá obtener un combustible calidad verde y optimizar la mitigación de emisiones de material particulado y la acción de los convertidores catalíticos: *calidad de aire*.¹¹⁻¹⁴⁻¹⁷⁻¹⁸⁻²⁰⁻²¹

Al final, se hace un análisis del impacto positivo de la sustitución total los elementos convencionales de la filtración vehicular por los del sistema de ecofiltración, innovación que agrega automáticamente un ahorro en el consumo de energía y costos de operación de procesos de la industria de hidrocarburos, con sostenibilidad y responsabilidad socio ambiental.⁹⁻¹⁰⁻²²

2. ECOFILTRACION

El proceso de incorporación de la energía magnética en la depuración sub-micrónica de fluidos de operación de equipos rotativos a base de combustible y lubricantes, tiene más de 60 años y en los últimos 20, se ha venido desarrollando la homologación vehicular ya con probada sustitución eficiente de los filtros convencionales, hasta ahora desechables, inocuos y de ciclo contaminante, más por necesidades particulares de incrementar eficiencia y dar cumplimiento a regulación ambiental en algunos países.

Filtración Vehicular Convencional

La baja eficiencia es estos elementos filtrantes de celulosa ha sido *invisible* para fabricantes y usuarios de motores en por dos razones técnicas fundamentalmente:

- **By-pass:** eliminación automática de función por alivio de diseño a límite de caída de presión a su colmatación
- **Partículas:** al ser elementos de arreglo nominal no garantizan retención absoluta de partículas menores a 10μ

Esta pérdida de la función es evidente al operar los nuevos diseños de equipos, más exigentes en pureza de combustible a un nivel sub-micrónico ($< 1\mu$) que los anteriores, con un combustible menos limpio del usado en las pruebas extensas de ruta y/u operación para la determinación de la garantía de duración del sistema de inyección de combustible a presión, rendimiento, confiabilidad y del de conversión catalítica de gases.

Esta exigencia de pureza de fluidos del proceso ha sido el resultado de investigación, estudios de tribología, pruebas piloto extensas en el desarrollo de eco-motores fijos y vehiculares cada vez más inteligentes, eficientes y confiables, tanto energética como ambientalmente.

La referencia bibliográfica que se resume al final es la de informes realizados por institutos de investigación en energía ambiental, universidades e industria los cuales aportaron los indicadores y premisas para diseñar este análisis de diagnóstico y evaluación del impacto técnico y económico de la calidad del combustible en el entorno local de la ciudad de Bogotá D.C..

El trabajo de campo contempló entrevistas, visitas, consultas de informes, estudios piloto y presentaciones de talleres en universidades, portales del sistema de transporte masivo, usuarios industriales, asociaciones, corporaciones, federaciones de petro/bio combustibles, distribuidores mayoristas y minoristas, productores, agencias y direcciones de planeación de Ministerios de Energía, Transporte, Industria y Ambiente, Secretaría

Distrital de Ambiente, con revisión de la normatividad técnica, ambiental y legislación en Calidad de Aire.

El resultado de todo este trabajo de investigación y diagnóstico justificó plenamente realizar el proyecto de *viabilizar la solución eco-eficiente y limpia de la ultra-depuración dinámica y magnética del combustible*, para armonizar limpieza de combustible con los eco-diseños EURO de los motores del sistema de transporte masivo.

El término solución limpia, significa la *eliminación total* del alto costo y pasivo ambiental que significa la disposición diaria de cerca de 2.5 toneladas de filtros de combustible y aceite, residuos peligrosos a botaderos de basura y el término eco-eficiente indica que mejora el rendimiento de combustible y eficiencia de combustión, para eliminar su contenido en los gases emitidos al aire.

La figura No.1 evidencia la poca eficiencia de filtro convencional usado por más de (8) meses en punto de venta de combustible (efecto by-pass).

