

À Horeb Brasil

**Parecer consubstanciado sobre o uso de nanopartículas catalisadoras  
em combustíveis de motores térmicos.**

**Prof. Dr. José Guilherme Coelho Baêta**

Departamento de Engenharia Mecânica - UFMG  
Coordenador do Centro de Tecnologia da Mobilidade

Belo Horizonte

29 de agosto de 2022

## 1. Motivação

Este parecer foi emitido mediante solicitação da Horeb Energy Brasil e é fundamentado na análise de documentos e certificados disponibilizados pela solicitante. O objetivo é versar sobre a utilização de nanopartículas catalisadoras produzidas pela empresa, avaliando se o produto afeta componentes ou sistemas de motores térmicos, apresentando possíveis impactos em sua longevidade.

## 2. Histórico

A documentação encaminhada pela empresa Horeb Brasil, que constituiu no objeto de estudo para a emissão deste parecer, foi composta por:

1. Documento “*Green Plus Engine Safety Pack*”, elaborado pela *Biofriendly Corporation*. Apresenta o princípio de funcionamento do produto e de catalisadores em geral; certificações relacionadas à sua composição; relatórios de testes que comparam a integridade de motores abastecidos a combustíveis comerciais catalisados e não catalisados; explicação sobre o fato de o uso do catalisador não comprometer a garantia de uma fabricante de automóveis; cartas relativas à não objeção ao uso do catalisador em motores de combustão interna.
2. Documento “*Biofriendly Brochure – Solutions for a greener planet*”, de autoria da *Biofriendly Corporation* e *Green Plus Limited*. Descreve o princípio de funcionamento do produto em análise, um histórico do seu desenvolvimento e resultados de testes conduzidos por instituições independentes sobre o uso do catalisador em motores térmicos e em uma caldeira industrial.
3. Documento “*Comparativo de consumo de combustível com Green Plus*”, produzido pela *Ireaya Ingeniería*. Expõe o comparativo entre os resultados de testes realizados por veículos que percorreram o mesmo trajeto em um circuito na Argentina, ora abastecidos com combustíveis comerciais, ora catalisados com o produto disponibilizado pela Horeb.

4. Documento *“Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la tecnología Green Plus”*, redigido pelo *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid*. Relata o protocolo de testes realizado na Colômbia com veículos abastecidos a gasolina e diesel adicionados com a nanotecnologia cedida pela *Horeb Energía y Combustibles Ecológicos*.
5. Documento *“FISPQ Green Plus A”*, contendo a ficha de informação de segurança do produto químico. Contempla, dentre outros itens, a identificação de perigos; medidas de primeiros socorros, de combate a incêndio e de controle para derramamento ou vazamento; instruções para manuseio e armazenamento; controle de exposição e proteção individual; propriedades físico-químicas do produto.
6. Relatórios emitidos pelo Laboratório de Ensaio de Combustíveis da Universidade Federal de Minas Gerais (LEC – UFMG), nos quais constam análises de: gasolina comum tipo C, óleo combustível (*bunker*), diesel S10 tipo B, diesel S500 tipo B, etanol combustível hidratado (E100), querosene de aviação, óleo combustível marítimo, diesel marítimo.
7. Informe técnico *“Evaluación del Catalizador Akron en Gasolina”*, emitido pelo *Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)*, que descreve o procedimento de testes, realizados em laboratório e em campo, para a análise dos possíveis efeitos provenientes da adição do catalisador fornecido pela empresa Akron à gasolina comercial.
8. Documento *“Eco-label for the product Green Plus”*, concedido pela *CIFAL Argentina*, que atribuiu a etiqueta ecológica ao produto da empresa Horeb, após a análise de resultados oriundos de testes do catalisador realizados por diferentes empresas e laboratórios de todo o mundo.

Todos os arquivos supracitados são disponibilizados no anexo deste parecer para consulta, na ordem em que foram enumerados.

### 3. Mérito

A análise de mérito apresentada nesta seção incide, única e exclusivamente, sobre a documentação apresentada no item 2. Histórico deste documento. São elencadas e detalhadas as informações consideradas mais relevantes para a deliberação do veredito acerca do efeito das nanopartículas catalisadoras na longevidade de motores térmicos e seus componentes.

De acordo com os documentos “*Green Plus Engine Safety Packet*” e “*Solutions for a Greener Planet*”, o produto em análise neste parecer consiste em um catalisador, orgânico e homogêneo, que atua a nível molecular e facilita a ocorrência da reação de combustão em motores. Informa-se que as nanopartículas reduzem a energia de ativação necessária à ignição dos combustíveis, apresentando princípio de funcionamento similar ao de enzimas do corpo humano, que aceleram a ocorrência de reações químicas fundamentais à vida. Alega-se que o catalisador é miscível aos hidrocarbonetos e, especialmente em cadeias mais longas, permite uma melhor interação do oxigênio do ar com o combustível, resultando em um processo de combustão mais completo.

*Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid* – Colômbia. A instituição realizou provas com 25 veículos abastecidos a diesel e 25 veículos abastecidos a gasolina, representativos da frota do Vale de Aburrá – Colômbia. Foram selecionados modelos novos (1 a 3 anos desde a fabricação), seminovos (4 a 7 anos) e usados (8 a 12 anos). A maioria dos automóveis que compuseram a frota leve, abastecida a gasolina, foi formada por táxis, enquanto a frota pesada, abastecida a diesel, foi constituída por ônibus e caminhões de transporte de mercadorias. Após o levantamento de uma linha base com os veículos abastecidos com combustíveis comerciais, eles foram catalisados com as nanopartículas fornecidas pela *Horeb Energía y Combustibles Ecológicos* e testados em uma sequência de 90 dias. Análises químicas foram conduzidas e demonstraram que não houve a formação de novas espécies após a queima dos combustíveis catalisados em comparação aos comerciais, em especial elementos tóxicos como titânio (Ti) e bismuto (Bi). Tal constatação é importante para que não haja impacto na integridade dos motores automotivos e seus componentes ao se adicionar as nanopartículas catalisadoras.

*Ireaya Ingenieria* – Argentina. A empresa realizou testes em dois veículos representativos da frota nacional (Chevrolet Prisma e Cruze). Cada carro percorreu um total de 2000 km em rota urbana para, posteriormente, completar 401 km de testes controlados em um circuito, sendo ambos abastecidos a combustíveis adicionados do catalisador disponibilizado pela *Horeb – Biofriendly*.

*Detroit Diesel* – A *DaimlerChrysler Powersystems Company*, Detroit – Estados Unidos. A empresa não desabona o uso do catalisador fornecido pela *Biofriendly*.

O documento “*Green Plus Engine Safety Pack*” informa que, após 20 anos de desenvolvimento das nanopartículas catalisadoras, foram percorridas mais de 20 bilhões de milhas (~32,2 bilhões de quilômetros) em ensaios, sem que incidentes negativos advindos do uso do produto fossem reportados. O catalisador possui certificações de testes em quatro continentes. Dentre seus consumidores estão as empresas Valero, Motiva, NuStar, Calumet, Delek, Marathon, Kinder Morgan, dentre outras. Afirma-se que o produto é seguro para uso, não danifica motores e seus componentes e nem viola as diretrizes de garantia de montadoras, uma vez que atende aos requisitos do *Clean Air Act*, dos Estados Unidos, e é registrado pela *Environmental Protection Agency (EPA)*. De fato, na documentação constam certificações concedidas ao produto pela *Texas Commission on Environmental Quality* e *United States Environmental Protection Agency*, após testes em motores térmicos quando abastecidos com diesel catalisado em uma proporção de 0,2 mL por galão (~3,79 L) de combustível.

Laboratório de Ensaios de Combustíveis da Universidade Federal de Minas Gerais (LEC – UFMG). O laboratório, acreditado pelo Inmetro, emitiu relatórios de ensaios após a análise dos seguintes combustíveis: gasolina comum tipo C, óleo combustível (*bunker*), diesel S10 tipo B, diesel S500 tipo B, etanol combustível hidratado (E100), querosene de aviação, óleo combustível marítimo e diesel marítimo. Em todos eles, foram coletadas amostras dos combustíveis catalisados e não catalisados para a realização de ensaios de acordo com as normas ASTM. Os laudos do LEC – UFMG informam que, em todos os testes com os combustíveis mencionados, adicionados ou não do catalisador fornecido pela empresa Horeb, as amostras atenderam às especificações estabelecidas pela ANP.

*SGS Laboratory Services*, Londres – Inglaterra. O laboratório certifica que a concentração de metais tóxicos no produto disponibilizado pela *Green Plus Ltd.* é inferior aos limites máximos estabelecidos por normas ASTM.

*Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)*. Informa que a gasolina catalisada com o produto fornecido pela empresa *Akron*, em uma concentração de 50 ppm, não apresenta propriedades físico-químicas distintas daquelas da gasolina comercial, após a realização de testes em laboratório seguindo as normas ASTM. Por isso, afirma-se que o combustível catalisado não possui potencial corrosivo maior que combustíveis comerciais, o que também foi comprovado por testes laboratoriais. Além disso, verificou-se em um ensaio de 100 horas em dinamômetro de bancada que um motor Ford 2.3 L abastecido com gasolina catalisada exibiu menor nível de formação de depósitos de carbono nas válvulas de admissão, quando comparado ao combustível não-catalisado.

*CE-CERT Laboratory – University of California*, Estados Unidos. O centro de pesquisas realizou testes em um *motorhome* equipado com motor a diesel de 7,2 L, com potência de 330 cv a 2400 rpm. O veículo foi recebido e inspecionado com o hodômetro marcando 28425 milhas (~45745 km) e percorreu um total de 6200 milhas (~9978 km), sendo 5700 delas (~9173 km) com a adição do catalisador fornecido pela *Biofriendly* ao combustível diesel. Após o término do percurso, a inspeção final revelou que o combustível catalisado proporcionou maior limpeza das válvulas do motor e redução da formação de depósitos de carbono na câmara de combustão, em particular na superfície do topo dos pistões.

*Wärtsilä Finland Oy – Engine Division*, Helsinki – Finlândia. A empresa declara que, de acordo com a composição e propriedades do produto fornecido pela *Biofriendly Corporation*, não há objeção ao seu uso e nem são esperados danos em motores em consequência da adição do catalisador a combustíveis.

*MAN B&W Diesel AS* – Dinamarca. Após a condução de 4000 horas de testes com o catalisador disponibilizado pela *Biofriendly Corporation* em um motor dois tempos abastecido a diesel, inspecionado pela *MAN B&W* de forma prévia e posterior aos experimentos realizados, a empresa afirma não existir objeção ao uso do produto. Não foram verificados efeitos adversos ao desempenho do motor ou à integridade dos seus componentes.

*Southwest Research Institute (SwRI)*, Texas – Estados Unidos. O instituto de pesquisas realizou testes de acordo com normas ASTM em amostras com 25 mL de catalisador fornecido pela empresa *Biofriendly* para cada 10 galões (~37,9 L) de diesel. Não foram observadas diferenças significativas entre as especificações do diesel comercial e catalisado, nem comprometimentos em componentes como filtros e elastômeros expostos às amostras. Informa-se que, na referida concentração, não é esperado dano proveniente do uso do catalisador em sistemas de injeção de combustível. Conclusões similares foram proferidas para o uso de gasolina, adicionada com 0,5 oz (~14,79 mL) de catalisador para 5 galões (~18,9 L) de combustível. O *SwRI* declara que as propriedades das amostras não demonstraram diferenças significativas entre si e não foram detectados efeitos prejudiciais oriundos do uso do produto, novamente seguindo as normas ASTM.

*CIFAL* – Argentina. Certificou e concedeu a Eco-Etiqueta à tecnologia catalisadora da empresa Horeb, considerando o produto um combustível de transição energética a ser incorporado nas estratégias da Organização das Nações Unidas (ONU). A certificação é resultado de numerosos testes conduzidos em laboratórios e empresas de todo o mundo, que seguiram protocolos estritos em conformidade com normas aceitas pela comunidade científica internacional. Declara-se que o catalisador não modifica as propriedades físicas, químicas ou termodinâmicas de combustíveis fósseis ou biocombustíveis. Assim, estes preservam suas características e especificações técnicas, e permitem o uso do produto adicionado a combustíveis líquidos em motores de diferentes marcas e tipos (ciclos Otto e Diesel).

#### 4. Voto

Com base na documentação recebida e analisada para a elaboração deste parecer, nota-se que as nanopartículas catalisadoras fornecidas pela empresa Horeb já foram objeto de extensivos estudos, análises e testes conduzidos em instituições de diferentes países e continentes do mundo, inclusive no Brasil. Os resultados revelam que não há indícios sobre possíveis impactos na longevidade de motores térmicos e seus componentes oriundos do uso das nanopartículas catalisadoras produzidas pela empresa Horeb Brasil, quando adicionadas a combustíveis comerciais na proporção estabelecida e recomendada pela fabricante.

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2022.



---

**Prof. Dr. José Guilherme Coelho Baêta**

Departamento de Engenharia Mecânica - UFMG  
Coordenador do Centro de Tecnologia da Mobilidade

# Green Plus Engine Safety Packet

Revision Date: June 26, 2018

Prepared by:

**Biofriendly Corporation**

13459 Brooks Drive, Suite A

Baldwin Park, CA 91706

United States of America

[www.biofriendly.com](http://www.biofriendly.com)

# Introduction

Green Plus® fuel enhancer is the world's most trusted solution for significantly reducing air pollution and improving fuel performance. With nearly 20 years of product and market development, it's no wonder that *Green Plus* can boast the most impressive statistics of any fuel enhancement additive:

- Over 20 billion miles of use without a negative incident reported
- Over 2 million pounds of smog-forming, pollutant NO<sub>x</sub> removed from the atmosphere
- Certified testing on four continents
- A customer list that includes Valero, Motiva, NuStar, Calumet, Delek, Marathon, Kinder Morgan and many, many more

Despite all of the years of experience in the market and the countless hours of customer use, it is only natural for prospective customers to ask if *Green Plus* is safe for their engines. This packet was created with that question in mind. By the end of this packet the following will be clear:

- *Green Plus* is proven to be 100% safe for all engines and engine types
- *Green Plus* cannot cause damage to an engine
- *Green Plus* will make any engine last longer and perform better

## How Does Green Plus Work

*Green Plus* was developed by award-winning Australian inventors (Bob, Bill, Noel and Michael Carroll) and Dr. Colin Hill, a noted British Scientist. The product has patents worldwide including in the United States and in Europe. It also has multiple government certifications for both its safety and effectiveness.

The product is an organic, homogeneous catalyst that works at the molecular level to help facilitate the combustion reaction in an engine.

### Facts about catalysts:

- In order to survive, the human body has billions of reactions that occur within it every minute of every day.
- These reactions are facilitated by catalysts known as enzymes. Without these catalysts most human reactions would occur too slowly to be useful and some would not occur at all.
- The head of a pin has enough space on it for thousands of these reactions.

Much like enzyme catalysts in the human body, *Green Plus* catalysts allow the reactions in an internal combustion engine to occur more efficiently by lowering the **activation energy** necessary to ignite combustible fuels.

### What is activation energy?

- The concept of activation energy was first introduced by **Nobel Prize**-winning Chemist, *Svante Arrhenius*.
- He defined activation energy as the minimum quantity of energy required to start a reaction.

By understanding the concepts of catalysis and activation energy, the possibility of an emissions reduction solution like *Green Plus* emerges. The product works for the same reason that enzymes in the human body work. When less activation energy is required, fuel combustion is more complete and fewer toxic emissions are produced. This effect also results in improved performance and fewer carbon deposits throughout the combustion system in the engine.

## **What is *Green Plus* Composed of?**

*Green Plus* is mostly comprised of ingredients that allow the organic catalyst to blend evenly with the fuel. Depending upon the application, the carrier ingredient can either be a combination of isopropanol, naphtha, petroleum distillates or kerosene, which is blended with an organic solvent, organic alcohol and trace proprietary ingredients. A chemical analysis of the product is included on the following page.

## **Heavy Metals and SGS Product Analysis**

SGS is the world's leading independent inspection, verification, testing and certification company. SGS was commissioned to analyze a sample of highly concentrated *Green Plus*. The purpose of the analysis was to determine if any common toxic metals were above acceptable limits. The analysis shows that all were below acceptable levels and limits.



**Laboratory Services.**  
Old Station Approach  
London Road, Purfleet,  
Essex,  
RM19 1QS  
Tel: (01708) 866855  
Telex: 897361  
Fax: (01708) 890911

**GREEN PLUS LTD.**  
**SUITE 2, 98 MOUNT STREET**

**LONDON**  
**W1Y 5HF**

**17th October 2001**

**ANALYTICAL REPORT NO. PUL 11254/01-02**

Sampled : -	Your Ref : -
Received : <b>7th October 2001</b>	Vessel : -
Product : <b>G + EXTENDED</b>	Type of Sample : -
Source : <b>AUGUST 2000</b>	Location : -

PROPERTY	RESULT	UNIT	METHOD
Phosphorus (P)	<0.1	mg/kg	ICP
Zinc (Zn)	<0.1	mg/kg	ICP
Calcium (Ca)	0.2	mg/kg	ICP
Barium (Ba)	<0.1	mg/kg	ICP
Magnesium (Mg)	<0.1	mg/kg	ICP
Aluminium (Al)	<0.1	mg/kg	ICP
Iron (Fe)	<0.1	mg/kg	ICP
Chromium (Cr)	<0.1	mg/kg	ICP
Molybdenum (Mo)	<0.1	mg/kg	ICP
Copper (Cu)	<0.1	mg/kg	ICP
Lead (Pb)	<0.1	mg/kg	ICP
Tin (Sn)	<0.1	mg/kg	ICP
Nickel (Ni)	<0.1	mg/kg	ICP
Silicon (Si)	0.3	mg/kg	ICP
Sodium (Na)	0.8	mg/kg	ICP
Boron (B)	<0.1	mg/kg	ICP
Vanadium (V)	<0.1	mg/kg	ICP

Precision parameters apply in determination of the above results. Also refer to ASTM D3244-96, IP 367/96 and IP Standards (Test Methods) Appendix E for utilisation of test data to determine conformance with specifications.

Laurence Hayden  
Laboratory Supervisor

# Southwest Research Institute No Harm Testing

## Introduction

In the normal course of an automobile or truck's life, its components are exposed to many thousands of gallons of fuel containing a variety of additives. Oil companies and motor manufacturing companies spend millions of dollars to test additives for effectiveness and to see that they do not cause harm to engines or engine components.

However, many consumers (particularly large industrial users) require "third party" testing to verify the effects of a proposed addition to fuel. Southwest Research Institute (SwRI) has developed a world-renowned reputation for performing systematic, scientific third-party testing.

Many of Biofriendly 's potential customers have been requesting so called "no harm" tests. These are tests performed by SwRI according to American Society for Testing and Materials (ASTM) standards.

Biofriendly contracted with SwRI to perform the five "no harm" tests:

- 1) Compare standard #2 diesel ASTM specific physical and chemical properties with #2 diesel with *Green Plus* fuel combustion catalyst added.
- 2) Corrosion, lubricity and water tolerance test to ASTM standards.
- 3) Filter media degradation tests to SwRI standards based on ASTM procedures.
- 4) Elastomer tests to SwRI standards based on ASTM procedures. Elastomer tests are designed to determine if the fuel and/or additives either soften, harden or corrode the plastic, polymer, synthetic rubber, rubber or other media used for fuel lines, gaskets and seals.
- 5) Compare regular grade gasoline with regular grade gasoline with *Green Plus* added.

## Summary

In the report from SwRI attached to this bulletin are the results of the "no harm" testing. SwRI shows in each case the value for a test for #2 diesel alone and #2 diesel with *Green Plus* added.

The most remarkable conclusion from the tests is that with *Green Plus* present there is no significant difference detected in any of the tests compared with #2 diesel alone. In other words, with *Green Plus* present, the chemical characteristics of the fuel are not significantly changed, the physical characteristics are not changed and there is *no corrosive or lubricity change* significant from that caused by #2 diesel by itself.

In more detail for the following tests SwRI reported:

- 1) Chemical and physical properties (page 3 of the report)- Almost all parameters were essentially the same. The only ones with a measurable change were flash point, which decreased by 10<sup>0</sup>F, cetane index which increased by 0.3 and cetane number which increased by 0.5. These small changes are consistent with our theory that *Green Plus* causes a smoother and thus cooler burn and improves the power output per unit of fuel; thus, a change in cetane number.
- 2) Corrosion, lubricity and water tolerance test (see report page 3, last five lines) - **Conclusion:** There were no changes in corrosion value, rust resistance, lubricity, or water tolerance parameters with *Green Plus* present in the fuel.
- 3) Filter media (page 5 and 6 of the report) - In this series of tests, SwRI looked at how much the ability of the filter to let fluids through changed with time and whether the filter media was changed by exposure. There were no instances of *Green Plus* causing the filter media to be outside required parameters. **Conclusion:** *Green Plus* has no deleterious effects on filter media.
- 4) Elastomer (page 4 of the report)- In this test the Nitrite, Viton and Silicone Elastomer samples were subjected to #2 diesel and #2 diesel with *Green Plus* added at 160 degrees F. for three weeks. The hardness, tensile strength, elongation, volume swell, and surface cracks were then measured compared to values before treatment. The table on page 4 specifies how much difference is allowed between #2 diesel and #2 diesel with *Green Plus* added. In all cases, *Green Plus* passed the test. In fact, there were almost no differences in the actual numbers measured. **Conclusion:** *Green Plus* has no detrimental effects on Nitrile, Viton or Silicone elastomers when present in fuel.
- 5) Finally, comparative testing between untreated gasoline and gasoline treated with *Green Plus* showed no significant changes in composition and included a statement from SwRI stating that, "...there was no harmful effect detected from the additive tested."

In summary, *Green Plus* combustion fuel catalyst passed all the tests very comfortably and thus causes "no harm" to engines and engine components.

# SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE®

6220 CULEBRA RD. 78238-5166 • P.O. DRAWER 28510 78228-0510 • SAN ANTONIO, TEXAS, USA • (210) 684-5111 • WWW.SWRI.ORG

Dr. Colin Hill  
Chief Scientist  
Biofriendly Corporation  
158 Sawpit Lane  
Bradbury, CA 91010

January 24, 2003

(626)-303-6000  
(562)598-3110

Re: Additive compatibility testing

Final Report

Dear Dr. Hill:

Testing has been completed on Biofriendly fuel catalyst with diesel fuel. A DF#2 fuel was purchased from a local gas station as specified. The no-harm tests shown in the attached report were performed on the neat diesel and on the diesel additized according to our instructions with 25mL of additive to 10gallons of diesel. The additive was received during your visit with us on November 13, 2002. The additive was stored in dark and cool conditions prior to blending, and the additized fuel is being stored in an opaque container. Each of the tests has been performed to the specified ASTM or special test procedure as described, with no modifications or deviations. Precisions have not been established for this testing, but ASTM precisions may be referred to. Sample aliquots were taken in accordance with the specified test methods. No significant differences were observed between the two samples in the specification testing, the elastomer testing, or the filter testing. Based on these results, no harm would be expected to fuel systems from use of this additive at the given add rate.

Descriptions are included for the non-ASTM tests requested on the program.

## Filter Media Compatibility

The fuel filter media compatibility test was performed as follows:

Fleetguard filters F105d and F1212 were measured for pressure drop per the test apparatus outlined in CES 10,508, Section 4.4.3, at 20, 60, and 100 gallons per hour using a #2 diesel fuel at 100 degrees F. One F105d filter was filled with the additized reference fuel. One of the F1212 filters was filled with the additized reference fuel, but also had added 1% water, shaken vigorously for 30 seconds. The filters were covered with foil to minimize fuel loss and aged for three (3) weeks at 160 degrees F. Each week consisted of five days at 160 degrees F followed by being cooled and remaining at room temperature for 2 days. After three weeks of aging the filters were drained of the test fluid and measured for pressure drop at 20, 60, and 100 gallons per hour using the procedure outlined at the start of the test.

Pass/Fail criteria: The pressure drop at each flow condition shall not increase by more than 0.2 inches of Hg. A reference filter using the reference fuel was tested under identical conditions to ensure that the fuel does not contribute to the pressure drop increase. The filter media was then removed from each of the filters and the media inspected for any unusual appearance or signs of a sticky or gel type residue. The plastic material used to bond the filter media to the metal end plates should not be soft or tacky. A description of the condition of the filter media and plastic material is attached.

(OKBKAAX3)page 1 of 4



DETROIT, MICHIGAN (248) 353-2550 • HOUSTON, TEXAS (713) 977-1377 • WASHINGTON, DC (301) 881-0226

Elastomer Compatibility test

Three elastomers, a nitrile-type elastomer, Buna-N, to evaluate effects on nitrile hose type materials, along with a fluorinated elastomer, Viton, and a silicone elastomer to evaluate effects on gasket-type materials were used. The test conditions included exposure of each set of elastomers to reference diesel in one container and to additized reference diesel in a separate container, both maintained at 160°F, for 3 weeks, followed by evaluation of the parameters listed below. The change in physical properties of the elastomers tested in reference fuel with additive should not differ from those properties in the reference fuel by more than the following values:

Hardness	- 3 points Shore A
Tensile	- 25%
Elongation	- 25%
Volume Swell	+ 25%
Surface Cracks	None

These analyses pertain only to the sample(s) received by Southwest Research Institute and represent only a sampling of each lot. This report shall not be reproduced except in full without the express written permission of Southwest Research Institute.

If there are any questions concerning these analyses, or if you have further instructions please contact me at (210)522-2071

Sincerely,



Karen B. Kohl  
Manager, Fuels Laboratory  
Petroleum Products Research Dept.  
Automotive Products and Emissions Research Div.  
Southwest Research Institute

Attachments: Filter test data, 2 pages

(OKBKAAX3)page 2 of 4

SUMMARY OF TEST DATA  
COMPATIBILITY AND NO-HARM TESTS

Test Parameter	Test Method	#2 Diesel	Additized #2 Diesel
Density, Specific Gravity	ASTM D 1298	0.8610	0.8611
Distillation, °F 10% vol 50% vol 90% vol Final Boiling Point Residue Loss	ASTM D 86	413.0 519.6 604.9 651.1 0.8 0.9	412.5 519.0 606.6 652.9 1.0 1.6
Flash Point, °F	ASTM D 93	151	141
Pour Point, °C	ASTM D 97	-24	-21
Cloud Point, °C	ASTM D 2500	-14	-16
Cetane Index	ASTM D 976	44.8	45.1
Sulfur, mass%	ASTM D 2622	0.0390	0.0399
Ramsbottom carbon, wt% on 10% bottoms	ASTM D 524	0.09	0.09
Water and sediment, vol%	ASTM D 1796	<0.02	<0.02
Viscosity, cSt, at 40°C	ASTM D 445	2.822	2.814
Ash, mass%	ASTM D 482	<0.001	<0.001
Color	ASTM D 1500	L1.0	L1.0
FIA Aromatics, vol% Olefins, vol% Saturates, vol%	ASTM D 1319	33.8 1.2 65.0	33.4 1.6 65.0
Heat of Combustion, Btu/lb	ASTM D 240	19439.2	19395.5
Cetane number	ASTM D 613	45.9	46.4
Copper Corrosion	ASTM D 130	1A	1A
Rust Resistance	ASTM D 665A	A-pass	A-pass
Lubricity, mm scar	ASTM D 5001	0.500	0.500
Water tolerance Change in water layer Interface rating Separation rating	ASTM D 1094	-2 3 3	-2 3 3
Filter compatibility		Filters purchased	Filters purchased

Test Parameter	Pass/Fail	#2 Diesel	Additized #2 Diesel
Elastomer compatibility ASTM D 471 modified 160F for 3 weeks	Allowable differences between additized and reference diesel		
Nitrile Elastomer	Batch NBR BC-4		
Hardness change, Shore A	3            pass	-19	-20
Tensile strength, % change	-25%       pass	-18.39	-21.64
Elongation, % change	-25%       pass	-18	-23
Volume Swell, % change	+25%       pass	21.09	21.48
Surface cracks	none        pass	none	none
Viton Elastomer	Batch FKM BC-4		
Hardness change, Shore A	3            pass	-5	-4
Tensile strength, % change	-25%       pass	-8.17	-7.00
Elongation, % change	-25%       pass	2	0
Volume Swell, % change	+25%       pass	2.29	2.5
Surface cracks	none        pass	none	none
Silicone Elastomer	Batch SIL BC-4		
Hardness change, Shore A	3            pass	-20	-21
Tensile strength, % change	-25%       pass	-23.19	-21.82
Elongation, % change	-25%       pass	-45	-45
Volume Swell, % change	+25%       pass	70.90	71.57
Surface cracks	none        pass	none	none

# SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE™

6220 CULEBRA RD. 78238-5166 • P.O. DRAWER 28510 78228-0510 • SAN ANTONIO, TEXAS, USA • (210) 684-5111 • WWW.SWRI.ORG

## RESISTANCE TO FLOW (PER CUMMINS ENGINEERING STANDARD 10508) MODIFIED

STAND I.D.: #4

WORK ORDER: 375229

TEST DATE: DECEMBER 23, 2002

SPONSOR: BIOFRIENDLY

TEST FLUID: LSRD 4 DIESEL FUEL

FILTER BRAND: FLEETGUARD

TEMPERATURE: 38.0 DEG.C.(100.0 DEG. F.)

FILTER I.D.: SEE BELOW

TEST FLOW RANGE: 20.0-100.0 GPH

TEST FLOW (GPH)	DIFFERENTIAL PRESSURE READINGS (in. of Hg.)			
	F105D (#1)		F1212 (#2)	
	0-HR.	EOT	0-HR.	EOT
20.0	0.01	0.06	0.00	0.08
60.0	0.04	0.10	0.03	0.13
100.0	0.08	0.14	0.07	0.15

TEST FLOW (GPH)	DIFFERENTIAL PRESSURE READINGS (in. of Hg.)			
	F105D (#3)		F1212 (#4)	
	0-HR.	EOT	0-HR.	EOT
20.0	0.01	0.08	0.02	0.07
60.0	0.04	0.11	0.05	0.11
100.0	0.08	0.16	0.09	0.13

REQUIREMENT: NOT TO EXCEED 0.2 INCHES OF Hg.

TECHNICIAN: DD, GG, LJ

DATE COMPLETED: JANUARY 18, 2003

APPROVED BY: *MR Nelson 1/23/03*



DETROIT, MICHIGAN (248) 353-2550 • HOUSTON, TEXAS (713) 977-1377 • WASHINGTON, DC (301) 881-0226

# SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE™

6220 CULEBRA RD. 78238-5166 • P.O. DRAWER 28510 78228-0510 • SAN ANTONIO, TEXAS, USA • (210) 684-5111 • WWW.SWRI.ORG

## FUEL FILTER MEDIA COMPATIBILITY

TEST DATE: DECEMBER 23, 2002

WORK ORDER: 375229

OVEN AGE TEMPERATURE: 71.0 DEG. C.(160.0 DEG. F.)

SPONSOR: BIOFRIENDLY

AGE DURATION: 10 DAYS

FILTER BRAND: FLEETGUARD

AMBIENT TEMPERATURE: 22.0 DEG. C.(72.0 DEG. F.)

FILTER I.D.: SEE BELOW

AMBIENT DURATION: 6 DAYS

FILTER I.D.	TEST CONDITION	OBSERVATION
F105D (#1)	LSRD 4 DIESEL FUEL	NORMAL APPEARANCE. ADHESIVE NOT SOFT OR TACKY.
F1212 (#2)	LSRD 4 DIESEL FUEL PLUS 1% BY VOLUME WATER	NORMAL APPEARANCE. ADHESIVE NOT SOFT OR TACKY.
F105D (#3)	LSRD 4 DIESEL FUEL PLUS ADDITIVE	NORMAL APPEARANCE. ADHESIVE NOT SOFT OR TACKY.
F1212 (#4)	LSRD 4 DIESEL FUEL PLUS 1% BY VOLUME WATER, PLUS ADDITIVE	NORMAL APPEARANCE. ADHESIVE NOT SOFT OR TACKY.

TECHNICIAN: DD,GG,LJ

DATE COMPLETED: JANUARY 18, 2003

APPROVED BY: MR Nelson 1/20/03



DETROIT, MICHIGAN (248) 353-2550 • HOUSTON, TEXAS (713) 977-1377 • WASHINGTON, DC (301) 881-0226

# SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE®

6220 CULEBRA RD. 78238-5166 • P.O. DRAWER 28510 78228-0510 • SAN ANTONIO, TEXAS, USA • (210) 684-5111 • WWW.SWRI.ORG

Mr. Bob Carroll  
Biofriendly Corporation  
622 Terrado Drive  
Monrovia, CA 91016

August 13, 2004

(626) 303-6000 Phone  
(626) 358-8010 FAX

Re: Biofriendly Gasoline no harm testing Phase I

Final Report – no harm tests

Dear Mr. Carroll:

Work has been completed on no harm testing of the Biofriendly Green Plus additive with gasoline. A regular grade gasoline was purchased from a Houston gas station to assure that MTBE was present as the fuel oxygenate, as specified by Dr. Colin Hill. The no-harm tests shown in the attached report were performed on the neat fuel and on the fuel additized with 0.5 fluid oz additive to 5 gallons of gasoline. This add rate was shown on the container of Green Plus additive. The additive was received from Dr. Hill during his visit with us on June 25, 2004. The additive was stored in dark and cool conditions prior to blending, and the additized fuel is stored in an opaque container. Each of the tests has been performed to the specified ASTM test procedure as described, with no modifications or deviations. Testing was performed between July 22 and August 12, 2004. Precisions have not been established for this testing, but ASTM precisions may be referred to. Sample aliquots were taken in accordance with the specified test methods. The specification test results for the base and additized fuels were within repeatability. This indicates that there was no harmful effect detected from the additive tested.

These analyses pertain only to the sample(s) received by Southwest Research Institute and represent only a sampling of each lot. This report shall not be reproduced except in full without the express written permission of Southwest Research Institute. If there are any questions concerning these analyses, or if you have further instructions please contact me at (210)522-2071

Sincerely,



Karen B. Kohl  
Manager, Fuels Laboratory  
Petroleum Products Research Dept.  
Automotive Products and Emissions Research Div.  
Southwest Research Institute

(OKBKAGM4)page 1 of 2



HOUSTON, TEXAS (713) 977-1377 • WASHINGTON, DC (301) 881-0226

SUMMARY OF NO-HARM TEST DATA

Test Parameter	Test Method	Regular Gasoline	Regular Gasoline With 0.5 Fluid oz/ Per 5gal Green Plus
Vapor pressure, psi	ASTM D 5191	6.64	6.54
Distillation, °F	ASTM D 86		
IBP		104.2	101.5
10% vol		137.0	135.8
50% vol		192.3	191.6
90% vol		336.5	337.2
Final Boiling Point		414.3	408.9
Recovered %		98.3	98.0
Residue %		0.7	1.2
Loss %		1.0	0.8
Copper Corrosion	ASTM D 130	1a	1b
Sulfur, mass%	ASTM D 2622	0.0034	0.0035
Lead Content, g/gal	ASTM D 3237	<0.001	<0.001
Unwashed Gum, mg/100mL	ASTM D 381	16.5	18.5
Solvent washed gum, mg/100mL		1.0	<0.5
Oxidation Stability, minutes	ASTM D 525	No break, >1440 min	No break, >1440 min
Water Tolerance at (-42°C)	ASTM D 6422	Pass	Pass
Ash, mass%	ASTM D 482	<0.001	<0.001
Research Octane Number	ASTM D 2699	90.8	90.9
Motor Octane Number	ASTM D 2700	82.4	82.4
Antiknock Index AKI	ASTM D 4814	86.6	86.6

# Can Green Plus Void OEM Warranties?

The short answer is no. There are two different factors that make it illegal for an engine manufacturer to void a warranty, if *Green Plus* is used. The first is [The Clean Air Act](#), and the second is The [Magnuson/Moss Warranty Act](#).

## The Clean Air Act

In this section of the Clean Air Act relating to the regulation of fuels, it states that no additive can be sold to the United States market without first being registered with the EPA. In order to complete this registration process, the EPA must verify that the additive being sold is substantially similar to the fuels and additives utilized in the certification of motor vehicles or engines under section 206 of the Clean Air Act.

*Green Plus* has nearly a dozen product registrations and its diesel and gasoline application registrations are included on the next page. This is important because it means that:

- 1) *Green Plus* has been registered by the United States government and is legal for sale in the United States.
- 2) *Green Plus* is proven by the United States government to be substantially similar to the fuel and additives that the manufacturer must use to certify its engines, and as we all know, engines *require* fuel in order to operate.

This leads to the second factor.

## The Magnuson/Moss Warranty Act

This United States Law governs and limits the exclusions that can be added to a warranty. In this act under Section 2302, part (c), it states the following:

*“No warrantor of a consumer product may condition his written or implied warranty of such product on the consumer’s using, in connection with such product, any article or service (other than article or service provided without charge under the terms of the warranty) which is identified by brand, trade, or corporate name; except that the prohibition of this subsection may be waived by the Commission if—*

- (1) *the warrantor satisfies the Commission that the warranted product will function properly only if the article or service so identified is used in connection with the warranted product.”*

What this means is that because the vehicle manufacturer does not supply to its customers free of charge the fuel required to run its vehicles, it cannot specify which fuel or fuel additives the customer must use. Since *Green Plus* is EPA-registered, it is verified to be substantially similar to those fuels and additives used when certifying the engine and therefore, the manufacturer must specifically prove that *Green Plus* or any other additive

would damage their engines in order to exclude them from the warranty. This type of testing has never been done by an engine manufacturer, because it is onerous, expensive and would only in fact reassert that *Green Plus* is safe.

## **Letters of No Objection**

Over the years Biofriendly has participated in tests with engine manufacturers to prove that *Green Plus* is not only safe, but that it creates a net-positive return when it comes to engine cleanliness and maintenance.

The result of these tests has been letters of no objection from the manufacturers. A selection of those letters is included herein.



October 30, 2001

Mr. Joel Backer  
Biofriendly Corporation  
708 Inverness Rd.  
Fort Collins, CO 80524

Dear Mr. Backer:

In response to your inquiry dated October 23, 2001, Detroit Diesel Corporation (DDC) does not approve, disapprove or endorse the use of Bio-Friendly Combustion Catalyst. DDC's warranty protects users from defects in material and workmanship with products furnished by DDC.

If this product is used, the DDC warranty will not be voided. If a problem occurs that is a result of the use of Bio-Friendly Combustion Catalyst, then the concern will not be warrantable in nature and, therefore, not covered by DDC.

Detroit Diesel's name, Detroit Diesel's trademark and Detroit Diesel's logo are the property of Detroit Diesel Corporation, and are not to be used in the advertising or promotional activity by anyone except with the express written authority of Detroit Diesel Corporation.

Nothing in this letter is to be construed as any authorization by Detroit Diesel Corporation to use the Detroit Diesel name, trademark or logo in the sale or promotional activity of your product.

Sincerely,

John E. Fisher  
Director, Application Engineering

/var

cc: G. W. Lysinger  
R. Dziadzio



Green Plus Limited  
Suite 2  
98 Mount Street  
London W1K 2TE  
United Kingdom  
Attn. Mr. Noel Carroll

## LETTER OF NO OBJECTION

**Subject: Fuel additive**

**Brand: Green Plus**

Dear Sir,

The information submitted to us of the above mentioned Green Plus fuel additive has been evaluated by Wärtsilä Engine Division. In consideration of the information you have disclosed to us concerning the composition and properties of this product, we have no objection to the use of this fuel additive in the following engine types:

*Wärtsilä® 200, 20, 26, 32, 38, 46, 64, Vasa 22, 22/26, 32/32LN and Sulzer ZA 40*

Based on the received information supplied by Biofriendly Corporation, the question is about an ashless product, which is expected not to be harmful for an engine.

Wärtsilä Corporation does not take any responsibility for the function of the additive.

Wärtsilä Corporation disclaim any responsibility for damage or losses in case the customer uses a chemical fuel treatment during the engine warranty period.

The supplying fuel additive company undertakes all responsibility for the performance of the fuel additive in service to the exclusion of any liability of Wärtsilä Corporation.

Yours faithfully,

Wärtsilä Finland Oy  
Engine Division



Kai Juoperi  
Head of Fluids Technology

# MAN B&W Diesel

MAN B&W Diesel A/S • Denmark



Biofriendly Corporation  
622 Terrado Drive  
Monrovia, CA 91016  
USA

Att: Mr Michael Carroll

2100/CXR/BDN/37831-2005

14 November 2005

## Letter of No Objection for fuel additive Green Plus Combustion Catalyst

Dear Mr Carroll

Based on 4000 hours of testing of Green Plus Combustion Catalyst with supervision of MAN B&W and inspection of engine condition at the start and end of tests, MAN B&W Diesel A/S has no objection to use the Green Plus Combustion Catalyst on a two-stroke engine.

The Green Plus Combustion Catalyst has been used on the "Maersk Arun" equipped with a 7S50MC for more than 4000 hours of operation. Through the inspection by MAN B&W, it was concluded that the product does not have any harmful effect on engine components or the performance of the engine.

As fuel additives are neither produced nor sold by MAN B&W, MAN B&W cannot be kept responsible for any damage to engines or engine components that may be caused by the use of a fuel additive.

Best regards,  
MAN B&W Diesel A/S

*Charlotte Røjgaard*  
Charlotte Røjgaard

HEAD OFFICE (& postal address)  
MAN B&W Diesel A/S  
Tegholmmsgade 41  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 30  
manbw@dk.manbw.com  
www.manbw.com

DIESEL SERVICE  
Tegholmmsgade 41  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 49  
diesel-service@dk.manbw.com

PRODUCTION  
Tegholmmsgade 35  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 17  
manufacturing/cph@dk.manbw.com

FORWARDING & RECEIVING  
Tegholmmsgade 35  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 16

MAN B&W Diesel A/S  
Denmark  
Reg. No.: 39661314

MAN B&W Diesel – a member of the MAN Group

# **Maintenance Improvement Reports**

One of the best qualities of a more complete burn is a cleaner engine that requires less maintenance. This simple fact means that *Green Plus* is not just safe for your engine, it actually makes the engine last longer.

The following pages show two engine-cleaning and maintenance reports. The first was done by Man B&W on one of its ship engines, the second by the University of California Riverside C-CERT laboratory on a Caterpillar diesel-powered motorhome.

MAN B&W Diesel

MAN B&W Diesel A/S • Denmark



Biofriendly Corporation  
622 Terrado Drive  
Monrovia, CA 91016  
USA

Att: Mr Michael Carroll

2100/CXR/BDN/37831-2005

14 November 2005

**Letter of No Objection for fuel additive  
Green Plus Combustion Catalyst**

Dear Mr Carroll

Based on 4000 hours of testing of Green Plus Combustion Catalyst with supervision of MAN B&W and inspection of engine condition at the start and end of tests, MAN B&W Diesel A/S has no objection to use the Green Plus Combustion Catalyst on a two-stroke engine.

The Green Plus Combustion Catalyst has been used on the "Maersk Arun" equipped with a 7S50MC for more than 4000 hours of operation. Through the inspection by MAN B&W, it was concluded that the product does not have any harmful effect on engine components or the performance of the engine.

As fuel additives are neither produced nor sold by MAN B&W, MAN B&W cannot be kept responsible for any damage to engines or engine components that may be caused by the use of a fuel additive.

Best regards,  
MAN B&W Diesel A/S

*Charlotte Røjgaard*  
Charlotte Røjgaard

HEAD OFFICE (& postal address)  
MAN B&W Diesel A/S  
Tegholmegade 41  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 30  
manbw@dk.manbw.com  
www.manbw.com

DIESEL SERVICE  
Tegholmegade 41  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 49  
diesel-service@dk.manbw.com

PRODUCTION  
Tegholmegade 35  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 17  
manufacturing/cph@dk.manbw.com

FORWARDING & RECEIVING  
Tegholmegade 35  
2450 Copenhagen SV  
Denmark  
Phone: +45 33 85 11 00  
Fax: +45 33 85 10 16  
MAN B&W Diesel A/S  
Denmark  
Reg. No.: 39661314

MAN B&W Diesel – a member of the MAN Group



<b>REPORT</b>			
Name of Vessel:	<b>MAERSK ARUN</b>	IMO No:	<b>9175779</b>
Name of Yard:	<b>China Shipbuilding Corp.</b>	Hull No:	<b>678</b>
Engine Type:	<b>7S50MC</b>	Sea Trial:	<b>199 03 01</b>
Visit by:	<b>GSM 2300</b>	Service Center:	<b>Copenhagen</b>
Engine Builder:	<b>HITACHI</b>	Engine No:	<b>3776</b>
Order No:	<b>40 003 320</b>	Run. hours:	<b>32906</b>
Place:	<b>Varna, Bulgarian</b>		
Period:	<b>2005 09 17</b>		
Owner:	<b>The Maersk Company Co Ltd</b>		
Requested by:	<b>Biofriendly Corp.</b>		
Reason:	<b>Inspection after running with Green Plus fuel Additive</b>		
Keywords:			

### ***Summary and conclusion:***

As requested our Superintendent Engineer Mr. Georg Magnussen and Mr. Charles Hansard from Green Plus attended the above vessel in Varna, Bulgaria. The reason for the attendance was inspection after running with Green Plus fuel Additive.

The engine is with low piston top land, oblique cut low piston rings, without Alu-coating and without bronze band in the piston skirt. The normal running between piston overhaul is 16000 hours.

The test with green plus have been running for 4778 hours The green plus additive have been added to the fuel at one of transfer pipe in dosages of 50 ppm.

The piston No. 5 was overhauled in connection with end of test with the fuel additive Green Plus from the company Biofriendly. This piston was also overhauled at the start of the test and at that time as now the condition was good with low wear rates for all parts, see details next page and in cylinder condition report.. The scavenge port inspection shows good condition for all units.

2300/GSM/AXN/34856  
2005-10-21



M/V MAERSK ARUN 7S50MC IMO 9175779  
Varna, Bulgarien 2005 09 17

The cylinder oil is from the company Selenia with the name MECO 5070. At present this oil is not on our list, but confirmation test is running on other engines and the present cylinder condition indicates that the this cylinder oil is performing well. The cylinder oil consumption is the same as before start of test around 0.9 Based on the good cylinder condition and the oily pistons, the cylinder oil feed rate could be reduced.

Comparing with previous piston overhaul at start of the test, the wear rates for all parts are about the same level, and the carbon build-up is less than before, but there is also shorter time between the overhaul, but after running with Green plus for 4778 hours, the conclusion is that Green Plus fuel additive do not harm the engine.

### **Unit No. 5**

Running hours since last piston overhaul: 4778.

Liner hours: 32.906.

Cylinder condition report, page 3.

The piston was in good condition with medium carbon on top-land and light carbon on ring-land 1. There was a yellow layer of deposit on top of the piston top, but less than at last inspection. All piston rings were in good condition with only small reduction in the tension. The max. piston ring wear was for ring No. 1 and was 1 mm, i. e. 0.2 mm/1000h. There was only small amount of deposit at the back of the rings and a thin layer at the bottom of the ring grooves No. 1 and 2. There is only little wear for the ring grooves and no burning of piston. Piston skirt without bronze band in good condition. Spare piston was fitted with Daros RM5 Alu-coated top ring the other Riken 47

The liner was in good condition with no machining marks visible. The max. wear was found at top of liner in ring 2, top dead centre and was 0.22 mm, i. e. 0.007 mm/1000h from new and the same as since last overhaul, as seen below.. Wear edge at ring 1 in TDC was ground away.

The Exhaust valve and Cylinder cover were in good condition.

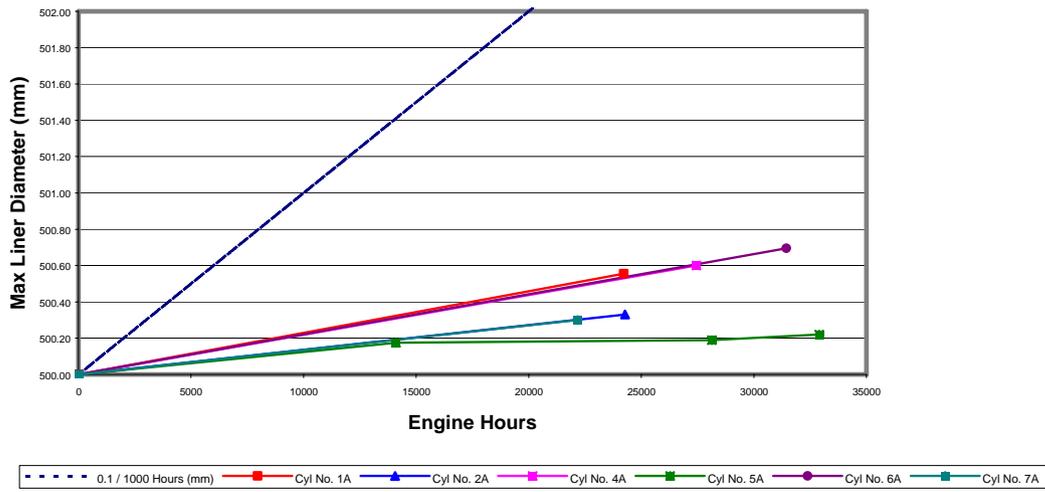
### **Scavenge port inspection.**

The inspection from exhaust side shows good condition for all units as seen on the picture, all are more or less alike, but with different running hours as seen on page 4. All piston rings were in good condition and with shape as seen on page 4. All liners were with machining marks slightly visible in the inspected area, at manoeuvring side and the max. wear for all liners as seen below.



M/V MAERSK ARUN 7S50MC IMO 9175779  
Varna, Bulgarien 2005 09 17

Max. Liner Diameter Analysis  
MAERSK ARUN HITACH-003776



2300/GSM/AXN/34856  
2005-10-20

Georg Magnussen



M/V MAERSK ARUN 7S50MC IMO 9175779  
 Varna, Bulgarien 2005 09 17

### Cylinder Condition Report

Vessel: M/V Maersk Arun		IMO no: 9175779	Eng. builder: HITACHI	Eng. no.: 003776	Checked by: GSM2300
No. of cyl.: 7	Eng. type: S50MC	Eng. hrs: 32906	Date (yy/mm/dd): 050918	Inspected unit no.: 5a	

**Voyage info**

Weeks pr. port calls: 1	Normal service load (% of MCR): 85(50)	Lub. part load control	RPM	Lub. type	Hans Jensen
Cyl. oil consumption (L/24 hrs): 300	at load %: 85	Cyl. oil type	Selena Meco5070		

**Cylinder liner**

Liner hours: 32906	Insulation pipe (Y/N): N	PC ring (Y/N): N	Liner material	TARKALLOY-C
Drawing no.:	Frame type	Semi Cooled	Liner cool type	Slim Mk 5, 4x1
Producer/Marking:	Wear type	Normal	Liner honed (Y/N)	N
Cyl. cover tightened (Y/N): N	Temp. between liner and measuring tool (°C)			Slims (mm): 15

Measuring point	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	A1	A2
	<small>(Additional) (Additional)</small>													
Depth (mm)	5	15	43	69	91	315	555	790	1030	1275	1515	2200		
Diameter (mm)	F-A	500.00	500.16	500.19	500.20	500.18	500.08	500.09	500.07	500.09	500.08	500.08	500.06	
	E-M	500.00	500.18	500.22	500.20	500.19	500.14	500.10	500.10	500.15	500.12	500.13	500.10	

E: Exhaust M: Manoeuvre  
A: Aft F: Fore

All measuring points are defined from the distance of the mating surface from the cylinder cover.

Pos. 0: The middle of the none sliding part above the top piston ring at TDC.

Pos. 1-4: The middle of the rings at TDC.

Pos. 5 & 6: Equally positioned between pos. 4 and 7 (1/3 of distance).

Pos. 7: Lubrication quill level.

Pos. 8 & 9: Equally positioned between pos. 7 and 10 (1/3 of distance).

Pos. 10: 100 mm. above the scav. air ports.

Pos. 11: The middle of the none sliding part below the bottom piston ring at BDC.

Liner remarks: Measuring tool calibrated by set measuring point 0 to 0

**Piston rings**

	Base material	Coating	Profile	Manufacturer	Lock type	CL grooves	Broken
Ring 1	RIK47	No	Straight	Riken	Oblique R	No	No
Ring 2	RIK47	No	Straight	Riken	Oblique L	No	No
Ring 3	RIK47	No	Straight	Riken	Oblique R	No	No
Ring 4	RIK47	No	Straight	Riken	Oblique L	No	No
Ring 5							

	Width of ring (mm)					Free ring gap "F" (mm)
	A	B	C	D	E	
Degrees	10	90	180	270	359	
Ring 1	16.08	15.99	15.98	16.01	16.98	44.00
Ring 2	16.80	16.50	16.51	16.53	16.63	45.00
Ring 3	16.71	16.71	16.70	16.69	16.77	52.00
Ring 4	16.70	16.55	16.54	16.47	16.61	48.00
Ring 5						

"F" to be measured before dismantling

**Ring grooves**

	Height, H (mm)			
	F	E	A	M
	9.80	9.77	9.79	9.80
	9.77	9.78	9.75	9.76
	9.79	9.74	9.73	9.75
	9.85	9.82	9.81	9.82

Hours since last overhaul: 4778

**Piston**

Crown hours: 30911	High topland (Y/N): N	
Bronze ring (Y/N): N	Oros piston (Y/N): N	
Max burning 1 (mm): 0		
Position 1 (degree):		
Max burning 2 (mm): 0		
Position 2 (degree):		
Max burning 3 (mm): 0		
Position 3 (degree):		

Piston remarks: Spare piston fitted, see report

**Reason for examination**

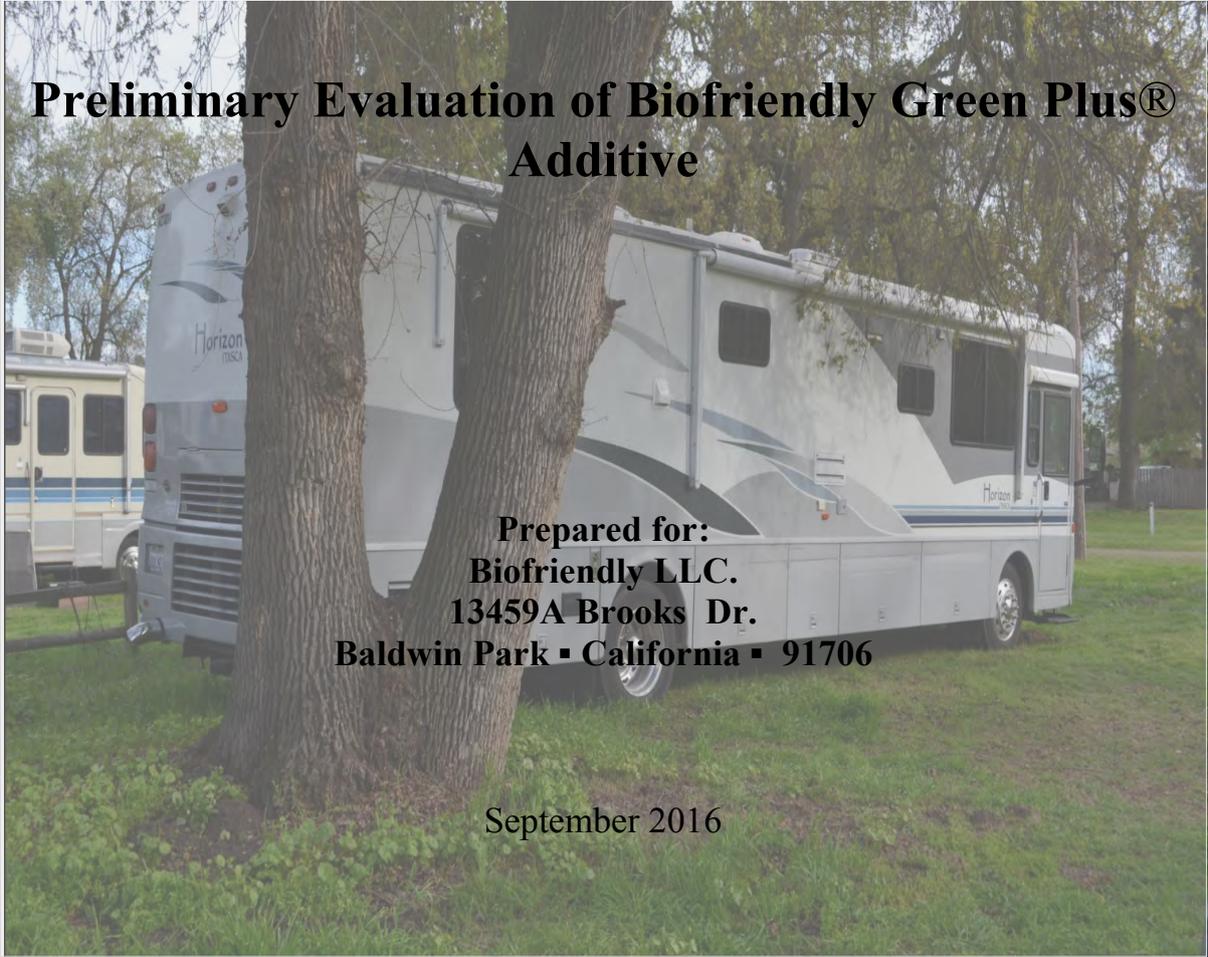
Routine piston overhaul	<input type="checkbox"/>	Test	<input checked="" type="checkbox"/>
Check of liner condition	<input type="checkbox"/>	<small>(If either of these boxes are ticked, below boxes must be kept blank)</small>	
Liner	<input type="checkbox"/>	Piston Crown	<input type="checkbox"/>
Cracks	<input type="checkbox"/>	Burning	<input type="checkbox"/>
Scuffing	<input type="checkbox"/>	Cracks	<input type="checkbox"/>
Leak	<input type="checkbox"/>	Leaking	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	High Groove	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Wear	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Piston Rings	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Broken	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Collapsed	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Sticking	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Piston Skirt	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Leaking	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Scuffing	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Piston Rod	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Stuff box	<input type="checkbox"/>



M/V MAERSK ARUN 7S50MC IMO 9175779  
Varna, Bulgarien 2005 09 17



**Final Report**



**Preliminary Evaluation of Biofriendly Green Plus®  
Additive**

**Prepared for:  
Biofriendly LLC.  
13459A Brooks Dr.  
Baldwin Park ▪ California ▪ 91706**

September 2016

**Submitted by:**  
Thomas D. Durbin  
Kent C. Johnson  
Jiacheng Yang  
Yu Jiang  
University of California  
CE-CERT  
Riverside, CA 92521  
951-781-5791  
951-781-5790 (fax)

## Table of Contents

Table of Contents	ii
Executive Summary	iii
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Experimental Procedures</b>	<b>1</b>
<b>3 Pre- and Post-Engine Evaluation</b>	<b>2</b>
3.1 Engine Condition	2
3.2 Horsepower Results	4
<b>4 Summary</b>	<b>6</b>
<b>Appendix</b>	<b>7</b>
Appendix A: Executive Order for Test Engine	7

## Executive Summary

A preliminary assessment of the Biofriendly Green Plus® additive was conducted by evaluating its impact on engine condition before and after mileage accumulation on the additive. Biofriendly utilized a Motorhome for the evaluation. Comparisons were made between the baseline condition of the engine with CARB diesel fuel and after adding the Biofriendly Green Plus® additive into CARB diesel fuel and operating the vehicle for 6,200 miles. The engine condition was evaluated by removing the cylinder head and taking pictures of the valves, cylinder heads, piston heads, valve stems, and fuel injectors.

The results of this study are summarized below.

- A noticeable cleaning effect was found in comparing picture of the engine disassembled before and after the mileage accumulation. This cleaning is most readily seen for the valves, where there is a considerable reduction in the build of black carbon on the heads after the conclusion of the mileage accumulation.
- There was also a reduction in the amount of the black carbon build up on the piston heads, although this is a bit difficult to see simply from pictures. This reduction in black carbon buildup was primarily seem in the groove on the piston head.
- The valve stems and fuel injectors did not show a significant cleaning affect.

# 1 Introduction

A preliminary assessment of the Biofriendly Green Plus® additive was conducted by evaluating its impact on engine condition before and after mileage accumulation on the additive. Biofriendly utilized a Motorhome for the evaluation. Comparisons were made between the baseline condition of the engine with CARB diesel fuel and after adding the Biofriendly Green Plus® additive into CARB diesel fuel and operating the vehicle for 6,200 miles. The engine condition was evaluated by removing the cylinder head and taking pictures of the valves, cylinder heads, piston heads, valve stems, and fuel injectors.

## 2 Experimental Procedures

A motorhome with a Caterpillar (CAT) engine was used as the test engine. This motorhome was powered with a California Air Resources Board (CARB) diesel fuel with and without the Biofriendly Green Plus® additive. A description of the engine and the test vehicle is provided in Table 2-1. Picture of the motorhome is provided in Figure 2-1. The emission control systems include direct fuel injection and a turbocharger with a charge air cooler. The certification Executive Order for the engine tested are provided in Appendix A.

**Table 2-1. Engine and vehicle Specifications**

Engine	Manufacturer	Engine Model	Model Year	Engine Family	Engine Type	Horse power	Displacement	Peak Torque
	CAT	3126	2002	2CPXH0442HBX	Compression-ignition	330 HP	7.2 L	330 HP @ 2400 rpm
Vehicle	Manufacturer		Vehicle Year	VIN number		Empty Weight	Mileage	License Plate #
	Horizon		2003	4UZA AHAK23CK83287		27,910 lbs	28,425 miles	6ULN282

The engine condition was evaluated in the baseline condition and after mileage accumulation with the Biofriendly Green Plus® additive. The baseline condition of the engine was assessed at a vehicle mileage of 28,425. The baseline condition was evaluated after approximately 3600 miles of operation with the baseline CARB diesel fuel. The final condition of the engine after operation with the Biofriendly additive was assessed at a vehicle mileage of 34,610. Thus, the vehicle was driven for approximately 5,700 miles with the Biofriendly additive to evaluate the cleaning effect of operating with the Biofriendly Green Plus® additive.

Diagnostic evaluations were conducted at Johnson Machinery before and after the mileage accumulation. The vehicle was initially evaluated by Johnson Machinery to ensure the vehicle was in good operating condition. Some repairs conducted prior to the mileage accumulation including a realignment. Once it was decided that the engine and chassis were in good operating condition, the engine was disassembled to allow pictures to be taken of the engine in its baseline condition. Following the mileage accumulation, some additional repairs were conducted. In particular, the turbocharger was checked and cleaned to insure it was in proper work order. Following the completion of these checks, the engine was again disassembled to allow pictures to be taken of the engine in its condition after running the Biofriendly Green Plus® additive.

A horsepower test was also run on the Johnson Machinery repair grade heavy-duty chassis dynamometer for the baseline condition and the condition following the mileage accumulation with the Biofriendly Green Plus® additive.



**Figure 2-1. Picture of the Motorhome.**

### **3 Pre- and Post-Engine Evaluation**

One of the most critical elements of this study was to evaluate the condition of the engine from the baseline condition before the addition of the Biofriendly Green Plus® additive to after the mileage accumulation of 6,200 miles using the Biofriendly Green Plus® additive. This evaluation included the disassembly of the engine and visual and photographic inspection of the cylinders, pistons, valves and fuel injectors. Additionally, horsepower tests were run on a chassis dynamometer to evaluate any changes in horsepower than might have occurred over the course of the study.

#### **3.1 Engine Condition**

The engine was disassembled before and after the mileage accumulation with the Biofriendly additive. Figure 3-1 to Figure 3-4 show pictures of the intake and exhaust valves, combustion cylinders and piston heads, fuel injectors, and valve stems, respectively. To allow for a better comparison of the condition of the engine before and after the mileage accumulation, the before and after pictures are presented side by side. Overall, the pictures show a noticeable cleaning effect between the before and after mileage accumulation photographs. This cleaning is most readily seen in the pictures of valves in Figure 3-1, where there is a considerable reduction in the build of black carbon on the heads after the conclusion of the mileage accumulation. There was also a reduction in the amount of the black carbon build up on the piston heads, although this is a bit difficult to see simply from pictures. This reduction in black carbon buildup was primarily seen in the groove on the piston head. For the valve stems, there was not a significant reduction of black carbon, although some valve did appear to also show a reduction in the black carbon build up. The fuel injectors did not show a dramatic reduction in black carbon between the before and after pictures. It should be noted that the reduction in black carbon was also noted by one of the main technicians

servicing the engine. He noted that the change in the engine condition and the observed cleaning was significant, and that the condition of the engine appeared to be consistent with hotter combustion.



Figure 3-1. Before and After Pictures of Intake and Exhaust Valves.



Figure 3-2. Before and After Pictures of Cylinder and Piston Head.



Figure 3-3. Before and After Pictures of Fuel Injectors.



Figure 3-4. Before and After Pictures of Valve Stems.

### 3.2 Horsepower Results

Horsepower tests were conducted before and after the mileage accumulation with the Biofriendly Green Plus additive. These horsepower curves were run on the repair grade dynamometer at Johnson Machinery. Horsepower curves from before mileage accumulation are shown in The horsepower curve for the after mileage accumulation is shown in Figure 3-7.

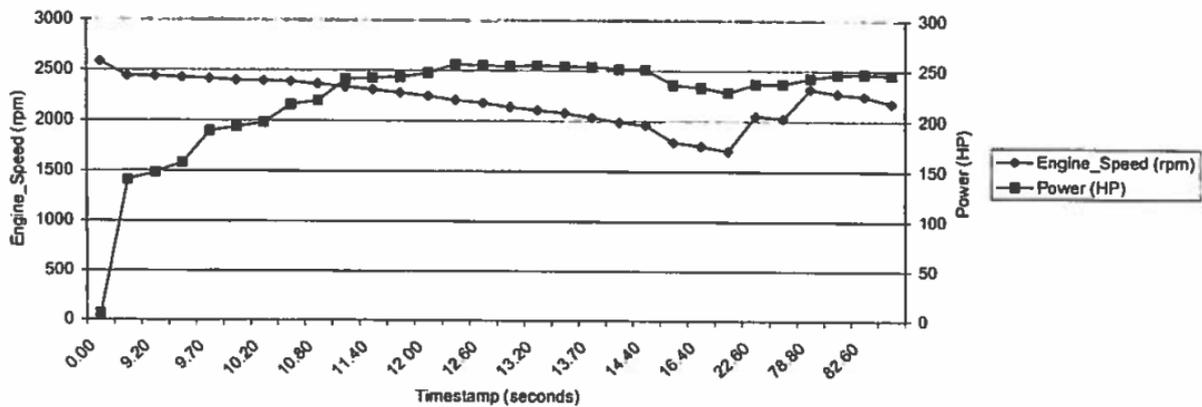
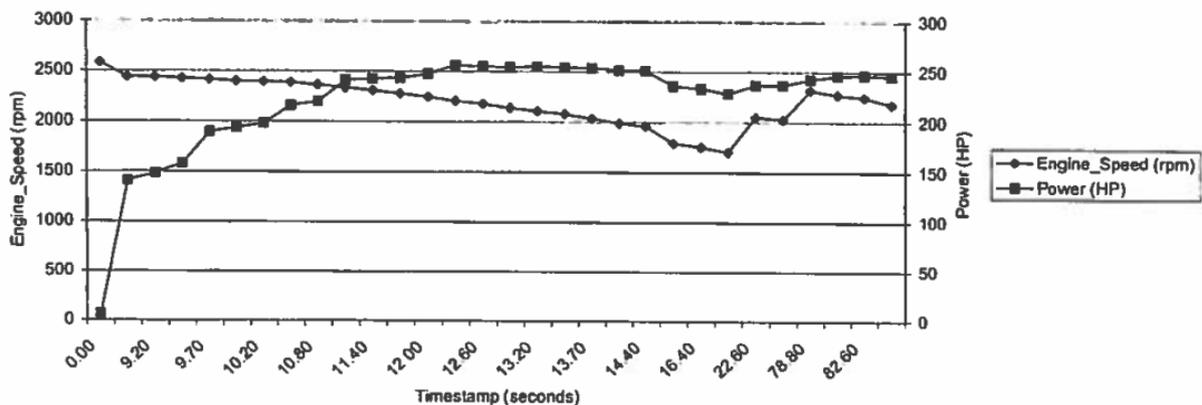
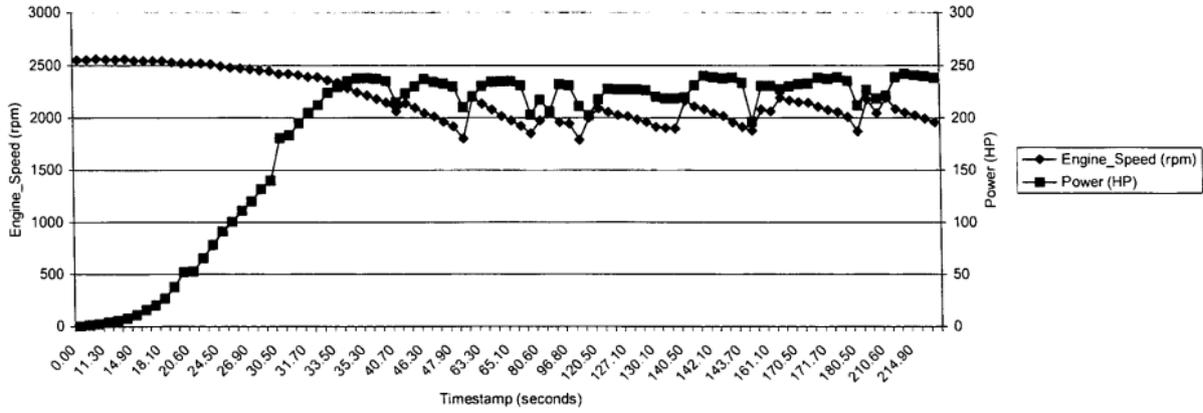


Figure 3-5 and Figure 3-6. The horsepower curve for the after mileage accumulation is shown in Figure 3-7.



**Figure 3-5. Before Mileage Accumulation Horsepower Test Results**



**Figure 3-6. Before Mileage Accumulation Horsepower Test Results #2**

**Figure 3-7. After Mileage Accumulation Horsepower Test Results**

## 4 Summary

A preliminary assessment of the Biofriendly Green Plus® additive was conducted by evaluating its impact on engine condition before and after mileage accumulation on the additive. Biofriendly utilized a Motorhome for the evaluation. Comparisons were made between the baseline condition of the engine with CARB diesel fuel and after adding the Biofriendly Green Plus® additive into CARB diesel fuel and operating the vehicle for 6,200 miles. The engine condition was evaluated by removing the cylinder head and taking pictures of the valves, cylinder heads, piston heads, valve stems, and fuel injectors.

The results of this study are summarized below.

- A noticeable cleaning effect was found in comparing picture of the engine disassembled before and after the mileage accumulation. This cleaning is most readily seen for the valves, where there is a considerable reduction in the build of black carbon on the heads after the conclusion of the mileage accumulation.
- There was also a reduction in the amount of the black carbon build up on the piston heads, although this is a bit difficult to see simply from pictures. This reduction in black carbon buildup was primarily seen in the groove on the piston head.
- The valve stems and fuel injectors did not show a significant cleaning affect.

# Appendix

## Appendix A: Executive Order for Test Engine

 <b>AIR RESOURCES BOARD</b>	<b>CATERPILLAR INC.</b>	<b>EXECUTIVE ORDER A-013-0146</b> New On-Road Heavy-Duty Engines
---	-------------------------	---

Pursuant to the authority vested in the Air Resources Board by Health and Safety Code (HSC) Division 26, Part 5, Chapter 2; and pursuant to the authority vested in the undersigned by HSC Sections 39515 and 39516 and Executive Order G-45-9; and

Pursuant to the December 15, 1998 Settlement Agreement between the Air Resources Board and the manufacturer, and any modifications thereof to the Settlement Agreement;

**IT IS ORDERED AND RESOLVED:** That the following engine and emission control systems produced by the manufacturer are certified as described below for use in on-road motor vehicles with a manufacturer's gross vehicle weight rating (GVWR) over 14,000 pounds. Production engines shall be in all material respects the same as those for which certification is granted.

MODEL YEAR	ENGINE FAMILY	ENGINE SIZE (liter)	FUEL TYPE	STANDARDS & TEST PROCEDURE	INTENDED SERVICE CLASS
2002	2CPXH0442HBX	7.2	Diesel	Diesel	Medium-Heavy-Duty
SPECIAL FEATURES & EMISSION CONTROL SYSTEMS			ENGINE MODELS / CODES (rated power in horsepower, hp)		
DDI, TC, CAC, ECM, OC			See Attachment		
<small>           ABBREVIATIONS: OC=oxidizing catalyst TWC=three-way catalyst            WU (prefix) =warm-up catalyst O2S=oxygan sensor            HC2S=heated O2S TBI=throttle body fuel injection MFI=multiport fuel injection SFI=sequential MPI DOBI=direct indirect diesel injection TC/SC=turbo/super charger CAC=charge air cooler            EGR=exhaust gas recirculation AIR=secondary air injection            PAIR=pulsed AIR SP=smoke puff limiter ECMPC=engine powertrain control module EM=engine modification 2 (prefix)=parallel (2) (suffix)=in series         </small>					

The following are the exhaust emission standards (STD), or family emission limit(s) (FEL) as applicable, and certification levels (CERT) for this engine family for hydrocarbons (HC) or non-methane hydrocarbons (NMHC), oxides of nitrogen (NOx), or NMHC+NOx, carbon monoxide (CO), particulate matter (PM), and formaldehyde (HCHO) in grams per brake horsepower-hour (g/bhp-hr) under the "Federal Test Procedure" (FTP) (Title 13, California Code of Regulations, (13 CCR) Section 1956.1 (urban bus) or 1956.8 (other than urban bus)), and under the "Euro III Test Procedure" (EURO) in the Settlement Agreement, including a EURO's "Not-to-Exceed" NOx standard: (The emission standards and certification levels for default operations permitted under 13 CCR Section 1956.1 or 1956.8 are in parentheses.)

	EURO'S NOT-TO-EXCEED NOx STD												5.0	
	HC		NMHC		NOx		NMHC+NOx		CO		PM		HCHO	
* = not applicable	FTP	EURO	FTP	EURO	FTP	EURO	FTP	EURO	FTP	EURO	FTP	EURO	FTP	EURO
(DIRECT) STD	1.3	1.3	*	*	*	*	*	*	15.5	15.5	0.10	0.10	*	*
AVERAGE STD	*	*	*	*	4.0	4.0	*	*	*	*	*	*	*	*
FEL	*	*	*	*	3.5	3.5	*	*	*	*	*	*	*	*
CERT	0.3	0.1	*	*	3.1	3.1	*	*	1.2	0.3	0.09	0.06	*	*

**BE IT FURTHER RESOLVED:** That certification to the FEL(s) listed above, as applicable, is subject to the following terms, limitations and conditions. The FEL(s) is the emission level declared by the manufacturer and serves in lieu of an emission standard for certification purposes in any averaging, banking, or trading (ABT) programs. It will be used for determining compliance of any engine in this family and compliance with such ABT programs.

**BE IT FURTHER RESOLVED:** That for the listed engine models, the manufacturer has submitted the materials to demonstrate certification compliance with 13 CCR Sections 1965 (emission control labeling), and 2035 et seq. (emission control system warranty).

**BE IT FURTHER RESOLVED:** That the listed engine models are conditionally certified subject to the following conditions: (1) The Settlement Agreement is in effect; and, (2) The manufacturer is in compliance with all applicable certification requirements of the Settlement Agreement and any modifications thereof.

Engines certified under this Executive Order shall conform to all applicable California emission regulations and all requirements under the Settlement Agreement and any modifications thereof.

The Bureau of Automotive Repair will be notified by copy of this Executive Order.

**This Executive Order is not valid for engines produced on or after October 1, 2002.**

Executed at El Monte, California on this 20<sup>th</sup> day of December 2001.

  
 R. B. Summerfield, Chief  
 Mobile-Source Operations Division

## **Conclusion**

*Green Plus* has been certified safe by the United States Government, Southwest Research Institute, Man B&W and the University of California, Riverside, Center for Emission Research & Technology. These are some of the most respected authorities in engine safety and testing and they all agree that *Green Plus* does not cause harm to engines or engine components. In some cases, they even show that *Green Plus* extends engine life and reduces maintenance. Wartsila, Man B&W and Detroit Diesel have even gone so far as to send letters of no objection.

