



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz.

AUTORES:

Mateo Alexander Mina Anaguano

Luis Felipe Pavón Lastra

Xavier Alejandro Báez Ortiz

DIRECTOR:

PhD. Gorky Reyes

PhD. Denny Guanuche

Análisis dinámico de NOx en vehículos a gasolina de cilindraje 1.6 cc utilizando diferentes tipos de combustibles.

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, MATEO MINA, FELIPE PAVÓN y XAVIER BÁEZ, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



.....

MATEO MINA



.....

FELIPE PAVÓN



.....

XAVIER BÁEZ

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Denny Javier Guanuche Larco certifico que conozco al autor/a del presente trabajo siendo la responsable exclusiva tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Denny Guanuche", is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

.....
DIRECTOR DE TESIS

Dedicatoria

Yo, Mateo Mina dedico:

A toda mi familia, en especial, a mis padres y hermana que siempre me brindaron su apoyo, creyeron en mí y estuvieron presentes en los momentos buenos y malos de este proceso académico.

Yo, Felipe Pavón dedico:

A mis padres, por estar siempre presentes en toda mi vida estudiantil, a mi hermana, ya que, es un pilar fundamental en mi vida, en sí a toda mi familia que me apoyan de una u otra manera para seguir adelante, dándome consejos para tomar las mejores decisiones a lo largo de toda mi vida tanto estudiantil como profesional.

Yo, Xavier Báez dedico:

A Dios, por su protección y fidelidad hacia mí para lograr esta meta.

A mi madre Martha Ortiz quien con su amor y apoyo ha sido un pilar a lo largo de mi vida.

A mis dos pequeños amados hijos Isaac y Benjamín Báez quienes con su ternura han sido el motor que me ha inspirado a no rendirme.

A mis padres y a mis hermanos Josué y Elías por estar a mi lado.

Agradecimiento

Yo, Mateo Mina agradezco:

A mis padres por no dejarme rendir en medio de las dificultades, brindándome su apoyo y consejos sabios que solo un padre y una madre podrían tener. Me han formado y guiado para ser la persona que soy hoy por hoy, mis principios, mis valores, mi persistencia y mi anhelo a ser cada vez mejor. Todo esto lo lograron con su enorme amor y desinteresado sentimiento hacia mí.

Agradezco a mi abuelito José porque al parecer la pasión por los autos se hereda, volviéndose un motivo más para llegar hasta aquí.

Agradezco a mi director y tutor de tesis quienes fueron parte de la elaboración de este proyecto, guiándonos y brindándonos su conocimiento que fueron muy necesarios para lograr con el final de este proyecto.

Yo, Felipe Pavón agradezco:

En primer lugar, agradezco a mi abuelito Germán ya que, él me guio en el camino de los autos, siempre dándome la oportunidad de aprender con él y enseñándome lo poquito que podía entender a esa edad, siempre incentivándome y dándome los mejores consejos a lo largo de mi vida, a mi abuelita Luz, que siempre estuvo a lo largo de mi vida, apoyándome en todo y motivándome a seguir adelante en cada paso que doy.

A mis padres porque siempre saben cómo motivarme frente a las adversidades y obstáculos que se ponen en mi camino, dándome los mejores consejos y siempre dándome apoyo frente a cualquier situación

Agradezco a mis profesores de toda mi vida estudiantil ya que gracias a ellos y su excelente forma de enseñar fue que seguí por este camino y logré culminar esta carrera universitaria.

Yo, Xavier Báez agradezco:

A mis profesores, en especial a mis directores de tesis Ingeniero Denny e Ingeniero Gorky por su apoyo y confianza en nuestro trabajo.

A mis abuelos Segundo Ortiz y Hortencia Heredia, por su legado de valentía y constancia, como a mi familia y amigos por su apoyo.

A mi abuelita Carmen Gloria por la dicha de tenerla hasta hoy con su cariño de siempre.

A Andreina por su apoyo y por creer en mí.

A Noodle, Maca, Nina y Amy tiernas mascotas por ser mi compañía en mis fríos amaneceres de estudio.

Los quiero a todos.

Índice de contenido

<i>CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA</i>	2
<i>APROBACIÓN DEL TUTOR</i>	3
<i>Dedicatoria</i>	4
<i>Agradecimiento</i>	5
<i>Resumen</i>	7
<i>Abstract</i>	8
<i>Introducción</i>	8
<i>Marco teórico</i>	10
<i>Materiales y métodos</i>	14
<i>Resultados y discusión</i>	19
<i>Conclusiones</i>	21
<i>Bibliografía</i>	22
<i>Anexos</i>	23
<i>Anexo I. Ilustraciones</i>	23

Análisis dinámico de NOx en vehículos de cilindraje 1.6 cc utilizando diferentes tipos de combustibles.

Ing. Gorky Reyes. ¹, Mateo Mina. ², Felipe Pavón. ³, Xavier Báez. ³,

¹ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, gureyesca@uide.edu.ec

² Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, maminaan@uide.edu.ec

³ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, lupavonla@uide.edu.ec

³ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, xabaezor@uide.edu.ec

Resumen

Introducción: El aumento de conciencia de los seres humanos con respecto al peligro que conllevan las emisiones de gases contaminantes tanto para la salud como para el medio ambiente, implica a las normativas automotrices (EURO), creadas por la Unión Europea, a alentar a los fabricantes de vehículos a crear nuevas tecnologías que ayuden en la reducción notoria en base a la contaminación causada por los vehículos. Otro de los factores que afectan en esta problemática es el caso de los combustibles en el país, ya que estos son de gran riesgo para la salud de los ecuatorianos. Esto se da, ya que, los combustibles que se venden en el Ecuador son elaborados con niveles de azufre no permitidos por las normativas internacionales causando emisión de óxido de nitrógeno y esto representa un gran impacto negativo en base al medio ambiente y la salud pública. Los gases NOx son compuestos químicos que, al estar separados el uno del otro (oxígeno y nitrógeno) se encuentran normalmente en el aire que se respira, pero al momento de unirse, se crean algunos compuestos dañinos para el ser humano. En los vehículos con motor de combustión interna, la mayor cantidad de gases NOx que se originan son dióxido de nitrógeno, lo que es altamente peligroso para la salud, produciendo asma, alergias, irritación de los ojos o reducción de la capacidad que tienen los pulmones para respirar por lo que, en el presente estudio se realiza un análisis dinámico de emisión de gases NOx en vehículos M1 utilizando los diferentes tipos de combustibles que circulan en la ciudad de Quito, para obtener cual es la mejor gasolina y varias conclusiones de cuál es el factor principal de la emisión de estos gases.

Metodología: Para esto se utilizó el método cuantitativo junto con un método de investigación con el equipo NOx se recopilan los datos necesarios para el análisis estadístico de las emisiones obtenidas para la derivación necesaria de las conclusiones de investigación.

Resultados: los resultados mostraron que existe una gran diferencia en las emisiones de gases NOx pues se identificó que con el combustible extra de menor octanaje se produce mayor contaminación en comparación con la gasolina Super 95 que contiene mayor octanaje. Se identificó en las pruebas de ruta el valor más alto impreso por el equipo con combustible extra fue de 445 ppm con pendiente positiva y con combustible Super 95 fue de 197 ppm.

Conclusión: A partir de los análisis realizados se determinó que el combustible extra al tener un menor octanaje y ser menos puro emite mayor cantidad de gases NOx por lo que provoca una mayor contaminación. Al realizar las pruebas de manera dinámica con los 2 tipos de combustibles, tomando en cuenta factores como el A/C activado, el alto flujo de autos y la variación de altura en la que se realizaron estas, el combustible SUPER95 brinda mejor desempeño del motor sin necesidad de aumentar las emisiones NOx al contrario del combustible EXTRA que presenta varias dificultades al momento del desarrollo del vehículo, provocando el aumento de la contaminación.

Palabras clave: Combustibles, Octanaje, Emisiones, NOx, Normativas

Abstract

Introduction: The increased awareness of human beings regarding the danger that polluting gas emissions entail for both health and the environment, implies the automotive regulations (EURO), created by the European Union, to encourage manufacturers of vehicles to create new technologies that help in the notorious reduction based on pollution caused by vehicles. Another of the factors that affect this problem is the case of fuels in the country, since these are of great risk to the health of Ecuadorians. This occurs, since the fuels that are sold in Ecuador are made with levels of sulfur that are not allowed by international regulations, causing the emission of nitrogen oxide and this represents a great negative impact based on the environment and public health. NOx gases are chemical compounds that, being separated from each other (oxygen and nitrogen) are normally found in the air that is breathed, but when they unite, some compounds are created that are harmful to humans. In vehicles with an internal combustion engine, the largest amount of NOx gases that originate is nitrogen dioxide, which is highly dangerous to health, causing asthma, allergies, eye irritation or reduced lung capacity. to breathe for which, in the present study, a dynamic analysis of NOx gas emissions in M1 vehicles is carried out using the different types of fuels that circulate in the city of Quito, to obtain which is the best gasoline and several conclusions of what is the main factor of the emission of these gases. **Methodology:** For this purpose, the quantitative method was used together with a research method with the NOx equipment to collect the necessary data for the statistical analysis of the emissions obtained for the necessary derivation of the research conclusions. **Results:** The results showed that there is a great difference in NOx gas emissions, since it was identified that with the lower octane extra fuel there is more contamination compared to Super 95 gasoline, which has a higher octane rating. It was identified in the road tests that the highest value printed by the equipment with extra fuel was 445 ppm with positive slope and with Super 95 fuel it was 197 ppm. **Conclusion:** From the analyses carried out, it was determined that the extra fuel, having a lower octane rating and being less pure, emits a greater amount of NOx gases and therefore causes greater contamination. By performing the tests dynamically with the two types of fuels, taking into account factors such as the activated A/C, the high flow of cars and the height variation in which they were performed, the SUPER95 fuel provides better engine performance without increasing NOx emissions, contrary to the EXTRA fuel that presents several difficulties at the time of vehicle development, causing increased pollution.

Key words: Fuels, Octane, Emissions, NOx, Regulations.

Introducción

El aumento de conciencia de los seres humanos con respecto al peligro que conllevan las emisiones de gases contaminantes tanto para la salud como para el medio ambiente, implica a las normativas automotrices (EURO), creadas por la Unión Europea, a alentar a los

fabricantes de vehículos a crear nuevas tecnologías que ayuden en la reducción notoria en base a la contaminación causada por los vehículos. Otro de los factores que afectan en esta problemática es el caso de los combustibles en el país, ya que estos son de gran riesgo para la salud de los ecuatorianos. Esto se da, ya que, los combustibles que se venden en el Ecuador son elaborados con niveles de azufre no permitidos por las normativas internacionales causando emisión de óxido de nitrógeno y esto representa un gran impacto negativo en base al medio ambiente y la salud pública (CÓNDOR, 2022). Los gases NOx son compuestos químicos que, al estar separados el uno del otro (oxígeno y nitrógeno) se encuentran normalmente en el aire que se respira, pero al momento de unirse, se crean algunos compuestos dañinos para el ser humano. En los vehículos con motor de combustión interna, la mayor cantidad de gases NOx que se originan son dióxido de nitrógeno, lo que es altamente peligroso para la salud, produciendo asma, alergias, irritación de los ojos o reducción de la capacidad que tienen los pulmones para respirar (TOYOTA, 2022) por lo que, en el presente estudio se realiza un análisis dinámico de emisión de gases NOx en vehículos M1 utilizando los diferentes tipos de combustibles que circulan en la ciudad de Quito, para obtener cual es la mejor gasolina y varias conclusiones de cuál es el factor principal de la emisión de estos gases.

En base a la problemática causada por la emisión de gases NOx de los vehículos en estudio, se plantea como objetivo general el analizar dinámicamente los niveles de NOx en base a diferentes tipos de combustibles, para la recolección de datos de las emisiones causadas por el auto, el cual se lleva a cabo en base a los siguiente: comprobar si la emisión de gases tiene una variación significativa en base al octanaje de los combustibles en estudio, verificar que la calidad del combustible en estudio no sea el principal actor del deterioro precoz de los componentes del sistema de inyección y analizar si la diferencia de octanaje de combustible es notoria al momento del desarrollo del vehículo.

Al realizar el presente estudio se analiza si la emisión de gases varía de manera significativa en cuanto al octanaje de los combustibles ecuatorianos, la gasolina extra que se comercializa en el país cuenta con 85 octanos, pero esta no cuenta con etanol a diferencia del eco país que tiene 5% de etanol (EL UNIVERSO, 2022). En cuanto a la otra gasolina que circula en el distrito metropolitano de Quito, desde el día 26 de octubre del presente año, se dejó de vender la gasolina super en la mayoría de gasolineras de Quito, que contaba con 92 octanos y comenzó la comercialización de la nueva Super Premium la cual, según (TAPIA, 2022) cuenta con 95 de nivel de octanaje, la que entra en nuestro objeto de estudio.

Una de las principales características de los combustibles es el poder calorífico con el que cuentan, el cual es desprendido por la combustión, tiene la unidad de Julio, BTU o caloría, esto depende del sistema de unidades con el que se trabaja. Es por esta razón que se intenta reducir de cualquier manera las emisiones de escape y los gases contaminantes. (PÉREZ, 2018). Según (INIGUEZ, 2017), los gases NOx son un compuesto de gases entre nitrógeno junto con el oxígeno, los cuales se producen por la presión de los cilindros y la elevada temperatura que provocan los mismos durante el proceso de combustión. El óxido nítrico es el responsable del 98% de las emisiones de los gases NOx al momento de poner en marcha el motor. (NIETO, 2019) Por consiguiente, con el uso de el equipo de medición de gases NOx de la Universidad Internacional Del Ecuador se analiza la cantidad de gases que emite el vehículo con los diferentes combustibles mencionados anteriormente.

Marco teórico

Para precisar el desarrollo del tema debemos tener en claro cada aspecto a ser analizado. Como aspecto relevante se debe tener en claro el funcionamiento, tipos y evoluciones del sistema de inyección a gasolina, el cuál es un sistema que ha evolucionado cada vez más hasta el punto de lograr una mezcla aire combustible casi perfecta con el objetivo de lograr una reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, este trabajo durante mucho tiempo lo ha realizado el carburador, el cuál es un sistema de inyección de combustible completamente mecánico el cual necesita apoyo de palancas, gargantas y papalotes esto más que nada por principios físicos de flujo de aire. Este sistema era muy solicitado por los usuarios a nivel mundial hasta que se dieron cuenta que era muy contaminante, se decía que, por ser un sistema de baja presión, cada cierto tiempo este exigía ser sincronizado, esto provocaba que al encender el vehículo resultaba sumamente contaminante mientras se calentaba el motor. Por esta razón gracias al avance de la tecnología, expertos, sensores y actuadores se reemplazó al carburador y así dar paso a la inyección electrónica. Siempre el objetivo fue dosificar de manera exacta el combustible, modificando la cantidad de inyectores por cilindro, modificación de los tubos del sistema de admisión para así aumentar las corrientes de aire y de esta manera lograr un mejor llenado de los cilindros.

Gracias a este sistema innovador se crearon diferentes tipos de inyección como:

Inyección indirecta: aquí es donde la inyección de combustible se genera en el cruce del colector de admisión y así la válvula pueda encontrarse abierta o cerrada.

Inyección directa: aquí la inyección se genera directamente en la cámara de combustión, para así reducir notoriamente el consumo y mejora de combustión y así lograr disminuir la emisión de gases contaminantes.

Estos sistemas también varían por el número de inyectores como:

Mono punto: aquí como su nombre lo indica se trata de un solo inyector de gasolina para todos los cilindros.

Multipunto: aquí trabaja un solo inyector por cada dos cilindros, el trabajo se da directamente en la cámara de combustión o sobre el múltiple de admisión.

Este también depende del número de inyecciones que se pueden producir dentro de los sistemas, así como:

Inyección continua: aquí el combustible se inyecta de manera continua en el múltiple de admisión con una determinada presión y proporción, donde depende de los diferentes parámetros del sistema para que se pueda producir una presión constante o variable.

Inyección intermitente: aquí la (ECU) se encarga de enviar unos pulsos a los inyectores con el objetivo de abrirlos durante un período determinado.

Secuencial: aquí se inyecta combustible a cada cilindro por separado, pero con el control continuo de la (ECU).

Semi secuencial: trabaja de la misma manera que el anterior, pero se diferencia que aquí es de dos en dos cilindros.

Simultánea: este se utiliza en los motores con mayor potencia, ya que en este la inyección se realiza sobre todos los cilindros a la vez. (DIAZ, 2015)

Existe un sistema de alimentación de gasolina el cuál es el encargado de crear una provisión de combustible (gasolina) para que el motor funcione, ya que está encargado de dosificar la mezcla y así lograr mayor limpieza del combustible que vaya a entrar al cilindro. Hay varias partes del sistema de alimentación de gasolina que son muy importantes para el trabajo de éste, como:

Tanque de combustible: básicamente aquí se deposita el combustible, este lleva un tapón de drenaje, un orificio como respiradero y una tapa de llenado. Aquí es indispensable un indicador de nivel de combustible.

Filtro: este retiene básicamente los residuos o impurezas del combustible para así evitar obstrucciones en los inyectores.

Bomba: esta puede ser sumergible o eléctrica, esta es controlada desde el árbol de levas, encargándose de enviar el combustible hacia el riel de inyectores desde el tanque.

Sistema de inyección: mecanismo encargado de mezclar de manera más pura la gasolina con el aire.

Inyector: atomiza la mezcla de todos los cilindros conjunto a la mezcla de aire con combustible.

Líneas de combustible: son las tuberías en cargadas de llevar y retornar el combustible entre el tanque y el riel de inyección. (ISOPETROL, 2017)

Existen tablas de las características fisicoquímicas de los combustibles.

Gracias a la normativa NTE INEN 2204 que rige en nuestro país Ecuador desde el año 2002, esta ley técnica se encarga de regular todos los límites que se permiten por las emisiones producidas por el vehículo que funcionan con gasolina. Como se nombró anteriormente gracias a los avances tecnológicos que se produce en el área automotriz, lo lamentable es que nuestro país mantiene un marco de regulación antiguo en donde los límites de emisiones no han sido modificados y por ende no van de la mano de los aspectos técnicos, sociales, geográfico y característicos del entorno. Todo esto se da porque la distribución de nuestros combustibles está compuesta con las normativas de una EURO antigua la cuál no exige una composición más limpia y moderna para que así produzca una emisión más limpia, con un desarrollo mejor en nuestros automotores. Existen cálculos que salen a partir de la ecuación de la combustión del ISO-Octano, hidrocarburo considerado como el promedio de la mezcla de gasolina, el cual ayuda para la obtención de valores de emisiones estáticas y la cantidad de emisiones por kg de ISO-Octano combustionado, que se obtiene como resultados de la emisión de cada contaminante procedente del motor. Estos resultados de las emisiones por medio de mediciones estáticas obtenidas desde la salida del tubo de escape, se recomienda contemplar el catalizador del vehículo ya que existen reacciones químicas dentro de este porque este ayuda a la reducción de emisión de gases nocivos, de tal manera con esta información se puede calcular el equilibrio químico para obtener valores de conversión que demuestren la eficacia del catalizador del 60% y 90%. Se toma como variable dependiente el consumo de combustible, ya que por esta razón podrían cambiar los valores de emisiones dinámicas. (MILTON, 2021)

NOX (óxidos de nitrógeno)

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NOX se refiere a la combinación de ambas sustancias.

Se ha hecho referencia a las propiedades, efectos sobre la salud y el medio ambiente del dióxido de nitrógeno, ya que es el contaminante principal de los NOX. Por el contrario, no se incidirá en las fuentes de emisión del dióxido de nitrógeno, sino que se hará una referencia global de los óxidos de nitrógeno.

El dióxido de nitrógeno es el principal contaminante de los óxidos de nitrógeno, y se forma como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas. Se trata de una sustancia de color amarillento, que se forma en los procesos de combustión en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. Es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos y elevados niveles de PM_{2,5} en el ambiente. Presenta buena solubilidad en agua, reacciona y forma ácido nítrico (HNO₃) según la siguiente reacción: $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{NO}$. Esta sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, y puede atacar materiales metálicos en presencia de agua.

Fórmula química	NO₂
Masa molecular	46,01 g/mol
Punto de ebullición	21, 2° C
Punto de fusión	-11, 2° C
Densidad relativa del líquido (agua = 1g/ml)	1,45
Solubilidad en agua	Buena
Temperatura crítica	158° C
Presión de vapor (KPa a 20° C)	96
Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml)	1,58

Tabla 1. Propiedades físicas de los óxidos de nitrógeno. (ECHA, 2007)

Fuentes de emisión y aplicaciones de los óxidos de nitrógeno.

Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza, son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, los incendios forestales, quema de rastrojos y la actividad volcánica.

Las principales fuentes antropogénicas de emisión se producen en los escapes de los vehículos motorizados y en la quema de combustibles fósiles. Otros focos de menor relevancia, se llevan a cabo en los procesos biológicos de los suelos, en los que se produce la emisión de nitritos (NO₂) por parte de los microorganismos.

Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, que provoca enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves.

La inhalación en elevadas concentraciones y durante un corto periodo de tiempo, puede originar un edema pulmonar cuyos efectos no se observan hasta pasadas unas horas, agravándose con el esfuerzo físico. Una exposición prolongada afecta al sistema inmune y al pulmón, dando lugar a una menor resistencia frente a infecciones y causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar.

Con respecto a los impactos producidos en el medio ambiente, se trata de una sustancia que tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, ya que al combinarse con otros contaminantes atmosféricos (por ejemplo, los COVDM) influye en las reacciones de formación de ozono en la superficie de la tierra.

Por otra parte, el NO₂ se forma a partir de la oxidación del óxido nítrico (NO), y tiene una vida corta en la atmósfera ya que se oxida rápidamente a nitratos (NO₃⁻) o a HNO₃ (ácido nítrico). En este último caso, se produce el fenómeno de la lluvia ácida que consiste en la reacción de los nitratos (NO₃) con la humedad existente en el ambiente, dando lugar a ácido nítrico (HNO₃), que precipita causando grandes destrozos en los bosques y la acidificación de las aguas superficiales.

Riesgos y consejos de prudencia en su manipulación.

