

Universidad internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

**Artículo de Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica
Automotriz**

**Análisis de las normativas INEN de Ecuador y EURO de la Comunidad Europea, en
cuanto a las consideraciones técnicas y procedimientos para la medición de las emisiones de
gases contaminantes de los vehículos**

Carlos Paul Loza Lalangui

Henry Stalin Quisphe Reinoso

Director: Ing. Juan Carlos Rubio, Msc

Quito, enero 2022

CERTIFICACIÓN


Yo, **Carlos Paul Loza Lalangui**, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi 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, reglamento y leyes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Loza', enclosed within a large, loopy circular scribble.

CARLOS PAUL LOZA LALANGUI

Yo, **Juan Carlos Rubio**, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Carlos Rubio', enclosed within a large, loopy circular scribble. Below the signature, the name 'JUAN CARLOS RUBIO' is printed in a small, black, sans-serif font.

CERTIFICACIÓN

Yo, **Henry Stalyn Quishpe Reinoso**, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi 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, reglamento y leyes.



HENRY STALYN QUISHPE REINOSO

Yo, **Juan Carlos Rubio**, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



JUAN CARLOS RUBIO

DEDICATORIA

Este artículo va dedicado a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Gracias también a mi compañero de estudio, que me apoyo y me permitió entrar en su vida durante estos 3 años de convivir dentro del salón de clase.

Carlos Paul Loza Lalangui.

DEDICATORIA

El siguiente artículo está dedicado principalmente a Dios, por la fortaleza y sabiduría al momento de realizar la presente investigación la cual ayuda a la sociedad de la misma manera a mi familia por brindarme su apoyo incondicional durante toda la carrera profesional tanto moralmente como económicamente.

Mi familia parte fundamental en el transcurso de mi vida. A mis padres que con su cariño, apoyo y esfuerzo me permitieron cumplir un sueño mas de los que me he propuesto. Han estado firmes en todo momento difícil, recordando todos los valores y principios inculcados desde el inicio hasta poder culminar, con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mi una persona capaz de salir adelante.

A mis hermanos quienes me han apoyado en todo momento durante toda mi carrera universitaria, así como también a mi novia quien ha sido un pilar fundamental ya que con su apoyo y motivación se llegó al objetivo principal en fin mi eterna gratitud con todos quienes fueron parte de este proyecto.

Henry Stalyn Quishpe Reinoso.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de este artículo. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

A todos ustedes, infinitas gracias,

Carlos Paul Loza Lalangui

AGRADECIMIENTO

A Dios darme salud para poder estar con mi familia, a su apoyo en todo momento. A mis padres por ser la guía en mi camino, con su confianza y expectativas de cumplir mi sueño.

Gracias también a mi tutor quien en el desarrollo de mi investigación estuvo presente, a los profesores de mi carrera el cual han sido personas inigualables, un pilar fundamental en todo este proceso de la vida, a mis amigos por todo el apoyo brindado.

A todos, muchas gracias,

Henry Stalyn Quishpe Reinoso.

Índice Artículo

CERTIFICACIÓN	II
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
1. INTRODUCCIÓN	13
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Emisiones contaminantes de vehículos	16
2.3. Normativas anticontaminación.....	16
2.4. Normas nacionales, normas internacionales.....	17
2.5. Pruebas – /estáticas – dinámicas.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6. Modelos matemáticos vinculados con el estudio de gases contaminantes.....	19
2.7. Pruebas estáticas y dinámicas de emisión de gases en vehículos.....	18
2.8. Equipos de apoyo a las pruebas de medición de gases en vehículos;	¡Error! Marcador no definido.
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Fase I: Contraste del esquema de medición de las normar INEN y EURO	21
3.2. Fase II: Indagación de los parámetros reflejados en los informes de pruebas estáticas y dinámicas efectuadas por Ecuador y países europeos.....	22
3.3. Fase III: Determinación de las sustentaciones en cada país o región del empleo de un determinado tipo de prueba (estática Vs dinámica).....	22
3.4. Fase IV: Análisis de los factores incidentes en la representatividad y confiabilidad de los resultados de las pruebas estáticas y dinámicas	22
3.5. Consideraciones generales en la metodología	22
4. RESULTADOS Y DISCUSION	24
4.1. Comparativas	24

5. CONCLUSIONES	28
6. REFERENCIAS.....	29
7. ANEXOS	33

Índice de figuras

Figura 1. Composición típica de los gases de escape en motores de gasolina.....	16
Figura 2. CTWF en relación al Índice Anual de Calidad Ambiental.....	21
Figura 2. Prueba estática.....	18
Figura 3. Prueba dinamica	19
Figura 4. Dinamómetro de chasis	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Dinamómetro de banco	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Procedimiento metodológico aplicado	21

Índice de tablas

Tabla 1 Características básicas de los vehículos considerados en el estudio.....	22
Tabla 2 Características de la gasolina considerados en el estudio.....	23
Tabla 3 Normas consideradas en el estudio.....	23

ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS INEN DE ECUADOR Y EURO DE LA COMUNIDAD EUROPEA, EN CUANTO A LAS CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE LOS VEHÍCULOS

Carlos Paul Loza Lalangui. Egresado de la facultad de Mecánica Automotriz- Universidad internacional del Ecuador, email calozala@uide.edu.ec

Henry Stalin Quisphe. Egresado de la facultad de Mecánica Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, xxxxxxxx@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen.

Los países en el marco de los acuerdos internacionales e iniciativas individuales establecieron controles para minimizar la emisión de contaminantes a la atmosfera. Uno de los agentes que generó mayor cantidad de gases de efecto invernadero fue la flota vehicular, en tal sentido los organismos de control de cada nación estipularon procedimientos para la realización de revisiones vehiculares para aprobar que un determinado vehículo cumpliera con los límites de emisión de contaminantes y se le permitiera circular en esas condiciones. Algunos países como el Ecuador adoptaron las pruebas estáticas con base en la norma INEN 2204, mientras que en los países europeos se desarrollaron pruebas estáticas sustentadas en la norma EURO. El presente estudio consideró realizar un análisis comparativo para precisar la efectividad de una u otra norma en el logro de un parque automotor menos contaminante, para ello se aplicó como metodología el contraste de los resultados de una prueba estática y dinámica realizada en un vehículo marca Chevrolet Sail y correlacionándolo con los límites estipulados en norma ecuatoriana y europea. Como resultados destacados se tuvo, que los valores de HC, CO Y O₂ difieren significativamente, siendo mayores los determinados en las pruebas de revisión vehicular en el Ecuador, es decir, existe menos exigencia en las regulaciones ecuatorianas en lo que respecta a la cantidad de contaminantes que puede emitir un vehículo, solo al comparar las normas se detentan diferencias entre 100% y 210%, lo cual es una brecha considerable que debe ser evaluada por las autoridades de tránsito ecuatoriano. **Palabras clave:** Pruebas estáticas, Pruebas dinámicas, Normas INEN, Normas EURO.

Abstract.

The countries, within the framework of international agreements and individual initiatives, established controls to minimize the emission of pollutants into the atmosphere. One of the agents that generated the greatest amount of greenhouse gases was the vehicle fleet, in this sense the control organisms of each nation, stipulated procedures for carrying out vehicle reviews to approve that a certain vehicle complied with the emission limits of pollutants and allowed to circulate in those conditions. Some countries such as Ecuador adopted static tests based on the INEN 2204 standard, while European countries developed static tests based on the EURO standard. The present study considered carrying out a comparative analysis to specify the effectiveness of one or another norm in achieving a less polluting automotive fleet, for which the contrast of the results of a static and dynamic test carried out in a Chevrolet brand vehicle was applied as a methodology. Sail and correlating it with the limits stipulated in Ecuadorian and European standards. As outstanding results, it was found that the values of HC, CO and O₂ differ significantly, being higher those determined in the vehicle inspection tests in Ecuador, that is, there is less demand in the Ecuadorian regulations regarding the amount of pollutants that a vehicle can emit, only when comparing the standards differences between 100% and 210% are held, which is a considerable gap that must be evaluated by the Ecuadorian traffic authorities.

Keywords: Static tests, Dynamic tests, INEN standards, EURO standards.