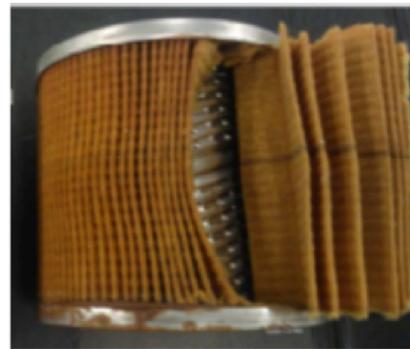


Figura No. 1 – Filtro de papel usado

La siguiente figura muestra el alto costo operacional y ambiental que ha llevado a la práctica de prolongar los periodos de uso de los filtros para *reducir* la disposición.

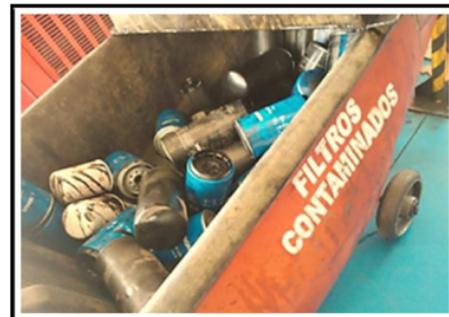


Figura No.2 – Filtros de celulosa usados en Portal de Transporte

La prolongación del uso de los filtros hace que los componentes fallen y se *deshagan* los materiales y los elementos filtrantes, agregando mas contaminación al paso de combustible.

Ecofiltración

Este término resume las características del sistema combinado de ultra-depuración magnética ($< 1\mu$) de paso de combustible y aceites:¹⁻²⁻³

- Acero Inoxidable – duración de 10+ años
- Nivel sub-micrónico – Metodología ISO 4406
- Absoluto (β 200) – Garantía de Limpieza
- Diseño flexible y homologable vehicular
- Energía Magnética Autónoma
- Agrega efecto de Adhesión Estática
- Agrega un campo *invisible* de muy alto poder magnético de separación por pulgada³
- Libres de mantenimiento y eco-ciclo de vida
- Armoniza eficiencia de diseño de los equipos para un retorno rápido de inversión
- Elimina la disposición de filtros contaminados
- Reduce la disposición de aceites usados
- Inversión verde con beneficios tributarios

La evidencia de variados casos estudio de homologación vehicular del fabricante y su apoyo técnico permitieron proponer la realización de pruebas piloto de evaluación de soluciones de niveles de limpieza dinámica (de paso sin restricción de flujo) del combustible en (4) puntos y aplicaciones diferentes:

- I. (3) Buses del sistema de transporte masivo
- II. (3) Dispensadores de Combustible en EDS
- III. (3) Dispensadores de Combustible Industrial
- IV. (2) Patines de Descarga de ULSD y Nafta

La Figura No.3 muestra la solución I de ecofiltros combinados diseñados e instalados en unidad de la flota de un Operador de Transmilenio S.A. que evidenciaron completa homologación técnica de los filtros importados (2-combustible y 1-aceite), durante prueba de ruta de 3 meses de operación de tres vehículos.



Figura No. 3 Piloto de Ecofiltración Vehicular

Al cumplir ciclos de 10.000 km de recorrido en cada uno, los ecofiltros se limpiaron y reinstalaron. La borra separada sobre las telas metálicas y rodetes magnéticos se caracterizó en los laboratorios de las Universidades.



Figura No. 4 – Elementos de Ecofiltros al recorrido de 10.000 km

El objetivo, alcance y datos estadísticos de eficiencia de la operación convencional fueron fijados y aportados por el Operador. El Fabricante aportó referencia de sus filtros y de rendimiento garantizado de diseño.