Frases de Riesgo

R26: Muy tóxico por inhalación.

R34: Causa quemaduras.

Consejos de prudencia.

S1/2: Mantener fuera del alcance de niños.

S9: Mantener el envase en un lugar bien ventilado.

S26: En caso del contacto con los ojos, aclarar inmediatamente con agua y buscar consejo médico.

S28: Después del contacto con la piel, lavar inmediatamente.

S36/37/39: Uso de ropa protectora y guantes adecuados para la protección de la cara y los ojos.

S45: En caso del accidente o que se encuentre indispuerto, busque consejo médico inmediatamente. (ECHA, 2007)

Sensores NO_x

Los sensores NO_x se utilizan para detectar gases de nitrógeno en los sistemas de escape.

El funcionamiento del sensor NO_x consiste en la división del gas de escape en nitrógeno y oxígeno mediante un electrodo catalíticamente activo. La cantidad de oxígeno se mide de la misma manera que con un sensor lambda lineal o de banda ancha.

El sensor NO_x dispone de dos cámaras. En la primera (similar al sensor lambda), el contenido de oxígeno en el gas de escape se mantiene aproximadamente a 10 ppm mediante

una bomba de chorro. La potencia requerida es inversa a la proporción entre el aire y el combustible y puede utilizarse para corregir la señal NO_x en función de la proporción medida de estas dos características. En la segunda cámara transcurre la reacción NO_x mediante la que se separan nitrógeno y oxígeno. La corriente necesaria para mantener el entorno libre de oxígeno en el electrodo de platino-rodio es proporcional a la concentración de NO_x, lo que proporciona una señal de medición. (AUTONORMA, 2022)

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó a partir de un método cuantitativo, el cual trabaja con un método de investigación junto al equipo NO_x para recopilar los datos necesarios para el análisis estadístico de las emisiones obtenidas para la derivación necesaria de las conclusiones de investigación; en donde se busca la relación de los combustibles en base a sus resultados para suponer una explicación del porque uno emite mayor cantidad de gases contaminantes a diferencia del otro, además de un desgaste prematuro en el sistema de inyección, el aumento o disminución de consumo de combustibles y el incremento de cascabeleo o su desaparición por la calidad de los mismos.

Como principales materiales que conforman esta extensa investigación son los siguientes:

Combustibles

Vehículo (Volkswagen Gol Hatchback 2013)

Equipo de medición

Lugar de pruebas

Normativa

Equipo de medición. – Este actúa como sensor de oxígeno con una funcionalidad amplia. Este equipo se lo podría denominar como un circuito de calentamiento, una estrecha abertura que sirve como conducto que direcciona hacia dos cavidades: el circuito de bombeo de oxígeno y el circuito de descomposición de NO_x. (DIESEL, 2020) El motivo por el que se analizó este equipo es para que de tal manera podamos identificar con claridad la presencia de este gas, el cual es demasiado peligroso para la salud, provoca afecciones pulmonares, bronquitis, alergias, entre otras. Para así poder encontrar maneras o resultados que nos refleje el equipo por medio de la comparativa de los combustibles para poder encontrar el combustible capaz de generar menos NO_x en su uso.

DIMENSIONES	460 x 200 x 250 mm
PESO	6.5 kg
ALIMENTACIÓN	100 – 240 V -- 50 – 60 Hz
SALIDA SERIAL	RS232 estándar
SALIDA WIRELESS	Bluetooth
SOFTWARE	ETS o IDC5
PUESTA A 0 Y CALIBRACIÓN	Electrónica y automática
TECNOLOGÍA	NDIR (infrarrojo no dispersivo)

DESCARGA DE CONDENSACIÓN	Continua y automática
TIEMPO DE RESPUESTA	< 10 segundos
TIEMPO DE CALENTAMIENTO	< 1 min
MEDICIONES	HC, CO, CO ₂ , O ₂ LAMBA Y NO _x

Tabla 2.- Ficha técnica analizador de gases GASBOX Autopower.

Vehículo. – En primera instancia se hace una comparativa entre algunos vehículos para, de acuerdo a esto, escoger el automóvil más apropiado para la investigación y obtener los mejores resultados. Posterior a esto, se escoge el vehículo Volkswagen Gol Hatchback año 2013 por el motivo de que consta con un sistema de inyección indirecta multipunto y otros aspectos importantes para analizar en esta investigación.



Gráfico 1.- Volkswagen gol Hatchback 2013.

Especificaciones del vehículo	
MARCA	Volkswagen
MODELO	Gol (G5)
MOTOR	1.6 Total Flex
TIPO DE CARROCERÍA	Hatchback
NÚMERO DE PLAZAS	5
NÚMERO DE PUERTAS	5
COMBUSTIBLE	Gasolina
POTENCIA MÁXIMA	103 CV
PAR MÁXIMO	153 Nm
CILINDRADA	1598 cm ³
NÚMERO DE CILINDROS	4

Tabla 3.- Ficha técnica Volkswagen Gol (G5)

Combustibles. – Se procede a llenar el tanque del vehículo con el combustible Extra para la realización de las pruebas de emisión de gases NOx a base de un octanaje de 83 siguiendo una ruta establecida porque es la zona con más afluencia, se toma en cuenta que se hace en el Distrito Metropolitano de Quito a una altura de 2850 msnm, posteriormente se obtiene los datos con la ayuda del equipo de sonda NOx de la Universidad Internacional Del Ecuador, al finalizar la obtención de datos en la primera instancia, se verifica que no hubiese ningún inconveniente con el equipo y que los datos obtenidos sean acorde a la información que necesitamos para esta investigación.

Al finalizar el tanque con el combustible Extra se procede a la carga del combustible Super95, se reinicia el equipo y se retorna al punto de partida donde se empieza la segunda prueba con este nuevo combustible y se repite el proceso que con el combustible Extra.

Finalizando estas dos pruebas, se hace una comparativa de los resultados obtenidos y en el caso que se necesiten más pruebas por cualquier motivo o invalidación en los datos, se las realiza.

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO EXTRA	MÍNIMO SUPER	MÁXIMO EXTRA	MÁXIMO SUPER
Número de octano	RON*	81.0	90.0	--	--
Destilación 10%	°C	--	--	70	70
50%	°C	77	77	121	121
90%	°C	--	--	189	190
Punto final	°C	--	--	215	220
Residuo destilación	%	--	--	2	2
Relación vapor – líquido, a 60°C, V/L	--	--	--	20	20
Presión de vapor	kPa	--	--	56	56
Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50°C)	--	--	--	1	1
Contenido de gomas	Mg/100 cm	--	--	3.0	4.0
Contenido de Azufre	%	--	--	0.075	0.1
Contenido de aromáticos	%	--	--	30.0	35.0
Contenido de benceno	%	--	--	1.0	2.0
Contenido de olefinas	%	--	--	18.0	25.0
Estabilidad a la oxidación	Min	240	240	--	--

Contenido de oxígeno	%	--	--	2.7	2.7
Contenido de plomo	mg/l	--	--	F y G	F y G
Contenido de manganeso	mg/l	--	--	F y H	F y H
Contenido de hierro	mg/l	--	--	F y I	F y I

A 1kPa = 0.01 kgf/cm² = 0.10 N/cm² = 0.145 kgf7 pulg²
 B En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta 62 kPa
 C Método de ensayo utilizado para combustible gasolina sin etanol
 D Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación
 E El equivalente en masa de etanol anhidro agregado a la mezcla
 F Sin adición intencional
 G No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237
 H No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3831
 I No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 5185
 J No existe unidad del SI

Tabla 4.- Requisitos de la gasolina Extra y Super 95 (MILTON, 2021)

Normativa. -- Desarrollo de ciclos de conducción en la ciudad de Quito- Ecuador para un vehículo categoría m1.

De acuerdo a lo comentado por (MONTROYA & DÍAZ, 2022), el Instituto Ecuatoriano de Normalización a través de su Normativa INEN 2204 y 2207 recomienda emplear el ciclo transitorio FTP-75 proveniente de Estados Unidos, así como también el modal europeo ECE EUDC (NEDC) para la evaluación y control de emisiones contaminantes. No obstante, no profundiza en el desarrollo de los perfiles de velocidad ni en el consumo de combustible. La normativa seleccionada se la realiza en base a una región global, con un ciclo WLTP de clase 3 con una velocidad promedio de 46.5 km/h, una duración de 1800s y una distancia de 23,26 kilómetros en donde especifica la relación de potencia/peso del vehículo y cuatro zonas de conducción: urbana, rural, urbana (extra) y autopista. (RODRIGUEZ, 2021)

Lugar de prueba. – Se realiza una ruta específica en base a la normativa seleccionada, la cual cumpla con las especificaciones solicitadas para una obtención de datos más clara, la cual se caracteriza con pendientes, rectas y descensos para que el estudio sea basado en un tipo de conducción más completo y poder obtener datos basados más a la realidad.

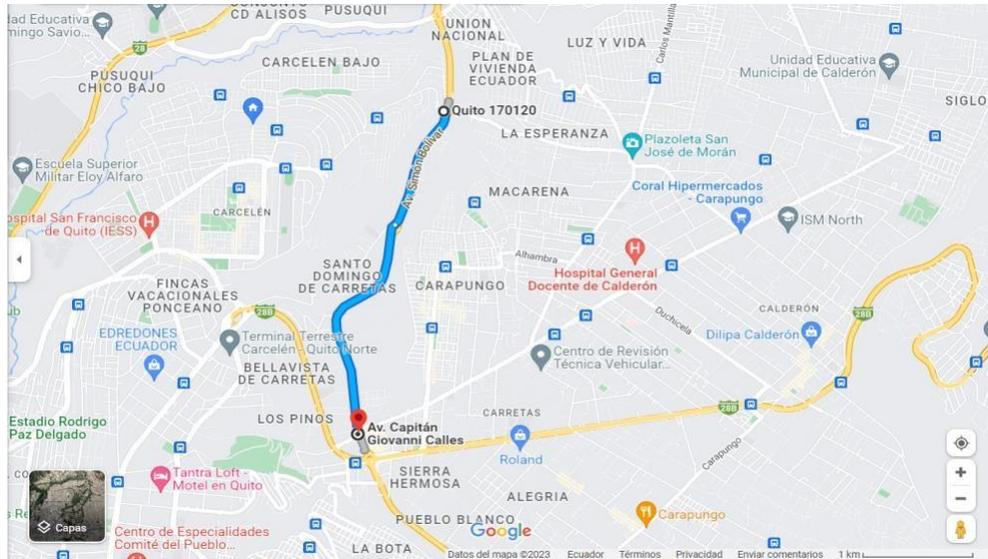


Gráfico 2: Ruta redondel de lirios, Simón Bolívar - Portal Shopping.

Datos

# Y TIPO DE PRUEBA	EXTRA	SUPER
PRUEBA 1 SUBIDA	376 PPM	110 PPM
PRUEBA 1 BAJADA	60 PPM	21 PPM
PRUEBA 2 SUBIDA	198 PPM	144 PPM
PRUEBA 2 BAJADA	103 PPM	97 PPM
PRUEBA 3 SUBIDA	455 PPM	170 PPM
PRUEBA 3 BAJADA	365 PPM	90 PPM
PRUEBA 4 SUBIDA	429 PPM	197 PPM
PRUEBA 4 BAJADA	253 PPM	186 PPM

Tabla 5.- Datos obtenido en las pruebas dinámicas (MINA, PAVÓN, & BÁEZ, 2022)

Resultados y discusión

#	PS1	PB1	PS2	PB2	PS3	PB3	PS4	PB4
EXTRA	376	60	198	103	455	365	429	253
SUPER 95	110	21	144	97	170	90	197	186

Tabla 6.- Tabulación de datos obtenidos en las pruebas dinámicas (MINA, PAVÓN, & BÁEZ, 2022)

En base a la tabla de datos recolectados anteriormente, se puede diferenciar la emisión de gases NO_x emitida por el vehículo de prueba utilizado, entre combustible extra y super 95, donde gracias a las pruebas realizadas en el ascenso y descenso de la ruta escogida, se notó una gran diferencia en las emisiones de gases NO_x, en las que se identificó que con el combustible Extra, que contiene menor octanaje, se produce mayor contaminación en comparación con la gasolina Super95, con mayor octanaje.

Además, otro factor importante que pudimos identificar en las pruebas dinámicas realizadas, es que, en el momento de la conducción, la emisión de gases NO_x es mayor cuando se utilizan las marchas de fuerza, en este caso 1era, 2da, y 3era, y una reducción de contaminación con las marchas de velocidad, en este caso 4ta y 5ta, las cuales se utilizan la mayor parte del tiempo al mantener una velocidad constante.

Por otro lado, algunos de los factores externos que interfirieron en los resultados de las pruebas dinámicas son: la utilización del aire acondicionado, el cual, al ser activado fuerza más el trabajo del motor, provocando aumento considerable en la emisión de NO_x; El frenado constante provoca una reducción de emisiones NO_x, afectando el resultado general que nos brinda el equipo; El tráfico también llegó a ser un factor a considerar en el resultado final de las pruebas, ya que, no se pudo mantener una velocidad constante y en caso de una subida con alto flujo de automóviles, nos tocó mantener la conducción entre 1era y 2da marcha, aumentando los resultados de la contaminación por parte del gas en estudio.

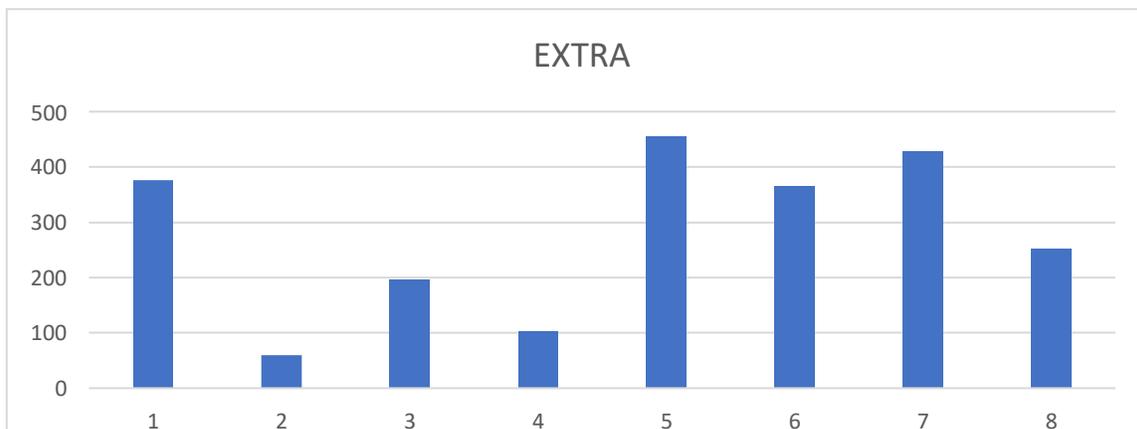


Gráfico 3: Histograma de los resultados de combustible Extra (MINA, PAVÓN, & BÁEZ, 2022)

De acuerdo a la tabla, se identifica que en la Prueba 3 con pendiente positiva, el valor más alto impreso por el equipo con combustible EXTRA fue de 455 ppm, en la cual se utilizó A/C, velocidad constante con marchas altas en cuesta; el resultado más bajo con combustible EXTRA fue de 60 ppm en la Prueba 1 con pendiente negativa, por mantener un ciclo de conducción con las marchas menos fuertes 5ta y 6ta, sin A/C y en pendiente negativa.

Como acotación al análisis del gráfico de combustible EXTRA en los picos más altos las pruebas fueron realizadas en pendiente positiva, con marchas fuertes y revoluciones altas, las cuales son: 1,3,5 y 7. Mientras que los picos menores fueron en pendiente negativa con marchas altas, pero menos fuertes manteniendo el ciclo de conducción controlado, las cuales son: 2,4,6 y 8.

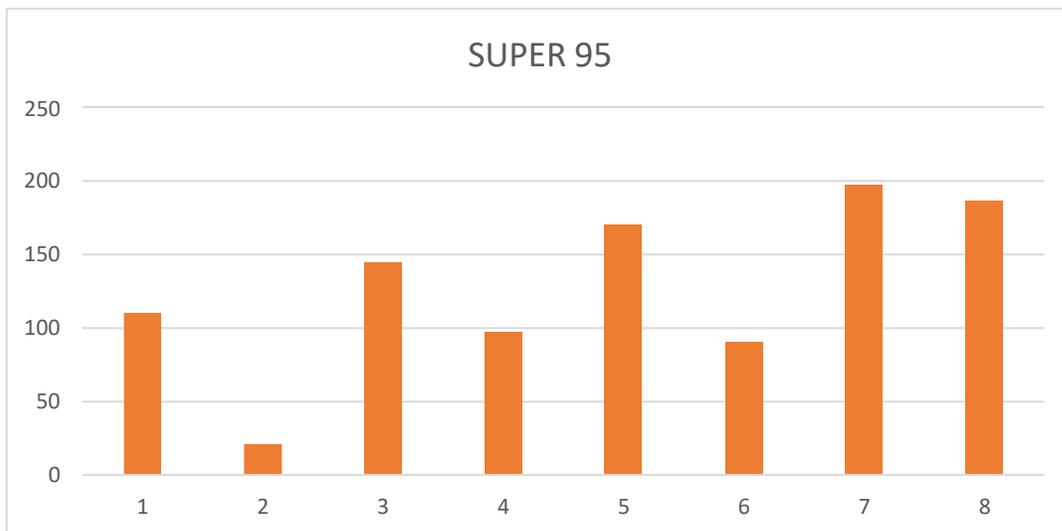


Gráfico 4: Histograma de los resultados de combustible Super (MINA, PAVÓN, & BÁEZ, 2022)

En base a la tabla de resultados, se puede apreciar que el valor más alto en subida que nos marca es de 197 ppm en la prueba 4 con combustible SUPER, a pesar de que se mantuvo una conducción en marchas fuertes, la utilización del A/C, pudimos notar una gran diferencia de resultados en base a la prueba del combustible con menor octanaje; de igual manera el resultado más bajo con combustible SUPER es de 21 ppm, ya que, fue un descenso rápido, sin flujo de vehículos, sin A/C y en velocidad constante en 5ta marcha, por lo que, la emisión fue mínima y notoria, teniendo una gran diferencia con respecto al valor mínimo emitido por el combustible con menos octanos.

Como acotación al análisis del gráfico de combustible SUPER en los picos menores fueron en pendiente negativa con marchas altas, pero menos fuertes manteniendo el ciclo de conducción controlado, las cuales son: 2,4,6 y 8, Por otro lado, en los picos más altos las pruebas fueron realizadas en pendiente positiva, con marchas fuertes y revoluciones altas, las cuales son: 1,3,5 y 7.

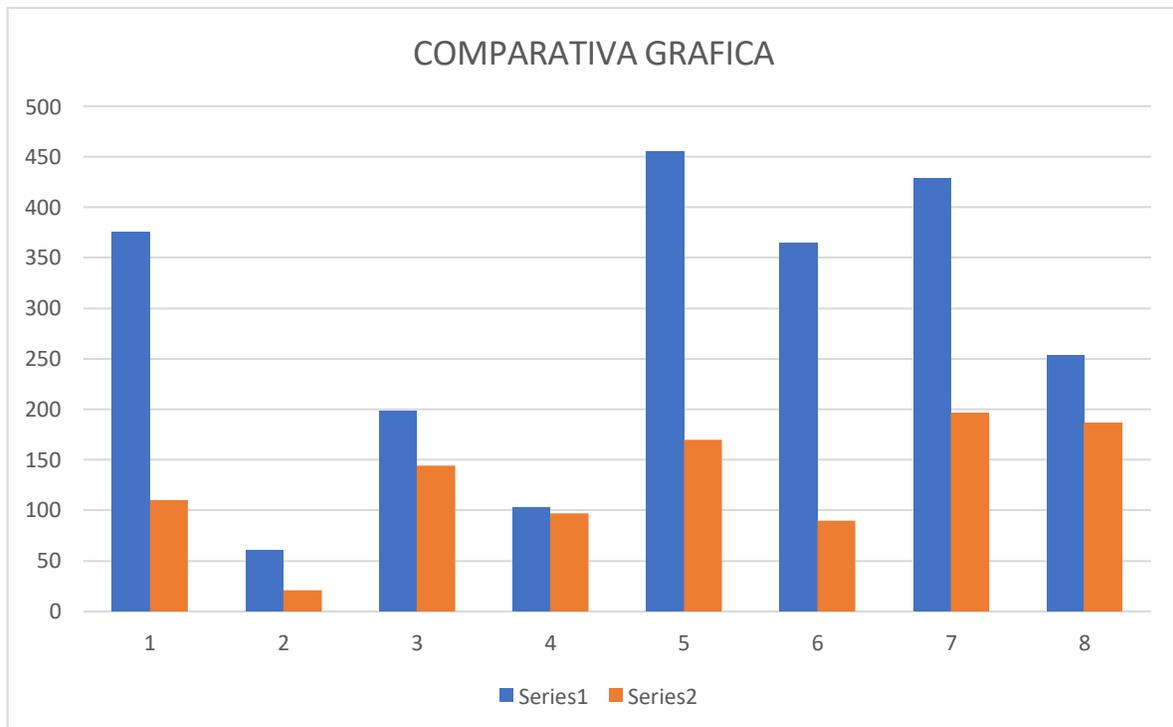


Gráfico 5: Histograma de la comparativa de los combustibles (MINA, PAVÓN, & BÁEZ, 2022)

En el gráfico presentados anteriormente, se observa de manera mas clara la comparativa entre los 2 tipos de combustibles sobre las emisiones de gases NOx, siendo el de color azul, los resultados del combustible Extra, y en color anaranjado los resultados obtenidos con el combustible Super95, dando a notar una gran diferencia entre estos dos, teniendo menores emisiones con el combustible Super en todas las pruebas realizadas. En nuestra investigación notamos una reducción considerable de emisiones de NOx a mayor octanaje, con una mejora en el desempeño del motor por ende una reducción en el desgaste de los componentes internos del mismo.

Conclusiones

En conclusión, se analizó los niveles de emisión de NOx a base de diferentes tipos de combustibles de manera dinámica, donde pudimos notar gracias a la ayuda de nuestro equipo una diferencia notoria entre combustibles demostrando que el combustible de mayor octanaje ayuda al cuidado del medio ambiente.