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos en sus distintos modelos y marcas, representan en la actualidad un elemento determinante de la movilidad de las personas y el dinamismo de la economía de países. En la actualidad los distintos países albergan cientos de miles y en algunos casos millones de vehículos, el crecimiento de la motorización (entendido como crecimiento vehicular) ha sido vertiginoso [1]. No obstante, así como ha generado múltiples beneficios también el sector automotriz es gran parte responsable de las implicaciones ambientales, específicamente de una cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo de gases de efecto invernadero [2]

Como una manera de mitigar los impactos de las emisiones que generan los motores a gasolina o diésel, se han establecido normas o regulaciones que deben ser cumplidas por el parque automotor que circulan en las vías; esto tomando en cuenta el año de fabricación y tipo de combustible empleado, por lo cual, estos deben ser sometidos verificaciones periódicas. En el caso de Ecuador, estas revisiones se efectúan generalmente anual. Entre los objetivos que se persigue con este control por parte de los organismos de tránsito de los Estados es garantizar el cuidado del ambiente a través del aseguramiento de las condiciones en las que están operando los motores de los vehículos. Es decir, inspeccionando que no estén emitiendo gases contaminantes fuera de los rangos establecidos a causas de fallas mecánicas y otros detalles en el motor[3]. Para ello, se llevan a cabo las pruebas o evaluaciones de los gases emitidos en el sistema de escape del vehículo, con el fin de medir los diferentes gases producto de la combustión que se lleva a cabo en el motor; todo esto a través de equipos diseñados para tal fin. De acuerdo a la forma de realizar esta prueba se clasifican en estáticas y dinámicas [4].

Los gases de escape de los vehículos representan un indicador de cómo está el funcionamiento del motor, además de ser la base para el sistema de diagnóstico de emisiones y pruebas [5]. Tanto en Europa como en Ecuador se plantean un conjunto de disposiciones y realizan un grupo de evaluaciones conocidas como pruebas estáticas y dinámicas. Cada país o bloque ha adoptado normativas o protocolos que definen el empleo de una u otra, así, como valores referenciales o límites, que son usados para evaluar un vehículo que es sometido a revisión técnica. Rocha, et al. [6] mencionan que en el caso de Ecuador las pruebas estáticas se sustentan en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2-203:2000, la cual brinda especificaciones para la determinación de la concentración de emisiones de escape en condición Ralentí o mínima marcha.

Las pruebas en el bloque europeo son de tipo dinámicas y se rigen por las normas EURO de las cuales ya hay seis de estas disposiciones y se proyecta la norma EURO 7 [7] [8]. Estas se establecieron para precisar las emisiones de gases de los vehículos tanto a diésel como a gasolina [9]. En las pruebas estáticas que se realizan en el Ecuador, las lecturas se toman pasando del ralentí bajo al alto, sin carga sobre el vehículo. Al no replicar las condiciones reales, existe posibilidades de error o no representatividad de los niveles de emisión de contaminantes al ambiente.

En el caso europeo, en las pruebas dinámicas se necesita el enriquecimiento de la mezcla, es decir, se incrementa la proporción de combustible versus la de aire. En este caso, y dependiendo de las condiciones del motor, se puede tener mayor proporción que la permitida de gases contaminantes que salen por el escape [10] [11]. Adicionalmente, se realizan las evaluaciones de los vehículos con diversos tipos de carga, por lo

que mientras más peso se necesita mover con el vehículo, más consumo de gasolina o diésel es necesario y por tanto mayor emisión de gases.

Investigaciones efectuadas en torno a la medición de gases han permitido construir un cúmulo de conocimientos que se tomaron en cuenta para contrastar las normativas ecuatorianas INEN y las europeas conocidas como EURO, así como las pruebas estáticas y dinámicas que se aplican en cada región o país. En este contexto, la investigación llevada a cabo por Antamba, Reyes, y Granja [12] tuvo como objetivo fundamental; realizar una comparación de los valores producto de las lecturas obtenidas de las pruebas realizadas en vehículos en torno a las emisiones de gases contaminantes en los países que forman parte de la comunidad andina, a través de pruebas dinámicas y estáticas. Al respecto, para el proceso de ensayo y mediciones de las pruebas estáticas fueron basados en las normas NTE INEM 2204, para ello fueron tomadas en cuenta aspectos de: régimen de alto giro, ralentí. También se destaca con relación a las pruebas dinámicas, que estas fueron ejecutadas de acuerdo con los ciclos americanos (ASM 25-25) y (50-50) con el fin de comparar los resultados que se obtuvieron. Asimismo, la investigación fue de tipo documental descriptivo, pues se desarrollaron análisis de pruebas y ensayos bajo las normas antes referidas.

Es importante resaltar que, de acuerdo con los resultados obtenidos por Reyes, y Granja, producto de las pruebas estáticas y dinámicas efectuadas al vehículo Chevrolet Sail; considerado como el más vendido en el Ecuador, se desprende con respecto a la prueba estática (a ralentí) que los vehículos en este país presentan menores emisiones que vehículos de otros países como Colombia y Bogotá. De este análisis es posible determinar que los combustibles sujetos a prueba cumplen con las normas NTE INEM 2204, pues los resultados demostrados están entre

el límite máximo permitido para vehículos en ralentí de 200 ppm.

En este orden de ideas, para los resultados derivados de las pruebas dinámicas; se tiene que el combustible comercializado en Ecuador presentó valores de 0,16% CO, el cual es un porcentaje aceptable según la norma mencionada.

Rocha, et al., [6] en su proyecto investigativo, plantearon como objetivo central efectuar un análisis de los motores de encendido basado en parámetros internacionales para evaluar la variabilidad que presentan las pruebas tanto estáticas a ralentí (2500 ppm) como dinámicas (ASM 50-15), (ASM 25-25) Y (IM 240). Cabe destacar que este estudio contó con una metodología explicativa tomando como punto de partida la aplicación de un método de tipo experimental. Adicionalmente, se determinan las cantidades en cuanto a los volúmenes de emisión de gases ante el uso de gasolina extra a través de las pruebas dinámicas y estáticas; a fin de obtener resultados óptimos, se efectuaron repeticiones de estas pruebas.

Mediante la aplicación de estas pruebas se estima que las divergencias entre las emisiones de dióxido de carbono puedan ser más elevadas en los países que aplican normativas europeas. Con base en los resultados producto de los análisis de los gases de escape por medio de las pruebas aplicadas, se determina que existe una variación en los valores de la prueba estática y la dinámica, esto se debe a que la exigencia respecto al motor en cada una de estas es diferente. En tal sentido, se observó que el motor en ralentí genera más gases en esta condición. Mientras que, en la prueba estática, se denotó que cuando el vehículo aceleraba existía una disminución de los contaminantes, por ende, excede los límites estipulados en la norma.

Se extrae de este estudio que en la prueba estática el sistema de inyección del automóvil no trabaja correctamente, lo cual se debe a que el factor lambda varía entre 1.18 y 1.79, afectando el

funcionamiento operativo del motor por causa del empobrecimiento de la mezcla. Por el contrario, para la prueba estática está cercano al factor 1, caracterizado por ser un parámetro aceptable para que se forme la mezcla estequiométrica [6]

Los estudios antes citados, evidencian una discrepancia en los criterios para implementar una prueba estática o dinámica y plantea la necesidad de conocer qué aspectos deben considerarse en un análisis comparativo de las pruebas dinámicas y estáticas, tomando en consideración las normas UNEN de Ecuador y EURO del bloque europeo. Todo esto como fundamento para determinar su efectividad, precisión y apropiada aplicación tomando en cuenta las particularidades de cada región o país.

En esta investigación se tuvo como objetivo principal realizar un estudio comparativo de las consideraciones técnicas y procedimientos establecidos en las normativas INEN de Ecuador y EURO de la Comunidad Europea, para el desarrollo de pruebas dinámicas y estáticas en vehículos. Todo esto partiendo de una caracterización de dichas pruebas y precisando parámetros, consideraciones técnicas, unidades de medición.