The product has been analyzed by SGS Analytics to ensure that there are no hazardous byproducts and it does not void engine manufacturer warranties. To go even a step further, the product has been bought and used by some of the largest oil companies in the world, has seen over 20 billion miles of use and has never had a reported, negative incident since being brought to market in 1999.

To say that *Green Plus* is safe to use is an understatement. The product is safe in its design, safe in testing and safe on the road after countless miles worldwide. So, give it a try and pay yourself to make a difference for the environment.

Solutions for a Greener Planet



**BIOFRIENDLY**   
CORPORATION

**GREEN PLUS**  
LIMITED

*Green Plus*<sup>®</sup> liquid fuel combustion catalyst is the world's most effective and economical solution for significantly improving fuel economy and reducing harmful emissions.



# Finally Solving the Riddle of Improved Fuel Combustion

For over 100 years the challenge of significantly improving the combustion of hydrocarbon-based fuels such as gasoline, diesel, heavy fuel oil and coal has stymied scientists worldwide.

According to the U.S. Department of Energy, the thermal energy to mechanical energy efficiency of light-duty combustion engines is around 30%. Heavy-duty engines are only marginally better at 46%.<sup>1</sup>

Unfortunately, the opportunity to improve fuel combustion characteristics (and therefore engine efficiency) has spawned a worldwide panorama of “fuel enhancing” products, most of which are ineffective. This has created the idea that nothing works, that all of these products are “snake oil.”<sup>2</sup>

This perception is about to change.

**After nearly 15 years of research and development and over four billion miles of customer use, along with numerous certified laboratory tests and field trials, a product has finally entered the world market that can stand behind its claims.**

*Green Plus* is a liquid catalyst that is added to fuel to improve combustion. *Green Plus* helps solve one of the energy industry’s biggest challenges: how to improve the burn in order to convert more energy to work and at the same time reduce harmful emissions.

*Green Plus* is a patented technology, working at the molecular level to slightly “unbundle” complex hydrocarbon molecule clusters to enable oxygen to reach the fuel and react with the fuel more easily (*please see the section entitled Scientific Breakthrough*). Improving combustion processes results in a “positive domino effect”—that is, a more complete burn, a more linear burn, a smoother burn and greater mechanical efficiency. This in turn delivers more power, more torque, better fuel economy and fewer harmful emissions.



1. U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. Visit [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov) for further information.

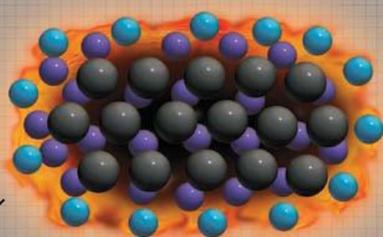
2. Snake oil: slang terminology for a product with fictitious properties or qualities.

# Scientific Breakthrough

*Green Plus* is not a typical “fuel additive”—it is a true catalyst. As such it does not alter the chemistry of the fuel; it simply helps the existing fuel burn more completely and more “linearly.” The key to the effectiveness of *Green Plus* is twofold. First, the organic and inorganic compounds that comprise *Green Plus* enable the complex hydrocarbon clusters in fuel to become slightly unbundled. That is, long-chain hydrocarbons have a tendency to cluster, which makes it more difficult for the surrounding oxygen to reach all of the fuel. This creates the dual problems of lower performance and harmful emissions due to incompletely burned fuel. By slightly unbundling the clusters, *Green Plus* allows the ambient oxygen from the air fed into the engine, boiler or furnace to reach more of the fuel, thus producing a more complete burn without the explosive shattering that accompanies a normal combustion process.

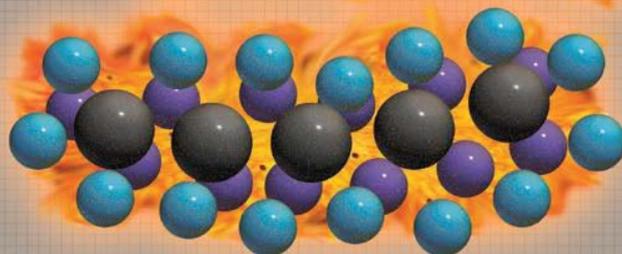
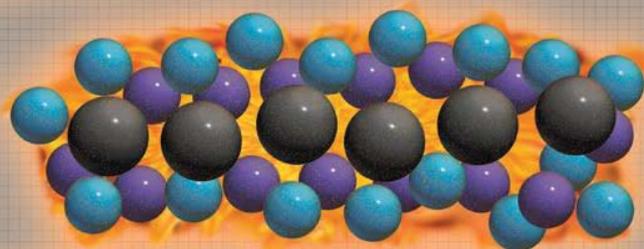
The second and equally important quality of *Green Plus* is its ability to remain fully dispersed in the fuel. In fact, *Green Plus* is fully miscible with all hydrocarbon-based fuels.

This scientific breakthrough stands in stark contrast to other attempts at improving combustion. These other approaches frequently require the use of volatile chemicals and metals, which have a tendency to drop out or require increased quantities to have any effect. Conversely, *Green Plus* can be added in extremely small quantities to large amounts of fuel; a typical concentration consists of one liter of *Green Plus* to treat 20,000 liters of fuel (approximately 5,000 U.S. gallons).



**Without *Green Plus***  
the molecular structure of ordinary fuel is tightly bundled. This means the hydrocarbons burn unevenly, resulting in lower performance and more emissions.

● Oxygen  
● Carbon  
● Hydrogen



**The Unbundling and Oxygenation Effect of *Green Plus***

**With *Green Plus***  
the catalyst actively unbundles the hydrocarbons, allowing a much more even burn, greater performance and lower emissions.

# About Biofriendly Corporation and Green Plus Limited



The mission of Biofriendly Corporation and *Green Plus* Limited is to help solve the twin global problems of air pollution and the increasing demand for ever more costly fuel. Founded in 1999 and 2000 respectively by the three Carroll brothers, Bob, Bill and Noel, these companies have introduced a breakthrough product in *Green Plus*.

Prior to Biofriendly and *Green Plus*, the Carroll brothers had founded and established successful international ventures, including the creation of Vortoil, an award-winning oil-water separation system that was a breakthrough solution for the offshore oil industry. This system won the Queen's Award in the U.K. for "The Best New Technology Introduced in the North Sea Oil Industry in the Past Ten Years." The North Sea would not be enjoying continued production without the Vortoil oil-water separator.

Holders of over 100 patents, the Carrolls have been successful innovators and businessmen for over 30 years. Today, Biofriendly's management team includes experienced, successful entrepreneurs, scientists and former government officials who are helping to grow the business on a worldwide basis.

These privately held companies have offices in the Los Angeles, California, area and in London, U.K.



# Certified and Independent Test Results



The true proof of a product's ability comes from certified tests by official independent organizations. The effectiveness of *Green Plus* becomes clear when examining these test results by laboratories and governments on five continents.

Rigorous independent tests have been conducted on gasoline vehicles, heavy-duty diesel engines, large ocean-going ships and more.

## Combustion Efficiency Testing

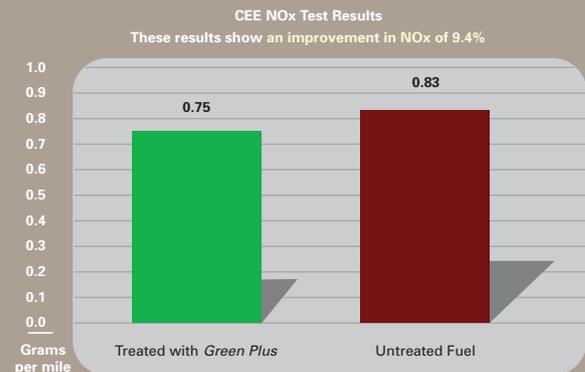
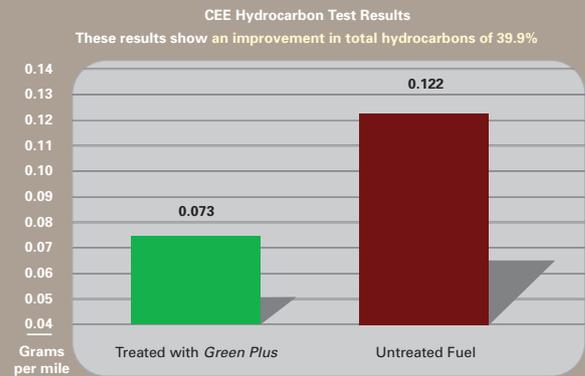
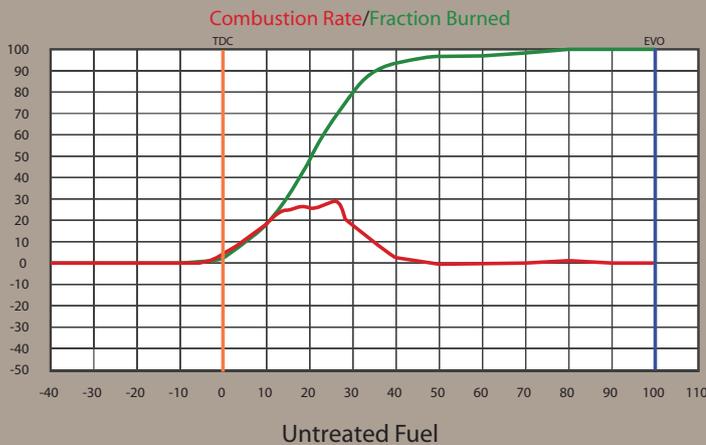
Combustion Efficiency Testing is designed to give a "to-the-second" analysis of the efficiency of an engine while on the road. The test is generally used to balance the cylinders of racecar

engines in order to improve efficiency. When UM2 Performance Testing, an organization that uses this method of testing for racecars in Singapore, tested *Green Plus*, they noted that it was the first additive they had ever tried that produced a significant positive effect. The results showed horsepower increased 10.84% and torque increased 10.48%

## Successful Test Results on Five Continents

The following tables show the results of certified tests conducted at approved laboratories and government agencies around the world. Details of these results are available upon request.

The charts below left show the Combustion Rate and the Fraction of Fuel Burned during one engine cylinder cycle. In the top chart (without *Green Plus*) the Fraction Burned (green line) does not reach 100% until the cycle is almost over. In the bottom chart (with *Green Plus*) the Fraction Burned reaches 100% far earlier in the cycle. In addition, when comparing the Combustion Rate (red lines), the cycle with *Green Plus* shows combustion occurring far more rapidly and reaching a higher peak. This is a clear demonstration of how *Green Plus* improves combustion, such that more power can be converted to mechanical energy, thus achieving the "positive domino effect" of improved efficiency, lower emissions and better fuel economy.



# Gasoline

## California Environmental Engineering *(California Air Resources Board and U.S. EPA accepted laboratory)*

### Cadillac automobile on a chassis dynamometer

- Carbon monoxide reduced 45.2%
- Hydrocarbons reduced 39.9%
- NOx reduced 9.4%

## Southwest Research Institute

- Conducted “No Harm” Test on Gasoline Engine and Engine Components
- Certified “no harm” in gasoline

## Beijing Automobile Research Institute *(official test authority for China)*

### China’s FAW automobile on a chassis dynamometer

- Carbon monoxide reduced 29.7%
- Hydrocarbons reduced 27.9%

- Nitrogen dioxide reduced 28.2%
- Carbon dioxide reduced 10%
- Fuel economy improved 6.45%

## Mexico

### Sanctioned Test by the Transport Union of Mexico 8 gasoline taxicabs, 2002–2004 Nissan models

- Fuel economy improved 10%–15%

# Diesel Test Results

## Olson EcoLogic

*(California Air Resources Board and U.S. EPA accepted laboratory)*

### Transient Cycle Heavy-Duty Diesel Engine Test

- NOx reduced 7.7%
- PM reduced 1.0%
- CO reduced 20.7%
- THC reduced 4.92%

## California Environmental Engineering

*(California Air Resources Board and U.S. EPA accepted laboratory)*

### Steady-State 8-Mode Heavy-Duty Diesel Engine Test Detroit Diesel Series 60 Engine

- THC reduced 10.64%
- NOx reduced 5.09%
- PM reduced 8.35%

## Southwest Research Institute

- Conducted “No Harm” Test on Diesel Engine and Engine Components
- Certified “no harm” in diesel

## Petroecuador *(National Oil Company of Ecuador)*

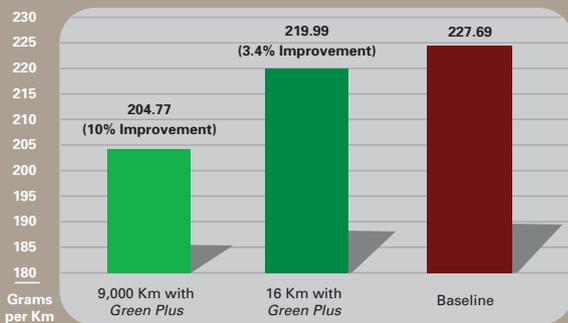
### Stationary Pump Engines

- NOx reduced 48.51%
- Carbon monoxide reduced 51.2%
- Sulfur dioxide reduced 51.84%

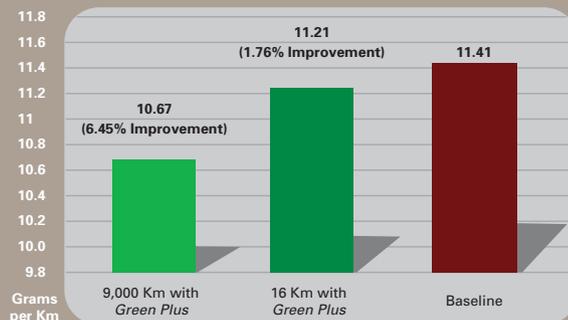
## Diesel Buses

- NOx reduced 53.3%
- Carbon monoxide reduced 51.2%
- Sulfur dioxide reduced 21.3%

BARI Carbon Dioxide Test Results  
Test conducted by the Beijing Automobile Research Institute



BARI Fuel Economy Test Results  
Test conducted by the Beijing Automobile Research Institute



# Heavy Fuel Oil

## Emission Testing Consultants Pty Ltd Australia—Arafura (Container Ship)

- Reduced NOx 21.9%
- Reduced CO 7.0%
- Reduced PM 12.0%
- Maintained SOx emissions despite using higher sulfur fuel

### Arafura Emissions Testing

	SOx	NOx	CO	PM	Fuel Sulfur %
Baseline	9.42	18.48	0.43	0.50	2.3
Treated	9.43	14.43	0.40	0.44	3.2
Change	0.01	-4.05	-0.03	-0.06	0.90
% Change	0.1%	-21.9%	-7.0%	-12.0%	39.1%

Baseline and treated data measured in grams per kilowatt hour

## Unicom Tankers

*Tromso Confidence:*

- 5.7% improvement in fuel economy

*Petropavlovsk:*

- 5.45% improvement in fuel economy

*Vanguard:*

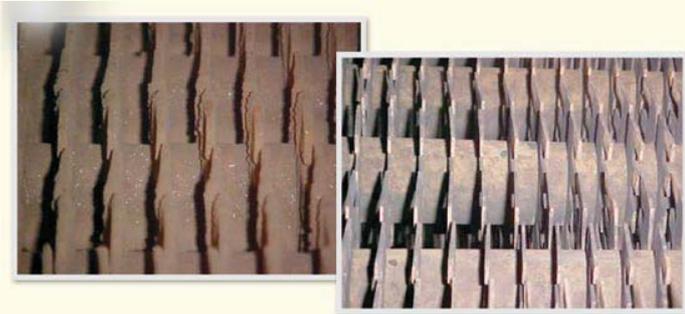
- 6.31% improvement in fuel economy

*Bering Sea:*

- 5.38% improvement in fuel economy

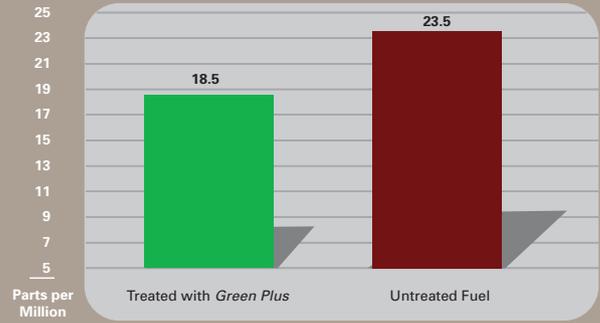
- Wartsila Engine Division: Issues no-objection letter

- MAN B&W Diesel: 4,000-hour engine test leads to a letter of no objection

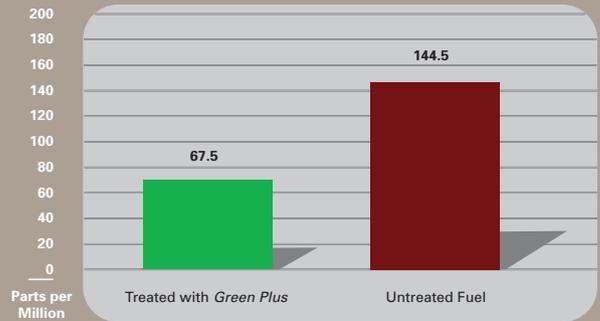


Above photographs show the finned tubes of an exhaust gas boiler on board the Unicom Management ship *Bering Sea* before (left) and after (right) using *Green Plus*, demonstrating lack of deposits with *Green Plus* use.

PetroEcuador Diesel Bus Test Results  
These results show an improvement in SOX of 21.3%



PetroEcuador Diesel Bus Test Results  
These results show an improvement in NOx of 53.3%

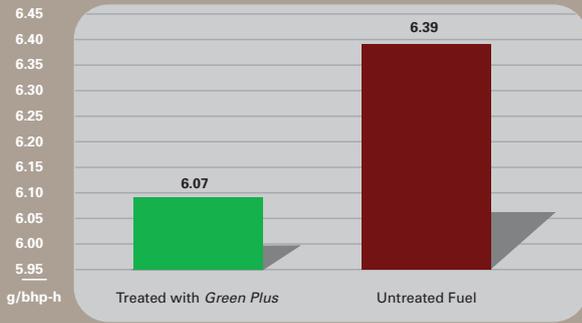


Biofriendly U.S.



Biofriendly Factory in the U.S.

CEE Diesel NOx Test Results  
These results show an improvement in NOx of 5.09%



CEE Diesel PM Test Results  
These results show an improvement in particulates of 8.35%



# Coal

*Green Plus* has been tested on numerous occasions at Power Technology's research laboratory in Ratcliffe, United Kingdom, on an official 1 MW test boiler. Power Technology is a division of E-ON, a major utility operator in Europe. The tests involved adding *Green Plus* to pulverized coal via a mist spray technique.

In this research study, Loss on Ignition (LOI) improved in several test runs without any increase in NOx. In some test runs LOI was reduced by more than 20% with up to an 8% decrease in NOx.

An important aspect of the test results showed that the treatment rate of *Green Plus* can be adjusted to focus on reducing either LOI or NOx without increasing the other emissions. Or *Green Plus* can be used to reduce both LOI and NOx overall.

These results have been incorporated into an official report from E-ON/Power Technology.

Green Plus U.K.



Green Plus Emissions Laboratory in Aveley, England



# Attributes of Green Plus

*Green Plus* does not alter the chemistry of the fuel; it is a true catalyst that enhances combustion.

*Green Plus* is operationally easy to implement, normally at a ratio of 1:20,000 (*one liter of Green Plus treats 20,000 liters of fuel*).

*Green Plus* is exceptionally cost effective, delivering a dividend in fuel savings while reducing emissions and improving performance.

*Green Plus* lengthens the life of engines, boilers and other devices through cleaner, more complete combustion.

FEATURE	BENEFIT
Improves fuel economy	Reduces overall net fuel costs significantly
Reduces harmful emissions	Reduces pollution and helps meet government regulations
Low cost	<i>Green Plus</i> pays for itself virtually from the start of use and continues delivering savings well beyond its cost
Less than 50 parts per million concentration in fuel	Small amounts of <i>Green Plus</i> can treat large quantities of fuel
Non-mutagenic and non-carcinogenic	Completely safe; does not harm the environment
Cooler, more efficient burn	More even combustion, more complete burn; improves horsepower and torque
No contaminants in <i>Green Plus</i>	Southwest Research Institute confirms <i>Green Plus</i> will not harm engines or engine components
More complete combustion	Keeps engines running cleaner, requiring less maintenance; also helps clean dirty engines
No maintenance	As opposed to hardware devices, <i>Green Plus</i> requires no servicing or maintenance; in fact, it reduces maintenance over time
Liquid catalyst	Operationally easy to implement on a massive scale

## *Green Plus*

reduces pollution and helps meet government regulations;

is non-mutagenic and non-carcinogenic;

is completely safe and does not harm the environment;

is environmentally safe for engines, components and people;

requires no special handling.



---

**Biofriendly Corporation**

1665 W. Industrial Park St.  
Covina, CA 91016  
United States of America  
Contact: James D'Arezzo  
Tel: +1 626 859 5000  
Fax: +1 626 915 1454  
E-mail: biofriendly@biofriendly.com  
Web: www.biofriendly.com

**United Kingdom****Green Plus Limited**

Flat 1, 47 South Street  
London, W1K 2XQ  
United Kingdom  
Contact: Jack Brockway  
Tel: +44 794 123 1181  
Fax: +44 207 629 2223  
E-mail: jack.brockway@greenplus.co.uk  
Web: www.greenplus.co.uk

**East Africa****Green Plus East Africa Limited**

P.O. Box 72228  
Westlands Centre  
Ring Road  
Nairobi  
Kenya  
Contact: Adrian Boedt  
E-mail: greenpluseastafrica@yahoo.com  
Tel: +44 (0)1935 850860  
Mob: +44 (0)7813 800284

**Malaysia****Green Plus Malaysia**

102, Block G, Phileo Damansara 1  
Petaling Jaya 46350  
Selangor, Malaysia  
Contact: Gana  
Tel: +60 3 7957 7572  
Fax: +60 3 7957 7173  
E-mail: gana@greenplus.com.my  
www.greenplus.com.my

**Hungary****Green Plus Hungary**

Budapest, Hungary  
1-3 V/3 Bécsi St (Bécsi utca 1-3 V/3)  
H-1052  
Tel: +36 1 33 200 55  
Fax: +36 1 26 946 17  
Mob: +36 30 33 22 666  
Contact: Péter Bíró  
E-mail: greenplus@greenplus.hu  
Web: www.greenplus.hu

**Turkey****RIMERNA Foreign Trade Inc.**

1375 Sokak 18/3  
Alsancak, Izmir  
Turkey  
Contact: James R. Rimer Jr.  
Tel: +90 232 421 8177  
Fax: +90 232 463 3425  
Mob: +90 542 241 9490  
E-mail: jayrimer@hotmail.com

**Mexico****Correct Action International**

Mexico, S.A. de C.V.  
Mexico City  
Medellin 321  
Col. Roma Sur  
Mexico, D.F., C.P. 06760  
Contact: Alejandro Espriu  
Tel: +52 442 216 9938  
Fax: +52 442 216 9938  
E-mail: aespriu@hotmail.com

**Ecuador****Green Plus Ecuador**

Ramirez Davalos 117 y Amazonas  
Quito, Ecuador  
Contact: Diego Saenz  
Tel: 593 2 256 2087  
Mob: 593 9 443 637  
Fax: 593 2 256 2087  
E-mail: inpersa@uio.satnet.net  
saenzd@uio.satnet.net

**Canada****Biofriendly Catalyst Canada Corp.**

3306 W 14th Ave.  
Vancouver, BC V6R 2V8  
Canada  
Contact: Paul Price  
Tel: +1 604 731 7432  
Fax: +1 604 731 0828  
E-mail: pemp@shaw.ca  
www.biofriendly.ca

**Taiwan****GREENERGY, Inc.**

No. 149, Keelung Road Sect. 2, #11-1  
Taipei, Taiwan  
台鉢有限公司  
臺北市信義區基隆路二段149號 11樓之1  
www.greenplus.com.tw

**Singapore****Green Plus Asia Tech**

12 Jalan Lembah Kallang  
Concorde Building #06-00  
Singapore 339568  
www.greenplus.com.sg

**Cyprus and Greece****NVK Petroleum Ltd**

Makedonias 3  
Ayios Tihonas 4521  
Limassol, Cyprus  
Contact: Yiannis Krystallis  
Tel: +357 994 16646  
Fax: +357 253 24888  
E-mail: gplcy@logosnet.com.cy

Pablo Nogués, 27 de setiembre de 2018

HOREB - BIOFRIENDLY

Sr. Pedro Ceja Velasco  
Director General

REF.: Comparativo de consumo de combustible con GREEN PLUS.

Ponemos a consideración de usted el informe con los resultados obtenidos, luego de realizados los ensayos de consumo de combustible.

**Objeto del ensayo:**

Determinación del rendimiento de un combustible de Grado 2 en condiciones de una formulación de base normal y en forma posterior con el agregado de aditivo. Se considerará como tales a los productos comerciales "NAFTA SÚPER" de YPF de 95 octanos, y como producto aditivador el llamado comercialmente "GREEN PLUS". En ambos casos los test fueron realizados sobre 2 vehículos representativos del parque actual argentino.

**Consideraciones:**

En la reunión mantenida el 18-Abr-2018, se definieron las pautas iniciales para la realización de los ensayos. A partir de allí se fueron tomando una serie de definiciones que dieron el perfil a los ensayos realizados.

Las bases fundamentales del ensayo fueron las siguientes:

- Utilizar un circuito que garantizara un mismo tipo de superficie, sin obstrucciones tales como como semáforos, tránsito u otros, con el objeto de reducir al máximo las variaciones que pudieran derivarse de factores externos en el ensayo de rendimiento de combustible sin aditivo y con aditivo.
- Utilizar un protocolo de velocidades que reflejara las condiciones en distintas situaciones de la vida real, sin extralimitar las velocidades permitidas en Argentina, y asegurando también la repetitividad de las mismas para evitar los sesgos en la determinación de la muestra de los consumos específicos.
- Utilizar vehículos equipados con sistema de velocidad crucero, con el objeto de lograr aceleraciones y deceleraciones de los vehículos durante las pruebas gestionadas de forma electrónica. Esto asegura la homogeneidad en el cumplimiento de un protocolo con idénticas características de conducción.
- Utilizar vehículos con caja automática, que permitieran asegurar las mismas revoluciones del motor en todos los sectores de la pista, logrando así independencia en cuanto a la variabilidad que pudieran ser incorporadas por el factor humano en la repetitividad del manejo.

- Pilotos profesionales con una amplia experiencia en conducción de rodajes de todo tipo, y con experiencia comprobable en trabajos similares para terminales automotrices radicadas en el país.

#### **Protocolo de ensayo utilizado:**

Dicho protocolo fue diseñado teniendo como consideración varios puntos importantes que hacen a poder obtener resultados que toquen la realidad y que den una cierta seguridad al momento de ver los resultados obtenidos.

Se tomó como punto de partida la Reglamentación de emisiones y consumo de Naciones Unidas.

Ahora bien, siendo que la misma es una adaptación a la forma de conducción europea, con velocidades y aceleraciones específicas, es que se le agregó la componente de velocidades que deberían ser las mínimas y máximas permitidas en nuestro país.

Dentro de otras consideraciones se tuvieron en cuenta factores propios de Argentina como el tráfico, semáforos y otros menesteres que hacen a la vida cotidiana. Por esta razón, se trabajó con velocidades que van desde los 20 km/h hasta los 130 km/h, y aceleraciones y deceleraciones que tratan de simular una forma de conducir propia de nuestro país. Además, se tuvo en cuenta un punto que tiene un efecto significativo en el consumo, que es el vehículo parado con el motor en marcha, y es por eso que el protocolo también contempló una parada en ralentí de 15' a mitad de la prueba.

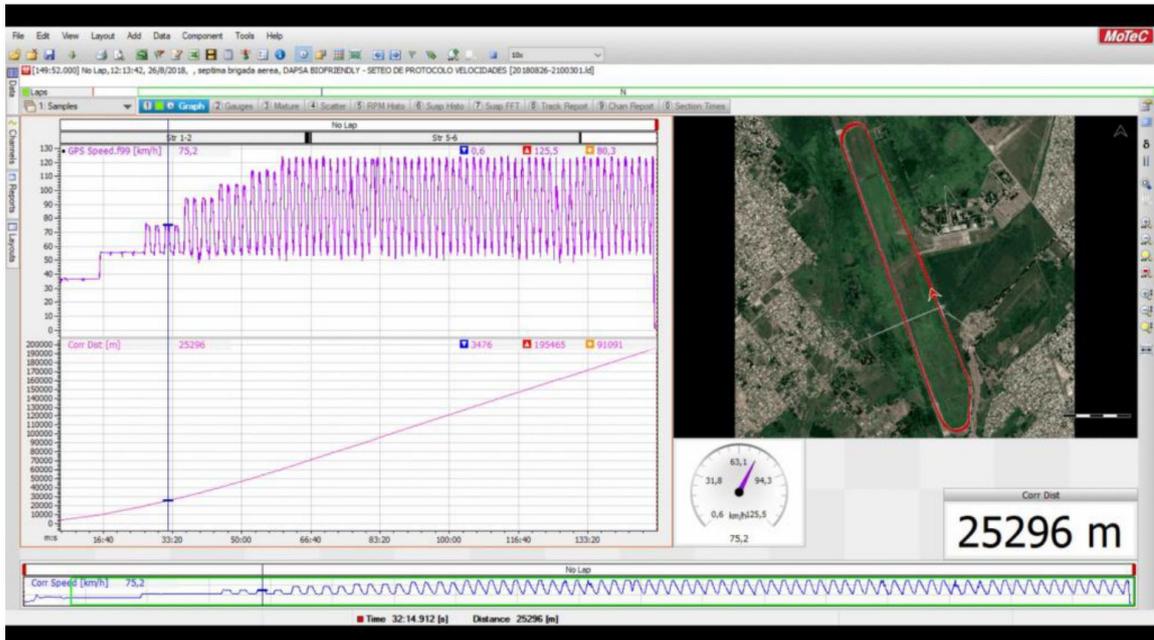
El circuito utilizado fue la pista de aterrizaje y la de rodaje de la VII Brigada Aérea de José C. Paz, con un perímetro de vuelta de 5.070 m, situada a 34 m de altitud y una planitud en todo su recorrido, tal que la misma no se puede considerar como un factor desequilibrante al momento de los tests.

Se detalla a continuación la composición en velocidades y vueltas de dicho protocolo:

- Traslado de taller a pista (ida y vuelta) a 20 km/h.
- 2 vueltas a 40 km/h y retoma de curvas a 40 km/h.
- 2 vueltas a 60 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.
- 2 vueltas a 80 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.
- 2 vueltas a 100 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.
- 2 vueltas a 110 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.
- 2 vueltas a 120 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.
- 27 vueltas a 130 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.
- Parada de 15' en ralentí.
- 40 vueltas a 130 km/h y retoma de curvas a 60 km/h.  
79 vueltas – 401 km de recorrido aproximadamente

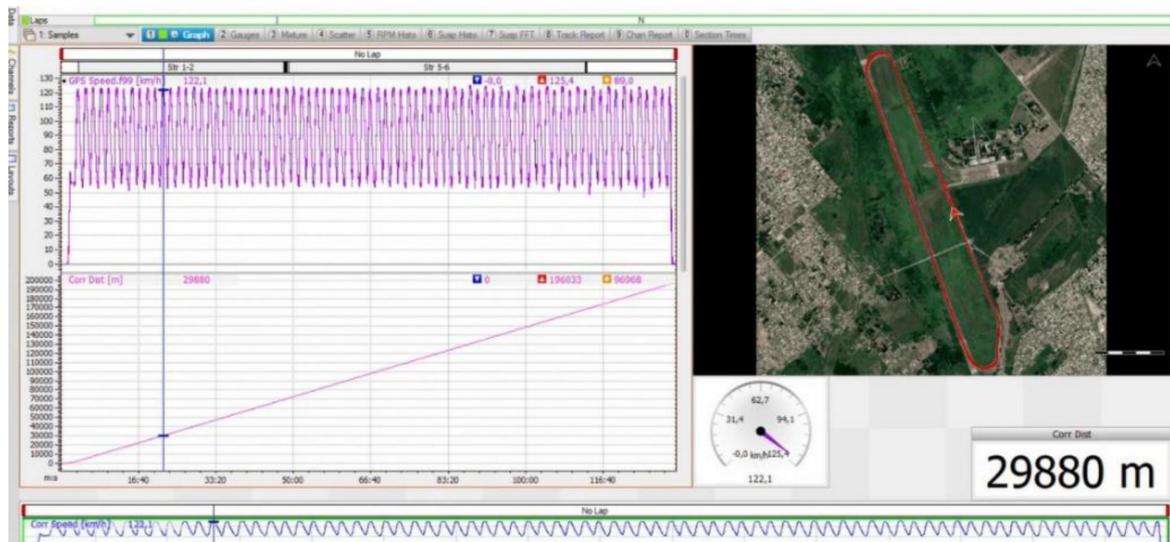
El manejo de los pilotos fue limitado exclusivamente a la utilización del volante para respetar un perímetro definido de la pista y al accionamiento de los controles de velocidad crucero, por lo cual, tanto las aceleraciones, deceleraciones y cambios de marchas fueron gestionadas electrónicamente por cada vehículo.

**Protocolo inicial Velocidad Ciudad e intermedia**



Transcurridos los primeros 200 km de rodaje se implementó una parada de 15 minutos sin apagado de motor y manteniendo un ralentí durante dicho lapso.

**Protocolo de velocidad de Ruta**



NOTA: en ninguno de los 2 gráficos se muestran la parada de 15' en ralentí

La distancia total recorrida en cada test fue de 401 km.

Dicha distancia se volvió a repetir con cada vehículo respetando de manera exacta el protocolo fijado, tanto con el combustible base como con el mismo aditivado con GREEN PLUS.

Es importante resaltar que previo a cada salida a pista se respetaron los controles establecidos para eliminar cualquier variable que pudiera interferir en los resultados, a saber:

1. Presión de neumáticos (según recomendación del fabricante).
2. Nivel de combustible de inicio.
3. Encendido de luces bajas y de advertencia para circular en todo el recorrido
4. Puesta en cero del odómetro parcial al inicio de cada test.

Finalizado cada ensayo los vehículos volvían al punto de control donde se procedía a:

5. Pesada de los bidones en forma previa a la recarga del combustible.
6. Recarga de combustible hasta llegar al nivel de inicio (citado en el punto 2).
7. Pesada del excedente en bidones, una vez finalizada la recarga descrita en el punto anterior.
8. Cálculo de consumo a partir del peso.

#### **Datos complementarios;**

- Los vehículos fueron recibidos por IREAYA con los tanques cargados en un 80% aproximadamente, a los cuales se le completó la carga hasta llegar al nivel fijado de control.
- El combustible utilizado en todos los vehículos durante los rodajes externos y las pruebas fue nafta súper grado 2 (95 RON) de YPF.
- Todas las cargas y recargas se realizaron en distintos puntos, razón por la cual IREAYA no puede asegurar que el combustible base fue, en todo momento, de idénticas características. No se posee ningún documento que certifique la composición de los mismos.
- De los tres vehículos disponibles, uno presentó inconvenientes con el sistema de inyección y, por lo tanto, quedó descartado para la realización del ensayo.
- No existe registro que nos indique cuál fue la proporción de la mezcla Nafta-Súper y GREEN PLUS utilizada durante los ensayos en pista bajo la tutela de IREAYA

#### **Condiciones requeridas:**

Prueba sin aditivo: Personal de HOREB recorrió 500 km con nafta súper sin aditivar en forma previa a los 400 km realizados en el test.

Prueba con aditivo: Personal de HOREB recorrió 2.000 km con nafta súper aditivada en forma previa a los 400 km realizados en el test.

En ambos casos los km realizados por HOREB han sido en ruta abierta sin ningún protocolo de trayectoria como así de masas asociadas al vehículo.

**RESULTADOS OBTENIDOS:**

VEHICULO MARCA	CHEVROLET		
MODELO	PRISMA LTZ 1,4 AT		
PATENTE	AB 776 ES		
VIN	9BGKT69T0JG158485		
CILINDRADA	1.400 cc		
NAFTA RECOMENDADA	NAFTA SÚPER GRADO 2 RON 95		
CAJA	AT		
POTENCIA	98 CV a 5800 rpm		
ACELERADOR	VELOCIDAD CRUCERO		
NEUMATICOS	185/65-15		
FECHA DE ENSAYO	19/8/2018	25/8/2018	
PRESION NEUMATICOS RECOMENDADOS	lbs	32	
PRESION NEUMATICOS VERIFICADA	lbs	32	32

COMBUSTIBLE		SÚPER	GREEN PLUS
<b>TOTAL, ODOMETRO PARCIAL</b>	<b>km</b>	<b>401,3</b>	<b>401,1</b>
CARGAS COMBUSTIBLE	1	15,74	13,71
	2	6,28	5,80
	3	0,08	---
<b>TOTAL, CONSUMO COMBUSTIBLE</b>	<b>kg</b>	<b>22,10</b>	<b>19,51</b>
CONSUMO ESPECIFICO	km/kg	18,16	20,56
RENDIMIENTO	%	0,00%	13,22%

INFORMACION METEOROLOGICA DE PISTA			
PRESION ATMOSFERICA	hPa	1.026,5	1.022,4
TEMPERATURA AMBIENTE (11h)	°c	10,1	9,6
HUMEDAD RELATIVA	%	65%	64%
DIRECCION DEL VIENTO	Dir	S	S
VELOCIDAD DEL VIENTO	km/h	37	6
LLUVIA	SI/NO	NO	NO

VEHICULO MARCA	CHEVROLET			
MODELO	CRUZE 4P 1,4 TURBO LTZ AT			
PATENTE	AB513EM			
VIN	8AGBN69W0HR152030			
CILINDRADA	1.400 cc			
COMBUSTIBLE RECOMENDADO	NAFTA GRADO 3 RON 98 (INFINIA)			
CAJA	AT			
POTENCIA	153 CV a 5000 rpm			
ACELERADOR	VELOCIDAD CRUCERO			
NEUMATICOS	215/50-17			
FECHA DE ENSAYO	18/8/2018	25/8/2018	26/8/2018	
PRESION DE NEUMATICOS RECOMENDADOS	lbs	32		
PRESION NEUMATICOS VERIFICADA	lbs	32	32	32

COMBUSTIBLE		SÚPER	GREEN PLUS	GREEN PLUS
<b>TOTAL, ODOMETRO PARCIAL</b>	<b>km</b>	<b>401,6</b>	<b>401,0</b>	<b>401,1</b>
CARGAS COMBUSTIBLE	1	18,42	12,09	13,71
	2	1,61	7,98	5,80
<b>TOTAL, CONSUMO COMBUSTIBLE</b>	<b>kg</b>	<b>20,03</b>	<b>20,07</b>	<b>19,51</b>
CONSUMO ESPECIFICO	km/kg	20,05	19,98	20,56
RENDIMIENTO	%	0,00%	-0,35%	2,54%

INFORMACION METEOROLOGICA DE PISTA				
PRESION ATMOSFERICA	hPa	1.012,1	1.022,4	1.019,8
TEMPERATURA AMBIENTE (11h)	°C	20,2	9,6	12,2
HUMEDAD RELATIVA	%	73%	64%	50%
DIRECCION DEL VIENTO	Dir	NW	S	NW
VELOCIDAD DEL VIENTO	km/h	10	6	36
LLUVIA	SI/NO	NO	NO	NO

**CONCLUSIONES:**

- El vehículo Chevrolet Prisma, presentó una excelente performance con el aditivo utilizado, con una reducción de consumo del 13,22%. El combustible recomendado por el fabricante para dicho vehículo es Nafta súper de grado 2 RON 95, la que coincide con el combustible utilizado como base para los ensayos.

- El Vehículo Chevrolet Cruze, con motor de última generación sobrealimentado, presentó una dispersión en los dos resultados obtenidos con Green Plus respecto del test realizado con el combustible base.

Es importante destacar que el combustible recomendado por el fabricante para este vehículo es Nafta INFINIA grado 3 RON 98. Adicionalmente, las cantidades de aditivo no fueron patronizadas. Por estos dos motivos es muy probable que el mapeo de la mezcla de combustible no haya podido ser optimizada por la sonda lambda y la ECU.

Por las razones antes mencionadas, no fue posible concluir sobre un valor preciso del incremento de rendimiento que puede obtenerse con Green Plus en este vehículo.

Pero, evidentemente cualquier aditivo que incorpore oxigenación a la mezcla, diluido en las dosis correctas y con el combustible recomendado, debería mejorar el rendimiento del motor.

**Recomendaciones para futuros ensayos:**

Deberá trabajarse en el resto de las variables que impactan en los resultados afectando el buen rendimiento del aditivo:

- 1.- Trabajar con el mismo corte de combustible para todo el test. Para ello sería necesario contar con dos tambores de 200 litros por cada vehículo para asegurar la realización del protocolo completo sin variaciones del combustible.
- 2.- Deberá respetarse la utilización del combustible recomendado por el fabricante para cada modelo de vehículo.
- 3.- La dilución del aditivo debe ser realizada exclusivamente por personal del laboratorio en la proporción recomendada por el fabricante.
- 4.- Los vehículos no deben salir del predio de ensayos, a fin de asegurar que la carga de combustible se realice siempre con el destinado para el ensayo.

Sin otro particular, saluda a usted muy atentamente.

  
Ing. Gustavo Arias  
Director  
IREAYA Ingeniería

**ANEXOS**

Recomendación de combustible  
Chevrolet Prisma **"Grado 2"**  
SÚPER



Recomendación de combustible  
Chevrolet Cruze **"Grado 3"**  
INFINIA



Recomendación de dilución del  
Aditivo



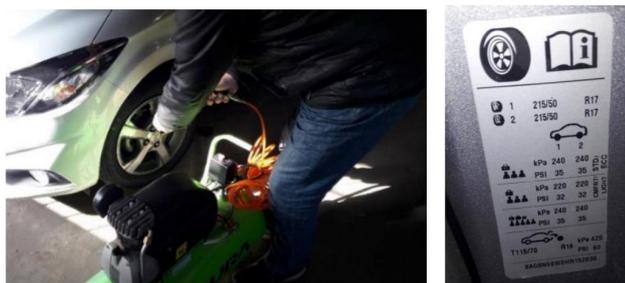
Control de combustible reabastecido



Proceso de reabastecimiento de combustible



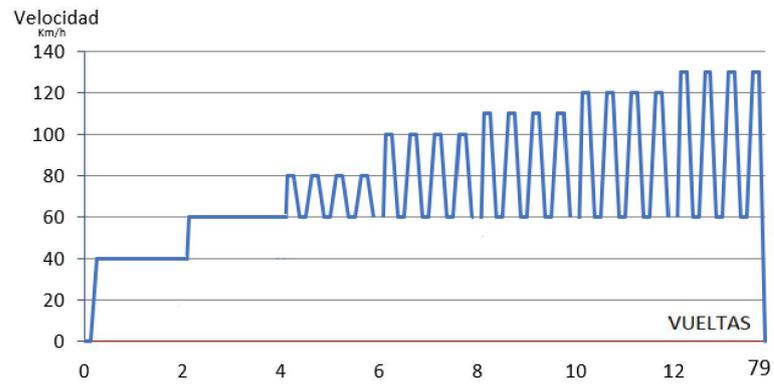
Control de presión de neumáticos



Información meteorológica de Pista de la Séptima Brigada Aérea.

Horario	Temperatura	Humedad	Viento	Presión	Visibilidad	Nubeosidad	Estado del cielo
06:00	15.0	65	10	1010	10	10	Parcialmente nublado
07:00	16.0	68	12	1010	10	10	Parcialmente nublado
08:00	17.0	70	15	1010	10	10	Parcialmente nublado
09:00	18.0	72	18	1010	10	10	Parcialmente nublado
10:00	19.0	75	20	1010	10	10	Parcialmente nublado
11:00	20.0	78	22	1010	10	10	Parcialmente nublado
12:00	21.0	80	25	1010	10	10	Parcialmente nublado
13:00	22.0	82	28	1010	10	10	Parcialmente nublado
14:00	23.0	85	30	1010	10	10	Parcialmente nublado
15:00	24.0	88	32	1010	10	10	Parcialmente nublado
16:00	25.0	90	35	1010	10	10	Parcialmente nublado
17:00	24.0	88	32	1010	10	10	Parcialmente nublado
18:00	23.0	85	30	1010	10	10	Parcialmente nublado
19:00	22.0	82	28	1010	10	10	Parcialmente nublado
20:00	21.0	80	25	1010	10	10	Parcialmente nublado
21:00	20.0	78	22	1010	10	10	Parcialmente nublado
22:00	19.0	75	20	1010	10	10	Parcialmente nublado
23:00	18.0	72	18	1010	10	10	Parcialmente nublado
00:00	17.0	70	15	1010	10	10	Parcialmente nublado
01:00	16.0	68	12	1010	10	10	Parcialmente nublado
02:00	15.0	65	10	1010	10	10	Parcialmente nublado
03:00	14.0	62	8	1010	10	10	Parcialmente nublado
04:00	13.0	60	5	1010	10	10	Parcialmente nublado
05:00	12.0	58	3	1010	10	10	Parcialmente nublado

### Grafica del protocolo de ensayo



### Ubicación de la pista



## Equipamiento utilizado

- Balanza Moretti – con certificado 60868 – capacidad 30 kg con graduación mínima 1 g.



PROCESAMIENTO DE CALIBRACION DE BALANZAS VERSION 4

1. OBJETIVO: Verificar la exactitud de la calibración.

2. REFERIRSE A LA NORMA NEN-EN-10131.

3. CONTROL DE CALIBRACIONES PERIODICAS:

3.1. Control de la exactitud de la calibración de los instrumentos.

3.2. Control de la exactitud de la calibración de los instrumentos.

3.3. Control de la exactitud de la calibración de los instrumentos.

DIVISIONES	PESAS	INDICACION	ERROR	ERROR PERMISIBLE
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000

PRUEBA DE REPTILIDAD (PROBABILITY)

5.1. Con la misma carga utilizada para el control de carga de espaldas, cargar la balanza y medir repetidamente el valor de la carga.

Registrar el valor obtenido.

DIVISIONES	PESAS	INDICACION	ERROR	ERROR PERMISIBLE
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000
100000	10	100000	0.000	0.000

6. FIN DE CALIBRACION

6.1. Registrar todos los pesos utilizados durante la calibración.

6.2. Calcular el error aditivo de los control de calibración correspondiente, de manera de dar lugar a una lista de datos para el control de la precisión de los instrumentos.

6.3. Calcular el porcentaje de exactitud de la calibración de los instrumentos.

7. RESULTADOS

TALONERIAS	REDA	DEVIACION	DEVIACION	DEVIACION	REDA	REDA	REDA
100000	10	100000	0.000	0.000	100000	10	100000

- Mojones de control para asegurar cambios de velocidad crucero



- Compresor con manómetro para verificación de presiones de neumáticos.



- 8 bidones aptos para combustible.



- Central de adquisición de datos marca MoTec para seguimiento satelital del protocolo.



**Un proyecto de:**



**POLITÉCNICO COLOMBIANO**  
**JAIME ISAZA CADAVID**

---

**PLAN PILOTO PARA LA  
ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA  
ENERGÉTICA Y REDUCCIÓN COMO  
RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE  
LA TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN  
EL VALLE DE ABURRÁ**

---

**Horeb Energía y Combustibles  
Ecológicos S de RL de C**

---

**Informe Final  
julio de 2017**

---

## **EQUIPO DE TRABAJO:**

Miryam Gómez Marín  
Directora Proyecto. Grupo GHYGAM PCJIC

Hader Iván Castaño Peláez  
Docente investigador. Politécnico Colombiano Jaime Isaza

Mauricio Correa Ochoa  
Docente Investigador. Universidad de Antioquia

David Aguiar Gil  
Docente Investigador. Universidad de Antioquia

Marco Antonio Ruiz Serna  
Profesor asociado. Director Laboratorio Crudos y Combustibles-Universidad Nacional.

Alirio Benavidez Chaves. Coordinador Técnico Laboratorio Crudos y Combustibles -  
Universidad Nacional.

Marta Elena Builes González  
Analista Laboratorio. Grupo GHYGAM PCJIC

Edgar Mauricio Ramírez Arredondo  
Metrólogo. Grupo GHYGAM PCJIC

Daniel Correa Bernal  
Ingeniero Mecánico. Grupo GHYGAM PCJIC

Jonathan Andrés Vásquez Rodríguez  
Auxiliar de monitoreo de gases. Grupo GHYGAM PCJIC

María Isabel Abad Ramírez  
Joven Investigadora COLCIENCIAS. Grupo GHYGAM PCJIC

Marco Tulio Álvarez Ramírez  
Analista financiero. Grupo GHYGAM PCJIC

Milena Molina Grajales  
Practicante Tecnóloga en Seguridad e Higiene Ocupacional. Grupo GHYGAM PCJIC

Francisco Castrillón Meneses  
Asesor estadístico para análisis de datos. Profesor asociado. -Universidad Nacional.

Enrique Posada Restrepo  
Director de proyectos HATCH INDISA S.A.S



Viviana Monsalve Ñustes  
Ingeniera de proyectos. HATCH INDISA S.A.S

Mateo Jaramillo Jaramillo  
Ingeniero de proyectos. HATCH INDISA S.A.S

Daniel Cardona Guzmán  
Ingeniero de proyectos. HATCH INDISA S.A.S

Gustavo Londoño Gaviria  
Profesional Universitario.  
Apoyo Técnico y Veedor Área Metropolitana del Valle de Aburrá



## TABLA CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1 OBJETIVOS .....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	17
2 MARCO REFERENCIA TECNOLOGÍA GREEN PLUS.....	18
2.1 DESCRIPCIÓN TECNOLOGÍA GREEN PLUS .....	18
2.1.1 Funcionamiento del Green Plus .....	19
2.2 ESTUDIOS Y LICENCIAS TECNOLOGÍA GREEN PLUS.....	20
2.2.1 Estudio de efectos sobre la salud y reducción de emisiones .....	20
2.2.2 Estudio de efectos sobre la integridad de motores .....	21
2.3 CASOS DE APLICACIÓN .....	22
3 METODOLOGÍA.....	22
3.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMBUSTIBLE GASOLINA Y DIÉSEL.....	23
3.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA BASE .....	25
3.2.1 Selección de la muestra vehicular.....	25
3.2.2 Codificación muestras .....	27
3.2.3 Línea base de rendimiento de combustible .....	28
3.3 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA PARA ANALISIS Y DEPURACIÓN DE DATOS.....	28
3.4 METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE GASES EMITIDOS POR MOTORES A DIÉSEL Y GASOLINA .....	29
3.4.1 Equipo de medición de gases en motores a gasolina.....	30
3.4.2 Equipo de medición de gases en motores a diésel.....	32
3.4.3 Equipo de medición de opacidad .....	36
3.5 METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRA DE MATERIAL PARTICULADO .....	37
3.6 METODOLOGÍA DE BALANCE DE MASA Y ENERGÍA COMO ESTRATEGIA PARA VALIDAR EMISIONES .....	41
3.7 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE GASES CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS VEHÍCULOS DIESEL Y GASOLINA: CO, HC, PM, CO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub> Y OPACIDAD.....	43
3.8 METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO .....	44
3.8.1 Método SEM-EDS (analysis by scanning electron microscopy / energy dispersive spectrometry).....	44
3.8.2 Metodología para determinación de pérdidas por calcinación.....	45

3.8.3	Metodología para la determinación del contenido de materia carbonacea Black Carbon	46
3.9	METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS COMBUSTIBLES DIÉSEL Y GASOLINA CATALIZADOS CON GREEN PLUS, EXPRESADA EN LA DISMINUCIÓN EN PORCENTAJE DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LOS VEHÍCULOS PARTICIPANTES DE LA PRUEBA.....	46
3.10	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL APORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO2 EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL CATALIZADOR CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS .....	47
3.10.1	Metodología modelo LEAP.....	47
3.10.2	Programa computacional para calcular emisiones del sector transporte (COPERT, por sus siglas en inglés) .....	49
3.10.3	INCERTIDUMBRE ASOCIADA CON EL MODELO DE EMISIÓN COPERT .....	56
3.10.4	Metodología para la estimación de reducciones de CO2 a partir de los valores de mejora en los rendimientos (kilómetros por unidad de combustible). .....	57
3.11	METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRA DEBIDO AL USO DEL CATALIZADOR CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE OPERAN CON GASOLINA Y DIÉSEL EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. ....	57
4	RESULTADOS .....	60
4.1	RESULTADOS LINEA BASE .....	60
4.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMBUSTIBLE GASOLINA Y DIÉSEL.....	60
4.3	RESULTADOS PLAN PILOTO IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN EL COMBUSTIBLE DIESEL UTILIZADO EN EL VALLE DE ABURRÁ. 2017 ...	63
4.3.1	Resultados de evaluación de rendimiento de combustible .....	64
4.3.2	Resultados de gases y contaminantes en vehículos diésel con y sin la Tecnología molecular Green Plus.....	72
4.4	RESULTADOS PLAN PILOTO IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN LA GASOLINA UTILIZADO EN EL VALLE DE ABURRÁ. 2017 .....	82
4.4.1	Resultados de evaluación de rendimiento de consumo de gasolina con y sin la Tecnología GREEN PLUS. ....	83
4.4.2	Resultados de gases y contaminantes en vehículos a gasolina con y sin la Tecnología molecular Green Plus.....	90
4.5	CARACTERIZACIÓN DE PST EMITIDO EN CONDICIONES LB Y 30, 60 Y 90 DÍAS DE RODAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS A DIESEL Y GASOLINA. PILOTO VALLE DE ABURRÁ .....	94
4.5.1	Caracterización química de las partículas emitidas de diésel catalizado con la Tecnología Green Plus.....	95
4.5.2	Caracterización química de las partículas gasolina catalizada con la Tecnología molecular GREEN PLUS.....	98

4.6	APORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL TECNOLOGÍA CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS .....	102
4.6.1	APORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL TECNOLOGÍA CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS APLICANDO EL MODELO LEAP .....	103
4.6.2	APORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL TECNOLOGÍA CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS APLICANDO EL MODELO COPERT .....	110
4.6.3	Estimación de la reducción de CO <sub>2</sub> (kg/gal combustible) a partir del uso de la Tecnología GREEN PLUS en el Valle de Aburrá .....	119
4.7	ENSAYO DE VALIDACION TÉCNICA PARA EL USO DE LA TECNOLOGÍA MOLECULAR GREEN PLUS EN UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PRE-EURO .....	119
4.7.1	Resultados relativos al desempeño del motor .....	120
4.7.2	Resultados relativos al proceso de combustión .....	121
4.7.3	Resultados relativos a las emisiones y material particulado .....	121
4.8	RESULTADOS MODELACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD. APORTES AL PLAN DE DECONTAMINACIÓN DEL VALLE DEL ABURRÁ .....	123
4.8.1	Escenarios de modelación .....	124
4.8.2	Análisis y resultados .....	129
5	CONCLUSIONES .....	133
6	BIBLIOGRAFÍA .....	139

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Resultados prueba gases en vehículos gasolina livianos, California. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	21
Tabla 3.1. Normas de los análisis para combustible diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	23
Tabla 3.2. Normas de los análisis aplicados a caracterización de gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	24
Tabla 3.3. Distribución parque automotor Valle de Aburrá. Año 2013. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	26
Tabla 3.4. Distribución seleccionada de la muestra vehicular para el proyecto. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	26
Tabla 3.5. Distribución de pruebas de campo. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	29
Tabla 3.6. Pruebas realizadas al combustible diésel y gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá. 2017 .....	30
Tabla 3.7. Componentes y características técnicas del analizador HORIBE BE 140. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	31
Tabla 3.8. Parámetros de medición HORIBE BE 140. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	32
Tabla 3.9. Componentes y características técnicas del analizador KANE Auto Plus 42. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	33
Tabla 3.10. Parámetros de medición del analizador KANE Auto Plus 42. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	33
Tabla 3.11. Distribución de pruebas de campo. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	34

Tabla 3.12 Pruebas realizadas al combustible diésel y gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	35
Tabla 3.13 Cantidad muestras PST caracterizadas según tipo de combustible. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	45
Tabla 3.14 . Elementos considerados en la definición de subcategorías en COPERT. ....	50
Tabla 3.15. Contaminantes considerados en Modelo COPERT.....	52
Tabla 4.1. Reporte de resultados análisis físico químico biodiesel (B10) sin catalizador GREEN PLUS y catalizado. Laboratorio de crudos y derivados. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Mayo, 2017 .....	61
Tabla 4.2. Reporte de resultado análisis físico químico gasolina. Laboratorio de crudos y derivados. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Mayo, 2017 .....	62
Tabla 4.3. Muestra vehículos diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	63
Tabla 4.4. Características principales de la muestra vehicular diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	65
Tabla 4.5. Resultados evaluación de rendimiento del combustible diésel. Prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	66
Tabla 4.6 Cambios derivados de la aplicación de la Tecnología Green Plus en combustible diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	73
Tabla 4.7. Muestra de vehículos a gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	82
Tabla 4.8. Resultados evaluación de rendimiento del combustible gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	85
Tabla 4.9 Cambios derivados de la aplicación de la Tecnología Green Plus en combustible gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	91
Tabla 4.10 Caracterización partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	97

Tabla 4.11 Caracterización partículas gasolina. Plan Piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología GREEN PLUS en combustible gasolina. Valle de Aburrá. 2017.....	99
Tabla 4.12. Impacto del catalizador GREEN PLUS. Plan Piloto Valle de Aburrá. 2016-2017 .....	103
Tabla 4.13. Demanda de energía (TJ) .....	106
Tabla 4.14. Emisiones de CO <sub>2</sub> (1000 ton).....	106
Tabla 4.15. Emisiones de SO <sub>2</sub> (ton).....	107
Tabla 4.16. Emisiones CO <sub>2</sub> -eq (Mton).....	109
Tabla 4.17. Emisiones de CO <sub>2</sub> -eq Modelo LEAP para el año 2030 (ton).....	110
Tabla 4.18. Emisiones estimadas CH <sub>4</sub> 2016-2030 Modelo COPERT. ....	115
Tabla 4.19. Emisiones estimadas CO <sub>2</sub> 2016-2030 Modelo COPERT. ....	115
Tabla 4.20. Emisiones estimadas N <sub>2</sub> O 2016-2030 Modelo COPERT. ....	116
Tabla 4.21 Reducción de emisiones directas de CO <sub>2</sub> al reemplazar los combustibles diésel y gasolina al 100 % con la Tecnología GREEN PLUS a velocidades de marcha efectivas de 15 km/h .....	119
Tabla 4.22. Tasas de incidencia calculadas año 2016 en municipios del Valle de Aburrá.....	124
Tabla 4.23. Concentraciones promedio anuales de PM <sub>2.5</sub> con el modelo BenMap. Escenarios 1 y 3. ....	128
Tabla 4.24. Comparación de resultados escenarios 1, 2 y 3.....	130

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Reacción de combustión del metano. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	19
Figura 2.2. Combustión de una molécula de combustible (sin catalizador). Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	20
Figura 3.1. Ejemplo codificación muestra ambiental. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	27
Figura 3.2. Analizador de gases HORIBE BE 140. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	31
Figura 3.3. Medición de gases con analizador HORIBE BE 140 (Izquierda) y con analizador Kane (derecha). Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	36
Figura 3.4. Secuencia de aceleraciones en prueba de opacidad. Prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología GREEN PLUS en combustible diésel utilizado en el Valle de Aburrá. 2017 .....	36
Figura 3.5 Porta filtro utilizado en la toma de muestra de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	38
Figura 3.6 Sistema de medición en la toma de muestra de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	38
Figura 3.7 Verificación de flujo e instrumento de verificación en la toma de muestra de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	39
Figura 3.8 Muestra Emisiones PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	40
Figura 3.9 Cámara de pesaje. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	41
Figura 4.1. Cambio de rendimiento muestra vehicular diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	68

Figura 4.2. Relación del cambio de rendimiento de diésel respecto a la potencia del motor. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 69

Figura 4.3. Relación del cambio de rendimiento de diésel respecto al recorrido diario. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 70

Figura 4.4. Incremento de rendimiento (%) de los vehículos a diésel, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 71

Figura 4.5. Vehículos diésel (%) con mayor rendimiento, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 71

Figura 4.6. Reducción de la concentración global del CO (%), diésel modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 74

Figura 4.7. Reducción (%) de CO modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 74

Figura 4.8. Emisiones específicas (kg/kg diésel) y reducciones de CO. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 75

Figura 4.9. Reducción (%) de la concentración de NO<sub>x</sub>, modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 76

Figura 4.10. Reducción (%) de la concentración de NO<sub>x</sub>, modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 76

Figura 4.11. Aumento (%) de la concentración de CO<sub>2</sub>, modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 77

Figura 4.12. Aumento (%) de la concentración de CO<sub>2</sub>, modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 77

Figura 4.13. Reducción (%) de opacidad. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 78

Figura 4.14 Imágenes Método SEM-EDS partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 78

Figura 4.15 Reducción (%) de PST a 90 días, respecto a LB. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 79

Figura 4.16. Comparación de masa recolectada ( $\mu\text{g}$ ). Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 80

Figura 4.17. Imágenes comparativas partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 80

Figura 4.18. Emisiones específicas (kg/kg diésel) y reducciones de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 81

Figura 4.19. Incremento de rendimiento (%) de los vehículos a gasolina, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 87

Figura 4.20. Vehículos gasolina (%) con mayor rendimiento, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 88

Figura 4.21. Relación del cambio de rendimiento de gasolina respecto a la potencia del motor. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 89

Figura 4.22. Relación del cambio de rendimiento de gasolina respecto al recorrido diario. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 89

Figura 4.23 Reducción de la concentración global del CO (%), gasolina modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 92

Figura 4.24. Reducción de la concentración global del CO (%), gasolina modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 92

Figura 4.25. Reducción de la concentración global del HC (%), gasolina modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ..... 93

Figura 4.26. Reducción de la concentración global del HC (%), gasolina modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	94
Figura 4.27. Fracción carbonácea EC contenida en el PST emitidas del diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017.....	96
Figura 4.28 Contenido (%) de carbono en partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	98
Figura 4.29 Contenido (%) de carbono, partículas diésel. Prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología GREEN PLUS en combustible diésel. Valle de Aburrá. 2017 .....	100
Figura 4.30 Cambio de peso (gr) de las muestras incluyendo el filtro durante el rango de temperaturas de calentamiento. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 .....	101
Figura 4.31 Pérdida de masa (%) con respecto a masa inicial de material particulado. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017 ...	102
Figura 4.32 Escenarios de emisión 2018-2030 .....	105
Figura 4.33. Demanda de energía (TJ) .....	108
Figura 4.34. Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	108
Figura 4.35. Emisiones de SO <sub>2</sub> .....	108
Figura 4.36 Emisiones PM <sub>2.5</sub> (Ton) Modelo COPERT. Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá.....	111
Figura 4.37. Análisis de escenarios de emisiones PM2.5. Año 2016 y 2030. Modelo COPERT.....	112
Figura 4.38. Emisiones de CO <sub>2</sub> . Modelo COPERT.....	113
Figura 4.39. Emisiones de CH <sub>4</sub> . Modelo COPERT.....	113
Figura 4.40. Emisiones de N <sub>2</sub> O Modelo COPERT.....	114
Figura 4.41. Emisiones Gases Efectos Invernadero año 2016 Modelo COPERT.....	117
Figura 4.42. Emisiones Gases Efectos Invernadero año 2030 Modelo COPERT.....	118
Figura 4.43. Línea Base. Promedios anuales de PM <sub>2.5</sub> en µg/m <sup>3</sup> .....	125
Figura 4.44. Superficie de calidad del aire Escenario 1. (PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> ).....	126
Figura 4.45. Superficie de calidad del aire Escenario 2. (PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> ).....	127
Figura 4.46. Reducciones generadas por GreenPlus. Escenario 3. (PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> ) .....	128

Figura 4.47. Análisis comparativo casos reales 2016 vs casos Escenario 3.  
Mortalidad por todas las causas ..... 131

Figura 4.48. Casos evitados en el escenario 3. Mortalidad por todas las causas..... 132



## INTRODUCCIÓN

Existe una preocupación general a nivel mundial para comprender la situación de los problemas de la calidad del aire, especialmente si se considera que está muy correlacionada con problemas de salud pública. Los diversos estudios realizados a nivel mundial y en especial en el área metropolitana del Valle de Aburrá, han demostrado que las fuentes móviles son las principales aportantes de contaminantes generadas por el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles y derivados. Dado el alto crecimiento económico durante los últimos años de la región metropolitana, asociado al aumento del parque automotor, ha conllevado a la declaratoria de emergencias ambientales que demandan estrategias de intervención para garantizar el derecho a un aire limpio.

En este contexto, el Laboratorio de investigación del Grupo de Investigación en Higiene y Gestión GHYGAM del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y el Grupo GIGA de la universidad de Antioquia, han apoyado diferentes proyectos en trabajo interdisciplinar con las áreas de Instrumentación y Control, Ingeniería Química y Ambiental, Ingeniería Informática, Productividad y Calidad, Química aplicada a la BioTecnología y Ambiente, con énfasis en evaluación de emisiones vehiculares, evaluación de impacto de la calidad de combustibles sobre la caracterización de perfiles de material particulado (PST), estimación de aportes de fuentes de emisión, evaluación de ruido, monóxido de carbono (CO) y como especialidad en los últimos cinco años, se ha investigado sobre el material particulado y su contribución a la contaminación ambiental por fuentes móviles.

El Grupo GHYGAM soporta su capacidad técnica y científica en su personal idóneo y altamente calificado y en el apoyo de asesores nacionales e internacionales. Cuenta con un laboratorio acreditado bajo los lineamientos de la norma ISO 17025, Resolución IDEAM 17025 DE 2015, y se ha fortalecido mediante alianzas en convenios específicos de cooperación científico tecnológica con las universidades reconocidas y empresas del sector público y privado. De manera específica el Grupo y el Laboratorio GHYGAM ha contado con la asesoría en estudios energéticos de la Empresa HATCH INDISA S.A.S., por la alta experiencia en proyectos de ingeniería; contando además con expertos en motores, combustibles, operación y control de sistemas de combustión, HATCH INDISA tiene experiencia de más de 20 años en asesorías y consultoría en lo referente a calidad del aire. El mayor campo de trabajo de HATCH INDISA es el desarrollo de proyectos de ingeniería en los campos del diseño, interventoría, gerencia de proyectos, consultoría, mediciones y estudios energéticos y estudios del medio ambiente.

Como producto de este trabajo se tiene una patente en el Modelo Receptor MCF 2.0 de autoría del Grupo en asociación con el Grupo GIGA de la Universidad de Antioquia. Se han elaborado cinco protocolos de evaluación, medición y análisis químico del contaminante PM2.5, basados en las normas EPA y con auditoría internacional, siendo ésta una estrategia de profundización en la problemática de contaminación ocasionada por fuentes móviles y fijas, enfocados en los tipos y calidad de los combustibles utilizados.

En la propuesta de posibles herramientas estratégicas para el mejoramiento de la calidad del aire en la región metropolitana, la Compañía Mexicana Horeb Energía y Combustibles Ecológicos S de RL de CV, dedicada a la investigación y desarrollo de Tecnologías para el incremento de la eficiencia en los procesos de combustión de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel empleando la nanoTecnología, decidió ofertar la Tecnología Molecular Green Plus para su posible implementación en los combustibles líquidos, soportada en la patente de la Tecnología en el Reino unido en el 2001 y estudios avalados por la Agency Enviroment Protection EPA, Registro 2010 según CFR capítulo 40, sección 79-23(f) con la denominación e identificación 183220007 Green Plus 910.

Como producto del análisis de las potencialidades para evidenciar los beneficios de la Tecnología Green Plus en ahorros energéticos y reducción de emisiones, se decidió invitar por su alta experiencia en la temática calidad del aire, a investigadores del Grupo GHYGAM del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y del Grupo GIGA de la Universidad de Antioquia para la realización de la “Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la tecnología Green Plus. Valle de Aburrá”.

Entre diciembre de 2016 y mayo de 2017, se recolectó información técnica asociada a 25 vehículos que operan con combustible diésel y otros 25 que operan con gasolina, en el Valle de Aburrá, Colombia, teniendo en cuenta que se tratara de vehículos que representaran la edad del parque vehicular en la región. Dicha información correspondió a los consumos de combustible por distancia recorrida, la concentración de gases contaminantes según los protocolos aplicables a pruebas estáticas y la determinación de concentración de material particulado emitido por la combustión en sus motores igualmente en pruebas estáticas. Esta información se recolectó en 4 momentos específicos para cada vehículo: información inicial correspondiente a la línea base del estudio (LB) y que corresponde a la información típica del vehículo cuando no consume combustible con Tecnología Green Plus, a los 30, 60 y finalmente a los 90 días de consumo de combustible catalizado. La información técnica recolectada sirvió de base para calcular el cambio de emisiones de gases, opacidad y partículas, producto de la combustión en el motor. Igualmente la información correspondiente a consumos de combustible, sirvió para el cálculo del cambio de rendimiento de diésel en cada uno de los vehículos participantes del estudio. Con el cambio de cada parámetro se buscaba validar la hipótesis de mejora de operación en vehículos diésel con el uso del Tecnología Green Plus durante 90 días.

## 1 OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Estimación de la eficiencia energética en función del consumo de combustible y de las emisiones de gases contaminantes, material particulado y gases de efecto invernadero en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, en vehículos automotores que operan con gasolina y diésel catalizados con la Tecnología Green Plus; y modelación para la región metropolitana del Valle de Aburrá, (Antioquia, Colombia) del impacto en la salud.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer la Línea Base que será tomada como referencia para la comparación de los resultados obtenidos de la implementación del Plan Piloto, mediante el levantamiento de emisiones en estado ralentí.
- Revisar y/o elaborar las bitácoras de mantenimiento, estado de vehículos y consumo de combustible mínimo durante los últimos 15 días de trabajo para cada una de las unidades vehiculares participantes del plan piloto.
- Estimar la reducción de gases contaminantes de CO, HC, PM y CO<sub>2</sub> emitidos por los vehículos automotores participantes. Para el caso de los vehículos diésel se incluye la estimación de la reducción de NOx.
- Estimar la reducción de gases con efecto invernadero expresado en CO<sub>2</sub> equivalentes emitidos por los vehículos automotores participantes.
- Estimar la disminución de opacidad en las emisiones de los vehículos a combustible diésel participantes que utilicen la Tecnología Green Plus.
- Determinar la composición físico-química de la partícula en un conjunto de muestras de material particulado, obtenido de emisiones resultantes de la combustión de combustibles diésel y gasolina catalizados con GREEN PLUS, según sus contenidos de C, O, Si, Al, Na, S, K, Fe, Ni y otros elementos detectables.
- Estimar la eficiencia energética de los combustibles diésel y gasolina catalizados con Green Plus, expresada en la disminución en porcentaje del consumo de éstos en los vehículos participantes de la prueba.
- Establecer el efecto sobre las emisiones de contaminantes al aire debido al uso del catalizador con Tecnología Green Plus en vehículos automotores que operan con gasolina y diésel en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Estimar el impacto sobre la salud de la población del Área Metropolitana del Valle de Aburrá debido al uso del catalizador con Tecnología Green Plus en vehículos automotores que operan con gasolina y diésel en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Evaluar si existe o no un aporte significativo a la meta de disminución de CO<sub>2</sub> equivalente comprometida por Colombia en la COP 21, a partir del uso del catalizador con Tecnología Green Plus en vehículos automotores que operan con gasolina y diésel en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

## 2 MARCO REFERENCIA TECNOLOGÍA GREEN PLUS

### 2.1 DESCRIPCIÓN TECNOLOGÍA GREEN PLUS

La Tecnología Green Plus es de tipo molecular líquida creada para ser aplicada en combustibles líquidos y que tiene por objetivo reducir el 50% de los gases CO, PM, HC, SO<sub>x</sub>, 10% de los gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO y 25% de NO<sub>x</sub>, generados durante la combustión. También busca mejorar la eficiencia energética de 5% en diésel y 7% en gasolina. Su dosificación es de un (1) litro de catalizador por cada 20000 litros de combustible, esto es una dilución uniforme de 50 ppm, con el objetivo de excitar y alinear las cadenas moleculares de carbono para emitir una quema más completa y menos violenta en la cámara de combustión.

En 2001 fue registrada la patente de la Tecnología en el Reino Unido y ese mismo año se obtuvo el Galardón Real como la Tecnología del año en el Reino Unido. Es producida en planta de producción en Estados Unidos, planta de desconcentración bajo licencia en México y centro de investigación en Europa. Horeb Energía y Combustibles Ecológicos S. de R.L. de C.V. comercializa Green Plus en América Latina, Rusia, China, India, Paquistán, Bangladesh, Emiratos Árabes Unidos y la Península Ibérica. Green Plus es el nombre comercial que reciben los productos desarrollados por Biofriendly Corporation para ser agregados a combustibles diésel, biodiésel, gasolina, fueloil, Super, Super E10, Super Plus y aceite de calentamiento. Esta compañía está dedicada a la investigación y desarrollo de Tecnologías para el incremento de la eficiencia en los procesos de combustión de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel empleando la nanoTecnología; tiene presencia en los cinco continentes y cuenta con plantas de producción y centros de investigación en Estados Unidos y Europa.

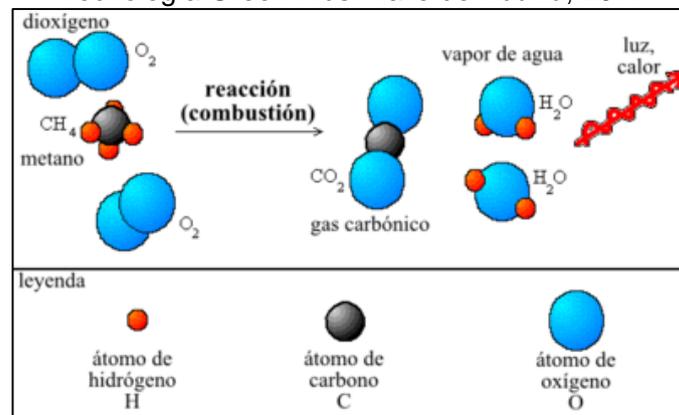
Entre los beneficios que se especifican para este catalizador se encuentra:

- Reducción del consumo del combustible.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Incremento del tiempo útil del motor debido a una mejor combustión.
- Reducción de emisiones perjudiciales para la salud.
- Cambio del ruido generado por el motor.
- Combustión más completa, regulada y limpia.
- Mejora del rendimiento y el par del motor.
- No generación de daños en el motor o en sus componentes.
- No alteración de la química del combustible.
- Nivel de dosificación del producto económico.