Como se puede observar en la tabla de datos del presente estudio, existe una variación significativa entre los dos tipos de combustibles analizados, con referencia a los datos brindados por el estado ecuatoriano reflejados en la tabla 1, el combustible extra al tener un menor octanaje y ser menos puro emite mayor cantidad de gases NOx por lo que provoca una mayor contaminación, como se puede observar en la tabla de pruebas, nos arroja como valor un rango de entre 198 a 455 ppm, Por otro lado, la gasolina Super, al tener mayor pureza

y con un octanaje mayor, arroja valores en un rango de 110 a 197 ppm de NOx, tomando en cuenta el valor mínimo y máximo de cada combustible, pudiendo evidenciar una mejora con el combustible super.

En las pruebas dinámicas se pudo evidenciar que el vehículo con combustible EXTRA mostro mayor cascabeleo en pendientes, lo que disminuye la vida útil de los componentes del automóvil y aumenta el deterioro precoz del mismo, mientras que con el combustible SUPER 95 el cascabeleo desapareció por lo que se mantiene en mejor estado los componentes internos del mismo.

Al momento de realizar las pruebas de manera dinámica con los 2 tipos de combustibles, tomando en cuenta factores como el A/C activado, el alto flujo de autos y la variación de altura en la que se realizaron estas, el combustible SUPER95 brinda mejor desempeño del motor sin necesidad de aumentar las emisiones NOx al contrario del combustible EXTRA que presenta varias dificultades al momento del desarrollo del vehículo, provocando el aumento de la contaminación.

Bibliografía

AUTONORMA. (2022).

Clean Air Technology Center. (2012).

CÓNDOR, Á. (22 de 02 de 2022). *Radio Pichincha*. Obtenido de <https://www.radiopichincha.com/combustible-ecuatoriano-es-considerado-como-el-peor-de-la-region-y-afectaria-gravemente-a-la-salud/>

DIAZ, F. (28 de Agosto de 2015). *Autocosmos*. Obtenido de ¿Cómo funciona el sistema de inyección de combustible?: <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2015/08/28/como-funciona-el-sistema-de-inyeccion-de-combustible>

DIESEL, L. (2020). *Sensores NOx y su funcionamiento*. Obtenido de <https://www.lucasdiesel.cl/sensores-nox-como-funciona/>

DOBLEVIA. (2017). *NORMAS DE EMISIONES EURO*. Obtenido de <https://transporte.doblevia.org/normas-de-emisiones-euro/>

ECHA. (2007).

EL UNIVERSO. (24 de 08 de 2022). *EL UNIVERSO*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/entretenimiento/motores/cuantos-octanos-tiene-la-nueva-gasolina-ecoplus-89-ecopais-extra-y-super-precios-y-caracteristicas-de-cada-una-nota/>

FERNANDEZ, P. (06 de 2012).

INIGUEZ, A. (2017). *Universidad de Azuay*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7305/1/13248.pdf>

- ISOPETROL. (2017). *Sistema de Alimentación de Combustible y sus partes*. Obtenido de <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>
- MILTON, J. (8 de Julio de 2021). *Emisiones de gases contaminantes en vehiculos livianos a gasolina*. Obtenido de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/34/50>
- MINA, M., PAVÓN, L., & BÁEZ, X. (12 de 2022). Análisis dinámico de NOx en vehículos M1 utilizando diferentes tipos de combustibles. Quito, Pichincha, Ecuador.
- MONTOYA, C., & DÍAZ, F. (2022).
- NIETO, J. (2019). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11164/1/236T0448.pdf>
- PÉREZ, D. (01 de 03 de 2018). *Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales*. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf
- RODRIGUEZ, M. (06 de 08 de 2021). *UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK*. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/X6ZAWTVTD/Rodri%CC%81guez_Munive,_Mateo_Esteban[1].pdf
- TAPIA, E. (22 de Sep de 2022). *Primicias*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/venta-gasolina-super-premium-octubre/>
- TOYOTA. (2022). *Toyota España*. Obtenido de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/contaminacion-diesel/que-es-nox-como-afecta-reducirlo-toyota>

Anexos

Anexo I. Ilustraciones



Ilustración 6. Prueba de medición de gases Nox. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 7. Equipo de medición de gases Nox. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 8. Transformador de voltaje. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)

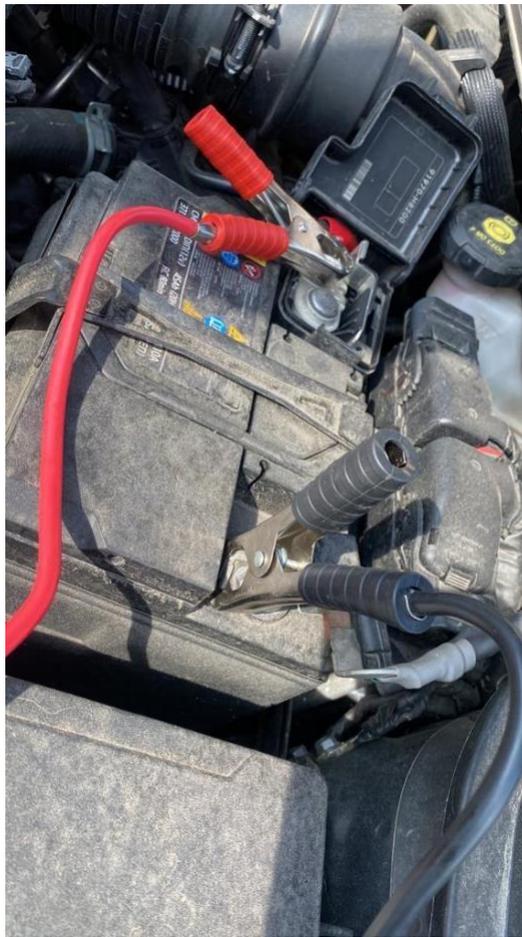


Ilustración 9. Conexión a batería. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 10. Sonda Nox. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 11. Equipo de medición. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)

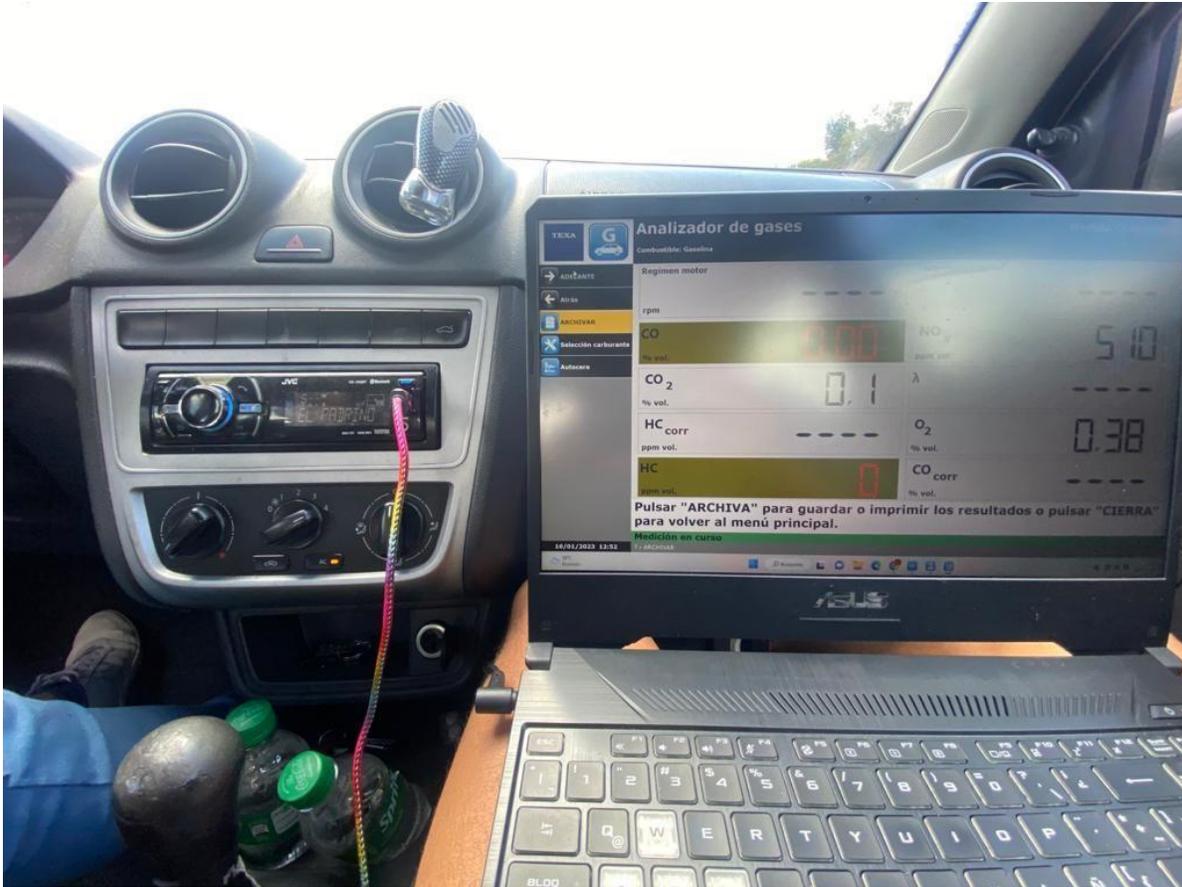


Ilustración 12. Test de medición de gases Nox. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 13. Conexión de la sonda Nox al tubo de escape. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 14. Aire acondicionado. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)

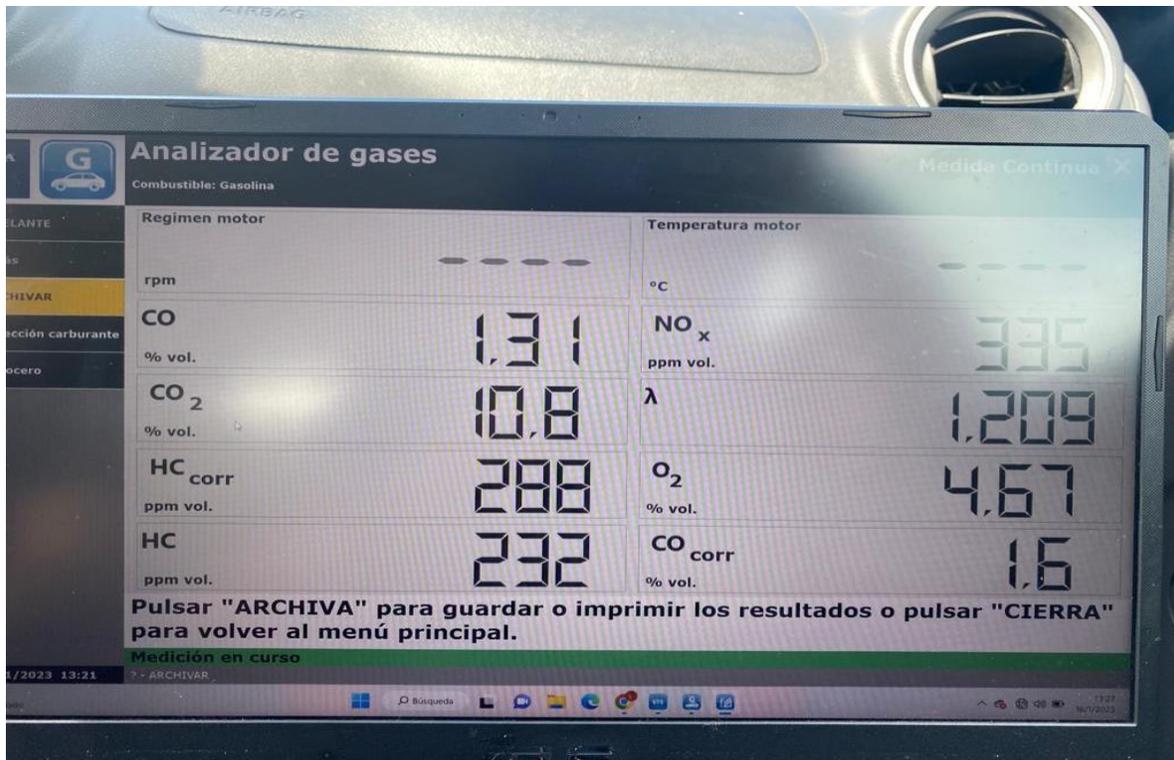


Ilustración 15. Resultados del analizador de gases Nox. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 16. Gasolinera. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)



Ilustración 17. Equipos de medición sincronizados. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)

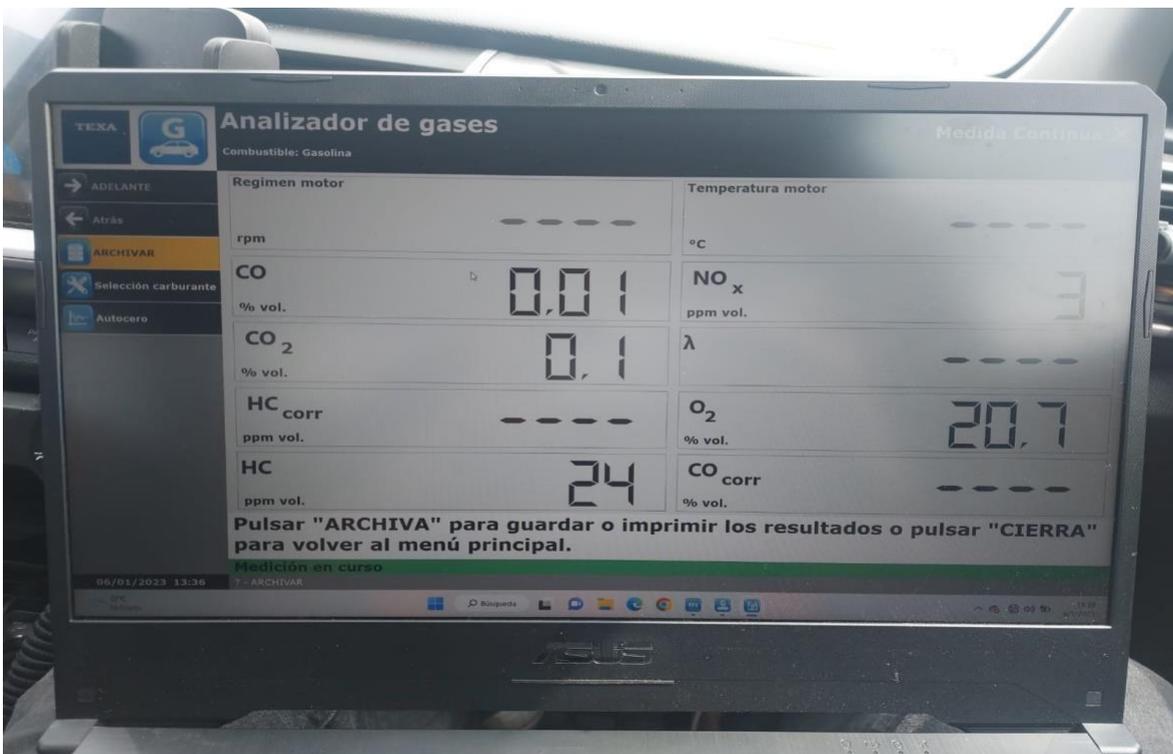


Ilustración 18. Resultados del análisis de medición de gases Nox. Foto por (Felipe Pavón, Mateo Mina, Xavier Báez)

Anexo II. Gráficos

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 12:54
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				---	1/min
Temperatura motor				---	°C
CO				0,00	% vol.
CO2				0,1	% vol.
HC				0	ppm vol.
O2				0,35	% vol.
NOx				376	ppm vol.
COcorr				---	% vol.
HCcorr				---	ppm vol.
Lambda				4,923	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 19. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 12:54
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,01	% vol.
CO2				0,1	% vol.
HC				345	ppm vol.
O2				16,20	% vol.
NOx				60	ppm vol.
COcorr				----	% vol.
HCcorr				----	ppm vol.
Lambda				----	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 20. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 13:22
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,00	% vol.
CO2				0,1	% vol.
HC				0	ppm vol.
O2				0,55	% vol.
NOx				198	ppm vol.
COcorr				----	% vol.
HCcorr				----	ppm vol.
Lambda				----	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 21. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 13:22
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,92	% vol.
CO2				6,1	% vol.
HC				155	ppm vol.
O2				9,86	% vol.
NOx				103	ppm vol.
COcorr				2,0	% vol.
HCcorr				332	ppm vol.
Lambda				1,902	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 22. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 13:41
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				3,19	% vol.
CO2				10,6	% vol.
HC				108	ppm vol.
O2				0,20	% vol.
NOx				455	ppm vol.
COcorr				3,5	% vol.
HCcorr				118	ppm vol.
Lambda				0,901	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 23. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 13:41
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				3,34	% vol.
CO2				10,3	% vol.
HC				210	ppm vol.
O2				0,55	% vol.
NOx				365	ppm vol.
COcorr				3,7	% vol.
HCcorr				231	ppm vol.
Lambda				0,908	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 24. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 13:41
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				---	1/min
Temperatura motor				---	°C
CO				3,15	% vol.
CO2				11,1	% vol.
HC				0	ppm vol.
O2				0,28	% vol.
NOx				253	ppm vol.
COcorr				3,3	% vol.
HCcorr				0	ppm vol.
Lambda				0,913	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 25. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 13:41
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula			PCL5739		
VIN					
Fabricante			VOLKSWAGEN		
Modelo			GOL		
Fecha matriculación			16/1/2023		
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				2,74	% vol.
CO2				10,9	% vol.
HC				49	ppm vol.
O2				0,34	% vol.
NOx				429	ppm vol.
COcorr				3,0	% vol.
HCcorr				54	ppm vol.
Lambda				0,924	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 26. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 15:21
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	1/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,60	% vol.
CO2				10,1	% vol.
HC				0	ppm vol.
O2				14,50	% vol.
NOx				110	ppm vol.
COcorr				0,8	% vol.
HCcorr				0	ppm vol.
Lambda				1,933	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 27. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 15:21
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,10	% vol.
CO2				1,1	% vol.
HC				175	ppm vol.
O2				19,90	% vol.
NOx				21	ppm vol.
COcorr				----	% vol.
HCcorr				----	ppm vol.
Lambda				----	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 28. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 15:50
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	1/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,00	% vol.
CO2				11,5	% vol.
HC				7	ppm vol.
O2				6,22	% vol.
NOx				144	ppm vol.
COcorr				0,0	% vol.
HCcorr				9	ppm vol.
Lambda				1,381	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 29. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 15:37
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible			Gasolina		
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	l/min
Temperatura motor				----	°C
CO				0,40	% vol.
CO2				8,4	% vol.
HC				0	ppm vol.
O2				11,50	% vol.
NOx				97	ppm vol.
COcorr				0,7	% vol.
HCcorr				0	ppm vol.
Lambda				1,898	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 30. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 15:50
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	1/min
Temperatura motor				----	°C
CO				2,26	% vol.
CO2				10,5	% vol.
HC				68	ppm vol.
O2				6,31	% vol.
NOx				170	ppm vol.
COcorr				2,7	% vol.
HCcorr				80	ppm vol.
Lambda				1,265	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 31. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
		Fecha del Test 16/01/2023			
		Hora del test 15:50			
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test	001				
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible	Gasolina				
Resultado medición					
	Valor leído	Unidad			
Régimen motor	----	l/min			
Temperatura motor	----	°C			
CO	0,00	% vol.			
CO2	5,7	% vol.			
HC	37	ppm vol.			
O2	7,55	% vol.			
NOx	90	ppm vol.			
COcorr	0,0	% vol.			
HCcorr	97	ppm vol.			
Lambda	1,919				
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por			Firma		

Gráfico 32. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 16:12
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				----	1/min
Temperatura motor				----	°C
CO				2,34	% vol.
CO2				10,7	% vol.
HC				0	ppm vol.
O2				0,71	% vol.
NOx				186	ppm vol.
COcorr				2,7	% vol.
HCcorr				0	ppm vol.
Lambda				0,957	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 33. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 16/01/2023
					Hora del test 15:50
Centro de Test					
UIDE					
Número Stazione Test				001	
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
Fecha matriculación					
Combustible					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				---	l/min
Temperatura motor				---	°C
CO				1,52	% vol.
CO2				9,9	% vol.
HC				5	ppm vol.
O2				5,18	% vol.
NOx				197	ppm vol.
COcorr				2,0	% vol.
HCcorr				7	ppm vol.
Lambda				1,260	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBNT005471	DE07M010PTB002	02/08/2023	
Testado por				Firma	

Gráfico 34. Ficha de resultados de medición de gases. Tomado de Equipo de medición

Donde:

- m: masa de nitritos recogida por cada captador
- C't= concentración del nitrito en el tubo, según la curva de calibración
- V= volumen de los reactivos de color vertidos en cada tubo para la extracción

Para encontrar la concentración de nitritos presente en el tubo se realizará una regla de tres, usando una tabla estandarizada con la concentración de los nitritos en el tubo, debido a que ya se contará con los datos de absorbancia.

Para calcular la concentración ambiente se utilizará la siguiente fórmula:

$$c = m * \frac{1}{D12} * A * t$$

(Ec. 2-2)

Donde:

- c= concentración ambiente medida en (ug/m³)
- m= cantidad del gas absorbido durante la exposición (ug)
- A= área transversal del tubo cilíndrico (m²)
- t= tiempo de exposición (s)
- L= longitud del tubo (m)
- D!"= coeficiente de difusión entre el NO₂ y el aire (m²/s)

2.4.7. Curva de calibración para el NO₂

Para realizar la curva de calibración de NO_x y determinar la longitud de onda necesario se prepararon las siguientes soluciones.

2.4.7.1. Solución Patrón

Disolver 1,5g de nitrito de sodio de grado analítico en 1000mL de agua destilada.