El abordaje investigativo tomo en cuenta una indagación documental sobre las normas vigentes en el Ecuador y en Europa, bajo las cuales se sustentan las pruebas que se realizan en los vehículos para precisar el nivel de emisión de gases contaminantes. También se efectuó la comparación de los resultados de una prueba estática y dinámica llevada a cabo en el Ecuador a un vehículo Chevrolet Sail con las especificaciones descritas en la norma EURO 4. Los reportes de cada prueba son analizados y comparados, tomando en cuenta cada parámetro, factores que pueden incidir en las mediciones, como es el caso de la altitud, entre otros.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes

Desde la década de los años 90 del siglo pasado, en el Ecuador se comenzó a hacer uso de equipos para llevar a cabo pruebas de opacidad al transporte público, específicamente en de la ciudad de Quito, dada la elevada contaminación del aire. Es en el año 2003 que se configura y se hace uso del primer CRTV en la ciudad de Quito. En el año 2008, cuando Directorio del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) aprueba el primer Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017:2008, en el cual se establecieron los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, el cual ha sido actualizado en los años posteriores [5].

Con el fin de cumplir con los límites de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina no solo en el Ecuador sino, en todo el mundo, se encuentran en constante análisis y revisión los automotores para mejorar la tecnología. En el año 2017 el 94% de los cantones la revisión se llevaba a cabo de manera manual [13]. Para el año 2019, 13 municipios de los 221 que conforman el Ecuador, contaban con Centros de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) similares en las ciudades de: Guayaquil, Cuenca, Milagro, entre otras, los demás municipios contaban en ese entonces con Centros de Revisión Vehicular Manual (CRVM), donde solo se inspeccionaban de manera visual los desperfectos mecánicos en vehículos como el caso de fugas de aceite, condiciones de carrocería, labrado de las llantas, luces y parabrisas [14].

La entrada en vigencia de las normas Euro datan del año 1992, con la aparición de la Euro 1. Posteriormente, estas fueron adaptándose y tomando en cuenta otros factores y criterios, teniéndose en la actualidad la Euro 6 (Ver Tabla 1). Las versiones de la norma se han presentado con un promedio de cada 5 años, para lo cual los vehículos que se comercializan en el bloque

Europeo deben adaptarse, ya que con cada actualización se incrementan las exigencias [15].

Tabla 1
Cronología de las normas Euro

Norma	Mes	año
Euro 1	Julio	1992
Euro 2	Enero	1996
Euro 3	Enero	2000
Euro 4	Enero	2005
Euro 5	Septiembre	2009
Euro 6	Septiembre	2014

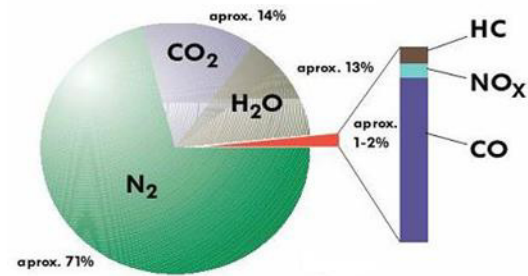
Fuente: [15]

2.2. Emisiones contaminantes de vehículos

La mayoría de los vehículos, trabajan bajo el ciclo de Otto, es decir, el proceso termodinámico que se da en los motores de combustión interna. Básicamente, la combustión que se produce en el motor de los vehículos consiste en la quema del combustible para que este libere energía, la cual se transforma en trabajo, es decir, en movimiento [16]. Los gases de escape se generan a partir de la transformación que sufre el combustible en los motores durante el proceso de combustión [17].

La generación de gases contaminantes, en proporciones mayores las especificadas por el fabricante, está asociado a un mal funcionamiento del sistema de combustión en el motor y a la falta de oxígeno en el sistema, lo que ocasiona que el combustible no se logre mezclar de manera apropiada en la cámara de combustión originando residuos no deseados. Estos gases generan un gran impacto ambiental sobre la naturaleza y los seres humanos. Los principales gases generados por los motores de combustión de vehículos son el dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos [18]

Figura 1. Composición típica de los gases de escape en motores de gasolina



Fuente: [17]

2.3. Normativas anticontaminación

Los esfuerzos realizados para controlar la contaminación ambiental se han efectuado desde tiempos atrás, pues en Inglaterra, específicamente en el siglo XIV, originado por el uso de carbón bituminoso, se preveían algunas medidas cuyo objetivo consistía en controlar las emisiones de humo [18]. Por consiguiente, para el siglo XVII, se planteaba relocalizar las industrias en zonas apartadas de la ciudad, para minimizar las emisiones. En la actualidad, existe un conjunto de protocolos, tratados y convenios internacionales sobre el medio ambiente, los cuales en su mayoría deben ser cumplidos con obligatoriedad por parte de los países que formalmente los han establecido [19].

Con base en lo antes mencionado, la Organización de las Naciones Unidas [20] plantea que el Protocolo de Kioto es uno de los acuerdos actuales establecidos para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, el cual comprometió a las naciones signatarias industrializadas a reducir las emisiones de estos gases. Este documento contempla metas en torno a la disminución de gases para 37 países y la Unión Europea, considerando que para el año 1997, fueron los responsables principales de los niveles elevados de emisiones de gases de efecto invernadero.

Otra de las normativas que actualmente rigen en torno a la reducción de gases contaminantes; está

basado en el Acuerdo de París, que según la Organización de las Naciones Unidas [21] es un tratado de aplicabilidad internacional que entró en vigencia en el año 2016, siendo su objetivo principal limitar el calentamiento global a valores inferiores a 2 grados centígrados (°C). El referido acuerdo marca un precedente histórico dentro del proceso hacia el cambio climático, pues es el primer acuerdo en el que todos los países se unen por una causa común en pro de la reducción de gases contaminantes del medio ambiente.

En este contexto cabe destacar que, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas [22] constituyen un llamado de acción a los países para erradicar la pobreza, brindar protección al clima y medio ambiente de la tierra, y así garantizar la prosperidad y paz de las personas. Considerando que, dentro de estos 17 ODS, dos están relacionados directamente a la reducción de la contaminación ambiental.

El objetivo 7 contempla entre una de sus metas; incrementar la cooperación internacional para permitir el acceso a las tecnologías asociadas a la energía limpia que incluye la eficiencia energética, fuentes renovables y tecnologías innovadoras que sean menos contaminantes de combustibles fósiles, en torno a esto, incentivar las inversiones de infraestructuras tanto energéticas como de tecnologías limpias [25]. El ODS 13 está centrado en fomentar mecanismos para elevar la capacidad relativa a la gestión y planificación eficaces asociadas con el cambio climático en países menos avanzados [23].

2.4. Normas nacionales, normas internacionales vinculadas con la emisión de gases contaminantes y pruebas en vehículos

Para el control de las emisiones de gases se han estipulado normas y disposiciones técnicas que han regido el sistema de revisión vehicular

2.4.1. Normas que rigen la RTV en el Ecuador relacionadas con las pruebas estáticas y dinámicas.

Las principales normativas existentes en el Ecuador para las pruebas estáticas y dinámicas en la RTV son las realizadas por el INEN son las siguientes:

a) La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003 "Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos.", publicada en el Registro Oficial No. 745 del 15 de enero del 2003 y sus correspondientes actualizaciones. En esta norma se detallan los procedimientos a seguir para realizar la revisión técnica vehicular obligatoria [24].

b) La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 202:99 "Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Opacidad de Emisiones de Escape de Motores de Diésel Mediante la Prueba Estática. Método de Aceleración Libre", publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 de 7 de julio del 2000 y sus correspondientes actualizaciones. Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor diésel mediante el método de aceleración libre [25].

c) La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:99 "Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o "Ralentí", Prueba Estática", publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 del 7 de julio del 2000 y sus correspondientes actualizaciones. Esta norma establece el método para determinar la concentración de emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos con motor encendido por chispa [26].

d) La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:99 " Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores. Vehículos Automotores. Límites

permitidos de emisiones por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina", publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 del 7 de julio del 2000 y sus correspondientes actualizaciones. Esta norma establece los límites de contaminación permitidos por vehículos que emplean gasolina [27].

2.4.2. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003 en cuanto a las pruebas

Con respecto a las pruebas para emisiones de gases de escape, la según la INEN [24] en la norma NTE INEN 2 349:2003 dice lo siguiente:

2.4.2.1. Prueba de emisiones:

a) Para los vehículos propulsados por motores ciclo Otto de 4 tiempos, el método de ensayo debe ser el descrito en la NTE INEN 2203.

b) Para los vehículos propulsados por motores de ciclo Diésel, el método de ensayo debe ser el descrito en la NTE INEN 2202

2.4.3. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204 en cuanto a las pruebas para motores a gasolina

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, según INEN [27].