## 2.1.1 Funcionamiento del Green Plus

La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una cantidad de energía en forma de calor y luz. En una reacción completa de combustión todos los elementos que forman parte del combustible se oxidan en su totalidad. Los productos que se forman son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) (si el combustible contiene el elemento azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y sobretodo la presión. A modo de ejemplo de la formación de productos de la combustión, la reacción de combustión del metano ( $\text{CH}_4$ ) es mostrado en la Figura 2.1

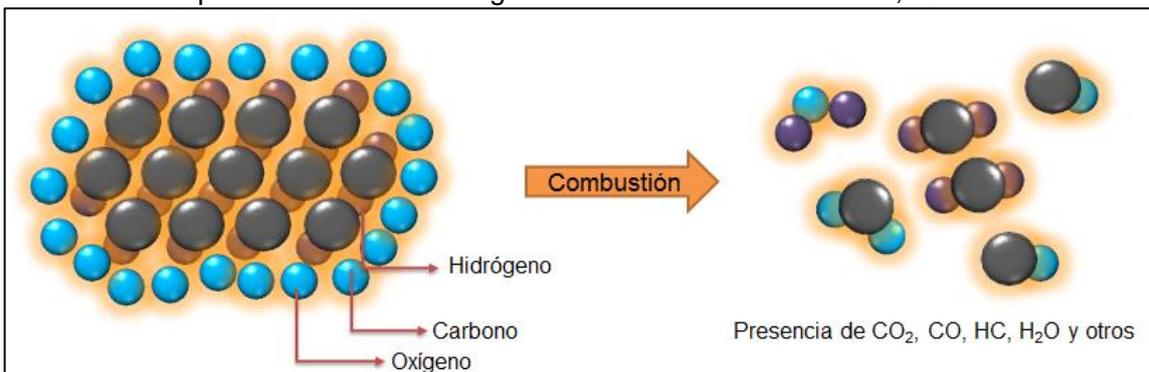
Figura 2.1. Reacción de combustión del metano. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: <http://ciencias.mex.tl>

En la combustión incompleta los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido en parte a que la estructura molecular del combustible se encuentra estrechamente empaquetada, como lo muestra la Figura 2.2. Al no poseer un área de contacto mayor entre el combustible y el oxígeno, los hidrocarburos se queman de manera desigual, dando como resultado rendimientos inferiores y mayores emisiones. Las moléculas de oxígeno provenientes del aire no alcanzan a abarcar todas las moléculas de carbono del hidrocarburo, por tanto, algunas de ellas quedarán sin reaccionar completamente generando monóxidos de carbono ( $\text{CO}$ ) e hidrocarburos ( $\text{HC}$ ).

Figura 2.2. Combustión de una molécula de combustible (sin catalizador). Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Tanto la gasolina como el diésel son sustancias con un número apreciable de carbonos, típicamente sus fórmulas moleculares son:  $C_8H_{18}$  y  $C_{14}H_{30}$  respectivamente.

Cuando el catalizador Green Plus es adicionado en el combustible permite que las moléculas mantengan sus propiedades químicas sin embargo presentan un cambio físico a nivel molecular que permite “desenrollarlas” incrementando el área de interacción entre el oxígeno y el carbono. Debido a que hay una mayor proporción de oxígeno, mayor es la energía que se genera y por tanto la combustión es más completa y uniforme. Sustancias como el CO,  $NO_x$  y  $SO_x$  se reducen y las emisiones de hollín también tienden a disminuir.

## 2.2 ESTUDIOS Y LICENCIAS TECNOLOGÍA GREEN PLUS

Los efectos del uso del catalizador sobre la combustión de diésel y gasolina, así como los efectos tóxicos y los impactos sobre la integridad de los motores, ha sido ampliamente estudiado por diferentes centros tecnológicos alrededor del mundo.

### 2.2.1 Estudio de efectos sobre la salud y reducción de emisiones

- En octubre de 2001 fueron reportados los resultados de la investigación de efectos carcinogénicos o tóxicos por el uso de combustible catalizado. La investigación fue realizada por Keck School of Medicine de University of Southern California. Las pruebas fueron realizadas usando el Test de Ames el cual consiste en la evaluación del potencial mutagénico de la sustancia estudiada a través de la aplicación en bacterias capaces de sintetizar histidina (aminoácido esencial en animales), concluyendo que incluso con la dilución 1 a 1000 en agua, no se encuentran efectos tóxicos o mutagénicos en las bacterias. El Test fue aplicado con diluciones de GREEN PLUS 1:1 000, 10 000, y 1 000 000. (Medicine, 2001)
- El catalizador fue testado por el Departamento de Química Orgánica de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para las pruebas se seleccionaron 20

vehículos de transporte de pasajeros del gobierno de la Ciudad de México entre septiembre a diciembre de 2000. Se encontró reducciones entre 50% a 95%. El consumo de combustible se redujo en 30% y 48% en diésel. La empresa de buses tomo la decisión de adicionar el catalizador a 800 buses a enero de 2001. Debido a lo anterior, el catalizador comenzó a ser testado en diésel y gasolina en el estado de Querétaro desde julio de 2001 con resultados similares a los de Ciudad de México. No se encontró deterioro causado por el uso del catalizador en los motores testados. (México, 2002)

- Pruebas en vehículos gasolina livianos fueron realizadas por California Environmental Engineering en Santa Ana, California. Los resultados reportados en diciembre de 2003 describen pruebas realizadas bajo el protocolo de prueba HOT-505 para determinar los gases de emisión a baja y alta velocidad durante 505 segundos de prueba. (Engineering, 2003). (Ver Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Resultados prueba gases en vehículos gasolina livianos, California. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Test	Test type	Date	ODO	HC, g/milla	CO, g/milla	NOX, g/milla	FE, millas/gal
<b>Línea base 1</b>	HOT 505	10/22/2003	118541	0.119	1.684	0.807	20.29
<b>Línea base 2</b>	HOT 505	10/22/2003	118550	0.124	1.518	0.849	20.19
Promedio				0.122	1.601	0.828	20.24
<b>Con GREEN PLUS-1</b>	HOT 505	10/24/2003	120628	0.161	1.802	0.652	19.82
<b>Con GREEN PLUS-2</b>	HOT 505	10/31/2003	122832	0.081	1.535	0.856	20.53
<b>Con GREEN PLUS-3</b>	HOT 505	10/31/2003	122836	0.097	1.026	0.884	20.69
<b>Con GREEN PLUS-4</b>	HOT 505	10/31/2003	122849	0.073	0.877	0.750	20.60
Promedio				0.103	1.310	0.786	20.41
<b>Reducción del promedio, respecto a línea base, %</b>				15.2	18.2	5.1	-0.8
<b>Reducción de la prueba 4, respecto a línea base, %</b>				39.9	45.2	9.4	1.8

Fuente: (Engineering, 2003)

Los resultados revelan reducción en la concentración de todos los gases de combustión y un incremento en el rendimiento de la gasolina.

## 2.2.2 Estudio de efectos sobre la integridad de motores

Los efectos que pueda causar el uso del catalizador sobre la vida útil de un motor, es quizás una de las principales inquietudes que puedan generarse ante el planteamiento de utilizar el catalizador GREEN PLUS en el combustible quemado. Por esto se realizaron pruebas en diferentes institutos, algunos de los resultados se mencionan a continuación.

- El laboratorio de Southwest Research Institute, División de investigación de emisiones, donde fueron realizadas la prueba de filtro y la prueba de elastómero, referenciadas en los estándares ASTM. Las pruebas fueron realizadas con diésel catalizado (25 lm de catalizador por cada 10 galones de diésel). En la prueba con filtros se utilizaron los de marca fleetguard a 20, 40, 60 y 100 galones/hora usando diésel a 100°F. De acuerdo con los resultados, no se esperaba ningún daño debido al uso del catalizador a las condiciones de prueba. (Institute, 2003)
- Este mismo laboratorio tomo gasolina catalizada con 0.5 oz de GREEN PLUS por 5 galones de gasolina y realizó el Test de no daño en el cual los resultados fueron favorables para el catalizador. (Institute, Biofriendly gasoline no harm testing phase I, 2004)
- Pruebas en dinamometro realizadas por California Center for Translation & Interpretation de Detroit Diesel en junio de 2003, realizadas en Valley Detroit Diesel Allison (Los Angeles, California) mostraron un aumentan de potencia de 44 HP (329 HP sin catalizador y 373 HP con Green Plus), 11,6% de aumento en Lb-ft de torque con carga en todas las pruebas del 100%. (Diesel, 2003)

### 2.3 CASOS DE APLICACIÓN

- En carta remitida por MAN B&W Diesel en noviembre de 2005, despues de 4000 horas de uso combustible con el catalizador Green Plus se encuentra que el uso del catalizador no daña el motor o sus componentes.
- La empresa DB BAHN (Ferrocariles de Alemania) reportó en mayo de 2003 un ahorro de combustible diesel del 10% despues de 6 meses de consumo de Green Plus en sus trenes.
- La Comision Federal de electricidad de Zapotlan comenzó a utilizar combustible con catalizador en octubre de 2006 en sus vehiculos, reportando que a febrero de 2007 se habian observado aumentos de rendimiento de 5% en diesel y 7% en gasolina, al mismo tiempo que mostraron un incremento en la potencia del motor.
- Otro usuario del catalizador es el Grupo Fresnillo PLC en la mina La Herradura, quienes notifican en septiembre de 2016 que desde el año 2010 han utilizado el Catalizador encontrando al final reducciones de hasta 50% de los gases contaminantes e incremento en la eficiencia del 7%, la dosificacion utilizada es 1 litro de catalizador por cada 20000 litros de combustible (no se especifica cual combustible).

### 3 METODOLOGÍA

El proceso de recolección y tratamiento de información contó con una metodología diseñada para este estudio de manera que los resultados pudieran ser comparables entre sí y generar condiciones de evaluación para estudios futuros.

El estudio partió de la selección de una muestra vehicular de 50 unidades que regularmente operaran en el Valle de Aburrá, distribuidas en 25 vehículos diésel y 25 vehículos a gasolina. A su vez estos deberían representar proporcionalmente el parque automotor del Valle de Aburrá en cuando a edad vehicular.

Para cada uno de los vehículos seleccionados se levantó una línea base con información del estado de los vehículos, frecuencias y tipos de mantenimiento, consumos de combustible, tiempos de operación y concentración de gases de combustión dependiendo del tipo de combustible que consuma el automotor.

La evaluación de parámetros se realizó en 4 momentos diferentes separados cada 30 días +/- 5 días denominándose línea base (LB) a los datos recolectados antes de iniciar el consumo de combustible catalizado con Green Plus, día 30 (D30) a los parámetros medidos a los 30 días de consumo del combustible catalizado, día 60 (D60) y día 90 (D90) a la misma información recolectada a los 60 y 90 días respectivamente, de uso del combustible catalizado. Adicionalmente se realizaron caracterizaciones de los combustibles con el objetivo de conocer si la adición de la Tecnología Green Plus tenía influencia en la calidad del combustible.

### 3.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMBUSTIBLE GASOLINA Y DIÉSEL

La caracterización de combustibles es realizada por el laboratorio de Crudos y Derivados de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Las normas de referencia para el reporte de los resultados son relacionados en la Tabla 3.1 para diésel y en la Tabla 3.2 para gasolina.

Tabla 3.1. Normas de los análisis para combustible diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Análisis	Unidad	Norma: Versión	Especificación	
			Mínimo	Máximo
Agua en productos del petróleo y materiales bituminosos por destilación	%v	ASTM D 95 - 13e1		0,05
Contenido de azufre fluorescencia de rayos X	%m	ASTM D 7220 - 12		0,005
Corrosión lámina de cobre, 3h a 50°C	N/A	ASTM D 130 - 12		2
Contenido de biocombustibles	%v	EN 14078 2014	9,5	10,5
Destilación de productos de petróleo a presión atmosférica	-	ASTM D 86 - 2015		
Punto inicial de ebullición	°C		Reportar	Reportar
50% recobrado	°C		Reportar	Reportar
90% recobrado	°C			
Punto Final de ebullición	°C			390

Análisis	Unidad	Norma: Versión	Especificación	
			Mínimo	Máximo
Recobrado	%v			
Residuo	%v			
Pérdida	%v			
Gravedad API de petróleo crudo o productos del petróleo a 15,56°C (60°F)	N/A	ASTM D 287 - 12b	Reportar	Reportar
Índice de cetano	N/A	ASTM D 976 - 06 (2011)	45	
Calor de combustión de combustibles hidrocarburos líquidos por bomba calorimétrica	BTU/Lb	ASTM D 240 - 14		
Calor de combustión de combustibles hidrocarburos líquidos por bomba calorimétrica	kJ/kg	ASTM D 240 - 14		
Punto de fluidez	°C	ASTM D 97 - 16		3
Punto de inflamación por probador de copa cerrada Pensky Martens	°C	ASTM D 93 - 15a	52	
Punto de nube	°C	ASTM D 2500 - 11	Reportar	Reportar
Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos a 40°C	cSt (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D 445 - 15	1,9	5

Fuente: ( Laboratorio de Crudos y Derivados. Universidad Nacional, 2017)

Tabla 3.2. Normas de los análisis aplicados a caracterización de gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Análisis	Unidades	Norma: Versión	Mínimo	Máximo
Agua en productos del petróleo y materiales bituminosos por destilación	%v	ASTM D 95 - 13e1	-	-
Contenido de azufre fluorescencia rayos X	%m	ASTM D 7220 - 12	-	0,027
Contenido de gomas en combustible por chorro de evaporación	mg/100 mL	ASTM D 381 - 12	-	5
Corrosión lámina de cobre, 3h a 50°C	N/A	ASTM D 130 - 12	-	1
Contenido de etanol	%V	ASTM D 5501 - 12e1	-	-
Destilación de productos de petróleo a presión atmosférica	-	ASTM D 86 - 2015		
Punto inicial de ebullición	°C		-	-
10% recobrado	°C		-	70
50% recobrado	°C		77	121
70% recobrado	°C		-	-
90% recobrado	°C		-	190

Análisis	Unidades	Norma: Versión	Mínimo	Máximo
Punto Final de ebullición	°C		-	225
Recobrado	%v		-	-
Residuo	%v		-	2
Pérdida	%v		-	-
Gravedad API de petróleo crudo o productos del petróleo a 15,56°C (60°F)	N/A	ASTM D 287 - 12b	Reportar	Reportar
Presión de vapor de productos del petróleo a 100°F (37,77°C)	kPa	ASTM D 323 - 2015a (procedimiento B)	-	65

Fuente: ( Laboratorio de Crudos y Derivados. Universidad Nacional, 2017)

### 3.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA BASE

La línea base de cada vehículo da la información de partida para evaluar la efectividad del uso de la Tecnología Green Plus, es por eso que se aplicó una serie de pasos cuidadosos en la selección de la muestra vehicular de tal manera que representara a escala el parque automotor de la región. Así mismo se recolecto por cada unidad vehicular algunos datos de mantenimiento, consumos de combustible y kilometraje diario durante alrededor de 2 semanas de operación. A continuación, se describe el procedimiento aplicado en cada caso.

#### 3.2.1 Selección de la muestra vehicular

Para la selección de 50 vehículos, 25 de combustible gasolina y 25 de combustible diésel que representara la población de automotores del Valle de Aburrá se tomó como base la información del parque automotor registrado en el año 2013 en todo el Valle de Aburrá, información que también sirvió de base en su momento para realizar el “inventario de Emisiones Atmosféricas, año base 2013” (AMVA, 2015). De acuerdo con los datos, el parque automotor estaba integrado por 1 055 540 vehículos distribuido como se indica en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Distribución parque automotor Valle de Aburrá. Año 2013. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

	Gasolina	Diésel	GNV
Autos	303.353	117.322	21.073
Taxis	20.147	11.409	9.635
Buses	2.402	13.480	2.332
Camiones	1.743	31.734	3.083
Motos 2T	68.809		
Motos 4T	448.946		
Metroplus			69

Fuente: (AMVA, 2015)

Del inventario vehicular reportado se tomaron como base para la distribución de automotores del estudio, los autos, taxis, buses y camiones consumidores de diésel y de gasolina. La distribución de la muestra vehicular debía realizarse entre autos nuevos (1 a 3 años de antigüedad), seminuevos (4 a 7 años de antigüedad) y viejos (8 a 12 años de antigüedad). Resultando finalmente la distribución presentada en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Distribución seleccionada de la muestra vehicular para el proyecto. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

	Nuevos	Seminuevos	Viejos	Total por tipo de combustible
Vehículos diésel	5	11	9	25
Vehículos gasolina	1	11	13	25
Total	6	22	22	50

Fuente: Elaboración Propia

Para el registro de la información fue elaborado un formato de bitácora del vehículo y el formato del registro de mantenimiento.

Después de revisadas las bitácoras de los vehículos, se procedió a realizar una inspección visual de cada uno de ellos con el fin de determinar si cumplía o no con los parámetros mínimos para realizar las diferentes pruebas. Estos parámetros son listados a continuación:

- **Tacómetro:** Instrumento para medir la velocidad de rotación de un mecanismo de la máquina al que va acoplado; generalmente, indica la velocidad en revoluciones por minuto (RPM). Debía estar con correcto funcionamiento para identificar los ciclos de ralentí y cruceo durante las pruebas.
- **Odómetro:** Instrumento de medición que calcula la distancia total o parcial recorrida por un cuerpo (generalmente por un vehículo) en la unidad de longitud en la cual ha

sido configurado. Al igual que el tacómetro debía estar en correcto funcionamiento. Se empleó en la elaboración de la línea base y la línea de tanqueo.

- **Indicador de nivel de combustible:** Mantiene el control en todo momento del nivel de combustible del vehículo en el tanque. Debía estar en correcto funcionamiento para conocer el momento en que el vehículo debía realizar el llenado del tanque con el combustible.
- **Gobernador:** Es el encargado de controlar la velocidad tope de los vehículos con el fin de evitar alguna avería al motor por causa de sobre-revolucionarlo o sobre-calentarlo. Este parámetro se evaluó para los vehículos en Diésel, ya que era necesario su correcto funcionamiento durante la prueba de opacidad.
- **Fugas:** Se verificó en los diferentes automotores que no hubiera fugas de aceite o combustible ya que una de las condiciones principales de la prueba fue que debían estar en buenas condiciones. A algunos vehículos también se les verificó que no se presentaran fugas por el mofle, ya que podrían afectar las mediciones de gases.

Durante las inspecciones visuales se realizaron charlas con los conductores de los diferentes vehículos compartiendo los objetivos básicos del proyecto, los beneficios que se esperan validar en el automotor por el empleo del Tecnología GREEN PLUS, y se les solicitó diligenciar el formato denominado Línea base.

### 3.2.2 Codificación muestras

La codificación de las muestras para el proyecto Green Plus, se plantea de la siguiente manera:

- Los dos primeros caracteres indican el proyecto en el cual se está trabajando: GP (Green Plus) estas dos letras siempre serán constantes.
- El tercer carácter indica el tipo de combustible utilizado: La D (Diésel) y la G (Gasolina).
- El cuarto, quinto y sexto carácter Indican las tres primeras letras correspondientes al nombre de la empresa propietaria del vehículo.
- El séptimo y octavo carácter corresponden al número del consecutivo de la muestra. Se llevará un consecutivo independiente para cada tipo de combustible: de 01 a 25 para vehículos a diésel y de 01 a 25 para vehículos a gasolina (Figura 3.1).

Figura 3.1. Ejemplo codificación muestra ambiental. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente. Elaboración propia

### 3.2.3 Línea base de rendimiento de combustible

La línea base es un parámetro que permite conocer los hábitos de conducción de cada conductor y principalmente obtener un estimado del rendimiento del combustible del vehículo. Para el registro de información fue creado un formato que consta de dos tablas, en las cuales se presentan los recorridos realizados por el automotor mientras que en la segunda se consignaban los kilómetros reportados por el odómetro y los galones cargados en el vehículo. Finalmente, estos datos fueron utilizados para identificar el consumo de combustible de cada vehículo participante. La información fue recolectada por un periodo oscilante entre 15 días y 3 meses.

El rendimiento de combustible de línea base se calculó a partir de los registros de tanqueo acumulados durante el periodo de evaluación.

### 3.3 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA PARA ANALISIS Y DEPURACIÓN DE DATOS

Al realizar las mediciones de gases y opacidad por triplicado se generan tres datos por cada uno de los parámetros medidos (concentración de gases, revoluciones por minuto en el motor, temperatura, etc.) en los diferentes momentos del estudio (línea base. Día 30, día 60 y día 90). Dicha información es la base para evaluar los cambios del uso de la Tecnología Green Plus. Para seleccionar el valor representativo de las mediciones de cada parámetro en los diferentes momentos del estudio, y estimar los cambios en las mediciones, se aplicó un método de estimación diferente de la medida de tendencia central: media, mediana, valores máximo y mínimo, mínimo y máximo, para la línea base y a los 90 días respectivamente.

La comparación entre las diferencias para los dos tiempos: Línea Base y 90 días, tomando como “medida representativa” de cada evento y considerando la distribución de los datos tanto para los cambios globales como como para la muestra que presentó mejora, permitió seleccionar con una confianza del 95 %, la estadística en cada uno de los eventos, no solo en la línea base en la que no se aplicó la Tecnología y que sirvió como “grupo control”, y las mediciones de la concentración a los 90 días “grupo tratamiento”, sino también a los 30 y 60 días. Aunque, estas mediciones intermedias no fueron tenidas en cuenta a la hora de determinar el efecto que el uso del Green Plus adicionado a la gasolina y al diésel tuvo sobre la emisión de los gases y sobre el material particulado, entre otros, si permitirá observar el comportamiento de la Tecnología durante un periodo de tiempo de 90 días. Así mismo, la comparación pudo extenderse a los modos ralenti y cruceo.

La prueba gravimétrica para captación del PST, arrojó datos por duplicado para algunos monitoreos como técnica de trazabilidad. Los resultados igualmente fueron tratados y en algunos de ellos fueron repetidos para validación del método.

### 3.4 METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE GASES EMITIDOS POR MOTORES A DIÉSEL Y GASOLINA

En la Tabla 3.5 se muestran las frecuencias y las pruebas a realizar tanto en los vehículos a diésel como a gasolina. Se definió que las pruebas se realizarían cada 30 días con un margen de +/- 5 días.

Tabla 3.5. Distribución de pruebas de campo. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

	Vehículos diésel	Vehículos gasolina
Pruebas línea base	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	-Concentración de gases -Material particulado total
Pruebas a 30 días de consumo de catalizador	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	-Concentración de gases -Material particulado total
Pruebas a 60 días de consumo de catalizador	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	
Pruebas a 90 días de consumo de catalizador	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	

Fuente: elaboración propia

Para el registro de datos de campo de vehículos diésel se diseñó un formato donde se dejó la evidencia de los chequeos de elementos y equipos antes de iniciar cada prueba, la verificación de las condiciones ambientales del sitio y la verificación de la inspección del vehículo. En este formato se registraron para las velocidades cruceo y ralentí y para las tres (3) mediciones definidas, los valores de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> cada uno en unidad de porcentaje (%) volumétrico. Posterior a la medición de gases de combustión, se procede a medir la opacidad, la cual queda registrada por el software del analizador de gases. Cada medición de opacidad tiene previamente tres (3) ciclos de medición que hace el equipo analizador antes de arrojar el resultado. Esos tres (3) datos de opacidad son promediados por el analizador y el resultado es presentado como la opacidad de los gases a las condiciones indicadas al momento de la prueba. Las mediciones de opacidad se realizaron por triplicado en cada prueba de los vehículos de diésel.

Los equipos analizadores de gases para gasolina realizan mediciones automáticamente mediante pruebas de auto chequeo de Span antes de cada prueba. La verificación del Span incluye los canales de cada gas específico e independiente. El principio de determinación absorción infrarroja no dispersiva permite que cualquier desviación del cero del Span haga que los niveles de la señal se desplacen hacia afuera de la escala de

ajuste del analizador de gases, generando un bloqueo en el equipo que impide la realización de las pruebas y aparecerá una señal para que el operador realice los procedimientos pertinentes de ajuste. En las metodologías de medición o determinación de los gases contaminantes se tuvo especial cuidado en lo referente a la preparación del equipo de medición, asegurando del correcto estado de mantenimiento y calibración del mismo, de acuerdo con las instrucciones contenidas en el manual de operación provisto por el fabricante y lo contemplado en las normas.

Dado que de todas las pruebas a realizar las que mejor controlan algunos parámetros del motor son las que se rigen por la normativa colombiana, el monitoreo comienza con estas pruebas dependiendo del caso: análisis de gases para gasolina o prueba de opacidad para vehículos diésel. Así se garantiza que, en las demás pruebas, el motor se encuentra en su temperatura normal de funcionamiento y por lo tanto es indiferente el orden en el que se realicen las demás.

En la Tabla 3.6 se relacionan las pruebas a realizar para cada tipo de combustible, el número de muestras tomadas, el encargado de la realización de la prueba, el tiempo de duración y el producto que se obtiene. En la Figura 3.3 se muestra una medición en campo de gases con analizador HORIBE BE 140 y con analizador Kane.

Tabla 3.6. Pruebas realizadas al combustible diésel y gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá. 2017

Tipo de combustible	Prueba	Número de muestras	Encargado	Duración por prueba (min)	Producto
Gasolina	Análisis de gases	3	Hatch Indisa	7	Reporte impreso.
	Gravimetría	1	Politécnico Jaime Isaza C.	15	Filtro con material particulado.
Diésel	Opacidad	3	Hatch Indisa	10	Reporte impreso.
	Gravimetría	1	Politécnico Jaime Isaza	15	Filtro con material particulado.
	Análisis de gases	3	Personal propio de Horeb	5	Formato de campo diligenciado.
	Medición de flujos	3	Hatch Indisa	5	Formato de campo diligenciado.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1 Equipo de medición de gases en motores a gasolina

La mediciones de gases en vehículos a gasolina se hicieron conforme con la norma técnica colombiana NTC4983 “Evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. Método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en este evaluación”.

Para las mediciones en vehículos gasolina se empleó un equipo analizador de gases marca Horiba referencia BE 140 con principio de funcionamiento infrarrojo no dispersivo y

software Inspector Gas versión 1.17.0 de Cartek Group, para medir automáticamente monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos totales (HC) y oxígeno molecular (O<sub>2</sub>). Este equipo consta de detectores infrarrojos, un microprocesador y una celda galvánica que mide el O<sub>2</sub>. El principio de funcionamiento infrarrojo no dispersivo se basa en la emisión de una luz infrarroja de banda ancha a través de una celda que contiene los gases a analizar. A medida que el haz de luz pasa a través de la celda, los gases absorben algo de su intensidad. El haz atenuado es entonces llevado a los detectores del equipo. Cada detector tiene un filtro de paso de banda estrecha, que aísla una región específica para el gas correspondiente (CO, CO<sub>2</sub> o HC).

Cada detector produce una señal eléctrica correspondiente a los cambios en la absorción de energía. La diferencia entre la señal de la muestra y la de referencia representa la concentración de los componentes. Las principales características y demás componentes que integran el analizador de gases se pueden ver en la Tabla 3.7 y una imagen del mismo es mostrada en la Figura 3.2.

Tabla 3.7. Componentes y características técnicas del analizador HORIBE BE 140. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Componentes del Analizador HORIBA BE 140	Características técnicas
Computador instalado en Gabinete Portátil	Tiempo de respuesta: 3.5s a 2 L/min de flujo de succión
Monitor plano de 17"	Caudal de muestra: 2 L/min a 3 L/min
Teclado y mouse incorporado	Tiempo de calentamiento: 5 minutos
RPM / Temperatura e impresora (opcionales)	Dimensiones (sensor): 225x140x103 mm
Filtro de material particulado y condensados	Peso (sensor): 1 kg
Se puede adecuar para medición de O <sub>2</sub> y NO	Operación 110 voltios 60 Hz 1 PH

Fuente: (Tecnicentro Los Colores, 2016)

Figura 3.2. Analizador de gases HORIBE BE 140. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: (Tecnicentro Los Colores, 2016)

En la Tabla 3.8, se puede observar los diferentes compuestos que se pueden medir o calcular empleando el analizador de gases HORIBA BE 140 en el escape de los vehículos automotores a gasolina.

Tabla 3.8. Parámetros de medición HORIBE BE 140. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Compuesto	Rango de Medición
CO	0 – 10% vol.
HC (n-Hexano)	0 – 10000 ppm
CO <sub>2</sub>	0 – 20% vol.
O <sub>2</sub> (calculado) – opcional	0 – 25% vol.
NO – opcional	0 – 5000 ppm

Fuente: (Tecnicentro Los Colores, 2016)

### 3.4.2 Equipo de medición de gases en motores a diésel

Las mediciones de gases en vehículos diésel se realizaron con un analizador marca KANE para gases de escape vehiculares, modelo Auto Plus 42. El equipo cuenta con una pantalla monocromática QVGA y Bluetooth. Está conformado por un filtro de material particulado fabricado en celamina, una trampa de agua y una sonda de medición. El principio de funcionamiento es a través una bomba de vacío, que arrastra los gases a través de una manguera que se inserta en el tubo de escape del vehículo automotor y de ahí son dirigidos hacia al analizador de gases.

Este instrumento tiene el mismo principio de funcionamiento del analizador de gases HORIBE BE 140, que consiste en hacer pasar luz infrarroja por una celda que contiene el gas, y detectar la energía absorbida por cada uno de los gases con sensores apropiados. Estos sensores consisten en un filtro óptico formando por un lente que permite solo pasar las longitudes de onda del espectro infrarrojo correspondientes al gas cuya concentración se quiere medir. Los sensores determinan la cantidad de luz remanente y producen una alimentación para el procesador, que determina la cantidad de los gases en el escape, la cantidad de O<sub>2</sub> (gas) es medido por un sensor independiente.

Las principales características y demás componentes que integran el analizador de gases se pueden ver en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Componentes y características técnicas del analizador KANE Auto Plus 42. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Componentes del KANE AUTO PLUS 42	Características Técnicas
Unidad principal Analizador	Permite mediciones en vehículos de gasolina, GLP, GNC, diésel
Sonda de toma de gases	Comunicación a PC mediante Bluetooth
Trampa de agua	Capacidad de almacenamiento de 500 test
Filtro de material particulado	Peso: 1 kg
4 baterías NiMh recargables	Dimensiones principales: 220 x 55 x 120 mm (sonda: 350 x 15 mm)
Cargador	Longitud de la manguera: 4 m
Software para PC	Rango de medición temperatura ambiente: 5 - 45 °C
	Voltaje baterías: 12 VDC
	Control de velocidad de bomba

Fuente: (Kane International Limited)

Es un Medidor portátil que se puede utilizar en vehículos con motores: gasolina, GLP, GNV y diésel. Además, el equipo dispone de un Software multilinguaje autoplus para pruebas de diagnóstico y el mantenimiento de vehículos, según las especificaciones del fabricante. En la Tabla 3.10, se puede observar los diferentes compuestos que se pueden medir o calcular empleando el analizador de gases KANE Auto Plus 42 en el escape de los vehículos automotores diésel.

Tabla 3.10. Parámetros de medición del analizador KANE Auto Plus 42. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Compuesto	Rango de medición
CO	0 – 10% vol.
CO <sub>2</sub>	0 – 16% vol.
O <sub>2</sub> (calculado)	0 – 21% vol.
NO <sub>x</sub>	0 – 5000 ppm
HC	-

Fuente: (Kane International Limited)

Luego del registro de información de línea base, se dio inicio al proceso de mediciones en los vehículos diésel y gasolina. Tanto en los vehículos diésel como en los de gasolina se midió por triplicado y en trabajo estático la concentración de gases contaminantes provenientes de la combustión, recolección de partículas totales y adicionalmente solo en los carros de diésel se midió opacidad también por triplicado. La distribución de pruebas se presenta en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Distribución de pruebas de campo. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

	Vehículos diésel	Vehículos gasolina
Pruebas línea base	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	-Concentración de gases -Material particulado total
Pruebas a 30 días de consumo de catalizador	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	-Concentración de gases -Material particulado total
Pruebas a 60 días de consumo de catalizador	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	
Pruebas a 90 días de consumo de catalizador	-Concentración de gases -Material particulado total -Opacidad	

Fuente: elaboración propia

Se definieron frecuencias de 30 días más o menos 5 días entre las mediciones para el momento día cero (línea base), 30 días, 60 días y finalmente entre el día 85 y día 95 (día 90) de uso de combustible catalizado.

Para el registro de datos de campo de vehículos diésel se diseñó un formato donde se dejó la evidencia de los chequeos de elementos y equipos antes de iniciar cada prueba, la verificación de las condiciones ambientales del sitio y la verificación de la inspección del vehículo. En este formato se registraron para las velocidades crucero y ralentí y para las tres (3) mediciones definidas, los valores de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> cada uno en unidad de porcentaje (%) volumétrico. Posterior a la medición de gases de combustión, se procede a medir la opacidad, la cual queda registrada por el software del analizador de gases. Cada medición de opacidad tiene previamente tres (3) ciclos de medición que hace el equipo analizador antes de arrojar el resultado. Esos tres (3) datos de opacidad son promediados por el analizador y el resultado es presentado como la opacidad de los gases a las condiciones indicadas al momento de la prueba. Las mediciones de opacidad se realizaron por triplicado en cada prueba de los vehículos de diésel.

Los equipos analizadores de gases realizan mediciones automáticamente mediante pruebas de auto chequeo de Span antes de cada prueba. La verificación del Span incluye los canales de cada gas específico e independiente. El principio de determinación absorción infrarroja no dispersiva permite que cualquier desviación del cero del Span haga que los niveles de la señal se desplacen hacia afuera de la escala de ajuste del analizador de gases, generando un bloqueo en el equipo que impide la realización de las pruebas y aparecerá una señal para que el operador realice los procedimientos pertinentes de ajuste. En las metodologías de medición o determinación de los gases contaminantes se tuvo especial cuidado en lo referente a la preparación del equipo de medición, asegurando del correcto estado de mantenimiento y calibración del mismo, de acuerdo con las instrucciones contenidas en el manual de operación provisto por el fabricante y lo contemplado en las normas.

Dado que de todas las pruebas a realizar las que mejor controlan algunos parámetros del motor son las que se rigen por la normativa colombiana, el monitoreo comienza con estas pruebas dependiendo del caso: análisis de gases para gasolina o prueba de opacidad para vehículos diésel. Así se garantiza que, en las demás pruebas, el motor se encuentra en su temperatura normal de funcionamiento y por lo tanto es indiferente el orden en el que se realicen las demás.

En la Tabla 3.12 se relacionan las pruebas a realizar para cada tipo de combustible, el número de muestras tomadas, el encargado de la realización de la prueba, el tiempo de duración y el producto que se obtiene. En la Figura 3.3 se muestra una medición en campo de gases con analizador HORIBE BE 140 y con analizador Kane.

Tabla 3.12 Pruebas realizadas al combustible diésel y gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Tipo de combustible	Prueba	Número de muestras	Encargado	Duración por prueba (min)	Producto
Gasolina	Análisis de gases	3	Hatch Indisa	7	Reporte impreso.
	Gravimetría	1	Politécnico Jaime Isaza C.	15	Filtro con material particulado.
Diésel	Opacidad	3	Hatch Indisa	10	Reporte impreso.
	Gravimetría	1	Politécnico Jaime Isaza	15	Filtro con material particulado.
	Análisis de gases	3	Personal propio de Horeb	5	Formato de campo diligenciado.
	Medición de flujos	3	Hatch Indisa	5	Formato de campo diligenciado.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Medición de gases con analizador HORIBE BE 140 (Izquierda) y con analizador Kane (derecha). Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3 Equipo de medición de opacidad

La mediciones de opacidad en vehículos a diésel se hicieron conforme con la norma técnica colombiana NTC4231 "Procedimientos y características de los equipos de flujo parcial necesarios para medir las emisiones de humo generadas por las fuentes móviles accionadas con ciclo diésel. Método de aceleración libre"

La metodología se divide en:

- Procedimientos previos:

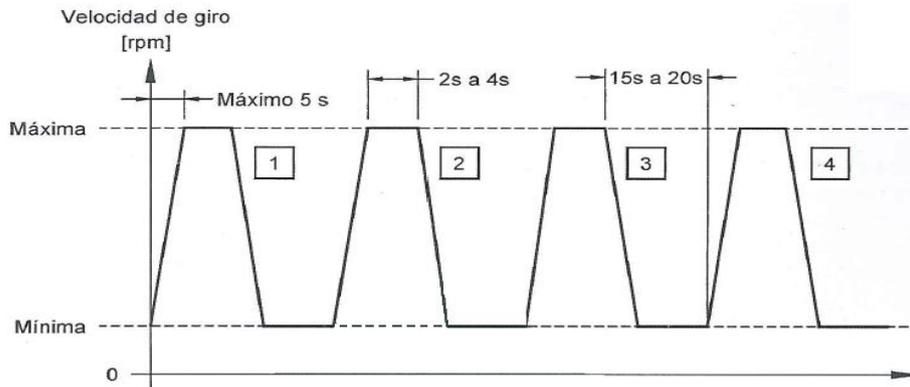
Se verifican las condiciones ambientales; se prepara el equipo de medición (limpieza, purga y calibración); se realiza una inspección previa y se prepara al vehículo (verificando que esté en las condiciones mecánicas, de funcionamiento y de seguridad adecuadas para la prueba); y se introduce la sonda de muestreo en el escape del vehículo para dar inicio a la medición de la opacidad de los humos.

- Medición de opacidad:

Se realiza una secuencia de cuatro aceleraciones súbitas, acotadas por las velocidades de ralentí (mínima) y gobernada (máxima). Se registra el valor de la opacidad en cada aceleración, descartando la primera y utilizando las tres restantes para promediarlas y obtener así el resultado final de opacidad. En la Figura 3.4 se muestra la secuencia de las aceleraciones.

Figura 3.4. Secuencia de aceleraciones en prueba de opacidad. Prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la

## aplicación de la Tecnología GREEN PLUS en combustible diésel utilizado en el Valle de Aburrá. 2017



Se registran los datos para luego someterlos a unos criterios de validación de la prueba. Una vez sean validados, se procede a determinar si la prueba es aprobada o no a la luz de los límites máximos permitidos establecidos por la resolución 910: “Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamente al artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones”.

Finalmente se imprime el reporte de resultado final de la prueba de opacidad. Cabe destacar que los procesos de registro, validación y aprobación de los datos son realizados automáticamente por el software del equipo y por lo tanto el técnico que realiza la prueba no tiene incidencia sobre los resultados.

### 3.5 METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRA DE MATERIAL PARTICULADO

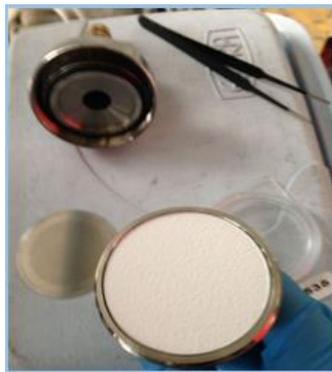
El procedimiento para la toma de muestras de material particulado total PST, se realiza según el instructivo del Laboratorio GHYGM, IPSH10-LI INSTRUCTIVO MEDICION MP VEHICULOS. El procedimiento consiste en la recolección del material directamente del tubo de escape en estado Ralenti, colocando un dispositivo que consta de una bomba de succión de flujo constante caudal 4.9 LPM un filtro de cuarzo de 47 mm de diámetro ubicado al final de una sonda que se introduce en el interior del tubo de escape del vehículo. Este sistema no utiliza ningún tipo de separación de partículas para facilitar que estas circulen libremente hacia el filtro hasta su retención en el filtro.

Antes de iniciar la medición se realiza el chequeo de los elementos y equipos descritos en el FPS31- LI FORMATO MEDICION MP FUENTES MOVILES y seguido de esto se realiza la inspección del muestreador y el vehículo, garantizando que el filtro de cuarzo se encuentre en la caja Petri y que las conexiones de la manguera a la sonda de muestreo estén en buen estado. En cuanto al vehículo se verifica que esté encendido y se busca por presencia de fugas en el tubo de escape del vehículo, que porte la tapa de aceite o

fugas del mismo y que la temperatura del motor se encuentre en el régimen de operación ideal.

Luego de las verificaciones se procede a la instalación del filtro en el porta filtro con la parte rugosa hacia abajo (Ver Figura 3.5), usando guantes de nitrilo retirándolo de la caja Petri por medio de pinzas, se atornilla con el otro extremo y se insertan las mangueras que contienen la sonda y la toma del aire por la manguera que sale del equipo. Después se inserta la sonda al tubo de escape del vehículo, se prepara y enciende la bomba durante el tiempo previamente establecido (Ver Figura 3.6).

Figura 3.5 Porta filtro utilizado en la toma de muestra de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Sistema de medición en la toma de muestra de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



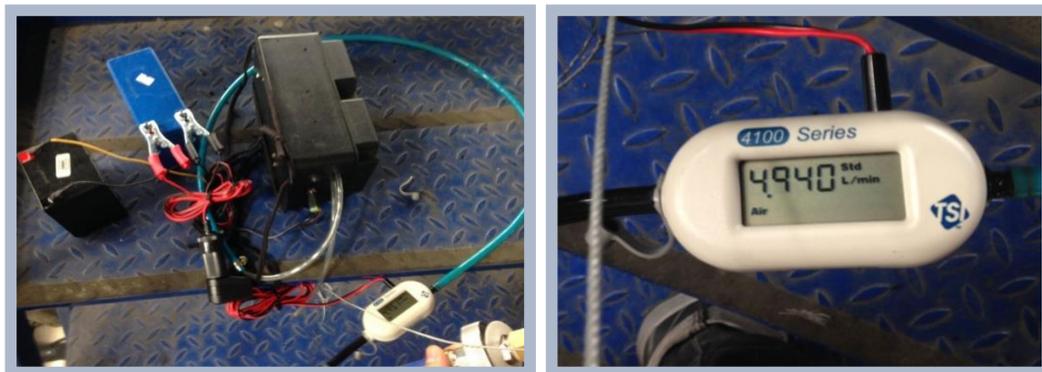
Fuente: Elaboración propia

Cada 2 muestras, se utiliza un filtro prueba, para realizar la verificación del flujo de la bomba, garantizando el flujo constante de 4.9 LPM, como se muestra en la Figura 3.7.

El tiempo de medición establecido es de 10 minutos a partir de la introducción de la sonda y el encendido de la bomba de succión. La bomba se detiene inmediatamente al cumplir el tiempo, se retira la sonda y se lleva el dispositivo porta filtros hacia un lugar seguro que garantice el cambio del filtro evitando el riesgo de contaminación cruzada.

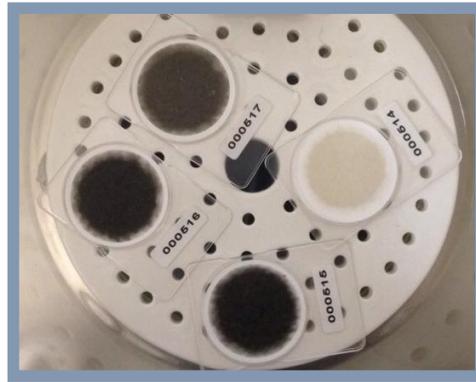
Se remueve el filtro para guardarlo en la caja utilizando guantes de nitrilo y pinzas. El registro de los datos, tiempo de medición, la placa del vehículo, el número de la etiqueta del filtro, la fecha de la medición y el lugar donde se consignan en el FPS31- LI FORMATO MEDICION MP FUENTES MOVILES. Los filtros de cuarzo de 47 mm son entregados por el ingeniero de monitoreo al analista de laboratorio el cual se encarga de realizar los respectivos pesajes antes y después del muestreo, de la manera como se describe en el numeral 3.5 (Ver Figura 3.8)

Figura 3.7 Verificación de flujo e instrumento de verificación en la toma de muestra de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Muestra Emisiones PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo y cumplimiento de la determinación de material particulado PST se tomaron como referencia los instructivos IPSH04-LI-Instructivo de Pesaje de Filtros e IPSP02-LI-Instructivo Cadena de Custodia, donde se detallan las operaciones requeridas para el pesaje en el laboratorio del grupo GHYGAM, las cuales son realizadas por el analista de laboratorio. Estas operaciones van desde la recepción del filtro por parte del encargado de monitoreo y su adecuada manipulación y embalaje hasta la elaboración del reporte de masas obtenidas a través del pesaje de los filtros.

Para el caso de este proyecto, el laboratorio suministra los filtros Whatman EPM 2000 de cuarzo estéril de 47 mm, certificado para el uso en equipos de muestreo de calidad aire, los cuales colectan las partículas en la atmósfera y los aerosoles.

La fibra de cuarzo es la más adecuada para el proceso de caracterización; proceso por el cual se determina la composición fisicoquímica de las partículas retenidas.

El personal encargado de monitoreo, junto con el analista de laboratorio, deben asegurarse de la calidad del filtro en el momento de su entrega, antes y después del muestreo. El Filtro se analiza visualmente y se realizan los criterios para el rechazo de muestra, los cuales consisten en verificar que no cuente con agujeros en la superficie; pérdida de material recolectado; bordes cortados o superficies desiguales; tiempos de muestreo no conformes; entre otras circunstancias que generen un rechazo de muestra.

Para el proceso de pesaje se siguen los lineamientos establecidos en el ISLH04-LI-Instructivo de Pesaje de Filtros; el cual describe los procedimientos necesarios para realizar la determinación de la masa recolectada en los filtros de 47 mm de diámetro.

Antes de realizar el pesaje de los filtros, se hace un proceso de desecado de 48 horas en condiciones controladas de humedad y temperatura (15 °C y 30 °C para la temperatura y 20 % y 45 %  $\pm$  5% para la humedad relativa), posteriormente se realiza una precarga por

30 minutos aproximadamente con una masa patrón de 10 gramos. El pesaje se hace por triplicado para garantizar la incertidumbre de la medición.

La cámara de pesaje se muestra en la Figura 3.9, la balanza cuenta con 6 cifras decimales con una división de escala de  $2\mu\text{g}$  y permite hasta una carga máxima de 20g.

Figura 3.9 Cámara de pesaje. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

### 3.6 METODOLOGÍA DE BALANCE DE MASA Y ENERGÍA COMO ESTRATEGIA PARA VALIDAR EMISIONES

En la metodología experimental aplicada para evaluar las concentraciones de gases y material particulado, se tuvo el cuidado de llevar a cabo mediciones simultáneas de flujos, humedades y temperaturas en la salida de los gases de escape de los distintos vehículos estudiados. Con esta información más la obtenida con las concentraciones y las propiedades de los combustibles utilizados (composición química basada en los contenidos de carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre), fue posible establecer balances de masa para las cuatro situaciones estudiadas: línea base en condiciones ralentí y cruceo estático y con el uso del agente catalizador GREEN PLUS (GP) en las mismas condiciones.

Estos balances permitieron tener una aproximación a las emisiones específicas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{MP}$ , y los flujos de combustibles y de inquemados en la combustión bajo las condiciones de las pruebas estáticas realizadas.

Los balances se basaron en las siguientes consideraciones:

Dado los flujos de masa y las concentraciones de  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{MP}$  y las humedades, se pueden encontrar los flujos de tales sustancias.

Dadas las composiciones químicas de los combustibles, se establecen los flujos de combustible que dan origen a los flujos encontrados para los gases. Es de anotar que, de lejos, los flujos de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CO}$  permiten establecer fundamentalmente este balance, ya

que estas dos sustancias dan lugar a casi la totalidad del carbono emitido, que debe coincidir con el flujo de carbono aportado por el combustible, permitiéndose en esta forma conocer los flujos de combustible, dado que se conoce el porcentaje de carbono que tiene. No obstante lo anterior, se tuvieron además en cuenta también aproximaciones a los flujos de carbono existentes en el material particulado emitido y en los compuestos HC emitidos, y aproximaciones a los contenidos de azufre en el MP, para tener un mejor balance de masas. Igualmente se balancearon los flujos de hidrógeno, con base en los flujos de humedad en el aire de entrada y en la salida, los flujos de HC y de MP, y los contenidos de hidrógeno en el combustible en el agua (estos dos últimos, constituyen la proporción fundamental de las salidas y de las entradas de hidrógeno, pero se tuvieron en cuenta los demás componentes mencionados, para un mejor balance). Como no se determinaron experimentalmente las concentraciones de HC para el caso de las pruebas con diésel y de NOx en el caso de las pruebas con gasolina, se tomaron estos dos contaminantes con base en factores de emisión estimados con base en las normas sobre emisiones corregidas en proporción a la presencia de CO. Como estos flujos son pequeños, estas aproximaciones no alteran significativamente los flujos principales de masa estudiados (fuel, CO<sub>2</sub>, CO y MP)

Una combustión completa, da lugar a que todo el carbono del combustible se convierta en CO<sub>2</sub> y a que todos sus hidrógenos se conviertan en agua. Una combustión incompleta da lugar a que parte de los carbonos salgan parcialmente quemados en forma de CO, de MP y de HC. Comparando estos elementos, es posible establecer el porcentaje de combustible sin quemar que existe en los casos estudiados.

Como se conocen los flujos de gases y de combustible, es posible determinar los flujos de aire secos que entran al motor y por lo tanto determinar las relaciones aire combustible y los excesos de aire utilizados, una vez que se comparan estos flujos de aire con el aire estequiométrico necesario para la combustión.

Todos estos análisis y balances se hicieron también para dar mayor calidad y certeza a los estudios realizados, y para contar con resultados basados no solamente en las concentraciones de los contaminantes sino también en los flujos de combustibles que ocurrieron, obteniendo en esta forma emisiones específicas comparativas al trabajar en condiciones de Línea base (LB) y con el uso del GP.

Estos resultados confieren mayor sentido a los impactos que se pueden esperar en el ambiente de la ciudad cuando se trabaje con y sin el GP, bajo condiciones de arranque de los vehículos y de suspensión de la marcha, las cuales son muy significativas en condiciones de tráfico urbano, sometido a frecuentes paros de marcha y a bajas velocidades, y a constantes situaciones de congestión vehicular y perturbaciones originadas en las pobres prácticas de conducción de una fracción de los conductores.

En las pruebas ralentí, se enciende el motor y se lo deja sin acelerar. Se registra la velocidad que alcanza el motor y se toman los parámetros del estudio. En el caso de los vehículos a gasolina, la entrada del combustible y del aire está bastante cerrada y no entraría suficiente aire, por cual se cuenta con una entrada adicional de aire, manejada automáticamente, que permite la entrada de una cantidad adicional pequeña de aire. El resultado es que se trabaja con cantidades muy ajustadas de aire, cercanas a la relación

estequiométrica, que es sensada por el sistema de registro y que se lleva al sistema de inyección de combustible.

En el caso del diésel, no se regula el aire, sino la entrada del combustible, que se mantiene en un valor bajo, suficiente para tener encendido el motor. Al no regular el flujo de aire y trabajar con flujos pequeños de combustible, se trabaja con muy altos excesos de aire. Como estos motores trabajan a altas relaciones de compresión, del orden de 20, las temperaturas durante las compresiones son suficientemente altas para quemar el combustible que se inyecta, a pesar de los altos excesos de aire.

Las pruebas de crucero estático, se hacen de manera semejante, pero llevando las revoluciones del motor a valores especificados, mayores que los que se obtienen en la prueba ralentí, y que se mantienen durante la prueba crucero, mientras se toman los datos. Ello da lugar a mayores flujos de combustible y de gases que en el caso de la prueba ralentí, siendo, sin embargo, los excesos de aire semejantes para ambas pruebas.

Lo anterior se verá reflejado claramente en las mediciones realizadas para todos los vehículos. Altos excesos de aire, altas concentraciones de O<sub>2</sub> y bajas concentraciones de CO<sub>2</sub> en el caso del diésel. Bajos excesos de aire, bajas concentraciones de O<sub>2</sub> y alta concentraciones de CO<sub>2</sub> en el caso de la gasolina.

### **3.7 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE GASES CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS VEHÍCULOS DIESEL Y GASOLINA: CO, HC, PM, CO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> Y OPACIDAD**

La evaluación de reducción de productos de la combustión (material particulado, gases contaminantes y opacidad) se estima a partir de la comparación de las mediciones realizadas en la línea base y a los 90 días de uso del combustible catalizado, ya que la Tecnología Green Plus actúa durante esos primeros 90 días en la limpieza interna de motores y partes que intervienen en la combustión y en el sistema de evacuación de gases, según su fabricante. Los valores representativos en cada periodo de evaluación son los resultantes de aplicar la metodología estadística para análisis y depuración de datos, explicada en el numeral 3.3.

Como referente normativo para la realización de las evaluaciones se tuvo en cuenta las especificaciones detalladas en la Resolución 910 de 2008 del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible de la República de Colombia, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres. Adicionalmente se tuvo en cuenta la Norma técnica Colombiana NTC 4983 Calidad del Aire. Evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. Método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero, y la NTC 5365 Calidad del Aire. En las pruebas de opacidad y/o de análisis de gases en los vehículos a diésel seleccionados, se tuvo en cuenta los procedimientos y recomendaciones contenidas en la Norma Técnica Colombiana 4231.

### 3.8 METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO

Para tener un mayor conocimiento de la composición química de las partículas emitidas en los motores de combustión, se aplican dos (2) metodologías para comparación y validación de resultado son el SEM-EDS (*Analysis by Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive Spectrometry for empirical composition Morphology and particle size screening*) y el análisis de pérdidas por calcinación. A continuación, se detallan esta información:

#### 3.8.1 Método SEM-EDS (analysis by scanning electron microscopy / energy dispersive spectrometry).

La determinación de la composición físico-química de la partícula según sus contenidos de C, O, Si, Al, Na, S, K, Fe, Ni y otros elementos detectables, en las muestras de material particulado PST tomadas según la metodología explicada en el numeral 3.5, se llevó a cabo aplicando las metodologías siguientes:

- ✓ Análisis SEM-EDS (*Analysis by Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive Spectrometry for empirical composition Morphology and particle size screening*)
- ✓ Análisis FT-IR (*Analysis by Fourier Transform infrared spectroscopy*)
- ✓ Inductively Coupled Plasma (ICP).

Las pruebas analíticas fueron realizadas en el Laboratorio internacional MMC (*Materials Characterization Center, University of Puerto Rico*).

El análisis SEM-EDS fue realizado utilizando un Microscopio de Barrido de Electrones, modelo JEOL 6480 LV equipado con una Unidad de Detección de Fluorescencia de rayos X EDAX. El SEM es utilizado para obtener una vista magnificada de la muestra. Esto se logra enfocando un rayo de electrones sobre la muestra, controlando el voltaje de aceleración y por consiguiente, la profundidad de penetración y energía cinética de los electrones incidentes. Una característica de las imágenes de retro dispersión de electrones (BEI) proporciona información acerca de la composición de la muestra, mediante la creación de una imagen que asigna tonalidades de oscuros a blancos, proporcionales a los pesos atómicos. Tonos oscuros (gris a negro), corresponden a pesos atómicos ligeros y tonos blancos (gris claro a blanco), corresponden a pesos atómicos pesados. La imagen resultante es llamada Imagen de Retrodispersión de Electrones (imagen BEI). El sistema de EDS es utilizado en combinación con el sistema SEM, para obtener la composición elemental de las muestras.

Para la caracterización de las muestras de PST en los vehículos diésel y gasolina, se analizaron un total de treinta tres (33) muestras Línea Base Monitoreo 30, y 90 días. Tres (3) de estas muestras corresponden a muestras duplicadas incluyendo los duplicados de la técnica gravimétrica, que fueron enviadas para la validación de la información sobre la composición PST, en un mismo vehículo y bajo las mismas condiciones. En la Tabla 3.13 se detalla el número de muestras enviadas.

Para el análisis Inductively Coupled Plasma (ICP) se seleccionaron 3 muestras de PST y 1 blanco, de acuerdo con las características analíticas.

Tabla 3.13 Cantidad muestras PST caracterizadas según tipo de combustible. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Muestra	Numero muestras	No. muestras duplicadas
Diésel línea base	8	1
Diésel 30 días de rodamiento con catalizador Green Plus	7	1
Diésel 90 días de rodamiento con catalizador Green Plus	6	1
Gasolina línea base	8	0
Gasolina 90 días de rodamiento con catalizador Green Plus	4	0

Fuente: Elaboración propia

Para la aplicación de los barridos de la técnica SEM EDS, el procesamiento de cada muestra se realiza a diferentes velocidades de emisión de electrones sobre la superficie, diferentes sub-áreas de la superficie de la muestra y para partículas aleatorias, generando las imágenes de Retrodispersión de Electrones (BEI).

La preparación de la muestra se llevó a cabo de la siguiente manera:

- ✓ SEM-EDS: Las muestras fueron aisladas con la ayuda de pinzas. Una vez aisladas, las muestras fueron montadas en un adhesivo de carbón con doble cara, previamente adherido a un porta muestra de aluminio. Los análisis fueron realizados en bajo vacío a 20 kV. Imágenes de retro dispersión de electrones (micrografías BEI) fueron obtenidas a magnificaciones de 250X y 750X.
- ✓ Mapa de EDS: Los análisis fueron realizados como previamente fue descrito en el procedimiento de SEM-EDS. Se utilizó una resolución matriz de 256x200 con 64 marcos y 200µs de tiempo de permanencia.

### 3.8.2 Metodología para determinación de pérdidas por calcinación

Para la determinación de las pérdidas por calcinación se tomaron doce (12) filtros con la muestra recolectada de PST en gasolina y diésel, según la metodología explicada en el numeral 3.5 y cuatro filtros blancos los cuales se pesaron según el instructivo IPSH04-LI-Instructivo de Pesaje de Filtros, se sometieron a 200°C por dos horas, se enfriaron en un desecador y por último se pesaron nuevamente para determinar el cambio en la masa. Este mismo procedimiento se repite a 400 °C y a 700 °C. El porcentaje de cambio en la masa recogida después de la calcinación se calculó como se muestra en la Ecuación 3.1

$$\text{Ecuación 3.1} \quad \% \text{ cambio.masa} = 100 - \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100$$

%cambio en la masa: Porcentaje de cambio de la masa recolectada en el filtro

$m_1$ : Masa del filtro más muestra recolectada sin calentamiento [=] g

$m_2$ : Masa del filtro más muestra recolectada sometido a temperatura corregida con las pérdidas del filtro blanco [=] g.

Los resultados obtenidos a las diferentes temperaturas del ensayo se registran en el Anexo 3-1.

### 3.8.3 Metodología para la determinación del contenido de materia carbonacea Black Carbon

El análisis de carbono elemental (EC) y carbono orgánico (OC) se realizó según el Método Termal Protocol derivado de la Interagency Monitoring of Protected Visual Environments (IMPROVE) (Chow et al., 2005, 2007), aplicado para cuantificar las fracciones elemental y orgánica, generadas a diferentes rangos de temperatura y bajo diferentes atmósferas. Este método analítico consiste en un tratamiento térmico de medida de la reflectancia y/o transmitancia (TOR/TOT) en el tiempo, bajo diferentes condiciones de temperatura y gases atmosféricos inyectados al equipo. El tratamiento térmico y óptico permite diferenciar por peso, las fracciones orgánicas y el carbono elemental contenido en la muestra.

### 3.9 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS COMBUSTIBLES DIÉSEL Y GASOLINA CATALIZADOS CON GREEN PLUS, EXPRESADA EN LA DISMINUCIÓN EN PORCENTAJE DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LOS VEHÍCULOS PARTICIPANTES DE LA PRUEBA

La estimación del cambio de la eficiencia energética expresada como la relación entre en consumo de combustible por distancia recorrida, se realizó a partir del análisis sistemático de ésta en los diferentes momentos de la prueba. El cambio es tomado para los momentos LB y 90 días, como a continuación se describe:

- **Línea base:** La eficiencia energética es calculada a partir del rendimiento del combustible, es decir, a partir de la cuantificación de los kilómetros recorridos con cada galón de combustible gastado. Una vez seleccionados los vehículos que integrarían la muestra del estudio, y realizado el chequeo inicial de condiciones mecánicas de cada carro para verificar su aptitud desde las condiciones mecánicas, se realizó un seguimiento al menos durante 15 días y hasta por 3 meses, de los tanqueos de combustible realizados en el periodo, la fecha en la cual se realizó el registro, y el kilometraje al momento de tanquear.
- **Consumo de combustible catalizado:** Una vez iniciado el consumo de combustible catalizado, los vehículos debían consumir esta mezcla (combustible + Tecnología),

para lo cual se les pidió hicieran la compra de combustible solo en la Estación de Servicios Colibrí, Medellín, en la cual se adicionaba el Tecnología directamente en los tanques de almacenamiento de combustible cada vez que eran llenados. Con cada compra de combustible, la información de kilometraje y cantidad de combustible comprado eran enviados por correo electrónico, los registros de los primeros 30 días de consumos fueron utilizados para calcular el rendimiento en el día 30, sucesivamente a los 60 y 90 días.

En los periodos de consumo (línea base, día 30, día 60 o día 90), se tuvieron en cuenta los tanqueos reportados y a estos se les aplicó análisis estadístico con el objetivo de determinar desviaciones por tanqueos no reportados, que pudieran afectar el rendimiento a reportar.

Para el manejo de las inconsistencias en frecuencia de tanqueos, kilometraje recorrido, o cantidad tanqueada, se procedía a consultar la razón de la ocurrencia y posteriormente se tomaba la decisión apoyada en el análisis estadístico, de considerar o no el periodo de consumo continuo o fraccionado.

### **3.10 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL APORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO<sub>2</sub> EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL CATALIZADOR CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS**

Para la evaluación del aporte a la meta de disminución de CO<sub>2</sub> equivalente comprometida por Colombia en la COP 21, a partir del uso de la Tecnología GREEN PLUS se revisaron y aplicaron los modelos Long-Range Energy Alternatives Planning System (LEAP) y el programa computacional para calcular emisiones del sector transporte (COPERT, por sus siglas en inglés) tiene sus orígenes en 1989 (COPERT 85) (Emisia SA., 2016b).

De igual manera se realizó una estimación del impacto del uso de la Tecnología Green Plus a partir de los valores de mejora en los rendimientos (kilómetros por unidad de combustible) obtenidos en el estudio realizado a la muestra de 25 vehículos diésel y 20 vehículos a gasolina

Para la proyección de emisiones de fuentes móviles se tomó como referente la proyección realizada en el marco del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá –PIGECA (AMVA-CAI, 2017). Así, en un escenario inercial en el que no se implementan medidas (línea base o escenario BAU, Business As Usual) el parque automotor tendría 3.101.320 vehículos en el año 2030, y emitiría 468.409 ton CO, 20.769 ton NO<sub>x</sub>, 688 ton SO<sub>x</sub>, 19.447 ton VOC y 5.129 ton PM<sub>2,5</sub> y 6.294.283 ton CO<sub>2</sub>.

A continuación se detallan las metodologías específicas para cada modelo:

#### **3.10.1 Metodología modelo LEAP.**

Este modelo es aplicado desagregando el árbol jerárquico de cuatro niveles: sector, sub-sector, uso final y dispositivos; en el caso del sector transporte, el análisis se centra en el

uso final, donde la demanda de energía puede ser calculada como el producto del nivel de actividad y la intensidad energética. El nivel de actividad depende de factores como el número de vehículos y el kilometraje recorrido, mientras la intensidad energética depende de la eficiencia energética del vehículo. Las emisiones del vehículo pueden ser calculadas como el producto de la demanda de energía o los kilómetros recorridos por factores de emisión, los que a su vez dependen de la Tecnología del vehículo y el tipo de combustible (AMVA-UPB, 2013).

Se realiza la estimación de emisiones para de emisiones generadas por el sector transporte mediante la aplicación de metodologías ampliamente usadas es la Modelación a partir de software comerciales o de libre acceso, entre los cuales se encuentran: El Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System) y el Programa para Calcular Emisiones del Transporte Vehicular COPERT (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport).

A partir de los resultados del modelo, aplicado al parque automotor del Valle de Aburrá, se pretende establecer el efecto del uso de la Tecnología GREEN PLUS en las emisiones de contaminantes al aire.

La metodología para esta modelación es la siguiente:

- Revisión e identificación de las variables de entrada y el funcionamiento del modelo seleccionado y su aplicación a nivel internacional en el cálculo de emisiones vehiculares.
- Consecución de la información requerida para correr el modelo.
- Validación de la información recopilada.
- Estimación de las emisiones de contaminantes al aire provenientes de vehículos automotores que operan con gasolina y diésel en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el escenario actual.
- Determinación de las emisiones de contaminantes al aire proveniente de vehículos automotores que operan con gasolina y diésel catalizados con Green Plus en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el escenario futuro.

Los escenarios modelados fueron los siguientes:

- **Escenario 1 (E1). Mejora en el rendimiento de los vehículos a gasolina y diésel.**

En este escenario se evalúa la adición generalizada del Tecnología GREEN PLUS a la gasolina y el diésel que se distribuyen en el Valle de Aburrá. El modelo LEAP permite evaluar el impacto en la demanda de energía, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), pues los factores de emisión de estos contaminantes están definidos en términos de masa del contaminante por energía consumida (kg/TJ).

*Consideraciones:*

El rendimiento de los vehículos a gasolina mejora en 3,55% y el de los vehículos diésel en 6,79%; dichos rendimientos se aplican a todos los vehículos a gasolina y diésel del Valle

de Aburrá, es decir, los resultados obtenidos en el estudio para la muestra de 50 vehículos se extrapolan a toda la flota de estudio.

➤ **Escenario 2 (E2). Distribución del Tecnología en el combustible diésel.**

En este escenario se evalúa la reducción de emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado (PST), por la adición generalizada de la Tecnología Green Plus al combustible diésel que se distribuye en el Valle de Aburrá.

*Consideraciones:*

Las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> de todos los vehículos diésel se reducen en 66,67% y en 25,70%, respectivamente. Así, los resultados obtenidos para la muestra de 25 vehículos diésel se extrapolan a toda la flota diésel del Valle de Aburrá.

➤ **Escenario 3 (E3). Distribución de la Tecnología en el combustible gasolina.**

En este escenario se evalúa la reducción de emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) por la adición generalizada del Tecnología GREEN PLUS a la gasolina que se distribuye en el Valle de Aburrá.

*Consideraciones:*

Las emisiones de CO e HC (VOC en el modelo LEAP) de todos los vehículos a gasolina se reducen en 58,42% y en 24,88%, respectivamente. De este modo, los resultados obtenidos por el PCJIC para la muestra de 25 vehículos a gasolina se extrapolan a toda la flota a gasolina del Valle de Aburrá.

➤ **Escenario 4 (C). Escenario combinado.**

En este escenario se combinan los escenarios 1, 2 y 3 con el fin de estimar el efecto conjunto de los escenarios independientes planteados anteriormente.

*Consideraciones:*

Se deben tener en cuenta todas las consideraciones mencionadas en los escenarios 1, 2 y 3.

### **3.10.2 Programa computacional para calcular emisiones del sector transporte (COPERT, por sus siglas en inglés)**

El modelo COPERT permite la compilación de inventarios nacionales anuales; sin embargo, se ha demostrado que también se puede utilizar, con un suficiente grado de certeza, para la compilación de inventarios de emisiones urbanos hasta con una

resolución espacial de 1x1 km<sup>2</sup> y una resolución temporal de 1 hora (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009).

El modelo COPERT tiene la ventaja de que en su código deja conocer las funciones que relacionan el tipo de vehículo y la velocidad promedio con el factor de emisión, adicionalmente, los factores de emisión registrados en su documentación metodológica, están expresados como ecuaciones que relacionan la tasa de emisión de un vehículo con su velocidad media de circulación (Carcelén Nava, 2014). El COPERT parte de un enfoque de tipología “Top-Down”, el mismo que ofrece un volumen general de consumos o emisiones para todo el conjunto de la actividad del transporte o para alguno de sus modos, dados mediante regresiones, en las que las variables se alimentan de estadísticas ya elaboradas. Con base en la premisa anterior, el software estima el total de emisiones mediante la combinación de información técnica específica (ej. Factores de emisión) (Ceballos Marcillo, 2016).

COPERT estima emisiones generadas por vehículos a gasolina (con y sin plomo), diésel y GLP para seis categorías de vehículos Para hacer una estimación más precisa, existen subcategorías vehiculares, con base en criterios como: tipo de combustible, peso del vehículo, tamaño del motor, tecnología del motor (Tecnologías EURO), etc. La Tabla 3.14 muestra las subcategorías.

Tabla 3.14 . Elementos considerados en la definición de subcategorías en COPERT.

Tipo de combustible	Peso vehículo (ton)	Tamaño motor (l)	Tecnología del motor
Gasolina	< 3.5	< 1.4	PRE ECE*
	>3.5	1.4 - 2.0	ECE 15/00-01
Diesel	>7.5	> 2.0	ECE 15/02
	7.5-16	-	
Gas licuado de petróleo	16-32	-	EURO III
	>32	-	EURO IV
	-	-	EURO V

Fuente: Adaptado de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009).

### 3.10.2.1 Variables requeridas por el modelo.

Basados en el programa que modela las emisiones atmosféricas, COPERT requiere Fuente especificada no válida.:

- Periodo de estudio:** Como dato inicial, el modelo requiere el rango de años que se va a estudiar.
- Información ambiental:** Temperatura promedio diaria mínima y máxima para cada mes [°C], este valor es usado para la estimación de emisiones evaporativas y emisiones en frío. Humedad relativa promedio diaria [0-100%], que es utilizada por el modelo para estimar la carga del motor generada por el aire acondicionado sobre la atmosfera, la cual está relacionada con el consumo del combustible.

- c. Especificaciones del combustible:** El modelo permite evaluar los siguientes combustibles primarios: petróleo, diésel, gas licuado de petróleo (LPG), gas natural vehicular (GNV), biodiesel, bioetanol, hidrógeno ( $H_2$ ), electricidad. Las especificaciones requeridas para cada uno de los combustibles son: contenido de energía [MJ/kg], relación hidrógeno-carbono, relación oxígeno-carbono, densidad [ $kg/m^3$ ]. Además de las especificaciones, se debe ingresar para cada combustible el contenido de las siguientes especies: azufre (S), paladio (Pd), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), selenio (Se), zinc (Zn), mercurio (Mg). Acepta valores decimales y las unidades de todas las especies están dadas en [ppm wt].
- d. Especificaciones de lubricantes:** Las especificaciones del lubricante están dadas por la relación hidrógeno-carbono, relación oxígeno-carbono, de igual forma el tipo de lubricante presenta contenido de especies así: azufre (S), paladio (Pd), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), selenio (Se), zinc (Zn), mercurio (Mg) y arsénico (As). Acepta valores decimales y las unidades de todas las especies están dadas en [ppm wt].
- e. Consumo estadístico de combustible:** Se refiere el total de ventas para cada combustible especificado, dado en [TJ].
- f. Configuración de datos existentes:** Procesamiento de información relacionada con la caracterización de la flota vehicular de la zona de estudio, según:
- *Tipo de Vehículo:* vehículos de pasajeros, vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados, buses, motocicletas 4T, motocicletas 2T.
  - *Tipo de combustible:* Para cada categoría de vehículo se define el combustible usado.
  - *Peso del vehículo:* de igual forma se realiza una segmentación para cada categoría de vehículo: mini, pequeño, mediano, grande-SUV-Ejecutivo.
  - *Tecnología EURO* estándar aplicada a:
    - ✓ vehículos de pasajeros y vehículos comerciales ligeros con capacidad  $\leq 1400$  cc;  $1400 \text{ cc} < \text{cc} < 2000 \text{ cc}$ ;  $> 2000 \text{ cc}$ . Aplica tecnología convencional ( $\leq 1996$ ), Euro I (1997-2010), Euro II ( $\geq 2011$ ) para los combustibles gasolina, diésel o GNV.
    - ✓ Para los vehículos pesados  $\leq 4000 \text{ cc}$ ;  $4000 \text{ cc} < \text{cc} < 6500 \text{ cc}$ ;  $4000 \text{ cc} < \text{cc} < 6500 \text{ cc}$ ;  $6500 \text{ cc} < \text{cc} < 7800 \text{ cc}$ ;  $7800 \text{ cc} < \text{cc} < 8500 \text{ cc}$ ;  $8500 \text{ cc} < \text{cc} < 13000 \text{ cc}$ ;  $< 13000 \text{ cc}$ . Aplica tecnología convencional ( $\leq 2009$ ), Euro II (2009-2011), para los combustibles gasolina, diésel o GNV.
    - ✓ Los buses con capacidad  $\leq 5500 \text{ cc}$ ;  $\geq 5500 \text{ cc}$  Aplica tecnología convencional ( $< 2009$ ), Euro II (2009-2010), Euro IV ( $\geq 2011$ ) para los combustibles gasolina, diésel o GNV.
    - ✓ Las motocicletas 4T con capacidad  $\leq 250 \text{ cc}$ ;  $250 \text{ cc} < \text{cc} < 750 \text{ cc}$ ;  $> 750 \text{ cc}$ . Aplica la tecnología convencional ( $\leq 1996$ ), Euro I (1997-2010) y Euro II ( $\geq 2011$ ) para uso de gasolina como combustible.

- ✓ Motocicletas 2T con capacidad < 50 cc aplica tecnología convencional ( $\leq 1996$ ), Euro I (1997-2010) para uso de gasolina como combustible.

- g. Existencia y datos de actividad** Número de existencias [n], actividad media [km], actividad acumulada en la vía [km], balance de combustible ~ actividad media [km].
- h. Actividades de circulación:** Una vez especificadas las anteriores variables se debe ingresar la pendiente en [%] para: la zona urbana sin pico, zona urbana con pico, rural, autopista. En esta misma sección debe ir la velocidad promedio en [km/h] para: zona urbana sin pico, zona urbana con pico, rural, autopista, también la velocidad mínima y máxima.

### 3.10.2.2 Contaminantes estimados por Modelo COPERT.

Los contaminantes para los cuales el modelo de emisiones atmosféricas COPERT estima las concentraciones, se especifican en la Tabla 3.15

Tabla 3.15. Contaminantes considerados en Modelo COPERT.

Contaminante	Descripción
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CO	Monóxido de Carbono
NOX	Óxidos de Nitrógeno
PM	Partículas (diferentes diámetros)
CO2	Bióxido de carbono
CH4	Metano
N2O	Óxido nitroso
NH3	Amoniaco
SO2	Bióxido de azufre
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Poli-cíclicos
COP	Contaminantes-Orgánicos Persistentes
Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Se y Zn	Metales pesados: plomo, cadmio, cobre, níquel, selenio y zinc, respectivamente.

Fuente: Adaptado de Heaps (2008)

### 3.10.2.3 Tipos de emisiones.

COPERT establece los factores de emisión en función de los tipos de emisiones que ocurren dentro del proceso de transformación energético de los vehículos.

- a. Emisiones en caliente: Se presentan cuando el motor y los sistemas de control de emisiones han alcanzado la temperatura normal de funcionamiento.
- b. Emisiones en frío: Son las emisiones que se presentan en el período de calentamiento del sistema. Este tipo de emisiones se ve influenciada por varios factores externos: la velocidad media del vehículo, la temperatura ambiental y la distancia recorrida.
- c. Emisiones por evaporación: Dentro de esta categoría de emisiones se distinguen cuatro tipos de pérdidas por evaporación:
  - Pérdidas por llenado del depósito de combustible.
  - Pérdidas diurnas por cambio de temperatura.
  - Pérdidas por absorción de calor.
  - Pérdidas por procesos con el vehículo en funcionamiento.

En principio las emisiones totales de los gases de escape del transporte por carretera son calculados mediante la suma de las emisiones en caliente (con el motor a su temperatura normal de funcionamiento) y las emisiones durante el funcionamiento del motor térmico en estado transitorio como lo indica la siguiente ecuación (Ver Ecuación 3.2).

$$\text{Ecuación 3.2} \quad E_{Total} = E_{Hot} + E_{Cold} + E_{Evap}$$

Donde;

$E_{Total}$ : Emisiones totales (g) de cualquier contaminante, para la resolución temporal de aplicación.

$E_{Hot}$ : Emisiones (g) durante la operación térmica estable del motor.

$E_{Cold}$ : Emisiones (g) durante la operación térmica transiente del motor.

$E_{Evap}$ : Emisiones (g) producto de la evaporación del combustible.

Dada la dependencia que existe con respecto a las condiciones de operación del motor, incluyendo aceleraciones, paradas y número de vehículos, en este sentido se debe hacer una distinción entre conducción urbana, rural o autopista, según la ecuación (Ver Ecuación 3.3)

$$\text{Ecuación 3.3} \quad E_{Total} = E_{Urban} + E_{Rural} + E_{Highway}$$

### 3.10.2.4 Niveles de cálculo

El modelo COPERT utiliza diferentes niveles de cálculo basadas en la información disponible por el usuario para el estudio que se desarrollará. Estas metodologías, tomadas de (Ntziachristos & Samaras (2013), se describen a continuación.

#### a. Nivel 1.

Usa el combustible como el indicador de actividad en combinación con factores de emisión promedios específicos del combustible. Los factores de emisión de esta metodología 1, fueron calculados basados en el método 3, asumiendo una flota típica europea. Su utilización se recomienda únicamente en ausencia de datos como: inventario del parque automotor, tecnologías de control, kilometrajes recorridos por categoría etc. La ecuación general para estimar las emisiones es la Ecuación 3.4:

$$\text{Ecuación 3.4} \quad E_i = \sum_j (\sum_m (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m}))$$

Donde:

$E_i$  = Emisión del contaminante  $i$  [g].