1.7. Soluciones a la contaminación atmosférica

Instituciones públicas de salud, por la preocupación ante el aumento de muertes por el deterioro de la calidad del aire han propuesto una serie de soluciones para disminuir la producción de contaminantes estas son:

- Uso de energías limpias que ayuden en la reducción de las emisiones de smog como la reutilización de los desechos agrícolas y producción de biogás.
- Cambio de los combustibles fósiles a combustibles limpios que reduzcan el contenido de sulfuros, así como promover el uso de transportes alternativos que conviertan a las ciudades más amigables.
- Plantear el uso de recursos renovables para la generación de energía, ya sea con la implementación de paneles solares o usando la energía eólica.
- Implementar estrategias para la reducción de los desechos sólidos que se generan utilizando métodos biológicos como la digestión anaeróbica que es una alternativa de bajo costo y evita la incineración de los residuos. (World Health Organization, 2017)

1.8. Programas para la elaboración de mapas

1.8.1. ArcGis

ArcGis es un software diseñado en California por ESRI, el programa es un sistema de información geográfica que presenta una interfaz sencilla que permite la carga de datos tabulados para la creación de mapas, es decir es un software que permite obtener los mapas cartográficos con los detalles necesarios para realizar estudios temáticos. (Puerta, Rengifo y Bravo, 2011) (Miranda, 2017)

Los mapas creados en ArcGis exponen la información y permiten utilizarla como fuente de consulta para el análisis y planificación, los mapas creados en ArcGis, son herramientas que permiten explorar, analizar y actualizar información geográfica, así como también, interactuar y comprender patrones que ayuden a la resolución de problemas o realizar seguimientos en diferentes zonas. (ArcGis, 2015)

1.4.5. **Monóxido de carbono**

Es un gas incoloro emitido principalmente por los automóviles especialmente por las combustiones son considerados como principal contaminante debido a que puede ingresar al sistema sanguíneo de los seres vivos y reducir la capacidad de éste para transportar oxígeno lo que provoca problemas cardiovasculares. (Aránguez et al. 1999, pp. 124-127)

1.5. **Procesos de deposición de los contaminantes**

Es el proceso en el que las sustancias químicas o contaminantes son transportadas desde la atmósfera a la superficie terrestre. Existen tres mecanismos principales. (Anom.,2015)

- Deposición de las partículas atmosféricas y de los compuestos químicos absorbidos
- Difusión gaseosa entre la fase gaseosa y el agua.
- Deposición húmeda.

1.6. **Efecto de los gases en la atmósfera**

Los gases que se encuentran en la atmósfera en cantidades considerables afectan al desarrollo de la misma de las siguientes maneras.

- **El efecto invernadero** es un problema que evita que el calor recibido del sol, vuelva al espacio, la presencia de una cantidad determinada de algunos gases, permiten que la atmósfera se mantenga caliente sin embargo, las actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, aumentan la concentración de gases necesarios para mantener el calor y contribuyen al daño atmosférico. (WHO-Europe reports Health Aspects of Air Pollution, 2012)
- **Daño a la capa de ozono:** Si bien el ozono es una forma de oxígeno que se encuentra en la atmósfera superior de la tierra. El daño a la capa de ozono se produce principalmente por el uso de clorofluorocarbonos, el aumento de éstos, produce el agotamiento del ozono con lo cual aumenta la incidencia de las radiaciones en la Tierra. (WHO-Europe reports Health Aspects of Air Pollution, 2012)

1.4.2.3. *Formas de eliminación*

Las formas para la eliminación de este contaminante son

- Fotólisis
- Reacciones químicas (Fernández, 2015, pp.8-10)

1.4.3. *Dióxido de azufre*

Se forma por la combustión del azufre presente en los derivados del petróleo y del carbón, este contaminante es un gran problema para el ambiente debido a que es un ácido estable y denso que puede desplazarse rápidamente por la atmósfera y por su fácil condensación reacciona con el agua y forma ácido sulfúrico. (Bureau Veritas Formación, 2008, p.158)

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la cantidad de éste contaminante varía dependiendo del tipo de combustible que se utilice, sin embargo las emisiones totales anuales son de 63Tg, aunque esto ha disminuido gracias a la concientización ambiental debido a que en 1983 se emitían alrededor de 288 millones de toneladas anuales. (Wunderlich, 2005, p.11)

1.4.4. *Ozono*

El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno lo que hace que sea una molécula altamente oxidante, el ozono es un componente natural de la atmósfera y no causa daños en condiciones normales y cuando se encuentra a 20km de la superficie terrestre forma una capa que protege al planeta de las radiaciones ultravioletas. (Bravo et al. 2007)

Debido a las alteraciones que se presentan en la atmósfera que afectan al correcto funcionamiento de las reacciones atmosféricas, se produce el ozono troposférico que es uno de los principales contaminantes debido a su gran distribución y a los efectos que provoca en la biodiversidad y en el funcionamiento de los ecosistemas, es un gas de efecto invernadero que promueve el calentamiento global y por consecuencia el cambio climático. (Chile, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011, p.7)

Godish (1991) menciona que las emisiones de NO_x son 10% producidas por la actividad antropogénica, mientras que el resto es producido por la actividad anaeróbica que tiene lugar tanto en agua como en suelo, por la destrucción de los compuestos nitrogenados que se produce en la atmósfera y por las actividades volcánicas. (World Bank Group, 1998, pp. 223-225)

Combustibles que producen NO_x

La principal fuente de emisión de NO_x son los automóviles debido a los combustibles que utilizan, pues contienen nitrógeno que durante el proceso de combustión se transforman en NO_x , estas emisiones representan el 50% de las emisiones incontroladas y más del 80% cuando se realiza la quema de carbón.

Cuando empieza la combustión, se oxidan las especies volátiles y el nitrógeno empieza a reaccionar formando intermedios de reacción en las regiones de mayor cantidad de combustible, los intermedios de reacción se oxidan formando NO y/o se reducen en N_2 esta relación depende específicamente de la estequiometría que sigue la reacción. Durante este mecanismo se desprende entre el 60 y 90% de las emisiones globales de NO_x . (Red Saucedo, 2015)

1.4.2.2. Efectos de los óxidos de nitrógeno en el ambiente

Los óxidos de nitrógeno son los principales precursores de la lluvia ácida y de la formación de ozono troposférico, el problema radica en la capacidad de absorción que presentan los óxidos de nitrógeno, pues, absorben la luz solar y dan lugar a procesos fotoquímicos que producen ácido nítrico cuya severidad y daños es difícil de estimar por su difícil deposición en la superficie. (Fernández, 2015, pp.8-10)

Otro problema que produce la presencia de óxidos de nitrógeno es que los nitratos producidos y precipitados pueden incrementar el crecimiento foliar en zonas con insuficiencia de nitrógeno, sin embargo el efecto fertilizante de este compuesto puede producir un contra balance de algunos nutrientes por lo que la agricultura puede verse afectada. (World Bank Group, 1998, pp. 224-225)

1.4.1. *Material Particulado*

Son conocidos como aerosoles atmosféricos y son un conjunto de partículas tanto sólidas como líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera, es uno de los contaminantes más estudiados debido a que causan gran cantidad de muertes porque producen problemas cardiopulmonares.

En su mayoría son partículas que no sedimentan y son una mezcla de productos químicos y biológicos que al interactuar pueden formar otro tipo de compuestos por esta razón para su clasificación se ha considerado el diámetro de las partículas. (Arciniégas, 2012, pp.196-198)

1.4.2. *Óxidos de nitrógeno*

Son gases formados por la combinación del oxígeno y del nitrógeno, aunque estos por separado no representan riesgos para la salud, combinados pueden generar problemas en el ambiente, se conocen dos tipos de óxidos de nitrógeno, el monóxido y el dióxido de nitrógeno, son considerados contaminantes debido a que se producen en las reacciones de combustión y contribuye a la formación del smog. (Li y Mallat, 2018, pp. 6-7)

La química de este tipo de compuestos es muy compleja debido a la reacción inmediata que puede presentar el NO, pues, al oxidarse forma el NO₂ siendo ésta una forma de producción de este contaminante. (Aránguez et al. 1999, pp. 126)

La Organización Mundial para Europa recomendó no superar los valores de 400 ug/m³ y 150 ug/m³ durante 24 horas mientras que el Acuerdo Ministerial 097 Libro VI Anexo 4 establece una concentración de 200 ug/m³ en lapsos de una hora y de 150 ug/m³ para 24 horas.

1.4.2.1. *Fuentes de emisión*

Los óxidos de nitrógeno son emitidos desde los escapes de los automotores, la combustión o quema del carbón o gas natural o mediante el uso de la soldadura, en algunos casos la producción de estos contaminantes puede ser causada por la reacción del ácido nítrico con celulosa. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2002, pp.1-2)

1. Capítulo I: GENERALIDADES

En este capítulo se analizará la problemática, la conceptualización de la inexistencia de un protocolo de ensayo para la revisión de NOx y a partir de esto, se plantean los pasos a seguir para evaluar este contaminante, utilizando la infraestructura y el equipamiento de la Universidad del Azuay.

1.1. Problemática

Actualmente el servicio ecuatoriano de normalización INEN, no cuenta con un protocolo de ensayo para la evaluación de NOx en fuentes móviles de manera directa, a diferencia de otros países que además de contar con un protocolo dentro de sus normas, los manejan dentro de los centros de revisión técnica vehicular.

1.2. Marco Teórico

Óxidos de nitrógeno (NOx): Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NOx se refiere a la combinación de ambas sustancias. (PRTR España, 2007)

Control de emisiones en automóviles: Son las tecnologías que se utilizan para controlar y reducir la contaminación del aire producida por los automóviles. (Schwartz, 2003)

Ciclos de prueba: Un ciclo de prueba es una secuencia de operaciones estándar a las que es sometido un vehículo automotor o un motor, para determinar el nivel de emisiones que produce. Para los propósitos de esta norma, los ciclos que se aplican son los siguientes:

Estimaciones indirectas: Las metodologías de estimación indirecta, como su nombre lo indica, son aquellas que permiten estimar las emisiones de contaminantes provenientes de una fuente a partir de diversas variables relacionadas con estas. (IDEAM, 2006)

EURO: Es una norma europea que contiene un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea. (EURO, 2000)

1.3.Estado del Arte

El Óxido de Nitrógeno es una sustancia gaseosa agresiva para la piel que provoca enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves, también afecta al tracto respiratorio causando daños irreversibles en el tejido pulmonar. La inhalación de este gas, en un periodo corto de tiempo y en altas concentraciones, puede originar edemas pulmonares que se agravan con el esfuerzo físico, ya que los síntomas empiezan horas después del contacto directo. Una exposición prolongada puede afectar además al sistema inmunológico, ocasionando resistencia a infecciones. (EINECS, 2015)

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:99 “Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores, especifica que la determinación de la Concentración de Emisiones de Escape, se deben ejecutar en Condiciones de Marcha Mínima o “Ralenti”, que puede definirse como una “Prueba estática”, publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 de 7 de julio del 2000. Sin embargo, para realizar un ensayo para el control de los NOx, es necesario tener en cuenta que las emisiones de este contaminante en un test sin carga son despreciables y presentan una alta variabilidad debido a la inestabilidad del motor en estas condiciones, siendo necesario que la medición de NOx se realice aplicando una carga al motor durante el ensayo, que además permite la medición de otros gases en condiciones óptimas y reales de operación (CO y HC). (Soto & Durán, 2014) (INEN, 2002)

2. Capítulo II: Análisis de las normativas y protocolos de ensayo existentes para evaluar los óxidos de Nitrógeno

En este capítulo se exponen los fundamentos universales del NO_x, normativas y protocolos para vehículos livianos utilizados en países de primer mundo como son: Estados Unidos y los Países de la Unión Europea. (Normas EPA y EURO) y en algunos países latinoamericanos: Argentina Chile y México. (Normativas nacionales basadas en protocolos de la EPA y EURO).

Además, se menciona la situación actual del Ecuador en lo que se refiere a la medición de gases en los centros de revisión técnica vehicular. En el Ecuador a pesar de que no se miden NO_x, existen límites máximos permisibles.

2.1.Fundamentos Teóricos:

2.1.1. Óxidos de Nitrógeno:

2.1.1.1. Definición:

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. El proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas, proceso en el cual el oxígeno del aire es el comburente. Los gases más importantes dentro de los grupos de los NO_x, son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Ambos, están considerados contaminantes del aire.

El monóxido de nitrógeno u óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y poco soluble en agua presente en pequeñas cantidades en los mamíferos.

En cuanto al dióxido de nitrógeno (NO₂), se trata de un agente tóxico, no inflamable, soluble en agua y de color pardo-rojizo. Su estructura molecular está constituida por un átomo de nitrógeno y dos átomos de oxígeno.

2.1.1.3. Fuentes de emisión:

Los óxidos de nitrógeno se producen de forma natural, durante la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, la combustión vegetal (incendios forestales y quema de rastrojeras), las tormentas eléctricas, las erupciones volcánicas, etc.

Las actividades humanas contribuyen a la emisión de óxidos de nitrógeno mediante el escape de vehículos motorizados, sobre todo de tipo diésel, la combustión del carbón, petróleo o gas natural, procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y la detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. Del conjunto de óxidos de nitrógeno emitidos a la atmósfera, el más abundante es el óxido nítrico (NO) y, en menor proporción, el dióxido de nitrógeno (NO₂). (Bash, 2015)

2.1.1.4. Impacto Ambiental:

Los óxidos de nitrógeno en general son poco solubles en agua, pero forman ácido nitroso o ácido nítrico cuando entran en contacto con ella, lo que le convierte en un agente contaminante.

El dióxido de nitrógeno puede convertirse, en el aire, en ácido nítrico, lo que provoca que el agua que cae de las nubes se vuelva tóxica, un fenómeno conocido comúnmente como "lluvia ácida" y que provoca graves daños en la naturaleza. Asimismo, los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar con compuestos orgánicos volátiles y producir el denominado ozono terrestre o troposférico, por situarse en esta capa más baja de la atmósfera. Mientras que la capa de ozono situada en las zonas altas de la atmósfera nos protege de los letales rayos ultravioleta, el ozono troposférico es un peligroso agente tóxico que destruye vegetales, irrita vías respiratorias y se convierte en un gas de efecto invernadero. En verano se produce el mayor incremento en la concentración de este tipo de ozono, por el aumento de la intensidad de la luz solar y las reacciones con los hidrocarburos volátiles que provienen de los gases de escape de los vehículos. Además, recientemente se ha conocido gracias a un estudio realizado por un equipo de

El resultado del promedio aritmético calculado en $t = 30$, deberá compararse con los límites máximos permisibles. Si el promedio aritmético para cada uno de los gases evaluados, del valor del coeficiente de aire o factor Lambda y del factor de dilución, cumplen con lo establecido, concluirá satisfactoriamente la fase 2540. (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

- **Equipamiento:**

- a) Analizador de gases:

El analizador utilizado debe determinar la concentración de HC (base hexano), CO, CO₂, O₂ y NO_x medidos como NO, en los gases provenientes del escape del vehículo.

El principio de medición para HC, CO y CO₂ debe ser mediante luz de rayos infrarrojos no dispersivos, el NO_x mediante celda electroquímica o luz ultravioleta no dispersiva y el O₂ mediante celda electroquímica.

- b) Dinamómetro de chasis:

Tendrá los rodillos necesarios para soportar las ruedas motrices de los vehículos que serán examinados y permitir su rotación continua. La potencia generada por el motor del vehículo que pasa a los rodillos a través de las llantas, deberá ser transmitida a un aparato de absorción de energía. Las características físicas del diseño de la unidad de absorción de energía deben permitir variar y controlar la carga aplicada al motor.

El marco y los conjuntos de rodillos deberán estar controlados al nivel del piso, de forma tal que permitan que los vehículos de cualquier marca sean colocados fácilmente y los frenos de los rodillos permitan una entrada y salida rápida de los vehículos al dinamómetro. El diseño del dinamómetro debe permitir la prueba segura de todos los vehículos.

- Capacidades del dinamómetro:

- La capacidad de carga de los rodillos debe soportar un peso mínimo de 3 500 kilogramos en el eje durante la prueba funcional de verificación.

3. Capítulo III: Instrumentación necesaria para llevar a cabo el protocolo de ensayo para la medición de Óxidos de Nitrógeno en el Taller de la Universidad del Azuay

De acuerdo a las metodologías analizadas en el Capítulo II se obtuvo como conclusión que el método más apto para tomarlo de guía es el método ASM, ya que es muy efectivo y sencillo de aplicar. En el documento de la EPA llamado "Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emisión Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications", Technical Guidance, se especifican los requerimientos para el uso de los equipos para realizar las pruebas de evaluación de los NOx, es por esto que el presente capítulo se detallan el equipamiento, su funcionamiento, tipos, especificaciones de los mismos, así como también los equipos con los que se cuenta en la Universidad del Azuay.

3.1. Equipos y herramientas:

El equipamiento es esencial para la correcta medición de los NOx que son emanados por los vehículos, es por esta razón que a continuación se presentara, el principio de funcionamiento, los tipos y la respectiva calibración de cada uno de los equipos usados para esta prueba, que cumplan con los requisitos que dicta la EPA en la guía del método de análisis de gases Acceleration Simulation Mode.

3.1.1. Analizador de Gases:

La EPA no especifica un tipo determinado de Analizador de gases, sin embargo recomienda uno que sea capaz de medir 4 gases: HC, CO, NO, y CO₂ y un gas opcional O₂, así como también, en cuanto a la exactitud del equipo para medir gases, se garantizará que el sistema analítico proporcione una contabilidad exacta de las emisiones reales de escape producidas durante la prueba, teniendo en cuenta las exactitudes de los canales individuales, las repeticiones, los efectos de interferencia, los tiempos de transporte de la muestra y los tiempos de respuesta del analizador. (EPA, 2004)

gases con detectores apropiados. Estos detectores consisten en un filtro óptico formado por un lente que permite solo pasar las longitudes de onda del espectro infrarrojo correspondientes al gas cuya concentración se quiere medir. Luego de este filtro, la luz es censada por un sensor óptico electrónico (fotodiodo o fototransistor).

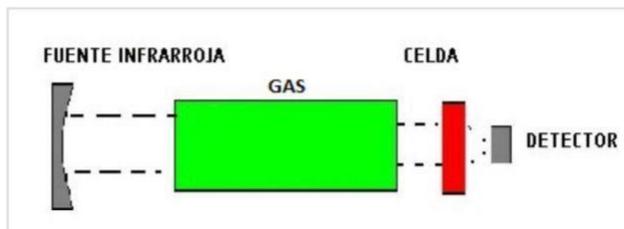


Figura 3.1: Esquema principio de funcionamiento analizador de gases

Fuente: (Augeri, 2011)

3.1.1.4. Especificaciones técnicas:

El analizador de gases debe contar al menos con analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR), para el HC, CO y CO₂ y contar con una celda electroquímica o luz ultravioleta no dispersiva para los NO_x. Adicionalmente el equipo debe ser capaz de registrar, antes de cada prueba, las condiciones ambientales de humedad relativa, temperatura y presión barométrica. (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

El analizador deberá cubrir al menos el rango de 0 ppm de NO a 5000 ppm de NO, en ppm de NO es partes por millón de óxido nítrico. La precisión del instrumento entre 0 y 4000 ppm será de al menos $\pm 4\%$ o 25 ppm de NO, lo que sea mayor. La precisión del instrumento entre 4.001 y 5.000 ppm será de al menos $\pm 8\%$. El instrumento deberá cumplir con las especificaciones de control de calidad, descritas en el ANEXO 5. (EPA, 2004)

➤ **Calibración estática:**

El dinamómetro debe requerir automáticamente una calibración estática para ello se utilizarán pesas de 68.1 kg (150 libras), auditadas cada año por un laboratorio aprobado y acreditado.

Sin un resultado satisfactorio en la calibración estática, el dinamómetro no podrá ser utilizado para verificar las emisiones en los vehículos automotores.

➤ **Calibración dinámica:**

El dinamómetro debe requerir automáticamente una calibración dinámica cada 30 días, o cuando no se apruebe la calibración estática. La cual debe realizarse conforme a las especificaciones del fabricante del dinámetro. Sin un resultado satisfactorio en la calibración dinámica el dinamómetro no podrá ser utilizado para verificar las emisiones de los vehículos automotores.

El instrumento deberá ser auditado cada seis meses por un laboratorio aprobado y acreditado conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Los valores de aprobación de la calibración estática y dinámica deben quedar registrados en la bitácora del instrumento. (EPA, 2004)

3.1.3. Equipos de seguridad:

3.1.3.1. Correas de sujeción:

En las pruebas ASM se incluyen tres tipos de retenedores de vehículos: correas de sujeción de trinquete, cuñas en las ruedas, las ruedas y las restricciones laterales.

La EPA recomienda que no se haga funcionar un vehículo sin restricciones (Correas de sujeción), en el dinamómetro de chasis, ya que habitualmente se mueven lateralmente (de lado a lado); en especial los de tracción a las ruedas delanteras, estos deben estar sujetos de manera que se evite su desplazamiento.

Sistema de Alimentación de Combustible y sus partes

Es el encargado de realizar el suministro de **combustible Gasolina/ Diésel** al motor para su funcionamiento. Se encarga de dosificar la mezcla y procurar la mayor limpieza del combustible que entra al cilindro. Existen algunas diferencias entre los motores **diesel y gasolina**, a continuación relacionamos las partes que componen el sistema de alimentación de un vehículo y su funcionamiento. Vamos a abordar el sistema de alimentación para **Gasolina y Diésel**.



Partes del sistema de alimentación de gasolina

Tanque o depósito de combustible

Es el depósito o alojamiento de combustible, tiene un tapón de drenaje, un orificio respiradero y una tapa de llenado. Un mecanismo indicador de nivel de combustible dentro del tanque y la tubería de conducción. Existen tanques metálicos, pero actualmente son plásticos, reducen el nivel de sedimentos, corrosión y peso. Aplica para gasolina y para diésel.

Grafico 49. Teoría general. Tomado de <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>

Filtro o vaso de sedimentación

El filtro de combustible, en este se depositan los residuos, las impurezas y el agua del combustible permitiendo su decantación, para evitar obstrucciones en el carburador o inyectores.