Tabla 2

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

Año modelo	% COa		ppm HCa	
	0 - 1500b	1500 - 3000b	0 - 1500b	1500 - 3000b

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	1000	1200

a Volumen

b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Fuente: [27]

2.5. Pruebas estáticas y dinámicas de emisión de gases en vehículos

Las pruebas estáticas son evaluaciones efectuadas a los vehículos en las que no se aplican cargas externas al motor, llevándose a cabo en condición de marcha mínima o ralentí [31]. Es decir, la velocidad del motor para mantenerlo encendido sin carga como se muestra en la figura 2. Según el tipo de transmisión, se mantiene en neutro para vehículo de transmisión manual y en parqueo para transmisión automática [6]. En cuanto a la clasificación de estas pruebas estáticas Martínez [4] expone que estas pueden ser:

Prueba ralentí elevado: En la cual se eleva la velocidad del motor entre 2000 y 3000 RPM por un tiempo establecido para tomar las lecturas de los gases de escape, luego se mantiene en 900 RPM por un tiempo y se toman las lecturas de los gases. Esta prueba es adecuada para vehículos carburados.

Prueba ralentí elevada con prueba lambda: es una combinación de ralentí elevada con prueba lambda, el cual es adecuado para vehículos modernos con sistema de inyección y catalizador.

Figura 2. Prueba estática



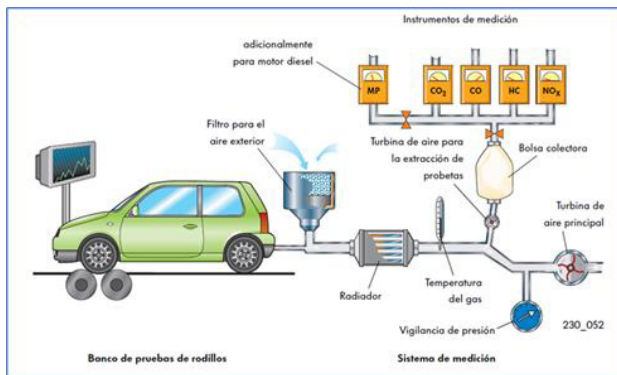
Fuente: [6]

Por su parte las pruebas dinámicas, se aplica carga exterior durante el funcionamiento del motor, haciendo uso de un dinamómetro, como se muestra en la figura 3, clasificándose estas, según la forma de aplicar la carga en dos como son: estables y transitorias [4].

Prueba dinámica estable: en esta prueba la carga externa aplicada al motor se mantiene constante en su magnitud en función del tiempo.

Prueba dinámica transitoria: en esta prueba la carga externa aplicada al motor cambia su magnitud en función al tiempo, simulando aceleración en el vehículo.

Figura 3. Prueba dinamica



Fuente: [6]

2.6. Modelos matemáticos vinculados con el la determinación de gases contaminantes.

El análisis del ciclo de funcionamiento de un motor de combustión interna facilita determinar que para la ejecución de un trabajo efectivo se requiere una parte del calor producido durante el proceso de quema del carburante en la cámara del motor [32] [33]

$$Q_o = Q_e + Q_{ref} + Q_g + Q_l + Q_{ci} + Q_r ; [J s]$$

Dónde:

Q_o – Cantidad total de calor introducida con la combustión del combustible en el régimen de cálculo dado, [J s]

Q_e – Cantidad de calor equivalente al trabajo efectivo del motor,

Q_{ref} – Cantidad de calor cedido al medio refrigerante,

Q_g – Cantidad de calor que se llevan los gases de escape,

Q_l – Cantidad de calor cedido al sistema de lubricación

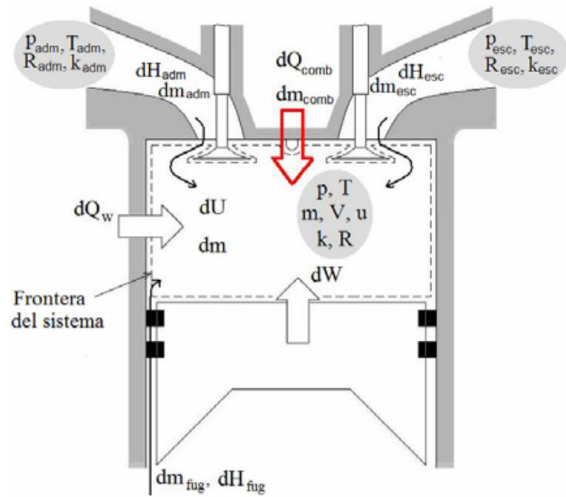
Q_{ci} – Cantidad de calor que no se libera producto de una combustión incompleta del combustible,

Q_r – Cantidad de calor restante que no se ha incluido en las pérdidas anteriores.

El sistema representado por un motor de un vehículo, se puede considerar como una máquina de trabajo, por lo cual su comportamiento termodinámico y el proceso de combustión que permite generar trabajo puede estudiarse tomando el esquema mostrado en la figura 4.

Resultante de la combustión de la gasolina en las cámaras del motor se tiene genera un gas compuesto por gases de escape recirculados, gases residuales, aire y combustible. Al reaccionar estos se transforman en subproductos como CO, H₂O, CO₂ entre otros, teniéndose además una conversión de la energía química en energía térmica [16]. Desde el punto de vista del trabajo, se puede decir que está representada por la energía que se transmite de un sistema a otro, debido a la acción de la fuerza que produce el desplazamiento del pistón. En este sentido, la combustión de la gasolina genera que el gas que se forma en la cámara del motor ejerza una presión en el pistón, haciendo que pase de un punto A hasta un punto B, recorriendo una distancia dx.

Figura 4. Modelo termodinámico de un motor a combustión



Fuente: [16]

Este sistema se describe según la ecuación siguiente

$$\frac{dE_{sis}}{dt} = \frac{dU}{dt} = \frac{dQ_{comb}}{dt} + \frac{dQ_{refr}}{dt} + \frac{dW}{dt} + \frac{dm_{adm} h_{adm}}{dt} + \frac{dm_{esc} h_{esc}}{dt} + \frac{dm_{fug} h_{fug}}{dt}$$

Donde:

E_{sis} = Energía del sistema

Q_{comb} = Energía suministrada al sistema con el combustible

$m_{adm} * h_{adm}$ = Carga de admisión

W = Trabajo mecánico

Q_{refr} = Calor disipado a través del refrigerante

$m_{esc} * h_{esc}$ = Calor de los gases de escape

$m_{fug} * h_{fug}$ = Calor equivalente de los gases de la cámara que se fugan a través de intersticios entre los segmentos

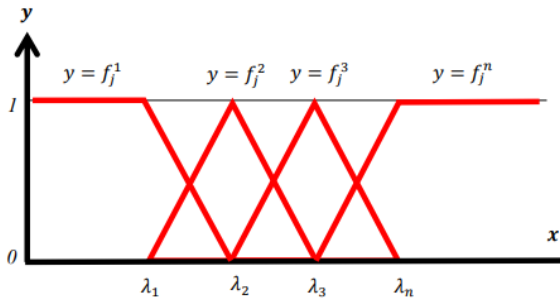
Se puede decir que la variación de la energía interna que se tiene en la cámara del motor, es resultante de los cambios por unidad de tiempo de la energía que se suministra a través del

combustible, siendo esta Q_{comb} en la ecuación que describe el sistema, así como la carga de admisión ($m_{adm} * h_{adm}$) y otros factores como el calor que se disipa a través de las paredes del refrigerante (Q_{refr}), el calor que se fuga a través de los intersticios, el que se genera como trabajo mecánico (W) e inclusive el calor de los gases de escape.

Otro de los aspectos que se han tratado de estudiar bajo consideraciones matemáticas es la evaluación de la calidad del aire. Este representa un indicador de los niveles de contaminación existentes. A nivel mundial se han establecido métodos para estimar, predecir, calcular o medir las concentraciones de gases contaminantes en el aire e incluso su depósito en superficies para un momento específico [28].

Existen métodos como el de Triangulación del punto medio en base a funciones de Whitenización – CTWF o metodología de análisis de Grey Clustering, en este como se puede ver en la Figura 4, los valores que asume el eje de las “y” correspondientes a f_j^1 = muy buena calidad, f_j^2 = buena calidad, f_j^3 = mala calidad y f_j^4 = muy mala calidad. Esta categorización permite posteriormente determinar a través de las ecuaciones 1, 2, y 3 los correspondientes a cada parámetro analizado según los estándares establecidos para el NO₂, otros gases como el SO₂, que se generan tras la combustión de combustibles con contenido de azufre, el PM₁₀ y PM_{2.5} que corresponde a las partículas sólidas de hollín, cenizas, entre otras suspendidas en el aire [29].