Los análisis de caracterización de la contaminación y conteo de partículas del b-diesel distribuido a los Portales, Bases Particulares y por las EDS, permitieron establecer las desviaciones y diferencias de niveles de degradación la calidad del combustible en esos puntos de entrega, evidenciando grado de limpieza por abajo de lo exigido por la industria.⁴

Los análisis cualitativos y cuantitativos se hicieron bajo los estándares ASTM en laboratorios de universidades y particulares certificados.⁵⁻⁶⁻⁷⁻⁸⁻⁹⁻¹⁰



Figura No. 5 – Ecofiltros en dispensador de combustible en EDS

En dos de las estaciones de servicio, la solución II de ecofiltros combinados en dispensadores de combustible, se realizaron pruebas de tres meses cada una y en estas



se evidenció una mayor y variada contaminación en las diferentes entregas de mezclas b-diesel que en las de e-gasolinas en las EDS. Frecuentes restricciones de flujo en ecofiltros probó el efecto del *by-pass* en los otros filtros, lo que llevó a optimizar el área y el tamaño de orificio de la malla metálica (10 a 40 μ) con el poder magnético, para garantizar flujo de transferencia *normal* entre 8 y 10 gpm con la práctica de limpieza de los ecofiltros durante la descarga del carro tanque. La tercera serie de pruebas en EDS fue adelantada por un Distribuidor Mayorista de combustible sin nuestro acompañamiento pero informando resultados similares de depuración de paso a nivel ISO aceptado.

La Figura No.6 muestra la opción de solución III de ultra-depuración de combustible, esta vez depurador magnético externo de rodete, opción de alto grado de limpieza, instalado al lado de un dispensador antiguo de combustible sin filtros. En este diseño, se optimizó el alto efecto de 18 campos magnéticos en una altura de 2 p (60 cm) con el paso de 10 gpm de combustible. En las otras (2) pruebas el depurador se instaló a la salida de los tanques de servicio de combustible a generadores de equipos de perforación en el área del Magdalena Medio.

En este caso, se hizo el requerimiento específico de diseño de trampa de agua para reducir el alto contenido inicial de agua de \approx 1500 ppm a menos de 500 ppm.

El piloto de optimización se llevó a cabo en Bogotá en la base de Contratista de Construcción con alta frecuencia de paradas de su maquinaria y a pesar de la implementación de algunas prácticas de decantación y separación de sedimentos, lo que le representaban cerca de una pérdida promedio del 12% del combustible comprado más el costo ambiental de su disposición. El diseño del depurador de paso permitió evidenciar la separación de agua y sedimento por adhesión estática y alcanzar grado de limpieza ISO 4406 y requerido por la industria.



Figura No. 6 – Depurador magnético multi-etapa y con trampa de agua

Un requisito de calidad ambiental que debe cumplir la composición del b-diesel, es la de tener un contenido de azufre < 50 ppm, razón por la cual se debe agregar diesel importado de muy bajo contenido (ULSD) para balance final del contenido de azufre en del proceso de mezcla del bio-diesel con el petro-diesel. Es importante aclarar que este requisito de calidad no fue considerado en este estudio ni el análisis del efecto tribológico del contenido de azufre en los equipos, indicado por algunos investigadores.¹⁶

El transporte por poliducto y carro tanque de todos estos ingredientes del b-diesel a las plantas de acopio y mezcla, agrega y acumula contaminación diversa y muy fina por la fricción, la manipulación, higroscopicidad y degradación¹² que depende de las condiciones, duración y de los controles de los procesos.

La Figura No. 7 evidencia lo anterior, en la opción de solución IV, combinación de depuradores magnéticos dentro de filtros canasta de patines de transferencia. En este caso, descargadero de carro-tanques de nafta y crudo liviano del Operador del Oleoducto de Llanos Orientales. El rodete separó la contaminación que pasó malla 40 de 20.000 galones de nafta.



Figura No. 7 – Rodete magnético con contaminación ferrosa y no ferrosa en patín de descargadero de carro-tanques con nafta.

Prueba similar se realizó en el descargadero de ULSD en Pozos Colorados, mostrando igualmente un alto grado de contaminación fina, tanto ferrosa como no ferrosa del combustible, separada a nivel sub-micrónico por los rodetes magnéticos.

La figura No. 8 resume los hallazgos que afectan la limpieza en los puntos de la cadena de transporte, acopio/mezcla, distribución mayorista y minoristas de



los componentes del b-diesel, contaminación que multiplica emisiones al aire y aumenta costos y tasa de desgaste.