Bomba de alimentación

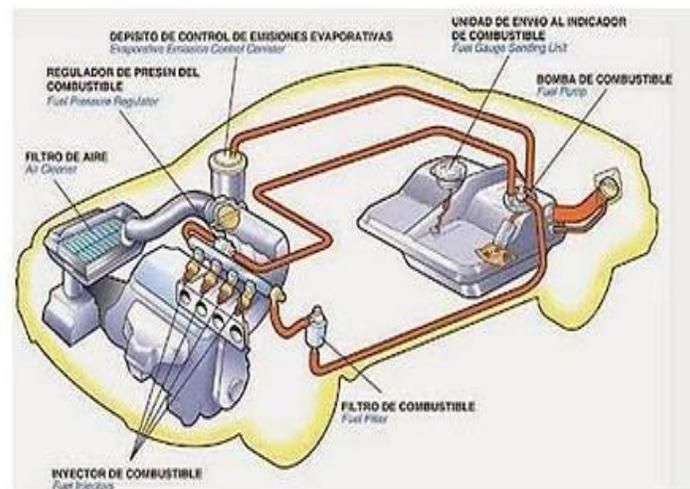
Es una bomba de aspiración que puede ser eléctrica o sumergible, controlada desde el árbol de levas del motor, encargada de sacar el combustible del tanque para enviarlo al riel de inyectores.

Carburador

Es el mecanismo encargado de mezclar la gasolina con el aire. El sistema de carburador es el sistema más antiguo de alimentación de combustible.

Inyector

Es el encargado de mezclar la gasolina con el aire y realizar la dosificación y atomización de la mezcla a todos los cilindros.



Líneas de combustible

Son las tuberías encargadas de llevar y retornar el combustible entre el tanque y el carburador o riel de inyección.

Grafico 50. Teoría general. Tomado de <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>

Partes del sistema de alimentación de Diésel

La estructura del sistema de alimentación de vehículos diésel es similar al de gasolina, se diferencia en que la bomba de inyección, las tuberías e inyectores son de alta presión. Algunos elementos adicionales como la válvula rebosadora, filtros de aire diferentes y filtros de combustible.

Bomba de inyección

Se encarga de enviar a presión el combustible de una forma sincronizada y dosificada a cada uno de los inyectores ubicados sobre cada uno de los cilindros.

Porta inyector

Este elemento se acopla al inyector, está ubicado en la culata o en el bloque, su función es la de brindarle la presión adecuada a la aguja del inyector y generar el abanico de salida, también de dar la salida al diésel que sobra.

Inyector

La función del inyector es la de atomizar el combustible, distribuyendo de forma uniforme junto al aire comprimido, o directamente sobre el cilindro. El inyector tiene unos orificios por los cuales sale el combustible y una aguja. La presión vence el resorte que posee la aguja, logrando que esta se mueva permitiendo la salida.

Líneas de combustible

Son líneas de alta presión, comunican la bomba con los inyectores, impulsando el combustible con presiones de hasta 5000 psi, la línea media que conduce de la bomba a los filtros y a la bomba de inyección, son líneas sin presión, comunican al tanque con la bomba y el retorno de los inyectores al tanque.

Grafico 51. Teoría general. Tomado de <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>

La gasolina Súper de 92 octanos dejará de venderse en Ecuador a partir de la cuarta semana de octubre.

Petroecuador informó que la gasolina **Súper Premium de 95 octanos** saldrá a la venta en Ecuador la **cuarta semana de octubre** de 2022.

La petrolera estatal preveía inicialmente que las gasolineras vendan el nuevo combustible desde el 12 de septiembre y luego aplazó la venta al 12 de octubre.

- **¿Qué hacer si no recibió su decimocuarto sueldo en 2023?**

Finalmente, esta gasolina que **reemplazará a la Súper de 92 octanos**, estará a la venta desde la última semana de octubre.

La **Súper Premium de 95** octanos tendrá un precio liberado, es decir, **sin subsidio** estatal, como ocurre con la gasolina Extra y Ecopais.

Petroecuador **recibió en septiembre de 2022** el primer cargamento de **300.000 barriles de nafta de alto octano** para esta gasolina y comenzó el cambio en sus inventarios en los terminales y refinerías.

Gráfico 52. Texto informativo. Tomado de

<https://www.primicias.ec/noticias/economia/venta-gasolina-super-premium-octubre/>

Sobre el contrato

La empresa **ganó la licitación** para la venta de la nafta de 95 octanos fue la comercializadora de Estados Unidos, **Tartan Oil LLC**, para una provisión total de **1,7 millones de barriles del derivado**.

Tartan Oil LLC deberá entregar **otros cinco cargamentos** mensuales de **nafta a Petroecuador**.

La empresa pública Flopec solicitó a la Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos (Dirnea) una **sanción para Tartan Oil LLC**.

Lo anterior, debido a que la firma estadounidense no contrató los servicios de la naviera estatal Flota Petrolera Ecuatoriana (Flopec) para transportar el producto.

Gráfico 53. Texto informativo. Tomado de

<https://www.primicias.ec/noticias/economia/venta-gasolina-super-premium-octubre/>

Enfoque y diseño de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se recogieron los datos de las emisiones de gases contaminantes producidas por los motores de 10 tipos de vehículos livianos a gasolina, utilizando instrumentos de medición y análisis para este propósito. En tal virtud, este enfoque "utiliza la recopilación de información para comprobar las hipótesis mediante el uso de estrategias estadísticas basadas en la medición numérica, lo cual permitiría al investigador proponer patrones de comportamiento y probar los diversos fundamentos teóricos que explicarían dichos patrones" (Hernández, et al., 2014).

El diseño de la investigación es experimental del tipo cuasi experimental, puesto que se trabajó con la toma de las emisiones de gases de los vehículos de la muestra seleccionada midiéndose los resultados obtenidos. Así este diseño se refiere a diseños de investigación experimentales "en los cuales los sujetos o grupos de sujetos de estudio no están asignados aleatoriamente. Los diseños cuasiexperimentales más usados siguen la misma lógica e involucran la comparación de los grupos de tratamiento y control como en las pruebas aleatorias" (Rossi & Freeman, 1993).

Gráfico 54. Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina. Tomado de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/34/50>

Se aplicó el método analítico para realizar el análisis e interpretación de los datos resultantes del diagnóstico de las emisiones de gases de los motores de vehículos livianos a gasolina.

Diseño cuasi experimental

El diseño concibió la aplicación de la Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 204: 2002 para la determinación de emisiones y gases contaminantes de los vehículos livianos a gasolina, mediante el uso del equipo compacto de análisis de emisiones para vehículos a gasolina MGT5 Marca MAHA.

Fuente móvil:

Vehículos livianos a gasolina de varios modelos y años.

Año

1990-1999, 2000 y posteriores.

Modelos: Aveo emotion, BT50 Mazda, Sail Chevrolet, Aveo Activo, Nissan Sentra SE, Kia Sportage, Chevrolet Spark, Aveo Family.

Ciclo

Tiempo necesario para que el vehículo alcance la temperatura normal de operación en condiciones de marcha mínima o ralentí. Para las

fuentes móviles equipadas con electroventilador, ciclo es el período que transcurre entre el encendido del ventilador del sistema de enfriamiento y el momento en que el ventilador se detiene.

Ciclos de prueba

Secuencia de operaciones estándar a las que es sometido un vehículo automotor o un motor, para determinar el nivel de emisiones que produce. Para los propósitos de esta norma, los ciclos que se aplican son los siguientes:

Ciclo ECE + EUDC

Ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos, que utilizan gasolina. NTE INEN 2204 2017-01 2016-849 2

Ciclo FTP-75

Ciclo de prueba dinámico establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para los vehículos livianos y medianos, que utilizan gasolina.

Dinamómetro

Aparato utilizado para medir la potencia generada por un vehículo

Gráfico 55. Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina. Tomado de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/34/50>

automotor o motor solo, a través de aplicaciones de velocidad y torque.

Emisión de escape

Descarga al aire de una o más sustancias en estado sólido, líquido, gaseoso o de alguna combinación de estos, proveniente del sistema de escape de una fuente móvil.

Marcha mínima o ralenti

Especificación de velocidad del motor establecida por el fabricante o ensamblador del vehículo, requerida para mantenerlo funcionando sin carga y en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas). Cuando no se disponga de la especificación del fabricante o ensamblador del vehículo, la condición de marcha mínima o ralenti se establecerá en un máximo de 1100 r.p.m.

Motor

Fuente principal de poder de un vehículo automotor que convierte la energía de un combustible líquido o gaseoso en energía cinética.

Peso bruto vehicular (PBV)

Peso total del vehículo, definido como la suma total del peso en vacío (tara) más la carga técnicamente

admisible declarada por el fabricante.

Peso de vehículo en vacío (tara)

Valor nominal del peso del vehículo, según lo indicado por el fabricante, incluyendo todo el equipo estándar que requiere para su funcionamiento normal (por ejemplo, extintor de fuego, herramientas, rueda de emergencia, etc.), además de refrigerante, aceites, el tanque de combustible con su capacidad a la mitad.

Peso de referencia (PR)

Peso del vehículo en marcha aumentado con un peso fijo de 120 kg. El peso del vehículo en marcha será el correspondiente al peso total en vacío con todos los depósitos llenos, salvo el del combustible, que estará solo a la mitad de su capacidad, un juego de herramientas y la rueda de repuesto.

Prueba dinámica

Medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando los ciclos de prueba descritos en esta norma. NTE INEN 2204 2017-01 2016-849 3.

Gráfico 56. Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina. Tomado de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/34/50>

Temperatura normal de operación

Temperatura que alcanza el motor después de operar un mínimo de 10 minutos en marcha mínima (ralentí), o cuando en estas mismas condiciones, la temperatura del aceite en el cárter del motor alcance 75 °C o más. En las fuentes móviles equipadas con electroventilador, esta condición es confirmada después de operar un ciclo.

Vehículo automotor

Vehículo de transporte terrestre, de carga o de pasajeros, que se utiliza en la vía pública, propulsado por su propia fuente motriz.

Ámbito de aplicación:

Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de

emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina

Límites máximos:

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).

Condición 1:

Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla (2) siguiente.

Tabla 2. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Año modelo	% CO*		Ppm HC*	
	0-1 500**	1 500-3 000**	0-1 500**	1 500-3 00**
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

* Volumen
 ** Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

Fuente: Tomado de INEN (2013)

Condición 2:

Toda fuente móvil con motor de gasolina en su marcha dinámica, no debe emitir al aire monóxido de

carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las

Gráfico 57. Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina. Tomado de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/34/50>

señaladas en la tabla (3) a continuación.

Tabla 3. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina (prueba dinámica)

	Clase	Peso de referencia (PR) kg	CO g/km	HC g/km	HC + NOx g/km	NOx	Ciclo de prueba
M ^a	-	Todas	2,3	0,2	-	0,15	ECE + EUDC (también conocido como MVEG-A)
N1 ^b	I	PR ≤ 1 305	2,3	0,2	-	0,15	
	II	1 350 < PR ≤ 1 760	4,17	0,25	-	0,18	
	III	1 760 < PR	5,22	0,29	-	0,21	

^a Salvo los vehículos cuyo peso máximo sobrepase 2500 kg
^b Y los vehículos de la categoría M que sobrepasen 2500 kg

Fuente: Tomado de INEN (2013)

Gráfico 58. Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina. Tomado de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/34/50>

Fundamento teórico

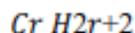
Combustibles

La gasolina es un producto obtenido en la destilación fraccionada del petróleo crudo, esto significa que depende del crudo que se destile es una fracción única o una mezcla de diversas fracciones, está formada de una mezcla de hidrocarburos de peso molecular no muy elevado debe ser volátil, par que queme fácilmente y para mejorar el arranque en frio, pero no tanto como

Gráfico 59. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

para formar demasiado vapor con el tiempo caluroso. (CCT. (2011). Introducción A La Refinación Del Petróleo Y Producción De Gasolina Y Diésel Con Contenido Ultra Bajo De Azufre. Marzo 2017, de π Math Pro Sitio web: https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf)

Las gasolinas empleadas en motores de combustión interna satisfacen diversos requerimientos tanto en su etapa de producción como es su posterior rendimiento vehicular, su composición química está formada por moléculas de carbono e hidrogeno normalmente tiene entre 7 y 11 átomos de carbono unidos a átomos de hidrogeno. En el petróleo los átomos de carbono se encuentran unidos por cadenas de diferentes longitudes por lo que las moléculas con distintas longitudes presentan propiedades y comportamientos diversos (Rodger W., Griffin Jr. (1981). Química orgánica moderna. Barcelona - España: REVERTÉ.) La gasolina está formada por hidrocarburos que pertenecen a la familia de los alcanos cuya configuración química es:



De este arreglo obtiene la siguiente lista de hidrocarburos, Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno.

- | | | | |
|----|-------|--------------|----------------|
| 1. | $n=1$ | $C_1 H_4$ | <i>Metano</i> |
| 2. | $n=2$ | $C_2 H_6$ | <i>Etano</i> |
| 3. | $n=3$ | $C_3 H_8$ | <i>Propano</i> |
| 4. | $n=4$ | $C_4 H_{10}$ | <i>Butano</i> |
| 5. | $n=5$ | $C_5 H_{12}$ | <i>Pentano</i> |
| 6. | $n=6$ | $C_6 H_{14}$ | <i>Exano</i> |
| 7. | $n=7$ | $C_7 H_{16}$ | <i>Heptano</i> |
| 8. | $n=8$ | $C_8 H_{18}$ | <i>Octano</i> |

Las primeras cuatro cadenas de alcanos (metano, etano, propano y butano) son gases, a partir de estas y hasta llegar al C18 son líquidos a temperatura ambiente y las cadenas después del C19 son sólidos a temperatura ambiente (Chow Susana. (1987). Petroquímica y Sociedad. México: 1987.) Las series de operaciones efectuadas en una refinería se producen muchos destilados crudos que son tratados químicamente antes de enviarse a los tanques finales de mezclado (Parra Enrique. (2003). Petróleo y gas natural. Madrid - España: AKAL S.A...)

Propiedades físico – químicas

En términos generales, las características que definen el comportamiento de un combustible en el motor, son el poder antidetonante y la volatilidad, los otros requerimientos limitan la presencia de componentes indeseables a concentraciones tan bajas, de tal manera que no tengan un efecto adverso en el funcionamiento de la máquina.

Gráfico 60. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

Octanaje

El octanaje en la gasolina es la medida de su calidad antidetonante, es decir la habilidad que tiene para quemarse sin causar detonación en los motores de combustión interna. Para medir esta propiedad existen tres métodos: Numero de octano (M.O.N), Numero de octano Investigado (R.O.N) y Numero de octano en marcha. (Scott Fogler. (2001). Elementos de ingeniería de las reacciones químicas. España: PEARSON.)

El M.O.N es tomado como una indicación, la habilidad del combustible para evitar la detonación de motores en altas velocidades. El R.O.N mide la tendencia de detonación a bajas velocidades, mientras que el Número de octano en marcha es el que realmente muestra cómo se comporta el combustible en el motor del automóvil.

Detonación

Normalmente la chispa salta en la bujía cuando el pistón está cerca del P.M.S inflama la mezcla y los gases se propagan en todas direcciones principalmente hacia los extremos de la cámara de compresión, teniendo como punto de partida el de la inflamación inicial, así que la fuerza explosiva se aplica de modo rápido pero progresivo al pistón que a su vez se mueve hacia el P.M.I.

Combustible Ecopais

El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), en el marco del Cambio de la Matriz Productiva, fomenta la producción de la gasolina ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95% de gasolina base. (Castillo P, Caballero P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diésel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, XIII, 14. 2017, De SCIELO Base de datos.)

ECOPAÍS posee el mismo octanaje (87 octanos) y precio de la gasolina Extra. Este proyecto empezó, como fase piloto, el 12 de enero de 2010 en Guayaquil. Para la producción de gasolina Extra con 87 octanos se requiere mezclar un 76% de nafta de alto octano (NAO), las cuales se importan, con 24% de naftas de bajo octano (NBO); mientras que para la producción de ECOPAÍS, con la misma cantidad de octanos, se requiere 62% de NAO, 33% de NBO y un 5% de bioetanol (Castillo P, Caballero P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diésel mexicanos reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, XIII, 14. 2017, De SCIELO Base de datos.)

Gracias al alto octanaje de bioetanol, al incorporarlo en la producción de ECOPAÍS, genera una reducción de la producción de NAO en un 14%, lo que implica menos importaciones de este derivado y un efecto positivo en la balanza comercial nacional. En 2010 su habitual enlace sabatino el mandatario oficializó el decreto del ingreso de un nuevo tipo de combustible. Se trata de la denominada Ecopais que tiene como objetivo principal reducir las emisiones de carbono al ambiente.

Gráfico 61. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

A diferencia de la gasolina Extra corriente, Ecopais integra un 5% de etanol, una variante de combustible de origen orgánico que proviene del maíz y la caña de azúcar. En el caso de nuestro país se usa caña de azúcar. Desde el 2010 este tipo de combustible ya se comercializa en algunos sectores del litoral ecuatoriano, ahora el reto es que hasta el 2017 Ecopais remplace en su totalidad el uso de Extra.

Para este propósito se ha establecido que necesitan un promedio de 30.000 hectáreas de suelo para el cultivo de caña, que a su vez generará nuevas fuentes de ingreso y alrededor de 9.000 puestos de trabajo teniendo como estandarte que este será un carburante 100% ecuatoriano.

Correa afirmó que la gasolina de etanol cumple con los mismos estándares de la Extra, en cuanto a potencia y precio, pero dijo que brinda otros beneficios como una mayor protección a los motores. Además, se ahorrarían cerca de 280 millones de dólares por concepto de subsidio al combustible en los siguientes 5 años. Se espera que una vez que se generalice el consumo de Ecopais las emisiones de carbono al ambiente disminuirán considerablemente equivalentes a 80.000 vehículos. (García Christian. (2015). Gasolina Eco-país reemplazará a Extra hasta el 2017. ACELERANDO, 39, 46.)

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), conducir un automóvil es la actividad individual más contaminante que la mayoría de la gente realiza. (EPA. (1996). Manual de Participación: Publica de la RCRA (RCRA Public Participation Manual). Marzo 2017, de EPA Sitio web <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=1000Y1Z.txt>). Los vehículos a motor liberan millones de toneladas de contaminantes a la atmósfera cada año. En muchas zonas urbanas, los vehículos son los principales responsables de la presencia de ozono a nivel del suelo. Éste es uno de los componentes principales del smog y constituye el problema más grave en términos de polución del aire en los estados del noreste y los de la zona media de la Costa Este del país. Además, los automóviles emiten diversos contaminantes clasificados como tóxicos, los cuales son causantes de nada menos que 1.500 casos de cáncer en el país al año. Las emanaciones de los automóviles también son causantes de problemas medioambientales, tales como la lluvia ácida y el calentamiento global del planeta.

Las medidas para el control de la contaminación han permitido reducir drásticamente el nivel de emisiones por vehículo en los últimos veinte años. Sin embargo, durante dicho período el total de millas recorridas se ha duplicado, lo que ha dado lugar a un incremento del nivel de contaminantes del aire en muchos lugares del país.

Contaminación

Los vehículos emiten tres contaminantes principales: hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Los hidrocarburos reaccionan con los óxidos de nitrógeno por acción de la luz solar y a temperaturas elevadas, formando ozono a nivel del suelo, el cual puede causar irritación de los ojos, tos, jadeo, insuficiencia respiratoria y trastornos pulmonares permanentes.

Los óxidos de nitrógeno (NOX) contribuyen a la formación de ozono y de lluvia ácida, además de afectar la calidad del agua. El monóxido de carbono es un gas incoloro letal que

Gráfico 62. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo y puede afectar las funciones cerebrales y la visión.

En las zonas urbanas, los vehículos son responsables de nada menos que el 90 por ciento del monóxido de carbono del aire. Los vehículos a motor también emiten grandes cantidades de dióxido de carbono, el cual atrapa la radiación solar reflejada por la superficie terrestre, causando así el calentamiento global.

Los automóviles despiden contaminantes por el tubo de escape como consecuencia de la combustión de la gasolina y a través del capó y del sistema de combustible cuando el calor provoca la evaporación del mismo. La emisión por evaporación tiene lugar diferentes situaciones, como cuando la temperatura exterior en días cálidos y soleados provoca la evaporación de combustible; o cuando el calor del motor y del sistema de escape provoca un aumento de la temperatura del combustible; también si el auto tiene el motor apagado y permanece lo suficientemente caliente como para que el combustible se evapore, es importante saber que al cargar combustible, los vapores de la gasolina escapan del tanque a través del pico, lo que es recomendable cargar de combustible en las primeras horas de la mañana.

La mayor cantidad de contaminantes es emitida durante el "arranque en frío" o durante los minutos que tarda el automóvil en calentarse. (Suarez Víctor. (2007). Salud Ambiental De Los Estados Unidos. Santo Domingo). Dado que un auto se calienta más rápidamente cuando está circulando, se aconseja limitar el tiempo de calentamiento del motor. El aprovechar un mismo viaje para realizar más de una actividad contribuye a disminuir el nivel de emisiones, ya que reduce la cantidad de arranques en frío.

La oferta de vehículos de bajo nivel de emisiones, también llamados "autos californianos", irá en aumento durante los próximos años. (Suarez Víctor. (2007). Salud Ambiental De Los Estados Unidos. Santo Domingo). La diferencia entre estos vehículos y los tradicionales radica en que los primeros poseen un sistema adicional de control de emisiones.

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por Nitrógeno, Oxígeno, Dióxido de Carbono, vapor de agua e Hidrógeno. Los segundos contaminantes están formados, fundamentalmente, por el Monóxido de Carbono, Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno y Plomo.

Gases inofensivos

El Nitrógeno es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el Nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de Óxidos de Nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente. El Oxígeno es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%. (Martinez Fernado. (2014). Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias. Mayo 2917, de AS Catalizadores Sitio web: https://www.as-sl.com/pdf/tipos_gases.pdf)

Gráfico 63. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el Oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de Hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape. El vapor de agua se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del Hidrógeno, y se libera junto con los gases de escape.

El Dióxido de Carbono producido por la combustión completa del Carbono no resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis. Se produce como consecuencia lógica de la combustión, es decir, cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de Dióxido de Carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala, llamado efecto invernadero.

Materiales y métodos

La metodología que se va a utilizar para esta investigación es sacar conclusiones mediante los experimentos, para que, de toda la información recolectada, salgan parámetros y datos reales de las consecuencias o beneficios que se pueden dar al usar gasolina extra con o sin aditivo.