Figura 5. CTWF en relación al Índice Anual de Calidad Ambiental



Fuente: [29].

$$f_j^1(x_{i,j}) = \begin{cases} 1, & x \in [0, \lambda_j^1] \\ \frac{\lambda_j^2 - x}{\lambda_j^2 - \lambda_j^1}, & x \in]\lambda_j^1, \lambda_j^2[\\ 0, & x \in [\lambda_j^2, +\infty[\end{cases}$$

$$f_j^k(x_{i,j}) = \begin{cases} \frac{x - \lambda_j^{k-1}}{\lambda_j^k - \lambda_j^{k-1}}, & x \in]\lambda_j^{k-1}, \lambda_j^k[\\ \frac{\lambda_j^{k+1} - x}{\lambda_j^{k+1} - \lambda_j^k}, & x \in]\lambda_j^k, \lambda_j^{k+1}[\\ 0, & x \in [0, \lambda_j^{k-1}] \cup [\lambda_j^{k+1}, +\infty[\end{cases} \quad ($$

$$f_j^4(x_{i,j}) = \begin{cases} \frac{x - \lambda_j^3}{\lambda_j^4 - \lambda_j^3}, & x \in]\lambda_j^3, \lambda_j^4[\\ 1, & x \in [\lambda_j^4, +\infty[\\ 0, & x \in [0, \lambda_j^3] \end{cases}$$

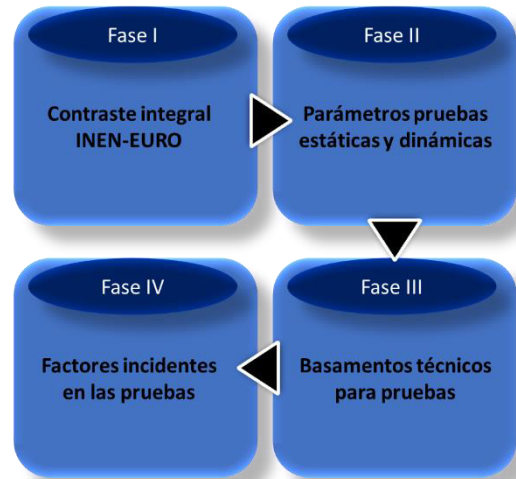
A partir de los resultados de las ecuaciones antes mencionadas se determina el peso de cada parámetro en el índice de calidad ambiental, conocido como peso clustering n_{ij} , dada por la ecuación 4

$$n_j^k = \frac{1/\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^m 1/\lambda_j^k}$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se encuadra en proceso de indagación científica apoyado por una exhaustiva revisión documental. El trabajo se soporta en una investigación de alcance descriptivo, es decir y tomando en cuenta lo expresado por Hernández et al. [28] aborda el fenómeno estudiado y sus elementos constituyentes, especificando características y propiedades, precisando además tendencias. En este sentido el presente trabajo considera este alcance investigativo por cuanto describirá al detalle, aspectos técnicos, procedimientos y demás consideraciones vinculadas a las pruebas estáticas y dinámicas en vehículos con base en las normas INEN y EURO. Esto será base para la contrastar criterios y procesos aplicados tanto en Ecuador como en el bloque europeo respecto a las modalidades de prueba (estática o dinámica).

Figura 6. Procedimiento metodológico aplicado



Fuente: los autores

3.1. Fase I: Contraste del esquema de medición de las normas INEN y EURO

La evaluación se efectuó considerando los criterios establecidos tanto en las normas INEN como en la EURO. Para ello se extrajeron los criterios de medición, los parámetros a ser

medidos. Se realizó un contrato de las distintas pautas que indican el nivel de emisión de gases contaminante, así como las especificaciones que debe

3.2. Fase II: Indagación de los parámetros reflejados en los informes de pruebas estáticas y dinámicas efectuadas por Ecuador y países europeos

En esta fase se comparó los principales reportes emitidos por organismos oficiales tanto del Ecuador como del bloque europeo, precisando elementos que son reflejados en dicho reporte y que determinan el nivel de cumplimientos de los requisitos de las normas. Esto, además, constituyó la base de comparación de elementos como parámetros reflejados, rango aceptado para dar por aprobado o certificar que un vehículo cumple con las disposiciones de la norma.

Se evaluó las mediciones de CO, HC, NOx tomando como condiciones las establecidas en las normativas que rigen las pruebas estáticas y dinámicas.

3.3. Fase III: Determinación de las sustentaciones en cada país o región del empleo de un determinado tipo de prueba (estática Vs dinámica)

Se efectuó una esquematización de los argumentos y consideraciones técnicas que sustentan la implementación de un determinado tipo de prueba. Por el lado ecuatoriano, el mantenimiento del esquema de pruebas estáticas y en el bloque europeo la ejecución de pruebas dinámicas y las variaciones que han tenido con base en las normas EURO 4, 5 y 6

3.4. Fase IV: Análisis de los factores incidentes en la representatividad y confiabilidad de los resultados de las pruebas estáticas y dinámicas


Se investigó acerca de factores que pudieran tener repercusión en los resultados de las pruebas dinámicas y estáticas que se desarrollan en Europa y en el Ecuador respectivamente, específicamente en agentes como tipo o

característica del combustible, del equipo de medición y la altitud o altura geográfica.

3.5. Consideraciones generales en la metodología

Para generar condiciones paritarias o proporcionales que faciliten comparar las pruebas estáticas que se realizan en el Ecuador con las efectuadas en Europa, se tomó como referencia análisis efectuados a un vehículo Chevrolet Sail, esto debido a que es uno de los más comunes y comercializados a nivel nacional y en la región europea. Este es uno de los modelos de autos más vendidos en el país, en tal sentido fue factible la ubicación de datos reales de pruebas realizadas. Para la comparación se usó como referencia la norma EURO 4 (Ver tabla 3)

Tabla 3
Características básicas del vehículo considerado en el estudio

Vehículo	Características
	Año: 2013
	Motor 1.5 L
	Potencia 109 Hp
	Torque: 141 Nm

Fuente: [15]

En el Ecuador existen tres tipos de gasolina la super que tiene 92 octanos, el eco país de 87 y 85 octanos, la extra cuyo octanaje es igual a la de eco país, pero dispone de un 5% de contenido de etanol [30]. En el caso europeo la gasolina de menor octanaje es de 95, pero igual se consigue de 98 octanos. Se buscó en este estudio tener condiciones similares se optó por considerar resultados de pruebas en vehículos que hayan empleado el combustible descrito en la tabla 4.

Tabla 4
Características de la gasolina considerados en el estudio

Ecuador	Europa
Nombre: Super	Nombre: Sin plomo 95
Octanaje:92	Octanaje:95

Fuente: [31] [32]

Las normas que fueron consideradas para realizar la comparación de los criterios y parámetros de medición tanto de pruebas estáticas como dinámicas se exponen en la tabla 5.

Tabla 5
Normas consideradas en el estudio

Ecuador	Europa
Norma INEN	Norma Euro
Numero: 220421	Euro 4

Fuente: [28]

3.5.1. *Materiales*

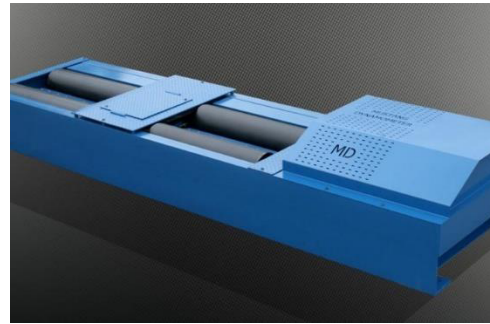
Equipos de apoyo a las pruebas de medición de gases en vehículos

Las pruebas estáticas o dinámicas se realizan a través del empleo de un sistema compuesto de manera principal por el dinamómetro y la máquina de medición de gases [6]. En lo que respecta a los dinamómetros, se sabe que estos son instrumentos empleados para medir fuerzas y en el contexto de pruebas a vehículos, estos miden el par y la potencia que produce una máquina, en este sentido el dinamómetro automotriz determina el torque y los caballos de fuerza que puede generar un vehículo.