Contaminación de Combustible: fuente de emisiones

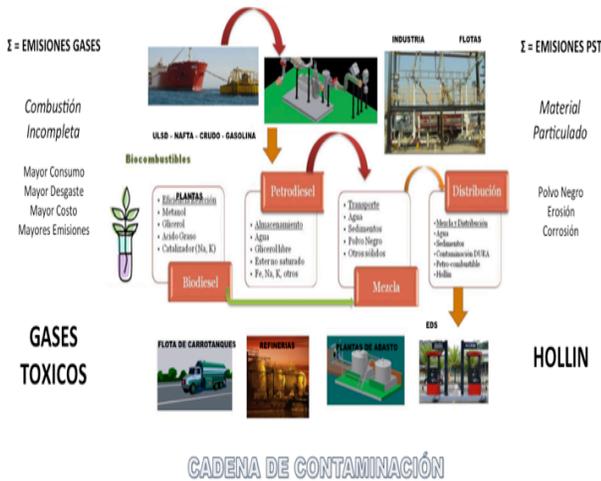


Figura No.8 – Resumen gráfico de cadena de contaminación del combustible y de su impacto en emisiones al aire.

3. RESULTADOS

Premisas Técnicas

El diagnóstico del nivel de limpieza del combustible utilizado en Colombia es bajo y en el caso del b-diesel el contenido de partículas finas < 6µ constituye más del 70% del total de la contaminación, muy por encima del máximo tamaño permitido por la industria de 2µ.⁴

Sistemas de Combustibles de Motores Diesel			
Año	Presión de operación (Barómetros)	Tolerancia de Contaminación (micrómetros)	Sistemas de filtración (micrómetros)
1960s	400-500	50	25
1990s	1300-1500	35	15
Nuevas tecnologías	1800	2	3

La eficiencia de los sistemas de filtración vehicular, nominal de 10 a 25µ, no se actualiza a los nuevos requerimientos de la industria desde los años 60.

La tolerancia del tamaño de contaminación de 2µ obedece a la optimización de los sistemas de inyección a presión de combustible de los motores diesel de reciente diseño (EURO), hoy de 1800 bar, desarrollo de diseño para garantizar: a) el incremento del rendimiento de combustible y lubricante, b) la disminución de la tasa de desgaste de los equipos – mayor vida útil – y c) la mitigación efectiva de emisiones gases– optimización de

acción de los convertidores catalíticos y de material particulado (hollín) < 2.5µ.

Adicionalmente, el contenido de agua observado en el b-diesel en los puntos de entrega para consumo fue superior a las 1500 ppm, siendo el máximo permitido de 500 ppm. Esta presencia de agua es algunas veces muy evidente a simple vista cuando se acompaña de cultivos de bacterias – *natas*.

Pruebas del Sistema de Ecofiltración

Los requerimientos actuales de la calidad y pureza del combustible en Colombia no se cumplen en los puntos de *transferencia y entrega para consumo* y en términos de limpieza no se tiene ningún estándar ó metodología de medición de referencia.

Para medir los resultados de la eficiencia del sistema de ecofiltración magnética separación de las partículas sólidas de contaminación, se tomaron de referencia los códigos de limpieza de la metodología ISO 4406 para tasar el nivel de limpieza de los fluidos de proceso, entre ellos el combustible.

En la Figura No.9, se representan las áreas de los niveles de los grados de limpieza del combustible para consumo aceptados por la industria. Las líneas continuas representan los resultados promedio de los análisis de conteo de partículas de tamaño de 4µ, 6µ y 14µ realizados a las muestras combustible del estudio.