Lugar

Según las condiciones geográficas el proyecto se realizó a 2800msnm, utilizando los equipos y el laboratorio a esa altura de trabajo. Las pruebas se darán en Quito a la altura antes mencionada, viendo cómo afecta a la emisión de gases factores como la altura, densidad del aire, etc.

Vehículo

El vehículo que se va a usar es un Grand Vitara SZ de la línea SUV, cuyo tipo es de los más vendidos en el Ecuador, las marcas Chevrolet y kia son las marcas más cotizadas en el mercado ecuatoriano.

La idea es escoger Chevrolet porque tiene productos globales con diseño y tecnología con altos estándares y un elevado índice de clientes satisfechos. Por lo cual la marca Chevrolet se ha destacado por ser una de las marcas más vendidas en el mercado. Chevrolet es la marca más fuerte en Ecuador y en la región con importantes ventajas competitivas.



Figura 3. Ventas de vehículos Chevrolet en el Ecuador en los años 2007-2016
Fuente: El Telégrafo

Gráfico 64. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

Combustible

El combustible por utilizar serán los distribuidos a nivel nacional, como es la gasolina extra, la gasolina súper y el eco-país. En noviembre de 2011 llegaron al Ecuador las primeras importaciones de gasolina con 95 octanos, según Petroecuador. En las refinerías del país esta nueva gasolina fue mezclada y procesada con la que se tenía anteriormente. Por ello, el índice de octanaje mejoró en las gasolinas extra (de 81 a 87 octanos) y súper (de 90 a 92 octanos).

El octanaje determina la calidad y la capacidad de consumo en la gasolina. Una gasolina con mayor grado de octanos mejora la potencia y el rendimiento del motor, además disminuye el consumo de combustible. Por lo tanto, las gasolinas a usarse serán la extra y la súper porque resultan ser las más óptimas en el país.

Equipo

Cuando un analizador de gases, se usa en combinación con otros equipos de diagnóstico, se convierte en una de las más importantes herramientas para diagnosticar adecuadamente problemas relacionados con el funcionamiento del motor en general. Un analizador de cuatro gases, está equipado con una bomba de vacío, que arrastra los gases de escape a través de una manguera de muestra insertada en el tubo de escape del automóvil y de ahí al analizador de gases, donde una muestra de gas de escape pasa al interior del analizador; una emisión de luz infrarroja es proyectada a través de la muestra de gas de escape.



Figura 4. Analizador de gases

Normativa

Las normativas 2-203 y 2204 establecen referencias para el control de la emisión de gases. Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralenti". La norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina. Por otro lado, lo fundamental de estas normativas es que permiten regular y controlar a un nivel óptimo la contaminación emitidas por los vehículos.

Gráfico 65. Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. Tomado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/635-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1789-3-10-20190529.pdf

El problema de la contaminación nos afecta a todos y los vehículos son una de sus principales causas, especialmente en las grandes ciudades donde hay mayor congestión. Entre los gases más contaminantes que salen por el tubo de escape encontramos los NOx y el CO2, así que vamos a ver qué son y cómo evitarlos en la compra de un coche nuevo.

Los coches son uno de los principales agentes contaminantes para el medio ambiente, sobre todo en los grandes núcleos urbanos, donde los atascos kilométricos, los coches parados con el motor arrancado, los acelerones a destiempo y los problemas de movilidad son el pan de cada día.

La mayoría de los vehículos **emite gases contaminantes por el tubo de escape**, lo que daña la calidad del aire y, por consiguiente, nuestra salud. Hemos de ser conscientes de que la contaminación del aire es un mal que nos afecta a todos, así que hoy vamos a centrarnos en explicar a qué se debe la contaminación de los coches, cuáles son los gases más contaminantes y **cómo podemos reducirlos con un coche híbrido**.

¿Qué son las emisiones de NOx?

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de compuestos químicos. Por separado, el oxígeno y el nitrógeno que los forman son gases inocuos que están presentes en el aire que respiramos, pero cuando se combinan surgen **varios compuestos muy perjudiciales para la salud**.

En los motores de combustión interna, la mayoría de los NOx que se producen son dióxidos de nitrógeno (NO₂), **un gas especialmente peligroso para la salud** que puede producirnos una disminución de la capacidad pulmonar, bronquitis aguda, asma, alergias o irritación ocular y de las mucosas.

Gráfico 66. Teoría general. Tomado de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/contaminacion-diesel/que-es-nox-como-afecta-reducirlo-toyota>

¿A qué se deben las emisiones de NOx?

Los óxidos de nitrógeno son el resultado de **una combustión a alta temperatura en una atmósfera rica en oxígeno**. Los motores diésel son los que más NOx y subproductos generan en la combustión y por tanto son los coches más contaminantes en lo que se refiere a la salud para las personas. Algunos motores de gasolina modernos también se han convertido en máquinas de producir moléculas dañinas al tratar de aumentar el rendimiento y reducir el consumo.

En la búsqueda por reducir los consumos y las emisiones de CO y CO₂, algunos motores de gasolina han acabado asemejándose en funcionamiento a los diésel, de ahí que los motores de combustión interna se encuentren actualmente en el punto de mira de la normativa europea de emisiones EURO 6 y sean objeto de **restricciones y prohibiciones** en el centro de las grandes ciudades.

Para que tengas una referencia, la actual normativa EURO 6 establece unas emisiones de 80 mg/km de NOx para los vehículos diésel y 60 mg/km de NOx para los motores de gasolina. En otras palabras, **un motor diésel emite un 34% más de óxidos de nitrógeno que uno de gasolina**.

¿Cómo reducir las emisiones de NOx?

En sus esfuerzos por reducir las emisiones, los fabricantes de automóviles han ido incorporando en sus mecánicas algunas medidas técnicas como la válvula EGR, los catalizadores, los filtros de partículas o los aditivos como el AdBlue, lo que ha llevado a un encarecimiento de las mecánicas, especialmente en el caso de los coches diésel.

Sin embargo, con todo y con eso, **el etiquetado medioambiental de la DGT** sigue penalizando a este tipo de mecánicas que poco a poco irán desapareciendo obligatoriamente en Europa, lo que nos lleva a pensar **¿No será mejor optar directamente por tecnologías más limpias?**

Gráfico 67. Teoría general. Tomado de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/contaminacion-diesel/que-es-nox-como-afecta-reducirlo-toyota>

Esa idea es la que se lleva gestando en nuestra marca desde hace más de 20 años. Los coches híbridos de Toyota apuestan por el cambio y cuidan el medio ambiente combinando un potente motor eléctrico con un eficiente motor de gasolina, lo que también representa un claro ejemplo de **cómo reducir las emisiones de CO2 de tu coche.**

Piensa que hablamos de un motor gasolina que genera mucho menos CO2 que sus competidores porque, en aquellos momentos de mayor esfuerzo, el apoyo del bloque eléctrico disminuye los consumos del coche de forma considerable, de forma que **también se reducen las emisiones de CO2.**

No solo eso, sino que además con tu coche híbrido eléctrico de Toyota podrás circular en tramos cortos por ciudad en modo 100% eléctrico, lo que implica cero emisiones contaminantes a la atmósfera.

Ahora que sabemos a qué se debe la contaminación de los coches y, en vistas del futuro tan incierto que les espera a los vehículos de combustión interna en el centro de las grandes ciudades europeas, parece ser que comprar un coche híbrido de Toyota es la mejor opción para la vida en entornos urbanos.

Gráfico 68. Teoría general. Tomado de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/contaminacion-diesel/que-es-nox-como-afecta-reducirlo-toyota>

Desde enero del 2017, las normas de emisiones EURO 3 entraron en vigor en el Ecuador con el fin de reducir la cantidad de impacto ambiental que producen los vehículos a gasolina y diésel. Es por ello que, si estás considerando adquirir un bus nuevo, el motor debe respetar dichos estándares.

¿Qué son las normas de emisiones Euro?

Dado que la preocupación sobre cuidar el medio ambiente creció en torno a los óxidos de nitrógeno (NOx) y a los materiales particulados (PM) producidos por los automóviles y camiones, se pudo demostrar que estos contaminantes eran significativamente perjudiciales para la salud de las personas y los seres vivos.

Por estas razones, en 1994, la Unión Europea (UE) decidió introducir un conjunto de estándares conocido como las Normas Euro. En la actualidad, el EURO 6 es el estándar más reciente y fue introducido el 1 de septiembre de 2015.

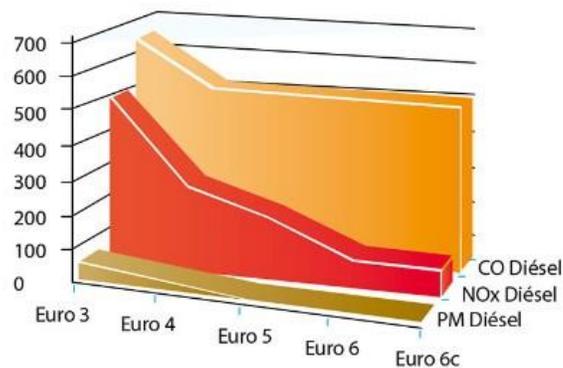
Gráfico 69. Normas de emisiones Euro. Tomado de <https://transporte.doblevia.org/normas-de-emisiones-euro/>

Normas EURO 1 (EC93)

La introducción de la norma Euro 1 en 1992 requirió el cambio a gasolina sin plomo y la instalación universal de convertidores catalíticos en vehículos a gasolina para así reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO).

Normas EURO 2 (EC96)

En 1997, la norma Euro 2 no solo redujo aún más el límite de emisiones de monóxido de carbono, también lo hizo para el combinado de hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno tanto para vehículos de gasolina como de diésel.



Normas EURO 3 (EC2000)

Con la llegada del EURO 3 en enero del 2000, se modificó el procedimiento de prueba para eliminar el período de calentamiento del motor y se redujo aún más los límites permitidos de monóxido de carbono y partículas de diésel.

Las normas EURO 3 también agregaron límites para los NOx en motores diésel y los hidrocarburos no quemados (HC) y NOx para motores de gasolina.

Normas EURO 4 (EC2005)

Los estándares EURO 4 del 2005 se concentraron en la limpieza de las emisiones de los automóviles diésel y, en especial, en la reducción de PM y NOx. Gracias a estas normas, muchos vehículos comenzaron a equiparse con filtros de partículas.

Gráfico 70. Normas de emisiones Euro. Tomado de <https://transporte.doblevia.org/normas-de-emisiones-euro/>

Normas EURO 5

En cuanto a las normas EURO 5, se aplican a todos los vehículos de motor que tienen una "masa máxima en carga técnicamente admisible" superior a 3 500 kg.

Vale mencionar que dichas unidades deben estar equipadas con motores de encendido por compresión o por chispa, de gas natural (GN) o GLP (gas licuado de petróleo). Por otra parte, las normas de emisiones Euro 5 fueron mucho más estrictas que sus predecesores.

Según esta norma, los límites para las emisiones de partículas de motores diésel se redujeron, provocando que todos los automóviles diésel necesiten filtros para cumplir con los nuevos requisitos.

También hubo una disminución de los límites de NOx (reducción del 28% en comparación con el Euro 4), así como, por primera vez, se aplicó un límite de partículas para motores de gasolina con inyección directa.

Normas EURO 6



Para 2015, la normas EURO 6 impone una reducción significativa adicional en las emisiones de NOx de los motores diésel (una disminución del 67% en comparación con el Euro 5) y establece estándares similares para la gasolina y el diésel.

La recirculación de gases de escape (conocida también como EGR por sus siglas en inglés), que reemplaza parte del aire de admisión (que contiene 80% de nitrógeno) con gas de escape reciclado, reduce la cantidad de nitrógeno durante la combustión.

Sin embargo, es necesario que exista un sistema de escape adicional a los filtros de partículas que se requieren para cumplir con el Euro 5.

Gráfico 71. Normas de emisiones Euro. Tomado de <https://transporte.doblevia.org/normas-de-emisiones-euro/>

¿Cuáles son los beneficios de las normas de emisiones EURO?



Además de reducir las emisiones nocivas, estos estándares poseen muchos otros beneficios. En primer lugar, alientan a los fabricantes de vehículos a crear nuevas tecnologías que ayuden a **reducir significativamente la contaminación del aire**.

De esta manera, se podrá **disminuir los efectos del calentamiento global**. Por ejemplo, en las ciudades más grandes y congestionadas, las normas EURO están apoyando a establecer zonas de aire limpio para el 2020: muchos gobiernos desean mejorar la calidad del ambiente en sus países.

Asimismo, gracias a que muchos vehículos ya cumplen con las normas Euro 5 o 6, **se ha mejorado la eficiencia del combustible** como resultado directo del desarrollo de un sistema de purificación de escape o reducción catalítica selectiva. Este sistema está diseñado para funcionar junto con la solución de alta calidad AdBlue Urea.

Ahora que sabes qué tan importantes son las normas de emisiones EURO, esperamos que adquieras vehículos que las respeten. De esta manera, todos podremos cuidar y proteger nuestros ecosistemas.

Gráfico 72. Normas de emisiones Euro. Tomado de <https://transporte.doblevia.org/normas-de-emisiones-euro/>

(Clean Air Technology Center, 2012)

Óxidos de Nitrógeno (NO_x), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan?

*"Cuando tratamos de observar sólo una cosa en la Naturaleza,
nos damos cuenta que está conectada a todo lo demás."*

John Muir

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son una familia muy interesante e importante de compuestos químicos que contaminan el aire. Este boletín explica por qué los NO_x son importantes contaminantes del aire y cómo los NO_x se forman y reaccionan en la atmósfera. Este boletín también discute los principios en que están basadas todas las tecnologías de control y prevención de la contaminación por NO_x; las tecnologías de control de NO_x disponibles para varias fuentes de combustión; y el rendimiento y costo de las tecnologías de control de NO_x.

¿POR QUÉ DEBEMOS CONTROLAR LOS NO_x?

Los NO_x representan a una familia de siete compuestos. En realidad, la *EPA* regula sólo el bióxido de nitrógeno (NO₂) como un suplente para esta familia de compuestos porque es la forma más predominante de NO_x en la atmósfera que es generada por actividades antropogénicas (humanas). El NO₂ no es sólo un contaminante importante del aire por sí sólo, sino que también reacciona en la atmósfera para formar ozono (O₃) y lluvia ácida. Es importante notar que el ozono que deseamos minimizar es el ozono troposférico; esto es, el ozono en el aire ambiental que respiramos. No estamos hablando acerca del ozono en la atmósfera superior que no podemos respirar. El ozono estratosférico nos protege y protege a la tropósfera de la radiación ionizadora proveniente del sol.

La *EPA* ha establecido las *National Ambient Air Quality Standards - NAAQS* (Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental), para el NO₂ y el ozono troposférico. Las *NAAQS* definen los niveles de calidad del aire que son necesarios, con un margen razonable de seguridad, para proteger la salud pública (norma primaria) y el bienestar público (norma secundaria) de cualquier efecto adverso conocido o anticipado de la contaminación. La norma primaria y secundaria para el NO₂ es de 0.053 partes por millón (ppm) (100 microgramos por metro cúbico) de concentración anual aritmética promedio.

El ozono troposférico ha sido y sigue siendo un problema significativo de contaminación del aire en los Estados Unidos y es el principal constituyente del *smog* (la niebla visible que es el resultado de polución aérea contiene oxidantes fotoquímicos). Grandes porciones del país no cumplen con las normas *NAAQS* para el ozono y por lo tanto exponen a grandes segmentos de la población a niveles poco saludables de ozono en el aire. El NO₂ reacciona en la presencia del aire y la luz ultravioleta (UV) bajo la luz del sol para formar ozono y óxido nítrico (NO). A su vez, el NO reacciona con radicales libres en la atmósfera, que también son creados por la acción de la luz UV sobre compuestos orgánicos volátiles (COV). A su vez, los radicales libres reciclan NO a NO₂. De esta manera, cada molécula de NO puede producir ozono un múltiplo de veces.⁴⁰ Esto continuará hasta que los COV sean reducidos a compuestos de cadenas cortas de carbón que

dejan de ser fotoreactivos (una reacción causada por la luz). Una molécula de COV puede por lo general realizar esto unas 5 veces.

Además del interés por las NAAQS para el NO_2 y el ozono, los NO_x y los óxidos de azufre (SO_x) en la atmósfera son capturados por la humedad para formar lluvia ácida. La lluvia ácida, junto con la deposición seca y de nubes, afecta severamente ciertos ecosistemas y afecta directamente a algunos sectores de nuestra economía. Todos estos factores indican una necesidad obvia de reducir las emisiones de NO_x . Sin embargo, para realizarlo con éxito, debemos entender la generación y el control de la "familia NO_x " de contaminantes del aire.

¿QUÉ ES UN ÓXIDO DE NITRÓGENO?

El nitrógeno molecular diatómico (N_2) es un gas relativamente inerte que compone alrededor del 80% del aire que respiramos. Sin embargo, el elemento químico nitrógeno (N), en forma monoatómica, puede ser reactivo y poseer niveles de ionización (llamados estados de valencia) desde más uno a más cinco. Por esto el nitrógeno puede formar varios óxidos diferentes. Usando el modelo Niels Bohr del átomo, el estado de valencia se relaciona al número de electrones que están deficientes (valencia positiva) o en exceso (valencia negativa) en el ion en comparación con la molécula neutral. La familia de compuestos NO_x y sus propiedades se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Fórmula	Nombre	Valencia del Nitrógeno	Propiedades
N_2O	óxido nitroso	1	gas incoloro soluble en agua
NO N_2O_2	óxido nítrico bióxido de dinitrógeno	2	gas incoloro ligeramente soluble en agua
N_2O_3	trióxido de dinitrógeno	3	sólido negro, soluble en agua, se descompone en agua
NO_2 N_2O_4	bióxido de nitrógeno tetraóxido de dinitrógeno	4	gas café rojizo, muy soluble en agua, se descompone en agua
N_2O_5	pentóxido de dinitrógeno	5	sólido blanco, muy soluble en agua, se descompone en agua

Los iones oxígeno se encuentran siempre con una valencia de menos 2. Dependiendo del número de iones de oxígeno (siempre balanceados por el estado de valencia del nitrógeno), los NO_x pueden reaccionar ya sea para agotar o para incrementar las concentraciones de ozono. El ion nitrógeno en estos óxidos en realidad efectúa una danza en la que tiene (en ocasiones diversas) varios números de iones de oxígeno como compañeros. El nitrógeno cambia su

superficie de la tierra y permiten que los efectos atmosféricos se muevan viento abajo por varios cientos de millas. Esto fue asentado en reportes de la *EPA* hace más de veinte años. Estos reportes encontraron que cada ciudad principal en la costa occidental de los Estados Unidos cuenta con una pluma de ozono que se extiende más de cien millas mar adentro antes de que las concentraciones disminuyan a 100 partes por mil millón (*ppb*). Otro reporte cita el mismo fenómeno para la ciudad de St. Louis. Por lo tanto, este problema no existía únicamente en la costa occidental. Puesto que el ozono en el aire limpio tiene un periodo de vida de sólo unas pocas horas, este fenómeno es una medida del efecto y la persistencia de tanto los COV como los NO_x .

Las diferencias en las predicciones de las distancias entre la emisión de NO_x y la generación de ozono pueden relacionarse con las diferencias en las velocidades (del viento) de transporte de la pluma tanto como otros factores meteorológicos y de calidad del aire. Es importante notar que, bajo las condiciones adecuadas, las plumas de las termoeléctricas pueden recorrer distancias relativamente largas durante la noche con poca pérdida de COV, NO y NO_2 . Estos contaminantes pueden de este modo estar disponibles y participar en reacciones fotoquímicas en ubicaciones distantes al día siguiente.⁴¹ La figura 1 muestra un mapa de la concentración de NO_x dibujado por el *Center for Air Pollution Impact and Trend Analysis - CAPITA* (Centro de Impacto y Análisis de Tendencias de la Contaminación del Aire), en la Universidad de Washington en St. Louis y reportado al *Ozone Transport Assessment Group - OTAG* (Grupo de Evaluación del Transporte de Ozono), un grupo nacional de trabajo que trató el problema del ozono al nivel del suelo (*smog*) y el transporte a largo plazo de la contaminación del aire a través de la parte occidental de los Estados Unidos.

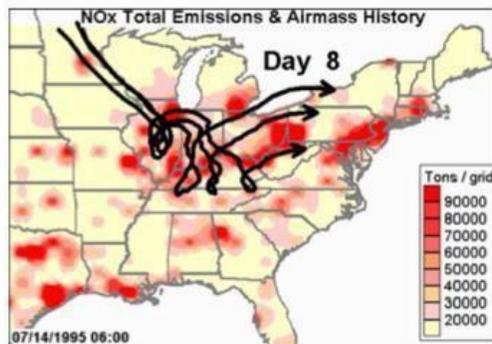


Figura 1 Mapa de los NO_x

¿CUALES PRINCIPIOS DE REDUCCIÓN Y CONTROL SON APLICABLES?

La tecnología de reducción y control de NO_x es un asunto relativamente complejo. Trataremos de proporcionar una estructura al espectro de las tecnologías de prevención de la contaminación y de control de los NO_x presentando primeramente los principios que son utilizados. Después describiremos las tecnologías y estrategias más importantes para la prevención de la contaminación y el control de las emisiones.

Por favor nótese que la reducción y control de los NO_x provenientes de la manufactura de ácido nítrico y de los baños de curtido difieren de la reducción y el control en las fuentes de combustión. Todas las fuentes de combustión tienen NO_x en un gran flujo del gas de chimenea, mientras que las plantas manufactureras de ácido nítrico y los baños de curtido tratan de contener los NO_x . Los absorbedores en húmedo pueden controlar las emisiones de NO_x provenientes de plantas ácidas y del curtido, y pueden utilizar ya sea los alcalies en agua, el agua sola, o el peróxido de hidrógeno como el líquido que captura a los NO_x .³ El absorbedor en húmedo opera por medio de líquido fluyendo hacia abajo por gravedad a través de un medio de empaque, opuesto por un flujo de gas hacia arriba. Los absorbedores operan por medio del intercambio de sustancias entre gas y líquido. Esto requiere que la altura del absorbedor, el tipo de empaque, el flujo líquido, las propiedades del líquido, las propiedades del gas, y el flujo de gas deban causar colectivamente que un absorbedor tenga la eficiencia de control deseada. El capítulo 9 del *OAQPS Control Cost Manual* (Manual de Costo del Control de la *OAQPS*), proporciona una guía sobre la aplicación, medidas, y costo de estos absorbedores (llamados absorbedores de gas). Además, la Tabla 16 en este boletín presenta alguna información sobre las fuentes de NO_x que no provienen de la combustión. Aparte de eso, las fuentes de NO_x que no provienen de la combustión no son tratadas en este boletín.