Las pruebas dinámicas se realizan con el apoyo de un dinamómetro dinámico o mejor conocido como dinamómetro de chasis [34]. Este es un

equipo de prueba en la que se simulan las aceleraciones al mismo tiempo que se miden las emisiones de gases. En otras palabras, se replican las condiciones que se tendría un vehículo en carretera bajo un entorno controlado.

Figura 7. Dinamómetro de chasis



Fuente: [41]

En condiciones estáticas son conocidos los dinamómetros de banco, los cuales por su disposición, se acopla de manera directa a la unidad de absorción de potencia o a la flecha del motor, tomando de estos puntos las lecturas para determinar la potencia, dependiendo del principio de funcionamiento considerado

Figura 8. Dinamómetro de banco



Fuente: [42]

El nivel de emisión de los gases se determina con el medidor de gases. Este es un equipo especial y sensores para precisar la concentración de gases a partir de una muestra que se toma directamente del tubo de escape del vehículo [18].

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Comparativas de los alcances de las pruebas dinámicas y estáticas

La indagación en torno a la efectividad de las normas aplicadas en Europa versus la empleada en el Ecuador llevó a realizar una macro comparación desde el contexto de los niveles de contaminación, considerándose los valores de la calidad del aire en un país del bloque europeo como España y el Ecuador. Los niveles de gases contaminantes en Ecuador se han superado en reiteradas oportunidades según reporte de la Secretaría de Ambiente del Ecuador, mientras que en España el informe anual indica que todos los parámetros con el que se monitorea la calidad del aire CO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} no han sido superados en los últimos años. Esto permitió inferir que hay una efectividad por parte de los mecanismos de control en países europeos y en especial por el cumplimiento de las normas EURO.

Las normativas europeas tienden a tomar como referencia los valores máximos recomendados por la Organización Mundial de la Salud. En el caso de Ecuador, como país

que ha asumido compromisos internacionales en materia de cuidado del ambiente igualmente establece valores límites referenciales que condicionan el máximo de emisión de contaminantes por parte del parque automotor. Como puede apreciarse en la Tabla 4, los niveles máximos que plantea el Ecuador y Europa difieren en algunos parámetros significativamente, mientras que en los otros son similares o muy cercano. Comparando, los límites de los contaminantes, se apreció que, en el caso del bloque europeo la variable PM₁₀ los niveles máximos anuales que se deberían identificar en el ambiente serían de 40 µg /m³, mientras que en el Ecuador es de 50 µg /m³ esto permitió inferir que existe una mayor tolerancia en la emisión de PM₁₀ por lo cual es de esperarse que haya menor exigencia en las normas que controlan los niveles de gases que pueden ser emitidos al ambiente.

Para el caso del CO₂ las exigencias europeas establecen que no debe ser superiores a 10 mg/m³ en 24 h y en el Ecuador 60 ppm en 8 horas. Muchos de los vehículos que importa en el territorio ecuatoriana proviene de Europa, los cuales están calibrados según las condiciones y unidades de medición que se utiliza en esta región. Esto es favorable porque los niveles de exigencias en cuanto a la emisión de gases contaminantes son

mayores que en el Ecuador. Al momento de las pruebas vehiculares, se determinó que, existe un factor que genera un margen de error indirecto, aun cuando los equipos de medición pueden estar calibrados, la variación de unidades origina que se presente un margen de error al momento de convertir las lecturas a las unidades que emplea cada país o región. Mientras que en Europa el CO₂ se monitorea en mg/m³ en 24 h, el Ecuador es en ppm en 8 horas.

Tabla 4
Límites de emisión de contaminantes, normas generales para el monitoreo de gases contaminantes

	OMS		EUROPA		ECUADOR	
	Anual	24h	Anual	24h	Anual	24h
PM ₁₀ (µg /m ³)	20	50	40	50	50	100
PM _{2.5} (µg /m ³)	10	25	10	25	15	50
NO ₂ (µg /m ³)	40	4800	40	4800	40	---
SO ₂ (µg /m ³)	---	20	20	125	60	125
Otros limites						
CO ₂	----		10 mg/m ³ en 24 h		60 ppm en 8 horas	

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España (2020), UNICEF (2020)

Tomando como referencia a uno de los países europeos con mayor dinamismo en cuanto al tráfico vehicular como base para contratar con las condiciones presente en el Ecuador, se tiene que el parque automotor, específicamente de vehículos livianos de España para el año 2020 era de 24.558.126, mientras que para Ecuador según INEC (2020) esta era de 2.361.175 vehículos, es decir, equivalente a un 9% de la cantidad existente en el país europeo. Si se analiza los

niveles de CO que produjo España en el 2020 este fue de 214,847 megatoneladas, si la cantidad de vehículos fuese similar a la de Ecuador esta cifra hubiese sido de 20.656 megatoneladas, lo que significa que estaría considerablemente por debajo de lo que tuvo Ecuador para ese mismo año, cuyo valor reportado fue de 33.279 megatoneladas, lo que permitió deducir que los controles de emisión de vehículos en el país europeo son más efectivos que en el Ecuador.

Tabla 5
Comparación de niveles de contaminantes como base del contraste de la calidad del aire España vs Ecuador año 2019-2020

	España		Ecuador	
	2019	2020	2019	2020
CO ₂ (Megatoneladas)	255,831	214,847	40,007	33,279
NO ₂ (µg /m ³)	127	131	19,6	16,4
PM ₁₀ (µg /m ³)	46	45	33,2	32
PM _{2.5} (µg /m ³)	11,5	11	15,7	13,4

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España (2020) Secretaria de Ambiente del Ecuador (2019) Secretaria de Ambiente (2022)

4.1. Comparativa de integral de las normas

El estudio comparativo de las normas que determinan las condiciones y consideraciones para la evaluación de gases en Europa y en el Ecuador, permitió detectar las variaciones, fortalezas y debilidades en cada una, así como el desarrollo de las pruebas estáticas o dinámicas a los vehículos. Para el Ecuador, la norma 2204 establece los límites que los vehículos a gasolina pueden emitir en cuanto

a los gases contaminantes. Se tiene un valor máximo para el CO de 6,5% y 1% para el humo que generan los vehículos. Ahora bien, con base a la antigüedad se tiene que, los vehículos anteriores o iguales a 1989 se le es permitido hasta 6,5% de CO, mientras que los que se fabricaron en el intervalo correspondiente a 1989 y 199 el valor máximo es de 3,5%. Finalmente, para los que fueron fabricados a partir del 2000 la cantidad de CO permitida es de 1%. Si se comparan los límites homologando unidades, se aprecia en la Tabla 6 que la norma Euro 4 es significativamente más estricta que la INEN 2204 ecuatoriana. En el caso del NOX, es permitido para los vehículos que circulan en las vías del Ecuador dos veces más que en Europa, siendo el valor de 0,248 gr/km es decir 210% más que lo que establece la Euro 4.

Tabla 6.
Comparación de Normativas

Gases	Euro 4	INEN 2204	% de variación
CO	1,0 gr/km	2,11 gr/km	111%
HC	0,10 gr/km	0,25 gr/km	150%
NOX	0,08 gr/km	0,248 gr/km	210%

Fuente: los autores

4.2. Contraste de resultados de una prueba dinámica y estática bajo los marcos normativos Euro 4 y la INEN 2204

Para que un vehículo este aprobado como apto para circular, con base en los niveles de contaminación que emite, debe estar dentro de los rangos que se establecen en las normas y criterios de medición que se plasman en los procedimientos de revisión técnica vehicular. En el anexo 1 se tiene un reporte de aprobación por parte de la institución ecuatoriana responsable de la verificación de los vehículos, estos datos fueron considerados para compararlos con los resultados de una prueba estática sustentada en la Euro 4 (Ver Tabla 7).