$FC_{j,m}$  = Consumo de combustible de la categoría de vehículo  $j$  usando el combustible  $m$  [kg]

$EF_{i,j,m}$  = Factor de emisión específico de consumo de combustible del contaminante  $i$  para la categoría de vehículos  $j$  y combustible  $m$  [g/kg]

## b. Nivel 2

En comparación con la 1 involucra el número de vehículos objeto de estudio, el kilometraje promedio recorrido anualmente por categoría, las tecnologías vehiculares, y el combustible usado. Las expresiones generales para estimar las emisiones están consignadas en la Ecuación 3.5 y Ecuación 3.6.

$$\text{Ecuación 3.5} \quad E_{ij} = \sum_k (< M_{j,k} > \times EF_{i,j,k})$$

$$\text{Ecuación 3.6} \quad E_{ij} = \sum_k (N_{j,k} \times M_{j,k} \times EF_{i,j,k})$$

Donde:

$< M_{j,k} >$  = Distancia anual total recorrida por los vehículos de la categoría  $j$  y tecnología  $k$ .

$EF_{i,j,k}$  = Factor de emisión para cada tecnología  $k$ , en la categoría  $j$  para el contaminante  $i$ .

$M_{j,k}$  = Distancia anual recorrida promedio por cada vehículo en la categoría  $j$  e tecnología  $k$

$N_{j,k}$  = Número de vehículos en la flota nacional de la categoría  $j$  y tecnología  $k$ .

La metodología 2 calcula todos los tipos de emisiones: no exhaustivas, en frío y en caliente.

Los factores de emisión se encuentran en gramos por kilómetro para cada categoría vehicular, utilizando valores típicos de velocidades de conducción, temperatura ambiente, tipo de conducción y longitudes de viajes. Los factores de emisión que utiliza el

nivel de cálculo 2 del modelo COPERT son calculados a través de un análisis del nivel de cálculo 1, esto se logra multiplicando el consumo de combustible promedio anual por los factores de emisión propuestos para la el nivel 1. (Ntziachristos & Samaras, 2013).

### c. Nivel 3

Calcula las emisiones de escape utilizando una combinación de datos técnicos como los factores de emisión, y datos de actividad como kilometraje total recorrido. Debido a que las emisiones vehiculares dependen en gran medida de las condiciones de funcionamiento del motor, las expresiones generales para estimar las emisiones están espresadas en la Ecuación 3.7 y Ecuación 3.8:

$$\text{Ecuación 3.7} \quad E_{TOTAL} = E_{CALIENTES} + E_{FRIAS}$$

$$\text{Ecuación 3.8} \quad E_{TOTAL} = E_{URBANAS} + E_{RURALES} + E_{AUTOPISTA}$$

Donde:

$E_{TOTAL}$  = Emisiones totales (g) de cualquier contaminante para la resolución temporal y espacial de la aplicación

$E_{CALIENTES}$  = Emisiones (g) durante el funcionamiento estabilizado (caliente) del motor.

$E_{FRIAS}$  = Emisiones (g) durante el funcionamiento transitorio térmico del motor

$E_{URBANAS}$ ,  $E_{RURALES}$ , y  $E_{AUTOPISTA}$  son las emisiones totales (g) de cualquier contaminante para el ciclo de conducción respectivo.

Los factores de emisión varían según los datos de entrada (ciclo de conducción o condiciones climáticas), así mismo, para el cálculo se requiere información sobre el consumo de combustible y las especificaciones del mismo para mantener un balance de combustible entre los datos proporcionados por el usuario y los cálculos realizados por el modelo (Ntziachristos & Samaras (2013).

El cálculo de las emisiones calientes depende de factores como el kilometraje recorrido, la velocidad promedio de viaje de cada vehículo, además del modelo, y características del motor. Dado que estos datos no son de fácil acceso en algunos países, se propone una ecuación básica (Ecuación 3.9) para el cálculo de las emisiones caliente:

#### Ecuación 3.9

$$E_{CALIENTES} [g] = \text{Factor de emisión} \left[ \frac{g}{km} \right] * \text{Número de vehículos} [veh] * \text{Kilometraje recorrido por vehiculo} \left[ \frac{km}{veh} \right]$$

Las emisiones frías se calculan como una emisión adicional sobre las emisiones que se esperarían si los vehículos solo operaran con el motor caliente; a la fracción de kilómetros que se recorren con el motor frío, se le asigna un factor correspondiente a la relación entre las emisiones frías y las emisiones calientes (Ntziachristos & Samaras (2013). Este factor varía según el país ya que el tiempo necesario para calentar el motor depende de

variables como el ciclo de conducción, la longitud promedio de los viajes y las condiciones climáticas. Las emisiones frías se calculan con la Ecuación 3.10:

$$E_{FRIAS;i,j} = \beta_{i,k} * N_k * M_k * e_{CALIENTES;i,k} * (e^{FRIAS} / e^{CALIENTE}_{i,k} - 1)$$

Donde

$E_{FRIAS;i,j}$  = Emisiones por arranque frío del contaminante  $i$  (para el año de referencia), producidas por los vehículos de la tecnología  $k$ .

$B_{i,j}$  = fracción del kilometraje conducido con un motor frío o el catalizador operado por debajo de la temperatura de apagado para el contaminante  $i$  y la tecnología vehicular  $k$ ,

$N_k$  = Número de vehículos [veh] de la categoría  $k$  en circulación

$M_k$  = Kilometraje total recorrido por vehículo [km/veh] de la tecnología vehicular  $k$

$e^{FRIAS} / e^{CALIENTES}_{i,k}$  = Cociente de emisiones frías/calientes para el contaminante  $i$  y vehículos de la tecnología  $k$

### 3.10.3 INCERTIDUMBRE ASOCIADA CON EL MODELO DE EMISIÓN COPERT

La incertidumbre es definida por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPPC) para los inventarios de emisiones, como un término general que se refiere a la falta de certeza. En términos prácticos podría considerarse como la diferencia entre la cifra real y la estimada ajustada por su valor real. El término estadístico que cuantifica la incertidumbre es el coeficiente de variación, el cual se define como la razón entre la desviación estándar y su media (Castillo Díaz, 2009).

La incertidumbre se origina en la formulación del modelo y en los datos de entrada del mismo. Cuando los parámetros internos (factores de emisión) han sido basados en datos experimentales, es decir, para factor de emisión en caliente y consumo de combustible, las distribuciones log-normal son aplicables. Cuando existe ausencia de datos robustos para arranque en frío, se utiliza la desviación estándar sobre la media de las emisiones en caliente, por ende, se asumen funciones de probabilidad log-normal.

La incertidumbre dada por los datos de entrada se genera cuando no existen datos en el país o baja calidad de los mismos. Es el caso de una flota vehicular que no tiene clasificación por clases, de igual forma cuando no se cuenta con la asignación de la categoría del peso para vehículos pesados, asimismo, cuando es desconocida la distribución por edades de los vehículos, es utilizada la función Weibull, dentro de los límites de edad obtenidos (Kioutsioukis, Kouridis, Gkatzoflias, Dilara, & Ntziachristos, 2010).

Ahora bien, para obtener una baja incertidumbre en la estimación del inventario de emisiones, se le debe suministrar al modelo la cantidad de datos requeridos que reflejen

además las condiciones locales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., 2009)

### **3.10.4 Metodología para la estimación de reducciones de CO<sub>2</sub> a partir de los valores de mejora en los rendimientos (kilómetros por unidad de combustible).**

Como otra estrategia para el análisis del impacto del catalizador Green Plus (GP) en las emisiones directas CO<sub>2</sub> en los vehículos, diésel y gasolina, se realizó bajo las siguientes consideraciones:

- Se utilizan los valores de mejora en los rendimientos (kilómetros por unidad de combustible) obtenidos en el estudio realizado a la muestra de 25 vehículos diésel y 20 vehículos a gasolina, durante el piloto realizado desde octubre de 2016 hasta abril de 2017.
- Se hace el análisis con base en los consumos anuales de combustibles gasolina y diésel en el área metropolitana del Valle de Aburrá, estimado con base en datos publicados en años anteriores, proyectados a 2017. Los resultados obtenidos son proporcionales a dichos consumos y pueden ser corregidos linealmente en caso de contar con valores actuales de dichos consumos.
- Se utilizan los factores de emisión obtenidos en el estudio comparativo entre la línea base (LB), sin utilizar el GP y los obtenidos con el GP, para las emisiones específicas de CO<sub>2</sub>, en kg/kg de combustible, para el promedio de las muestras de los vehículos, bajo condiciones en las cuales el vehículo está estático a bajas revoluciones (ralentí) y a mayores revoluciones (cruce estático). Esto se hace para estimar el impacto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo las características del tráfico en una región como el Valle de Aburrá, en la cual se da una frecuencia alta de trabajo bajo condiciones de vehículos encendidos, detenidos, debido a semáforos, tráfico lento, congestiones y accidentes.
- Se ha considerado que las condiciones de motor encendido y marcha detenida corresponden a un 66,7 % en ralentí y un 33,3 % en cruce estático.
- Se ha considerado que la velocidad media de marcha normal, en condiciones de tráfico continuo, en el Valle de Aburrá es del 30 km/hr y que la velocidad de marcha efectiva es el resultado de considerar el porcentaje de tiempo en que se da dicha marcha normal continua, siendo el resto del tiempo sujeto a trabajo con el motor encendido y el vehículo detenido.

### **3.11 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ DEBIDO AL USO DEL CATALIZADOR CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE OPERAN CON GASOLINA Y DIÉSEL EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.**

Los modelos estadísticos generalmente son usados para el análisis de bases de datos que contemplan periodos de tiempo de mínimo 1 año (Concentración de contaminantes,

eventos de hospitalizaciones, cuidados médicos o muertes asociadas a la calidad del aire, meteorología, entre otros). Estos modelos son comúnmente aplicados para un estudio minucioso que procure información precisa en un determinado grupo de personas y su relación con un contaminante en particular.

Los modelos q aplicados para la estimación del impacto sobre la salud de la población del área metropolitana del Valle de Aburra debido al uso del Tecnología con Tecnología Green Plus en vehículos automotores que operan con gasolina y diésel, son los modelos AIRQ+ y BENMAP diseñados por las principales organizaciones en materia de salud y contaminación atmosférica en el mundo (organización mundial de la salud-OMS y EPA, respectivamente, específicamente para evaluar la relación de la contaminación atmosférica con la salud de la población expuesta y analizar la eficiencia de políticas públicas o sistemas que propendan el control en la emisión de sustancias contaminantes.

Estos softwares permiten plantear también escenarios de reducción de emisiones y mapear los resultados según los requerimientos del modelador, lo cual permite analizar la información de una manera selectiva. debido a que son ampliamente utilizados por la comunidad científica y considerando que presentan resultados adecuados en términos de consistencia, claridad y precisión, serán los modelos analizados y estudiados para evaluar el impacto en la salud que generaría el uso de la Tecnología Green Plus en vehículos que operan con gasolina y diésel en el Valle de Aburrá.

Eventualmente, si la evaluación detallada de los modelos AIRQ+ y BENMAP requiere el uso de un Riesgo Relativo determinado en algunos estudios científicos que utilicen un modelo estadístico, se involucrará también el análisis de tal modelo

De manera simplificada, el fundamento matemático que usa el modelo Benmap y la información requerida para su ejecución se expresa con la Ecuación 3.11:

Ecuación 3.11 *Efecto en la salud = Cambio en la calidad del aire \* Estimación del efecto en la salud \* Población expuesta \* Incidencia de la línea base de la salud.*

Donde:

- Cambio de calidad del aire: Corresponde a la diferencia entre las condiciones iniciales y finales de contaminación, luego de que ocurra un cambio en las concentraciones de contaminantes.
- Estimación del efecto en la salud: Estimado porcentual del cambio en el riesgo de un efecto adverso para la salud debido a un cambio de una unidad en la contaminación del aire.
- Población expuesta: Número de personas beneficiadas por la reducción de la contaminación del aire.
- Incidencia de la línea base de la salud: Es una estimación del número promedio de personas que mueren (o sufren algún efecto adverso para la salud) en una población determinada durante un período de tiempo determinado.

Para el análisis económico, el modelo usa la Ecuación 3.12 :

Ecuación 3.12  $Valor\ económico = Efecto\ en\ la\ salud * Valor\ del\ efecto\ en\ la\ salud$   
Donde:

- **Efecto en la salud:** Es obtenido de la expresión 1.
- **Valor del efecto en la salud:** Se calcula con diferentes funciones relacionadas con los costos asociados a las enfermedades causadas por la contaminación atmosférica. El modelo trae algunas funciones precargadas para estas enfermedades y para analizar casos de mortalidad (Valor estadístico de la Vida VSL).

El modelo se desarrolla en 3 fases con sus respectivas entradas y salidas. Estas fases corresponden a: **Línea Base de Calidad del Aire**; la cual se refiere al análisis de los cambios en la calidad del aire entre un estado inicial y uno final generados por el control de emisiones, **Configuración de Impactos en la Salud**; involucra cambios en el nivel de exposición de la población a la contaminación y los cambios propiamente de la salud (Morbilidad y Mortalidad) y **Evaluación de Resultados y Valoración Económica**.

**Para el modelo AIRQ+**, dentro de los aspectos importantes considerados incluso limitantes por la WHO se encuentran los siguientes:

- Considera que los datos de concentraciones de contaminantes suministrados, son un verdadero indicador de la exposición de la población.
- Los cálculos no toman en cuenta exposiciones a múltiples contaminantes ni múltiples escenarios.
- En cuando a los Riesgos Relativos, se debe considerar que el modelo usa estimativos para este parámetro que surgieron de una meta análisis de estudios científicos realizados en Europa, considerando información recolectada en este continente. Adicionalmente, para evaluar los Riesgos Relativos en ambientes interiores, el modelo considera situaciones con alta contaminación.

Para el uso del software se investigará la siguiente información para el área metropolitana del Valle de Aburrá:

- Datos de concentraciones de contaminantes en la atmósfera; concentraciones medias para efectos de exposición a largo plazo o concentración detallada (diaria), para efectos de exposición a corto plazo<sup>12</sup>.
- Información relacionada con la población en riesgo (Según el caso de estudio del usuario)
- Datos de salud y línea base de atenciones hospitalarias
- Valor límite de la concentración del contaminante que se va a considerar. (Valor de referencia)
- Riesgo Relativo (En caso de que sea diferente al que tiene precargado el software)
- Información de mortalidad, estratificada según la edad de la población.

## 4 RESULTADOS

Una vez seleccionada la muestra vehicular se procedió a levantar la información de línea base, que se resume en el Anexo 4-1 Además de la información técnica de cada vehículo, se recolectó información de marca, línea, kilometraje inicial al comenzar el estudio, tipo de servicio prestado, mantenimientos realizados en los últimos meses y recorridos diarios. Lo anterior se aplicó como control para conocer si los carros seleccionados en el piloto tenían una alta frecuencia de uso y si los mantenimientos habituales que se realizaban, de manera que en el estudio no interfirieran daños o afectaciones mayores a cada vehículo.

Para el registro de datos de campo se diseñó un formato donde se dejó la evidencia de los chequeos de elementos y equipos antes de iniciar cada prueba, la verificación de las condiciones ambientales del sitio y la verificación de la inspección del vehículo. En este formato se registraron para las velocidades crucero y ralentí y para las tres (3) mediciones definidas, los valores de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> cada uno en unidad de porcentaje (%) volumétrico.

Posterior a la medición de gases de combustión, se procede a medir la opacidad en los vehículos diésel, la cual queda registrada por el software del analizador de gases. Cada medición de opacidad tiene previamente tres (3) ciclos de medición que hace el equipo analizador antes de arrojar el resultado. Esos tres (3) datos de opacidad son promediados por el analizador y el resultado es presentado como la opacidad de los gases a las condiciones indicadas al momento de la prueba. Las mediciones de opacidad se realizaron por triplicado en cada prueba de los vehículos de diésel.

### 4.1 RESULTADOS LINEA BASE

Para la elaboración de la línea base en cuanto a rendimiento de los combustibles diésel y gasolina se aplicó la metodología descrita en el numeral 3.2. En el Anexo 4-2 se presenta en detalle la información construida

### 4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMBUSTIBLE GASOLINA Y DIÉSEL

Con el objetivo de evaluar la conformidad en términos de calidad de acuerdo con la reglamentación colombiana para los combustibles diésel, aun después de la aplicación del catalizador Green Plus, el Laboratorio de Crudos y Derivados de la Universidad Nacional sede Medellín realizó la toma de muestras y pruebas físico-químicas.

De acuerdo con los resultados del análisis del combustible descrito en la Tabla 4.1 puede verificarse que el tipo de combustible Biodiésel (B10) utilizado en el Valle de Aburrá, una vez catalizado con la Tecnología GREEN PLUS en una concentración de 20 ppm, no cambia en sus propiedades de manera significativa y se cumplen los parámetros exigidos en la normatividad de Colombia.

Se aprecia menor contenido de azufre (un 4,8 % menos), lo cual puede atribuirse a las variaciones típicas en el contenido de azufre que entra en la composición del combustible (el cual se especifica como por debajo de un valor límite). Los compuestos contenidos en los 20 ppm de catalizador añadido al combustible catalizado no tienen en principio capacidad de cambiar el contenido de azufre, siendo importante el no aporte de este elemento y por ende la no afectación en aumento de azufre en las emisiones. Otro cambio encontrado ocurre en el poder calorífico, se aprecia un aumento del 1,5 % en el calor de combustión de combustibles hidrocarburos líquidos. Al no ser considerable, la adición del Green Plus no tendría por qué mejorar el poder calorífico. Sin embargo, puede darse la posibilidad de que facilite la combustión en el ensayo mismo para hallar el poder calorífico, dando por ello mejores condiciones de combustión, lo cual es un factor favorable para un mayor rendimiento energético. El índice de Cetanos permanece constante teniendo en cuenta la incertidumbre del método, significando que en el uso del combustible tratado no se presentará retraso en el inicio de combustión con las consecuencias favorables en el Piloto en cuestión.

Tabla 4.1. Reporte de resultados análisis físico químico biodiesel (B10) sin catalizador GREEN PLUS y catalizado. Laboratorio de crudos y derivados. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Mayo, 2017

Análisis	Biodiesel (B10)			Biodiesel (B10) + GREEN PLUS		
	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
Agua en productos del petróleo y materiales bituminosos por destilación, %v	0	0	0	0	0	0
Contenido de azufre fluorescencia de rayos X, %m	0,0049	0,0037	0,0042	0,0046	0,0036	0,004
Corrosión lámina de cobre, 3h a 50°C	1A	1A	1A	1A	1A	1A
Contenido de biocombustibles, %v	10,88	10,69	10,798	10,85	10,59	10,738
Destilación de productos de petróleo a presión atmosférica						
Punto inicial de ebullición, °C	189	176	183,4	188	177	183,2
50% recobrado, °C	299	293,5	296,6	299	293,5	296,6
90% recobrado, °C	349,5	342,5	345,7	347	342	345,3
Punto Final de ebullición, °C	377	367	374,4	377	366,5	372,9
Recobrado, %v	99	98	98,5	99	98,5	98,6
Residuo, %v	1,2	0,5	0,92	1	0,8	0,92
Pérdida, %v	0,8	0,5	0,58	0,7	0,2	0,48
Gravedad API de petróleo crudo o productos del petróleo a 15,56°C (60°F)	32,9	32,5	32,62	32,1	31,7	31,9
Índice de cetano	48,73	48,48	48,63	47,95	46,78	47,502
Calor de combustión de combustibles hidrocarburos	19550	18120	18967	19518	18475	19253

Análisis	Biodiesel (B10)			Biodiesel (B10) + GREEN PLUS		
	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
líquidos por bomba calorimétrica, BTU/Lb						
Calor de combustión de combustibles hidrocarburos líquidos por bomba calorimétrica, BTU/Lb, kJ/kg	45473	42147	44117	45399	42973	44783
Punto de fluidez, °C	-12	-24	-18,6	-12	-24	-18,6
Punto de inflamación por probador de copa cerrada Pensky Martens, °C	72,5	65	69	66,5	63,5	65
Punto de nube, °C	4	-2	0,6	3	-2	0,6
Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos a 40°C, cSt (mm <sup>2</sup> /s)	4,869	4,263	4,4798	4,662	4,38	4,5004
Observaciones			Limpio, claro, brillante			Limpio, claro, brillante

Fuente: ( Laboratorio de Crudos y Derivados. Universidad Nacional, 2017)

Los resultados de caracterización de gasolina no muestran variaciones significativas en los parámetros físico-químicos de la gasolina mezclada con Green Plus (Ver Tabla 4.2)

Tabla 4.2. Reporte de resultado análisis físico químico gasolina. Laboratorio de crudos y derivados. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Mayo, 2017

Combustible	Gasolina corriente			Gasolina corriente + GREEN PLUS		
	Min	Max	Media	Min	Max	Media
Análisis						
Agua en productos del petróleo y materiales bituminosos por destilación	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Contenido de azufre fluorescencia rayos X	0,006	0,019	0,009	0,007	0,025	0,012
Contenido de gomas en combustible por chorro de evaporación	<0,5	2,00	1,25	0,50	1,50	1,00
Corrosión lámina de cobre, 3h a 50°C	1A			1A		
Contenido de etanol	5,71	6,15	5,92	5,83	6,33	6,06
Destilación de productos de petróleo a presión atmosférica						
Punto inicial de ebullición	36,5	44,5	42,1	38,5	45,5	42,3
10% recobrado	45,0	56,0	51,6	52,0	55,0	53,4
50% recobrado	89,5	96,5	93,5	90,5	97,5	95,1
70% recobrado	116,0	124,0	120,8	117,0	126,0	122,6
90% recobrado	153,5	166,5	162,9	160,5	175,5	167,7

Combustible	Gasolina corriente			Gasolina corriente + GREEN PLUS		
Punto Final de ebullición	201,0	205,0	202,6	201,0	207,0	203,4
Recobrado	98,0	99,0	98,5	98,0	99,0	98,6
Residuo	0,20	1,00	0,76	0,40	1,00	0,72
Pérdida	0,20	1,30	0,74	0,20	1,30	0,68
Gravedad API de petróleo crudo o productos del petróleo a 15,56°C (60°F)	59,8	60,7	60,2	59,8	60,7	60,4
Presión de vapor de productos del petróleo a 100°F (37,77°C)	59,5	62,5	61,0	60,0	63,3	61,4

Fuente: ( Laboratorio de Crudos y Derivados. Universidad Nacional, 2017)

#### 4.3 RESULTADOS PLAN PILOTO IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN EL COMBUSTIBLE DIESEL UTILIZADO EN EL VALLE DE ABURRÁ. 2017

Las características de la muestra de vehículos quedaron distribuidas como se muestra en la 1

Tabla 4.3 donde las celdas con comentarios corresponden a vehículos que inicialmente fueron seleccionados pero finalmente no se consideraron en la evaluación de resultados, por invalidez de información que afectaría los resultados. Esta distribución resultó diferente a la proyectada y presentada en la Tabla 3.4 en el numeral 3.2.1 por razones logísticas. El detalle de los vehículos que harán parte de la prueba piloto, en cuanto a tipo de motor, cilindraje y otras propiedades, se presenta en el Anexo 4-1

Tabla 4.3. Muestra vehículos diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Código	Modelo	Uso del vehículo	Observaciones
GPDCOT01	2014	Autobús	
GPDCOT02	2011	Autobús	
GPDCOT03	2010	Autobús	Vehículo retirado del proyecto por uso discontinuo del combustible catalizado.
GPDCOT04	2008	Autobús	
GPDCOT05	2005	Autobús	
GPDTCC06	2012	Repartición de mercancía	
GPDTCC07	2012	Repartición de mercancía	
GPDTCC08	2012	Repartición de mercancía	
GPDTCC09	2012	Repartición de mercancía	
GPDTCC10	2012	Repartición de mercancía	

Código	Modelo	Uso del vehículo	Observaciones
GPDEDI11	2013	Transporte de bebidas	
GPDEDI12	2013	Transporte de bebidas	
GPDEDI13	2012	Transporte de bebidas	
GPDEDI14	1999	Transporte de bebidas	
GPDEDI15	2007	Transporte de bebidas	
GPDREN16	2014	Transporte de cemento	
GPDREN17	2014	Transporte de cemento	
GPDREN18	2014	Transporte de cemento	
GPDREN19	2014	Transporte de cemento	
GPDREN20	2009	Transporte de cemento	
GPDREN21	2010	Transporte de cemento	
GPDREN22	2011	Transporte de cemento	
GPDREN23	2011	Transporte de cemento	
GPDREN24	2011	Transporte de cemento	
GPDREN25	2008	Transporte de cemento	
GPDEDI26	2012	Transporte de bebidas	
Vehículos nuevos: 7		Vehículos seminuevos: 13	Vehículos viejos: 5

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1 Resultados de evaluación de rendimiento de combustible

La línea base de rendimiento de combustible se calculó dividiendo el kilometraje acumulado durante el periodo de evaluación sobre el consumo de combustible en el mismo periodo, como se muestra en la (Ecuación 4.1).

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{\text{km}}{\text{gal}} \right) = \frac{\text{Kilómetros recorridos, km}}{\sum \text{Combustible consumido, gal}} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

El rendimiento en el periodo de 1 a 30 días, 31 a 60 días y 61 a 90 días de consumo del combustible catalizado se calcula aplicando la misma metodología. Una vez conocidos los rendimientos de cada uno de los periodos de consumo, se realizó la comparación del respectivo resultado con el valor calculado para la línea base como se presenta en la Ecuación 4.2.

$$\text{Cambio de rendimiento, \%} = \frac{\text{Rd90} - \text{Rlb}}{\text{Rlb}} * 100 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

**Rd90:** Rendimiento calculado entre los días 61 a 90 de uso de combustible catalizado

**Rib:** Rendimiento calculado en la línea base, es decir, sin la aplicación del catalizador GREEN PLUS al diésel.

Valores positivos indican aumentos, valores negativos indican reducciones

El cálculo de rendimiento tanto en línea base como en los otros periodos de evaluación analizó aquellos casos en los cuales el vehículo debió realizar tanqueos externos a la estación de servicio en la cual se tenía disponible el catalizador, de manera que no resultara un rendimiento engañoso. Algunas características de la muestra vehicular se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Características principales de la muestra vehicular diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Tipo o uso	Autobuses (16%)	Furgones (20%)	Tractocamiones (24%)	Camiones doble troque (40%)
<b>Potencia, HP</b>	110 a 175	153	400 a 450	240 a 335
<b>Cilindraje, cm3</b>	2800 a 5193	5193	13000 a 15000	7600 a 10831

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4.5 muestra los resultados del estudio de consumos de combustible para todo el período de estudio, los cambios de rendimiento para los distintos períodos de estudio para los 25 vehículos estudiados.

Los resultados de cambio de rendimiento en vehículos diésel muestran globalmente una reducción a los 90 días de consumo de diésel catalizado con Green Plus del 6.79 % para toda la flota, y para el 72 % de la muestra que presento mejora, la reducción fue del 11.8%

Sin embargo, no todos los vehículos tuvieron aumento de rendimiento, como se refleja en la Figura 4.1 con los cambios respecto a la línea base, alcanzados en los diferentes momentos del estudio para cada unidad vehicular. Una revisión de las posibles correlaciones entre la mejora del rendimiento de combustible y la potencia nominal del motor, reflejó como tendencia que a mayor potencia, menor es el cambio de rendimiento respecto a la línea base, como se ve en la Figura 4.2, comportamiento que aislado de las diferencias de diseño entre los vehículos y las condiciones de operación (tiempos de recorrido, distancias, cargas, frecuencias de uso) se deben a una condición típica dado que los vehículos con mayor potencia, operan en función de lograr mayor fuerza o capacidad para el movimiento de cargas mayores.

Tabla 4.5. Resultados evaluación de rendimiento del combustible diésel. Prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Vehículo	Modelo	Potencia nominal	R. LB	R. D30	R. D60	R. D90	R. D1 a D90	Cambio R entre LB y D30	Cambio R entre LB y D60	Cambio R entre LB y D90	Cambio R entre LB y (D1 a D90)
		HP	km/gal	km/gal	km/gal	km/gal	km/gal	%	%	%	%
GPDCOT01	2.014	153	10,8	11,3	12,1	12,2	11,8	4,7	11,2	12,6	8,9
GPDCOT02	2.011	110	18,1	16,2	16,3	22,5	18,5	-10,1	-9,7	24,5	2,4
GPDCOT04	2.008	175	8,6	11,4	10,6	11,0	11,0	32,6	23,4	27,8	28,0
GPDCOT05	2.005	122	20,6	22,4	21,2	23,3	22,3	8,9	3,0	13,0	8,3
GPDTCC06	2.012	153	17,1	20,4	21,8	19,4	20,7	19,1	27,2	13,5	20,5
GPDTCC07	2.012	153	18,0	17,1	18,0	17,7	17,6	-5,0	-0,2	-1,8	-2,4
GPDTCC08	2.012	153	18,6	17,9	18,1	18,0	18,0	-4,1	-2,8	-3,2	-3,4
GPDTCC09	2.012	153	16,7	18,7	18,5	16,6	18,0	12,4	11,0	-0,4	8,0
GPDTCC10	2.012	153	12,5	12,5	12,7	12,6	12,6	0,0	1,6	0,9	0,7
GPDEDI11	2.013	400	5,3	5,2	5,3	5,5	5,3	-1,1	0,6	4,2	1,3
GPDEDI12	2.013	400	5,4	5,4	5,5	5,4	5,4	-0,3	2,2	0,1	0,7
GPDEDI13	2.012	400	7,3	7,3	7,2	7,2	7,2	0,0	-2,3	-2,2	-1,4
GPDEDI14	1.999	400	5,9	5,7	5,9	5,7	5,8	-4,7	-0,9	-3,9	-3,1
GPDEDI15	2.007	450	4,9	5,0	4,7	4,8	4,8	2,4	-4,0	-1,5	-1,6
GPDEDI26	2.012	450	5,4	5,5	5,4	5,4	5,4	1,5	1,1	0,5	1,1
GPDREN16	2.014	335	4,1	4,6	4,9	4,7	4,8	11,8	19,1	15,0	15,4
GPDREN17	2.014	335	4,5	5,1	5,4	5,4	5,3	11,9	20,0	20,2	16,9
GPDREN18	2.014	335	4,6	4,4	4,9	4,6	4,6	-3,0	7,9	-0,1	1,1
GPDREN19	2.014	330	4,6	5,4	5,9	5,1	5,5	16,3	27,3	10,6	18,5
GPDREN20	2.009	240	4,7	5,6	5,7	5,0	5,5	18,3	20,3	5,9	15,5
GPDREN21	2.010	300	5,3	5,4	5,4	6,4	5,7	0,5	1,9	19,4	7,6
GPDREN22	2.011	305	5,2	5,8	6,3	5,7	5,9	12,9	22,1	10,8	15,3

Vehículo	Modelo	Potencia nominal	R. LB	R. D30	R. D60	R. D90	R. D1 a D90	Cambio R entre LB y D30	Cambio R entre LB y D60	Cambio R entre LB y D90	Cambio R entre LB y (D1 a D90)
		HP	km/gal	km/gal	km/gal	km/gal	km/gal	%	%	%	%
GPDREN23	2.011	305	5,5	6,2	6,7	6,5	6,4	12,0	21,8	17,9	16,4
GPDREN24	2.011	305	6,1	6,2	5,6	7,0	6,4	1,0	-8,9	14,8	4,1
GPDREN25	2.008	305	5,7	5,4	6,2	5,7	5,8	-5,0	8,4	0,3	1,3
Cambio promedio de rendimiento para toda la muestra, %								<b>5,32</b>	<b>8,04</b>	<b>6,79</b>	<b>7,20</b>
Porcentaje de muestras que mejoraron rendimiento, %								<b>64,0</b>	<b>72,0</b>	<b>72,0</b>	<b>80,0</b>
Cambio promedio de los que tuvieron mejora, %								<b>10,39</b>	<b>12,77</b>	<b>11,77</b>	<b>9,60</b>

Fuente: Elaboración propia

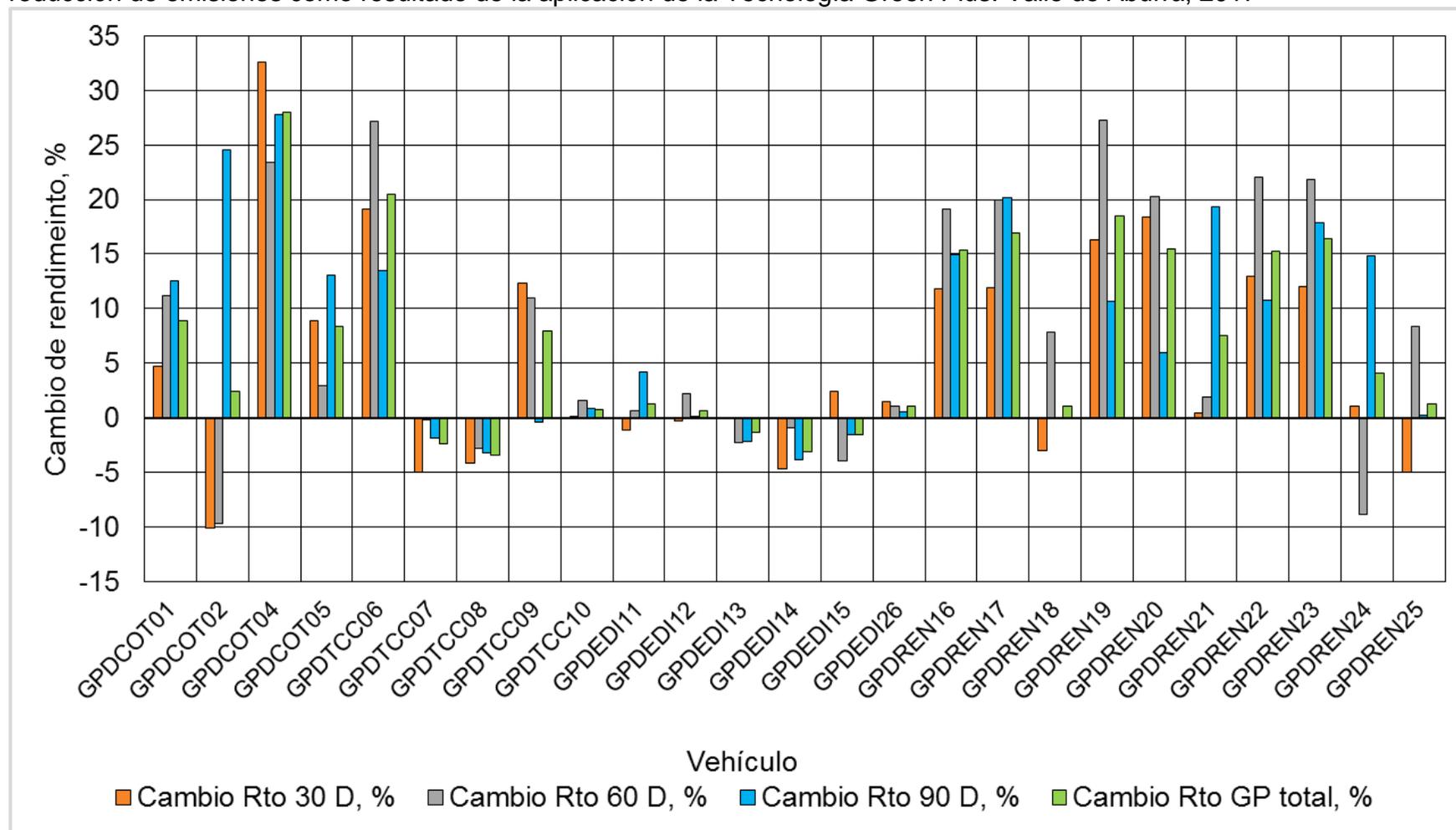
En la Tabla 4.5

R: Es rendimiento

D1 se refiere al día 1 de consumo de combustible catalizado, D30 se refiere al día 30 de consumo de combustible catalizado, y así sucesivamente para D60 y D90.

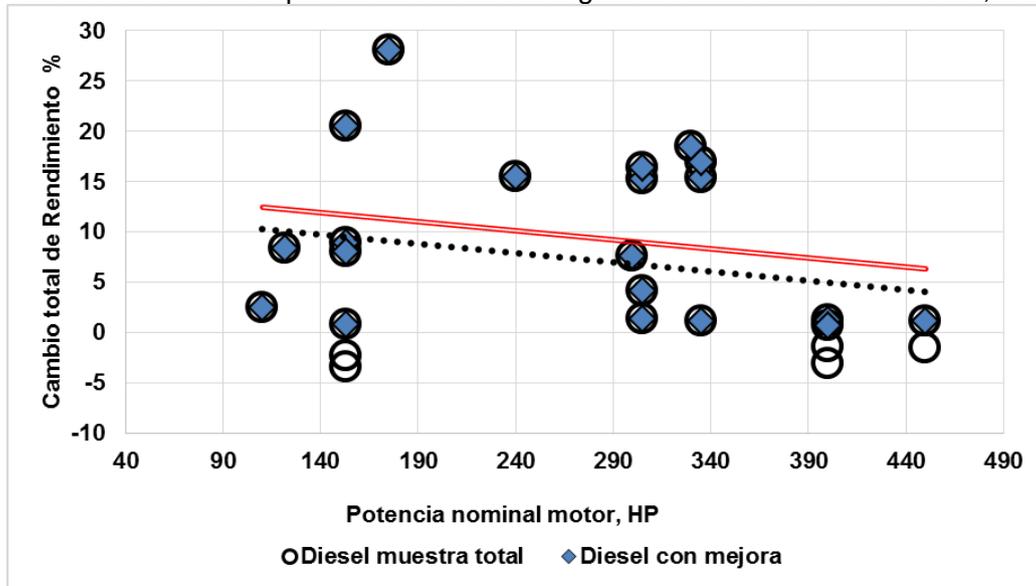
LB: es información de la línea base

Figura 4.1. Cambio de rendimiento muestra vehicular diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

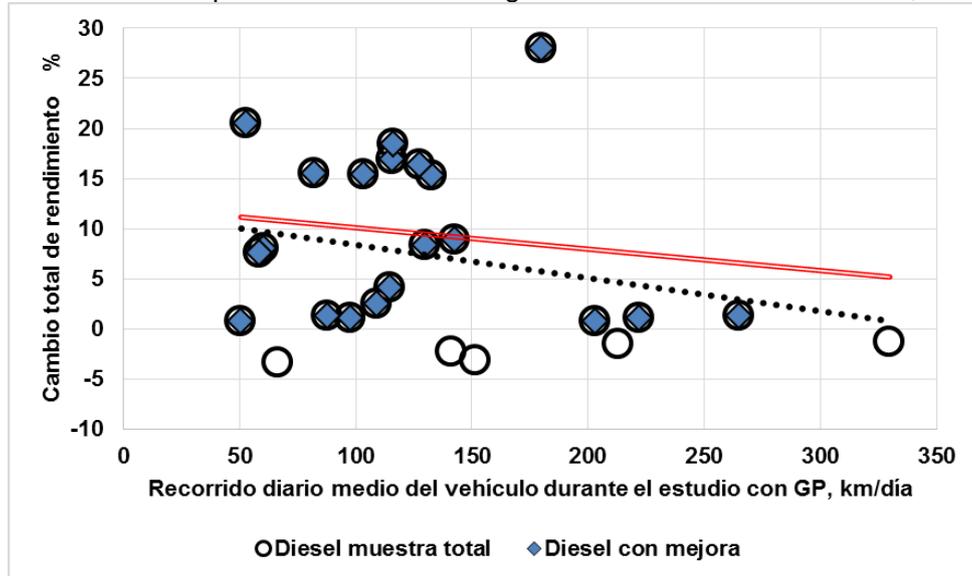
Figura 4.2. Relación del cambio de rendimiento de diésel respecto a la potencia del motor. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Comportamiento similar se observa en el cambio de rendimiento del consumo diésel durante el estudio con relación al recorrido promedio diario de cada vehículo (Ver Figura 4.3). Cabe anotar que, tanto en altos como en bajos recorridos, se encontraron cambios positivos y cambios negativos del rendimiento de combustible. En algunos vehículos las mejoras de rendimiento son sutiles y variables de un mes a otro, todo lo anterior debe considerar que las condiciones de operación de los vehículos que participaron en el estudio no fueron controladas más allá de la verificación de consumo de combustible con catalizador Green Plus. Por ser precisamente condiciones normales de conducción y operación, como las que se viven a diario en el Valle de Aburrá, puede considerarse que los resultados de aumento de rendimiento y reducción de contaminantes son representativos de la región.

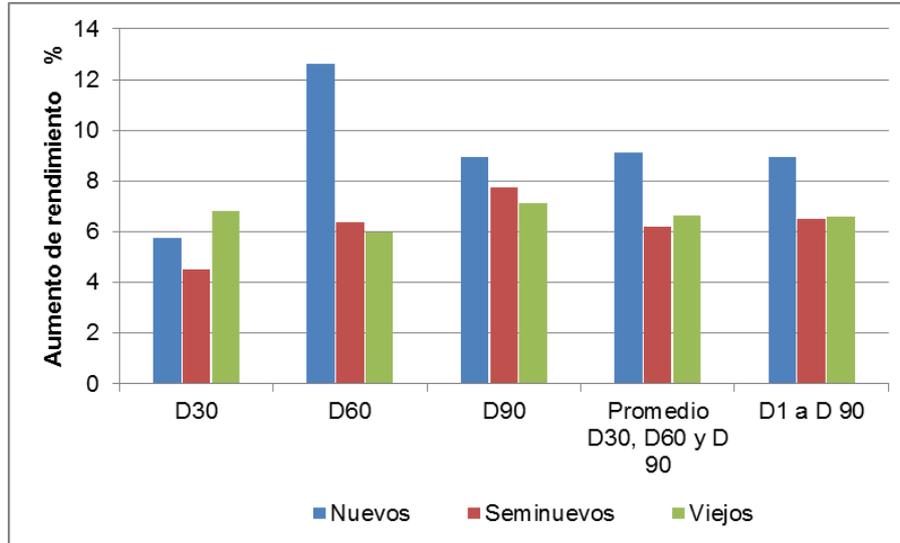
Figura 4.3. Relación del cambio de rendimiento de diésel respecto al recorrido diario. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

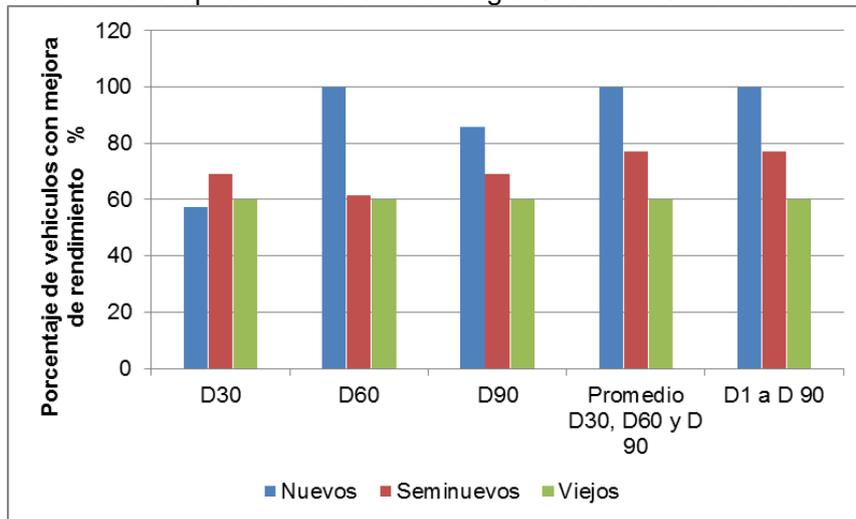
Otra manera de analizar el comportamiento de los datos del estudio, es observar la influencia si la hay, de la edad del vehículo participante en la prueba. El mayor rendimiento categorizado por edad vehicular diésel se obtuvo para la categoría nuevos durante todo el estudio y a su vez, fue la categoría con el mayor número de vehículos que presentó los mejores rendimientos, como se ve en las Figura 4.4 y Figura 4.5

Figura 4.4. Incremento de rendimiento (%) de los vehículos a diésel, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5. Vehículos diésel (%) con mayor rendimiento, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2 Resultados de gases y contaminantes en vehículos diésel con y sin la Tecnología molecular Green Plus

Los resultados de las mediciones de CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Opacidad para los 25 vehículos a diésel que conformaron el piloto para los modos de operación ralentí y crucero en los cuatro (4) momentos del estudio LB, 30, 60 Y 90 días, se registran en el Anexo 4-3. Para el análisis gravimétrico las masas de PST capturadas se encuentran en el Anexo 4-4.

La estimación del impacto El tratamiento estadístico de las variables en estudio, se estima a partir de la metodología diseñada, seleccionado a partir de la mejor distribución de los datos, los valores de medida de tendencia central para los momentos del estudio, base para la estimación de los cambios derivados del uso de la Tecnología molecular en los combustibles. En general se halló el método de máximos y mínimos, con excepción de CO<sub>2</sub> donde los valores de la media de los datos, generaron una mejor representación de los mismos. El tratamiento completo de selección de la metodología estadística para la estimación de los cambios en el experimento, se encuentra en el Anexo 4-5.

La Ecuación para evaluar el cambio en las variables, se muestra en la Ecuación 4.3, donde:

$$\text{Cambio de concentración, \%} = \frac{Clb - Cd\ 90}{Clb} * 100 \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Valores positivos indican reducciones, valores indican aumentos

En la Tabla 4.6 se observan los cambios expresados en %, para el rendimiento de combustible, concentración de CO, NO<sub>x</sub>, opacidad y masa capturada de PST, derivados de la aplicación de la Tecnología Green Plus en la muestra de 25 vehículos diésel en Valle de Aburrá, teniendo como referencia los momentos de referencia LB y 90 días de rodamiento del vehículo. A continuación, se hace un análisis por cada parámetro:

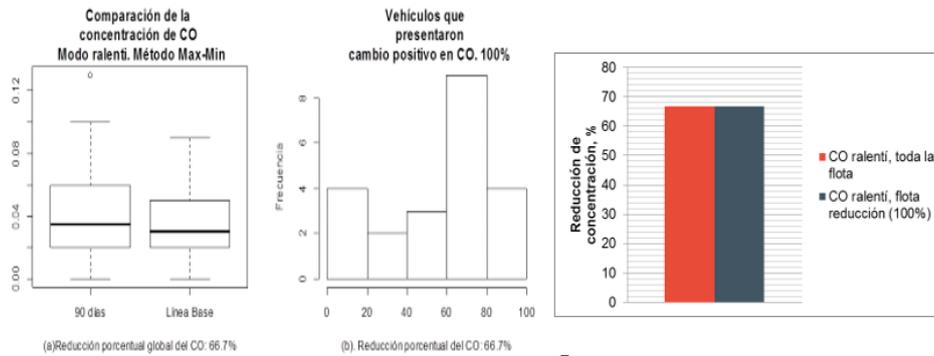
En cuanto a los cambios CO se hallaron reducciones importantes en términos de porcentaje de la concentración de en condiciones estáticas de crucero y ralentí (Ver Figura 4.6 y Figura 4.7) durante todo el tiempo de uso del combustible catalizado. En la condición Ralentí se evidencia para el 100% de la muestra en estudio, una reducción del 67 %. En la condición crucero, se halla un 23.7 % para la muestra global y para el 88 % de ella, una reducción del 33 %. Estos resultados se obtienen a partir de la aplicación del método estadístico presentado en el numeral 3.3 y se observan en la Figura 4.8

Tabla 4.6 Cambios derivados de la aplicación de la Tecnología Green Plus en combustible diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Parámetro medido	Momento de medición	Número muestra de vehículos	Número muestra de datos	Vehículos con mejora de emisiones (%)	Reducción de concentración en toda la muestra, respecto a LB (%)	Reducción de concentración muestra con mejora, respecto a LB (%)
CO, ralentí (%)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	100	66.7	66.7
CO, crucero (%)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	88	23.7	33.3
NO <sub>x</sub> , ralentí (ppm)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	64	8.1	15.3
NO <sub>x</sub> , crucero (ppm)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	64	4	25.7
CO <sub>2</sub> ralentí (%)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	100	-18.2	-18.2
CO <sub>2</sub> , crucero (%)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	88	-10.3	-13.3
Rendimiento (km/gal)	Línea base	25				
	90 días	25		72	8.0	11,8
Opacidad (%)	Línea base	25	75			
	90 días	24	72	60	0,74	7,9
PST capturado (µg)	Línea base	26	33			
	90 días	24	26	79	30.7	54.2

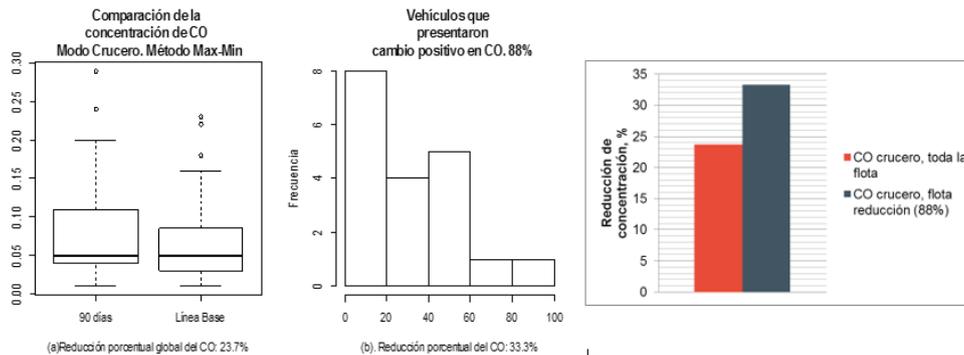
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6. Reducción de la concentración global del CO (%), diésel modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

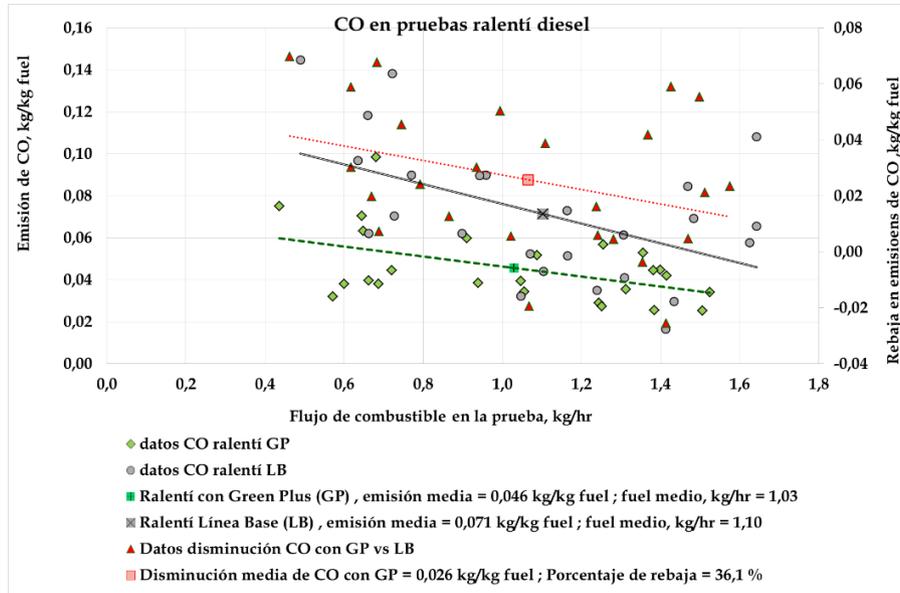
Figura 4.7. Reducción (%) de CO modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Otra forma de interpretar el impacto de la calidad de un combustible sobre las emisiones contaminantes es construir la relación de las masas emitidas por unidad quemada, expresado como factor de emisión (kg/kg diésel). Para este estudio se estimó esta relación para el caso del CO emitido en la velocidad ralentí, como se muestra en la Figura 4.8 evidenciándose una menor emisión con el uso de la Tecnología Green Plus. Así mismo en términos de reducción de la emisión (kg/kg diésel). Se valida la hipótesis planteada.

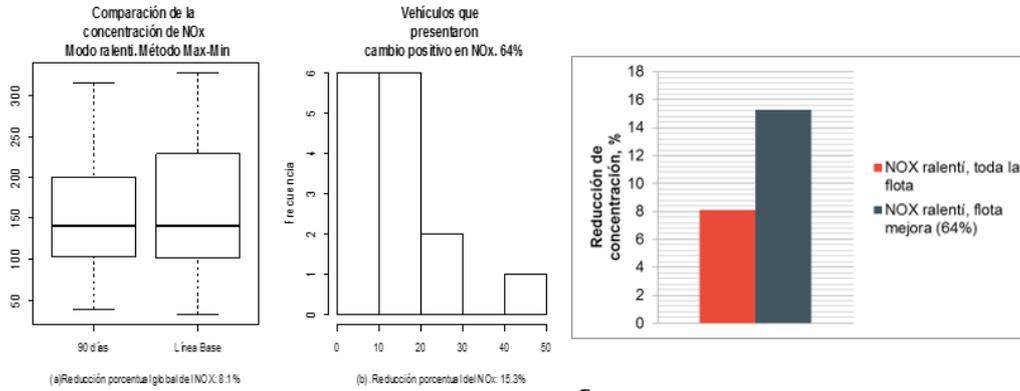
Figura 4.8. Emisiones específicas (kg/kg diésel) y reducciones de CO. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

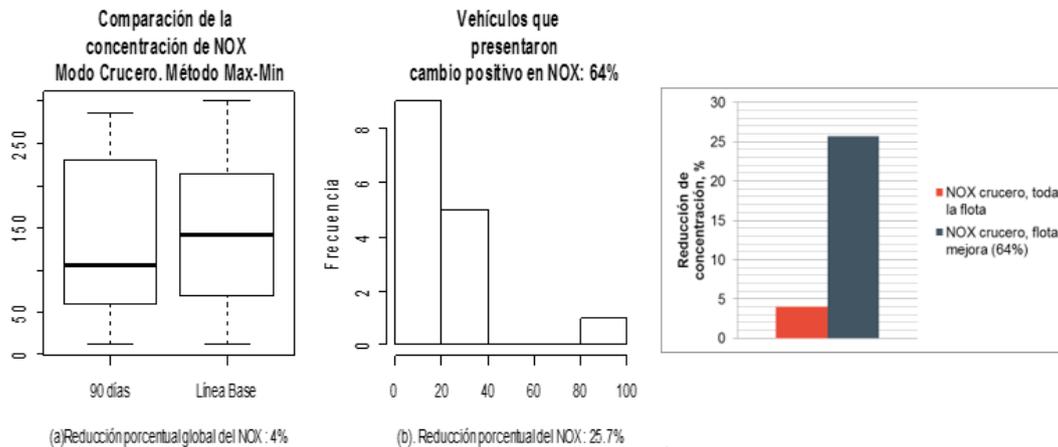
En el caso de los  $\text{NO}_x$ , se evaluó un menor grado de disminución teniendo en cuenta que la mayor cantidad da lugar a su formación de se da en condiciones de rodamiento. Este cambio es favorable dada la reducción de concentración a 90 días de 8.1 % en condición ralentí para toda la flota y para la muestra que presentó mejora, el 15.3 % para el 64 % de los vehículos, como se observa en la Figura 4.9. Para el modo crucero, a su vez, se obtuvo para toda la flota, una reducción del 4 % y para el 64 % de los vehículos, una reducción del 25.7% (Ver Figura 4.10)

Figura 4.9.Reducción (%) de la concentración de NO<sub>x</sub>, modo ralenti. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

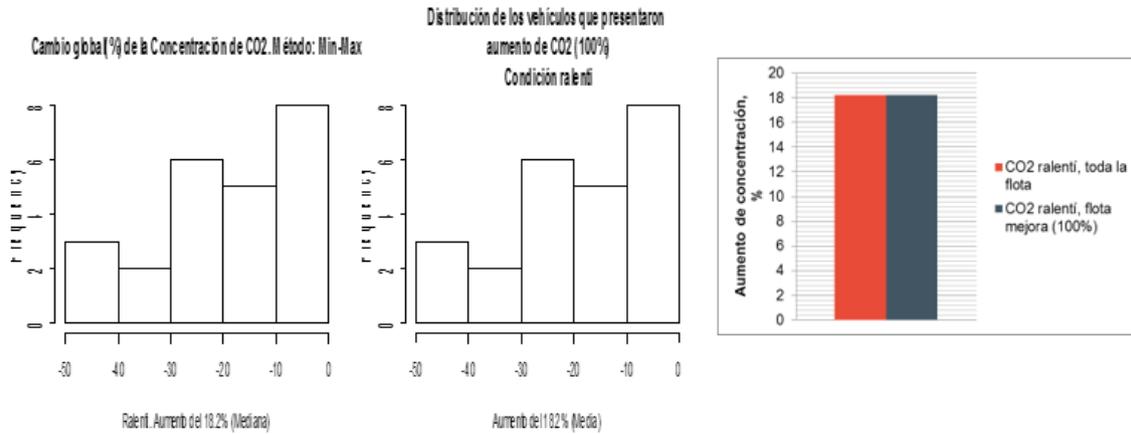
Figura 4.10. Reducción (%) de la concentración de NO<sub>x</sub>, modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

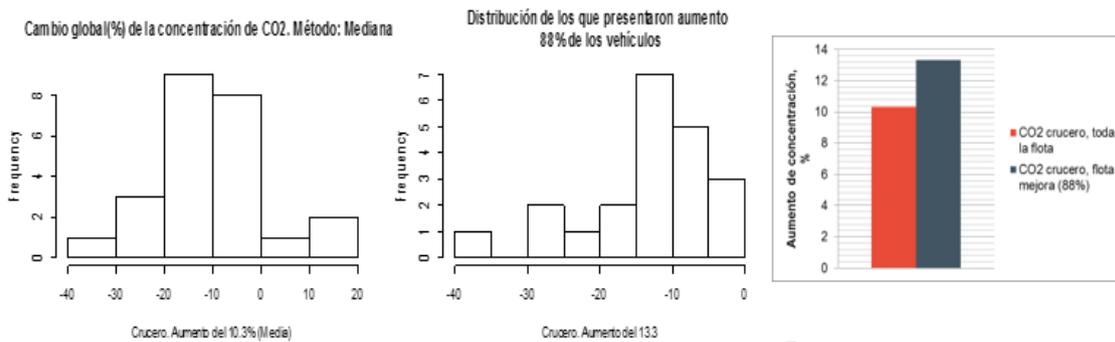
El CO<sub>2</sub>, tuvo aumento de concentración en velocidad ralenti, tal como se aprecia en la Figura 4.11, siendo este un comportamiento esperado al aumentar la eficiencia de combustión y en consecuencia, la reducción de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y partículas totales (PST). Para el 100 % de la muestra las concentraciones aumentaron en un 18.2%. En velocidad crucero, para la flota total se evaluó un aumento de 10.3 % y para la flota con mejora el 13.3 % en el 88% de los vehículos estudiados (Ver Figura 4.12).

Figura 4.11. Aumento (%) de la concentración de CO<sub>2</sub>, modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

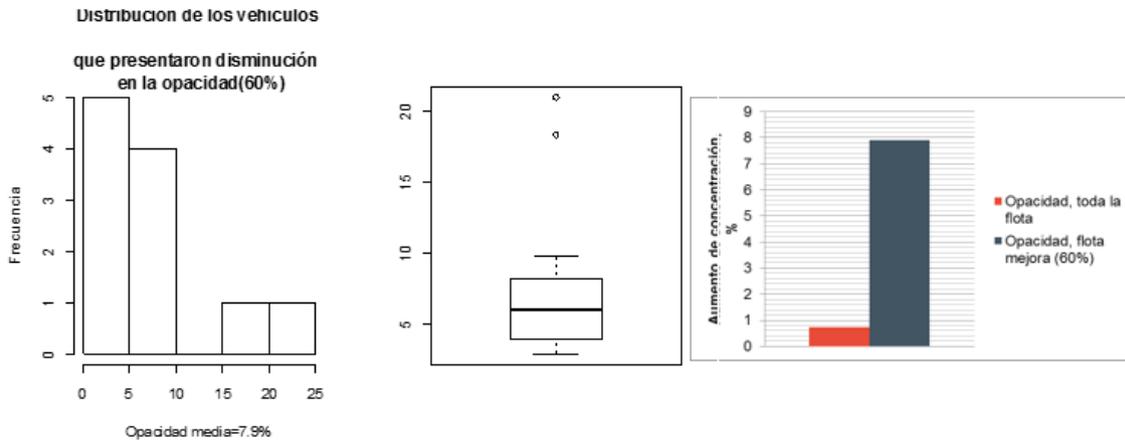
Figura 4.12. Aumento (%) de la concentración de CO<sub>2</sub>, modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la opacidad el comportamiento durante el piloto es variable, y de acuerdo con los resultados, Considerando como metodología el valor máximo en la línea base y el valor mínimo a los 90 días, se presenta disminución promedio global de 0.74%, mientras que para el 60% de los vehículos que presentaron reducción, una mejora del 7.9 % es obtenida como la media de los datos. Este hallazgo, aun así, es positivo para la región, dado que para más del 50 % de los vehículos diésel, se esperaba reducción de opacidad del 7.9 %, en caso de usar el diésel catalizado con la Tecnología Green Plus. (Ver Figura 4.13).

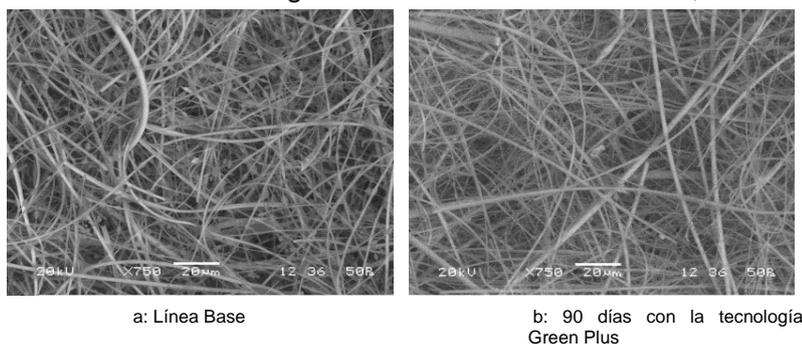
Figura 4.13. Reducción (%) de opacidad. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

La reducción de material particulado PST, es asociada como disminución en  $PM_{2.5}$ , de acuerdo con otros estudios similares (Lopez ; V Gabriel y Estrada ; F Abraham s.f.) en los cuales se ha demostrado que el tamaño de partícula emitida por los motores diésel en general, se encuentra en un rango menor a 0,1 micras (menor a 2.5 micras), aunque en el análisis microscópico por el Método SEM-EDS, se detectaron imágenes de partículas menores a 10 micras, influenciado por la aglomeración desde su formación en el motor de combustión.(ver Figura 4.16)

Figura 4.14 Imágenes Método SEM-EDS partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

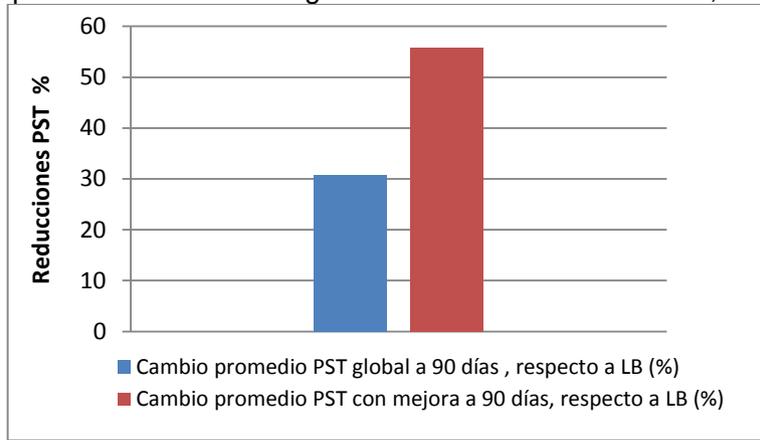


Fuente: Materials Characterization Center, INC. (MCC), 2017

Los resultados del análisis gravimétrico de acuerdo con la metodología aplicada, se registran en el Anexo 4-6. Los datos de gravimetría son trazables de acuerdo con el instructivo IPSH04-LI-Instructivo de Pesaje de Filtros

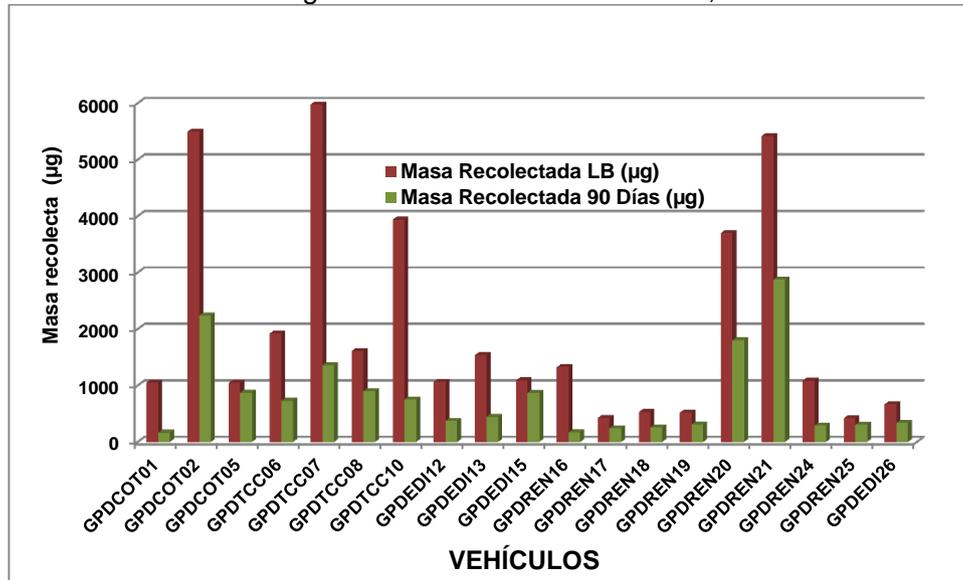
De acuerdo con los resultados reportados en la Tabla 4.6 del numeral 4.3.2, el experimento arrojó reducciones hasta del 30.7 % para toda la muestra estudiada con referencia a la línea base, sin Green Plus y 90 días con Green Plus. Igualmente, el análisis exploratorio permitió identificar un comportamiento diferencial para el 79 % de la flota que alcanzó un 54.2 % de disminución en masa como efecto de la mejora de combustión como se observa en la Figura 4.15 y Figura 4.16

Figura 4.15 Reducción (%) de PST a 90 días, respecto a LB. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

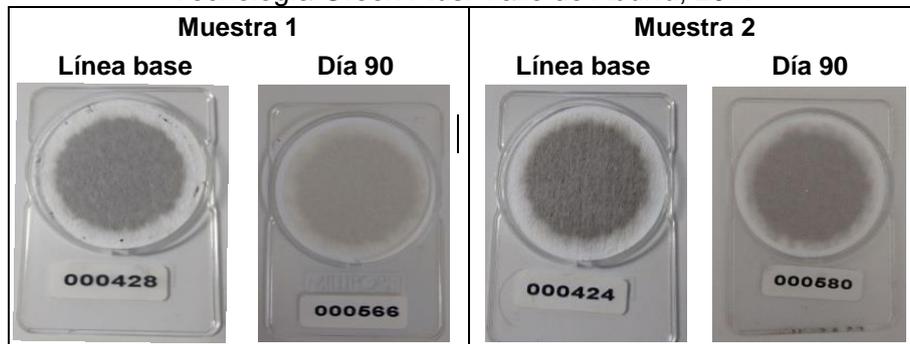
Figura 4.16. Comparación de masa recolectada ( $\mu\text{g}$ ). Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.17 se presenta el registro fotográfico de dos muestras de PST en diésel en filtros de cuarzo donde se hace la recolección. Se observa una diferencia en el color entre la muestra LB y 90 días, observándose reducción en la tonalidad oscura en la muestra 90 días, indicador cualitativo de menor masa de materia carbonácea BC en el filtro.

Figura 4.17. Imágenes comparativas partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

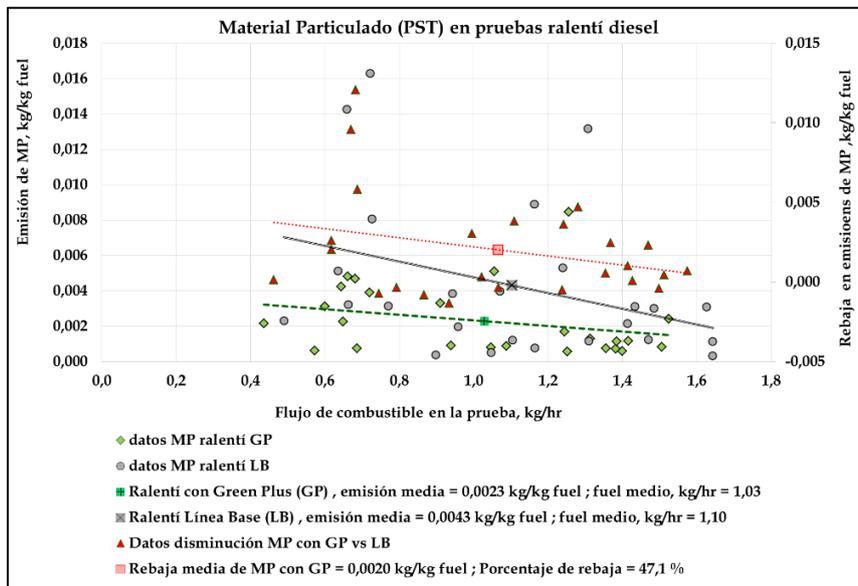
Las reducciones de material particulado emitidos por los vehículos diésel en su mayor rango,  $\text{PM}_{2.5}$ , son un importante resultado como aporte a las soluciones requeridas para

disminuir las condiciones actuales declaradas en calidad del aire en el Valle de Aburrá con referencia a este contaminante criterio, el cual supera con frecuencia, los niveles de calidad del aire establecidos en la Resolución 610 de 2010 de Colombia. Igualmente, teniendo como referente, el inventario de emisiones  $PM_{2.5}$  de 1508 t/año, según balance (AMVA 2015) para los vehículos diésel, son importantes los efectos benéficos en la salud esperados por la reducción en las emisiones diésel principalmente.

Es de resaltar que no se encuentra una correlación directa entre las reducciones de opacidad y  $PM_{2.5}$ , dada la influencia del tamaño y número de partículas, en la evaluación de la concentración  $PM_{2.5}$ .

La riqueza de los datos del experimento, permite la búsqueda de más información para la comprensión de las variables en estudio. Es así como se estimó una relación entre la emisión específica de PST (kg/kg diésel) y el flujo de combustible durante la prueba. Como puede observarse en la Figura 4.18, las emisiones con el uso del Green Plus disminuyeron con relación al diésel sin catalizador.

Figura 4.18. Emisiones específicas (kg/kg diésel) y reducciones de PST. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 RESULTADOS PLAN PILOTO IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GREEN PLUS EN LA GASOLINA UTILIZADO EN EL VALLE DE ABURRÁ. 2017

La muestra vehicular a gasolina evaluada en el estudio y relacionada en la Tabla 4.7 estuvo constituida principalmente por taxis que usaban con frecuencia la Estación de Servicios Colibrí, lugar donde se distribuyó el combustible mezclado con el Green Plus. Los taxis fueron 75 % de la marca Hyundai y 25 % de la marca Chevrolet, con potencia nominal entre 58 HP y 103 HP; cilindrajes entre 1000 cm<sup>3</sup> a 1600 cm<sup>3</sup>. Dos vehículos vinculados por parte de la empresa EPM fueron considerados para la evaluación de partículas y gases, mas no para la evaluación de rendimiento debido a la escasez de información de consumos de línea base, aportada al inicio del proyecto. Otros vehículos no fueron considerados en evaluación de rendimiento, gases o partículas, debido a la poca constancia en el uso del combustible catalizado, reduciendo finalmente la muestra de datos a 20 vehículos para gases y partículas y 18 para evaluación de rendimientos.

Tabla 4.7. Muestra de vehículos a gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Código	Modelo	Uso del vehículo	Cilindraje (cm <sup>3</sup> )	Potencia (HP)	Observaciones
GPGTAX01	2012	Taxi	1000	57.7	Nunca utilizó la gasolina con catalizador.
GPGTAX02	2011	Taxi	1000	58.2	
GPGTAX03	2008	Taxi	1000	57.7	
GPGTAX04	2008	Taxi	1000	57.7	
GPGTAX05	2007	Taxi	1000	59.7	
GPGCOO06	2016	Taxi	1248	83.8	
GPGCOO07	2017	Taxi	1600	103	
GPGCOO08	2009	Taxi	1000	57.7	
GPGCOO09	2009	Taxi	1000	57.7	Utilizó la gasolina catalizada solo por 19 días. No continuó en el proyecto.
GPGCOO10	2012	Taxi	1086	57.7	
GPGCOO11	2006	Taxi	1000	57.7	
GPGCEM12	2010	Particular	1590	94.7	Debido a la poca información de consumos en línea base, no se considera en cálculos de rendimiento. En evaluación de gases y partículas sí se consideran.
GPGCEM13	2006	Particular	1590	94.7	
GPGCOL14	2016	Taxi	1250	86.0	
GPGCOL15	2013	Taxi	1200	86.0	

Código	Modelo	Uso del vehículo	Cilindraje (cm <sup>3</sup> )	Potencia (HP)	Observaciones
GPGCOL16	2013	Taxi	1600	138	Tanqueó esporádicamente con el combustible catalizado. De esta manera no podrían considerarse concluyentes sus resultados.
GPGCOL17	2011	Taxi	1000	57.7	
GPGCOL18	2011	Taxi	1000	67.0	
GPGCOL19	2009	Taxi	1000		
GPGCOL20	2008	Taxi	1000		
GPGCOL21	2009	Taxi	1086	69	En un mes realizó al menos 10 tanqueos de gasolina no catalizada. No se consideran concluyentes sus resultados.
GPGCOL22	2008	Taxi	1000	57.7	En un mes realizó al menos 10 tanqueos de gasolina no catalizada. No se consideran concluyentes sus resultados.
GPGCOL23	2008	Taxi	1000	57.7	
GPGCOL24	2006	Taxi	1000	57.7	
GPGCOL25	2005	Taxi	1000	50.8	

Fuente: elaboración propia

Además de la información técnica de cada vehículo, se recolectó información de marca, línea, kilometraje inicial al comenzar el estudio, tipo de servicio prestado, mantenimientos realizados en los últimos meses y recorridos diarios. Lo anterior se aplicó como control para conocer si los carros seleccionados en el piloto tenían una alta frecuencia de uso y si los mantenimientos habituales que se realizaban, de manera que en el estudio no interfirieran daños o afectaciones mayores a cada vehículo.

#### 4.4.1 Resultados de evaluación de rendimiento de consumo de gasolina con y sin la Tecnología GREEN PLUS.

La evaluación de rendimiento y cambio durante el estudio se realizó aplicando la misma metodología que en vehículos diésel, con las ecuaciones 4.1 y 4.2. En cuanto a los resultados presentados en la Tabla 4.8, éstos reflejan un comportamiento variable en los diferentes tiempos, con incrementos de rendimiento que no fueron sostenidos en todos los casos, sin embargo el cambio respecto a la línea base (LB), promedio para los vehículos a gasolina, es positivo en los diferentes momentos del estudio (D30, D60 y D90). En promedio se obtiene un incremento del 3.5% a los 30 días de consumo de Green Plus. En este periodo el 70 % de los vehículos mejoraron alcanzando hasta un incremento promedio (entre los vehículos con mejora de rendimiento) del 7,2 %.

A los 90 días de consumo de la gasolina con la Tecnología Green Plus, el rendimiento aumento en un 3,6 % para toda la flota y en 5,1 %, para el 82 % en el caso de los que presentaron mejora.