Para las fuentes de combustión, este boletín define los principios de reducción y control de emisiones y establece la *Destruction and Removal Efficiency - DRE* (Eficiencia de Destrucción y Remoción), que cada tecnología es capaz de alcanzar. La efectividad de las medidas de prevención de la contaminación en reducir el NO y NO_2 también es expresada en función de la DRE relativa; esto es, la cantidad de NO_x que es reducida por utilizar una tecnología de prevención en comparación con la generación de NO_x al no utilizar esa tecnología. Enseguida se discuten los tipos específicos de calderas y sistemas de combustión y tecnologías de NO_x aplicables para cada sistema. Finalmente, el costo de estas tecnologías es considerado.

Muchos sistemas de combustión nuevos incorporan métodos de prevención de NO_x dentro de su diseño y generan mucho menos NO_x que los sistemas más antiguos. Como resultado, considerar la *DRE* (aún una *DRE* relativa) para los NO_x puede resultar inapropiado. La comparación de las emisiones estimadas o reales de un sistema nuevo y bien diseñado con los NO_x emitidos por un sistema similar, bien controlado y operado pero más antiguo puede ser la mejor manera de evaluar qué tan efectivamente minimiza los NO_x un sistema de combustión nuevo.

La Tabla 2 enumera los principios o métodos utilizados para reducir los NO_x. Existen básicamente seis principios, siendo el séptimo una combinación intencional de algún subgrupo de los seis.

Tabla 2. Métodos de Control de NO_x ^{6,7}

Principio o Método de Reducción o de Control de Emisiones	Tecnologías Exitosas	Método de Prevención de la Contaminación (P2) o Tecnología de Adición (A)
1. Reducir la temperatura máxima.	Recirculación del Gas de Chimenea (RGC) Requemado del Gas Natural Quemadores de Bajo NO _x (QBN) Optimización de la Combustión Quemadores Fuera de Servicio (QFS) Menos Exceso de Aire (MEA) Inyectar Agua o Vapor Aire de Sobrefuego (ASF) Escalonificación del Aire Reducción del Pre calentamiento del Aire Combustión Catalítica	P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2 P2
2.Reducir el tiempo de residencia a la temperatura máxima.	Inyectar Aire Inyectar Combustible Inyectar Vapor	P2 P2 P2
3. Reducción Química de los NO _x	Requemado de Combustible (RC) Quemadores de Bajo NO _x (QBN) Reducción Catalítica Selectiva (RCS) Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS)	P2 P2 A A
4. Oxidación de los NO _x con Absorción Subsecuente	Reactor de Plasma No Térmico Inyectar Oxidante	A A
5. Remoción de Nitrógeno	Oxígeno en Vez de Aire Combustible Ultra Bajo en Nitrógeno	P2 P2
6. Utilizando un Sorbente	Sorbente en Cámaras de Combustión Sorbente en Ductos	A A
7. Combinaciones de estos Métodos	Todos los Productos Comerciales	P2 y A

varias demostraciones de su tecnología SNAP, que está basada en un absorbedor de óxido de aluminio con regeneración Claus.⁵

¿CUALES TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN SON DISPONIBLES?

En este reporte las tecnologías de reducción de NO_x existentes se dividen en dos categorías, aplicaciones para combustión externa (por ejemplo, calderas, hornos y calentones de proceso) y aplicaciones para combustión interna (por ejemplo, motores y turbinas estacionarias de combustión interna). Estas categorías están subdivididas todavía en tecnologías para la prevención de la contaminación (que reducen la generación de NO_x) y tecnologías de control de adición (que reducen las emisiones de NO_x).

COMBUSTIÓN EXTERNA

Las tecnologías aplicables a la combustión externa se muestran en la Tabla 3 (basada en la Tabla 2 en *Select the Right NO_x Control Technology* de Stephen Wood, *Chemical Engineering Progress*, enero de 1994).

COMBUSTIÓN EXTERNA: MÉTODOS DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

MENOS EXCESO DE AIRE (MEA)

Excesivo flujo de aire para la combustión ha sido correlacionado con la cantidad de NO_x generado. Limitando el exceso neto del flujo de aire a un nivel menor de 2% puede limitar fuertemente el contenido de NO_x del gas de chimenea. Aunque existen zonas ricas y pobres en la region combustible, el exceso neto de aire total es limitado cuando se usa este planteamiento.⁴³

QUEMADORES FUERA DE SERVICIO (QFS)

El equipo con quemadores múltiples puede tener parte de un conjunto de quemadores con algunos "quemadores fuera de servicio" (que no suministran combustible, sino aire o gas de chimenea). Esto permite que los quemadores a su alrededor suministren combustible y aire al aire o gas de chimenea fluyendo desde los QFS. El resultado es la combustión por etapas con una temperatura siempre menor que cuando todos los quemadores están en servicio. Por tanto, el NO_x termal es más bajo. El grado al cual la generación de NO_x es reducida depende de la relación espacial de los QFS a los demás quemadores.⁴⁴

Método 1. Reduciendo Temperatura -- Reduciendo temperatura significa evitar la relación estequiométrica (la relación exacta de las sustancias químicas que entran en reacción). Esencialmente, esta técnica diluye calorías con un exceso de combustible, aire, gas de chimenea, o vapor. Los controles de combustión utilizan diversas formas de esta técnica y son diferentes para los combustibles con contenido alto y bajo de nitrógeno. El control de los NO_x de la combustión de combustibles con alto contenido de nitrógeno (por ejemplo, el carbón) puede ser entendido por la relación estequiométrica neta. El control de los NO_x de la combustión de combustibles bajos en nitrógeno (tales como la gasolina y el aceite) pueden ser visto como relaciones magras contra ricas de aire a combustible. De cualquier manera, esta técnica evita la relación estequiométrica ideal porque esta es la relación que produce las temperaturas más altas que generan las concentraciones más altas de NO_x termales.

La temperatura de combustión puede ser reducida: (1) utilizando mezclas ricas en combustible para limitar la cantidad de oxígeno disponible; (2) utilizando mezclas pobres en combustible para limitar la temperatura diluyendo el suministro de energía; (3) utilizando gas de chimenea enfriado y agotado en oxígeno dentro del aire de combustión para diluir energía; (4) inyectando gas de chimenea enfriado con combustible añadido; o (5) inyectando agua o vapor. Los quemadores bajos en NO_x están basados parcialmente en este principio.^{8,9,10} La técnica básica es reducir la temperatura de los productos de combustión con un exceso de combustible, aire, gas de chimenea, o vapor. Este método evita que la vasta mayoría del nitrógeno sea ionizada (esto es, que obtenga una valencia que no sea cero).

Método 2. Reduciendo el Tiempo de Residencia -- La reducción del tiempo de residencia a temperaturas de combustión altas puede ser hecho por el tiempo de encendido o inyección, también puede ser hecho por restricción de la llama a una región corta en la cual la combustión de aire llega a ser gas de chimenea. Esto es seguido inmediatamente por inyección de combustible, vapor, más aire de combustión o re-circulación de gas de chimenea. Este tiempo corto de residencia a temperatura máxima mantiene la vasta mayoría de nitrógeno de llegar a ser ionizada. Esto no representa ninguna relación al tiempo total de residencia en una caldera.

Método 3. Reducción Química de los NO_x -- Esta técnica proporciona una sustancia que reduce químicamente (esto es, una inversión de la oxidación) para remover el oxígeno de los óxidos de nitrógeno. Los ejemplos incluyen la Reducción Catalítica Selectiva (RCS) que utiliza amoníaco, la Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS) que utiliza amoníaco o urea, y el Requemado del Combustible (RC). El plasma no térmico, una tecnología emergente, al ser utilizada con un agente reductor, reduce químicamente el NO_x . Todas estas tecnologías atentan reducir químicamente el nivel de valencia del nitrógeno a cero después de que la valencia ha llegado a ser mas alta.¹¹ Algunos quemadores de bajo NO_x también están parcialmente basados en este principio.

Método 4. Oxidación de los NO_x -- Esta técnica levanta intencionalmente la valencia del ion nitrógeno para permitir que el agua lo absorba (esto es, basado en la mayor solubilidad de los NO_x a valencias más altas). Esto se logra por medio de un catalizador, inyectando peróxido de hidrógeno, creando ozono dentro del flujo del aire, o inyectando ozono dentro del flujo del aire. El plasma no térmico, al utilizarse sin un agente reductor, puede ser utilizado para oxidar NO_x .

Una lavadora de gas debe ser añadida al proceso para absorber las emisiones de N_2O_5 a la atmósfera. Cualquier ácido nítrico resultante puede ser neutralizado por el líquido de la lavadora de gas y después ser vendido (por lo general como sal de calcio o amoníaco), o recolectado como ácido nítrico para su venta a clientes.^{12, 49}

Método 5. Remoción del nitrógeno de la combustión -- Esto se logra eliminando al nitrógeno como reactivo, ya sea por medio del: (1) usando oxígeno en vez de aire en el proceso de combustión; o (2) usando combustible con un contenido ultra bajo de nitrógeno para formar menos NO_x combustibles. La eliminación del nitrógeno utilizando oxígeno tiende a producir una llama más intensa que debe ser posteriormente y adecuadamente diluida. Aunque el método 2 puede disminuir la temperatura rápidamente para evitar la formación de NO_x excesivos, no puede eliminar óxidos de nitrógeno totalmente si el aire es el medio de extinción. El gas caliente de chimenea calienta el aire que se utiliza para extinguirlo y este calentamiento genera algunos NO_x térmicos. Este método también incluye la reducción del exceso de aire neto usado en el proceso de combustión porque el aire contiene un 80 por ciento de nitrógeno. El uso de combustibles de contenido ultra bajo de nitrógeno con el oxígeno puede casi eliminar combustible e incitar los NO_x .¹³

Método 6. Sorción, tanto adsorción como absorción -- El tratamiento del gas de chimenea por la inyección de sorbentes (tales como el amoníaco, cal en polvo, óxido de aluminio, o carbón) puede remover el NO_x y otros contaminantes (principalmente el azufre). Se han realizado esfuerzos exitosos al fabricar productos de sorción en artículos comerciales. Este tipo de tratamiento ha sido aplicado en la cámara de combustión, la chimenea, y la casa de bolsas. El uso del carbón como un absorbente no ha conducido a un producto comercial, pero a veces se utiliza para limitar las emisiones de NO_x a pesar de esto. A menudo se le refiere al método de sorción como uso de sorbente en seco, pero las suspensiones también han sido utilizadas. Este método usa la adsorción o la absorción seguida por filtración y/o precipitación electrostática para remover el sorbente.

Método 7. Combinaciones de estos métodos -- Muchos de estos métodos pueden ser combinados para lograr una concentración más baja de NO_x de la que se puede lograr por cualquier método por sí solo. Por ejemplo, un quemador de ciclón rico en combustible (Método 1) puede ser seguido por un quemado de combustible (Método 3) y aire de sobrefuego (Método 1). Esto ha producido una reducción de NO_x tan grande como del 70 por ciento.⁵⁵ Otras tecnologías de control con la finalidad de reducir principalmente las concentraciones de azufre también afectan fuertemente la concentración de óxido de nitrógeno. Por ejemplo, la tecnología SO_x - NO_x - RO_x - BO_x (SNRB) utiliza un sorbente de cal en el gas de chimenea proveniente de la caldera para absorber el azufre. Esto es seguido por una inyección de amoníaco y RCS usando fibras de catalizador en las bolsas de filtro en las casas de bolsas. El azufre es recuperado del sorbente y regenerado por un proceso Claus. Esto ha demostrado la remoción de hasta el 90 por ciento de los NO_x junto con el 80 por ciento de los SO_x .^{39, 42} *EBARA* del Japón reportó que un reactor de rayo de electrones con amoníaco añadido removió el 80 por ciento del SO_2 y el 60 por ciento de los NO_x de una termoeléctrica en China.⁵⁴ *FLS Milo and Sons* reportó durante el mismo simposio que el 95 por ciento del SO_2 y del 70 al 90 por ciento de los NO_x fueron removidos en

OPTIMIZACIÓN DE LA COMBUSTIÓN

La optimización de la combustión se refiere al control activo de la combustión. En una caldera que utiliza gas natural, por medio de la disminución de la eficiencia de combustión el 100 al 99 por ciento, la generación de NO_x desciende a un nivel mucho más aceptable.^{14,15} Para las calderas que utilizan carbón, se ha experimentado una reducción en NO_x del 20 al 60 por ciento. Estas medidas activas de control de combustión buscan encontrar una eficiencia óptima de combustión y controlar la combustión (y por tanto las emisiones) a esa eficiencia. Otro planteamiento utiliza un programa de red neural para encontrar el punto óptimo de control.¹⁶ Aún otro planteamiento es el uso de *software* (programas) para optimizar suministros para el *output* (rendimiento) definido.^{52,53}

Un vendedor disminuye la cantidad de aire que es pre-mezclado con combustible de la relación estequiométrica (la relación que produce la llama más caliente) para alargar la llama en el quemador y reducir la velocidad de liberación del calor por unidad de volumen. Esto puede funcionar donde los tubos de la caldera se encuentran bastante alejados del quemador. El monóxido de carbono, el combustible sin quemar, y el combustible parcialmente quemado que resultan pueden a continuación ser oxidados en el aire de sobrefuego a una temperatura más baja. La combustión debe ser optimizada para las condiciones que se presenten. Se ha reportado una *DRE* del 50 por ciento.¹⁴

ESCALONIFICACIÓN DEL AIRE

El aire de combustión se divide en dos corrientes. La primera corriente es mezclada con combustible en una relación que produce una llama reductora. La segunda corriente es inyectada corriente abajo de la llama y vuelve la relación neta ligeramente excesiva en comparación a la relación estequiométrica. Se ha reportado una *DRE* del 99 por ciento.⁵¹

ESCALONIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Esta es la escalonificación de la combustión utilizando combustible en vez de aire. El combustible se divide en dos corrientes. La primera corriente alimenta a la combustión primaria que opera en una relación reductora de combustible a aire. La segunda corriente es inyectada corriente abajo de la combustión primaria, causando que la relación neta de combustible a aire sea sólo ligeramente oxidante. El combustible en exceso en la combustión primaria diluye el calor para reducir la temperatura. La segunda corriente oxida el combustible mientras reduce el NO_x a N_2 . Se ha reportado que esto logra una *DRE* del 50 por ciento.⁵¹

demandas conflictivas sobre el proceso.

Tabla 4. Tecnologías Para Limitar los NO_x de Combustión Interna

Prevención de Contaminación	Control de Adición
Quemadores de Bajo NO _x	Reducción Catalítica Selectiva (RCS)
Inyección de Vapor/Agua	Reducción No Catalítica Selectiva (RNCS)
Combustión Catalítica	Reducción Catalítica No Selectiva (RCNS)
Relación Aire-Combustible y Tipo de Encendido	Plasma No Térmico
Carga Pre-Estratificada	
Quemado Magro	

COMBUSTIÓN INTERNA: MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

QUEMADORES DE BAJO NO_x (QBN)

Combinando el uso de QNB con una relación aire/combustible cuidadosamente controlada e inyección de agua/vapor puede generar emisiones tan bajas como 10 ppm de las turbinas de gas.⁴⁶

INYECCIÓN DE VAPOR O AGUA

Para reducir la temperatura de combustión, se puede mezclar vapor o agua con el flujo de aire. Esto disminuye la temperatura de combustión por debajo de 1,400 °F para limitar la generación de NO_x a alrededor de 40 ppm.⁴⁶ Esto puede causar que aumente la concentración de CO e hidrocarburos sin quemar emitidos por una turbina. Sin embargo, éstos pueden ser quemados ya sea por un lecho de catalizador, dispositivo de poscombustión, u otra etapa de combustión. Este combustible y calor que de otra manera serían desperdiciados también pueden ser recuperados en calderas de cogeneración.

COMBUSTIÓN CATALÍTICA

Se usa un catalizador para reaccionar el combustible con el aire a una temperatura menor de la normal, a la cual no ocurre la generación de cantidades significantes de NO_x. Se han reportado emisiones por debajo de 1 ppm.⁴⁶ Sin embargo, si esta combustión es para una turbina, la eficiencia de la turbina puede depender del logro de una temperatura más alta. Cuando se encuentra presente un catalizador, Ud. sólo necesita asegurar que los NO_x no se formarán a la temperatura de combustión que resulte.

(RBLC) (<http://www.epa.gov/ttn/catc>, después seleccione RBLC).

COMBUSTIÓN INTERNA: TECNOLOGÍA AÑADIDA DE CONTROL

REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (RCS)

Tal como con las calderas, la RCS puede ser utilizada para obtener hasta un 90 por ciento de NO_x . Cuando se usa con un QBN o inyección de vapor/agua, los NO_x pueden reducirse a 5-10 ppm.⁴⁶ Con motores de encendido por compresión, los catalizadores de zeolita logran una *DRE* del 90 por ciento o mayor, mientras que los catalizadores con metales de base pueden lograr una *DRE* del 80 al 90 por ciento.⁴⁸

REDUCCIÓN CATALÍTICA NO SELECTIVA (RCNS)

La RCNS es la misma técnica utilizada en aplicaciones automovilísticas como un convertidor catalítico de tres secciones. No requiere la inyección de un agente reductor porque utiliza a los hidrocarburos sin quemar como un agente reductor. El catalizador requiere que el escape tenga no más del 0.5 por ciento de oxígeno. Esta técnica utiliza una mezcla rica en combustible que, combinada con la presión reversa proveniente del flujo de escape a través del catalizador, aumenta el consumo de combustible *brake-specific* (específico de freno) del motor. Sin embargo, se puede lograr un control del 90 al 98 por ciento de NO_x .⁴⁸

REACTORES DE PLASMA NO TÉRMICOS

Este planteamiento utiliza un plasma no térmico para ionizar amoníaco, urea, hexano, metano u otros agentes reductores inyectados dentro del gas de chimenea. Combinados con el efecto de la temperatura, el plasma no térmico ioniza el agente reductor que reacciona con los óxidos de nitrógeno logrando una *DRE* del 94 por ciento. Esto disminuye la cantidad de sustancias químicas reductoras que "se cuele" sin reaccionar.^{20,44} El uso del plasma no térmico fue desarrollado para ionizar contaminantes y actúa como un catalizador para controlar NO_x en el escape de diesel.³⁶

¿AFECTA EL TIPO DE COMBUSTIBLE Y DE COMBUSTIÓN LA MITIGACIÓN?

Sí, lo hacen. De nuevo aquí, encontramos un espectro de tipos, casi suficientes para que cada turbina de gas, motor de combustión interna, caldera, u horno parezcan únicos. El tipo de combustible puede variar con la vena de la mina de la que se obtuvo el carbón, el pozo en el campo petrolero de donde provino el petróleo crudo, la refinería para combustibles basados en petróleo, o el proveedor de gas natural. Por tanto la concentración de impurezas variará entre las fuentes, refinerías, y proveedores. Aún el "gas natural" (propano, butano, y monóxido de carbono) puede causar que varíe la composición del "gas natural".