Tabla 7
Comparación de resultados de prueba estática bajo norma INEN 2204 y dinámica según Euro 4

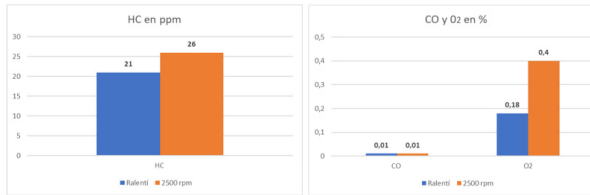
Parámetro medido	Resultados de pruebas estáticas y dinámica Chevrolet Sail		Variación %
	Prueba Estática según INEN 2204	Prueba dinámica Euro 4	
HC ralenti	21 ppm	395 ppm	1781,0 %
HC 2500 rpm	26 ppm	242 ppm	830,8 %
CO ralenti	0,01 %	0,98 %	9700,0 %
CO 2500 rpm	0,01%	1,06 %	10500,0 %
O2 en baja	0,18 %	1,36 %	655,6 %
O2 en alta	0,4 %	1,02 %	155,0 %
NOX en baja	.....	1,019 %	.....
NOX en alta	.....	1,007 %	.....
CO ₂ en baja	.....	13,6 %	.....
CO ₂ en alta	.....	13,8 %	.....

Fuente: los autores

En el caso de la prueba estática, considerando su principio de aplicación, no se tuvo el efecto de cargas externas al motor, esta se llevó en consideraciones de marcha mínima o ralenti e incrementó la velocidad llevando los RPM a 2500. Como es de esperarse existió un aumento de los niveles de contaminantes identificados por el detector de gases, en el

caso del HC el valor pasó de 21 a 26 ppm es decir un aumento del 23%, lo que se traduce en mayor emisión de contaminantes. La misma tendencia se observó en el caso de O2 donde el incremento a 2500 rpm fue de 122%

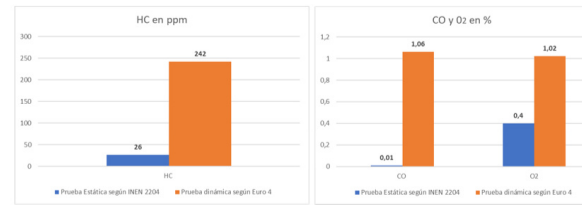
Figura 8. Resultados de HC, CO y O2 de la prueba estática realizada al Chevrolet Sail



Fuente: los autores

Comparando los niveles de emisiones de gases reportados de la prueba estática bajo norma INEN 2204 y la dinámica basada en Euro 4, en condiciones de máximo desempeño, se tuvo que el HC en la prueba estática a 2500 rpm identificó solo 26 ppm, mientras que a través de la prueba dinámica y con base en la Euro 4 este valor era 830,8 % más. Esta brecha puso de manifiesto la subestimación que se está realizando en el Ecuador al solo medir los niveles de contaminantes bajo un esquema de testeo estático. En lo que corresponde al CO y O2 las diferencias entre una prueba y otra son 10500,0 % y 155,0 % respectivamente.

Figura 9. Gráficos comparativos prueba estática y dinámica hecha al vehículo Sail



Fuente: los autores

Entre las principales diferencias entre el esquema de pruebas dinámicas y estáticas que aplica el Ecuador y el Ecuador se tuvo, que en el caso ecuatoriano no se realizan las mediciones de NOx y CO2, tampoco existen análisis que permitan tener un acercamiento más preciso a las condiciones reales, ya que se conoce que, con la variación de la carga, el nivel de inclinación de la trayectoria que debe seguir el vehículo, la frecuencia de arranques, entre otros factores, es necesario inyectar al sistema mayor volumen de combustible para que este genere un mayor trabajo. El modelo termodinámico de un motor a combustión (Ver Anexo 2) demuestra que, a través de los gases de escape, las paredes del sistema, el medio refrigerante, existe pérdidas de energía, las cuales también necesitan ser compensadas por el motor a través de la quema de más combustible, para llevar a cabo el ciclo de funcionamiento necesario. Lo anterior refleja que, es un error que el sistema de evaluación de los vehículos del Ecuador, para precisar el nivel de contaminante que emite, no está tomando en consideración la cantidad de trabajo que en condiciones reales

ejecutan los motores y menos el combustible requerido para ello, por lo cual tampoco se está determinando los volúmenes de gases de efecto invernadero está aportando a la afectación de la atmosfera y el ambiente los más de 2.361.175 vehículos.

La altitud es otro de los factores que no se considera de manera sistemática en el esquema de revisión de vehicular ecuatoriano, se sabe que a mayor altitud hay una menor disminución de oxígeno, condición que repercute en el proceso de combustión, generando pérdida de torque y potencia, lo que representa que los automóviles necesiten emplear más combustible. Tomando en consideración lo anterior, se puede demostrar que un vehículo que fue aprobado en una revisión vehicular en la ciudad de Ambato que se encuentra a 2577 m.s.n.m. pudiera realmente estar fuera de condiciones si este es trasladado a Quito a una altitud de 2850 m.s.n.m donde el motor del vehículo debe realizar más trabajo y, por tanto, utilizar más gasolina. En este contexto se hace notar que los criterios de las normas ecuatorianas no son estrictos como las Euro, por lo que existe mayor posibilidad de contaminación.

5. CONCLUSIONES

La comparación de los parámetros y sus respectivos límites expuestos tanto en la norma INEN 2204 y la Euro 4, aunado a los resultados arrojados por la prueba estática y dinámica al vehículo Sail, permiten establecer como derivaciones que el tipo de prueba que aplica el Ecuador o el programa de revisión vehicular vigente tiene poco aporte a la reducción de contaminantes en comparación con los regímenes que tiene Europa a partir de las normas Euro.

Entre las debilidades encontradas en el esquema de pruebas que realiza el Ecuador es que no se contempla la medición de parámetros de NOx y CO2 paradójicamente el país elabora anualmente reportes sobre estos parámetros como el de la Huella de Carbono o Huella Ecológica. Esto induce a inferir que las regulaciones del parque automotor no están ajustadas al logro de una mayor reducción de contaminante en la atmosfera. Es decir, existe un desfase significativo y un margen importante de vehículos que si se rigieran por la Euro 4 no estarían aptos para circular, mientras que con los límites actuales en los reglamentos de Ecuador si lo hacen.

La realidad en el parque automotor de cualquier país es que los vehículos no se

desplazan con una carga única representada por el peso del vehículo, de allí que la prueba estática que se sustenta en la norma ecuatoriana no está tomando en cuenta las condiciones de operación reales de los vehículos en las carreteras del país, ni elemento como la altitud, inclinación del terreno y otros factores que inducen a un mayor consumo de combustible y, por tanto, más emisión de gases contaminantes.

6. REFERENCIAS

- [1] C. Moncada, J. Bocarejo y D. Escobar, «Evaluación de impacto en la motorización como consecuencia de las políticas de restricción vehicular, aproximación metodológica para el caso de Bogotá y Villavicencio - Colombia,» *Información Tecnológica*, vol. 29, n° 1, pp. 161-170, 2018.
- [2] H. Huang, J. Zhang, H. Hu, K. Shaofei, S. Qi y X. Liu, «On-road emissions of fine particles and associated chemical components from motor vehicles in Wuhan, China,» *Environmental Research*, vol. 210, n° 112900, pp. 1-12, 2022.
- [3] Agencia Metropolitana de Tránsito, «Revisión Técnica Vehicular,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.amt.gob.ec/index.php/servicios/revision-tecnica/revision-tecnica-vehicular.html>.
- [4] J. Martínez, «Análisis de las emisiones en vehículos a gasolina mediante ciclos de prueba estático y dinámico en procesos de revisión técnica vehicular,» Quito, Ecuador, 2020.
- [5] A. Checa, «Evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna experimental con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas,» Quito, Ecuador, 2020.
- [6] J. Rocha, D. Zambrano, Á. Portilla, G. Erazo, G. Torres and E. Llanes, "Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas," *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 11, no. 28, pp. 97-108, 2018.
- [7] Infobae, «De qué se trata Euro 7, la norma que podría dejar a Europa sin autos de combustión interna dentro de 4 años,» 6 julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/autos/2021/07/06/de-que-se-trata-euro-7-la-norma-que-podria-dejar-a-europa-sin-autos-de-combustion-interna-dentro-de-4-anos/>.
- [8] M. Puškár y M. Kopas, «System based on thermal control of the HCCI technology developed for reduction of the vehicle NOX emissions in order to fulfil the future