Tabla 4.8. Resultados evaluación de rendimiento del combustible gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

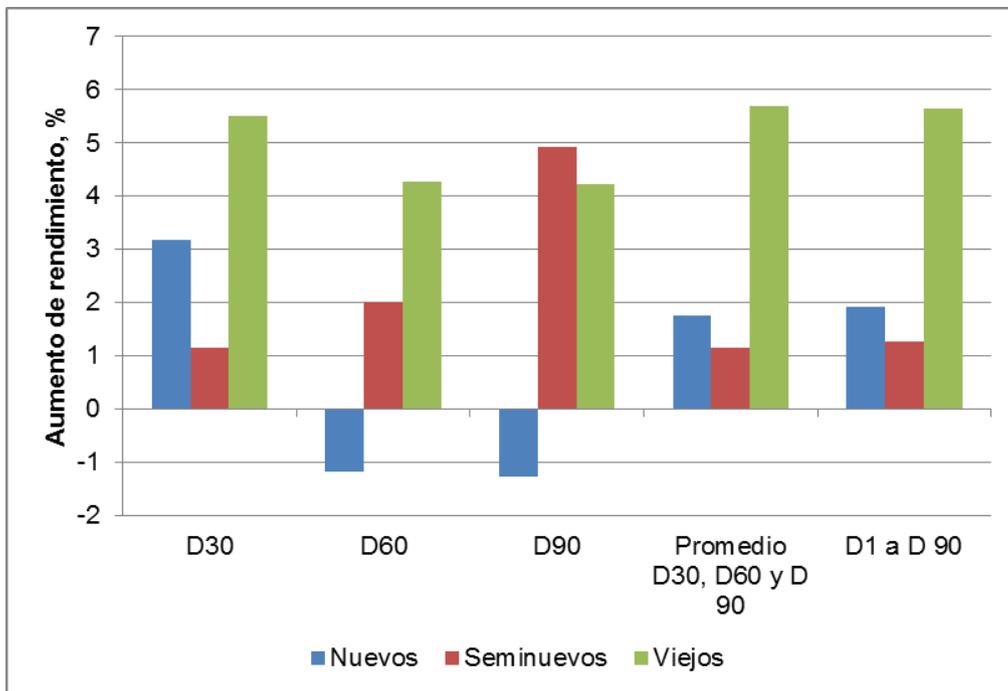
Vehículo	Modelo	Potencia nominal	R. LB	R. D30	R. D60	R. D90	R. D1 a D90	Cambio R entre LB y D30	Cambio R entre LB y D60	Cambio R entre LB y D90	Cambio R entre LB y (D1 a D90)
		HP	km/gal	km/gal	km/gal	km/gal	km/gal	%	%	%	%
GPGTAX02	2.011	58	43,4	43,7			43,7	0,7			0,7
GPGTAX03	2.008	58	50,0	49,3			49,3	-1,3			-1,3
GPGTAX04	2.008	58	39,3	41,7	41,7	40,8	41,4	6,0	6,0	3,8	5,3
GPGTAX05	2.007	60	42,6	53,7			53,7	26,0			26,0
GPGCOO06	2.016	84	40,0	43,2			43,2	8,0			8,0
GPGCOO07	2.017	103	38,7	38,1			38,1	-1,5			-1,5
GPGCOO08	2.009	58	38,3	42,1	41,9	41,1	41,8	10,1	9,6	7,4	9,2
GPGCOO10	2.012	58	45,0	51,4	50,6	49,6	50,6	14,3	12,5	10,2	12,5
GPGCOO11	2.006	58	40,2	41,2			41,2	2,5			2,5
GPGPEM12	2.010	95	38,1	28,6	30,9		30,1	-25,0	-18,8		-21,1
GPGPEM13	2.006	95	32,6	35,1			35,1	7,6			7,6
GPGCOL14	2.016	86	46,9	46,7	48,0	46,9	47,2	-0,4	2,4	0,1	0,7
GPGCOL15	2.013	86	38,8	41,4	37,0	37,8	39,0	6,6	-4,7	-2,6	0,5
GPGCOL17	2.011	58	45,8	44,8	43,7	44,0	44,2	-2,3	-4,6	-4,0	-3,6
GPGCOL18	2.011	67	37,3	40,9	43,6	41,0	41,7	9,7	17,1	10,0	11,9
GPGCOL19	2.009	58	39,6	39,8	38,2	40,0	39,4	0,4	-3,7	0,9	-0,7
GPGCOL20	2.008	58	38,7	38,8			38,8	0,2			0,2
GPGCOL23	2.008	58	42,8	42,9	42,9	43,4	43,1	0,3	0,2	1,3	0,7
GPGCOL24	2.006	58	37,2	40,4	40,7	40,2	40,4	8,5	9,3	7,9	8,6
GPGCOL25	2.005	51	36,9	36,8	37,5	38,3	37,4	-0,4	1,6	3,9	1,3

Vehículo	Modelo	Potencia nominal	R. LB	R. D30	R. D60	R. D90	R. D1 a D90	Cambio R entre LB y D30	Cambio R entre LB y D60	Cambio R entre LB y D90	Cambio R entre LB y (D1 a D90)
Cambio promedio de rendimiento para toda la muestra, %								<b>3,51</b>	<b>2,23</b>	<b>3,55</b>	<b>3,37</b>
Porcentaje de muestras que mejoraron rendimiento, %								<b>70,0</b>	<b>66,7</b>	<b>81,8</b>	<b>75,0</b>
Cambio promedio de los que tuvieron mejora, %								<b>7,21</b>	<b>7,33</b>	<b>5,07</b>	<b>6,37</b>

Fuente: Elaboración propia

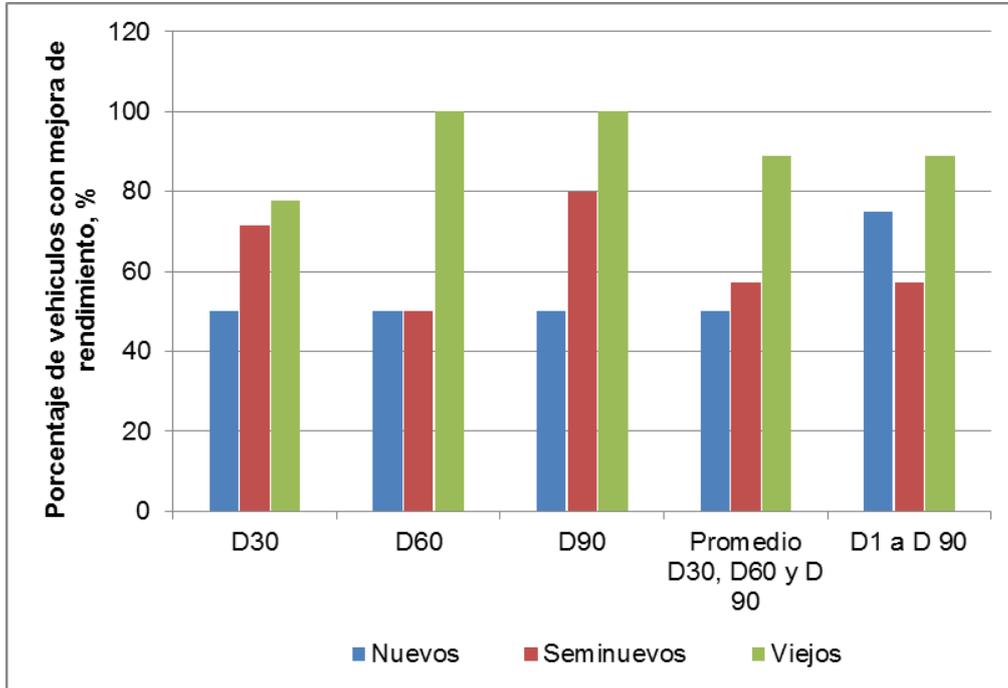
Al analizar este cambio de rendimiento por clasificación de edad vehicular, se encontró que los vehículos viejos (modelos 2005 a 2008) tuvieron mejor respuesta frente al uso de la Tecnología, dado al incremento de rendimiento de gasolina sostenido durante todo el estudio como se ve en la Figura 4.19. Es de resaltar como, además, la mayoría de los vehículos mejoró este parámetro, lo que se observa en la Figura 4.20. Los vehículos nuevos (modelos 2013 a 2016), tuvieron un comportamiento variable mejorando en promedio a los 30 días, pero revirtiendo la tendencia durante el resto del estudio. Por otro lado, los seminuevos (modelos 2009 a 2012) tuvieron mejora de rendimiento sostenido en el tiempo, con menor intensidad que la lograda por los vehículos viejos.

Figura 4.19. Incremento de rendimiento (%) de los vehículos a gasolina, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

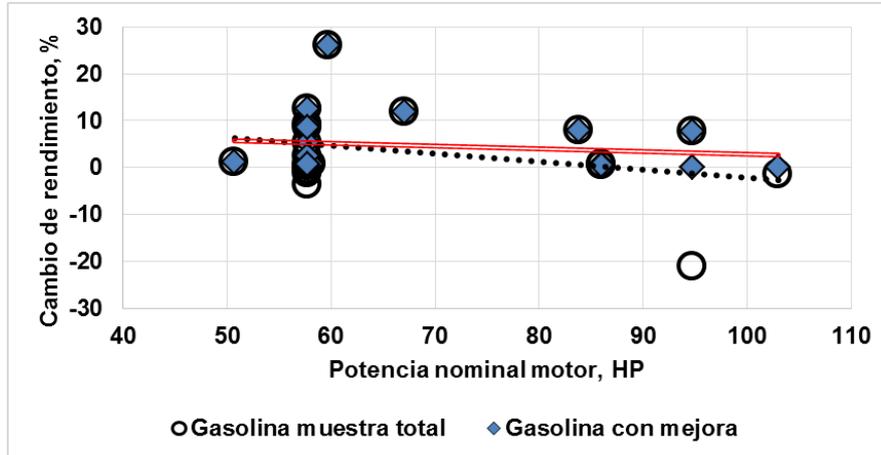
Figura 4.20. Vehículos gasolina (%) con mayor rendimiento, categorizado por edad vehicular. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: elaboración propia

La mayoría de los vehículos a gasolina fueron similares en uso (servicio público de Taxi), cilindraje (1000 cm<sup>3</sup>) y potencia. La tendencia de cambio de rendimiento en este caso, refleja que hay poca influencia entre el tipo de resultado (aumento o reducción de rendimiento de gasolina) y la potencia nominal (Ver Figura 4.21).

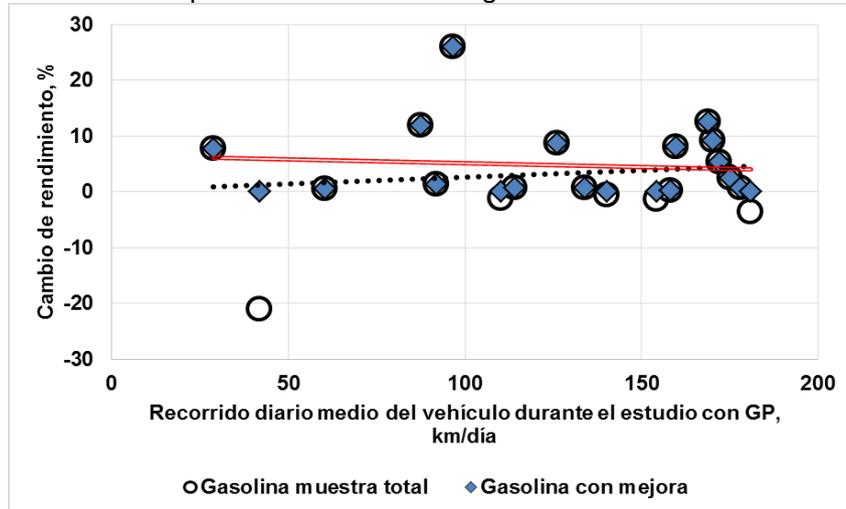
Figura 4.21. Relación del cambio de rendimiento de gasolina respecto a la potencia del motor. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Una revisión de este aumento de rendimiento de gasolina (en la mayoría de los vehículos) frente al recorrido promedio diario de cada uno no reflejó una relación directa como se ve en la Figura 4.22.

Figura 4.22. Relación del cambio de rendimiento de gasolina respecto al recorrido diario. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 Resultados de gases y contaminantes en vehículos a gasolina con y sin la Tecnología molecular Green Plus

En la Tabla 4.9 se presentan para los vehículos a gasolina los gases contaminantes medidos en condiciones de ralentí y crucero, así como para el rendimiento y material particulado total recolectado, los valores máximo y mínimo de cada parámetro para conocer el rango de los valores medidos, seguido se presenta el promedio correspondiente a la muestra de vehículos analizados y el porcentaje de la muestra que obtuvo una mejora (reducción en el caso de CO, HC, PST, y aumento en el caso de rendimiento y CO<sub>2</sub>) durante el estudio.

El análisis de reducción de productos de la combustión (material particulado, gases contaminantes y opacidad) se estima a partir de la comparación de las mediciones realizadas en la línea base y a los 90 días de uso del combustible catalizado a través de la Ecuación 4.3.

La hipótesis inicial para los vehículos a gasolina planteaba reducir el 50% de gases contaminantes y aumentar el 7 % el rendimiento de la gasolina en los automotores con consumo de gasolina catalizada durante 30 días. Por ello se seleccionaron los 25 vehículos a gasolina, muestra que posteriormente se redujo a 20 unidades por razones de inconsistencia en el uso de combustible catalizado. Luego se planteó realizar seguimiento hasta 90 días de consumo de gasolina con Green Plus, razón por la cual hay reporte de evaluación de gases a 60 y 90 días con una muestra de 11 vehículos. Nuevamente el método de análisis estadístico aplicado a la evaluación de resultados de vehículos a gasolina es el de máximos y mínimos, seleccionado con un nivel de confianza del 95%.

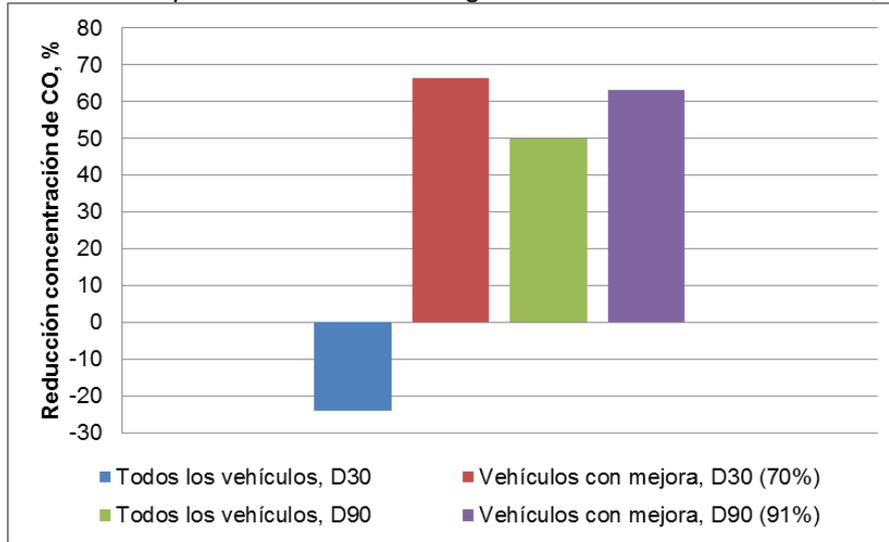
De esta manera se encontró que el CO tanto en condiciones vehiculares de ralentí y crucero resultaron tener reducción de concentración a los 90 días de consumo de combustible catalizado Solo en el caso puntual del CO en condición vehicular de ralentí para los 30 días de consumo de la Tecnología tuvo un aumento promedio del 24% para los 20 vehículos. Para los 90 días de rodamiento en modo ralentí, el 95% de los vehículos analizados presentaron una reducción de 57.8%, es decir, la mayoría de los vehículos reducen su concentración de CO en los gases de escape incluso desde el primer mes de consumo de la Tecnología Green Plus. El resultado de mejora se confirma con las mediciones a los 90 días de consumo de Green Plus con una reducción para toda la flota de 58.4 % y 26 % en velocidades ralentí y crucero respectivamente.

Tabla 4.9 Cambios derivados de la aplicación de la Tecnología Green Plus en combustible gasolina. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

Parámetro medido	Momento de medición	Número muestra de vehículos	Número muestra de datos	Vehículos con mejora de emisiones (%)	Reducción de concentración en toda la muestra, respecto a LB (%)	Reducción de concentración muestra con mejora, respecto a LB (%)
CO, ralentí (%)	Línea base	20	60			
	90 días	10	30	95	58.4	57.8
CO, crucero (%)	Línea base	20	60			
	90 días	10	30	72	26	36.6
HC, ralentí (ppm)	Línea base	20	60			
	90 días	10	30	90	24.9	42.8
HC, crucero (ppm)	Línea base	20	60			
	90 días	10	30	85	-4.4	71.4
CO <sub>2</sub> ralentí (%)	Línea base	20	60			
	90 días	10	30	44	1.5	-0.3
CO <sub>2</sub> , crucero (%)	Línea base	20	60			
	90 días	10	30	60,0	-0,98	-2,22
Rendimiento (km/gal)	Línea base	18				
	90 días	11		81,8	3,55	5,07
Material particulado total –PST (µg)	Línea base	20	28			
	90 días	11	13	36	NA	46

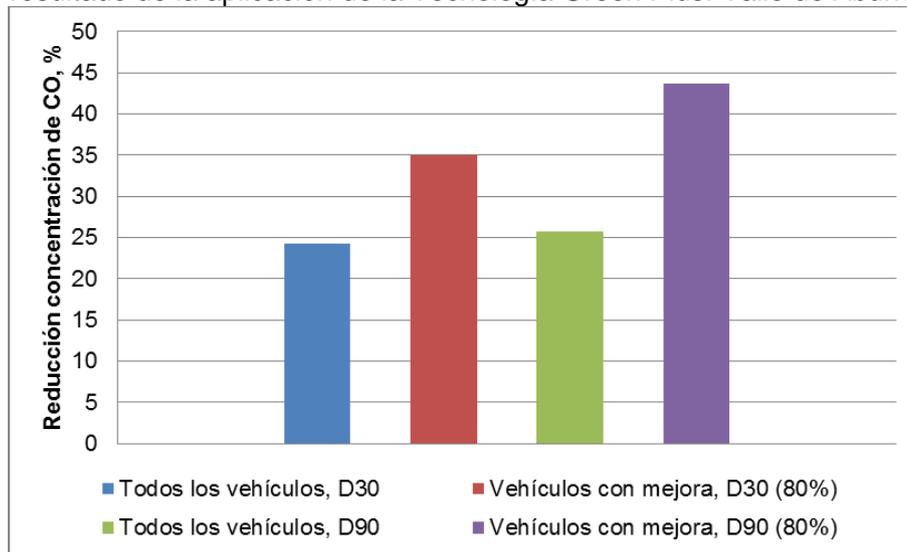
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Reducción de la concentración global del CO (%), gasolina modo ralentí. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24. Reducción de la concentración global del CO (%), gasolina modo cruceo. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

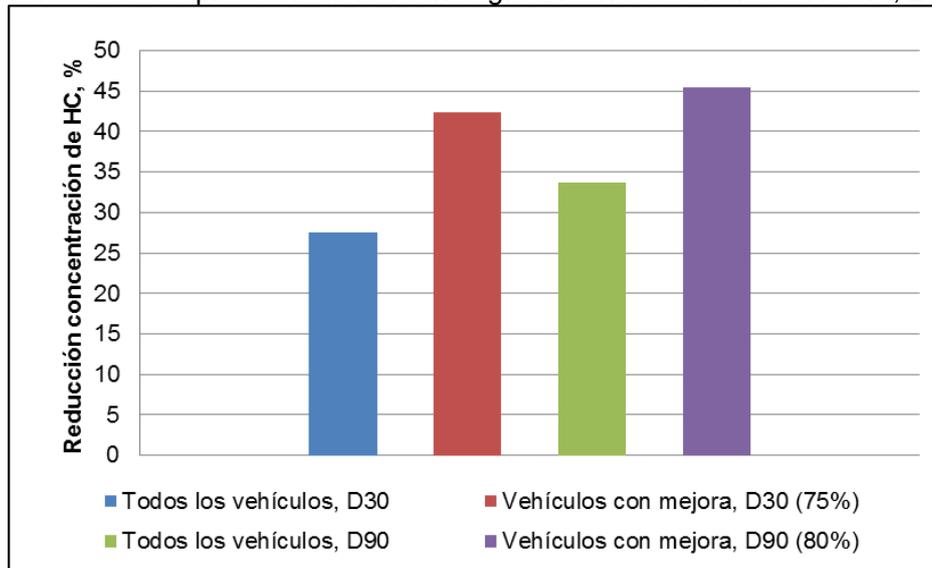


Fuente: elaboración propia

Los resultados de evaluación de reducción en la concentración de hidrocarburos (HC) son positivos desde el primer mes de consumo tanto en las condiciones ralenti como crucero, lo que se confirma al graficar los cambios de concentración respecto a línea base, obtenidos a los 90 días de consumo de gasolina catalizada (Ver Figura 4.25 y Figura 4.26). Las reducciones globales en modo ralenti, van desde el 24,9% de la concentración de contaminantes para toda la flota, encontrando resultados positivos en al menos el 75% de los vehículos analizados tanto al día 30 como en los que continuaron hasta completar 90 días de consumo de la Tecnología Green Plus. Para los 90 días de rodaje, el 90 % de los vehículos presentaron una mejora del 42.8 % en cuanto a la concentración emitida de este contaminante.

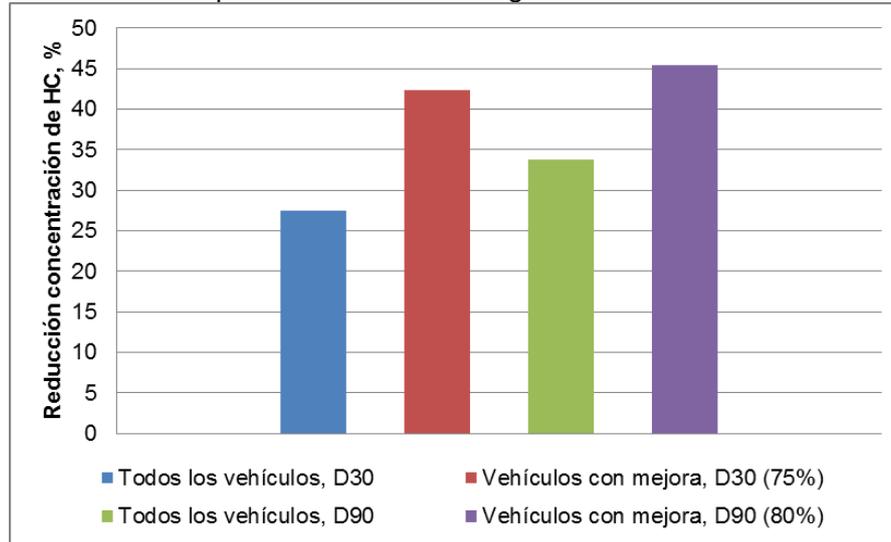
En la condición crucero, se obtiene un 4.4 % de aumento para la concentración de HC, sin embargo, para el 85 % de la muestra que presentó mejora, se obtiene una reducción 71.4

Figura 4.25. Reducción de la concentración global del HC (%), gasolina modo ralenti. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26. Reducción de la concentración global del HC (%), gasolina modo crucero. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 CARACTERIZACIÓN DE PST EMITIDO EN CONDICIONES LB Y 30, 60 Y 90 DÍAS DE RODAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS A DIESEL Y GASOLINA. PILOTO VALLE DE ABURRÁ

Los resultados detallados del análisis químico de las muestras objeto de estudio según la EL Método SEM-EDS, de acuerdo con los datos reportados por el Laboratorio MCC de la Universidad de Puerto Rico con el acompañamiento de la dirección del proyecto, se presentan en el Anexo 4-3.

Para la interpretación de la composición de las partículas, se hizo necesario realizar una normalización de la composición eliminando el Si y el O, dada la interferencia de la mayor presencia de estos en la matriz del filtro, que inhibe la apreciación de los cambios posibles derivados de la Tecnología.

Sobre la base de esta composición normalizada se realizaron los cálculos de los cambios expresados en porcentaje en peso derivados del uso de la Tecnología en prueba, a partir de la ecuación 4.4

$$\text{Reducción Elemento, \%} = \frac{Rdlb - R90}{Rlb} * 100 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde:

**Rd90:** Porcentaje peso del elemento a 90 de uso de combustible catalizado

**Rlb:** Porcentaje peso del elemento en la línea base, es decir, sin la aplicación del catalizador Green Plus al diésel.

Un valor positivo significa reducción del elemento en la muestra a 90 días.

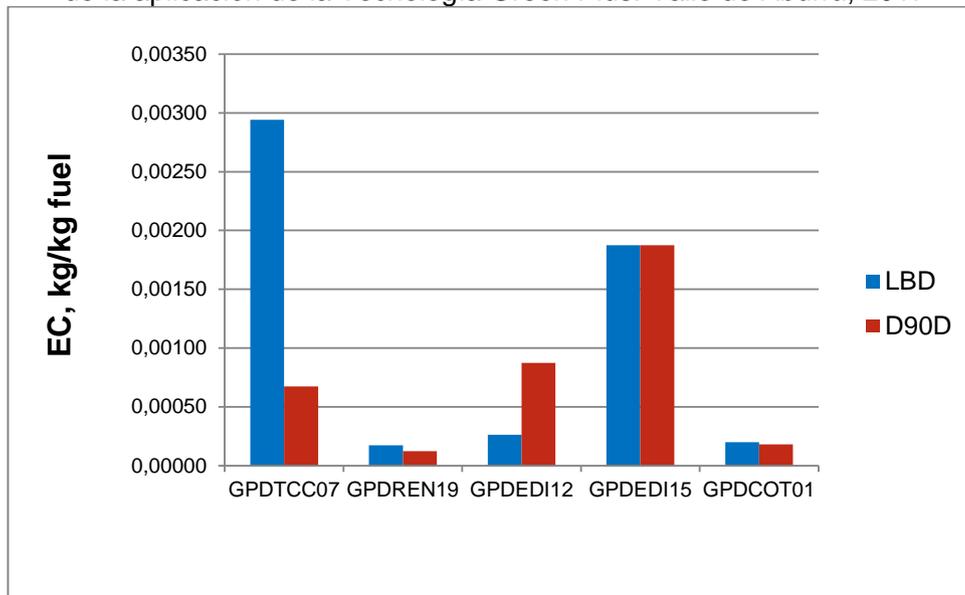
#### 4.5.1 Caracterización química de las partículas emitidas de diésel catalizado con la Tecnología Green Plus

La composición normalizada para las partículas diésel PST asociadas como  $PM_{2.5}$  según criterios de estudios previos, se muestran en la Tabla 4.10

El análisis de la caracterización de las partículas emitidas en la combustión de diésel con y sin la Tecnología Green Plus, permite observar la reducción del contenido de carbono en la partícula procedente de la combustión del diésel catalizado. La reducción de carbono promedio fue del 6%, con valores entre 0.4% y 14% en las muestras estudiadas para los momentos LB y 90 días (Ver Figura 4.28). Dado que en este contenido de carbono se encuentra la fracción fragmental EC (Elemental Carbon) o BC (Black carbón), este análisis se realizó según Método Termal Protocol en el Laboratorio Desert Research Institute DRI de Reno, USA. Los resultados se reportan en kg/kg de combustible, tomando como base las condiciones de consumo del vehículo, según la muestra analizada (Ver Figura 4.27). Como se observa, la fracción EC presenta una reducción en el 60% de las muestras, en promedio la reducción es del 28,7 %, variando entre el 9% y el 77%.

De acuerdo con estudios de caracterización del  $PM_{2.5}$  del Valle de Aburrá, el EC representa aproximadamente el 48 % de la partícula ambiental (AMVA, Convenio CA 315, 2014). La fracción fragmental EC de la materia carbonácea, ha sido estudiada y asociada con efectos cancerígenos en la salud de acuerdo con reportes de la OMS desde el 2012, siendo por lo tanto de alto beneficio esta reducción derivada de la Tecnología molecular Green Plus aplicada al diésel, teniendo en cuenta que este componente igualmente, conforma en promedio el 28 % de la masa  $PM_{2.5}$  ambiental (AMVA, Convenio CA 315, 2014).

Figura 4.27. Fracción carbonácea EC contenida en el PST emitidas del diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: elaboración propia

Los análisis químicos de los componentes elementales en ambos grupos de muestras, hacen parte en promedio del 10 % de la masa de las partículas diésel, expresados como Al, Ca, Na, y enfatizando en los componentes mayoritarios de la matriz del filtro como blanco (Si y O). Se halla un aumento en el contenido de estos elementos con relación a las muestras del diésel catalizado, atribuibles a la molécula del Green Plus y aceites lubricantes. Estos componentes no tienen naturaleza tóxica y por ende no representan riesgos cancerígenos para las personas.

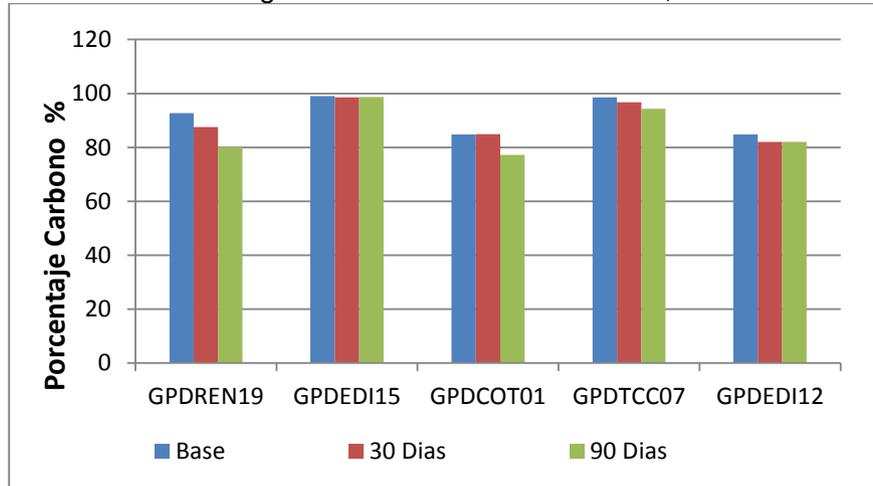
Es importante hacer notar que en las muestras de diésel con Green Plus comparado con la partícula de la LB, no hay aportes de nuevos elementos, en especial de carácter tóxico como Ti, Bi entre otros, lo cual es importante tanto para la salud de la población como para la integridad de los componentes del automotor (Ver Tabla 4.10)

Tabla 4.10 Caracterización partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017

ELEM.	Muestras Diesel con Catálisis GREEN PLUS (Wt%)																		
	GPDREN19				GPDEDI15				GPDCOT01				GPDTCC07				GPDEDI12		
	Base	30 días	90 días	% Reduc. 90 días	Base	30 días	90 días	% Reduc. 90 días	Base	30 días	90 días	% Reducc 90 días	Base	30 días	90 días	% Reducc 90 días	Base	90 días	% Reduc 90 días
<b>C</b>	92,68	87,60	80,10	13,57	99,06	98,55	98,67	0,39	84,74	84,88	77,25	8,84	98,53	96,73	94,28	4,31	84,82	82,07	3,24
<b>Na</b>	2,69	4,80	3,52	-30,70	0,19	0,29	0,37	-101,31	4,96	5,92	5,69	-14,74	0,48	0,99	2,03	-325,85	5,47	6,09	-11,45
<b>Ca</b>	1,74	2,77	3,27	-88,16	0,17	0,22	0,34	-100,44	2,68	3,43	3,48	-29,86	0,33	0,77	1,34	-303,31	3,50	4,20	-19,91
<b>Cr</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>7,53</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,95		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
<b>Fe</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,14</b>	<b>0,33</b>	<b>0,00</b>	100,00	<b>2,77</b>	<b>0,00</b>	7,58	-173,80	<b>0,00</b>	<b>0,22</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,18</b>	
<b>Ni</b>	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
<b>S</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>Mg</b>	0,48	1,49	1,41	-195,01	0,05	0,07	0,14	-198,16	1,20	1,66	1,74	-44,85	0,08	0,34	0,72	-764,23	1,91	2,16	-12,91
<b>Al</b>	<b>2,42</b>	<b>3,35</b>	<b>3,23</b>	-33,45	<b>0,24</b>	<b>0,36</b>	<b>0,40</b>	-64,86	<b>3,66</b>	<b>4,10</b>	4,27	-16,67	<b>0,40</b>	<b>0,95</b>	1,63	-301,83	<b>4,30</b>	<b>5,20</b>	-21,01
<b>P</b>	0,00	0,00	0,00		0,16	0,17	0,08	52,65	0,00	0,00	0,00		0,18	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	
<b>Cl</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,10</b>	
<b>F</b>	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
<b>Cu</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>Zn</b>	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
<b>Ti</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
<b>Peso ganado (ug)</b>	519	282	311		1089	669	872		1050	141	165		5157	1225	1356		1062	374	

Fuente: Materials Characterization Center, INC. (MCC), 2017

Figura 4.28 Contenido (%) de carbono en partículas diésel. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Materials Characterization Center, INC. (MCC), 2017

#### 4.5.2 Caracterización química de las partículas gasolina catalizada con la Tecnología molecular GREEN PLUS.

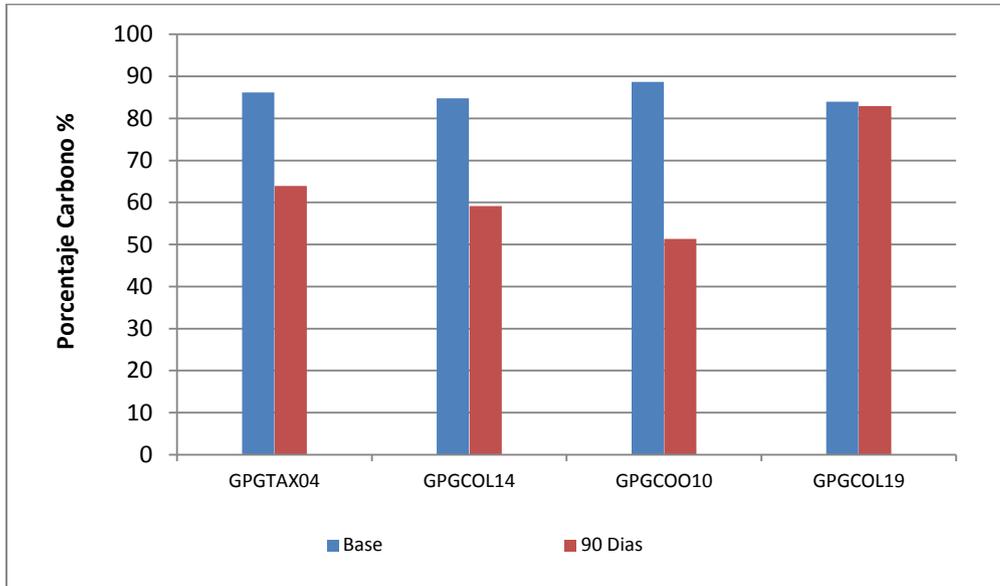
La composición normalizada para las partículas gasolina PST asociadas como  $PM_{2.5}$  según criterios de estudios previos, se muestran en la Tabla 4.11. El análisis de la caracterización de las partículas emitidas en la combustión de gasolina con y sin la Tecnología Green Plus, permite observar la reducción del contenido de carbono en la partícula procedente de la combustión de la gasolina catalizada. La reducción de carbono promedio fue del 24%, con valores entre 1.2 % y 42.1 % en las muestras estudiadas para los momentos LB y 90 días (Ver Figura 4.29). Dado que en este contenido de carbono se encuentra la fracción fragmental EC (Elemental Carbon) o BC (Black carbón), tomando como base las condiciones de consumo del vehículo, la fracción EC presenta una reducción en el 100% de la muestra.

Tabla 4.11 Caracterización partículas gasolina. Plan Piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología GREEN PLUS en combustible gasolina. Valle de Aburrá. 2017

ELEMENTS	Muestras Gasolina con Catálisis Green Plus (Wt%)											
	GPGTAX04			GPGCOL14			GPGCOO10			GPGCOL19		
	Base	90 Dias	% cambio 90D	Base	90 Dias	% cambio 90D	Base	90 Dias	% cambio 90D	Base	90 Dias	% cambio 90D
<b>C</b>	86.19	63.95	25.80	84.76	59.17	30.19	88.69	51.35	42.09	83.95	82.95	1.18
<b>Na</b>	2.66	11.11	-318.41	5.12	5.86	-14.32	3.87	10.72	-177.36	3.34	2.94	12.03
<b>Ca</b>	1.97	6.04	-206.02	3.29	4.47	-35.71	2.62	7.34	-180.54	2.48	3.20	-28.95
<b>Cr</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		<b>0.00</b>	<b>2.85</b>		<b>0.00</b>	0.00		<b>1.39</b>	0.00	100.00
<b>Mn</b>	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
<b>Fe</b>	<b>2.28</b>	<b>0.00</b>	100.00	<b>0.00</b>	<b>13.17</b>		<b>0.00</b>	7.34		<b>2.62</b>	1.82	30.33
<b>Ni</b>	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
<b>S</b>	<b>1.75</b>	<b>1.92</b>	-10.30	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		<b>0.00</b>	0.00		<b>0.56</b>	1.25	-122.02
<b>Mg</b>	0.91	3.06	-236.32	1.71	6.01	-251.97	0.00	8.13		1.22	1.30	-6.26
<b>Al</b>	<b>3.07</b>	<b>7.26</b>	-136.32	<b>5.12</b>	<b>6.78</b>	-32.36	<b>4.83</b>	13.32	-175.61	<b>3.28</b>	4.16	-27.08
<b>P</b>	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
<b>Cl</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		<b>0.00</b>	<b>1.69</b>		<b>0.00</b>	0.00		<b>0.00</b>	0.00	
<b>F</b>	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
<b>Cu</b>	<b>0.00</b>	<b>6.65</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		<b>0.00</b>	0.00		<b>0.00</b>	0.00	
<b>Zn</b>	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	1.54	
<b>Ti</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		<b>0.00</b>	0.00		<b>0.00</b>	0.34	
<b>K</b>	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	1.81		0.00	0.49	
<b>Peso ganado (ug)</b>	380	227		519	114		302	189		390	169	

Fuente: Materials Characterization Center, INC. (MCC), 2017

Figura 4.29 Contenido (%) de carbono, partículas diésel. Prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología GREEN PLUS en combustible diésel. Valle de Aburrá. 2017



Fuente: Materials Characterization Center, INC. (MCC), 2017

Los análisis químicos de los componentes elementales en ambos grupos de muestras (línea base y 90 días), hacen parte en promedio del 24 % de la masa de las partículas gasolina, expresados como Al, Ca, Na, y enfatizando en los componentes mayoritarios de la matriz del filtro como blanco (Si y O). Se encuentra un aumento en el contenido de estos elementos con relación a las muestras de gasolina catalizada, atribuibles a la molécula del Green Plus. Estos componentes no tienen naturaleza tóxica y por ende no representan riesgos cancerígenos para las personas.

Otra manera para comprender la composición de las partículas diésel y gasolina fue hacer un ejercicio de calcinación. Este método consistió en una prueba para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación del catalizador Green Plus, mediante la calcinación de los filtros de cuarzo con la masa recolectada a las temperaturas de 200°C, 400°C y 700°C.

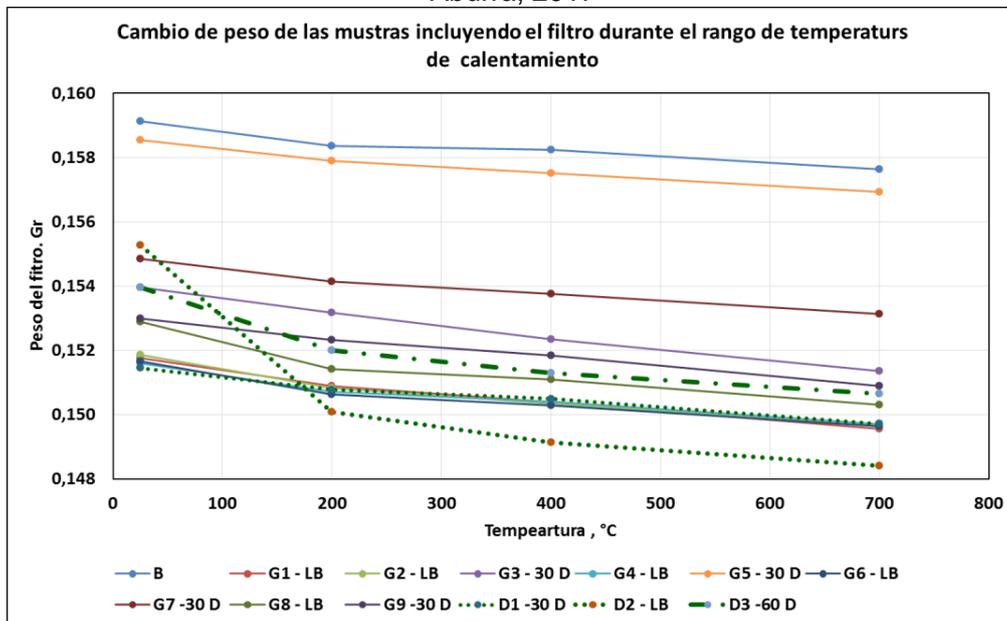
Los resultados obtenidos a las diferentes temperaturas del ensayo se registran en el Anexo 4-4. El análisis de la información como puede observarse en la Figura 4.30, ilustra el comportamiento del peso de las muestras incluyendo el filtro, durante el rango de temperaturas de calentamiento, permitiendo concluir que los materiales de la línea base (LB) son más reactivos con la temperatura, y algo más los de diésel.

Para comprender la presencia de material orgánico en las partículas emitidas en la combustión diésel y gasolina, tanto en LB y 90 días con Green Plus (Ver

Figura 4.31), se evaluaron las mayores pérdidas de masa (LB-90 días) expresadas en %, para cada límite de temperatura de calcinación. De manera comparativa, se puede confirmar que hay un mayor contenido orgánico en las muestras PST, asociadas al  $PM_{2.5}$ , en el diésel que en las de gasolina, propiedad ya se había analizado por los mayores valores de carbono en la caracterización SEM-EDS. A su vez, este contenido es menor en las partículas emitidas en la combustión del diésel catalizado.

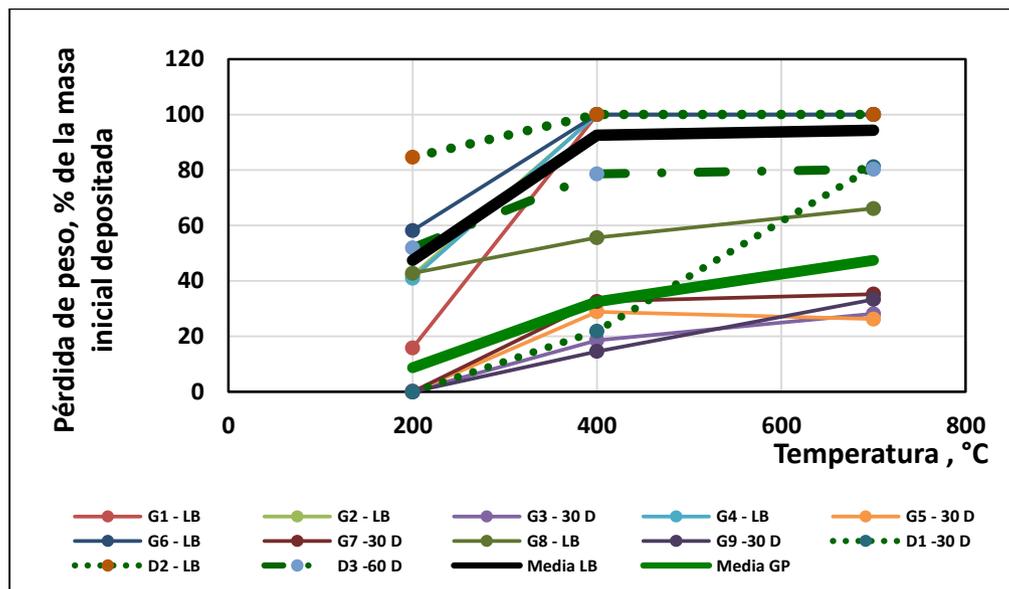
De igual manera es posible explicar de acuerdo con los resultados de la prueba gravimétrica para el ensayo con gasolina, la mayor masa en los filtros después de los 90 días de consumo del combustible con Green Plus, dado que un aumento en el material fijo no evaporado en las muestras, permite inferir la presencia de inorgánicos en las partículas de combustión. Este material fijo puede ser aportado parcialmente por el catalizador y otra fracción por aceites y lubricantes, siendo según la caracterización química, principalmente de Al, Na, Ca y algo de Mg que apareció en una de las muestras. Los elementos hallados no tienen naturaleza tóxica y por ende no representan riesgos cancerígenos para las personas. Así mismo los resultados permiten observar que se reduce la presencia de carbono traduciéndose en reducción de los efectos nocivos de las partículas por la presencia del carbono negro o Black Carbón, contenido en esta fracción.

Figura 4.30 Cambio de peso (gr) de las muestras incluyendo el filtro durante el rango de temperaturas de calentamiento. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31 Pérdida de masa (%) con respecto a masa inicial de material particulado. Plan piloto para la estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación de la Tecnología Green Plus. Valle de Aburrá, 2017



Fuente: Elaboración propia

Un balance de masa para la validación de las concentraciones medidas en el experimento fue realizado como se muestra en el Anexo 4-5

#### 4.6 APOORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO2 EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL TECNOLOGÍA CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS

Debido a esto, en las áreas urbanas se proponen diferentes planes para reducir las emisiones del tráfico vehicular; las estrategias varían desde la introducción de nuevas Tecnologías o el uso de combustibles alternativos, hasta la creación de nuevos esquemas de planeación urbana. En este contexto, el Plan de Descontaminación del Aire del Valle de Aburrá (AMVA-UPB, 2010) propuso entre las medidas para el sector transporte, el fortalecimiento de la inspección y mantenimiento vehicular, normas más exigentes para vehículos nuevos en cuanto a su Tecnología, reducción del crecimiento del parque de motocicletas, renovación del parque vehicular existente y el mejoramiento continuo de los combustibles. La actualización del Plan de descontaminación del aire propone medidas de gestión de la demanda, introducción de vehículos eléctricos, programas de conducción eco-eficiente, el uso de dispositivos tecnológicos que mejoren eficiencia y reduzcan emisiones vehiculares, entre otros (AMVA-CAI, 2017).

Así, en el marco de las medidas disponible en el mercado para la reducción de emisiones ha surgido la Tecnología molecular Green Plus como una alternativa para la disminución del uso

de combustible y de la disminución en generación de emisiones atmosféricas. Ahora bien, con el objeto de comprobar sus bondades a nivel local y el impacto futuro de su uso generalizado se ha estipulado la realización una prueba piloto que permita determinar su impacto en la disminución de emisiones, en la calidad del aire y en la salud de la población.

De esta manera, como parte de la prueba en este ítem se presenta la evaluación del impacto del catalizador Green Plus en las emisiones de CO<sub>2</sub> del parque automotor del Valle de Aburrá aplicando las tres metodologías referenciadas en el ítem **¡Error! No se encuentra el origen de a referencia..**

#### 4.6.1 APORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO<sub>2</sub> EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL TECNOLOGÍA CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS APLICANDO EL MODELO LEAP

Los resultados detallados del aporte a la COP21 de la Tecnología GREEN PLUS a partir del “Sistema de Planteamiento de Alternativas Energéticas a Largo Plazo” (LEAP - *Long-range Energy Alternatives Planning System*, se registran en el Anexo 4-6. A continuación se presentan los detalles de esta estimación:

##### 4.6.1.1 Evaluación de escenarios de emisión con el Catalizador Green Plus

Para la evaluación de los escenarios de emisión con la Tecnología GREEN PLUS, se partirá de los siguientes resultados obtenidos en la serie de pruebas en 25 vehículos a gasolina y 25 vehículos diésel y resumidos en la Tabla 4.12

- El rendimiento de combustible (km/gal) antes y después de usar el catalizador.
- En el caso de la gasolina la concentración de emisiones en ralentí y crucero para los contaminantes monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), antes y después de usar el catalizador.
- En el caso del diésel la concentración de emisiones en ralentí y crucero para los contaminantes monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx), antes y después de usar el catalizador. Además, determinó la masa de material particulado (MP) antes y después del uso del catalizador.

Tabla 4.12. Impacto del catalizador GREEN PLUS. Plan Piloto Valle de Aburrá. 2016-2017

Impacto		Gasolina	Diésel
Cambio promedio de rendimiento de combustible para toda la muestra		+3,55%	+6,79%
Cambio promedio de las concentraciones de CO	Ralentí	-58,42%	-66,67%
	Crucero	-25,96%	-23,70%
Cambio promedio de las concentraciones de NOx	Ralentí	ND	-8,10%
	Crucero	ND	-25,7%
Cambio promedio de las concentraciones de HC	Ralentí	-24,88%	ND
	Crucero	-28,62%	ND
Cambio promedio gravimetría de MP		ND	-30,68%

Fuente: PCJIC, 2017.

ND: Información no disponible.

#### 4.6.1.2 Definición de escenarios de emisión

De acuerdo a las variables evaluadas se definieron cuatro escenarios de emisión los cuales se implementarían a partir del año 2018, ellos son:

➤ **Escenario 1 (E1). Mejora en el rendimiento de los vehículos a gasolina y diésel.**

En este escenario se evalúa la reducción generalizada de la Tecnología Green Plus a la gasolina y el diésel que se distribuyen en el Valle de Aburrá. El modelo LEAP permite evaluar el impacto en la demanda de energía, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), pues los factores de emisión de estos contaminantes están definidos en términos de masa del contaminante por energía consumida (kg/TJ). Se tienen las siguientes *consideraciones*:

El rendimiento de los vehículos a gasolina mejora en 3,55% y el de los vehículos diésel en 6,79%; dichos rendimientos se aplican a todos los vehículos a gasolina y diésel del Valle de Aburrá, es decir, los resultados obtenidos en el estudio para la muestra de 50 vehículos se extrapolan a toda la flota de estudio.

➤ **Escenario 2 (E2). Distribución de la Tecnología Green Plus en el combustible diésel.**

En este escenario se evalúa la reducción de emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado (MP), por la adición generalizada de la Tecnología GREEN PLUS al combustible diésel que se distribuye en el Valle de Aburrá. Se tienen las siguientes *consideraciones*

Las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> de todos los vehículos diésel se reducen en 66,67% y en 25,70%, respectivamente. Así, los resultados obtenidos para la muestra de 25 vehículos diésel se extrapolan a toda la flota diésel del Valle de Aburrá.

➤ **Escenario 3 (E3). Distribución de la Tecnología Green Plus en el combustible gasolina.**

En este escenario se evalúa la reducción de emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) por la adición generalizada de la Tecnología GREEN PLUS a la gasolina que se distribuye en el Valle de Aburrá.

*Consideraciones:*

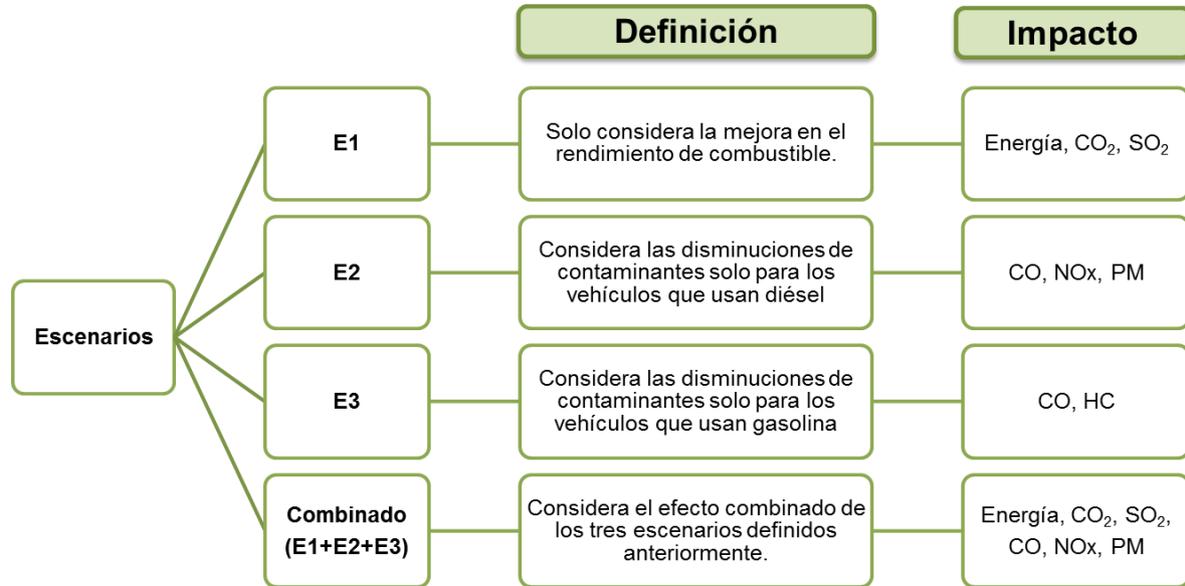
Las emisiones de CO e HC (VOC en el modelo LEAP) de todos los vehículos a gasolina se reducen en 58,42% y en 24,88%, respectivamente. De este modo, los resultados obtenidos por el PCJIC para la muestra de 25 vehículos a gasolina se extrapolan a toda la flota a gasolina del Valle de Aburrá.

➤ **Escenario 4 (C). Escenario combinado.**

En este escenario se combinan los escenarios 1, 2 y 3 con el fin de estimar el efecto conjunto de los escenarios independientes planteados anteriormente con las consideraciones:

Se deben tener en cuenta todas las consideraciones mencionadas en los escenarios 1, 2 y 3. La Figura 4.32 presenta un esquema representativo de los escenarios definidos.

Figura 4.32 Escenarios de emisión 2018-2030



#### 4.6.1.3 Estimación de emisiones.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios evaluados a través del modelo LEAP.

El escenario 1 (E1) considera la mejora en el rendimiento de combustible de los vehículos a gasolina y diésel por el uso de la Tecnología Green Plus, para lo cual se supuso una mejora anual del 3,55% y del 6,79% en dichas variables; respectivamente. La Tabla 4.13, Tabla 4.14 y Tabla 4.15, presentan los resultados obtenidos en términos de la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>; la Figura 4.33,

Figura 4.34 y

Figura 4.35 ilustran dichos resultados.

Tabla 4.13. Demanda de energía (TJ)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>BAU</b>	44.25 5	46.66 9	49.30 2	52.12 7	55.11 3	58.22 4	61.42 5	64.68 6	67.97 5	71.26 7	74.54 1	77.77 8	80.96 3	84.08 2	87.12 3	90.07 2
<b>E1</b>	44.25 5	46.66 9	49.30 2	49.71 5	52.57 3	55.55 0	58.61 4	61.73 2	64.87 7	68.02 4	71.15 2	74.24 3	77.28 4	80.25 9	83.15 9	85.97 1
<b>Reducción</b>	0	0	0	2.412	2.540	2.673	2.812	2.953	3.098	3.243	3.389	3.535	3.680	3.823	3.964	4.102
<b>Reducción acumulada 2018-2030</b>	42.223															

BAU: línea base; E1: escenario 1; Δ: reducción frente a la línea base.

Tabla 4.14. Emisiones de CO<sub>2</sub> (1000 ton)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>BAU</b>	3.107	3.274	3.457	3.653	3.860	4.076	4.298	4.525	4.754	4.983	5.211	5.437	5.659	5.876	6.088	6.294
<b>E1</b>	3.107	3.274	3.457	3.480	3.678	3.885	4.098	4.314	4.533	4.752	4.969	5.184	5.396	5.603	5.805	6.001
<b>Reducción</b>	0	0	0	172	181	191	201	211	221	232	242	252	263	273	283	293
<b>Reducción acumulada 2018-2030</b>	3.015															

BAU: línea base; E1: escenario 1; Δ: reducción frente a la línea base.

Tabla 4.15. Emisiones de SO<sub>2</sub> (ton)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>BAU</b>	342	360	380	402	426	450	475	501	526	552	577	601	624	646	668	688
<b>E1</b>	342	360	380	386	409	432	457	481	506	530	554	577	600	621	641	661
<b>Reducción</b>	0	0	0	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27
<b>Reducción acumulada 2018-2030</b>	281															

BAU: línea base; E1: escenario 1; Δ: reducción frente a la línea base.

Figura 4.33. Demanda de energía (TJ)

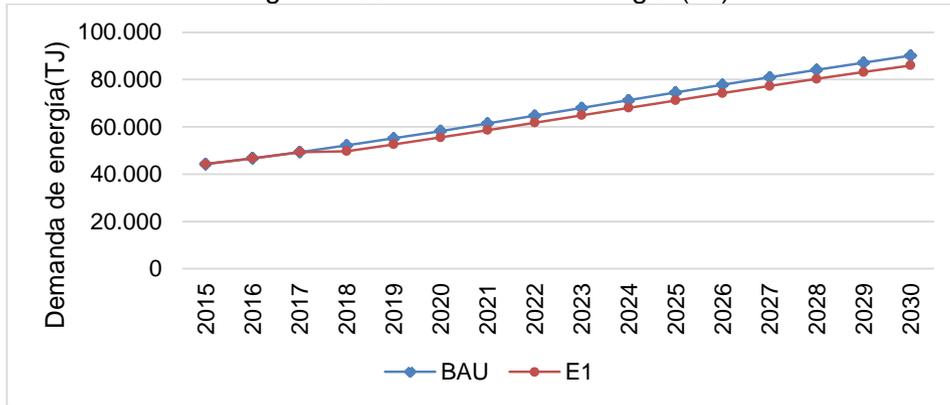


Figura 4.34. Emisiones de CO<sub>2</sub>

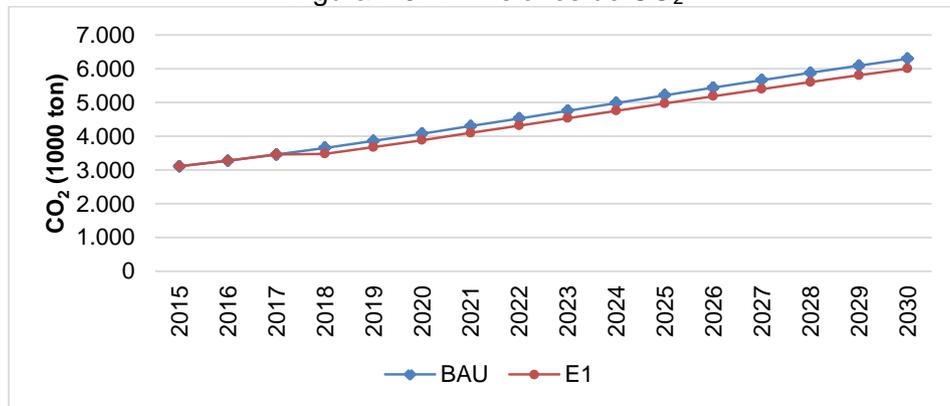
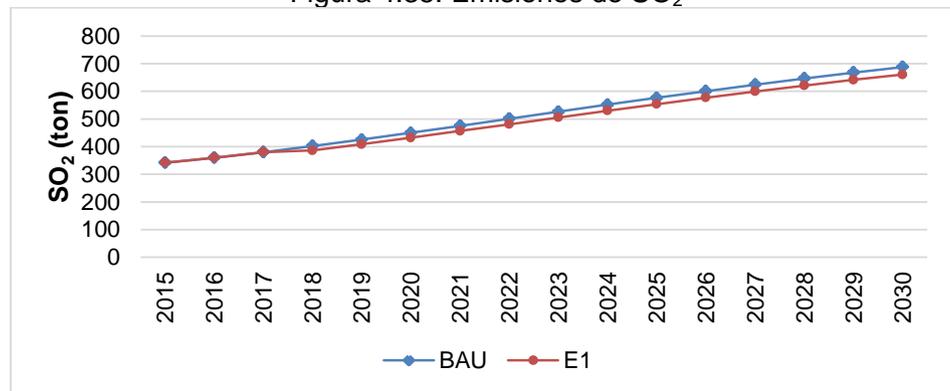


Figura 4.35. Emisiones de SO<sub>2</sub>



#### 4.6.1.4 Resultados modelo LEAP sobre la contribución de la Tecnología Molecular GREEN PLUS a la meta adoptada por Colombia en el COP21

La Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMNUCC) es el tratado internacional ambiental que busca darle solución a la problemática del cambio climático. Se firmó en la Cumbre de Río de 1992 y entró en vigor en 1994. Actualmente, todos los países miembros de la ONU hacen parte de la Convención. El objetivo de esta es "la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible" (Minambiente-Fundación Natura-WWF Colombia, 2015).

La Conferencia de las Partes (COP) es el máximo órgano decisorio de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas. Está conformado por las partes, es decir, aquellos países que han ratificado el tratado. Es el único órgano que puede tomar decisiones de la implementación del tratado. No es permanente, se organiza cada vez que los países se reúnen y su periodicidad está definida en la Convención. En este caso se lleva a cabo anualmente.

De acuerdo con el informe "El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21" (Minambiente-Fundación Natura-WWF Colombia, 2015), Colombia es responsable del 0,46% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, según datos de 2010. Sin embargo, esta participación tiene tendencia a crecer. Se calcula que, si no se toman medidas en el control de las emisiones, estas podrían aumentar cerca de 50% en 2030. A pesar de que las emisiones en Colombia son relativamente bajas en comparación con otros países, sus emisiones acumuladas entre 1990 y 2012 la sitúan entre los 40 países con mayor responsabilidad histórica en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente, por la deforestación.

Así, en el marco del COP21 Colombia se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 a partir de un escenario inercial (*business as usual*). Esto quiere decir que Colombia estableció como punto de referencia el inventario de emisiones nacionales de 2010 y proyectó cómo crecerían sus emisiones si no se tomaran medidas de mitigación. Con base en esa proyección, creó un escenario para 2030. La reducción del 20% se pactó sobre ese escenario proyectado (ver Tabla 4.16).

Tabla 4.16. Emisiones CO<sub>2</sub>-eq (Mton)

	Año 2010	Año 2020	Año 2030
<b>BAU</b>	224	278	335
<b>COP21</b>	-	-	268
<b>Δ</b>	-	-	-20% (67 Mton)

De acuerdo con la información anterior, Colombia debe reducir 67 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para el año 2030.

El modelo LEAP permite estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), para la posterior estimación de CO<sub>2</sub> equivalente de acuerdo a los potenciales de calentamiento global (GWP, *global warming potential*) determinados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, el cual definió que los potenciales de calentamiento para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son 1, 25 y 298, respectivamente (IPCC, 2007).

La Tabla 4.17 presenta las emisiones CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>-eq generadas por las fuentes móviles del Valle de Aburrá en el escenario base (BAU) y en el escenario 1 (E1) para el año 2030 con el uso de la Tecnología Green Plus. Debido a que no se evaluó experimentalmente el efecto de la Tecnología molecular Green Plus sobre las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, se asume que estas permanecen iguales en ambos escenarios. Así, se estima que se reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> en 4,6% y en 3,4% las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq como se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 4.17. Emisiones de CO<sub>2</sub>-eq Modelo LEAP para el año 2030 (ton) con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

GEI 2030 Fuentes móviles AMVA	BAU	E1 Base (con Tecnología GREEN PLUS)	Δ Tecnología GREEN PLUS
CO <sub>2</sub>	6.294.283	6.001.362	-4,6%
CH <sub>4</sub>	93.976	93.976	0%
N <sub>2</sub> O	304	304	0%
CO <sub>2</sub> -eq	8.734.319	8.441.399	-3,4%

De acuerdo a la información anterior el uso de la Tecnología Green Plus evitaría en el año 2030 la emisión de 292.920 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, es decir 0,29 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

La meta de Colombia es reducir 67 millones de toneladas en el año 2030, y en este orden de magnitud, el Valle de Aburrá por el uso de la Tecnología Green Plus en el diésel y la gasolina, aportaría en 0,4% a la meta. Debe tenerse en cuenta que en el año 2030, las fuentes móviles en la región, solo contribuirían con el 2,6% de las emisiones de totales nacionales de CO<sub>2</sub>-eq).

#### 4.6.2 APOORTE A LA META DE DISMINUCIÓN DE CO2 EQUIVALENTE COMPROMETIDA POR COLOMBIA EN LA COP 21, A PARTIR DEL USO DEL TECNOLOGÍA CON TECNOLOGÍA GREEN PLUS APLICANDO EL MODELO COPERT

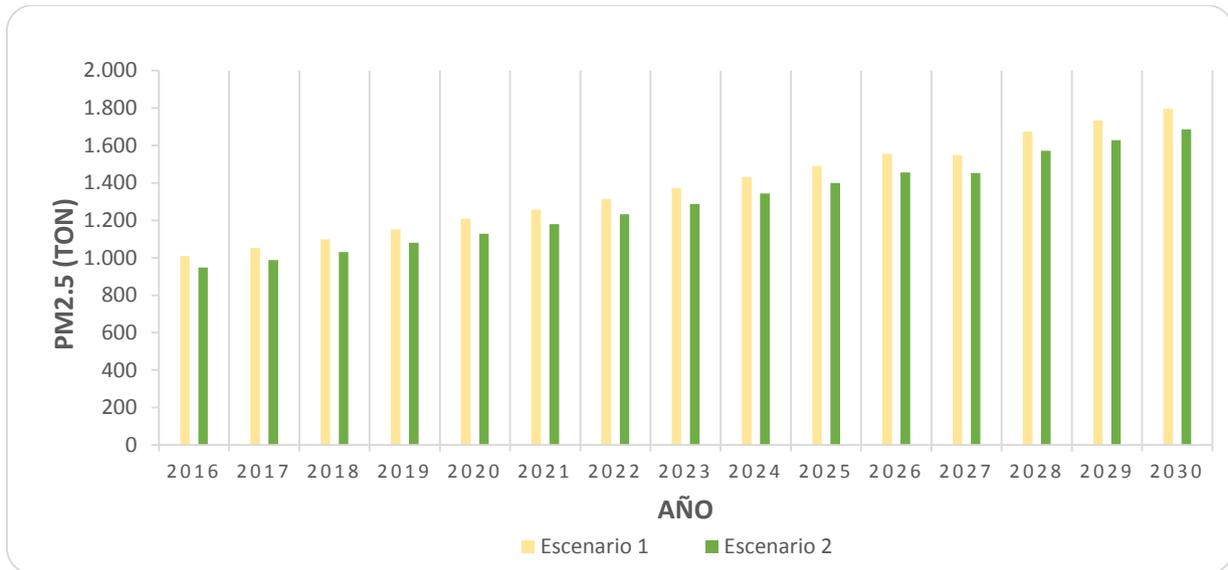
Los resultados de la modelación para la estimación de las reducciones de CO<sub>2</sub>eq a partir del programa COPERT, se detallan en los siguientes items:

##### 4.6.2.1 Emisiones de PM<sub>2,5</sub>

A continuación, se presentan los resultados asociados al comportamiento de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> para el periodo de tiempo comprendido entre el año 2016 y 2030 en cada uno de los escenarios modelados (Ver Figura 4.36). Se observa una tendencia creciente de las emisiones de material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 μm, debido al aumento del parque automotor en el tiempo. Se evidencia además que el escenario 2 presenta una

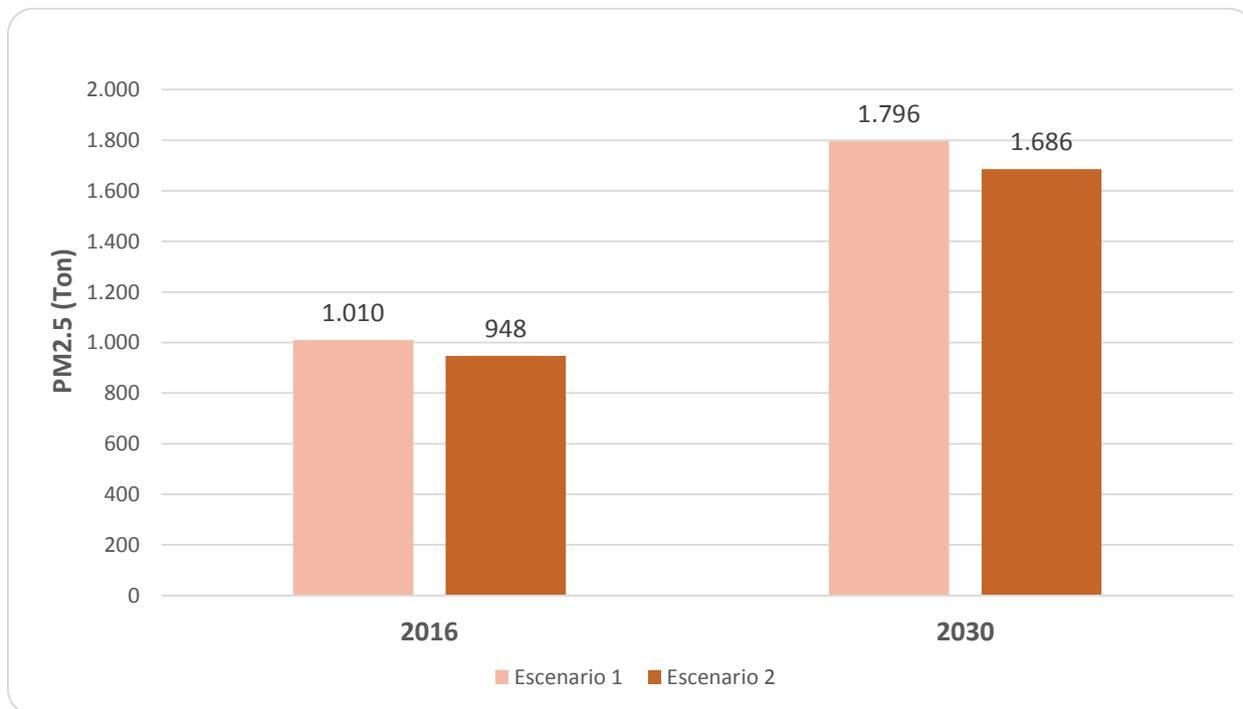
reducción aproximada del 6.22% lo que da como resultado que la emisión de este contaminante para el año 2030 se reduciría en 1.276 toneladas con el uso del GreenPlus

Figura 4.36 Emisiones PM<sub>2.5</sub> (Ton) Modelo COPERT. Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá



La Figura 4.37 presenta las emisiones de PM<sub>2.5</sub> para cada uno de los escenarios en el año inicial de modelación (2016) y el año final (2030). En el año 2016, se estimaron 1,010 toneladas de PM<sub>2.5</sub> en el escenario 1 y 948 en el escenario 2, lo cual representa un porcentaje de reducción del 6.22 % con el uso del GreenPlus. Para el año 2030, los resultados de la modelación arrojaron 1,796 toneladas de PM<sub>2.5</sub> para el escenario 1 y 1,686 para el escenario 2, lo que corresponde a una reducción de 6.1 %.

Figura 4.37. Análisis de escenarios de emisiones PM2.5. Año 2016 y 2030. Modelo COPERT. Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá



#### 4.6.2.2 Emisiones de Gases Efecto Invernadero

El componente de mitigación de “Las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional” (INDC, por sus siglas en inglés), se estableció con base al “Inventario de gases de efecto invernadero” elaborado en el 2010 por el IDEAM en el marco del Primer Informe Bienal de Actualización y la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, de acuerdo con las Guías IPCC 2006 (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015). En este documento, se utilizaron datos del 2010, para estimar las emisiones que generó Colombia en ese año y a partir de estos datos se realizaron proyecciones al 2050. Con esta proyección se identificó que para 2030 Colombia podría aumentar en un 50% sus emisiones, llegando hasta 335 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq. De acuerdo con los compromisos de Colombia frente al COP21, la meta definida es que para el año 2030, se dejen de emitir 67 millones de toneladas durante ese año, es decir que las emisiones para el 2030 sea de 268 millones de toneladas, lo que corresponde al 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el 2030. (García Arbeláez, Barrera, Gómez, & Suárez Castaño, 2015)

Con el fin de evaluar el aporte del uso del GreenPlus a esta meta, se estimaron las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y Metano (CH<sub>4</sub>) para cada uno de los años dentro del periodo 2016-2030 analizando el escenario 1 y escenario 2 (Ver Figura 4.38 a

Figura 4.40).