El tipo de sistema de combustión (quemador de bajo NO_x , aire de sobrefuego, encendido tangencial, encendido de pared, etc.) también algunas veces limitará las opciones a veces. Cada tipo de caldera, cada tipo de combustible, cada sistema de combustión, y cada construcción de

Tabla 5. Sistemas Comunes de Combustión

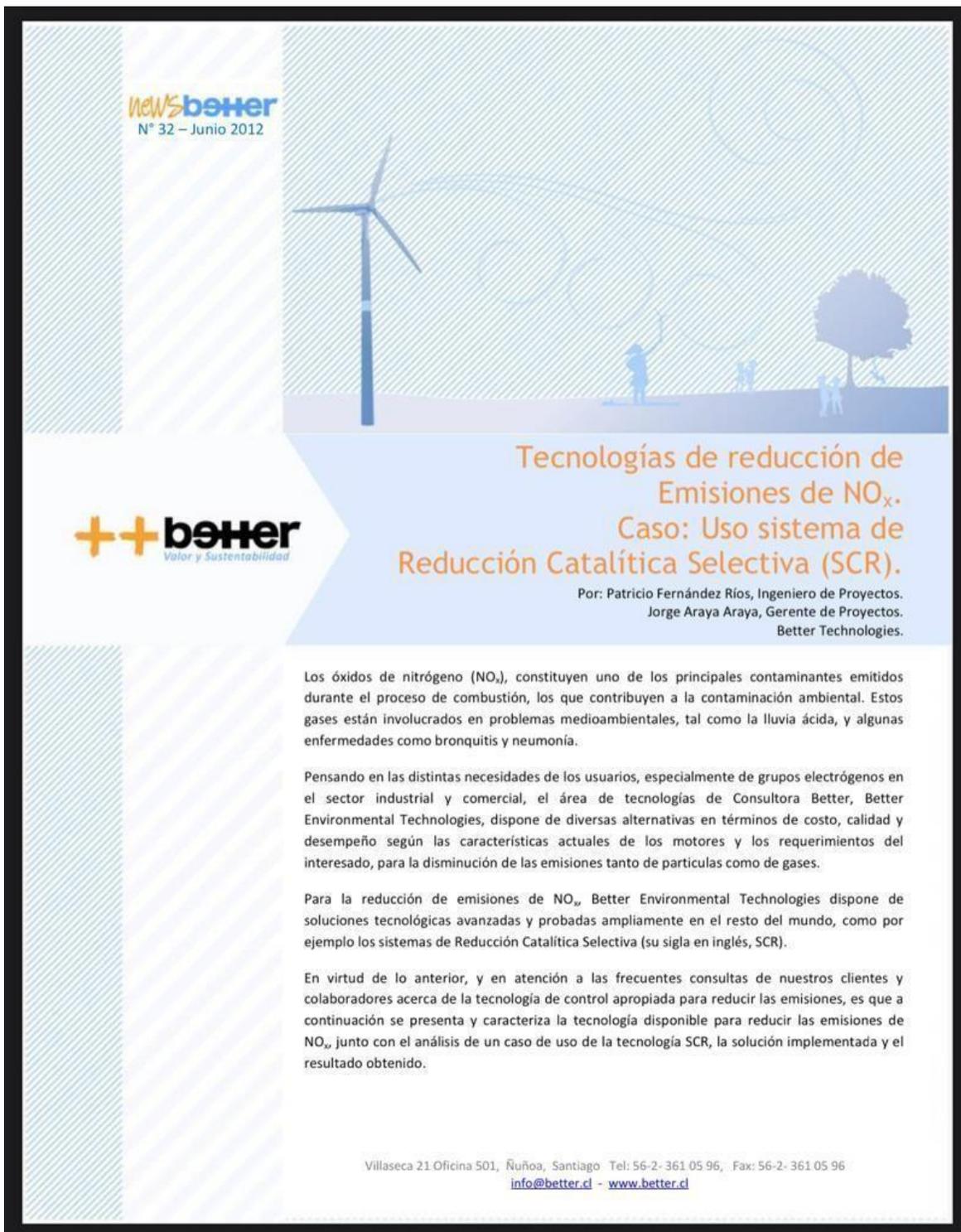
Tipo de Unidad de Combustión	Combustible
Calderas de fondo seco - encendidas por la pared, por el frente o al opuesto	carbón pulverizado, gas, o líquido
Calderas de fondo seco - encendidas tangencialmente	carbón pulverizado, gas, o líquido
Calderas de fondo húmedo (llave de escoria) - quemadores tipo ciclón	carbón pulverizado, gas, o líquido
Lecho fluidizado	carbón
Fogoneros con parrilla corrediza	carbón triturado
Fogoneros con parrilla extendedora	carbón triturado
Turbinas de gas	gas y líquido
Motores de combustión interna	gas y líquido

Cada tecnología de reducción de NO_x tiene implementaciones diferentes, historias de desarrollo diferentes, y por lo tanto, una posición comercial diferente. La selección de la tecnología debe ocurrir después de un estudio de ingeniería para determinar la factibilidad técnica y económica de cada tecnología de NO_x . Esto incluye cómo puede ser implementada cada tecnología y su costo. Las opciones pueden ser limitadas por la incapacidad de ajustar el flujo de aire del sistema de combustión adecuadamente, ductos que se encuentran a la temperatura equivocada, o ductos que son demasiado cortos para proporcionar un mezclado adecuado. Estos problemas pueden ser resueltos, pero pueden requerir demasiadas modificaciones para hacerlos económicos.

CALDERAS DE FONDO SECO - ENCENDIDAS EN LA PARED, POR EL FRENTE O EL LADO OPUESTO

Las calderas de fondo seco de carbón pulverizado, gas, y combustible líquido han utilizado quemadores de bajo NO_x para inyectar combustible y aire proveniente de las paredes inferiores. Las calderas encendidas por el frente tienen quemadores sobre una pared. Las calderas encendidas en el lado opuesto tienen quemadores sobre las paredes al frente y al fondo. Estas calderas utilizan típicamente métodos que reducen las temperatura máxima, reducen el tiempo de residencia a la temperatura pico, o reducen los NO_x químicamente (métodos 1, 2 y 3). Estos métodos son utilizados para calderas de termoeléctricas en las que la eficiencia de combustión es de toda importancia. La oxidación de los NO_x con absorción y remoción de nitrógeno (métodos 4 y 5) representan tecnologías más nuevas que pueden ser aplicadas en el futuro. El uso de un sorbente (método 6) ya se encuentra en uso en algunas calderas. Véa la Tabla 6 para las tecnologías de NO_x utilizadas para calderas de fondo seco encendidas por la pared, por el frente o al opuesto.

(FERNANDEZ, 2012)



news better
N° 32 – Junio 2012

++ better
Valor y Sustentabilidad

Tecnologías de reducción de Emisiones de NO_x. Caso: Uso sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR).

Por: Patricio Fernández Ríos, Ingeniero de Proyectos.
Jorge Araya Araya, Gerente de Proyectos.
Better Technologies.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), constituyen uno de los principales contaminantes emitidos durante el proceso de combustión, los que contribuyen a la contaminación ambiental. Estos gases están involucrados en problemas medioambientales, tal como la lluvia ácida, y algunas enfermedades como bronquitis y neumonía.

Pensando en las distintas necesidades de los usuarios, especialmente de grupos electrógenos en el sector industrial y comercial, el área de tecnologías de Consultora Better, Better Environmental Technologies, dispone de diversas alternativas en términos de costo, calidad y desempeño según las características actuales de los motores y los requerimientos del interesado, para la disminución de las emisiones tanto de partículas como de gases.

Para la reducción de emisiones de NO_x, Better Environmental Technologies dispone de soluciones tecnológicas avanzadas y probadas ampliamente en el resto del mundo, como por ejemplo los sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (su sigla en inglés, SCR).

En virtud de lo anterior, y en atención a las frecuentes consultas de nuestros clientes y colaboradores acerca de la tecnología de control apropiada para reducir las emisiones, es que a continuación se presenta y caracteriza la tecnología disponible para reducir las emisiones de NO_x, junto con el análisis de un caso de uso de la tecnología SCR, la solución implementada y el resultado obtenido.

Villaseca 21 Oficina 501, Ñuñoa, Santiago Tel: 56-2- 361 05 96, Fax: 56-2- 361 05 96
info@better.cl - www.better.cl

En la actualidad, las formas de control de emisiones de motores de combustión interna se pueden clasificar en tres tipos:

- Modificaciones al diseño y funcionamiento del motor.
- Modificaciones y mejoras en el combustible utilizado.
- Aplicación de tecnología post-tratamiento de gases.

Para el caso de las tecnologías de post-tratamiento, Better Environmental Technologies pone a su disposición los sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR), que son altamente eficientes en la reducción de emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx).

A continuación, se presentan Tecnologías de post tratamiento de gases, disponibles por Better Environmental Technologies, para reducir las emisiones de gases y partículas.

3. Tecnologías de post tratamiento de gases existentes para controlar las emisiones.

Las tecnologías de abatimiento disponibles tanto para fuentes fijas como móviles, según tipo de combustible y mezcla son: los filtros Diesel Particulate Filter (DPF), los Sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR), Convertidores de Oxidación Catalítica, Catalizadores de Tres Vías y Oxidación Catalítica Diesel (DOC), resumidas en la siguiente tabla.

Tabla N° 1: Tecnologías de abatimiento de emisiones de gases y Material Particulado

Tipo de motor	MP	NO _x	CO	COVs / HCNM
Combustión Rica ($\lambda < 1$)*	---	Convertidor catalítico 3 vías	Convertidor catalítico 3 vías	Convertidor catalítico 3 vías
Combustión Pobre ($\lambda > 1$)*	---	Sistema SCR	Oxidación catalítica	Oxidación catalítica
Diesel	Oxidación catalítica diesel y DPF	Sistema SCR	Oxidación catalítica diesel y DPF	Oxidación catalítica diesel y DPF

Nota *: $\lambda < 1$: indica una deficiencia de aire, resultando en una mezcla "rica". Si $\lambda > 1$: implica un exceso de aire, resultando una mezcla "pobre".

Fuente: DCL International Inc.

La riqueza o pobreza de combustión, está dada por la proporción existente entre el aire y el combustible presente en el motor, la cual es expresada a través del factor llamado Lambda (λ).

3.1. Tecnología para reducir las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx).

De acuerdo a la experiencia internacional, la tecnología más eficiente para reducir las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx) corresponde a la Reducción Catalítica Selectiva (SCR), la que puede alcanzar eficiencias de remoción entre 90 al 98%.

1. Generación de NO_x en la combustión.

Los NO_x se refieren a un conjunto de emisiones de óxido nítrico NO, de dióxido nítrico NO₂ y trazas de otros, generados en la combustión de cualquier combustible, debido a las altas temperaturas y a la disponibilidad de oxígeno y nitrógeno, tanto en el aire comburente, como en el combustible. Las emisiones de NO_x generadas en los procesos de combustión están constituidas por un 90 - 95% de NO, y el resto por NO₂. Cuando los humos abandonan la chimenea, una gran parte del NO se oxida en la atmósfera, pasando a NO₂.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son contaminantes gaseosos que se forman principalmente a través de procesos de combustión. Mientras se encuentra dentro de la unidad de combustión, cerca del 95% del NO_x se encuentra en forma de óxido nítrico (NO), y el resto es dióxido de nitrógeno (NO₂).

El NO_x puede ser generado de tres formas; NO_x termal; prompt NO_x (NO_x inmediato); y NO_x combustible. El NO_x termal se forma por la fijación de nitrógeno y oxígeno molecular a temperaturas mayores a 2000 °C. El NO_x inmediato, se forma de la oxidación de radicales de hidrocarburos cerca de la flama de la combustión y produce una cantidad poco relevante de NO_x.

Para el caso del NO_x combustible, hay que considerar que el aire y algunos combustibles utilizados contienen nitrógeno. Cuando estos combustibles unidos al nitrógeno son quemados, se forma NO_x de combustible y su producción puede aumentar significativamente durante el proceso de combustión cuando existe nitrógeno en el combustible.

En concordancia con la experiencia internacional, los sistemas SCR (Reducción Catalítica Selectiva) corresponden a la solución apropiada y recomendada para la reducción de emisiones de NO_x, en atención a que esta tecnología se adapta a las necesidades de los equipos que emiten estos gases, condiciones de operación, calidad del combustible y requerimientos de la normativa vigente. Esta tecnología logra resultados concretos sin generar problemas en el funcionamiento de los equipos, abatiendo considerablemente las emisiones de óxidos de nitrógeno.

2. ¿Por qué reducir las emisiones?

Controlar la contaminación generada por fuentes fijas y móviles es una exigencia que se hace presente cada vez con más fuerza.

Lo anterior, producto de los importantes efectos nocivos sobre la salud de las personas, ha sido sinónimo de la generación de una completa gama de normativas que hoy por hoy, se encargan que tanto fuentes fijas como móviles, emitan concentraciones de contaminantes que no provoquen un deterioro significativo de la calidad de vida de la población.

Si bien la emisión de NO_x provenientes de grupos electrógenos no se encuentra regulada directamente en Chile, se cuenta con antecedentes respecto a que, dependiendo de las características de cada proyecto, las emisiones anuales de NO_x podrían requerir compensarse en el área de la Región Metropolitana, y por tanto se hace necesario reducirlas a objeto de minimizar el impacto de éstas y evitar la necesidad de compensación.

En la actualidad, las formas de control de emisiones de motores de combustión interna se pueden clasificar en tres tipos:

- Modificaciones al diseño y funcionamiento del motor.
- Modificaciones y mejoras en el combustible utilizado.
- Aplicación de tecnología post-tratamiento de gases.

Para el caso de las tecnologías de post-tratamiento, Better Environmental Technologies pone a su disposición los sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR), que son altamente eficientes en la reducción de emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx).

A continuación, se presentan Tecnologías de post tratamiento de gases, disponibles por Better Environmental Technologies, para reducir las emisiones de gases y partículas.

3. Tecnologías de post tratamiento de gases existentes para controlar las emisiones.

Las tecnologías de abatimiento disponibles tanto para fuentes fijas como móviles, según tipo de combustible y mezcla son: los filtros Diesel Particulate Filter (DPF), los Sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR), Convertidores de Oxidación Catalítica, Catalizadores de Tres Vías y Oxidación Catalítica Diesel (DOC), resumidas en la siguiente tabla.

Tabla N° 1: Tecnologías de abatimiento de emisiones de gases y Material Particulado

Tipo de motor	MP	NO _x	CO	COVs / HCNM
Combustión Rica ($\lambda < 1$)*	---	Convertidor catalítico 3 vías	Convertidor catalítico 3 vías	Convertidor catalítico 3 vías
Combustión Pobre ($\lambda > 1$)*	---	Sistema SCR	Oxidación catalítica	Oxidación catalítica
Diesel	Oxidación catalítica diesel y DPF	Sistema SCR	Oxidación catalítica diesel y DPF	Oxidación catalítica diesel y DPF

Nota *: $\lambda < 1$: indica una deficiencia de aire, resultando en una mezcla "rica". Si $\lambda > 1$: implica un exceso de aire, resultando una mezcla "pobre".

Fuente: DCL International Inc.

La riqueza o pobreza de combustión, está dada por la proporción existente entre el aire y el combustible presente en el motor, la cual es expresada a través del factor llamado Lambda (λ).

3.1. Tecnología para reducir las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx).

De acuerdo a la experiencia internacional, la tecnología más eficiente para reducir las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx) corresponde a la Reducción Catalítica Selectiva (SCR), la que puede alcanzar eficiencias de remoción entre 90 al 98%.

A continuación, en la Tabla N° 2 se presentan las principales características de los SCR:

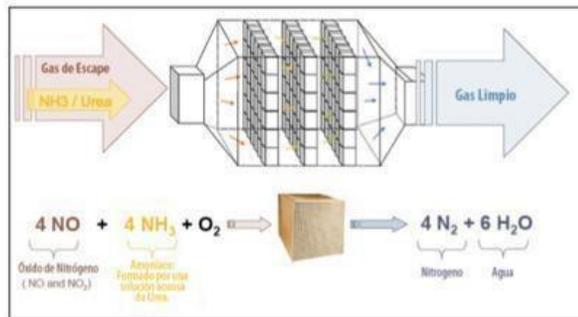
Tabla N° 2: Principales características de los SCR.

Tecnología	Estructura externa	Estructura interna	Principios de funcionamiento
Sistema SCR			<ul style="list-style-type: none"> • Se basa en la reducción química de la molécula de NO_x. • Se utilizan catalizadores a base de platino con sitios activados. • Un agente reductor (reactivo) basado en el nitrógeno (amoníaco o urea), es inyectado en forma controlada dentro del gas de post-combustión. • El agente reductor reacciona selectivamente con el gas de combustión NO_x (óxidos de nitrógeno) dentro de un rango específico de temperatura.

Fuente: H+H Engineering & Service GmbH

El principio de funcionamiento del SCR se puede esquematizar tal como se muestra en la Figura N° 1, en donde podemos observar que el reactivo es inyectado dentro del gas de escape corriente abajo de la unidad de combustión. El reactivo se mezcla con gas de combustión y ambos componentes entran en una cámara reactiva que contiene al catalizador. A medida que el gas de combustión caliente y el reactivo se difunden a través del catalizador y se ponen en contacto con los sitios catalizadores activados, el NO_x en el gas de combustión se reduce químicamente. El calor del gas de combustión proporciona la energía para la reacción. El nitrógeno, el vapor de agua, y cualquier otro elemento fluyen fuera del reactor de SCR.

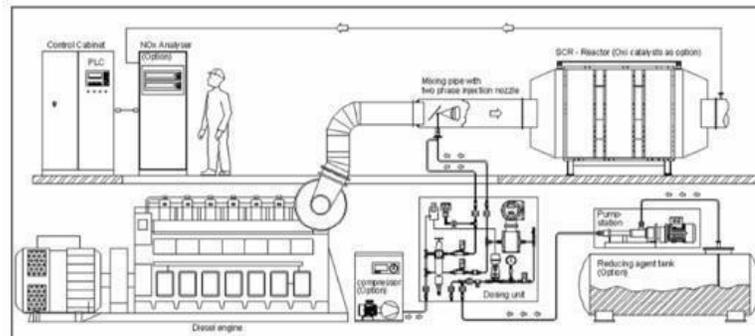
Figura N° 1: Esquema reacciones químicas en el reactor.



Fuente: H+H Engineering & Service GmbH

A continuación, en la Figura 2, se muestra un esquema simplificado de flujo del proceso SCR.

Figura 2: Esquema simplificado de flujo y componentes del sistema SCR.



Fuente: H+H Engineering & Service GmbH

Los principales componentes del sistema SCR son:

- Estación de bombeo del reactivo.
- Unidad dosificadora del reactivo.
- Boquilla de inyección del reactivo.
- Ducto de mezcla.
- Reactores con catalizadores.
- Cabina de control (PLC).
- Monitoreo de temperatura y presión diferencial.
- Analizador de gases (NO_x).
- Línea de muestreo de gas tratado hacia el analizador.

La cantidad de cada uno de estos componentes va a depender de las características de cada proyecto y de las necesidades del cliente.

A continuación, se presentan de manera más detallada las características de los sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) y un caso de su utilización en 7 grupos electrógenos de una empresa de la Región Metropolitana, Chile.

3.2. Uso de sistema SCR para reducir emisiones de NO_x en Chile.

En el ejercicio de nuestras actividades se han instalado siete sistemas SCR en igual número de grupos electrógenos.

Una empresa de la Región Metropolitana comenzó a implementar y desarrollar un proyecto durante el año 2010, que consideró la instalación de 7 grupos electrógenos que generarán energía eléctrica para su inyección a la red eléctrica.

Las características de los equipos se presentan resumidas en la Tabla 3.

Tabla 3: Características de los Grupos Electrógenos.

Grupos Electrógenos	
Potencia	1413 kW
Contrapresión, máxima	60 mbar
Combustible	Landfill Gas
Gases de escape (húmedo)	5895 m ³ N/hr
Temperatura	432 °C
Emisiones de NO _x (según ficha técnica)	500 mg/Nm ³
Referencia O ₂	5%

Fuente: ficha técnica de los generadores.

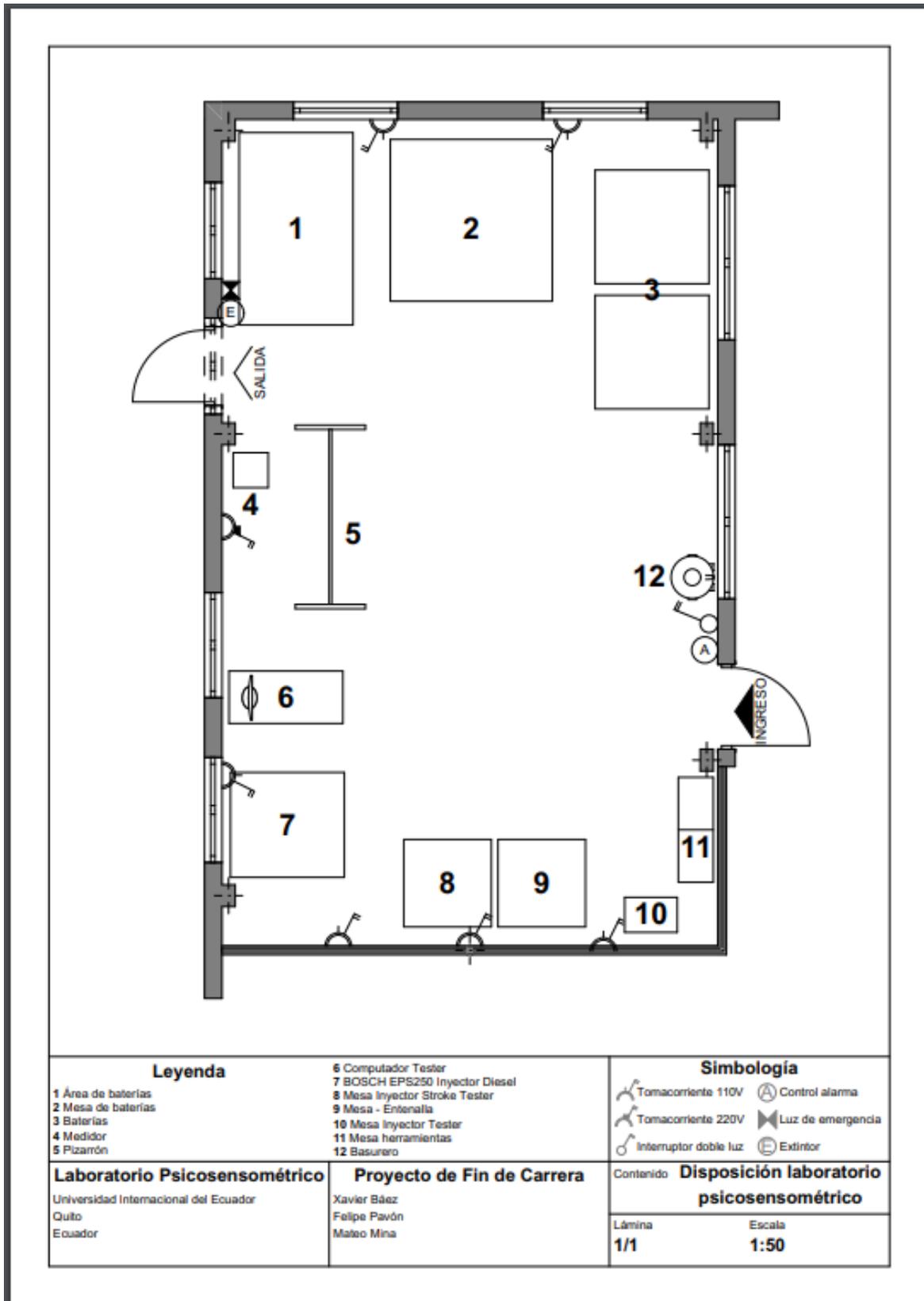
Al comparar las emisiones de NO_x, especificadas en la ficha técnica de los equipos con las que se obtuvieron como resultado del tratamiento de gases durante la puesta en marcha del Sistema SCR, podemos mencionar que las eficiencias de remoción de NO_x, en los 7 grupos electrógenos oscilaron entre 93 a 95%, tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 4: Eficiencia de remoción de emisiones de NO_x (resultados puesta en marcha).

	Emisiones previo al SCR (mg/m ³ N)	Emisiones post al SCR (mg/m ³ N)	% remoción
GE 1	500*	28	94,4
GE 2		25	95,0
GE 3		25	95,0
GE 4		35	93,0
GE 5		30	94,0
GE 6		30	94,0
GE 7		28	94,4

Nota*: Según ficha técnica de los generadores.

Anexo III. Layout Laboratorio Psicosensométrico FIA-UIDE



Vista tridimensional