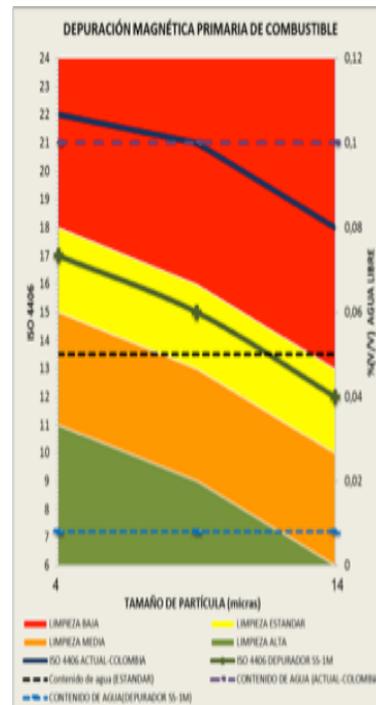


Figura No. 9 – Resultados ISO de limpieza magnética

El grado de limpieza actual del b-diesel que se utiliza es en promedio 22/21/18 y se representado por la línea azul en el área roja. La línea punteada de arriba representa un contenido del 0.1%v de agua.

La depuración magnética primaria, es decir en un solo paso del combustible, logra los grados 17/15/12, lo que se representa con la línea verde en el área amarilla.

El contenido de agua logró reducirse también en una depuración primaria hasta el 0.01%v, representado en la línea punteada inferior.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y de poder calorífico realizados a las muestras del b-diesel en uso actual y del limpio por ultra-depuración magnética, marcaron los parámetros para obtener indicadores teóricos del impacto de una limpieza primaria del combustible a partir de los balances de energía y materia del proceso.

La valoración completa del beneficio económico se apoya en los resultados de investigaciones que definen indicadores económicos. Los criterios seleccionados fueron los de:

- ✓ MANTENIMIENTO: resumido al costo de inyectores⁵⁻⁶⁻¹⁰
- ✓ EMISIONES: primer inventario de emisiones¹¹
- ✓ DISPOSICION: elementos contaminados – residuos peligrosos⁵⁻²²
- ✓ ENERGÍA: rendimiento de combustible⁹
- ✓ EQUIPO: operacional vs fabricante⁵

En el cuadro que sigue se consolidan los costos unitarios de comparación y se determina la tasa de ahorro por unidad vehicular (bus articulado) por km, solamente evaluando una depuración primaria del combustible: ¢ US/km-bus.⁹

INDICADOR	CONVENCIONAL - ¢US	ECOFILTRACION - ¢US	DIFERENCIA - ¢US
Mantenimiento (inyectores)	1.70	0.00	1.70
Emisiones (PM/PST)	15.22	15.04	0.18
Disposición (residuo peligroso)	0.01	0.00	0.01
Energía (poder calorífico)	125.09	124.87	0.22
Equipo (tasa de desgaste)	57.96	43.48	14.48
TOTAL	199.98	183.39	16.59

El valor de 16.59 ¢US/km-bus representa un índice de costo unitario y primario de eco-eficiencia vehicular, que permite inferir un beneficio ambiental y económico mucho mayor al garantizar un grado de limpieza alta (**verde**) del combustible, técnicamente alcanzable con tren de ecofiltración en todo su proceso de distribución.

Esta “*armonización*” de limpieza del b-diesel con los eco-diseños EURO es completamente homologada

vehicular, es decir altera diseño ni aumenta consumo de energía, por el contrario hace alcanzable los niveles de rendimiento de combustible y de eficiencia de los equipos que garantizan por los fabricantes, hoy tasado por menos del 60%.⁵⁻¹⁶

La disminución del pasivo ambiental de la operación, el beneficio a la salud de la ciudadanía y mejora de calidad de aire, conducen al país en el cumplimiento de sus compromisos ambientales.

La disminución sostenible de costos de operación vehicular, benefician al Operador por mayor rentabilidad y al ciudadano con racionalización de la tarifa y mejora de calidad de servicio por confiabilidad operacional.