Figura 4.38. Emisiones de CO<sub>2</sub>. Modelo COPERT.  
Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

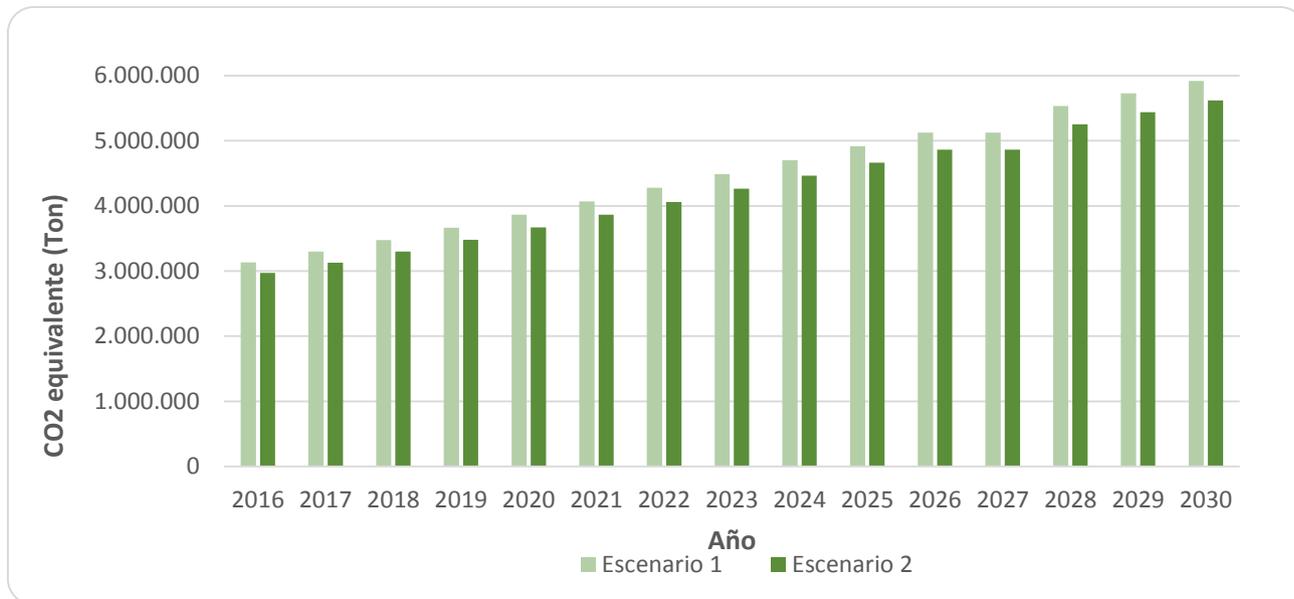


Figura 4.39. Emisiones de CH<sub>4</sub>. Modelo COPERT.  
Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

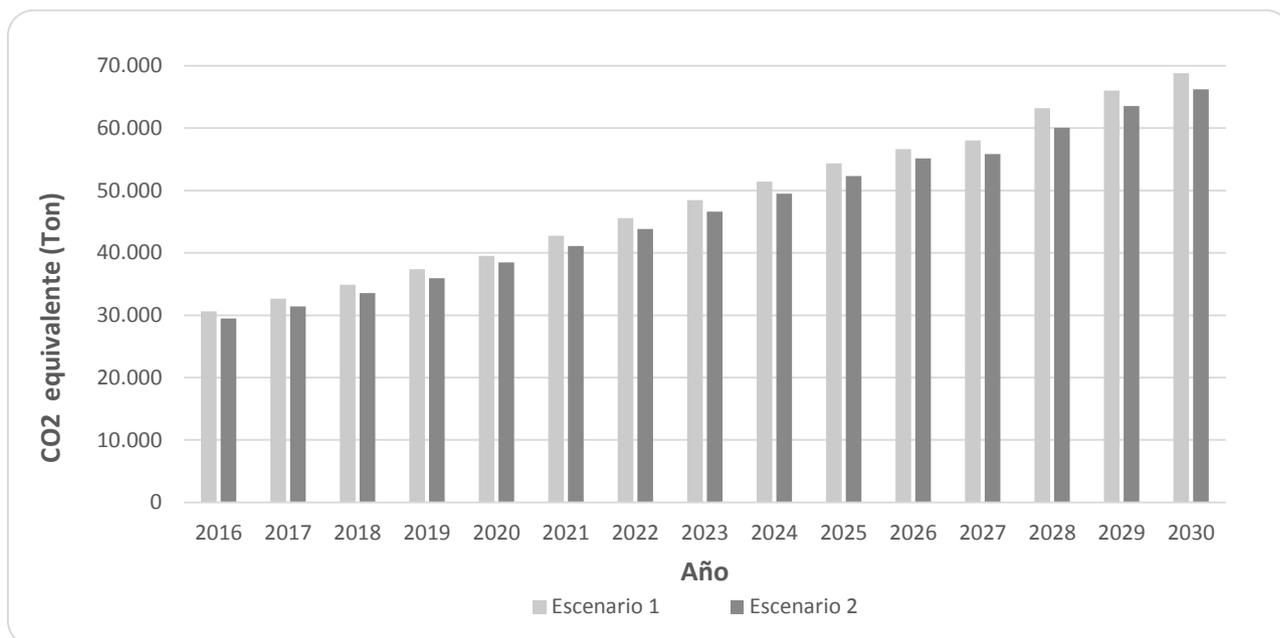
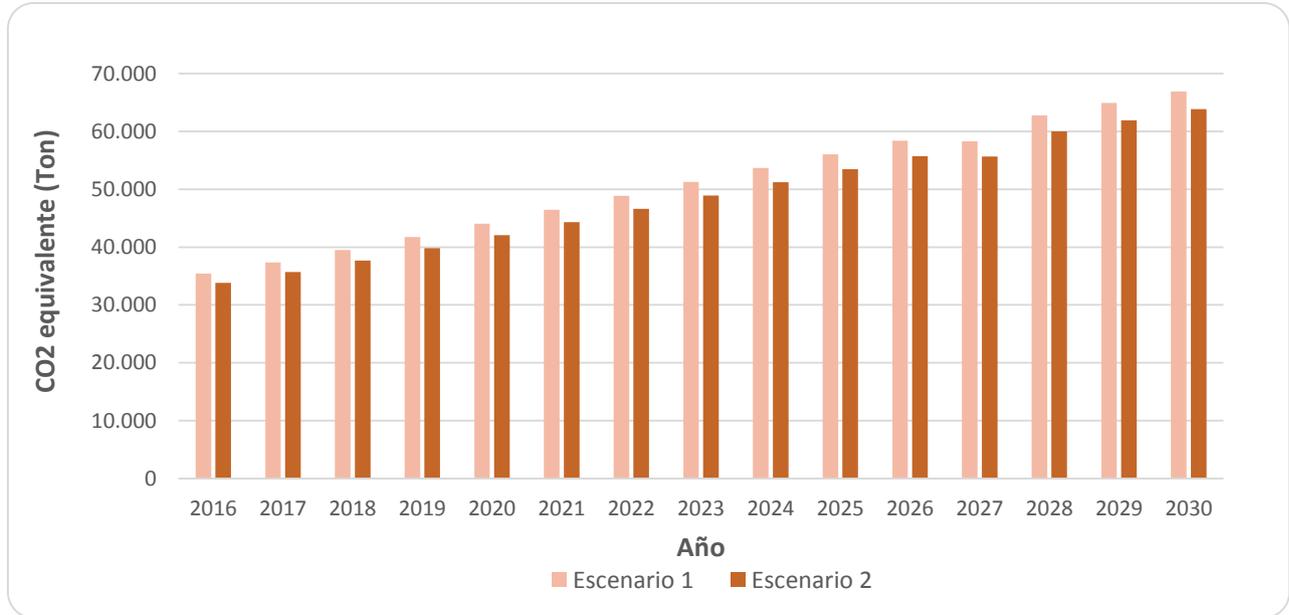


Figura 4.40. Emisiones de N<sub>2</sub>O Modelo COPERT. Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá



El aporte de la Tecnología GREENPLUS representaría entonces una disminución del 3.8% promedio anual de las emisiones de Metano (CH<sub>4</sub>), equivalente a una disminución acumulada para este periodo de 27342 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq

En cuanto al CO<sub>2</sub> la reducción para este periodo sería de 34.900 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, lo cual representaría una reducción anual promedio de 5,1% y para el NO<sub>2</sub>, la reducción acumulada sería de 1276 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, que se reflejaría en una reducción promedio anual del 4,6%.

Con el uso de este catalizador el parque automotor pasaría entonces de emitir un total de 6'8828,722 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq durante el periodo 2016-2030 a emitir 65352994 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, es decir, se dejarían de emitir a la atmosfera 3'475.728 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, correspondientes a los gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), equivalente a una reducción promedio anual de GEI de 5.1%. La Tabla 4.18 a

Tabla 4.20, presentan las emisiones de los GEI estimadas por el modelo para los años comprendidos entre 2016 y 2030 en cada uno de los escenarios, mostrando que la mayor reducción debida al uso del GreenPlus se verá reflejada en el Dióxido de Carbono (5.1 %).

Tabla 4.18. Emisiones estimadas CH4 2016-2030 Modelo COPERT.  
Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

Estimación de emisiones CH4 2016-2030															
CH4 (Ton CO2-eq)	Año														
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Escenario 1	30640	32664	34913	37369	39537	42720	45560	48469	51419	54387	56667	58042	63192	66038	68811
Escenario 2	29470	31417	33582	35946	38459	41098	43832	46632	49472	52328	55181	55836	60080	63542	66211
Reducción	1170	1247	1331	1423	1079	1623	1729	1837	1947	2058	1485	2206	3113	2495	2600
Reducción Acumulada 2016-2030	27342														
Reducción Promedio (%)	3.8%														

Tabla 4.19. Emisiones estimadas CO2 2016-2030 Modelo COPERT.  
Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

Estimación de emisiones CO2 2016-2030															
CO2 (Ton CO2-eq)	Año														
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Escenario 1	3133296	3298876	3477424	3666914	3865338	4069960	4279181	4490877	4703299	4914910	5124696	5124327	5533222	5730446	5919709
Escenario 2	2972809	3130267	3300079	3480312	3668875	3863640	4062572	4263802	4465655	4666661	4865672	4862986	5253628	5440406	5621624
Reducción	160487	168609	177346	186601	196463	206320	216609	227075	237644	248249	259024	261341	279594	290041	298085
Reducción Acumulada 2016-2030	3413487														
Reducción Promedio (%)	5.1%														

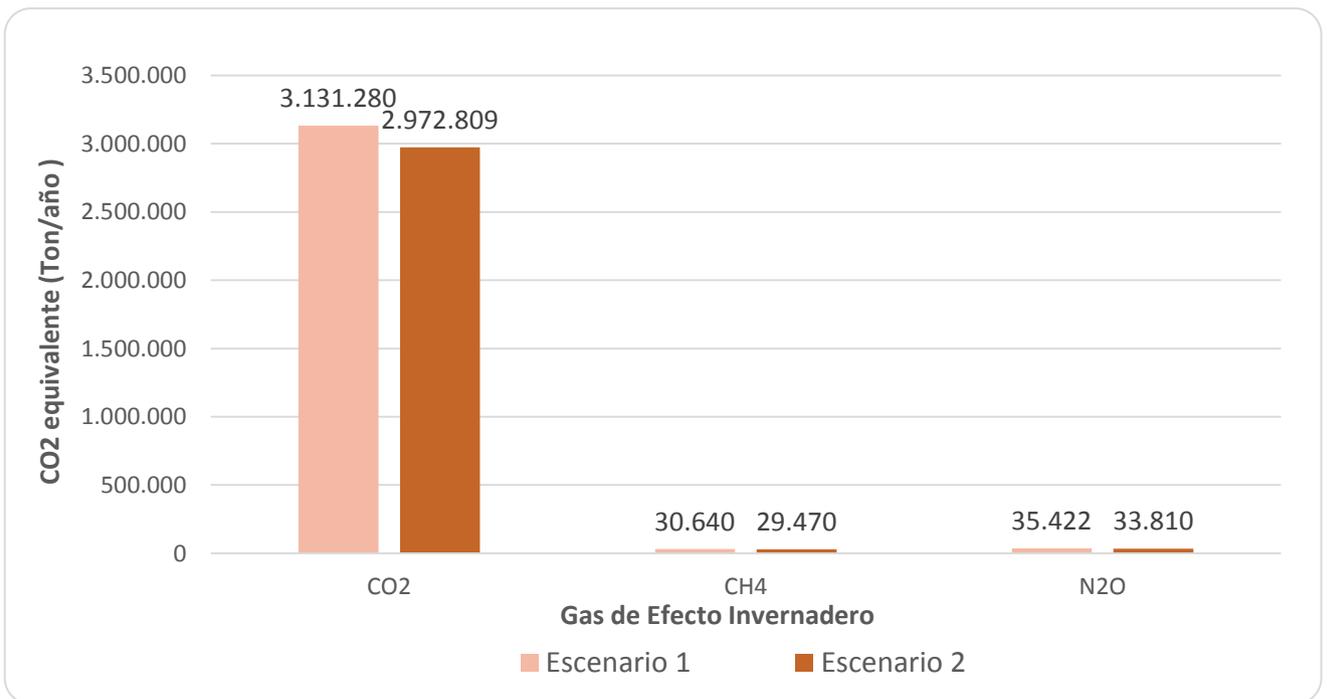
Tabla 4.20. Emisiones estimadas N2O 2016-2030 Modelo COPERT.  
Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

Estimación de emisiones N2O 2016-2030															
N2O (Ton CO2-eq)	Año														
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Escenario 1	35422	37382	39489	41742	44066	46439	48852	51271	53676	56048	58426	58315	62823	64929	66940
Escenario 2	33810	35681	37692	39843	42056	44328	46630	48938	51232	53494	55708	55691	60010	61948	63860
Reducción	1612	1701	1796	1899	2010	2112	2222	2333	2444	2555	2718	2624	2814	2980	3080
Reducción Acumulada 2016-2030	34900														
Reducción Promedio (%)	4.6%														

#### 4.6.2.2 Contribución a la meta del COP 21

Para compilar el análisis realizado anteriormente, se presenta en la Figura 4.41 el año inicial de estudio (2016), donde se presentan las emisiones generadas por las fuentes móviles en el área urbana de Valle de Aburrá para ambos escenarios. Las emisiones de GEI presentan un total de 3'197.342 y 3'036.089 respectivamente, evidenciando una reducción del 5% del escenario 2 sobre el 1.

Figura 4.41. Emisiones Gases Efectos Invernadero año 2016 Modelo COPERT. Periodo 2016-2030 con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburrá

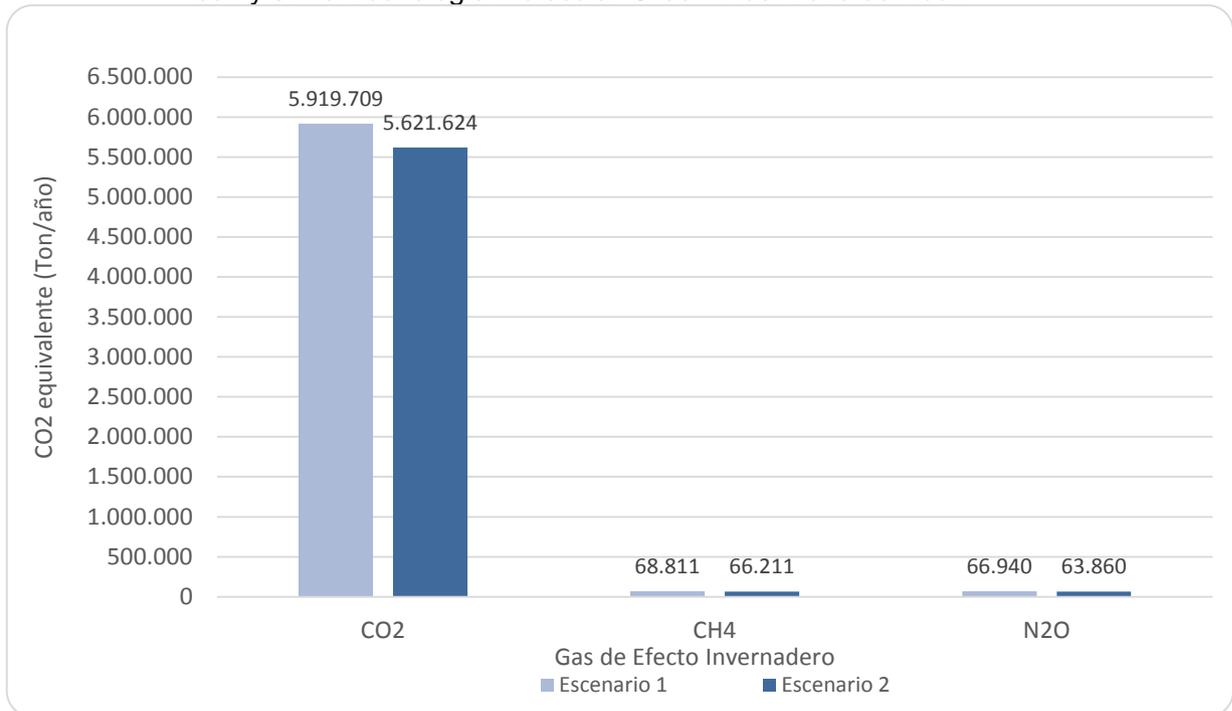


La Figura 4.42 muestra las emisiones generadas por las fuentes móviles en el área urbana de Valle de Aburrá en el año 2030, en el escenario 1 y 2. Las emisiones de GEI presenta un total de 6'055.460 y 5'751,695 para cada escenario respectivamente, evidenciando una reducción del 5% del escenario 2 sobre el 1.

Tanto en el año 2016, como en el 2030 el CO<sub>2</sub> estimado para el escenario 2 es el gas que presenta la mayor reducción con relación al 1 (5%), seguido por el N<sub>2</sub>O con 4,6% y finalmente por el CH<sub>4</sub> con una reducción del 3,8%.

En el escenario 2 para el año 2030 se tendrían 5'751.695 toneladas, correspondiente a una reducción de 303.765 toneladas, siendo equivalente a una contribución del 0,45 % a la meta establecida por Colombia en el COP21, según el Modelo COPERT.

Figura 4.42. Emisiones Gases Efectos Invernadero año 2030 Modelo COPERT. con y sin la Tecnología Molecular Green Plus. Valle de Aburr



En síntesis los resultados del modelo COPERT, muestran como con el uso de la Tecnología GREEN PLUS, el parque automotor pasaría entonces de emitir un total de 6'8'828.722 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq durante el periodo 2016-2030 a emitir 65'352.994 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, es decir, se dejarían de emitir a la atmosfera 3'475.728 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, correspondientes a los gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), lo que equivale a una reducción promedio anual de GEI de 5.1%.

Para el año 2030 se halla una reducción de 303.765 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, siendo equivalente a una contribución del 0,45 % a la meta establecida por Colombia en el COP21 para Colombia, según el Modelo COPERT. En el Anexo 4.11 se encuentra los resultados del Modelo COPERT

#### 4.6.3 Estimación de la reducción de CO<sub>2</sub> (kg/gal combustible) a partir del uso de la Tecnología GREEN PLUS en el Valle de Aburrá

En la Tabla 4.21 se muestra el resultado de reducción de CO<sub>2</sub> (kg/gal combustible), obtenidos para el más favorable de los escenarios del reemplazo total de la Tecnología GREEN PLUS en el Valle de Aburrá y con una velocidad de marcha efectiva de 15 km/h, que se puede considerar representativa de las situaciones actuales en la región.

Se observa que se estiman disminuciones de algo más de 100.000 toneladas en las emisiones directas para el Valle de Aburrá con el uso masivo de la Tecnología con Tecnología GREEN PLUS. con disminuciones total destinadas en el 4.14 % del CO<sub>2</sub> directamente emitido en la línea bases. En el Anexo 4.12 se registran los resultados de la estimación.

Tabla 4.21 Reducción de emisiones directas de CO<sub>2</sub> al reemplazar los combustibles diésel y gasolina al 100 % con la Tecnología GREEN PLUS a velocidades de marcha efectivas de 15 km/h

Parámetro		Diésel	Gasolina	Total (diésel + gasolina)
Consumo LB estimado	gal/día	335.440	417.724	753.164
Consumo LB estimado	kg/día	1.091.343	1.184.248	2.275.591
Emisiones de CO <sub>2</sub> LB	kg/kg fuel	3,049	3,004	
Emisiones de CO <sub>2</sub> LB	ton/día	3.328	3.558	6.886
Cambio en rendimiento de combustible, con GP	%	6,73	3,37	
Porcentaje del parque con GP	%	100	100	100
Consumo GP	kg/día	1.017.902	1.144.309	2.162.210
Emisiones de CO <sub>2</sub> GP	kg/kg fuel	3,085	3,021	
Emisiones de CO <sub>2</sub> GP	ton/día	3.140	3.457	6.597
Disminución Emisiones de CO <sub>2</sub> GP	ton/año	67.509	36.438	103.947
Disminución Emisiones de CO <sub>2</sub> GP	% de LB	5,56	2,81	4,14
Consumo LB esperados	litros/día	1.267.964	1.578.997	2.846.961
Disminución Emisiones de CO <sub>2</sub> con GP	kg/l de fuel LB	0,148	0,064	0,101
Disminución Emisiones de CO <sub>2</sub> con GP	kg/gal de fuel LB	0,559	0,242	0,383

#### 4.7 ENSAYO DE VALIDACION TÉCNICA PARA EL USO DE LA TECNOLOGÍA MOLECULAR GREEN PLUS EN UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN PRE-EURO

El grupo de investigación GHYGAM, como parte complementaria al Piloto de estimación de emisiones, asociadas a la Tecnología molecular Green Plus, decidió realizar en el

Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Universidad de Antioquia, un experimento adicional de comparación del desempeño mecánico, principales parámetros de combustión al interior del cilindro, emisiones gaseosas y el material particulado para el combustible diésel etiquetado como “diésel catalizado” y otro como “diésel”, sin el Green Plus, para diferentes cargas del motor, dado que el piloto de mediciones se realizó para las velocidades ralenti y crucero.

Los ensayos se realizaron en un motor pre-Euro Isuzu 4JA1 turboalimentado, inyección directa con 2.5 litros de cilindrada, debidamente instrumentado. El motor estaba acoplado a un freno dinamométrico de corrientes de *Eddy* (Schenck E90), operado con los dos combustibles, en los mismos tres modos estacionarios de 1890 rpm a 43 Nm (Modo 1 - M1-, representativo de conducción en ciudad a baja carga), 2250 rpm a 60 Nm (Modo 2 - M2-, representativo de operación en ciudad con media carga) y 2420 rpm a 95 Nm (Modo 3 -M3-, representativo de conducción en carretera con alta carga). Los tres modos ensayados fueron los más representativos del ciclo FTP-75, obtenidos por medio de cálculos de dinámica longitudinal para el vehículo que lleva este motor (Chevrolet Luv D-max modelos 2005 a 2007).

Los ensayos se realizaron por triplicado, midiendo en días diferentes y en diferentes franjas horarias. Para evitar datos espurios en los promedios, se realizaron medidas adicionales cuando fue necesario, comprobando que los valores registrados estuvieran dentro del rango de desviación estándar de las tres mediciones más repetitivas. La repetibilidad estadística de los resultados se garantizó en un 95% de confianza, mediante un estudio llevado a cabo con combustible diésel comercial colombiano midiendo 12 veces con el mismo combustible, en el mismo modo de ensayo, en días diferentes y con condiciones climáticas diferentes. Los resultados se presentan con sus valores promedio, mientras que las barras representan la suma de las incertidumbres asociadas a la propagación de error del experimento y la precisión de los equipos más la desviación estándar. Esta metodología de medición garantiza que las diferencias encontradas en los resultados se deban estrictamente al impacto del combustible empleado, y no a diferencias en las condiciones de operación del motor.

#### 4.7.1 Resultados relativos al desempeño del motor

Al comparar el rendimiento efectivo, el cual cuantifica la eficiencia de transformación de energía química del combustible en potencia útil, así como el consumo específico de combustible, que cuantifica la masa de combustible necesaria para generar una unidad de energía útil en el cigüeñal, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos el combustible diésel y el diésel catalizado con la Tecnología Green Plus, en ninguno de los tres modos de operación. Como era de esperarse, mientras que el rendimiento efectivo incrementó, su inverso, que es el consumo específico de combustible disminuyó con el grado de carga, debido a que se aprovecha mejor el combustible en condiciones de mayor exigencia térmica del motor.

No se observaron cambios estadísticamente significativos en la temperatura de los gases de escape al operar con los dos combustibles en ninguno de los tres modos de funcionamiento, lo que permitiría inferir que los diferentes componentes del motor (bloque, culata, camisas, pistones, etc.) podrían estar operando con temperaturas similares con los dos combustibles de prueba. Como era de esperarse, la temperatura de los gases de

escape incrementó con el grado de carga:  $M3 > M2 > M1$ , debido a que se elevaba la masa de combustible inyectado.

El dosado relativo, o relación de equivalencia combustible/aire frente a la estequiometría, no sufrió cambios significativos, lo que permitió concluir que las diferencias observadas en el proceso de combustión y en las emisiones contaminantes no se deben a cambios en las dosificaciones de aire y combustible inyectados al motor, sino netamente a diferencias entre combustibles.

#### 4.7.2 Resultados relativos al proceso de combustión

Los resultados del diagnóstico del proceso de combustión permitieron evidenciar que no se presentaron diferencias significativas en la presión máxima ( $< 4\text{bar}$ ) y temperatura máxima ( $< 50\text{K}$ ) medias instantáneas al interior del cilindro, como tampoco en la “velocidad aparente de combustión” o tasa de liberación de calor ( $< 5\text{J/grado}$ ), en ninguno de los tres modos de operación. El ruido de la combustión, cuantificado a través del coeficiente de variación (COV) de la presión media indicada fue bajo y además similar para ambos combustibles ( $< 1.4\%$ ). Lo anterior permite concluir que el proceso de combustión no se vio alterado por el uso de “diésel catalizado” frente al “diésel”.

#### 4.7.3 Resultados relativos a las emisiones y material particulado

Las emisiones específicas tanto de hidrocarburos totales (THC) como de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), fueron similares entre ambos combustibles en todos los modos de operación. Este resultado está de acuerdo con el valor similar de rendimiento efectivo obtenido. Tanto las emisiones específicas (por unidad de energía en el eje del motor) de THC como de CO y  $\text{CO}_2$  tendieron a disminuir monótonamente al elevar el grado de carga del motor ( $M1 > M2 > M3$ ), en concordancia con el incremento del rendimiento efectivo ( $M1 < M2 < M3$ ) y la disminución del consumo específico de combustible ( $M1 > M2 > M3$ ), lo que muestra la coherencia de los resultados experimentales.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) evidenciaron un incremento con el “diésel catalizado” en los modos extremos de carga  $M1$  y  $M3$  frente al “diésel”, pero fueron más bajas en el modo de carga intermedia  $M2$ . Se concluye que las emisiones de  $\text{NO}_x$  tendieron a incrementar con el uso del “diésel catalizado”, aunque estas emisiones dependen en mayor medida del modo de operación y quizá la Tecnología del motor, que del mismo combustible.

Los valores medios de las emisiones de material particulado tendieron a disminuir ligeramente con el combustible “diésel catalizado” frente al “diésel”. Este resultado fue más notorio al incrementar el grado de carga del motor. Sin embargo, dado que las barras de error se cruzaron en los tres modos de operación, la conclusión es que, bajo las condiciones de ensayo y el tipo de motor utilizado, la emisión de material particulado no cambió significativamente al usar el combustible “diésel catalizado” frente al “diésel”.

Finalmente, aunque no se puede comprobar con este estudio, es posible que el combustible “diésel catalizado” tenga alguna actividad “limpiadora” sobre el motor, por lo

que debido a que las pruebas realizadas fueron de corta duración, no se haya alcanzado a comprobar su beneficio en la reducción de emisiones y de material particulado. Igualmente, la Tecnología del motor influye fuertemente

Finalmente, como conclusión general de las validaciones técnicas para el uso la Tecnología Green Plus en un motor de encendido por compresión Pre-Euro, se aprecian ligeras mejoras de combustión (ligeros aumentos en el CO<sub>2</sub>), lo cual se ve concordante con ligeras disminuciones en HC y en MP y las menores temperaturas de gases de salida

El CO no muestra cambios significativos, quizás se nota un muy pequeño cambio favorable, dado que se trata de valores tan pequeños, no siendo factible observar las variaciones, dado que están dentro de la precisión de la medición.

En el Anexo 4-13, se registra el detalle del experimento realizado por el Grupo de Manejo Eficiente de la Energía (GIMEL) de la Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia.

#### 4.8 RESULTADOS MODELACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD. APORTES AL PLAN DE DECONTAMINACIÓN DEL VALLE DEL ABURRÁ

El Modelo de salud BenMAP (Environmental Benefits Mapping And Analysis Program) permite estimar los beneficios en la salud de la población derivados de la disminución en la concentración de contaminantes en la atmósfera y asignar un valor económico a dichos beneficios. Esta herramienta integra la evaluación de los impactos en la salud, con sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), permitiendo así generar resultados gráficos de fácil interpretación. Dado que el BenMAP no es un modelo de calidad del aire, requiere que los datos de la línea base de la calidad del aire sean previamente cargados en el software, obtenidos ya sea por una red de monitoreo o generados por un software específico. Los beneficios en la salud son estimados a partir de funciones de impacto, obtenidas estas funciones en estudios desarrollados en Estados Unidos y Europa, por lo que es necesario realizar algunas consideraciones para usarlas en otras zonas, caso particular el Valle de Aburrá.

Para analizar los impactos en la salud de la población debidos al uso del Green Plus en los vehículos que circulan en el Valle de Aburrá, fueron analizados diferentes escenarios para identificar los beneficios asociados a la reducción de emisiones de  $PM_{2.5}$  debida al uso del catalizador en el área urbana del Valle de Aburrá, tomando el año 2016 como base para la recopilación y procesamiento de información relacionada con salud y calidad del aire. Las superficies de calidad del aire para todos los escenarios planteados, se generaron a partir de los datos de calidad del aire del año 2016 donde se usó la metodología de interpolación del monitor más cercano del modelo BenMAP. Una descripción más completa de la metodología, resultados y análisis de resultados de esta modelación, se presenta en el Anexo 4-15 y Anexo 4-15-1.

La información de población total de cada municipio del Valle de Aburrá en el año 2016, fue obtenida de la *Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020* realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Sin embargo, debido a que la zona de estudio comprende únicamente el área urbana de cada municipio, se asumió que la distribución porcentual etaria de la población total era igual para la población urbana, obteniendo así un archivo con los rangos de edades adaptados según las funciones seleccionadas para correr el modelo BenMAP. Una vez procesada esta información se procedió a calcular las tasas de incidencia para cada municipio para cada criterio de valoración (efecto en la salud); dividiendo el número de casos presentados en el año 2016 sobre el total de la población en cada rango de edades (Ver Tabla 4.22).

Tabla 4.22. Tasas de incidencia calculadas año 2016 en municipios del Valle de Aburrá

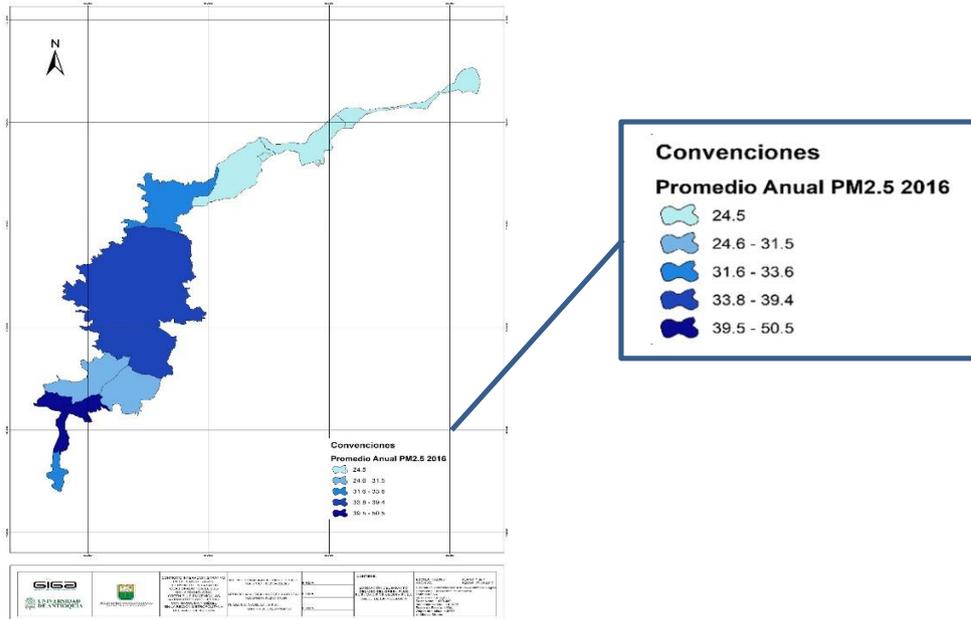
Municipio	Tasas de incidencia calculadas 2016			
	Mortalidad por todas las causas	Mortalidad por cáncer de pulmón	Mortalidad por enfermedad isquémica del corazón	Admisión Hospitalaria, por todas las causas respiratorias
Rango de edades	30-99	30-99	30-99	0-99
BARBOSA	0.0103210	0.0001894	0.0000000	0.0002561
GIRARDOTA	0.0063879	0.0002581	0.0000645	0.0000902
COPACABANA	0.0079103	0.0003596	0.0000300	0.0002255
BELLO	0.0077427	0.0003991	0.0000505	0.0002946
MEDELLIN	0.0082326	0.0003945	0.0000441	0.0001192
ITAGUI	0.0081318	0.0003522	0.0000400	0.0001814
ENVIGADO	0.0085666	0.0003488	0.0000255	0.0002636
SABANETA	0.0115047	0.0005380	0.0000828	0.0002384
LA ESTRELLA	0.0145559	0.0005731	0.0001146	0.0000832
CALDAS	0.0076176	0.0005529	0.0000307	0.0002251

Los datos relacionados con la ocurrencia de muertes o enfermedades ligadas con afectaciones respiratorias, cardiovasculares, entre otras asociadas con la exposición a concentraciones considerables de  $PM_{2.5}$  durante el año 2016 en los 10 municipios del Valle de Aburrá, se obtuvo de la Secretaría de Salud de Antioquia. Esta información todavía se encuentra limitada en esta entidad, por lo que las tasas de incidencia calculadas y los casos modelados con BenMAP fueron considerablemente pequeños en relación al análisis de mortalidad. Sin embargo, se realizó la modelación y se presenta un breve análisis de los resultados.

#### 4.8.1 Escenarios de modelación

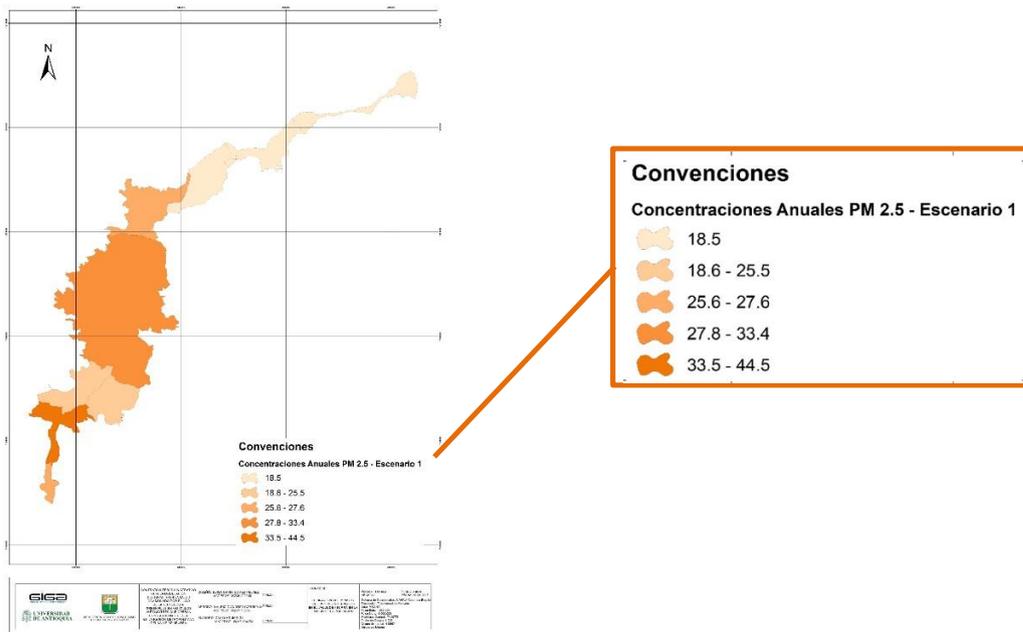
La información base de calidad del aire para todos los escenarios modelados, correspondió a los datos diarios de calidad del aire para  $PM_{2.5}$  medidos por las estaciones de monitoreo disponibles en el Valle de Aburrá para el año 2016, obteniendo los promedios anuales en  $\mu g/m^3$  para cada municipio como se presenta en la Figura 4.43.

Figura 4.43. Línea Base. Promedios anuales de  $PM_{2.5}$  en  $\mu g/m^3$



**Escenario 1. Línea Base:** En primer lugar, se modeló el escenario actual (año 2016) con las concentraciones de calidad del aire reportadas por las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, sustrayendo la concentración de fondo de  $6 \mu g/m^3$ , obteniendo así la superficie de calidad del aire para la estimación de la incidencia (casos de muertes y admisiones hospitalarias) relacionadas con la concentración del  $PM_{2.5}$  del área urbana del Valle de Aburrá (Ver Figura 4.44).

Figura 4.44. Superficie de calidad del aire Escenario 1. ( $PM_{2.5}$   $\mu g/m^3$ )



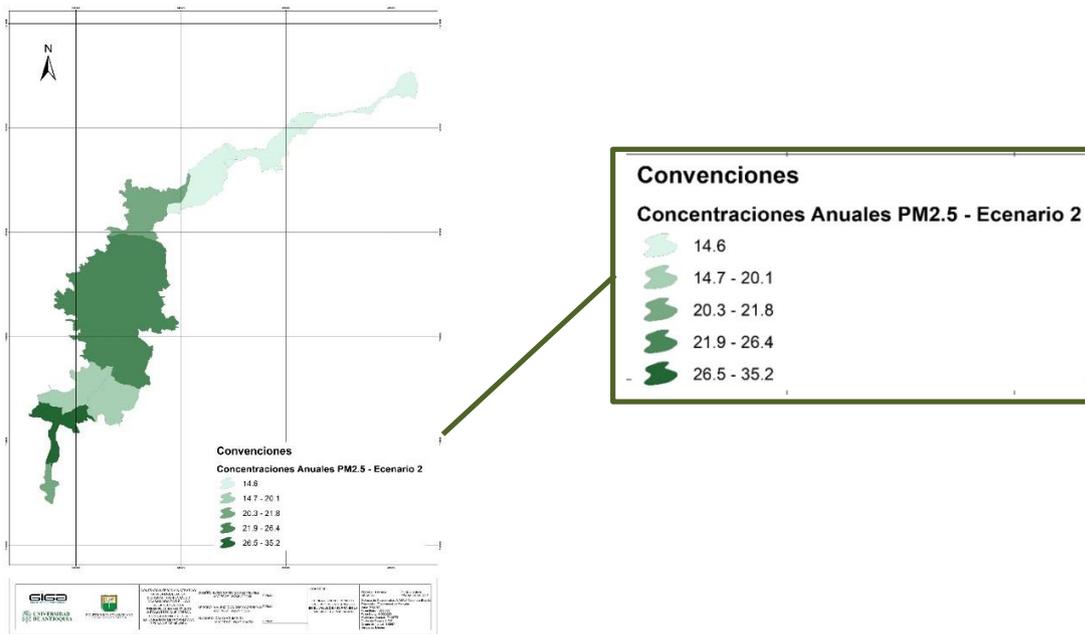
4.8.1.1 **Escenario 2. Línea Base:** En el escenario 2 se pretende mostrar la incidencia muertes y admisiones hospitalarias) asociadas al  $PM_{2.5}$  emitidos por las fuentes en el área urbana del Valle de Aburrá. Para generar la superficie de calidad del la cual BenMAP estima dicha incidencia, se calcularon los aportes en cada tipo de fuente (fija o móvil) substrayendo la concentración de fondo de 6 considerando los porcentajes de contribución analizados en el Plan Integral de la Calidad del Aire – PIGECA (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017) fijas, 21 % fuentes móviles), obteniendo los resultados de la

4.8.1.2

4.8.1.3

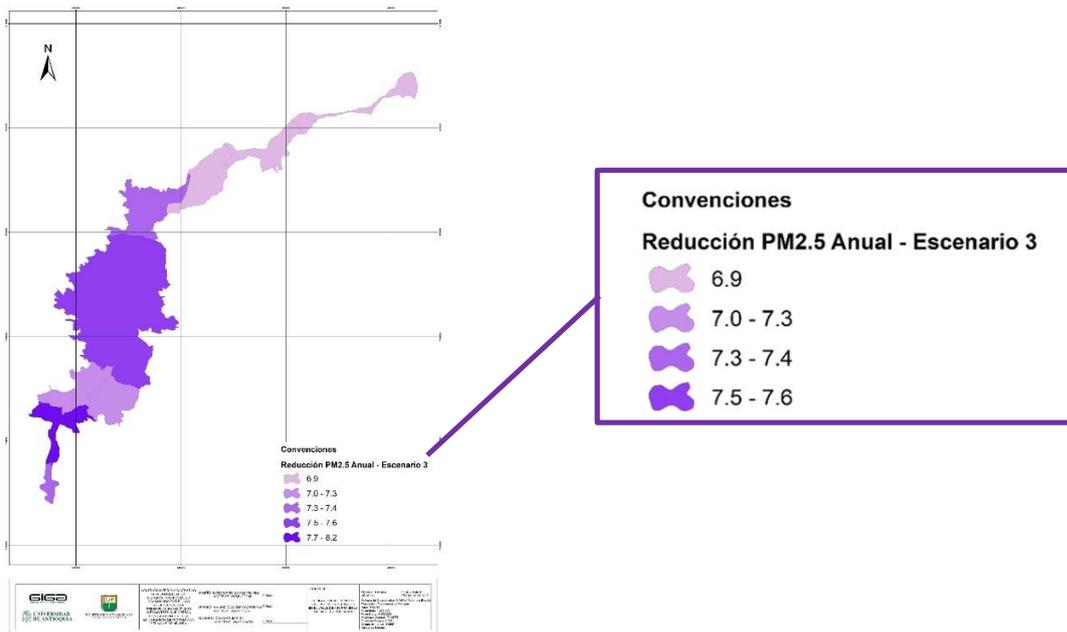
Figura 4.45.

Figura 4.45. Superficie de calidad del aire Escenario 2. ( $PM_{2.5} \mu g/m^3$ )



**Escenario 3 Reducción con Green Plus:** En el escenario 3 se plasmó la reducción de las emisiones debida al uso de la tecnología Green Plus en los vehículos que operan a gasolina y diésel en el Valle de Aburrá de 6.22% sobre las concentraciones actuales registradas en las estaciones de monitoreo del año 2016. Esta reducción fue calculada con base en los resultados de las evaluaciones vehiculares realizadas entre diciembre y mayo de 2017. Las superficies de evaluación fueron calculadas aplicando el porcentaje de reducción establecido al aporte de las fuentes móviles y sumando el aporte de las fuentes fijas en cada estación de monitoreo. La Figura 4.46 presenta la reducción en concentración ( $\mu g/m^3$ ) en cada una de las estaciones de calidad del aire debida al uso del Green Plus que, en términos de modelación dentro del software, es llamada superficie de control.

Figura 4.46. Reducciones generadas por GreenPlus. Escenario 3. ( $PM_{2.5}$   $\mu g/m^3$ )



La Tabla 4.23 presenta las concentraciones promedio anuales de  $PM_{2.5}$  calculadas para cada municipio luego de ingresar al modelo BenMAP el porcentaje de reducción establecido por el uso del catalizador Green Plus. Sobre los valores de la última columna fueron calculados los números de casos de este escenario.

Tabla 4.23. Concentraciones promedio anuales de  $PM_{2.5}$  con el modelo BenMap. Escenarios 1 y 3.

Municipio	Promedio anual $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )	
	Escenario 1	Escenario 3
Barbosa	18.49587	17.58702
Girardota	18.49587	17.58702
Copacabana	18.49587	17.58702
Bello	27.21321	25.87601

Municipio	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Escenario 1	Escenario 3
Medellín	33.38365	31.74324
Itagüí	23.53395	22.37754
Envigado	25.51198	24.25837
Sabaneta	44.52225	42.33452
La Estrella	44.52225	42.33452
Caldas	27.64943	26.29079

#### 4.8.2 Análisis y resultados

##### Escenario 1. Línea Base

Los resultados del Escenario 1 teniendo en cuenta los casos reales de muertes en el Valle de Aburrá para el año 2016, asociados a enfermedades relacionadas con la presencia de PM<sub>2.5</sub> ambiental, permiten observar que, de las 16.899 muertes en la región por todas las causas, entre 2.801 y 6.210 muertes promedio (valores promedio de cada función de impacto disponibles) estuvieron asociadas a la presencia del PM<sub>2.5</sub> en el aire (entre el 16.57 % y el 36.75 %). Para las muertes asociadas a cáncer de pulmón se encontró que, de los 803 casos presentados, entre 156 y 366 casos están asociados a PM<sub>2.5</sub> (es decir entre el 19.43 % y el 45.58%). En cuanto a los casos de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón se encontró que, de los 90 casos presentados en el año 2016, entre 39 y 49 están asociados a las condiciones de calidad del aire por PM<sub>2.5</sub> en el área urbana del Valle de Aburrá, es decir, entre el 43.33 % y el 54 % del total de los casos.

##### Escenario 2. Línea Base

Los casos estimados de mortalidad en el Valle de Aburrá para el escenario 2, es decir, casos asociados a las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, considerando únicamente las emisiones por fuentes móviles, permiten observar que de las 16.899 muertes que se presentaron en todos los municipios del Valle de Aburrá durante el año 2016 por todas las causas, entre 2.260 y 5.150 muertes promedio (valor promedio máximo entre las 3 funciones de mortalidad disponibles) estuvieron asociadas a la presencia del PM<sub>2.5</sub> considerando únicamente las emisiones por fuentes móviles (es decir entre el 13.37 % y el 30.24 %). Para las muertes asociadas a cáncer de pulmón se encontró que, de los 803 casos presentados, entre 126 y 221 casos están asociados al PM<sub>2.5</sub> emitido por las fuentes móviles (es decir entre el 15.69 % y el 27.52 %). En cuanto a los casos de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón se encontró que, de los 90 casos presentados en el año 2016, entre 33 y 37 están asociados al PM<sub>2.5</sub> emitido por las fuentes móviles en el área urbana del Valle de Aburrá, es decir, entre el 36.67 % y el 41.11 % del total de los casos.

Los resultados obtenidos para el escenario 2 evidencian también que las asociaciones promedio de las diferentes causas de mortalidad con el PM<sub>2.5</sub> emitido por las fuentes

móviles están siempre por encima del 8.21 % en relación a los casos reales. El mayor porcentaje de casos asociados a contaminación atmosférica generada por fuentes móviles fue la encontrada para los casos de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón en la ciudad de Sabaneta (52.97 % en promedio).

Al igual que lo ocurrido en el escenario 1, entre las funciones de mortalidad por todas las causas, la que arroja mayor número de casos asociados a PM<sub>2.5</sub> emitido por fuentes móviles es la planteada por Laden et al, la cual estimó un valor promedio para toda el área metropolitana del Valle de Aburrá de 5.150 (Percentil 5: 3037 y Percentil 95: 7.024).

La variabilidad de los datos es considerable, se encontraron mayores valores de desviación estándar para los municipios con mayor número de casos reales, como el caso de Medellín y Bello.

### Escenario 3. Reducción

Los resultados de la modelación arrojan que de las 16.899 muertes que se presentaron en todos los municipios del Valle de Aburrá durante el año 2016 por todas las causas, entre 2.677 y 5.972 muertes promedio (valor promedio máximo entre las 3 funciones de mortalidad disponibles) estuvieron asociadas a la presencia del PM<sub>2.5</sub> luego del uso de la Tecnología Green Plus (es decir entre el 15.84% y el 35.34%). Para las muertes asociadas a cáncer de pulmón se encontró que, de los 803 casos presentados, entre 149 y 352 casos están asociados al PM<sub>2.5</sub> luego del uso del Green Plus (es decir entre el 18.56 % y el 43.83 %). En cuanto a los casos de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón se encontró que, de los 90 casos presentados en el año 2016, entre 38 y 43 están asociados al PM<sub>2.5</sub> luego del uso del GreenPlus en el Valle de Aburrá, es decir, entre el 42.22 % y el 47.87% del total de los casos.

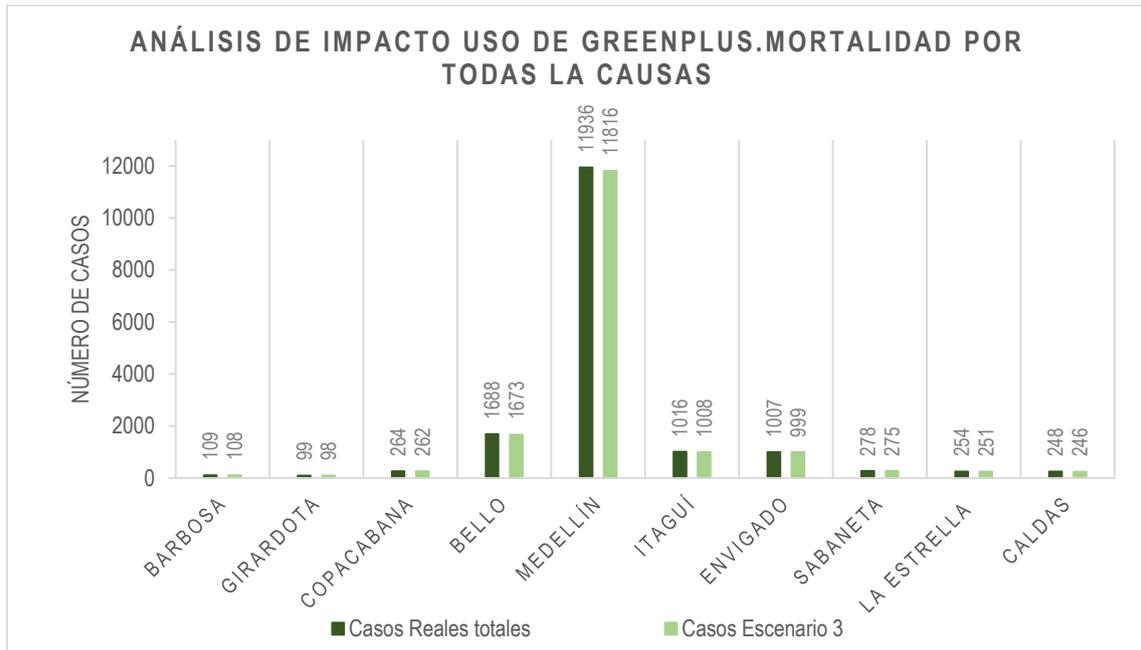
En la Tabla 4.24 se comparan los resultados de muertes en cada uno de los 3 escenarios descritos. Cabe aclarar que el escenario comparable con el del uso de la Tecnología Green Plus (Escenario 3) es el Escenario1.

Tabla 4.24. Comparación de resultados escenarios 1, 2 y 3

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Muertes reales en el Valle de Aburrá en 2016 por todas las causas	16.899	16.899	16.899
Muertes asociadas a la presencia del PM <sub>2.5</sub> en el aire	2801 a 6210	2260 a 5150	2677 a 5972
muertes asociadas a cáncer de pulmón, 2016	803	803	803
Muertes por cáncer de pulmón por PM <sub>2.5</sub>	156 a 366	126 a 221	149 a 352
Muertes por enfermedad isquémica del corazón, 2016	90	90	90
Muertes por enfermedad isquémica del corazón asociadas a PM <sub>2.5</sub>	39 a 49	33 a 37	38 a 43

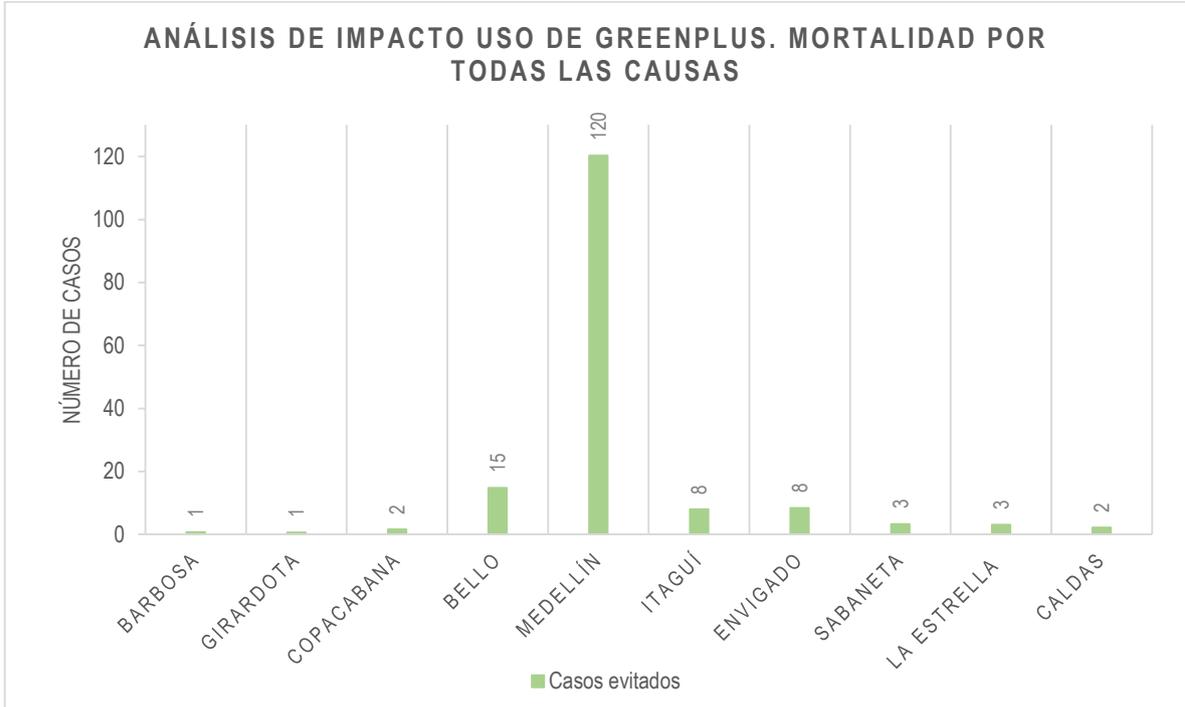
Figura 4.47 presenta el análisis comparativo de los casos totales de muertes por todas las causas presentados en el área urbana de cada municipio del Valle de Aburrá en el año 2016 y los casos que se tendría en esas zonas de estudio luego del uso del Green Plus.

Figura 4.47. Análisis comparativo casos reales 2016 vs casos Escenario 3. Mortalidad por todas las causas



Para analizar el impacto de la reducción del 6.22 % en las concentraciones de calidad del aire por PM<sub>2.5</sub>, generada por el uso de la tecnología Green Plus, en la salud de la población de los 10 municipios, se presenta en la Figura 4.48 los casos de mortalidad por todas las causas que se evitarían en este escenario (escenario 3).

Figura 4.48. Casos evitados en el escenario 3. Mortalidad por todas las causas



Cómo era de esperarse, debido a la población total, número de casos presentados en 2016 y tamaño de la flota vehicular, el municipio con mayor beneficio por el uso de la Tecnología Green Plus, sería Medellín con un total de 120 casos, seguido por Bello, Itagüí y Envigado, Sabaneta, La estrella, Caldas, Barbosa y Girardota. En total, en el área urbana del Valle de Aburrá, se evitarían 163 muertes por todas las causas, lo que representa aproximadamente una reducción del 4.13% del total de muertes asociadas a PM<sub>2.5</sub> que arrojó el escenario 1 (el cual arrojó 3.946 casos asociados a PM<sub>2.5</sub>).

## 5 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del análisis del combustible se demostró que el tipo de combustible Biodiésel (B10) utilizado en el Valle de Aburrá, una vez catalizado con la Tecnología Green Plus en una concentración de 20 ppm, no cambia en sus propiedades de manera significativa y se cumplen los parámetros exigidos en la normatividad de Colombia.

En general se aprecia menor contenido de azufre (un 4,8 % menos), un aumento del 1,5 % en el calor de combustión, siendo favorable para una mejor combustión y un mayor rendimiento energético. El índice de Cetanos permanece constante teniendo en cuenta la incertidumbre del método, significando que en el uso del combustible tratado no se presentará retraso en el inicio de combustión con las consecuencias favorables en el Piloto en cuestión.

Los resultados de cambio de rendimiento en vehículos diésel muestran globalmente una reducción a los 90 días de consumo de diésel catalizado con Green Plus del 6.8 % para toda la flota, y para el 72 % de la muestra que presentó mejora, la reducción fue del 11.8%

Entre los vehículos diésel, el incremento de rendimiento desde el día 1 hasta el día 90 de uso de diésel catalizado con la Tecnología Green Plus fue 7,1% validando desde todo punto de análisis la hipótesis de incremento de rendimiento en al menos 5% en vehículos diésel.

El uso de diésel catalizado arroja mayores incrementos de rendimiento entre los vehículos nuevos (con hasta 4 años de uso), y comportamientos similares, aunque siempre de mejora, entre los vehículos seminuevos (5 a 8 años de uso) y viejos (9 años de uso en adelante).

Las reducciones de concentración de CO fueron consistentes durante todo el estudio en los dos modos de rpm en motores diésel con el combustible con la Tecnología GREEN PLUS. Las reducciones de CO en vehículos diésel, rpm ralentí, fueron de 66,7% a 90 días de uso del Tecnología. En rpm crucero fueron de 26,7% para este mismo periodo.

Las concentraciones de NO<sub>x</sub> fueron medidas solo en vehículos diésel, tanto en ralentí como en crucero. Las reducciones de concentración a 90 días de uso de este combustible con Green Plus mostraron una mejora global en ralentí de 2,4% y 5,5% en crucero. Las reducciones estuvieron presentes en la mayoría de los vehículos analizados (63% en ralentí y 58% en crucero) con reducciones entre los vehículos con mejora de 15,8%

En cuanto a la opacidad el comportamiento durante el piloto es variable, y de acuerdo con los resultados. Se presenta disminución promedio global de 0.74%, mientras que para el 60% de los vehículos que presentaron reducción, una mejora del 7.9 % es obtenida como la media de los datos. Este hallazgo, aun así, es positivo para la región, dado que para más del 50 % de los vehículos diésel, se esperaba reducción de opacidad del 7.9 %, en caso de usar el diésel catalizado con la Tecnología Green Plus.

La reducción de material particulado PST, fue asociada como disminución en PM<sub>2.5</sub>, de acuerdo con otros estudios similares (Lopez ; V Gabriel y Estrada ; F Abraham s.f.) en los

cuales se ha demostrado que el tamaño de partícula emitida por los motores diésel en general, se encuentra en un rango menor a 0,1 micras (menor a 2.5 micras).

El Piloto arrojó para el  $PM_{2.5}$ , reducciones hasta del 30.7 % para toda la muestra estudiada con referencia a la línea base, sin Green Plus y 90 días con Green Plus y un comportamiento diferencial para el 79 % de la flota que alcanzó un 54.2 % de disminución en masa como efecto de la mejora de combustión.

Las reducciones de material particulado emitidos por los vehículos diésel en su mayor rango,  $PM_{2.5}$ , son un importante resultado como aporte a las soluciones requeridas para disminuir las condiciones actuales declaradas en calidad del aire en el Valle de Aburrá con referencia a este contaminante criterio, el cual supera con frecuencia, los niveles de calidad del aire establecidos en la Resolución 610 de 2010 de Colombia. Igualmente, teniendo como referente, el inventario de emisiones  $PM_{2.5}$  de 1508 Ton/año, según balance (AMVA 2015) para los vehículos diésel, son importantes los efectos benéficos en la salud esperados por la reducción en las emisiones diésel principalmente.

La estimación de la relación entre la emisión específica de PST (kg/kg diésel) y el flujo de combustible diésel durante la prueba, permitió verificar como las menores emisiones con el uso de la Tecnología Green Plus.

Los rendimientos en los vehículos a gasolina reflejan un comportamiento variable en los diferentes tiempos, con incrementos de rendimiento que no fueron sostenidos en todos los casos. Sin embargo, el cambio respecto a la línea base (LB), promedio para los vehículos a gasolina, es positivo en los diferentes momentos del estudio (D30, D60 y D90). En promedio se obtiene un incremento del 3.5% a los 30 días de consumo de Green Plus. En este periodo el 70% de los vehículos mejoraron del 7.2%. A los 90 días de consumo de la gasolina con la Tecnología Green Plus el rendimiento aumentó en un 3.6 %, para toda la flota y en 5.1%, para el 82 % en el caso de los que presentaron mejora.

A diferencia de los resultados en el piloto diésel, al analizar el cambio rendimiento de los vehículos gasolina catalizada con la Tecnología Green Plus, según la edad vehicular, los vehículos viejos (modelos 2005 a 2008) tuvieron mejor respuesta frente al uso de la Tecnología. Los seminuevos (modelos 2009 a 2012) tuvieron mejora de rendimiento sostenido en el tiempo, con menor intensidad que la lograda por los vehículos viejos.

La concentración de CO emitido en los vehículos a gasolina, tanto en condiciones de ralentí y crucero, resultaron tener reducción de concentración a los 90 días de consumo de combustible en condición vehicular de ralentí para los 30 días de consumo de la Tecnología tuvo un aumento promedio del 24% para los 20 vehículos, Para los 90 días de rodamiento el 95% de los vehículos analizados presentaron una reducción de 55.8%, es decir, la mayoría de los vehículos reducen su concentración de CO en los gases de escape incluso desde el primer mes de consumo de la Tecnología Green Plus. El resultado de mejora se confirma con las mediciones a los 90 días de consumo de Green Plus con una reducción para toda la flota de 58.4% y 26% en velocidades ralentí y crucero respectivamente.

Los resultados de evaluación de reducción en la concentración de hidrocarburos (HC) son positivos con una reducción globales del 24,9% para toda la flota en ralentí y en crucero,

encontrando resultados para el 85 % de la muestra que presentó mejora, se obtiene una reducción 71.4 %.

El material particulado PST, fracción  $PM_{2.5}$ , generado en motores de gasolina, se obtuvo una reducción en el 36 % de la flota que presentó mejora, siendo considerablemente menor con respecto a la reducción de las emisiones particuladas diésel, lo cual está explicado parcialmente por las diferencias en la relación aire combustible de ambas combustiones.

El análisis de la Caracterización de las partículas diésel con y sin la Tecnología Green Plus, permite observar la mayor composición en términos de carbono (C), tanto para el combustible diésel sin catalizar como catalizado, en ambos casos mayor al 80 %. Es evidente la reducción del contenido de carbono en la partícula procedente de la combustión con el diésel catalizado con el GREEN PLUS. La reducción de carbono promedio fue del 6 % en las muestras estudiadas para los momentos LB y 90 días.

Dado a que este contenido de carbono se encuentra en forma de la fracción fragmental EC o Black carbón BC y como carbono orgánico OC, esta reducción es importante como indicador de la combustión más eficiente y como aportante a la disminución de la cantidad de materia carbonacea emitida y la cual, para el caso del Valle de Aburrá, hace parte en promedio del 48 % del  $PM_{2.5}$  ambiental respirable en la región (AMVA, Convenio CA 315, 2014).

El BC ha sido estudiado y asociado con efectos cancerígenos en la salud de acuerdo con reportes de la OMS desde el 2012, siendo por lo tanto de alto beneficio la reducción en materia orgánica o carbonacea derivada de la Tecnología molecular Green Plus aplicada al diésel, teniendo en cuenta que este componente igualmente, conforma en promedio el 28 % de la masa  $PM_{2.5}$  ambiental (AMVA, Convenio CA 315, 2014).

Los análisis químicos de los componentes elementales en ambos grupos de muestras, hacen parte en promedio del 10 % de la masa de las partículas diésel, expresados como Al, Ca, Na, y enfatizando en los componentes mayoritarios de la matriz del filtro como blanco (Si y O). Se halla un aumento en el contenido de estos elementos con relación a las muestras del diésel catalizado, atribuibles a la molecula del Green Plus y aceites lubricantes. Estos componentes no tienen naturaleza tóxica y por ende no representan riesgos cancerígenos para las personas.

Es importante hacer notar que en las muestras de diésel con Green Plus comparado con la partícula de la LB, no hay aportes de nuevos elementos, en especial de carácter tóxico como Ti, Bi entre otros, lo cual es importante tanto para la salud de la población como para la integridad de los componentes del automotor.

La caracterización química realizada a las muestras tomadas bajo las condiciones de diseño del piloto, identificaron componentes elementales en ambos grupos de muestras, en promedio del 10 % de la masa de las partículas diésel, expresados como Al, Ca, Na, y enfatizando en los componentes mayoritarios de la matriz del filtro como blanco (Si y O).

Para las partículas tanto de diésel como de gasolina con la Tecnología Molecular, se halla un aumento en el contenido de estos elementos con relación a las muestras del diésel catalizado, atribuibles a la molecula del Green Plus y aceites lubricantes. Estos

componentes no tienen naturaleza tóxica y por ende no representan riesgos cancerígenos para las personas.

Es importante hacer notar que en las muestras de diésel y gasolina con Green Plus comparado con la partícula de la LB, no hay aportes de nuevos elementos, en especial de carácter tóxico como Ti, Bi entre otros, lo cual es importante tanto para la salud de la población como para la integridad de los componentes del automotor.

Para comprender la presencia de material orgánico en las partículas emitidas en la combustión diésel y gasolina, tanto en LB y 90 días con Green Plus), se evaluaron las mayores pérdidas de masa (LB-90 días) expresadas en %, para cada límite de temperatura de calcinación. De manera comparativa, se puede confirmar que hay un mayor contenido orgánico en las muestras PST, asociadas al  $PM_{2.5}$ , en el diésel que en las de gasolina, propiedad acorde con los mayores valores de carbono en la caracterización SEM-EDS. A su vez, este contenido es menor en las particulares emitidas en la combustión del diésel catalizado contribuyendo a la disminución del carbono negro o Black Carbón, contenido en esta fracción, evaluada en un 28.7 % en promedio.

El análisis de la caracterización de las partículas emitidas en la combustión de gasolina con y sin la Tecnología Green Plus, permite observar la reducción del contenido de carbono en la partícula procedente de la combustión de la gasolina catalizada. La reducción de carbono promedio fue del 24%, con valores entre 1.2 % y 42.1 % en las muestras estudiadas para los momentos LB y 90 días. Dado que en este contenido de carbono se encuentra la fracción fragmental EC (Elemental Carbon) o BC (Black carbón), tomando como base las condiciones de consumo del vehículo, la fracción EC presenta una reducción en el 100% de la muestra.

Los resultados de las pruebas de calcinación, permiten explicar para el ensayo con gasolina, la mayor masa en los filtros después de los 90 días de consumo de la combustible con Green Plus, dado que un aumentó en el material fijo no evaporado en las muestras, permite inferir la presencia de inorgánicos en las partículas de combustión. Este aporte puede ser aportado parcialmente por el catalizador y otra fracción por aceites y lubricantes, siendo según la caracterización química, principalmente de Al, Na, Ca y algo de Mg que apareció en una de las muestras. Estos componentes no tienen naturaleza tóxica y por ende no representan riesgos cancerígenos para las personas.

Un balance de masa para la validación de las concentraciones medidas en el experimento fue realizado a partir de las mediciones de concentraciones de gases y de material particulado, teniendo especial cuidado en llevar a cabo mediciones simultáneas de flujos, humedades y temperaturas en la salida de los gases de escape de los distintos vehículos estudiados. Así, fue posible establecer balances de masa para las cuatro situaciones estudiadas: línea base en condiciones ralenti y crucero estático y con el uso la Tecnología molecular Green Plus (GP) en las mismas condiciones. Estos balances permitieron tener una aproximación a las emisiones específicas de  $CO_2$ , CO y PST, y los flujos de combustibles y de inquemados en la combustión bajo las condiciones de las pruebas estáticas realizadas Se encontró muy buena consistencia entre las concentraciones medidas y los balances de masa, validando que los resultados con el combustible diésel de manera concluyentes en cuanto a las mejoras al utilizar la Tecnología en el caso diésel.

En cuanto al aporte a la meta de la COP 21, planteado tanto para el modelo LEAP como para el modelo COPERT, se encontraron resultados similares, enfatizando en éste último como con el uso de la Tecnología GREEN PLUS el parque automotor se dejarían de emitir a la atmosfera 3´475.728 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq entre 2016 y 2030, correspondientes a los gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), lo que equivale a una reducción promedio anual de GEI de 5.1%.

De manera generalizada en modelo LEAP, demuestra como el uso de la Tecnología GREEN PLUS, adicionada a la gasolina y el diésel en el Valle de Aburrá, entre el 2018 y 2030, ahorraría el uso de 42.223 TJ equivalentes a 133,5 millones de galones de gasolina y 181,1 millones de galones de diésel. Además, en el mismo periodo se evitaría la emisión de 3.015.014 toneladas de CO<sub>2</sub> y 281 toneladas de SO<sub>2</sub>.

El uso de la Tecnología Green Plus en el diésel y la gasolina consumido en el Valle de Aburrá, aportaría en 0,4%, 0,29 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq. a la meta de Colombia de 67 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq en el año 2030.

Un balance de masa y energía para las condiciones del experimento permitió evaluar una disminución de 0.559 Kg CO<sub>2</sub>/gal de diesel y de 0.242 CO<sub>2</sub>/gal de gasolina, cifras determinantes para la actual política de compensación por emisiones verdes.

El grupo de investigación GHYGAM, como parte complementaria al Piloto de estimación de emisiones, asociadas a la Tecnología molecular Green Plus, decidió realizar en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Universidad de Antioquia, un experimento adicional de comparación del desempeño mecánico, principales parámetros de combustión.

Los ensayos se realizaron en un motor pre-Euro Isuzu 4JA1 turboalimentado, inyección directa con 2.5 litros de cilindrada, debidamente instrumentado. El motor estaba acoplado a un freno dinamométrico de corrientes de Eddy (Schenck E90), operado con los dos combustibles, en los mismos tres modos estacionarios representativo de conducción en ciudad a baja carga ciudad con media carga) y -, representativo de conducción en carretera con alta carga), concluyéndose que el proceso de combustión no se vio alterado por el uso de “diésel catalizado” frente al “diésel”, garantizando que no hay daños en el motor por el uso de ambos combustibles, incluyendo el “diésel catalizado”.

Como conclusión general de las validaciones técnicas para el uso la Tecnología GREEN PLUS en un motor de encendido por compresión Pre-Euro, se aprecian ligeras mejoras de combustión (ligeros aumentos en el CO<sub>2</sub>), lo cual se ve concordante con ligeras disminuciones en HC y en MP y las menores temperaturas de gases de salida.

Aunque no se puede comprobar con este experimento de corta duración promedio dos (2) horas, en comparación con las mediciones del piloto en campo de 90 días de consumo de los combustibles, es posible que el combustible “diésel catalizado” tenga alguna actividad “limpiadora” sobre el motor, por lo que debido a que, no se haya alcanzado a comprobar su beneficio en la reducción de emisiones y de material particulado. Igualmente, la Tecnología del motor influye fuertemente.

En conclusión, final, los resultados del Piloto “Estimación de la eficiencia energética y la reducción de emisiones como resultado de la aplicación del Tecnología Green Plus en la gasolina utilizada en el Valle de Aburrá”, muestran considerables reducciones en las

concentraciones PST asociado al  $PM_{2.5}$ , CO y HC. Así mismo, el aumento en el rendimiento del combustible representa no solo un ahorro económico, sino importantes emisiones no generadas en  $CO_2$ , validando la hipótesis planteada de mejora de rendimiento y reducción de contaminantes producto de la utilización de la Tecnología molecular Green Plus en vehículos a gasolina en el Valle de Aburrá.

La reducción de material particulado total en vehículos diésel se evidenció durante todo el estudio en la mayoría de los vehículos analizados. Cabe resaltar que esta reducción también significa una disminución proporcional de  $PM_{2.5}$ , partículas de gran impacto en la salud de los habitantes del Valle de Aburrá. Es fundamental la reducción en el contenido de carbono, el cual se encuentra parcialmente como BC, de alto riesgo por su naturaleza cancerígena.

El uso de la Tecnología Green Plus en el diésel y la gasolina consumido en el Valle de Aburrá, aportaría en 0,4%, 0,29 millones de toneladas de  $CO_2$ -eq. a la meta de Colombia de 67 millones de toneladas de  $CO_2$ -eq en el año 2030.

Respecto al impacto en la salud, en relación al uso del Catalizador Green Plus en los vehículos que operan a gasolina y Diesel en el Valle de Aburrá se observó que, para el escenario 3 con una reducción en las concentraciones de  $PM_{2.5}$  en el aire de 6.22%, el municipio con mayor beneficio en términos de mortalidad por todas las causas, sería Medellín con un total de 120 casos, seguido por Bello, Itagüí y Envigado, Sabaneta, La estrella, Caldas, Barbosa y Girardota. En total, en el área urbana del Valle de Aburrá, se evitarían 163 muertes por todas las causas, lo que representa aproximadamente una reducción del 4.13% del total de muertes asociadas a  $PM_{2.5}$  que arrojó el escenario 1 (el cual arrojó 3.946 casos asociados a  $PM_{2.5}$ ).

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M., & Finn, E. (1967). *Fundamental university physics*. (D. Lazarus, Ed.) Washington D.C., Estados Unidos: Addison Wesley.
- Álvarez Romero, L. J. (2003). Evaluación de los costos de aplicación de tecnologías de control de emisiones de material particulado en fuentes fijas, para los sectores industriales más representativos de Bogotá. Universidad de la Salle.
- AMVA-CAI. (2017). *Proyecto para implementar los instrumentos de gestión formulados para el mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de Aburrá y hacer seguimiento y evaluación a su efectividad*. Convenio 529 de 2011, Acta 5. Medellín.
- AMVA-UPB. (2010). *Plan de descontaminación para la región metropolitana del Valle de Aburrá*. Convenio 256 de 2008. Medellín.
- AMVA-UPB. (2010). *Plan de descontaminación del aire en la región metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín: Convenio 543 de 2008.
- AMVA-UPB. (2010). *Optimización del inventario de emisiones atmosféricas*. Convenio 543 de 2008. Medellín.
- AMVA-UPB. (2013). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011*. Convenio 243 de 2012. Medellín.
- AMVA-UPB. (2013). *Servicio de alimentación de las cuencas 3 y 6 del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA): análisis del impacto en la emisión de contaminantes atmosféricos*. Convenio 256 de 2013. Medellín.
- AMVA-UPB. (2013). *Servicio de alimentación de las Cuencas 3 y 6 del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA): análisis del impacto en la emisión de contaminantes atmosféricos*. Convenio 256 de 2013. Medellín.
- AMVA-UPB. (2014). *Evaluación de emisiones atmosféricas en las cuencas 2, 3, 6, 8 y circulares, en jurisdicción del sistema Transporte Público de Medellín (TPM)*. Convenio 315 de 2014. Medellín.
- AMVA-UPB. (2014). *Clasificación Estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire*. Medellín.
- AMVA-UPB. (2016). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013*. Convenio 315 de 2014. Medellín.
- AMVA-UPB. (2017). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2015*. Convenio 335 de 2016. Medellín.
- AMVA-CAI. (2017). *Proyecto para implementar los instrumentos de gestión formulados para el mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de Aburrá y hacer seguimiento y evaluación a su efectividad*. Convenio 529 de 2011, Acta 5. Medellín.
- AMVA-UPB. (2010). *Plan de descontaminación para la región metropolitana del Valle de Aburrá*. Convenio 256 de 2008. Medellín.

- AMVA-UPB. (2013). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011*. Convenio 243 de 2012. Medellín.
- AMVA-UPB. (2013). *Servicio de alimentación de las cuencas 3 y 6 del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA): análisis del impacto en la emisión de contaminantes atmosféricos*. Convenio 256 de 2013. Medellín.
- AMVA-UPB. (2013). *Servicio de alimentación de las Cuencas 3 y 6 del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA): análisis del impacto en la emisión de contaminantes atmosféricos*. Convenio 256 de 2013. Medellín.
- AMVA-UPB. (2014). *Evaluación de emisiones atmosféricas en las cuencas 2, 3, 6, 8 y circulares, en jurisdicción del sistema Transporte Público de Medellín (TPM)*. Convenio 315 de 2014. Medellín.
- AMVA-UPB. (2016). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013*. Convenio 315 de 2014. Medellín.
- AMVA-UPB. (2017). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2015*. Convenio 335 de 2016. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2010). *Evaluación de los niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas del Valle de Aburrá*. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2010). *Plan de descontaminación del aire en la región metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín: Convenio 543 de 2008.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2010). *Optimización del inventario de emisiones atmosféricas*. Convenio 543 de 2008. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2013). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011*. Convenio 243 de 2012. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2010). *POECA*. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017). *Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire - PIGECA*. Medellín.
- Ates, S. (2015). Energy efficiency and CO2 mitigation potential of the turkish iron and steel industry using LEAP system. *Energy*, 417-428.
- Audacity. (2016, 05 15). *Audacity*. Retrieved from Audacity: <http://www.audacityteam.org/>
- Audi. (2013, Septiembre 9). *SlideShare*. Retrieved Octubre 12, 2016, from Emisiones de gases de escape de vehículos: <https://es.slideshare.net/estebankagelmacher/gases-y-normas>.
- Autonoción*. (2015, Abril 21). Retrieved Mayo 4, 2017, from Los inyectores: Cómo funcionan y cómo mantenerlos adecuadamente: <https://www.autonocion.com/mantenimiento-inyectores-funcionamiento/>
- Ballesteros Doncel, E. (2012). Estadística descriptiva: Una herramienta de análisis en la investigación social. Retrieved from <http://eprints.ucm.es/15707/1/eprint.pdf>.

- Beer, F. P., Johnston, E. R., Clausen, W. E., & Staab, G. H. (2004). *Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica*. (7 ed.). (S. C. Peláez, Ed., & G. N. Cazares, Trans.) México: McGraw-Hill.
- Benavides Ballesteros, H. o., & León Aristizábal, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de meteorología.
- Bermúdez, V., & Tormos, B. (2011). Pérdidas mecánicas. In F. Payri, & J. M. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 152-172). Barcelona, España: Reverté.
- Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H., & Cifuentes, L. A. (2006). The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and Mexico City. *Environmental Research*, 100(3), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.08.002>
- Blanes-Vidal, V., Cantuarria, M. L., & Nadimi, E. S. (2017). A novel approach for exposure assessment in air pollution epidemiological studies using neuro-fuzzy inference systems: Comparison of exposure estimates and exposure-health associations. *Environmental Research*, 154, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.028>
- Bocarejo, J. P., Acevedo, J., Echeverry, J. C., Lleras, G., Ospina, G., & Rodríguez, Á. (2009). *El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040*. Bogotá: Universidad del los Andes.
- Bolivariana, U. P. (2015). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013*. Medellín.
- Brauer, M., Amann, M., Burnett, R. T., Cohen, A., Dentener, F., Ezzati, M., ... Thurston, G. D. (2012). Exposure Assessment for Estimation of the Global Burden of Disease Attributable to Outdoor Air Pollution. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 652–660. <https://doi.org/10.1021/es2025752>
- Burnett, R., Ma, R., Jerrett, M., Goldberg, M. S., Cakmak, S., Pope III, C. A., & Krewski, D. (2001). The Spatial Association between Community Air Pollution and Mortality: A New Method of Analyzing Correlated Geographic Cohort Data. *Environmental Health Perspectives*, 109(3). Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240554/pdf/ehp109s-000375.pdf>
- Burnett, R. T., Pope, C. A., Ezzati, M., Olives, C., Lim, S. S., Mehta, S., ... Cohen, A. (2014). An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environmental Health Perspectives*, 122(4), 397–403. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307049>
- C. Arden Pope III, P., Richard T. Burnett, P., Michael J. Thun, M., & al, e. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *The JAMA Network*, 10.
- Cao, J., Yang, C., Li, J., Chen, R., Chen, B., Gu, D., & Kan, H. (2011). Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: A cohort study. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1594–1600. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.036>
- Carsam, S. (2010). *Biofriendly Corporation*. Recuperado el 20 de 10 de 2016, de Biofriendly Corporation: <http://www.biofriendly.com/testing/>

- Castillo, J. J. (2017). Uso del modelo BenMAP en la evaluación de beneficios en salud y su valoración económica en el plan de descontaminación del aire del Valle de Aburrá. Medellín.
- Cazau, P. (2006). Fundamentos de Estadística. Buenos Aires.
- Chávez, P. (2004). *Medición de emisiones gaseosas*. Ecuador.
- Chen, X., Shao, S., Tian, Z., Xie, Z., & Yin, P. (2017). Impacts of air pollution and its spatial spillover effect on public health based on China's big data sample. *Journal of Cleaner Production*, 142, 915–925. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.119>
- Conceição, G. M. de S., Saldiva, P. H. N., & Singer, J. da M. (2001). Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 4(3), 206–219.
- Clean Air Institute - Universidad Pontificia Bolivariana. (2013). *Proyecto piloto del estándar de cuantificación de políticas y acciones. Estudio de caso: plan de descontaminación del aire en la región metropolitana del Valle de Aburrá*. Washington D.C.
- Company., H. M. (2002, 01 01). Manual del Fabricante Hyundai Accent Verna. *Manual del Fabricante Hyundai Accent Verna*. Korea, Korea, Korea: Korea.
- Davidson, K., Hallberg, A., McCubbin, D., & Hubbell, B. (2007). Analysis of PM2.5 Using the Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP). *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 70(3–4), 332–346. <https://doi.org/10.1080/15287390600884982>
- Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N., & Bart, M. (2005). Development and application of an international vehicle emissions model. *Transportation Research Board 81st Annual Meeting*. Washington, D.C.
- Diesel, D. (2003). *Detroit Dynamometer Results*. Los Angeles, California.
- Environmental Protection Agency. (2013). An Open-Source Platform to Quantify the Health Impacts and Economic Value of Stressors Briefing for Office of Water October 30.
- Diesel, D. (2003). *Detroit Dynamometer Results*. Los Angeles, California.
- Engineering, E. t. (2003). *Effects of GREEN PLUS fuel catalyst on light duty gasoline vehicles*. Santa Ana, California.
- Fann, N. (2007). BenMAP Presentation to the United Nations. United States Environmental Protection Agency.
- Fann, N., & Risley, D. (2013). The public health context for PM2.5 and ozone air quality trends. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0125-0>
- Fattore, E., Paiano, V., Borgini, A., Tittarelli, A., Bertoldi, M., Crosignani, P., & Fanelli, R. (2011). Human health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy. *Environmental Research*, 111(8), 1321–1327. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.06.012>
- Fotourehchi, Z. (2016). Health effects of air pollution: An empirical analysis for developing

- countries. *Atmospheric Pollution Research*, 7(1), 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.08.011>
- Franco R, J. F. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Revista Escuela de Administración de Negocio*, (72), 193–204.
- Golub, E. (2014). Environmental Health Costs in Colombia.
- González Ferrer, V. (2014). Aspectos críticos del empleo en salud de modelos estadísticos de clasificación. *Revista Médica Electrónica*, 36, 742–751.
- Goudarzi, G., Geravandi, S., Porazmey, E. J., & Mohammadi, M. J. (2016). Letter to the Editor: Applications air q model on estimate health effects exposure to air pollutants. *Arch Hyg Sci*.
- Gu, Y., & Yim, S. H. L. (2016). The air quality and health impacts of domestic trans-boundary pollution in various regions of China. *Environment International*, 97, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.08.004>
- Guo, Y., Tong, S., Li, S., Barnett, A. G., Yu, W., Zhang, Y., & Pan, X. (2010). Gaseous air pollution and emergency hospital visits for hypertension in Beijing, China: a time-stratified case-crossover study. *Environmental Health*. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-57>
- Health, W., & Regional, O. (2013). *AirQ +: key features Air pollution is the most important environmental risk factor to health . The World Health Organization , Regional Office for Europe , has developed AirQ + within its activities on air quality and health 1 . Basic information on air.*
- Hirabayashi, S., & Nowak, D. J. (2016). Comprehensive national database of tree effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 215, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.068>
- Institute, S. R. (2003). *Additive compatibility testing*.
- Institute, S. R. (2004). *Biofriendly gasoline no harm testing phase I*.
- Instituto de Hidrología, M. y E. A.-I. (2007). *Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia: Calidad del aire*. Bogotá. Retrieved from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020650/CalidaddelAireCapitulo4.pdf>
- Irwig, L., Irwig, J., Trevena, L., & Sweet, M. (2008). *Smart Health Choices: Making Sense of Health Advice*. London: Hammersmith Press Limited.
- Judd, C. M., McClelland, G. H., & Ryan, C. S. (2011). *Data Analysis: A Model Comparison Approach*. New York, NY: Routledge.
- Kane International Limited. (s.f.). Recuperado el 01 de 08 de 2016, de [www.kane.co.uk](http://www.kane.co.uk)
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 120, 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>
- Laboratorio de Crudos y Derivados. Universidad Nacional. (2017). *Evaluación de la conformidad en términos de calidad de combustibles establecida en la reglamentación vigente en*

*Colombia de diésel y gasolina con la aplicación de un catalizador Green Plus. Medellín.*

- Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F. E., & Dockery, D. W. (2006). Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 173(6), 667–672. <https://doi.org/10.1164/rccm.200503-443OC>
- Li, L., Lin, G.-Z., Liu, H.-Z., Guo, Y., Ou, C.-Q., & Chen, P.-Y. (2015). Can the Air Pollution Index be used to communicate the health risks of air pollution? *Environmental Pollution*, 205, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.05.038>
- Loomis, D., Castillejos, M., Gold, D., McDonnell, W., & Borja-Aburto, V. H. (1999). Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City. *Epidemiology*.
- López Gónzales, E., & Ruiz Soler, M. (2011). Análisis de datos con el Modelo Lineal Generalizado. Una aplicación con R. *Revista Española de Pedagogía*, 69(248), 59–80. <https://doi.org/10.2307/23766383>
- Martins, L. C., Latorre, M. do R. D. de O., Cardoso, M. R. A., Gonçalves, F. L. T., Saldiva, P. H. N., & Braga, A. L. F. (2002). Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, 36(1), 88–94. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000100014>
- Medicine, U. o. (2001). *Test de Ames*. Bradbury, California.
- Metropolitana, A. (2013). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del vallé de Aburrá*. Medellín.
- México, U. N. (2002). *Aplicación en Ciudad de México y Querétaro*. Denver, Colorado.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (5 de Junio de 2008). Resolución 910 de 2008. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental*. Colombia. Retrieved from [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf)
- Miri, M., Derakhshan, Z., Allahabadi, A., Ahmadi, E., Oliveri Conti, G., Ferrante, M., & Aval, H. E. (2016). Mortality and morbidity due to exposure to outdoor air pollution in Mashhad metropolis, Iran. The AirQ model approach. *Environmental Research*, 151, 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.039>
- Moura, M., Junger, W. L., Mendonça, G. A. e S., & Ponce De Leon, A. (2008). Qualidade do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças. *Revista de Saúde Pública*, 42(3), 503–511. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102008005000016>
- Nascimento, A. P., Santos, J. M., Mill, J. G., Souza, J. B. de, Reis Júnior, N. C., Reisen, V. A., ... Reisen, V. A. (2017). Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children. *Revista de Saúde Pública*, 51(0). <https://doi.org/10.1590/s1518-8787.2017051006523>
- Ortiz, E., & Rojas, N. (2013). Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de PM 10 en Bogotá. *Revista de Salud Pública*, 15(1), 90–102. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/38444/43941>
- Pannullo, F., Lee, D., Waclawski, E., & Leyland, A. H. (2016). How robust are the estimated effects of air pollution on health? Accounting for model uncertainty using Bayesian model averaging. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 18, 53–62.

<https://doi.org/10.1016/j.sste.2016.04.001>.

- Engineering, E. t. (2003). *Effects of GreenPlus fuel catalyst on light duty gasoline vehicles*. Santa Ana, California.
- Fondear, S.L. (2014). Retrieved Abril 27, 2017, from [http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores\\_Helices/Motores\\_Diesel/Motores\\_Diesel.htm](http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Motores_Diesel/Motores_Diesel.htm)
- Golub, E. (2014). *Environmental Health Costs in Colombia*.
- Gonçalves, M., Jiménez-Guerrero, P., & Baldasano, J. M. (2006). High resolution modeling of the effects of alternative fuels use on urban air quality: Introduction of natural gas vehicles in Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain). *Science of the Total Environment*, 776-790.
- Heaps, C. (2012). *Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system*. [Software version 2012.0017]. Somerville, MA, USA: Stockholm Environment Institute.
- Hibbeler, R. (2004). *Mecánica vectorial para ingenieros. Estática*. (10 ed.). (G. Trujano Mendoza, Ed.) México: Pearson Prentice Hall.
- Hong, S., Chubg, Y., Kim, J., & Chun, D. (2016). Analysis on the level of contribution to the national greenhouse gas reduction target in Korean transportation sector using LEAP model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 549-559.
- Icontec Internacional. (2012). *Calidad del aire. Evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. Método de ensayo en marcha mínima (Ralentí) y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Institute, S. R. (2003). *Additive compatibility testing*.
- Institute, S. R. (2004). *Biofriendly gasoline no harm testing phase I*.
- IPCC. (2007). *Fourth Assessment Report (AR4)*. Geneva.
- Kane International Limited. (n.d.). Retrieved 08 01, 2016, from [www.kane.co.uk](http://www.kane.co.uk)
- Lecuona, A., & Rodríguez, P. A. (2011). Parámetros básicos. In F. Payri, & J. M. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 44-70). Barcelona, España: Reverté.
- Luján, J. M., & Guardiola, C. (2011). Control de motores. In F. Payri, & J. M. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 710-743). Barcelona, España: Reverté.
- Marín, M. G. (2017, Mayo 24). Medellín.
- Medellín, L. d. (2017). *Evaluación de la conformidad en términos de calidad de combustibles establecida en la reglamentación vigente en Colombia de diésel y gasolina con la aplicación de un catalizador Green Plus*. Medellín.
- Medicine, U. o. (2001). *Test de Ames*. Bradbury, California.

- Metropolitana, A. (2013). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del vallé de Aburrá*. Medellín.
- México, U. N. (2002). *Aplicación en Ciudad de México y Querétaro*. Denver, Colorado.
- Minambiente-Fundación Natura-WWF Colombia. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2008, Junio 5). Resolución 910 de 2008. Bogotá, Colombia.
- Nojedehi, P., Heidari, M., Ataei, A., Nedaei, M., & Kurdestani, E. (2016). Environmental assesment of energy production from landfill gas plants by using LEAP and IPCC methane estimation methods: a case study of Tehran. *Sustainable Energy and Assesments*, 33-42.
- Olga, M. (2015). Overview of Aerosol and Cloud Measurements in the. *Symposium Celebrating Fifty Years of Climate*, (p. 55). Barbados.
- Payri, R., & Salvador, F. J. (2011). Formación de la mezclaen MEC. Inyección de combustible. In F. Payri, & J. M. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 580-618). Barcelona, España: Reverté.
- Pierce, R. (2011, Octubre 5). *Varianza y desviación estándar*. Retrieved Mayo 15, 2016, from Disfruta las matemáticas: <<http://www.disfrutalasmaticas.com/datos/desviacion-estandar.html>>
- Pope. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution.
- Puerto, E. A. (2011, 02 26). *Presión Atmosférica*. Retrieved from DIPAC "Diseño e ingeniería de ventilación y climtización".: <https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/f1-2/#comments>
- Pérez-Hoyos, S., Ballester, F., Sáez, M., & Iñíguez, C. (2003). Comparación de dos métodos en el análisis del efecto a corto plazo de la contaminación atmosférica en la salud. *Gaceta Sanitaria*, 17(4), 283–288. [https://doi.org/10.1016/S0213-9111\(03\)71748-8](https://doi.org/10.1016/S0213-9111(03)71748-8)
- Pinheiro, S. de L. L. de A., Saldiva, P. H. N., Schwartz, J., Zanobetti, A., Pinheiro, S. de L. L. de A., Saldiva, P. H. N., ... Zanobetti, A. (2014). Isolated and synergistic effects of PM10 and average temperature on cardiovascular and respiratory mortality. *Revista de Saúde Pública*, 48(6), 881–888. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005218>
- Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Kazuhiko, I., & Thurston, G. D. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *Jama*, 287(9), 1132–1141.
- Pope. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution.
- Quijano, R., Botero, S., & Domínguez, J. (2012). MODERGIS application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5176-5187.
- Rodríguez, P. A., & Nogueira, J. I. (2011). Curvas características y aplicaciones. In F. Payri, & J. M. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 952-978). Barcelona, España: Reverté.

- RTI International. (2015a). Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition. BenMap User's Manual Appendices. *PROJECT in a Box*, (March), 250. Retrieved from <http://www.projectinabox.org/community.asp>
- RTI International. (2015b). Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition. User's Manual, (March).
- Sánchez-, E., Kulsum, T., & Awe, A. Y. (2006). *Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia. Un análisis ambiental del país para Colombia*. Bogotá. Retrieved from <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/539291468027601756/pdf/386100SPANISH0101OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf>
- S. d. (2005). Impacto y mineralogía del material particulado atmosférico de. *Geogaceta*, 11.
- Schmitt, L. H. M. (2016). QALY gain and health care resource impacts of air pollution control: A Markov modelling approach. *Environmental Science & Policy*, 63, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.015>
- Schwartz, J. (1994). Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 150(3), 648–55. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.150.3.8087333>
- Sepúlveda, E. M. (2016, Marzo 21). *Aceleración*. Retrieved Junio 11, 2016, from Física en línea: <http://www.fisicaenlinea.com/04cinematica/cinematica08-aceleracion.html>
- Shabbir, R., & Ahmad, S. S. (2010). Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model. *Energy*, 2323-2332
- Souza, J. B. de, Reisen, V. A., Santos, J. M., Franco, G. C., Souza, J. B. de, Reisen, V. A., ... Franco, G. C. (2014). Principal components and generalized linear modeling in the correlation between hospital admissions and air pollution. *Revista de Saúde Pública*, 48(3), 451–458. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005078>
- Souza, L. S. V. de, Nascimento, L. F. C., Souza, L. S. V. de, & Nascimento, L. F. C. (2016). Air pollutants and hospital admission due to pneumonia in children: a time series analysis. *Revista Da Associação Médica Brasileira*, 62(2), 151–156. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.62.02.151>
- Tadano, Y. de S., Lie Ugaya, C. M., & Franco, A. T. (2009). Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. *Ambiente & Sociedade*, 12(2), 241–255.
- Tainio, M., de Nazelle, A. J., Götschi, T., Kahlmeier, S., Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., ... Woodcock, J. (2016). Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*, 87, 233–236. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.02.002>
- Tang, G., Zhao, P., Wang, Y., Gao, W., Cheng, M., Xin, J., ... Wang, Y. (2017). Mortality and air pollution in Beijing: The long-term relationship. *Atmospheric Environment*, 150, 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.045>
- Taracido Trunk, M., Figueiras, A., & Castro Lareo, I. (1999). Efectos a Corto Plazo de La

- Contaminación Atmosférica sobre La Mortalidad. Resultados del Proyecto EMECAM en la Ciudad de Vigo,. *Esvista Esp. Salud Pública*, 73, 275–282.
- Tecnicentro Los Colores. (2016). *LABORATORIO AMBIENTAL CERTIFICADO POR EL IDEAM PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES GENERADOS POR FUENTES MÓVILES PARA VEHÍCULOS GASOLINA - DIÉSEL Y/O MOTOCICLETAS 4 TIEMPOS*. Medellín.
- Tinaut, F. V., & López, J. J. (2011). Combustión en MEP. In F. Payri, & J. M. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 538-577). Barcelona, España: Reverté.
- Toro-Gómez, M. V., & Quiceno-Rendón, D. M. (2015). Estimación de la demanda energética y de las emisiones vehiculares en el Valle de Aburrá durante el periodo 2000-2010, usando el modelo LEAP. *DYNA*, 45-51.
- U. Nal. (4 de dic de 2015). Normas APA 2015. Medellín, Antioquia, Colombia.
- U. S. Environmental Protection Agency. (2014). BenMAP-CE Quick start guide.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2003). *Guidelines for developing an air quality (ozono y PM2.5) forecasting program*. Research Triangle Park, North Carolina.
- UPME - Consorcio Bariloche. (2007). *Consultoría para la formulación estratégica del plan de uso racional de energía y de fuentes no convencionales de energía 2007-2025*. Bogotá.
- US EPA. (2008). *Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. Transportation and marketing of petroleum liquids.
- Vincent, N., Comfort, C., Panchakshara, G., & Augusta, A. S. (2017). Energy Policy for low carbon development in Nigeria: a LEAP model application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 247-261.
- Voorhees, A. S., Wang, J., Wang, C., Zhao, B., Wang, S., & Kan, H. (2014). Public health benefits of reducing air pollution in Shanghai: A proof-of-concept methodology with application to BenMAP. *Science of the Total Environment*, 485–486(1), 396–405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.113>
- WHO Regional Office for Europe. (2016). *Health risk assessment of air pollution - general principles*. Copenhagen. Retrieved from [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1)
- Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Retrieved Mayo 3, 2017, from Combustión: <https://es.wikipedia.org/wiki/Combusti%C3%B3n>
- World Health Organization. (2005). Studies on health effects of transport-related air pollution. In M. Krzyzanowski, *Health effects of transport-related air pollution*.
- Xie, Y., Zhao, L., Xue, J., Hu, Q., Xu, X., & Wang, H. (2016). A cooperative reduction model for regional air pollution control in China that considers adverse health effects and pollutant reduction costs. *Science of The Total Environment*, 573, 458–469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.077>
- Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2008). Mortality Displacement in the Association of Ozone with

Mortality. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 177(2), 184–189.  
<https://doi.org/10.1164/rccm.200706-823OC>



PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 1 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores\*

## 1 - IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

**Nome do produto:** Green Plus A  
**Código interno de identificação:** BR0109  
**Principais usos recomendados para a substância ou mistura:** Intensificador de combustível.  
Redutor de emissões tóxicas  
**Nome da empresa:** Biofriendly Corporation  
**Endereço:** 13459 Brooks Drive Bldg #A Baldwin Park CA  
91706 - USA  
**Telefone:** +1.626.859.5000 IF. +1.626.338.7881  
**Telefone para emergências:** 1-800-424-9300 ou 011-703-527-3887

## 2 - IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

**PERIGOS MAIS IMPORTANTES:** Líquidos e vapores altamente inflamáveis.  
Causa irritação ocular grave.  
Pode provocar sonolência ou tonturas.

### EFEITOS DO PRODUTO:

#### Efeitos adversos à saúde humana:

**Efeitos ambientais:** Previna vazamento em esgotos

**Perigos físicos e químicos:** Líquidos e vapores inflamáveis.

**Perigos específicos:** Líquido Altamente inflamável.  
Perigo de Explosão Direta e Indireta. Pode ser incendiado por fagulhas.

**Principais sintomas:** Pele seca depois do contato com a pele.  
Irritação do tecido ocular depois do contato com os olhos.  
Dor de cabeça, Baixa pressão arterial, náusea, Vômito depois da ingestão.

**Classificação de perigo do produto:** Líquidos inflamáveis – 2 H225  
Irrit. Olhos – 2A H319  
STOT SE – 3 H336

**Sistema de classificação adotado:** Norma ABNT-NBR 14725-Parte 2:2009.  
Adoção do Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 2 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores\*

Visão geral das emergências:

e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU.

LÍQUIDO ALTAMENTE INFLAMÁVEL E PERIGOSO PARA A SAÚDE HUMANA.

## ELEMENTOS APROPRIADOS DA ROTULAGEM

Pictogramas:



Palavra de advertência:

PERIGO

Frase de advertência:

Líquido e vapores Altamente inflamáveis.

Provoca irritação ocular grave.

Pode causar sonolência ou tonturas.

Frase de precaução:

Mantenha afastado do calor [superfícies quentes] [faíscas] [e chama] [não fume].

Mantenha o recipiente bem fechado.

Aterramento e equipotencialização de contêiner e equipamentos de recepção.

Não use em local sem ventilação adequada.

Evite contato com olhos e pele. Use proteção para os olhos e a pele.

Use comente com ferramentas antideflagrantes.

Tomar medidas de precaução contra desgargas estáticas.  
Evite respirar vapores

Em caso de indisposição, consulte um médico.

## 3 - COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE OS INGREDIENTES

### >>> SUBSTÂNCIA DE PETRÓLEO\*

Grupo de substância de petróleo:

Gasóleos: Óleo diesel

Gasóleos e óleos destilados são misturas complexas de petróleo, compostas primariamente de hidrocarbonetos saturados (parafínicos ou naftênicos) ou aromáticos com cadeia carbônica composta de 9 a 30 átomos de carbono e ponto de ebulição entre 150 e 471°C.



# Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 3 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores

Número de registro CAS: 67-63-0

Impurezas que contribuam para o perigo:

Ingredientes	Concentração (%)	CAS
Álcool Isopropílico	99.82%	67-63-0
Fluidos Orgânicos (trace)	>0.18	NA

## 4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Inalação:

Remova a vítima até o ar fresco.  
Problemas respiratórios: Consulte um médico/serviço médico.

Contato com a pele:

SE na pele ou cabelo: Remova/retire imediatamente toda a roupa contaminada. Enxágue a roupa. Enxágue com água/ducha.

Contato com os olhos:

Enxágue imediatamente com muita água. Pode ser usado sabonete químico (Não aplique agentes neutralizadores químicos). Conduza a vítima até um doutor se a irritação persistir

Ingestão:

Enxágue com água imediatamente após a ingestão: de muita água para beber. Não induza o vômito.

Proteção do prestador de socorros e/ou notas para o médico:

Sem informação adicional disponível

## 5 - MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios de extinção apropriados:

Jato de água. Espuma polivalente. Espuma resistente ao álcool. Pó químico BC. Dióxido de carbono

Meio de extinção não recomendados:

Jatos de água sólido, ineficaz como meio de extinção.

Perigos específicos:

Perigo de Incêndio Direto - Altamente inflamável com ar dentro dos limites da explosão.  
Perigo de Incêndio Indireto - Pode ser incendiado por fagulhas.  
Perigo de Explosão Direta - Gás/Vapor explosivo com ar dentro dos limites da explosão  
Perigo de Explosão Indireta - Pode ser incendiado por fagulhas

Métodos especiais de combate:

Contêineres e tanques envolvidos no incêndio devem ser resfriados com jatos d'água.

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 4 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores

**Proteção de bombeiro/brigadista:**

Resfriar os tanques/tambores, removê-los com spray de água em segurança. Não mova a carga se exposta ao calor.

## 6 - MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

**Precauções pessoais**

Luvas. Lentes de Proteção. Vestimenta de proteção.

**Remoção de fontes de ignição:**

Mantenha a substância afastada de faíscas, calor e fogo

**Prevenção da inalação e do contato com a pele, mucosas e olhos:**

Usar roupa apropriada e siga as instruções de segurança.

**Precauções ao meio ambiente::**

Previna vazamento em esgotos

**Métodos para limpeza:**

Pedra calcária. Tire a substância absorvida em recipientes fechados. Veja "Manuseio de materiais" Os tanques danificados resfriados devem ser esvaziados. Não utilize ar comprimido para bombear os derramamentos. Recolha cuidadosamente o derramamentos.

**Procedimentos a serem adotados:**

Limpe as superfícies com excesso de água.  
Leve os derramamentos coletados ao fabricante. Recolha cuidadosamente o derramamentos

**Prevenção de perigos secundários:**

## 7 - MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

### Medidas técnicas apropriadas - MANUSEIO

**Prevenção da exposição do trabalhador:**

Usar roupa apropriada e siga as instruções de segurança.

**Precauções e orientações para manuseio seguro:**

Cumprir com os requisitos legais. Retirar todo o vestuário contaminados e lavar. Limpe cuidadosamente a instalação antes de usar. Mantenha-se afastado de chamas e calor.

**Medidas de higiene:**

Lave as mãos e outras áreas expostas com água e sabão neutro antes de comer, beber ou fumar, e quando sair de trabalho. Lavar as roupas contaminadas antes de reutilizá-las.

### Medidas técnicas apropriadas – ARMAZENAMENTO

**Apropriadas:**

Armazene em local fresco. Armazene em área seca. Ventilação ao nível do chão. Despensa à prova de fogo. Previna um sistema de aspersores automáticos. Previna um recipiente para recolher derramamentos. Forneça o tanque com ligação à terra. Satisfaça as exigências legais.



# Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 5 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores

**Inapropriadas:**

Temperaturas elevadas. Fontes de ignição. Contato com materiais incompatíveis.

**Materiais seguros para embalagens**

**Recomendados:**

Não especificado.

## 8 - CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

**Parâmetros de controle específicos**

**Limite de exposição ocupacional:**

Ingredientes	TLV – TWA (ACGIH)	TLV – STEL (ACGIH)
USA ACGIH	ACGIH (ppm)	400ppm
USA OSHA	OSHA PEL (ppm)	400ppm

**Medida de controle de engenharia:**

**Lava-olhos de emergência, fontes chuveiros de segurança devem estar disponíveis na proximidade imediata de qualquer exposição potencial. Providenciar ventilação de exaustão local e geral**

**Equipamento de proteção individual apropriado**

**Proteção respiratória:**

Usar máscara de gás com filtro tipo A. se conc. no ar > Limite de exposição

**Proteção das mãos:**

Luvas.

**Proteção dos olhos:**

Lentes de segurança.

**Proteção da pele e corpo:**

Vestimenta de proteção.

**Precauções especiais:**

## 9 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

**Aspecto:**

Líquido

**Odor:**

Cheiro de Álcool. Cheiro asfixiante. Cheiro leve.

**Ph:**

Sem dados disponíveis

**Ponto de fusão/ponto de**

-88°C / Sem dados disponíveis

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 6 de 9

Data: 28/04/2017

Nº FISPQ:

Versão: 6

Anula e substitui versão: todas anteriores

## congelamento:

<b>Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:</b>	82°C
<b>Ponto de fulgor:</b>	Sem dados disponíveis.
<b>Taxa de evaporação:</b>	Sem dados disponíveis.
<b>Inflamabilidade:</b>	Sem dados disponíveis.
<b>Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:</b>	2 - 13 vol % 50 - 335 g/m <sup>3</sup>
<b>Pressão de vapor:</b>	44 hPa e pressão a 50°C 229hPa
<b>Densidade de vapor:</b>	Não disponível.
<b>Densidade relativa:</b>	2,1-0,79 a 20 °C
<b>Solubilidade:</b>	Solúvel completos em água, etanol, éter. Solúvel em cetona, óleos/graxas, clorofórmio
<b>Coefficiente de partição – n-octanol/água:</b>	Não disponível.
<b>Temperatura de auto-ignição:</b>	Não disponível
<b>Temperatura de decomposição:</b>	Não disponível
<b>Viscosidade:</b>	Cinematica 2,5316mm <sup>2</sup> /s (25 °C). Dinâmica 0,0020 Pa.s (25 °C)
<b>Faixa de destilação:</b>	Sem dados disponíveis.

## 10 - ESTABILIDADE E REATIVIDADE

<b>Estabilidade química:</b>	Estável sob condições normais.
<b>Materiais/substâncias incompatíveis:</b>	Amoníaco, Ácidos fortes, Oxidantes fortes
<b>Produtos perigosos da decomposição:</b>	Dióxido de carbono. Monóxido de carbono.

## 11 - INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 7 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores

**Toxicidade aguda:**

Sem Classificar.  
Álcool isopropílico (2-propanol) (f) 67-63-0

Oral - 5045 mg/kg - Rata  
Dermatológico - 2870 mg/kg - Coelho  
inalação 73 mg/l/4h - Rata

**Toxicidade crônica:**

**Efeitos específicos:**

Causa uma irritação grave nos olhos. Pode causar sonolência ou tontura.

## 12 - INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

### Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto

**Ecotoxicidade:**

Geral - Classificação sobre o ambiente: não aplicável  
Ar - TA-Luft Klasse 5.2.5  
Água - Poluente de água superficial. Não é daninho para os peixes, invertebrados e algas. Inibição dos lados ativados.

**Persistência e degradabilidade:**

Alcool isopropílico - Pronto para diogradeção na água.  
Biodegradável no solo sob condições anaeróbicas.

**Potencial bioacumulativo:**

Alcool isopropílico - Baixo potencial para bioacumulação (KoW registrado < 4) .

## 13 - CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

### Métodos recomendados para tratamento e disposição aplicados ao

**Produto:**

**Restos de produtos:**

Manter restos do produto em suas embalagens originais, fechadas e dentro de tambores metálicos, devidamente fechados, de acordo com a legislação aplicável.

**Embalagem usada:**

MATERIAL ADEQUADO: Aço inoxidável, monel, carbono. Cobre, Níquel, Bronze, Vidro, Teflon, Polietileno, Polipropileno, Zinco.

MATERIAL A EVITAR-SE: Aço com revestimento interno de borracha. Alumínio.

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 8 de 9

Data: 25/04/2016

Nº FISPQ:

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores

## 14 - INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

### Regulamentações nacionais e internacionais

#### Terrestre

Número ONU: 1219  
Nome apropriado para embarque: Álcool isopropílico  
Classe de risco/ subclasse de risco principal: 3 - Classe 3 - Líquido inflamável e combustível 49 CFR 173.120  
Classe de risco/ subclasse de risco subsidiário: NA  
Número de risco:  
Grupo de embalagem: II - Medio Perigo

#### Hidroviário

DPC - Diretoria de Portos e Costas (Transporte em águas brasileiras)  
Normas de Autoridade Marítima (NORMAM)  
NORMAM 01/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto  
NORMAM 02/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação Interior  
IMO – “*International Maritime Organization*” (Organização Marítima Internacional)  
*International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code).*

Número ONU: 1219  
Nome apropriado para embarque: Álcool isopropílico  
Classe de risco/ subclasse de risco principal: 3 Líquidos inflamáveis.  
Classe de risco/ subclasse de risco subsidiário: NA  
Grupo de embalagem: II - Medio perigo  
EmS: F-E  
S-D  
Perigo ao meio ambiente: O produto não é considerado poluente marinho.

PRODUTO: **Green Plus-A**

Página 9 de 9

Data: 24/04/2015

Nº FISPQ: BR0109

Versão: 6.1

Anula e substitui versão: todas anteriores

## Aéreo

Álcool isopropílico (2-propanol) 67-63-0

Listado no inventário de TSCA (Lei de Controle de Substâncias Tóxicas) dos EUA

Listado no artigo 313 de SARA (Lista específica de químicos tóxicos)

Número ONU:	1219
Nome apropriado para embarque:	Álcool isopropílico
Classe de risco/ subclasse de risco principal:	3 Líquidos inflamáveis.
Classe de risco/ subclasse de risco subsidiário:	NA
Grupo de embalagem:	II - Medio perigo

## 15 - REGULAMENTAÇÕES

### Regulamentações:

## 16 - OUTRAS INFORMAÇÕES

### Informações importantes:

Isenção de responsabilidade: a BioFriendly Corporation acha que as informações desta folha de dados de segurança foram obtidas de fontes confiáveis; porém, as informações são fornecidas sem oferecer nenhuma garantia, expressa nem implícita, sobre sua exatidão. algumas das informações e conclusões apresentadas aqui provêm de fontes que não são dados de testes diretos sobre a substância mesma. As condições ou métodos de manuseio, uso e eliminação do produto se encontram fora de nosso controle e, tal vez, de nossos conhecimentos. Por isso, a BioFriendly Corporation não assume responsabilidade nenhuma e renúncia de forma expressa às reivindicações por responsabilidade de perdas, danos ou despesas derivadas o relacionadas de alguma maneira com o manuseio, armazenamento, uso ou eliminação deste produto. Se o produto for utilizado como componente em algum outro produto, estas informações poderiam não ser aplicáveis. As informações são certas de acordo com nossos conhecimentos na data da publicação desta folha de dados de segurança .

### Siglas:

Irritação dos olhos 2ª - Danhos graves nos olhos  
Líq. Flám. - Líquidos Flámaveis Categoria 2  
STOT SE3 - Toxicidade específicos dos órgãos-alvo- unica  
exposição, categoria 3, narcose  
H225 - Líquido e vapor altamente inflamável  
H315 - Causa irritação da pele  
H319 - Causa irritação grave dos olhos  
H320 - Causa irritação dos olhos  
H332 - Daninho se inalado  
H335 - Pode produzir irritação respiratória  
H336 - Pode produzir sonolência ou tontura



**RE: 320/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S500 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº50 de 2013	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** (F-21)
Aspecto	-	ASTM D 4176-04(2014)	Límpido e isentos de impurezas	29/04/2020	Límpido e isentos de impurezas	-
Cor	-	Visual - IT-LEC-00-11 rev.14	Vermelho	29/04/2020	Vermelho	-
Teor de Biodiesel	% v/v	EN 14078-2014	13,0	04/05/2020	10,5 a 15,5	10,0 a 16,2
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D 4294-16e1	290	23/04/2020	0 a 500	± 62
Massa Específica à 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	860,1	17/04/2020	-	-
Massa Específica à 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	856,5	17/04/2020	815,0 a 865,0	±0,3 kg/m <sup>3</sup>
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93-19	42,1	16/04/2020	> 38	±1,6
Viscosidade	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-19	3,232	24/04/2020	2,0 a 4,5	1,974 a 4,559
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio	°C	ASTM D 6371-17a	1,0	22/04/2020	Máx. 7 (mês de abril em MG)	±1
Micro resíduo de Carbono	% m/m	ASTM D4530-15	0,01	27/04/2020	-	-
Resíduo de Carbono Ramsbottom	% m/m	ASTM D 524-15	0,06	05/05/2020	Máx. 0,25	± 0,04
Cinzas	% m/m	ASTM D 482-13	0,0017	30/04/2020	Máx. 0,010	±0,005
Corrosividade ao Cobre à 50°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	24/04/2020	Máx. 1	-
Teor de Água	mg/kg	ASTM D 6304-16e1	176	16/04/2020	Máx. 200	±415
Água e Sedimentos	% v/v	ASTM D 2709-16	< 0,01	27/04/2020	Máx. 0,05	±0,001
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	0,06	16/04/2020	-	-
Lubricidade	µm	ASTM D 6079-18	166	28/04/2020	Máx. 520	±47
Poder calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	44,449	28/04/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/Kg	ASTM D240-17	41,763	17/08/2020	-	-

**RE: 320/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S500 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Carbono*	% m/m	Análise Elementar	81,48	31/07/2020	-	-
Hidrogênio*	% m/m	Análise Elementar	12,66	31/07/2020	-	-
Nitrogênio*	% m/m	Análise Elementar	<0,0017	31/07/2020	-	-
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	175,0	22/04/2020	ANOTAR	-
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	299,7	22/04/2020	245 a 310	±1,8
T 85% da destilação	°C	ASTM D 86-18	350,4	22/04/2020	Máx. 360	-
T 90% da destilação	°C	ASTM D 86-18	360,3	22/04/2020	ANOTAR	-
T 95% da destilação	°C	ASTM D 86-18	378,3	22/04/2020	-	-
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	393,1	22/04/2020	-	±4,2
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	1,0	22/04/2020	-	-
Estabilidade à Oxidação	h	EN 15751-2014	32,10	23/04/2020	-	-
Índice Cetano	-	ASTM D4737-10(2016) Procedimento A	45,0	24/04/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

*O combustível Diesel S500 foi coletado pelo LEC UFMG em bombona previamente limpa.*

*No momento da coleta a bombona foi lavada com o próprio combustível, esta porção foi descartada e posteriormente nova alíquota foi amostrada.*

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaio subcontratado.

Preparo:

A mistura de combustível + aditivo **GREEN PLUS** foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 30 mL para 100 L (300 microlitros para 1 litro), utilizando-se o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 214, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 585, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

*Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.*

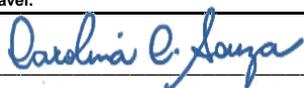
**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 50/2013 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza

Química Responsável Ensaio Regulares

Nº CRQ : 02101288

**RE: 319/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S500 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº50 de 2013	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** (F-21)
Aspecto	-	ASTM D 4176-04(2014)	Límpido e isentos de impurezas	29/04/2020	Límpido e isentos de impurezas	-
Cor	-	Visual - IT-LEC-00-11 rev.14	Vermelho	29/04/2020	Vermelho	-
Teor de Biodiesel	% v/v	EN 14078-2014	13,7	04/05/2020	10,5 a 15,5	10,0 a 16,2
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D 4294-16e1	340	23/04/2020	0 a 500	± 62
Massa Específica à 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	860,0	17/04/2020	-	-
Massa Específica à 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	856,6	17/04/2020	815,0 a 865,0	±0,3 kg/m <sup>3</sup>
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93-19	43,1	16/04/2020	> 38	±1,6
Viscosidade	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-19	3,254	24/04/2020	2,0 a 4,5	1,974 a 4,559
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio	°C	ASTM D 6371-17a	2,0	22/04/2020	Máx. 7 (mês de abril em MG)	±1
Micro resíduo de Carbono	% m/m	ASTM D4530-15	0,03	27/04/2020	-	-
Resíduo de Carbono Ramsbottom	% m/m	ASTM D 524-15	0,08	05/05/2020	Máx. 0,25	± 0,04
Cinzas	% m/m	ASTM D 482-13	0,0000	29/04/2020	Máx. 0,010	±0,005
Corrosividade ao Cobre à 50°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	24/04/2020	Máx. 1	-
Teor de Água	mg/kg	ASTM D 6304-16e1	154	16/04/2020	Máx. 200	±415
Água e Sedimentos	% v/v	ASTM D 2709-16	< 0,01	27/04/2020	Máx. 0,05	±0,001
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	0,06	16/04/2020	-	-
Lubricidade	µm	ASTM D 6079-18	150	28/04/2020	Máx. 520	±47
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	44,611	23/04/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/Kg	ASTM D240-17	41,959	17/08/2020	-	-

**RE: 319/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S500 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Carbono*	% m/m	Análise Elementar	81,96	31/07/2020	-	-
Hidrogênio*	% m/m	Análise Elementar	12,50	31/07/2020	-	-
Nitrogênio*	% m/m	Análise Elementar	<0,0017	31/07/2020	-	-
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	169,1	16/04/2020	ANOTAR	-
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	296,6	16/04/2020	245 a 310	±1,8
T 85% da destilação	°C	ASTM D 86-18	348,8	16/04/2020	Máx. 360	-
T 90% da destilação	°C	ASTM D 86-18	358,6	16/04/2020	ANOTAR	-
T 95% da destilação	°C	ASTM D 86-18	375,1	16/04/2020	-	-
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	386,7	16/04/2020	-	±4,2
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	0,8	16/04/2020	-	-
Estabilidade à Oxidação	h	EN 15751-2014	39,20	24/04/2020	-	-
Índice Cetano	-	ASTM D4737-10(2016) Procedimento A	44,3	24/04/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

*O combustível Diesel S500 foi coletado pelo LEC UFMG em bombona previamente limpa.*

*No momento da coleta a bombona foi lavada com o próprio combustível, esta porção foi descartada e posteriormente nova alíquota foi amostrada.*

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaios subcontratados.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

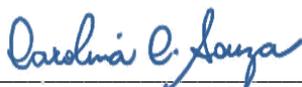
**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 50/2013 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

**RE: 486/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** ETANOL COMBUSTÍVEL HIDRATADO **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** Lacre 27711271 **Data Coleta/Amost.:** Não informada **Coleta realizada pelo cliente**

**OBS:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Atendimento:** 29/05/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i> <b>RANP Nº19 DE 2015</b>	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i> <b>LI* (F-221)</b>
Aspecto	-	ASTM D4176 04(2014) E IT-LEC-00-11 rev.14	Límpido e Isento de Impurezas	26/06/2020	Límpido e Isento de Impurezas	-
Cor	-	IT-LEC-00-11 rev.14	Incolor	26/06/2020	Exceto laranja e azul.	-
Acidez	mg Ácido Acético / L	NBR 9866-2012 (ASTM D7795-2015)	12,2	16/06/2020	Máx. 30	±1,5
Condutividade	µS/m	NBR 10547-2016	86,0	12/06/2020	Máx. 300	±13
Massa Específica	kg/m <sup>3</sup>	NBR 15639-2016	809,8	12/06/2020	802,9 a 811,2	±0,5
Teor Alcoólico	°INPM ou %m/m	NBR 15639-2016	93,0	16/06/2020	92,5 a 95,4	±0,2
pH	-	NBR 10891-2017	6,9	12/06/2020	6,0 a 8,0	±0,2
Teor de Etanol	% v/v	NBR 16041-2015	95,1	17/06/2020	Mín. 94,5	±0,6
Teor de Água	% m/m	ASTM E203-16	7,03	17/06/2020	Máx. 7,5	±0,05
Teor de Metanol	% v/v	NBR 16041-2015	< 0,1	17/07/2020	Máx. 0,5%	±0,04
Teor de Material Não Volátil	mg/100 mL	NBR 15559-2017	3,6	16/06/2020	Máx. 5,0	±0,4
Teor de Hidrocarbonetos	% v/v	NBR 13993-2018	Não detectado	15/06/2020	Máx. 3	±1
Cloreto	mg/kg	ASTM D 7319-17	< 0,4	16/06/2020	Máx. 1	±0,25
Sulfato	mg/kg	ASTM D 7319-17	1,1	16/06/2020	Máx. 4	±1,72
Ferro	mg/kg	NBR 11331-2007	< 0,1	17/06/2020	Máx. 5,0	±0,02
Sódio	mg/kg	NBR 10422-2013	< 0,1	17/06/2020	Máx. 2	± 0,24
Cobre	mg/kg	NBR 11331-2007	< 0,01	17/06/2020	Máx. 0,07	±0,02
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D5453-2016	2,2	17/06/2020	Anotar	-
Teor de Hidrogênio*	%	Análise Elementar	12,72	31/07/2020	-	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	26,936	23/06/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D240-17	24,237	17/08/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

-

**RE: 486/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** ETANOL COMBUSTÍVEL HIDRATADO **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** Lacre 27711271 **Data Coleta/Amost.:** Não informada **Coleta realizada pelo cliente**

**OBS:** Amostra com aditivo **Green Plus.** **Data Atendimento:** 29/05/2020

**OBS:**  
Aditivação realizada pelo LEC UFGM com aditivo ETANOL GREEN PLUS.

Preparo:

A mistura de combustível + aditivo **GREEN PLUS** foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 30 mL para 600 L (50 microlitros para 1 litro), utilizando-se o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 215, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 586, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

\*Ensaio subcontratado.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 19/2015 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repró normas - ISO4259).

**Interpretação:**

-

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 485/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** ETANOL COMBUSTÍVEL HIDRATADO **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** Lacre 27711270 **Data Coleta/Amost.:** Não informada **Coleta realizada pelo cliente**

**OBS:** Amostra sem aditivo **Data Atendimento:** 29/05/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i> <b>RANP Nº19 DE 2015</b>	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i> <b>LJ*** (F-221)</b>
Aspecto	-	ASTM D4176 04(2014) E IT-LEC-00-11 rev.14	Límpido e Isento de Impurezas	15/06/2020	Límpido e Isento de Impurezas	-
Cor	-	IT-LEC-00-11 rev.14	Incolor	15/06/2020	Exceto laranja e azul.	-
Acidez	mg Ácido Acético / L	NBR 9866-2012 (ASTM D7795-2015)	11,65	16/06/2020	Máx. 30	±1,5
Condutividade	µS/m	NBR 10547-2016	85,0	12/06/2020	Máx. 300	±13
Massa Específica	kg/m <sup>3</sup>	NBR 15639-2016	809,7	12/06/2020	802,9 a 811,2	±0,5
Teor Alcoólico	°INPM ou %m/m	NBR 15639-2016	93,0	16/06/2020	92,5 a 95,4	±0,2
pH	-	NBR 10891-2017	6,8	12/06/2020	6,0 a 8,0	±0,2
Teor de Etanol	% v/v	NBR 16041-2015	96,6	17/06/2020	Mín. 94,5	±0,6
Teor de Água	% m/m	ASTM E203-16	7,28	15/06/2020	Máx. 7,5	±0,05
Teor de Metanol	% v/v	NBR 16041-2015	< 0,1	17/06/2020	Máx. 0,5%	±0,04
Teor de Material Não Volátil	mg/100 mL	NBR 15559-2017	2,9	16/06/2020	Máx. 5,0	±0,4
Teor de Hidrocarbonetos	% v/v	NBR 13993-2018	Não detectado	15/06/2020	Máx. 3	±1
Cloreto	mg/kg	ASTM D 7319-17	< 0,4	16/06/2020	Máx. 1	±0,25
Sulfato	mg/kg	ASTM D 7319-17	1,3	16/06/2020	Máx. 4	±1,72
Ferro	mg/kg	NBR 11331-2007	< 0,1	17/06/2020	Máx. 5,0	±0,02
Sódio	mg/kg	NBR 10422-2013	< 0,1	17/06/2020	Máx. 2	± 0,24
Cobre	mg/kg	NBR 11331-2007	0,01	17/06/2020	Máx. 0,07	±0,02
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D5453-2016	2,4	17/06/2020	Anotar	-
Teor de Hidrogênio*	%	Análise Elementar	12,35	31/07/2020	-	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	26,862	23/06/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D240-17	24,241	17/08/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

-

**OBS:**

\*Ensaio subcontratado.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**RE: 485/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** ETANOL COMBUSTÍVEL HIDRATADO **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** Lacre 27711270 **Data Coleta/Amost.:** Não informada **Coleta realizada pelo cliente**

**OBS:** Amostra sem aditivo **Data Atendimento:** 29/05/2020

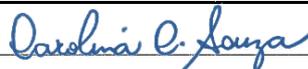
**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 19/2015 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

-

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza

Química Responsável Ensaios Regulares

Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 1657/19**
**Data Emissão: 10/02/2020**
**Via: 3- cancela e substitui as vias 1 e 2**
**Solicitante/Contato: Logítec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes**
**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** GASOLINA TIPO C - COMUM **Data Entrada Lab.:** 21/11/2019

**Identif. Cliente:** "Amostra com aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 21/11/2019

**OBS:** - **Data Atendimento:** 30/10/2019

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº40 de 2013	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isentos de impurezas	11/12/2019	Límpido e isentos de impurezas	-
Cor	-	Visual-IT-LEC-00-11 rev.14	Laranja	11/12/2019	Exceto azul	-
Teor de Etanol Anidro Combustível	% v/v	NBR 13992-2015	27	09/12/2019	26 a 28	25 a 29
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	749,0	29/11/2019	-	-
Pressão de Vapor à 37,8°C	kPa	ASTM D 5191-19	53,3	05/12/2019	Máx. 69	-
Goma Atual Lavada, máx	mg/100 mL	ASTM D 381-12 (2017)	1,4	09/12/2019	Máx. 5	-
Período de Indução	min	ASTM D 525-12a	> 360	09/12/2019	Mín. 360	-
Corrosividade ao Cobre à 50°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	09/12/2019	Máx. 1	-
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D 5453-19	39	04/12/2019	Máx. 50	63
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	55,0	29/11/2019	Máx. 65	66,9
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	72,1	29/11/2019	Máx. 80	81,1
T 90% da destilação	°C	ASTM D 86-18	158,1	29/11/2019	Máx. 190	193,1
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	217,5	29/11/2019	Máx. 215	219,7
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	1,1	29/11/2019	Máx. 2	2,2
Teor de Metanol	% v/v	NBR 16041-2015	< 0,1	03/12/2019	Máx. 0,5	-
Chumbo*	g/L	ICP / OES	< 0,00001	05/12/2019	Máx. 0,005	-
Fósforo	g/L	ASTM D3231-18	0,60	10/12/2019	Máx. 1,3	-
Teor de Hidrogênio*	%	Análise Elementar	13,70	14/01/2020	-	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D 240-17	39,812	09/12/2019	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D 240-17	36,905	16/01/2020	-	-
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	< 0,01	03/12/2019	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

*O combustível Gasolina Comum foi coletado na base de distribuição de combustíveis, localizada em Betim-MG, em garrafas de vidro de 1L, previamente limpas. No momento da coleta as garrafas foram lavadas com o próprio combustível, esta porção foi descartada e posteriormente nova alíquota foi amostrada. Os frascos foram tampados e enviados para o LEC/UFMG.*

**RE: 1657/19**

**Data Emissão: 10/02/2020**

**Via: 3- cancela e substitui as vias 1 e 2**

**Solicitante/Contato: Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes**

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** **GASOLINA TIPO C - COMUM** **Data Entrada Lab.:** 21/11/2019

**Identif. Cliente:** "Amostra com aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 21/11/2019

**OBS:** - **Data Atendimento:** 30/10/2019

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\*Ensaio subcontratado.

**Preparo:**

O combustível do tipo Gasolina Comum foi transferido para um frasco de vidro âmbar, previamente limpo, com capacidade para 4L com o objetivo de homogeneizar adequadamente todo o volume.

1 L foi separado em frasco de PET de alta densidade, previamente limpo para ser analisado como combustível sem aditivo (referência para as misturas com aditivo).

A mistura de combustível + aditivo foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 0,038% em volume (23 mL para 60 L) utilizando o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 214, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 768, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** **Amostra conforme as especificações da ANP para as características avaliadas.**

**Regra de decisão do laudo:** *RANP nº40 de 2013 e Limites de Indeterminação da ANP.*

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 1656/19**

Data Emissão: 10/02/2020

Via: 3 - cancela e substitui as vias 1 e 2

**Solicitante/Contato: Logítec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes**
**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** GASOLINA TIPO C - COMUM **Data Entrada Lab.:** 21/11/2019

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 21/11/2019

**OBS:** - **Data Atendimento:** 30/10/2019

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº40 de 2013	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isentos de impurezas	11/12/2019	Límpido e isentos de impurezas	-
Cor	-	Visual-IT-LEC-00-11 rev.14	Laranja	11/12/2019	Exceto azul	-
Teor de Etanol Anidro Combustível	% v/v	NBR 13992-2015	29	09/12/2019	26 a 28	25 a 29
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	750,2	29/11/2019	-	-
Pressão de Vapor à 37,8°C	kPa	ASTM D 5191-19	53,2	05/12/2019	Máx. 69	-
Goma Atual Lavada, máx	mg/100 mL	ASTM D 381-12 (2017)	1,4	09/12/2019	Máx. 5	-
Período de Indução	min	ASTM D 525-12a	> 360	04/12/2019	Mín. 360	-
Corrosividade ao Cobre à 50°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	09/12/2019	Máx. 1	-
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D 5453-19	39	04/12/2019	Máx. 50	63
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	54,8	29/11/2019	Máx. 65	66,9
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	72,1	29/11/2019	Máx. 80	81,1
T 90% da destilação	°C	ASTM D 86-18	157,0	29/11/2019	Máx. 190	193,1
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	217,2	29/11/2019	Máx. 215	219,7
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	1,2	29/11/2019	Máx. 2	2,2
Teor de Metanol	% v/v	NBR 16041-2015	< 0,1	03/12/2019	Máx. 0,5	-
Chumbo*	g/L	ICP / OES	< 0,00001	20/12/2019	Máx. 0,005	-
Fósforo	mg/L	ASTM D3231-18	0,71	10/12/2019	Máx. 1,3	-
Teor de Hidrogênio*	%	Análise Elementar	13,58	14/01/2020	-	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D 240-17	39,564	09/12/2019	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D 240-17	36,682	16/01/2020	-	-
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	< 0,01	03/12/2019	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

O combustível Gasolina Comum foi coletado na base de distribuição de combustíveis, localizada em Betim-MG, em garrafas de vidro de 1L, previamente limpas. No momento da coleta as garrafas foram lavadas com o próprio combustível, esta porção foi descartada e posteriormente nova alíquota foi amostrada. Os frascos foram tampados e enviados para o LEC/UFMG.

**Desvios de procedimento:**

**RE: 1656/19**

**Data Emissão: 10/02/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui as vias 1 e 2**

**Solicitante/Contato: Logítec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes**

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** **GASOLINA TIPO C - COMUM** **Data Entrada Lab.:** 21/11/2019

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 21/11/2019

**OBS:** - **Data Atendimento:** 30/10/2019

NA

**OBS:**

\*Ensaio subcontratado.

Preparo:

O combustível do tipo Gasolina Comum foi transferido para um frasco de vidro âmbar, previamente limpo, com capacidade para 4L com o objetivo de homogeneizar adequadamente todo o volume.

1 L foi separado em frasco de PET de alta densidade, previamente limpos para ser analisado como combustível sem aditivo (referência para as misturas com aditivo).

A mistura de combustível + aditivo foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 0,038% em volume (23 mL para 60 L) utilizando o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 214, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.

- Micropipeta, volume regulável, MCP 768, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** **Amostra conforme as especificações da ANP para as características avaliadas.**

**Regra de decisão do laudo:** *RANP nº40 de 2013 e Limites de Indeterminação da ANP.*

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 482/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** Óleo Combustível Marítimo **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** TQ 3 - Lacre 0202793 **Data Coleta/Amost.:** 25/05/2020 **Coleta realizada pelo cliente.**

**OBS:** Amostra com aditivo **Green Plus.** **Data Atendimento:** 29/05/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP 52/2010 Tab IV (380)	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** / U****
Acidez	mgKOH/g	ASTM D664-18 e 2	0,14	22/06/2020	2,5	±0,15
Teor de Água	%m/m	ASTM D6304-16e1	0,14	24/06/2020	máx 0,5	±0,17
Água e Sedimentos	% volume	ASTM D1796-16	**	24/06/2020	-	-
Teor de Cinzas	% massa	ASTM D482-19	0,004	30/06/2020	máx 0,1	±0,01
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D5453-19	1,8	17/06/2020	máx 3,5	±0,26
Índice de Aromaticidade Carbônica	-	RANP 52 DE 2010	866,6	14/07/2020	máx 870	-
Massa específica a 15° C	kg/m³	ASTM D4052-18a	988,7	14/07/2020	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m³	ASTM D4052-18a	985,4	14/07/2020	máx 987,8	±0,3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D93-19	98,1	29/06/2020	mín 60,0	±1,6
Micro resíduo de carbono	% m/m	ASTM D4530-15	8,65	23/06/2020	máx 18	±0,58
Viscosidade Cinemática a 50°C	mm²/s	ASTM D445-18	89,79	19/06/2020	máx 380	±5,022
Viscosidade Cinemática a 60°C	mm²/s	ASTM D445-18	53,99	22/06/2020	-	-
* Ponto de Fluidez	°C	Método Interno	4	23/06/2020	máx 30	-
* Alumínio	mg/kg	ICP / OES	<0,02	08/07/2020	-	-
* Silício			<0,07		-	-
Alumínio + Silício			<0,07		máx 60	-
* Sódio			0,56		máx 100	±0,05
* Cálcio			1,4		máx 30	±0,12
* Fósforo			0,02		máx 15	±0,01
* Zinco			<0,02		máx 15	-
* Vanádio			1,6		máx 350	±0,02
Poder Calorífico Superior			MJ/kg		ASTM D240-17	42,341
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D240-17	40,227	05/10/2020	-	-
*Teor de Hidrogênio	%	Análise Elementar	9,96	02/10/2020	-	-

**RE: 482/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** Óleo Combustível Marítimo **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** TQ 3 - Lacre 0202793 **Data Coleta/Amost.:** 25/05/2020 **Coleta realizada pelo cliente.**

**OBS:** Amostra com aditivo **Green Plus.** **Data Atendimento:** 29/05/2020

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaios subcontratados.

\*\* Devido a coloração escura da amostra não é possível identificar com clareza a presença de sedimentos.

Aditivação realizada pelo LEC UFMG com aditivo para diesel e óleos combustíveis **GREEN PLUS.**

Preparo:

A mistura de combustível + aditivo foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 30 mL para 100 L (150 microlitros para 0,5 litro), utilizando-se o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 215, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 586, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 5/2009 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259) e \*\*\*\*incerteza declarada pelo lab parceiro em azul.

**Interpretação:** NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 481/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** Óleo Combustível Marítimo

**Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** TQ 3 - Lacre 227277

**Data Coleta/Amost.:** 25/05/2020

Coleta realizada pelo cliente.

**OBS:** Amostra sem aditivo.

**Data Atendimento:** 29/05/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP 52/2010 Tab IV (380)	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  L <sup>***</sup> / U <sup>****</sup>
Acidez	mgKOH/g	ASTM D664-18 e 2	0,15	22/06/2020	2,5	±0,15
Teor de Água	%m/m	ASTM D6304-16e1	0,18	24/06/2020	máx 0,5	±0,17
Água e Sedimentos	% volume	ASTM D1796-16	**	24/06/2020	-	-
Teor de Cinzas	% massa	ASTM D482-19	0,004	30/06/2020	máx 0,1	±0,01
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D5453-19	1,8	17/06/2020	máx 3,5	±0,26
Índice de Aromaticidade Carbônica	-	RANP 52 DE 2010	867,6	14/07/2020	máx 870	-
Massa específica a 15° C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D4052-18a	988,8	14/07/2020	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D4052-18a	984,8	14/07/2020	máx 987,8	±0,3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D93-19	100,1	29/06/2020	mín 60,0	±1,6
Micro resíduo de carbono	% m/m	ASTM D4530-15	8,46	23/06/2020	máx 18	±0,58
Viscosidade Cinemática a 50°C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D445-18	83,84	19/06/2020	máx 380	±5,022
Viscosidade Cinemática a 60°C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D445-18	50,77	19/06/2020	-	-
* Ponto de Fluidez	°C	Método Interno	0	23/06/2020	máx 30	-
* Alumínio	mg/kg	ICP / OES	<0,02	08/07/2020	-	-
* Silício			<0,07		-	-
Alumínio + Silício			<0,07		máx 60	-
* Sódio			<0,1		máx 100	-
* Cálcio			3,1		máx 30	±0,12
* Fósforo			0,2		máx 15	±0,02
* Zinco			<0,02		máx 15	-
* Vanádio			8,2		máx 350	±0,10
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	42,353	30/06/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D240-17	40,271	05/10/2020	-	-
*Teor de Hidrogênio	%	Análise Elemental	9,81	02/10/2020	-	-

RE: **481/2020**

Data Emissão: 05/10/2020

Via: 2 - cancela e substitui a via 1

Solicitante/Contato: Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

Endereço: Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

Amostra: Óleo Combustível Marítimo Data Entrada Lab.: 10/06/2020

Identif. Cliente: TQ 3 - Lacre 227277 Data Coleta/Amost.: 25/05/2020 Coleta realizada pelo cliente.

OBS: Amostra sem aditivo. Data Atendimento: 29/05/2020

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaios subcontratados.

\*\* Devido a coloração escura da amostra não é possível identificar com clareza a presença de sedimentos.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

Regra de decisão do laudo: Resolução ANP 5/2009 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259) e \*\*\*\*incerteza declarada pelo lab parceiro em azul.

Interpretação: NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 322/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL MARÍTIMO **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Coleta/Amost.:** 12/03/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº52 de 2010	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** (F-221)
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isento de impurezas	29/04/2020	Anotar	-
Cor	-	Visual-IT-LEC-00-11 rev. 14	Marrom	29/04/2020	-	-
Teor de Biodiesel	% v/v	EN 14078-2014	0,1	04/05/2020	Máx. 0,1	±0,02
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D5453-19a	0,3391	23/04/2020	Máx. 0,5	±0,04
Massa Específica a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	854,1	17/04/2020	-	-
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	850,7	17/04/2020	Máx. 896,8	±0,3 kg/m3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93-19	69,2	16/04/2020	Mín. 60°C	±1,6
Viscosidade	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-19	3,763	24/04/2020	Máx. 11,0	±0,145
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio	°C	ASTM D 6371-17a	0,0	22/04/2020	-	-
Micro resíduo de Carbono	% m/m	ASTM D4530-15	0,06	27/04/2020	Máx. 0,30	±0,09
Resíduo de Carbono Ramsbottom	% m/m	ASTM D 524-15	0,12	05/05/2020	Máx. 0,30	±0,09
Cinzas	% m/m	ASTM D 482-13	0,0003	30/04/2020	Máx. 0,010	±0,005
Corrosividade ao Cobre à 50,6°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	27/04/2020	-	-
Teor de Água	mg/kg	ASTM D 6304-16e1	67	16/04/2020	Máx. 0,30	±0,12
Contaminação Total	mg/kg	EN 12662-2014	1,8	30/04/2020	-	-
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	0,01	30/04/2020	Máx 2,5	±0,15
Lubricidade	µm	ASTM D 6079-18	355	28/04/2020	-	-
Estabilidade a Oxidação	h	EN 15751-2014	>48 ATÍPICO, SEM PONTO DE QUEBRA	-	-	-
Índice de Cetano	-	ASTM D4737-10(2016) Procedimento A	49,7	24/04/2020	Mín 35	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	45,338	29/04/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/Kg	ASTM D240-17	42,509	17/08/2020	-	-

**RE: 322/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL MARÍTIMO **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Coleta/Amost.:** 12/03/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Carbono*	% m/m	Análise Elementar	84,96	31/07/2020	-	-
Hidrogênio*	% m/m	Análise Elementar	13,33	31/07/2020	-	-
Nitrogênio*	% m/m	Análise Elementar	<0,0017	31/07/2020	-	-
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	225,0	22/04/2020	-	-
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	288,0	22/04/2020	-	-
T 85% da destilação	°C	ASTM D 86-18	346,8	22/04/2020	-	-
T 95% da destilação	°C	ASTM D 86-18	382,2	22/04/2020	-	-
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	397,0	22/04/2020	-	-
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	1,5	22/04/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Amostrador: CB - QI Nascimento. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaio subcontratado.

Preparo:

A mistura de combustível + aditivo **GREEN PLUS** foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 30 mL para 100 L (300 microlitros para 1 litro), utilizando-se o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 214, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 585, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 52/2010 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza

Química Responsável Ensaio Regulares

Nº CRQ : 02101288

**RE: 321/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL MARÍTIMO **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 12/03/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº52 de 2010	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** (F-221)
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isento de impurezas	29/04/2020	Anotar	-
Cor	-	Visual-IT-LEC-00-11 rev. 14	Marrom	29/04/2020	-	-
Teor de Biodiesel	% v/v	EN 14078-2014	0,1	04/05/2020	Máx. 0,1	±0,02
Teor de Enxofre	%m/m	ASTM D5453-19a	0,29	23/04/2020	Máx. 0,5	±0,04
Massa Específica a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	854,3	17/04/2020	-	-
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	850,7	17/04/2020	Máx. 896,8	±0,3 kg/m3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93-19	70,2	16/04/2020	Mín. 60°C	±1,6
Viscosidade	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-19	3,798	24/04/2020	Máx. 11,0	±0,145
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio	°C	ASTM D 6371-17a	0,0	22/04/2020	-	-
Micro resíduo de Carbono	% m/m	ASTM D4530-15	0,06	27/04/2020	Máx. 0,30	±0,09
Resíduo de Carbono Ramsbottom	% m/m	ASTM D 524-15	0,12	05/05/2020	Máx. 0,30	±0,09
Cinzas	% m/m	ASTM D 482-13	0,0000	29/04/2020	Máx. 0,010	±0,005
Corrosividade ao Cobre à 50,6°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	27/04/2020	-	-
Teor de Água	mg/kg	ASTM D 6304-16e1	75	16/04/2020	Máx. 0,30	±0,12
Contaminação Total	mg/kg	EN 12662-2014	3,6	30/04/2020	-	-
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	0,01	30/04/2020	Máx 2,5	±0,15
Lubricidade	µm	ASTM D 6079-18	347	28/04/2020	-	-
Estabilidade a Oxidação	h	EN 15751-2014	>48 ATÍPICO, SEM PONTO DE QUEBRA	-	-	-
Índice de Cetano	-	ASTM D4737-10(2016) Procedimento A	49,6	24/04/2020	Mín 35	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	45,306	23/04/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/Kg	ASTM D240-17	42,509	17/08/2020	-	-

**RE: 321/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL MARÍTIMO **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 12/03/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Carbono*	% m/m	Análise Elementar	85,44	31/07/2020	-	-
Hidrogênio*	% m/m	Análise Elementar	13,18	31/07/2020	-	-
Nitrogênio*	% m/m	Análise Elementar	<0,0017	31/07/2020	-	-
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	224,0	22/04/2020	-	-
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	288,2	22/04/2020	-	-
T 85% da destilação	°C	ASTM D 86-18	346,5	22/04/2020	-	-
T 95% da destilação	°C	ASTM D 86-18	382,3	22/04/2020	-	-
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	394,3	22/04/2020	-	-
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	1,3	22/04/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Amostrador: CB - QI Nascimento. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaios subcontratados.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

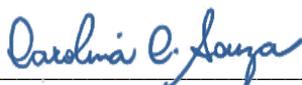
**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 52/2010 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

**RE: 58/21**

**Data Emissão: 23/02/2021**

**Via: 1**

**Solicitante/Contato: Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda. / Wilson José Romão**

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra: QUEROSENE DE AVIAÇÃO** **Data Entrada Lab.:** 13/01/2021

**Identif. Cliente:** Amostra sem aditivo **Av Green®** **Data Coleta/Amost.:** 12/01/2021

**OBS:** - **Data Atendimento:** 16/12/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº778 de 2019	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI**
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temp. ambiente	25/01/2021	Límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temp. ambiente	-
Cor Saybolt	-	ASTM D 6045-12(2017)	27	15/01/2021	Anotar	±0,7
Partículas Contaminantes	mg/L	ASTM D 5452-12	0,53	19/02/2021	1,0	±0,4
Acidez Total	mg KOH/g	ASTM D3242-11 (2017)	<0,001	08/02/2021	Máx 0,015	±0,003 (qdo quantificado)
Teor de Aromáticos	% v/v	ASTM D 6379-11 (2019)	18,20	26/01/2021	Máx. 26,5	±1,5
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D 5453-19	0,0078	28/01/2021	Máx. 0,3	±0,0224
Enxofre Mercaptídico	% m/m	ASTM D 3227-17	0,00003	25/01/2021	Máx. 0,0030	± 0,0003
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 56-16a	50,7	25/01/2021	Mín. 38	±2,5
Massa Específica à 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	804,5	18/01/2021	771,3 a 836,6	±0,3
Ponto de Congelamento	°C	ASTM D 5972-16	-59,4	15/01/2021	Máx. -47	±0,5
Viscosidade a -20°C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D7945-16	3,9	15/01/2021	Máx. 8,0	±0,012
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D 3338-09 (2014) e2	43,176	10/02/2021	Mín. 42,8	±0,03
Ponto de Fuligem	mm	ASTM D1322-19	21,6	15/01/2021	Mín. 18 (Com Naftalenos máx. 3,00 % v/v)	±0,5
Naftalenos	% v/v	ASTM D1840-07(2017)	0,81	21/01/2021	Máx. 3,00	±0,05
Corrosividade ao Cobre	-	ASTM D 130-19	1b	25/01/2021	Máx. 1	-
Estabilidade Térmica a 260°C	mm Hg	ASTM D 3241-19	0,0	21/01/2021	Máx. 25	-
	-	ASTM D 3241-19 - Dep. tubo manual	<2		< 3 (sem depósito de cor anormal ou pavão)	-
Goma*	mg/100 mL	IP 540 / ASTM D381-19	<1	03/02/2021	Máx. 7	±2,6
Índice de Separação de Água (MSEP)	-	ASTM D 3948-14 (2018)	81	21/01/2021	<b>Com dissipador: mín.70</b> Sem dissipador: mín 85	±8
Chumbo	g/L	ASTM D3237-17	<0,0007	18/02/2021	Máx. 0,005	±0,002 (qdo quantificado)

**RE: 58/21**Data Emissão: **23/02/2021**Via: **1****Solicitante/Contato: Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda. / Wilson José Romão****Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.**Amostra: QUEROSENE DE AVIAÇÃO** Data Entrada Lab.: 13/01/2021**Identif. Cliente:** Amostra sem aditivo **Av Green®** Data Coleta/Amost.: 12/01/2021**OBS:** - Data Atendimento: 16/12/2020

T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	174,6	21/01/2021	Máx. 205	±2,3
T 50% da destilação	°C		192,6		Anotar	±1,8
T 90% da destilação	°C		227,5		Anotar	-
Ponto Final de Ebulição	°C		252,6		Máx. 300	±4,2
Resíduo da destilação	mL		1,1		Máx. 1,5	-
Perda da destilação	mL		0,8		Máx. 1,5	-
Condutividade Elétrica	ps/m	ASTM D2624-15	194 (22°C)	15/01/2021	50 a 600	±17
Lubricidade, BOCLE	mm	ASTM D5001-10 (2014)	0,579	19/01/2021	Máx. 0,85	±0,029

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e / ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados relatados aqui se aplicam à amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Subcontratado.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada

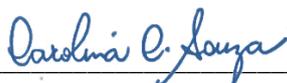
**Laudo:****Amostra conforme as especificações da Resolução ANP nº 778 de 2019 para as características avaliadas.****Regra de decisão do laudo:**

RANP nº 778 de 2019. \*\*Limites de indeterminação da ANP = 0,59 x Reprodutibilidade do método quando disponível (Fonte: ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza

Química Responsável Ensaio Regulares

Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 59/21**

**Data Emissão: 23/02/2021**

**Via: 1**

**Solicitante/Contato: Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda. / Wilson José Romão**

**Endereço: Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.**

**Amostra: QUEROSENE DE AVIAÇÃO Data Entrada Lab.: 13/01/2021**

**Identif. Cliente: Amostra com aditivo Av Green® Data Coleta/Amost.: 12/01/2021**

**OBS: - Data Atendimento: 16/12/2020**

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº778 de 2019	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI**
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temp. ambiente	25/01/2021	Límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temp. ambiente	-
Cor Saybolt	-	ASTM D 6045-12(2017)	27	15/01/2021	Anotar	±0,7
Partículas Contaminantes	mg/L	ASTM D 5452-12	0,45	19/02/2021	1,0	±0,4
Acidez Total	mg KOH/g	ASTM D3242-11 (2017)	<0,001	08/02/2021	Máx 0,015	±0,003 (qdo quantificado)
Teor de Aromáticos	% v/v	ASTM D 6379-11 (2019)	18,57	26/01/2021	Máx. 26,5	±1,5
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D 5453-19	0,0077	28/01/2021	Máx. 0,3	±0,0224
Enxofre Mercaptídico	% m/m	ASTM D 3227-17	0,00003	25/01/2021	Máx. 0,0030	± 0,0003
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 56-16a	50,7	25/01/2021	Mín. 38	±2,5
Massa Específica à 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	804,6	18/01/2021	771,3 a 836,6	±0,3
Ponto de Congelamento	°C	ASTM D 5972-16	-59,4	15/01/2021	Máx. -47	±0,5
Viscosidade a -20°C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D7945-16	3,9	15/01/2021	Máx. 8,0	±0,012
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D 3338-09 (2014) e2	43,175	10/02/2021	Mín. 42,8	±0,03
Ponto de Fuligem	mm	ASTM D1322-19	21,5	15/01/2021	Mín. 18 (Com Naftalenos máx. 3,00 % v/v)	±0,5
Naftalenos	% v/v	ASTM D1840-07(2017)	0,82	21/01/2021	Máx. 3,00	±0,05
Corrosividade ao Cobre	-	ASTM D 130-19	1b	25/01/2021	Máx. 1	-
Estabilidade Térmica a 260°C	mm Hg	ASTM D 3241-19	0,0	20/01/2021	Máx. 25	-
	-	ASTM D 3241-19 - Dep. tubo manual	1		< 3 (sem depósito de cor anormal ou pavão)	-
Goma*	mg/100 mL	IP 540 / ASTM D381-19	<1	29/01/2021	Máx. 7	±2,6
Índice de Separação de Água (MSEP)	-	ASTM D 3948-14 (2018)	84	21/01/2021	<b>Com dissipador: mín.70</b> Sem dissipador: mín 85	±8
Chumbo	g/L	ASTM D3237-17	<0,0007	18/02/2021	Máx. 0,005	±0,002 (qdo quantificado)

**RE: 59/21**

**Data Emissão: 23/02/2021**

**Via: 1**

**Solicitante/Contato: Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda. / Wilson José Romão**

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra: QUEROSENE DE AVIAÇÃO** **Data Entrada Lab.:** 13/01/2021

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo **Av Green®** **Data Coleta/Amost.:** 12/01/2021

**OBS:** - **Data Atendimento:** 16/12/2020

T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	175,8	21/01/2021	Máx. 205	±2,3
T 50% da destilação	°C		194,0		Anotar	±1,8
T 90% da destilação	°C		228,5		Anotar	-
Ponto Final de Ebulição	°C		253,0		Máx. 300	±4,2
Resíduo da destilação	mL		1,2		Máx. 1,5	-
Perda da destilação	mL		0,6		Máx. 1,5	-
Condutividade Elétrica	ps/m	ASTM D2624-15	166 (T=22°C)	15/01/2021	50 a 600	±17
Lubricidade, BOCLE	mm	ASTM D5001-10 (2014)	0,564	19/01/2021	Máx. 0,85	±0,028

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e / ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado.

A amostra foi recebida em bombona de 20 L. **Seis litros de amostra** foram preparados com o aditivo na proporção indicada pelo cliente (**AV Green®** - 50 ppm em volume). Procedimento de diluição no campo OBS deste relatório.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Subcontratado.

**Procedimento de aditivação:**

Seis (6) Litros da mistura de combustível + aditivo **AV Green®** foi preparada na concentração solicitada pelo cliente (50 ppm em volume) com o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 215, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC Engecal, CER58905/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 586, capacidade nominal 20-200µL, calibrado por laboratório pertencente à RBC Certific, 4198/2020, validade da calibração 09/2023.

5 L de mistura combustível + aditivo foram preparados e acondicionados em bombona plástica para o ensaio de partículas contaminantes e o 1 L restante foi acondicionado em frasco de vidro previamente limpo e seco.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada

**Laudo:**

**Amostra conforme as especificações da Resolução ANP nº 778 de 2019 para as características avaliadas.**

**Regra de decisão do laudo:**

RANP nº 778 de 2019. **\*\*Limites de indeterminação da ANP = 0,59 x Reprodutibilidade do método quando disponível (Fonte: ISO4259).**

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza

Química Responsável Ensaios Regulares

Nº CRQ : 02101288

**RE: 484/2020**

Data Emissão: 05/10/2020

Via: 2 - cancela e substitui a via 1

Solicitante/Contato: Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

Endereço: Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

Amostra: Óleo Bunker Data Entrada Lab.: 10/06/2020

Identif. Cliente: VLF50 / TQ 100 / Lacre 0202759 Data Coleta/Amost.: 25/05/2020 Coleta realizada pelo cliente.