5. REFERENCIAS

1. FITCH, Bennett J. “ Applications and Benefits of Magnetic Filtration”. Machinery Lubrication Magazine. NORIA Corp. October 2005.
2. ARANGO, Jorge H., “ Calidad de Combustibles en Colombia “ Septiembre, 2008.
3. SIMONSON, Roger, “ New Filtration Tecnology”. Lubrication Excellence Conference, 2008.
4. CUMMINS filtration, «Filtración de combustible». en: https://www.cumminsfiltration.com/pdfs/product_lit/americas_brochures/LT36179-ES.pdf
5. GOMEZ, César A.. “ Ecofiltración magnética submicrónica de fluidos de proceso”. Presentación de ideas innovadoras. Semana del Conocimiento. Ecopetrol S.A., Bogotá, D.C. - Colombia, septiembre 2013
6. SIMONSON, Roger. Magnetic Fuel Filtration Technology. Case studies 2011 – 2015. Calgary – Canadá. www.oneeyeindustries.com
7. GOMEZ, César A., BONILLA, Luis E.. “ Informes de Pruebas de Homologación Técnica de Ecofiltros en Buses Articulados de Transporte Masivo y en Dispensadores de Estaciones de Servicio. 2012 – 2014. Bogotá, D.C. – Colombia.
8. BID, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, ECOFYS, ICONTEC INTERNATIONAL, “Estudio para la Estructuración de un Programa de Aseguramiento de Calidad (QA/QC) de los biocombustibles en Colombia, enero de 2012.
9. GOMEZ, Luis D., LOZANO, Daniel A. “ Viabilidad técnico-financiera de la Aplicación de la Ecofiltración Magnética submicrónica del combustible utilizado en un motor diesel para Ecopetrol S.A.” Semillero de Investigación Fundación Universidad de América – Ecopetrol S.A. – Proyecto de Grado en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química. abril 2015. Bogotá, D.C. – Colombia.

10. PROC, Kenneth; BARNITT, Robb; HAYES, Robert; RATCLIFF, Matthew y MCCORMICK, Robert. "100,000-mile evaluation of transit buses operated on biodiesel blends (b20)" En: Revista SAE international. 2006.
11. BEHRENT, E. "actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá a través de mediciones directas". En: Grupo de estudio en sostenibilidad urbana y regional. Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia. 2009.
12. KLEENOIL. "Biofuel contamination" En: An explanation of kleenoils ability to remove diesel bug.
13. PERÉZ, José. "Estudio de la influencia del contenido de agua sobre la calidad de un combustible tipo diesel" Trabajo de grado. Universidad de la Coruña. España. 2008.
14. GARCIA, Jesús. "Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá, Colombia 2008-2009" Trabajo de grado. Facultad de medicina. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 2010.
15. PEHAN, Stanislav; JERMAN, Marta; KEGL, Marko; KEGL, Breda. "Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine". En: Revista fuel. 88 ed. 2009.
16. AGARWAL, Shilpi; CHHIBBER, Vijay y BHATNAGAR, Ajay. "Tribological behavior of diesel fuels and the effect of anti-wear additives". En: Revista fuel. 106 ed. 2013.
17. FITCH, Jim. "The rationale for using magnetic particle collectors". En: Noria corporation. 2002.
18. SANABRIA, Harvey. "Muestreo y determinación química de 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos prioritarios generados en la fase material particulado de las emisiones gaseosas producidas por un motor diesel cuando se utiliza como combustible diesel y una mezcla de diesel-biodiesel de aceite de palma". Trabajo de grado. Facultad de ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 2010.
19. BÜCKER, Francielle; SANTESTEVAN, Naiara; ROESCH, Luiz. "Impact of biodiesel on biodeterioration of stored brazilian diesel oil". En: International biodeterioration and biodegradation. 65 ed. 2011.
20. ULMANN, Jörg, GEDULDIG, Marion, BOSH, Robert. Research & Advance Engineering. Germany, 2010.
21. XUE, Jinlin, GRIFT, Tony E., HANSEN Alan C.. "Effect of biodiesel on engine performance and emissions. College of Engineering, Agricultural University, November 2010.
22. ASOCIACION COLOMBIANA DEL PETROLEO. "Fondo de Aceites Usados". Bogotá, D.C. – Colombia. 2009 – 2010