OBS: Amostra com aditivo Green Plus. Data Atendimento: 29/05/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP 52/2010 Tab IV (380)	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** / U****
Acidez	mgKOH/g	ASTM D664-18 e 2	0,33	22/06/2020	2,5	±0,15
Teor de Água	%m/m	ASTM D6304-16e1	0,03	24/06/2020	máx 0,5	±0,17
Água e Sedimentos	% volume	ASTM D1796-16	**	26/06/2020	-	-
Teor de Cinzas	% massa	ASTM D482-19	0,003	29/06/2020	máx 0,1	±0,01
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D5453-19	0,3	16/06/2020	máx 3,5	±0,26
Índice de Aromaticidade Carbônica	-	RANP 52 DE 2010	806,6	15/07/2020	máx 870	-
Massa específica a 15° C	kg/m³	ASTM D4052-18a	928,4	15/07/2020	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m³	ASTM D4052-18a	925,1	15/07/2020	máx 987,8	±0,3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D93-19	96,1	29/06/2020	mín 60,0	±1,6
Micro resíduo de carbono	% m/m	ASTM D4530-15	7,34	23/06/2020	máx 18	±0,58
Viscosidade Cinemática a 50°C	mm²/s	ASTM D445-18	87,81	19/06/2020	máx 380	±5,022
Viscosidade Cinemática a 60°C	mm²/s	ASTM D445-18	55,51	19/06/2020	-	-
* Ponto de Fluidez	°C	Método Interno	-1	23/06/2020	máx 30	-
* Alumínio	mg/kg	ICP / OES	<0,02	08/07/2020	-	-
* Silício			<0,07		-	-
Alumínio + Silício			<0,07		máx 60	-
* Sódio			1,3		máx 100	±0,07
* Cálcio			4,5		máx 30	±0,15
* Fósforo			0,1		máx 15	±0,01
* Zinco			<0,02		máx 15	-
* Vanádio			1,8		máx 350	±0,03
Poder Calorífico Superior			MJ/kg		ASTM D240-17	44,304
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D240-17	41,830	05/10/2020	-	-
*Teor de Hidrogênio	%	Análise Elementar	11,66	02/10/2020	-	-

**RE: 484/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** Óleo Bunker **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** VLF50 / TQ 100 / Lacre 0202759 **Data Coleta/Amost.:** 25/05/2020 **Coleta realizada pelo cliente.**

**OBS:** Amostra com aditivo **Green Plus.** **Data Atendimento:** 29/05/2020

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaios subcontratados.

\*\* Devido a coloração escura da amostra não é possível identificar com clareza a presença de sedimentos.

Aditivação realizada pelo LEC UFMG com aditivo para diesel e óleos combustíveis **GREEN PLUS.**

Preparo:

A mistura de combustível + aditivo foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 30 mL para 100 L (150 microlitros para 0,5 litro), utilizando-se o seguinte material:

- Balão volumétrico classe A, BVL 215, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.
- Micropipeta, volume regulável, MCP 586, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 5/2009 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259) e \*\*\*\*incerteza declarada pelo lab parceiro em azul.

**Interpretação:** NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 483/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** Óleo Bunker **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** VLF50 / TQ 100 / Lacre 0202707 **Data Coleta/Amost.:** 25/05/2020 **Coleta realizada pelo cliente.**

**OBS:** Amostra sem aditivo. **Data Atendimento:** 29/05/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP 52/2010 Tab IV (380)	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  L <sup>***</sup> / U <sup>****</sup>
Acidez	mgKOH/g	ASTM D664-18 e 2	0,35	22/06/2020	2,5	±0,15
Teor de Água	%m/m	ASTM D6304-16e1	0,03	24/06/2020	máx 0,5	±0,17
Água e Sedimentos	% volume	ASTM D1796-16	**	26/06/2020	-	-
Teor de Cinzas	% massa	ASTM D482-19	0,003	29/06/2020	máx 0,1	±0,01
Teor de Enxofre	% m/m	ASTM D5453-19	0,3	16/06/2020	máx 3,5	±0,26
Índice de Aromaticidade Carbônica	-	RANP 52 DE 2010	806,4	15/07/2020	máx 870	-
Massa específica a 15° C	kg/m³	ASTM D4052-18a	928,3	15/07/2020	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m³	ASTM D4052-18a	925,0	15/07/2020	máx 987,8	±0,3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D93-19	97	29/06/2020	mín 60,0	±1,6
Micro resíduo de carbono	% m/m	ASTM D4530-15	7,32	23/06/2020	máx 18	±0,58
Viscosidade Cinemática a 50°C	mm²/s	ASTM D445-18	88,34	19/06/2020	máx 380	±5,022
Viscosidade Cinemática a 60°C	mm²/s	ASTM D445-18	55,50	22/06/2020	-	-
* Ponto de Fluidez	°C	Método Interno	-2	23/06/2020	máx 30	-
* Alumínio	mg/kg	ICP / OES	<0,02	08/07/2020	-	-
* Silício			<0,07		-	-
Alumínio + Silício			<0,07		máx 60	-
* Sódio			1,1		máx 100	±0,06
* Cálcio			1,9		máx 30	±0,11
* Fósforo			0,2		máx 15	±0,01
* Zinco			0,2		máx 15	±0,01
* Vanádio			2,6		máx 350	±0,03
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	44,225	30/06/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	ASTM D240-17	41,772	05/10/2020	-	-
*Teor de Hidrogênio	%	Análise Elemental	11,56	02/10/2020	-	-

**RE: 483/2020**

**Data Emissão: 05/10/2020**

**Via:** 2 - cancela e substitui a via 1

**Solicitante/Contato:** Horeb Brasil Energia e Combustíveis Ecológicos Ltda / Wilson Romão e Venâncio Gomes

**Endereço:** Av. das Américas nº 17.150, Bloco 1, sala 414, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, R.J.

**Amostra:** Óleo Bunker **Data Entrada Lab.:** 10/06/2020

**Identif. Cliente:** VLF50 / TQ 100 / Lacre 0202707 **Data Coleta/Amost.:** 25/05/2020 **Coleta realizada pelo cliente.**

**OBS:** Amostra sem aditivo. **Data Atendimento:** 29/05/2020

**Plano de amostragem ou coleta:**

Amostragem e/ou coleta realizada pelo cliente. Procedimento não informado. Os resultados aqui relatados aplicam-se a amostra conforme recebida.

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaio subcontratado.

\*\* Devido a coloração escura da amostra não é possível identificar com clareza a presença de sedimentos.

Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.

**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 5/2009 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259) e \*\*\*\*incerteza declarada pelo lab parceiro em azul.

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaios Regulares  
Nº CRQ : 02101288

Final documento.

**RE: 318/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S10 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº50 de 2013	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** (F-221)
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isentos de impurezas	29/04/2020	Límpido e isentos de impurezas	-
Cor	-	Visual-IT-LEC-00-11 rev. 14	Amarelo	29/04/2020	-	-
Cor ASTM	-	ASTM D 1500-12 (2017)	L 1,5	29/04/2020	Máx 3,0	±1 unidade de cor
Teor de Biodiesel	% v/v	EN 14078-2014	13,2	04/05/2020	10,5 a 15,5	10,0 a 16,2
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D5453-19a	4,9	07/05/2020	Máx. 10	±2
Massa Específica a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	844,5	17/04/2020	-	-
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	841,0	17/04/2020	815 a 853	±0,3 kg/m <sup>3</sup>
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93-19	54,1	16/04/2020	> 38	±1,6
Viscosidade	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-19	2,753	23/04/2020	2,0 a 4,5	1,974 a 4,559
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio	°C	ASTM D 6371-17a	-6,0	22/04/2020	Máx. 7 (mês de abril em MG)	±1
Micro resíduo de Carbono	% m/m	ASTM D4530-15	0,05	27/04/2020	-	-
Resíduo de Carbono Ramsbottom	% m/m	ASTM D 524-15	0,1	05/05/2020	Máx. 0,25	± 0,04
Cinzas	% m/m	ASTM D 482-13	0,0000	29/04/2020	Máx. 0,010	±0,005
Corrosividade ao Cobre à 50,6°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	24/04/2020	Máx. 1	-
Teor de Água	mg/kg	ASTM D 6304-16e1	147	16/04/2020	Máx. 200	±239
Contaminação Total	mg/kg	EN 12662-2014	6,9	30/04/2020	Máx. 24	±5
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	0,06	16/04/2020	-	-
Lubricidade	µm	ASTM D 6079-18	159	27/04/2020	Máx. 520	±47
Estabilidade a Oxidação	h	EN 15751-2014	31,72	23/04/2020	-	-
Índice de Cetano	-	ASTM D4737-10(2016) Procedimento A	49,3	24/04/2020	-	-
Poder Calorífico Superior	MJ/kg	ASTM D240-17	44,955	24/04/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/Kg	ASTM D240-17	42,213	17/08/2020	-	-

**RE: 318/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S10 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** Amostra com aditivo Green Plus. **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Carbono*	% m/m	Análise Elementar	82,06	31/07/2020	-	-
Hidrogênio*	% m/m	Análise Elementar	12,92	31/07/2020	-	-
Nitrogênio*	% m/m	Análise Elementar	<0,0017	31/07/2020	-	-
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	191,8	16/04/2020	Mín. 180	±2,3
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	279,6	16/04/2020	245 a 295	±1,8
T 85% da destilação	°C	ASTM D 86-18	331,0	16/04/2020	-	-
T 95% da destilação	°C	ASTM D 86-18	350,7	16/04/2020	Máx. 370	±5,6
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	359,8	16/04/2020	-	±4,2
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	1,3	16/04/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

*O combustível Diesel S10 foi coletado pelo LEC UFMG em bombona previamente limpa.*

*No momento da coleta a bombona foi lavada com o próprio combustível, esta porção foi descartada e posteriormente nova alíquota foi amostrada.*

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaio subcontratado.

Preparo:

A mistura de combustível + aditivo **GREEN PLUS** foi preparada na concentração solicitada pelo cliente de 30 mL para 100 L (300 microlitros para 1 litro), utilizando-se o seguinte material:

• Balão volumétrico classe A, BVL 214, capacidade nominal 1000 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER58906/18, validade da calibração 08/2028.

• Micropipeta, volume regulável, MCP 585, capacidade nominal 0,1 a 1 mL, calibrado por laboratório pertencente à RBC (Engecal), CER18795/19, validade da calibração 05/2021.

*Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.*

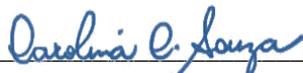
**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 50/2013 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza

Química Responsável Ensaio Regulares

Nº CRQ : 02101288

**RE: 317/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S10 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Ensaio	Unidade	Método	Resultado	Data do Ensaio	Especificação, caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  RANP nº50 de 2013	Incerteza (U) ou Limite de Indeterminação (LI), caso aplicável <i>Informar qual foi utilizado:</i>  LI*** (F-221)
Aspecto	-	ASTM D 4176-04 (2014)	Límpido e isentos de impurezas	29/04/2020	Límpido e isentos de impurezas	-
Cor	-	Visual-IT-LEC-00-11 rev. 14	Amarelo	29/04/2020	-	-
Cor ASTM	-	ASTM D 1500-12 (2017)	L 1,5	29/04/2020	Máx 3,0	±1 unidade de cor
Teor de Biodiesel	% v/v	EN 14078-2014	13,6	04/05/2020	10,5 a 15,5	10,0 a 16,2
Teor de Enxofre	mg/kg	ASTM D5453-19a	5,0	07/05/2020	Máx. 10	±2
Massa Específica a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	844,5	17/04/2020	-	-
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052-18a	841,0	17/04/2020	815 a 853	±0,3 kg/m3
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93-19	56,1	16/04/2020	> 38	±1,6
Viscosidade	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445-19	2,756	23/04/2020	2,0 a 4,5	1,974 a 4,559
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio	°C	ASTM D 6371-17a	-6,0	22/04/2020	Máx. 7 (mês de abril em MG)	±1
Micro resíduo de Carbono	% m/m	ASTM D4530-15	0,02	27/04/2020	-	-
Resíduo de Carbono Ramsbottom	% m/m	ASTM D 524-15	0,07	05/05/2020	Máx. 0,25	± 0,04
Cinzas	% m/m	ASTM D 482-13	0,022	29/04/2020	Máx. 0,010	±0,005
Corrosividade ao Cobre à 50,6°C, 3hs	-	ASTM D 130-19	1b	24/04/2020	Máx. 1	-
Teor de Água	mg/kg	ASTM D 6304-16e1	137	16/04/2020	Máx. 200	±239
Contaminação Total	mg/kg	EN 12662-2014	7,2	30/04/2020	Máx. 24	±5
Índice de Acidez	mgKOH/g	ASTM D 664-18e2	0,06	16/04/2020	-	-
Lubricidade	µm	ASTM D 6079-18	162	27/04/2020	Máx. 520	±47
Estabilidade a Oxidação	h	EN 15751-2014	29,88	23/04/2020	-	-
Índice de Cetano	-	ASTM D4737-10(2016) Procedimento A	49,7	24/04/2020	-	-
Poder Calorífico Superior	MJ/Kg	ASTM D240-17	44,870	22/04/2020	-	-
Poder Calorífico Inferior	MJ/Kg	ASTM D240-17	42,107	17/08/2020	-	-

**RE: 317/2020**

**Data Emissão: 17/08/2020**

**Via: 3 - cancela e substitui a via 2**

**Solicitante/Contato:** Logitec Assessoria em Logística Ltda / Wilson José Romão e Venâncio Alvarenga Gomes

**Endereço:** Av. das Américas, 2480, bl 02, sl 314, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

**Amostra:** DIESEL TIPO B - S10 **Data Entrada Lab.:** 15/04/2020

**Identif. Cliente:** "Amostra sem aditivo" **Data Coleta/Amost.:** 15/04/2020

**OBS:** - **Data Atendimento:** 13/04/2020

Carbono*	% m/m	Análise Elementar	82,48	31/07/2020	-	-
Hidrogênio*	% m/m	Análise Elementar	13,02	31/07/2020	-	-
Nitrogênio*	% m/m	Análise Elementar	<0,0017	31/07/2020	-	-
T 10% da destilação	°C	ASTM D 86-18	193,6	16/04/2020	Mín. 180	±2,3
T 50% da destilação	°C	ASTM D 86-18	281,1	16/04/2020	245 a 295	±1,8
T 85% da destilação	°C	ASTM D 86-18	332,9	16/04/2020	-	-
T 95% da destilação	°C	ASTM D 86-18	356,2	16/04/2020	Máx. 370	±5,6
Ponto Final de Ebulição	°C	ASTM D 86-18	363,1	16/04/2020	-	±4,2
Resíduo da destilação	mL	ASTM D 86-18	0,9	16/04/2020	-	-

**Plano de amostragem ou coleta:**

*O combustível Diesel S10 foi coletado pelo LEC UFMG em bombona previamente limpa.*

*No momento da coleta a bombona foi lavada com o próprio combustível, esta porção foi descartada e posteriormente nova alíquota foi amostrada.*

**Desvios de procedimento:**

NA

**OBS:**

\* Ensaio subcontratado.

*Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente à amostra citada.*

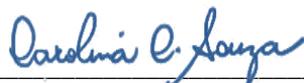
**Laudo:** Amostra conforme às especificações da ANP para as características avaliadas.

**Regra de decisão do laudo:** Resolução ANP 50/2013 e \*\*\*Limites de Indeterminação ANP (0,59 x Repro normas - ISO4259).

**Interpretação:**

NA

NA ou - : Não Aplicável.



Carolina do Carmo Souza  
Química Responsável Ensaio Regulares  
Nº CRQ : 02101288



**cifal**  
Argentina



United Nations Institute for Training and Research



**unitar**

Fundación



## Eco-label for the product GREEN PLUS

**Methodology for award of the eco-label:** is based on the meta analysis of the results of numerous tests carried out in different laboratories and companies in the world. With the data collected was formed a criterion, considering the results obtained in studies carried out with strict protocols, always in compliance with the quality standards commonly accepted by the specialized scientific community International. Attached is a summary of these studies by Fundación EcoConciencia where we base the following criteria for the eco-label.

### Conclusions by use of Green Plus:

#### *Gasoline (gasoline or benzene)*

Item	% Reduction
Fuel consumption	7%
Greenhouse gas	7%
Particulate material	30%

#### *Diesel (gas oil, diesel oil or petrodiesel)*

Item	% Reduction
Fuel consumption	7%
Greenhouse gas	7%
Particulate material (includes Black Carbon)	30%

**Precautionary approach in the calculation of greenhouse gas reduction:** in the same was not considered the potential of greenhouse effect of the reduction of Black Carbon, or reducing emissions of nitrous oxide, which much bigger would give a reduction in emissions, but took this precautionary measure of security for offset emission reductions which were visualized among the tests with different types and models of engines, and differences in different conditions of use.

**In petrol** (gasoline or benzene) reducing emissions of GHG greenhouse comes from increasing energy efficiency in fuel, which generates a reduction of 7% of the amount of volume consumed, which in turn allows the certification of a generalized and quantifiable reduction of 7% of the GHG CO<sub>2</sub> eq in petrol (gasoline or benzene) catalyzed with Green Plus technology. Reducing the particulate material emissions were 30%.

**For Diesel** (gas oil, diesel oil or petrodiesel) the reduction of emissions of Black Carbon, the Material particulate matter PM10 and PM2,5 were 30%. The reduction of GHG greenhouse come from increasing the energy efficiency in fuel, a more complete burning product, which results in a reduction of the amount of the volume consumed, and that allows to certify the reduction of the 7% of greenhouse gases expressed in CO<sub>2</sub> eq in Diesel (gas oil, diesel oil or petrodiesel), catalyzed the Green Plus technology.

In regards to the oxides of nitrogen NOx and sulfur dioxide SOx, checked important findings with the use of the Green Plus, indicating a significant reduction to help lessen the emission of these pollutant gases with great opportunities in thermal power stations and fuel marine.

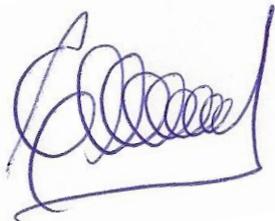
This allows that fossil fuels catalyst Green Plus technology, in the proportion of 50 parts per million, either in liters or gallons can be classified as **Energy Transition Fuel** needed to be incorporated into the energy transition of United Nations strategy.

In order for the EcoLabel benefits could be transferable to governments and companies, the principle of traceability must comply (must be a measurable, quantifiable and auditable process)

*Green Plus technology does not modify the physical, chemical, or thermodynamic characteristics of fossil fuels or biofuels. These continue while preserving its own characteristics, technical specifications and regulations allowing that technology can be used by all brands of engines and be added to all types of liquid fuels like gasoline (petrol or) benzine), Diesel (gas oil, diesel oil or petrodiesel), ethanol and biodiesel.*

It is recorded that the HOREB company has completed the integration of the Sustainable Development Goals into its corporate strategy, through training and workshops carried out by CIFAL Argentina, into this framework, is compatible for the issuance of this EcoLabel.

**The present EcoLabel will be in force since January 17°, 2019, with the following condition:** all the tests to be perform by HOREB globally with the Green Plus product, must be informed to Foundation EcoConciencia and CIFAL Argentina United Nations entity, to keep update the general conclusions. The non-realization of such duty will make fall the validity of the EcoLabel. This validity will be confirmed annually by a specific document to be issued by CIFAL Argentina.



**Lic. Rodolfo Tarraubella**

**CIFAL Argentina**  
Executive Director



**cifal**  
Argentina



United Nations Institute for Training and Research



**unitar**

**Fundación  
Luciérnaga**



## Verificación Anual EcoEtiqueta para Green Plus

La presente verificación anual sobre el rendimiento y el aumento de eficiencia energética del catalizador químico Green Plus, ha sido enteramente satisfactoria, habiendo cumplido ampliamente con los criterios adoptados en el otorgamiento de la EcoEtiqueta oportunamente realizado, dentro del marco de la medición de la línea base, en la certificación para la Integración de los ODS a la estrategia corporativa de HOREB.

Al meta-análisis realizado, se le han agregado más pruebas en vehículos y/o motores con diferentes tipos de combustibles, siendo el resultado promedio superador a los previamente determinados. Cabe destacar que ha mejorado el protocolo de pruebas realizadas.

A nuestro criterio, la denominación de Combustible de Transición Energética para el combustible fósil, y la denominación de Bio-Booster para el combustible en base a Etanol Anhidro, es perfectamente adecuada en función de los resultados obtenidos.

Por lo tanto, una vez auditados estos resultados, se decide extender la vigencia de la EcoEtiqueta hasta el 31 de Mayo del 2023, manteniendo los criterios fijados oportunamente.

La próxima verificación anual podrá ser realizada entre Enero y Mayo del 2.023.

En Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a los 6 días del mes de Mayo del 2.022.-

**Lic. Rodolfo Tarraubella**

**CIFAL** Argentina  
Director Ejecutivo

CIFAL Argentina - Diag. 9 de Julio 82, Piso 2° - (Q8300ICN) Neuquén, Neuquén - Argentina

Presidente: jose.kirby@cifalargentina.org – Director Ejecutivo: rodolfo@tarraubella.com

Cel: +54 9 11 5773 1234 - [www.cifalargentina.org](http://www.cifalargentina.org) - [www.unitar.org](http://www.unitar.org)

# **Informe Técnico**

## **Proyecto F.62293**

### **“Evaluación del Catalizador Akron en Gasolina”**

**Informe final**

**Realizado para:**

**Mexicana de Lubricantes S.A. de C.V.**

**05 de julio de 2018**

## Contenido

	<b>Resumen ejecutivo</b>
<b>1.</b>	<b>Antecedentes</b>
<b>2.</b>	<b>Objetivos</b>
<b>3.</b>	<b>Alcances</b>
<b>4.</b>	<b>Protocolo de la prueba tecnológica y resultados</b>
<b>5.</b>	<b>Referencias de normas, regulaciones y estándares aplicables.</b>
<b>6.</b>	<b>Anexos</b>

## Resumen ejecutivo

A solicitud de Akron, el IMP realizó una prueba tecnológica de un producto denominado *Catalizador* mediante la ejecución de pruebas estandarizadas de laboratorio y recorridos en campo. El objetivo del estudio fue conocer si la incorporación del catalizador en la gasolina Pemex-Magna tipo Regular modifica las propiedades de la gasolina, preserva sus características de detergencia y si tiene efectos en las emisiones de escape y en el consumo de combustible, mediante la ejecución de pruebas estandarizadas de laboratorio y recorridos en campo.

Para conocer los posibles cambios en las propiedades del combustible, fueron tomadas muestras y enviadas a diferentes laboratorios para su análisis fisicoquímico. En general, el mayor hallazgo en los resultados es que evidenciaron que no se presentan cambios en sus propiedades, ni en su contenido de metales al incorporar el catalizador.

Adicionalmente, se realizaron ensayos comparativos para evaluar la tendencia y prevención a la corrosión de la gasolina Pemex Magna tipo Regular sin aditivo, con el aditivo IMP-DG-15 (Combustible de Referencia) y cuando se adiciona el catalizador (Combustible Candidato) a esta última. La gasolina con *catalizador*, a la concentración utilizada, mantuvo su nivel aprobatorio de la prueba de corrosividad y cualitativamente similar a la gasolina con el aditivo DG-15, lo que mantiene su viabilidad de aplicación.

En ambas gasolinas, los depósitos obtenidos se encuentran por debajo estándar de 100 mg promedio por válvula que exige la norma en los depósitos acumulados, en ese sentido, al añadir el catalizador a la gasolina no afectó su desempeño del aditivo IMP-DG-15. No obstante se observó una reducción de 5.2 mg en los depósitos cuando se empleó en conjunto el aditivo DG-15 y el *catalizador*. Esto representa una reducción del 76.47%, en relación al combustible de referencia.

Las pruebas para la determinación de emisiones y rendimiento de combustible se llevaron a cabo en el Laboratorio de Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores (LEVyEM), del IMP, en la Ciudad de México. Los procedimientos de muestreo y medición de las emisiones cumplen con el procedimiento de prueba del *Code of Federal Regulations 40 Part 86 Subpart B* de los Estados Unidos de Norteamérica en el que se basa la Norma Mexicana NMX-AA- 11-1993.

El protocolo de pruebas consideró tres fases: primera, medición de emisiones al cabo de 400 km de uso de la gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG-15 (combustible de referencia) como referencia; segunda, medición después de 400 km de uso de la gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG-15 y *catalizador*, (combustible candidato)



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**

tercera, medición después de recorrer 2 000 km consumiendo la misma gasolina con *catalizador*. (combustible candidato).

Con la finalidad de determinar si las diferencias entre los niveles promedio de emisión de escape y rendimiento de combustible son estadísticamente significativas, se realizó una prueba  $t$  para muestras independientes de los resultados con cada combustible, utilizando un valor de  $p$  (nivel de significancia) de 0.05, típicamente usado en estudios similares para determinar la significancia estadística entre las medias con varianzas diferentes. En tal sentido, se estimó con un 95% de probabilidad que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas y las diferencias en masa emitida tienden a ser marginales entre la gasolina de referencia y la gasolina con *catalizador* en las dos condiciones de recorrido acumulado de 400 y 2 000 km.

En general, la comparación entre los resultados de los dos combustibles evaluados no presenta cambios estadísticamente significativos en sus emisiones de escape y de su rendimiento de combustible de los cinco vehículos de prueba y en entre las condiciones de recorrido de 400 y 2 000 km; además, su comportamiento no mostró una tendencia definida.

Durante los ensayos realizados en el laboratorio con pruebas de efecto inmediato, los vehículos funcionaron y se desempeñaron satisfactoriamente, ninguno presentó falla como consecuencia del uso del *catalizador* en la gasolina a la concentración utilizada, y por lo tanto, en ningún caso se iluminó el sistema de diagnóstico abordado OBD de los vehículos de prueba. Sin embargo, el estudio no es concluyente sobre los efectos que pudiese tener el uso de gasolinas con el *catalizador* a largo plazo.

## 1. Antecedentes

La evaluación de las cualidades de un producto para gasolina se basa en los resultados obtenidos por medio de pruebas controladas de laboratorio, dirigidos a establecer su capacidad para mejorar alguna o varias de las propiedades de las gasolinas, limpiar y mantener limpios los sistemas de admisión e inyección de combustible, así como reducir el consumo de combustible y las emisiones, entre otras características. Aun cuando las cualidades descritas se determinan mediante la ejecución de protocolos estandarizados de pruebas en laboratorio, también es importante estimar la ausencia de efectos secundarios adversos al ambiente y garantizar el adecuado desempeño de los automotores bajo condiciones reales de uso.

Las Normas de los Estados Unidos de América, la Comunidad Europea y Japón, así como las mexicanas, prohíben radicalmente el uso de aditivos que contengan metales en los combustibles y establecen en sus especificaciones y normas ciertas restricciones a la composición y presencia de compuestos que pueden afectar directamente a la salud de la población o ser precursores de la formación de ozono en ciudades con altas concentraciones de dicho contaminante. Sin embargo, todavía se desconocen los efectos tóxicos de muchos compuestos presentes en las gasolinas y de sus emisiones, por lo que la *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) ha establecido una serie de protocolos estandarizados mediante los cuales todos los aditivos para gasolina y diesel deben registrarse y probarse de acuerdo al título 40 parte 79 del *Code of Federal Regulations* (CFR).

A solicitud de Akron, el IMP realizó una prueba tecnológica de un producto denominado *Catalizador*. El objetivo del estudio fue conocer si la incorporación del *catalizador* en la gasolina Pemex-Magna tipo Regular modifica las propiedades de la gasolina, preserva sus características de detergencia y si tiene efectos en las emisiones de escape y en el consumo de combustible, mediante la ejecución de pruebas estandarizadas de laboratorio y recorridos en campo.

## 2. Objetivo

Determinar si la incorporación del *catalizador* en la gasolina Pemex-Magna tipo Regular modifica o preserva las propiedades que especifica la normatividad en México y tiene efectos en las emisiones de escape y en el consumo de combustible, mediante la ejecución de pruebas estandarizadas de laboratorio y recorridos en campo.

### 3. Alcances

Se evaluó el efecto del *catalizador*, propuesto por Akron, al utilizarse en la gasolina Pemex-Magna tipo Regular en una concentración de 50 ppm, de acuerdo con lo siguiente:

- Se determinó el efecto del *catalizador* en las principales propiedades de las gasolinas sujetas a las especificaciones de la norma vigente (NOM-016-CRE-2016).
- Se verificó la compatibilidad del *catalizador* con los aditivos usados actualmente, en cuanto a la formación de emulsiones, espuma, micelas, corrosividad e inhibición de la función de los otros aditivos presentes en el combustible.
- Se evaluó en laboratorio el efecto del *catalizador* en la formación de depósitos en el sistema de admisión de los motores y la compatibilidad con el aditivo detergente IMP DG-15.
- Se determinó en el laboratorio el comportamiento de las emisiones del escape y el consumo de combustible en una flotilla compuesta por cinco vehículos automotores que:
  - Consumieron gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG-15 sin el *catalizador* durante 400 km (Referencia)
  - Consumieron la misma gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG-15 con el *catalizador* durante 400 y 2 000 km.

### 4. Protocolo de pruebas y resultados

#### 4.1.- Combustibles

Para el desarrollo de la prueba tecnológica, el día 15 de marzo llegó al IMP la gasolina Pemex-Magna tipo Regular de un solo lote de 5 500 litros sin el aditivo IMP-DG-15, en 28 tambores de 200 litros, de los cuales 2 000 litros se transportaron a la Reforma, Hgo. para las pruebas de detergencia IVD y los otros 3 500 litros se destinaron al laboratorio de emisiones de la Ciudad de México para su caracterización, consumo en los recorridos y para las pruebas de emisiones de escape y rendimiento de combustible, se almacenaron resguardados de cambios extremos de temperatura o humedad y lluvia.

El 20 y 21 de marzo se realizó la adición del catalizador. En Sede los representantes del producto realizaron la adición de 10 ml de *catalizador* en cada uno de los nueve tambores seleccionados al azar, mientras que en la Reforma, Hgo. se realizó en cinco tambores. La concentración final equivale a 50 ppm del catalizador en cada tambor de 200 litros. Para el



INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

completo mezclado del *catalizador* y el aditivo IMP DG-15 se recirculó su contenido en cada uno de los tambores.

En todos los casos los tambores fueron rotulados con la leyenda de “DG” gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo IMP-DG-15 y “DG” “C” gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG15 y *catalizador*.

### 4.2. Vehículos

Los vehículos de prueba fueron seleccionados y proporcionados por Akron. Se solicitó que los automotores estuvieran en buenas condiciones mecánicas, además de cumplir con un procedimiento de verificación de condiciones iniciales y emisiones cercanas a los estándares de emisión de escape establecidos para los automóviles de ese año-modelo. En el Cuadro 1 se muestran las características de los automotores utilizados en las pruebas.

**Cuadro 1. Vehículos utilizados en la prueba tecnológica del catalizador**

Año Modelo	Marca	Sub-marca	Desplazamiento [litros]	Cilindros	Sistema de Combustible	Convertidor Catalítico	Odómetro [km]
2012	Nissan	NP 300	2.4	4	MP FI	Tres vías	45 433
2015	Nissan	Tiida	1.8	4	MP FI	Tres vías	69 089
2010	Nissan	Tsuru	1.6	4	MP FI	Tres vías	249 245
2016	Chevrolet	Spark	1.2	4	MP FI	Tres vías	50 767
2016	VW	Gol	1.4	4	MP FI	Tres vías	70 872

Los vehículos fueron proporcionados de la compañía Akron. Antes de iniciar la secuencia de pruebas, cada vehículo fue sujeto de una inspección visual de sus condiciones mecánicas, configuración e integridad de los componentes del motor, así como de los sistemas de combustible y recuperación de vapores, con la finalidad de garantizar la ausencia de problemas que pudieran poner en riesgo la integridad del personal y las instalaciones, así como la obtención de datos confiables. Al concluir la inspección visual se realizaron pruebas para estimar los niveles de emisión. Las pruebas se llevaron a cabo en las condiciones en que se recibieron los automóviles y no se realizó reparación ni ajuste alguno a las unidades. A sugerencia de Akron y con el fin de saber el desempeño del catalizador, se reali-



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

### INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

zaron las pruebas en un vehículo con más de 200 mil kilómetros de recorrido como el Nissan Tsuru modelo 2010, en donde, se presentó niveles de emisiones en los tres contaminantes criterio (CO, hidrocarburos y NO<sub>x</sub>), y en el caso del CO en los vehículos Tiida y Spark, con valores por arriba del límite máximo permisible establecido en la norma NOM-042-SEMARNAT-2003

[1]

Durante el periodo de ejecución del estudio, en todos los vehículos utilizados se mantuvieron intactos sus sistemas de combustible y de control de emisiones.

Una vez aceptados los vehículos para la evaluación del *catalizador*, previo inicio de las pruebas, se realizó el cambio del filtro de aire por uno nuevo después de haber completado los recorridos en campo por el personal de Akron.

Como ya se asentó con anterioridad, en el transcurso de las pruebas y la acumulación de kilometraje no se realizaron modificaciones ni ajustes en los componentes del motor o sistemas de control, tampoco la incorporación o remoción de dispositivos y accesorios ajenos al esquema de evaluación, que pudieran provocar cambios en las emisiones o en el rendimiento de combustible. Todos los vehículos estuvieron bajo control y supervisión del responsable de seguimiento de la flotilla en el Instituto. Asimismo, se llevó una bitácora donde se registraron los kilómetros recorridos y del combustible abastecido requerido para los recorridos y las pruebas en laboratorio.



### 4.3.- Efectos en las propiedades y corrosividad

Para conocer los posibles cambios en las propiedades del combustible, fueron tomadas muestras y enviadas a los diferentes laboratorios para su análisis fisicoquímico, de acuerdo con las especificaciones que señala la norma NOM-016-CRE-2016 [2]. Los resultados de los tres combustibles se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Características de las gasolinas**

Determinación	Método	Pemex-Magna tipo Regular sin aditivo DG-15	Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG-15 (combustible de referencia)	Pemex-Magna tipo Regular con aditivo DG-15 y catalizador (combustible candidato)
Peso específico 20/4 °C	ASTM D1298	0.7204	0.7189	0.7189
Azufre, mg/kg	ASTM D5453	22.4	22.3	22.6
Azufre mercaptano RSH, mg/kg	ASTM 3227	0.0003	0.0004	0.0004
Presión de vapor, psi	ASTM D4953	7.60	7.59	7.56
Gomas lavadas, mg/100 ml	ASTM D381	0.00	0.00	0.00
Corrosión al cobre 3H a 50°C	ASTM D 130	1a	1a	1a
Destilación, °C	ASTM D 86			
TIE		38.0	36.7	37.7
10% dest		57.7	57.5	57.7
50% dest		91.9	92.0	91.9
90% dest		152.0	151.7	151.1
TFE		197.2	195.9	197.1
Composición, % vol.	ASTM D 6729			
Parafinas		13.2	13.1	13.0
Isoparafinas		48.6	48.6	48.5
Olefinas		7.0	7.1	7.0
Aromáticos		16.9	16.9	17.2
Naftenos		5.8	5.8	5.8
Oxigenados		7.8	7.8	7.7
Oxígeno, % peso		1.49	1.49	1.48
RON	ASTM D 2699	91.0	91.0	91.3



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

MON	ASTM D 2700	84.0	83.5	83.6
(RON+MON)/2	ASTM D 8414	87.5	87.2	87.4
Poder Calorífico bruto, Btu/lb	ASTM D 240	20 188	20 040	20 016
Poder Calorífico neto, Btu/lb	ASTM D 240	18 935	18 798	18 781
Estabilidad a la oxidación	ASTM D525	>240	>240	>240

El resultado en general, de las distintas muestras de gasolinas analizadas no presentaron cambios en sus propiedades al incorporar el catalizador, lo que demuestra que no modifica las características físico químicas de los combustibles, en tanto que las diferencias observadas se encuentran dentro de la repetibilidad de cada método de análisis utilizado.

Otras de las determinaciones para la caracterización de las gasolinas utilizadas fue la presencia de metales, en este sentido, se enviaron las tres gasolinas al laboratorio de absorción atómica, en el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos.



**Cuadro .3 Determinación de metales por absorción atómica en las gasolinas de prueba**

Identificación	Metal [mg/kg]						
	Cu	Fe	K	Mn	Na	P	Si
Gasolina Pemex-Magna tipo Regular	<0.01	0.02	<0.06	<0.01	0.11	<0.01	<0.40
	Zn	Cr	Ni	Ba	Mo	Pb	V
	0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.02	<0.10
Gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo IMP-DG-15 (combustible de referencia)	Cu	Fe	K	Mn	Na	P	Si
	<0.01	0.06	<0.06	<0.01	0.21	<0.01	<0.40
	Zn	Cr	Ni	Ba	Mo	Pb	V
	0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.02	<0.10
Gasolina Pemex-Magna tipo Regular con aditivo IMP-DG-15 y Catalizador (combustible candidato)	Cu	Fe	K	Mn	Na	P	Si
	<0.01	0.15	<0.06	<0.01	0.24	<0.01	<0.40
	Zn	Cr	Ni	Ba	Mo	Pb	V
	0.01	<0.02	<0.01	<0.05	<0.05	<0.02	<0.10

En los resultados obtenidos no se presentaron cambios significativos en el contenido de los metales presentes en las gasolinas analizadas. Con lo cual se evidencia que el *catalizador* utilizado en las pruebas no contiene metales en concentraciones detectables, lo que permite afirmar que se cumple con la Norma establecida.

#### 4.4. Pruebas de corrosión con las gasolinas

Los ensayos para evaluar la tendencia y prevención a la corrosión de la gasolina fueron realizados por el Área de Tratamientos Químicos de la Dirección de Servicios de Ingeniería. Para la ejecución de las pruebas se proporcionaron muestras de gasolina Pemex magna tipo regular sin y con aditivo IMP-DG-15, (combustible de referencia) y con aditivo DG-15 y catalizador (combustible candidato).



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**

Para evaluar el grado de corrosión que generan las muestras de las gasolinas, se realizaron pruebas de conformidad con el método NACE TM0172 2001<sup>[3]</sup>.

El método NACE TM0172 2001 califica visualmente la huella o proporción de herrumbre en la superficie de un cupón cilíndrico de acero, después de permanecer inmerso en una mezcla de combustible de prueba y agua destilada en constante agitación. Si la superficie se cubre de herrumbre en su totalidad se le asigna la letra E (Falla) y si está libre de herrumbre se le asigna la letra A.

Primeramente, se realizaron los ensayos con la gasolina sin aditivos (blanco) y posteriormente, se realizaron los ensayos de prevención a la corrosión utilizando la gasolina con aditivo detergente DG-15 (combustible de referencia) y finalmente con aditivo DG-15 y *catalizador (combustible candidato)*. Ver resultados en el cuadro 4.

**Cuadro 4.- Resultados de las pruebas de corrosión NACE-TM-0172-2001**

Prueba	Método	Gasolina Pemex Magna tipo regular (referencia)	Gasolina Pemex Magna tipo regular con aditivo DG-15 (combustible de referencia)	Gasolina Pemex Magna tipo regular con aditivo DG-15 y catalizador (combustible candidato)
Método de prueba estándar para la determinación de propiedades corrosivas de carga de tuberías de productos del petróleo.	NACE-TM-0172-2001	clasificación		
		E	B+	B

El uso de gasolinas con catalizador (combustible candidato) a la concentración utilizada no representó en estas pruebas cambios y se mantuvo su nivel aprobatorio de la prueba de corrosividad y cualitativamente similar a la gasolina con el aditivo DG-15 (combustible de referencia), lo que muestra su similar cumplimiento del NECE-TM-0172-2001.

#### **4.5.-Pruebas de depósitos en válvulas de admisión (IVD).**

Hay evidencia generada a lo largo de años sobre la formación y acumulación de depósitos en los sistemas de alimentación de combustible de los motores, causada por el contacto de la gasolina o la mezcla aire-gasolina con las superficies calientes. Cuando la gasolina no contiene aditivos detergentes, los depósitos acumulados obstruyen el paso de combustible en los carburadores e inyectores y tienden a carbonizarse en la falda de las válvulas de admisión, obstruyendo paulatinamente el paso de la mezcla aire-gasolina. Algunos investigadores han observado además que las gasolinas que contienen oxigenados, tienden a formar más depósitos que las gasolinas que no los contienen. La obstrucción al paso de combustible o la mezcla de aire-gasolina, afectan negativamente el desempeño de los motores, el consumo de combustible y las emisiones de escape.

Para calificar la tendencia de las gasolinas a formar depósitos en los sistemas de admisión de los motores, particularmente válvulas e inyectores, así como la efectividad de los aditivos que controlan o remueven los depósitos, se han desarrollado diversas metodologías de prueba en vehículos prototipo y motores de banco, las cuales conllevan una operación equivalente a 16 000 kilómetros o un consumo aproximado de 1 000 litros de gasolina por motor o vehículo.

Las normas de combustibles de vanguardia que ha emitido la USEPA y otros países euro-



## **Dirección de Servicios de Ingeniería**

**Región: Centro-Norte**

**Centro de trabajo: Ciudad de México**

### **INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**

peos y asiáticos, al igual que la norma mexicana vigente, establecen la obligatoriedad de utilizar aditivos detergentes en las gasolinas con el propósito de controlar la acumulación de depósitos en el sistema de alimentación de combustible. De acuerdo con la USEPA una gasolina con la concentración aceptable de aditivo no debe formar más de 100 miligramos de depósitos promedio por válvula al cabo de 16,000 km de prueba con un vehículo BMW 318i 1985 y, la restricción en el flujo de cualquiera de los inyectores de un vehículo Chrysler

1985-87, con motor 2.2 litros turbo cargado, debe ser menor a 5%, de conformidad con los procedimientos ASTM D 5500 y ASTM D 5598, respectivamente.

Para predecir de forma confiable los resultados que pudieran esperarse en las pruebas ASTM D 5500 y ASTM D 5598 con vehículos y en laboratorios reconocidos por la USEPA, se han desarrollado pruebas de banco estandarizadas, las cuales son de utilidad para los desarrolladores de aditivos, ya que implican un menor tiempo y costo. El IMP dispone de un laboratorio de pruebas donde se realiza el procedimiento ASTM D 6201 mediante el cual se cuantifica la formación de depósitos en las válvulas de admisión, empleando un motor Ford 2.3 litros del vehículo Ranger 1994. El motor está acoplado a un dinamómetro y opera en condiciones variables de carga y velocidad durante 100 horas efectivas. Para ejecutar los ensayos se debe utilizar gasolina cuya fórmula favorece la formación de depósitos, buscando garantizar que la tasa de tratamiento mínimo satisface las exigencias de cualquier gasolina

[4].

Las gasolinas que comercializa Pemex contienen un paquete multifuncional denominado IMP-DG-15 (combustible de referencia) que ha demostrado desempeñarse adecuadamente durante la prueba en motor de banco, así como las pruebas ASTM con vehículos en un laboratorio extranjero. Las gasolinas requieren una dosificación para cumplir con los estándares de la norma vigente; sin embargo, dado que no se tienen antecedentes de como pudiera afectar el desempeño del aditivo detergente con el *catalizador (combustible candidato)* se consideró necesario realizar las pruebas correspondientes.

Para las dos pruebas de depósitos en las válvulas de admisión previstas, el lote de gasolina de 2 000 litros requerido, uno de ellas con el aditivo DG-15 (combustible de referencia) y el otro con el aditivo y el *catalizador (combustible candidato)*, ver resultados de los cambios de pesos en válvulas en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Depósitos en válvulas de admisión (IVD) ASTM D 6201-04**

Combustible	Peso de depósitos en válvulas de admisión [mg]				
	Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Promedio
Gasolina Pemex Magna tipo regular con aditivo IMP-DG-15 (combustible de referencia)	4.9	9.9	8.8	3.5	<b>6.8</b>
Gasolina Pemex Magna tipo regular con aditivo IMP-DG-1 y <i>catalizador (combustible candidato)</i>	1.3	1.2	2.0	1.8	<b>1.6</b>

En ambas gasolinas, los depósitos obtenidos se encuentran por debajo estándar de 100 mg



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

### INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

promedio por válvula que exige la norma en los depósitos acumulados, en ese sentido, al añadir el catalizador a la gasolina no afectó su desempeño del aditivo IMP-DG-15. Lo que garantiza la compatibilidad de los productos dentro de la misma fórmula de combustibles. No obstante se observó una reducción de 5.2 mg en los depósitos cuando se empleó en conjunto el aditivo DG-15 y el *catalizador (combustible candidato)*. Lo que demuestra el beneficio en la reducción de los depósitos cuando el catalizador está presente. En la figura 1 se observan las válvulas con los depósitos de ambas gasolinas.

**Figura 1. Depósitos en válvulas de admisión (IVD) ASTM D 6201-04**



**4.6.- Determinación de emisiones de escape y rendimiento de combustible.**

Para la evaluación de productos que tienen la intención de mejorar el rendimiento de combustible y/o reducir las emisiones, el IMP propone un protocolo similar al que utiliza el Laboratorio Nacional de Combustibles y Emisiones Vehiculares de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA), conocido como “Programa 511”, al considerar que la realización de pruebas estandarizadas y controladas es el procedimiento adecuado para aislar factores ajenos al objeto de evaluación [5].

Para cumplir con el objetivo de la prueba tecnológica del catalizador, se propuso un protocolo de pruebas para comparar el comportamiento de las emisiones y el rendimiento de combustible en los vehículos utilizando gasolina Pemex-Magna tipo Regular; y así establecer la línea base o de referencia con un recorrido de 400 km, así como con la misma gasolina con 50 partes por millón (ppm) del *catalizador*.

De acuerdo con las recomendaciones del tecnólogo del catalizador, para la segunda fase del estudio, cada vehículo debería utilizar la gasolina con el *catalizador* en la concentración arriba mencionada al menos 2 000 km, para permitir la acción del *catalizador* en el combustible. En tal sentido, después de realizar las pruebas en el laboratorio con 400 km recorridos con la gasolina con el *catalizador*, se continuó el recorrido hasta acumular 2 000



## **Dirección de Servicios de Ingeniería**

**Región: Centro-Norte**

**Centro de trabajo: Ciudad de México**

km con la misma gasolina. A continuación en el cuadro 6, se resume la secuencia del protocolo que se planteó para cada vehículo.

**Cuadro 6. Programa de pruebas del catalizador en automóviles a gasolina**

Pas o	Km recorridos	Actividad
1		Acumulación de 400 kilómetros con la gasolina Pemex-Magna tipo Regular en un circuito de recorrido preestablecido, donde se combinó el manejo en ciudad y carretera.
2	400	Medición de emisiones de escape (reguladas y no reguladas) y rendimiento de combustible con los procedimientos FTP-75 y HWFET. Gasolina Pemex-Magna tipo Regular (combustible de referencia)
3		Acumulación de 400 kilómetros utilizando la misma gasolina Pemex-Magna tipo Regular con el denominado catalizador, (combustible candidato) en el mismo circuito de recorrido establecido.
4	400	Medición de emisiones de escape (reguladas y no reguladas) y rendimiento de combustible con los procedimientos FTP-75 y HWFET. Gasolina Pemex-Magna tipo Regular con <i>catalizador (combustible candidato)</i> .
6		Acumulación de 2 000 kilómetros empleando la gasolina Pemex-Magna tipo Regular con <i>catalizador. (combustible candidato)</i> .
7	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición de emisiones de escape (reguladas y no reguladas) y rendimiento de combustible con los procedimientos FTP-75 y HWFET con gasolina Pemex-Magna tipo Regular con <i>catalizador (combustible candidato)</i>.</li> </ul>

Las pruebas de estabilización del motor con cada combustible, implicaron recorridos diarios de aproximadamente 400 km. Los recorridos se realizaron entre las instalaciones del IMP y la Ciudad de Querétaro. Antes de iniciar las actividades de los recorridos, se les informó a los operadores el propósito de la prueba y las condiciones normales de uso con las que deberían operar los vehículos. Previamente se abastecían de combustible y se registró en bitácora la lectura del odómetro, así como la cantidad aproximada de combustible suministrado.

Las pruebas para la determinación de emisiones y rendimiento de combustible se llevaron a cabo en el Laboratorio de Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores (LEVyEM), en las instalaciones del IMP en la Ciudad de México. Se utilizó la celda equipada con dinamómetro de chasis provisto de sistema de carga eléctrica, así como de rodillos de 48 pulgadas de diámetro. Dicho sistema se integra a un equipo de muestreo a volumen constante (CVS) y un analizador de cinco gases (CO, CO<sub>2</sub>, hidrocarburos totales y NO<sub>x</sub>), marca Horiba. El



## **Dirección de Servicios de Ingeniería**

**Región: Centro-Norte**

**Centro de trabajo: Ciudad de México**

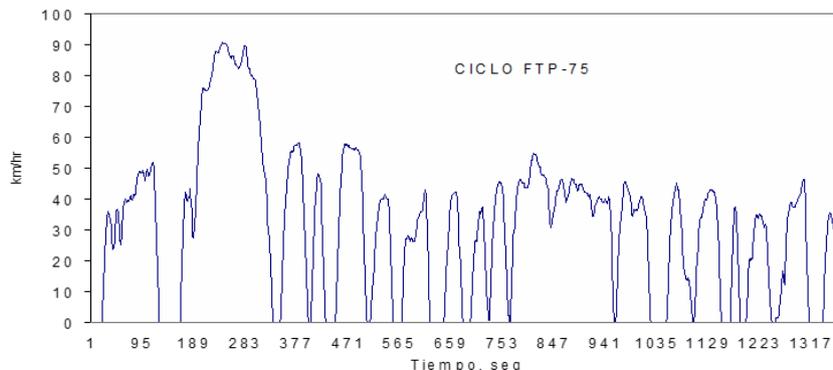
**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**

equipo descrito y los procedimientos de muestreo y medición cumplen con las especificaciones señaladas en el procedimiento de prueba del *Code of Federal Regulations*

40 *Part 86 Subpart B* de los Estados Unidos de Norteamérica en el que se basa la Norma Mexicana NMX-AA-11-1993.

En el procedimiento FTP-75 el automóvil inicia la prueba arrancando con el motor en frío y desarrolla una secuencia de manejo de 18 ciclos combinados de operación en ralentí, aceleración, diversas magnitudes de velocidad estable, así como desaceleración y frenado. Al finalizar las dos primeras etapas denominadas Transitorio frío (bolsa 1) y Estabilizado (bolsa 2), se apaga el motor durante 10 minutos y reinicia la secuencia con los 5 primeros ciclos de la etapa anterior, denominada en este caso Transitorio caliente (bolsa 3). La velocidad promedio de 32 km/hr y una velocidad máxima de 91 km/hr. En el tiempo que dura el ciclo (~31 minutos), 17% corresponde a marcha de ralentí, 34% de aceleración y 29% de frenado, de acuerdo con la Figura 2. el ciclo de acondicionamiento LA-4 utiliza los primeros 18 ciclos del FTP-75.

Figura 2. Secuencia de manejo para la prueba FTP-75.



La determinación de emisiones FTP-75 con cada gasolina de realizó por duplicado. Para calificar la repetibilidad y garantizar la ausencia de efectos de arrastre de combustible o problemas ajenos a la propia evaluación del combustible, se utilizó el criterio de repetitividad de la EPA, en donde si el resultado del valor mayor sobre el menor para: CO<sub>2</sub> > 1.03, NO<sub>x</sub>

> 2.7 y THC > 2.0, se realiza una tercera prueba. Una vez que se obtienen resultados con repetibilidad aceptable, se continúa la secuencia del protocolo de pruebas.

Antes de iniciar las pruebas de emisiones, se realizan con cada vehículo una serie de pruebas de aceleración y desaceleración en el dinamómetro para definir y fijar los coeficientes de rozamiento y carga, en función de su peso vehicular, área y frente aerodinámico. Una vez definidas las condiciones del dinamómetro, las unidades se preparan con el combustible de prueba para garantizar su operación estable y evitar el efecto de "arrastre" de la gasolina previamente utilizada.

El proceso de acondicionamiento consiste en términos generales en el drenado total del combustible almacenado en el tanque, seguido de la recirculación del combustible de prueba con el vehículo operando en ralentí durante 10 minutos. Después de esta fase el vehículo se abasteció de gasolina fresca. Al concluirla se verificó el volumen del tanque de gasolina, se ajustó al nivel requerido cuando fue necesario y se procedió a realizar dos pruebas definitivas de acondicionamiento LA-4 para mantener el vehículo en reposo durante 12 horas.

Para realizar la medición de emisiones con el procedimiento FTP-75, las ruedas de tracción del vehículo se montan en los rodillos del dinamómetro, sin encender el motor. Se acopla la toma de muestra del sistema CVS al tubo de escape del vehículo y se coloca el ventilador de enfriamiento. Una vez instalado el vehículo el operador enciende el motor y sigue el patrón de manejo preestablecido. En el FTP-75 el automóvil inicia la prueba con un arranque en frío y desarrolla un protocolo de manejo de 18 ciclos que simula un recorrido urbano; se detiene por 10 minutos y repite los cinco primeros ciclos de los 18 iniciales.

Desde el arranque y durante las tres fases consecutivas que comprenden la prueba, transitoria de arranque en frío, manejo estabilizado y transitoria de arranque en caliente, el sistema CVS captura los gases de escape y los diluye con aire ambiente. Se toma continuamente una porción de los gases diluidos y se almacenan en bolsas Tedlar. Al finalizar cada fase se analizan los gases contenidos en las bolsas y se determina la concentración de cada uno de los contaminantes primarios sujetos a regulación. Con los resultados del análisis y la información de las variables de muestreo se realiza un balance de materia para determinar la masa emitida de cada contaminante, expresada en gramos por kilómetro, así como el rendimiento de combustible en kilómetros por litro.

En función de la disponibilidad de los vehículos y capacidad del laboratorio de emisiones, se programaron por semana. En todos los automóviles se inició la prueba con gasolina Pemex Magna tipo regular con aditivo detergente IMP-DG-15, por lo que, la primera fase de medición de emisiones se realizó con dicho combustible y posteriormente se procedió con la gasolina con catalizador. Independientemente de la secuencia, en todos los vehículos se realizó el proceso de acondicionamiento y cambio de combustible para poder realizar un análisis comparativo entre pruebas consecutivas de efecto inmediato entre ambas gasolinas.

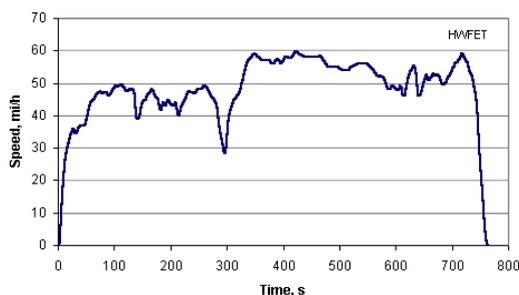
La USEPA propone que para los vehículos utilizados en la evaluación de combustibles, así como de aditivos mejoradores de desempeño, sus emisiones no deben ser mayores a 2.1 veces los límites que señala la norma y que en caso de ser más altas, tienen que ser resultado de un deterioro normal de los vehículos y no un problema de funcionamiento inapropiado. Asimismo, otros investigadores proponen que los vehículos se consideran con emisiones normales cuando no rebasan el doble del estándar de hidrocarburos que exige la norma para vehículos nuevos. En cuanto a los factores de emisión de los automotores

utilizados en la prueba, en todos ellos se obtuvieron emisiones que cumplen con ambos criterios y una repetibilidad aceptable.

Los vehículos Nissan NP 300 y VW Gol presentaron emisiones por debajo de los límites de emisión máximos permitidos del estándar A de la norma NOM-042-SEMARNAT-2003 para vehículos nuevos, comportamiento atribuible a la tecnología y el adecuado mantenimiento de las unidades. En contraparte, en el Nissan Tsuru sus emisiones contaminantes de HCT, CO y NOx y en el Nissan Tiida y GM Spark sus emisiones de CO se encontraron por arriba del mencionado estándar de emisiones.

Con relación a la prueba para determinar el rendimiento de combustible en carretera, esta prueba se realiza en dos etapas con un descanso de 17 segundos, la primera es un preacondicionamiento y la segunda se realiza la medición de las emisiones. El ciclo tiene una duración de 765 segundos, recorre una distancia de 16.45 km con una velocidad promedio de 77.7 km/h. En la figura 3 se presenta el ciclo.

**Figura 3. HWFET US EPA, Ciclo de prueba de economía de combustible en carretera**



Con la finalidad de determinar si las diferencias entre los niveles promedio de emisión de escape y rendimiento de combustible son estadísticamente significativas, se realizó una prueba  $t$  para muestras independientes de los resultados con cada combustible, utilizando un valor de  $p$  (nivel de significancia) de 0.05, típicamente usado en estudios similares para determinar la significancia estadística entre las medias con varianzas diferentes. En tal sentido, se estimó con un 95% de probabilidad que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas y las diferencias en masa emitida tienden a ser marginales entre la gasolina de referencia y la gasolina con *catalizador* en las dos condiciones de recorrido acumulado de 400 y 2000 km.

En los Cuadros 7, 8, 9 y 10 se muestran los resultados de las emisiones del escape y rendimiento de combustible de las pruebas FTP-75 y HWFET, correspondientes a los cinco vehículos. Las emisiones de la prueba HWFET se muestran únicamente como referencia de los resultados obtenidos, pero no tienen validez para fines de análisis del comportamiento de los vehículos, debido a que la desviación estándar para el rendimiento de combustible



## **Dirección de Servicios de Ingeniería**

**Región: Centro-Norte**

**Centro de trabajo: Ciudad de México**

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**

es del 5-10% y para la estimación de emisiones es de hasta el 20%, lo que no permite emitir una conclusión, salvo que las tendencias muestran una mejoría en ambos objetivos para los resultados con el (combustible candidato).



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

**Cuadro 7. Resultados de emisiones y rendimiento de combustible en prueba FTP-75**

Condición	km	Nissan, NP300 2012					Nissan Tiida 2015					Nissan, Tsuru 2010				
		Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro	Prueb a	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro	Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro
Pemex-Magna tipo Regular con Aditivo IMP DG-15 (combustible de referencia)	400	54182	0.050	1.342	0.119	7.770	56182	0.054	2.077	0.058	9.984	58182	0.182	3.051	0.433	9.449
		62182	0.038	1.493	0.097	7.759	59182	0.052	1.944	0.049	9.947	64182	0.152	2.496	0.466	9.378
		66182	0.044	1.598	0.132	7.669	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
		<b>Prom</b>	<b>0.044</b>	<b>1.478</b>	<b>0.116</b>	<b>7.733</b>	<b>Prom</b>	<b>0.053</b>	<b>2.011</b>	<b>0.054</b>	<b>9.966</b>	<b>Prom</b>	<b>0.167</b>	<b>2.774</b>	<b>0.450</b>	<b>9.414</b>
Pemex-Magna tipo Regular con Aditivo IMP DG-15 y Catalizador (combustible candidato)	400	68182	0.039	1.376	0.106	7.638	70182	0.058	2.883	0.042	9.832	72182	0.203	2.685	0.438	9.378
		78182	0.040	1.528	0.113	7.770	76182	0.061	2.870	0.042	9.965	74182	0.145	2.059	0.403	9.579
		-----	-----	-----	-----	-----	82182	0.058	1.392	0.041	9.889	80182	0.119	2.019	0.420	9.459
		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	83182	0.173	2.487	0.399	9.423
		<b>Prom</b>	<b>0.040</b>	<b>1.452</b>	<b>0.110</b>	<b>7.704</b>	<b>Prom</b>	<b>0.059</b>	<b>2.382</b>	<b>0.042</b>	<b>9.895</b>	<b>Prom</b>	<b>0.160</b>	<b>2.313</b>	<b>0.415</b>	<b>9.460</b>
	2000	100182	0.056	1.415	0.118	7.745	92182	0.082	2.858	0.058	9.865	90182	0.137	2.667	0.418	9.405
		106182	0.071	1.701	0.125	7.639	98182	0.089	2.748	0.075	9.900	119182	0.167	3.794	0.711	9.443
		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	126182	0.161	4.550	0.638	9.405
		<b>Prom</b>	<b>0.064</b>	<b>1.558</b>	<b>0.122</b>	<b>7.692</b>	<b>Prom</b>	<b>0.086</b>	<b>2.803</b>	<b>0.067</b>	<b>9.883</b>	<b>Prom</b>	<b>0.155</b>	<b>3.670</b>	<b>0.589</b>	<b>9.418</b>

**Cuadro 8. Resultados de emisiones y rendimiento de combustible en prueba FTP-75**

Condición	km	GM, Spark 2016					VW, Gol 2016				
		Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro	Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro
Pemex-Magna tipo Regular con Aditivo IMP DG-15 (combustible de referencia)	400	129182	0.041	2.580	0.064	11.774	167182	0.033	0.666	0.334	13.598
		136182	0.041	1.909	0.065	11.844	178182	0.025	0.474	0.252	13.585
		142182	0.058	2.463	0.087	11.804					
		<b>prom</b>	<b>0.047</b>	<b>2.317</b>	<b>0.072</b>	<b>11,807</b>	<b>prom</b>	<b>0.029</b>	<b>0.570</b>	<b>0.293</b>	<b>13.592</b>
Pemex-Magna tipo Regular con Aditivo IMP DG-15 y Catalizador (combustible candidato)	400	170182	0.035	2.015	0.126	11.886	185182	0.029	0.648	0.117	13.769
		182182	0.037	2.389	0.161	12.018	190182	0.028	0.718	0.159	13.631
		-----	-----	-----	-----	-----	196182	0.029	0.593	0.176	13.664
		<b>prom</b>	<b>0.036</b>	<b>2.202</b>	<b>0.144</b>	<b>11,952</b>	<b>prom</b>	<b>0.029</b>	<b>0.653</b>	<b>0.151</b>	<b>13.688</b>



INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

Centro de trabajo: Ciudad de México

	207182	0.050	2.758	0.125	11.898	220182	0.031	0.804	0.200	13.59 5
	211182	0.050	2.277	0.081	12.01 7	225182	0.026	0.724	0.161	13.54 2
	216182	0.048	2.464	0.095	12.00 8	230182	0.028	0.719	0.157	13.63 7
	prom	0.049	2.500	0.100	11.97 4	prom	0.028	0.749	0.173	13.59 1

Formato: 04AI-03-05-FG-08 Ver.5 MAP 04

**Cuadro 9. Resultados de emisiones y rendimiento de combustible en prueba HWFET**

Gasolina	km	Nissan, NP300 2012					Nissan Tiida 2015					Nissan, Tsuru 2010				
		Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro	Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro	Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro
Pemex-Magna tipo Regular con Aditivo IMP DG-15 (combustible de referencia)	400	55182	0.017	0.644	0.069	10.27 6	57182	0.044	4.354	0.035	11.861	61182	0.063	3.649	0.289	11.859
		67182	0.016	0.740	0.065	10.15 0	60182	0.041	3.507	0.032	11.900	65182	0.053	2.885	0.287	12.06 5
		Prom	0.017	0.692	0.067	10.21 3	Prom	0.043	3.931	0.034	11.88 1	Prom	0.058	3.267	0.288	11.96 2
Pemex-Magna tipo Regular con Aditivo IMP DG-15 y Catalizador (combustible candidato)	400	69182	0.016	0.602	0.055	10.31 0	71182	0.042	3.981	0.017	11.714	75182	0.044	2.774	0.244	11.965
		79182	0.015	0.674	0.050	10.55 0	77182	0.036	2.072	0.015	11.748	84182	0.049	1.896	0.186	12.16 6
		Prom	0.016	0.638	0.053	10.42 9	Prom	0.039	3.027	0.016	11.73 1	Prom	0.047	2.335	0.215	12.06 6
	2000	101182	0.025	0.709	0.061	10.08 6	93182	0.046	3.585	0.026	11.737	11182	0.061	6.050	1.611	11.827
	107182	0.031	0.671	0.061	10.00 5	99182	0.040	2.804	0.039	11.737	120182	0.069	6.920	0.712	11.857	
											127182	0.057	4.360	0.502	11.894	
	Prom	0.028	0.690	0.061	10.04 6	Prom	0.043	3.195	0.033	11.73 7	Prom	0.062	5.777	0.942	11.85 9	

**Cuadro 10. Resultados de emisiones y rendimiento de combustible en prueba HWFET**

Gasolina	km	GM, Spark 2016					VW, Gol 2016				
		Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro	Prueba	HCT, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	Rend km/litro
Pemex-											
Magna tipo	400	130182	0.033	3.100	0.008	13.708	168182	0.012	1.005	0.215	18.021
Regular con		137182	0.033	3.594	0.011	13.731	174182	0.011	0.931	0.167	18.005
Aditivo IMP		prom	0.033	3.347	0.010	13.720	prom	0.012	0.968	0.191	18.013
DG-15											



## Dirección de Servicios de Ingeniería

Región: Centro-Norte

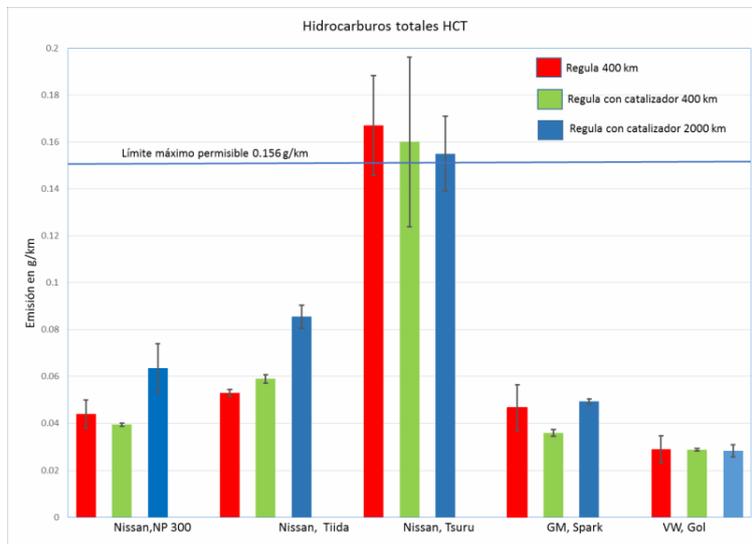
Centro de trabajo: Ciudad de México

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**

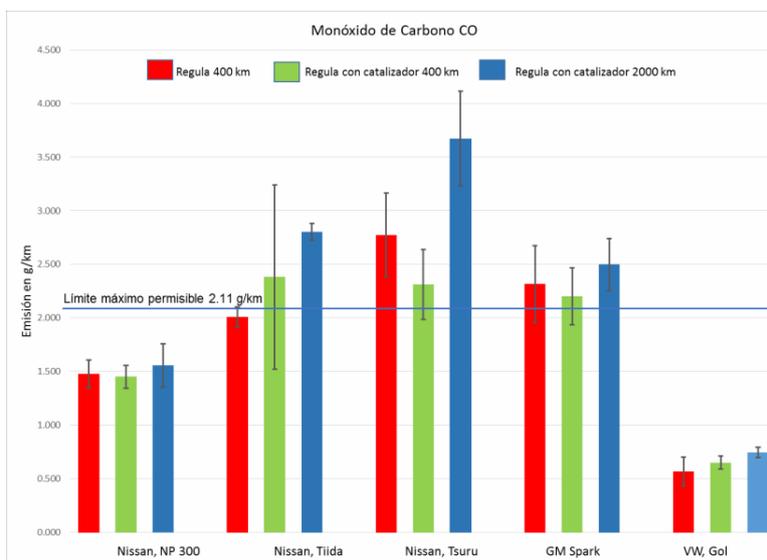
(combustible de referencia)											
Pemex-	400	165182	0.037	4.915	0.042	13.55	186182	0.010	0.910	0.104	18.211
		171182	0.030	3.816	0.048	13.75	191182	0.009	0.818	0.105	18.042
Magna tipo		prom	<b>0.034</b>	<b>4.366</b>	<b>0.045</b>	<b>13.651</b>	prom	<b>0.010</b>	<b>0.864</b>	<b>0.105</b>	<b>18.127</b>
Regular con											
Aditivo IMP DG-15 y	2000	208182	0.035	5.503	0.073	13.671	221182	0.009	0.846	0.150	18.007
		212182	0.038	3.780	0.067	13.787	226182	0.008	0.880	0.138	18.055
catalizador (combustible candidato)		prom	<b>0.037</b>	<b>4.642</b>	<b>0.070</b>	<b>13.729</b>	prom	<b>0.009</b>	<b>0.863</b>	<b>0.144</b>	<b>18.031</b>

En general, la comparación entre los resultados de los dos combustibles evaluados no presenta cambios estadísticamente significativos en sus emisiones de escape de los cinco vehículos de prueba y en entre las condiciones de recorrido de 400 y 2 000 km; además, su comportamiento no mostraron una tendencia definida, como se observa en las figuras 4, 5 y 6.

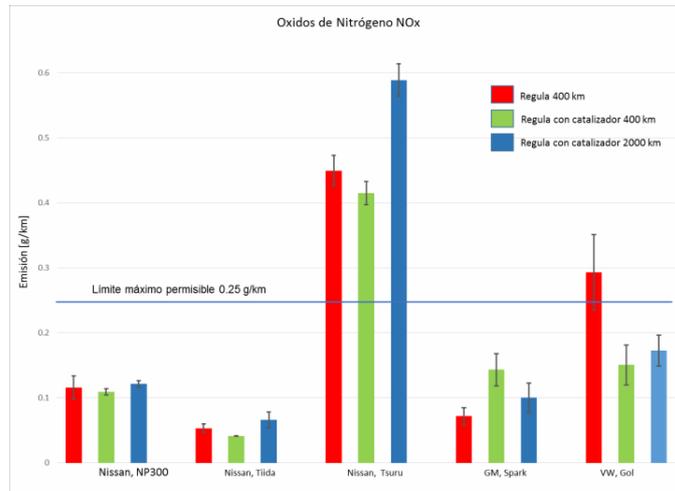
**Figura 4.- Comportamiento de las emisiones promedio de los hidrocarburos**



**Figura 5.- Comportamiento de las emisiones promedio del monóxido de carbono**



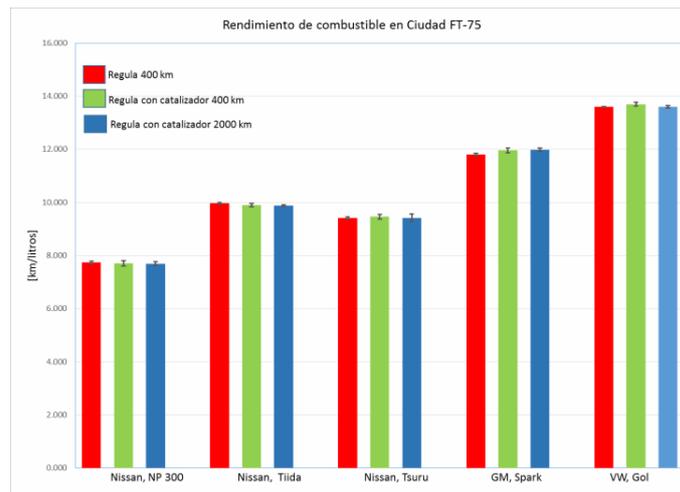
**Figura 6.- Comportamiento de las emisiones promedio de los óxidos de nitrógeno**



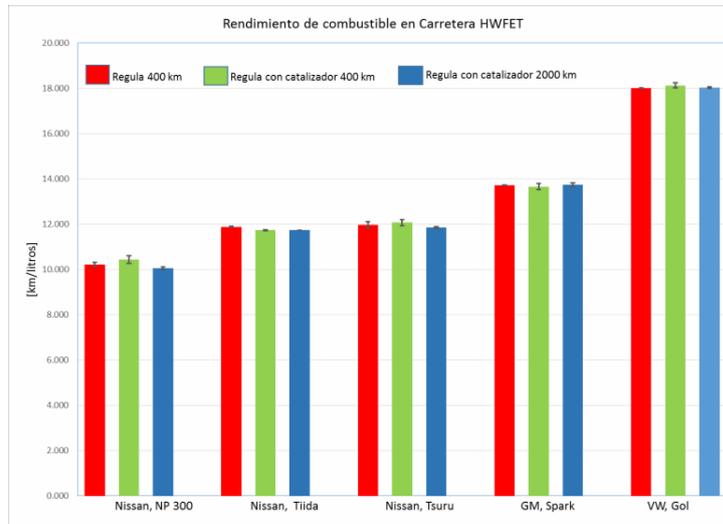
Se determinó el rendimiento de combustible en las pruebas de laboratorio FTP-75 mediante balance de carbono. El algoritmo del sistema del laboratorio calcula el rendimiento mediante el balance del carbono que se incorpora con la gasolina y el que se emite en los gases de escape como hidrocarburos no quemados, CO y CO<sub>2</sub>. Para estimar el carbono en el combustible se determina el peso específico y la fracción de carbono a cada gasolina.

Las Figuras 7 y 8 se grafican los resultados de rendimiento de combustible en kilómetros por litro para ambas gasolinas evaluadas con ciclos de ciudad FTP-75 y carretera HWFET.

**Figura 7. Comparación del rendimiento de combustible en ciudad FTP-75**

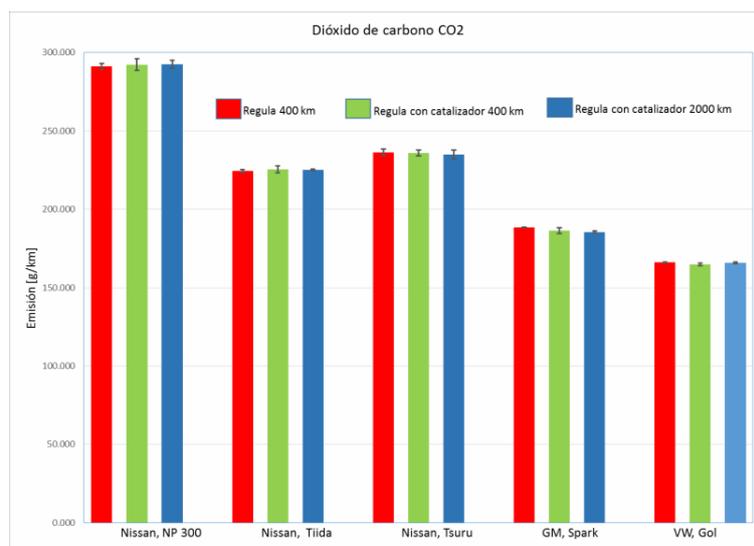


**Figura 8. Comparación del rendimiento de combustible en carretera HWFET**



En los vehículos prácticamente no observan diferencias en el rendimiento de combustible entre uno u otro combustible. Al realizar el análisis estadístico de los resultados, se infiere que no hay diferencia estadísticamente significativa en ambos ciclos realizados. En el mismo sentido, las emisiones de dióxido de carbono se mantienen prácticamente con una tendencia al incremento, lo que muestra una mayor eficiencia con el uso del catalizador (combustible candidato), de acuerdo con lo que se observa en la Figura 9 resulta evidente que los automóviles con mayor rendimiento de combustible emiten una mayor cantidad de CO<sub>2</sub>. Y viceversa.

**Figura 9. Comparación de las emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.**





## **Dirección de Servicios de Ingeniería**

**Región: Centro-Norte**

**Centro de trabajo: Ciudad de México**

Durante los ensayos realizados en el laboratorio con pruebas de efecto inmediato, los vehículos funcionaron y se desempeñaron satisfactoriamente, ninguno presentó falla como consecuencia del uso del *catalizador* en la gasolina a la concentración utilizada, y por lo tanto, en ningún caso se iluminó el sistema de diagnóstico abordado OBD de los vehículos de prueba.

## **5. Referencias de normas, regulaciones y estándares aplicables.**

- 1.- NOM-016-CRE-2016. Especificaciones de la calidad de los petrolíferos. Diario Oficial de la Federación, 29 de agosto de 2016, México, Ciudad de México.
- 2.- NOM-042-SEMARNAT-2003. Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kg., que usan gasolina, gas licuado del petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativas provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos. Diario Oficial de la Federación, 7 de septiembre de 2005, México, D. F. México.
- 3.- Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines, NACE Standard TM0172-2001.
- 4.- ASTM D6201-2004 Standard Test Method for Dynamometer Evaluation of Unleaded Spark-Ignition Engine Fuel for Intake Valve Deposit Formation.
- 5.-“511 Program” EPA Motor Vehicle Aftermarket Retrofit Device Evaluation Program. EPA 420-B-00-003, May 2000.
- 6.-Norma Mexicana NMX-AA-11-1993-SCFI. Método de prueba para la evaluación de emisiones de gases del escape de los vehículos automotores nuevos en planta que usan gasolina como combustible.
- 7.- Code of Federal Regulations, Title 40, Part 86, Control of emissions from new and in-use highway vehicles and engines. Subpart N. EUA, 2006.

**Anexo. Imágenes de los cinco vehículos de prueba**

**Nissan, Tiida 2015**



**Nissan, NP300 2012**



**Nissan Tsuru 2010**



**Chevrolet, Spark 2016**



**VW, Gol 2016**