- standard Euro 7,» *Science of The Total Environment*, vol. 2018, n° 643, pp. 674-680, 2018.
- [9] C. Chávez, «Identificación de las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar,» Ibarra, Ecuador, 2018.
- [10] R. Cárdenas , J. Alba y E. Chamba, «Análisis comparativo del funcionamiento de un motor Fiat Uno 1100cc utilizando gasolina extra y bioetanol,» *INCITEC Revista Técnica Tecnológica*, vol. 1, n° 2, pp. 38-47, 2021.
- [11] E. Arroyo, A. Cevallos, R. Imbaquingo y J. Melo, «Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de escape de motores de combustión interna con encendido provocado,» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 38, n° 1, pp. 148-162, 2020.
- [12] J. Antamba, G. Reyes y M. Granja , «Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina,» *Enfoque UTE*, vol. 7, n° 3, pp. 110 - 119 , 2016.
- [13] El Comercio, «Revisión vehicular es manual en 208 cantones del Ecuador,» *Diario el comercio*, 20 Julio 2017.
- [14] S. Vivanco, «Factibilidad técnico económico de un centro de revisión vehicular en el canton Quevedo,» Quevedo, Ecuador, 2019.
- [15] C. Ortega y V. Pesantes, «Comparativa de las normativas nacionales e internacionales que controlan las emisiones vehiculares,» Quito, Ecuador, 2021.
- [16] E. Llanes, J. Carguachi y J. Rocha, «Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6L,» *Enfoque UTE*, vol. 9, n° 4, pp. 221-232, 2018.
- [17] G. Jianbing, W. Yufeng, C. Haibo, L. Juhani, L. Ye, P. Ari y Y. Ying, «Variations of significant contribution regions of NOx and PN emissions for passenger cars in the real-world driving,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 424, n° 2022, pp. 1-12, 2022.
- [18] J. Gao, H. Chen, Y. Liu, J. Laurikko, Y. Li, T. Li y R. Tu, «Comparison of NOx and PN emissions between Euro 6 petrol and diesel passenger cars under real-world driving conditions,» *Science of the Total Environment*, vol. 801, n° 2021, pp. 1-10, 2021.
- [19] «Tipos de gases producidos en la combustion y sus consecuencias,» 2021.


- [En línea]. Available: <https://www.biodisol.com/cambio-climatico/tipos-de-gases-producidos-en-la-combustion-y-sus-consecuencias-energias-renovables-contaminantes-medio-ambiente-efecto-invernadero/>.
- [20] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, «Descripción general de los gases de efecto invernadero,» 2021. [En línea]. Available: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>.
- [21] H. Andrade, C. Arteaga y M. Segura, «Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia),» *Corpoica*, vol. 18, n° 1, pp. 103-112, 2017.
- [22] Organización de las Naciones Unidas, «Protocolo de Kyoto [De la Convención Marco sobre el Cambio Climático],» 2019. [En línea]. Available: <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/protocolo-kyoto-la-convencion-marco-cambio-climatico#:~:text=El%20Protocolo%20establece%20metas%20vinculantes,de%20las%20responsabilidades%20comunes%20Opero>.
- [23] Organización de las Naciones Unidas, «El Acuerdo de París,» 2020. [En línea]. Available: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>.
- [24] Organización de las Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo,» 2021. [En línea]. Available: <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>.
- [25] A. Joshi, «Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions,» *SAE Technical Papers*, vol. 2021, n° 1, pp. 1-5, 2021.
- [26] CEPAL, «Objetivos de Desarrollo del Milenio,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.cepal.org/es/temas/objetivos-de-desarrollo-del-milenio-odm/objetivos-desarrollo-milenio>.
- [27] INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003 Revisión Técnica vehicular. Procedimientos,» 15 enero 2003. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2349.pdf>.
- [28] INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana ECUATORIANA NTE INEN 2202:2013.Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre,»

2013. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2202-1.pdf>.
- [29] INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000 .Gestión ambiental. Aire. vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralenti”.Prueba estática,» 07 julio 2000. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2203.pdf>.
- [30] INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:2017 Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina,» 01 enero 2017. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2204-2.pdf.
- [31] L. Tipanluisa, A. Remache , C. Ayabaca y S. Reina, «Polluting emissions of a spark engine operating at two heights with two qualities fuels,» *Información Tecnológica*, vol. 28, n° 1, 2107.
- [32] D. Cruz, «Analysis of Mechanical and Thermal Characteristic Parameters of an Internal Combustion Engine when Different Kind of Additives are Used in Commercial Gas,» *INSTA Magazine I+D.*, vol. 3, pp. 17-19, 2020.
- [33] E. Llera, M. Lozano y J. Marín, Problemas de máquinas y motores térmicos, 1 ed., Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2018.
- [34] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, «Evaluación de la calidad del aire en España,» 2020.
- [35] A. Delgado y A. Aguirre, «Modelamiento y evaluación del nivel de calidad del aire mediante el análisis de Grey clustering, estudio de caso Lima Metropolitana,» *Tecnia*, vol. 30, n° 1, pp. 114-120, 2020.
- [36] R. Hernández, C. Fernández and P. Baptista, Metodología de la Investigación, 6 ed., Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2014.
- [37] Chevrolet, «Sail: Un auto para crecer juntos,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.chevrolet.com.ec/autos/sail-sedan>.
- [38] M. Jaramillo, «Análisis comparativo del Consumo de Gasolinas Súper y Eco país en un Vehículo Kia Cerato Forte 1600 **cm3** en la ciudad de Guayaquil,» Guayaquil, Ecuador, 2021.

7. ANEXOS

- [39] Petroecuador, «Gasolina Super con nuevo octanaje,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=6276>.
- [40] Repsol, «Tipos de gasolina y diésel,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/tipos-de-gasolina-y-diesel/>.
- [41] R. López, «Análisis Cinemático y Diseño de un Mecanismo para Realizar Mediciones de Inercia en Dinamómetros de Chasis,» Quito, Ecuador, 2019.
- [42] Autotools, «Dinamómetro de Chasis,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.autotools.co/node/200>.
- [43] G. Poalacín y B. Vilaña, «Reingeniería y mantenimiento del sistema de control mecánico y electrónico del dinamómetro de rodillos Motorroll (MD200 Hp.) Para el desarrollo de pruebas dinámicas en vehículos,» Latacunga, Ecuador, 2021.
- [44] C. Pérez, «Aplicación de la norma NTE INEN 2207: 2002 en la medición de emisiones de gases en vehículos a diesel en la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi,» Ambato, Ecuador, 2020.

Anexo 1: Resultados de prueba estática vehículo Chevrolet Sail

		AGENCIA METROPOLITANA DE TRÁNSITO REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO					
Certificado: 7995836 Adhesivo: 73852 Fecha Revisión: 2019-05-29		Marca: CHEVROLET Modelo: SAIL 4P 1.4L 4X2 TM STD Año: 2012		PLACA: PCD8215 RESULTADO APROBADO			
Chasis: 8LAUY5273C0153353 Cooperativa N. Emmop: Centro: CENTRO LIVIANOS FLORIDA ALTA Nro. Revisión: 0100616040061-02		Defectos Tipo 3: 0 Tipo 2: 0 Tipo 1: 0		CONVOCATORIA 1 / 2 Válido hasta: 2019-12-31 Fecha 1ra revisión: 2019-05-22 Kilometraje: 00053967			
Código	Tipo Defecto	Descripción Defecto	Unidad	Valor	Rango	Calif.	Ubicac.
Mecatronicas							
10.02.01.04	Mecatronicas	HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) RALENTI	ppm	21.00	000.00<-X<-159.99	OK	
10.02.01.03	Mecatronicas	O2 EN BAJAS	%	0.18	000.00<-X<-003.00	OK	
10.02.01.05	Mecatronicas	LAMBDA EN BAJAS	***	1.00	000.13<-X<-999.99	OK	
10.02.01.01	Mecatronicas	MONOXIDO DE CARBONO (CO) RALENTI	%	0.01	000.00<-X<-000.59	OK	
10.02.04.03	Mecatronicas	RPM EN RALENTI	rpm	810.00	000.01<-X<-200.00	OK	
10.02.05.04	Mecatronicas	HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) 2500 RPM	ppm	26.00	000.00<-X<-159.99	OK	
10.02.05.03	Mecatronicas	O2 EN ALTAS RPM	%	0.40	000.00<-X<-003.00	OK	
10.02.05.05	Mecatronicas	LAMBDA EN ALTAS	***	1.01	000.13<-X<-099.99	OK	
10.02.05.01	Mecatronicas	MONOXIDO DE CARBONO (CO) 2500 RPM	%	0.01	000.00<-X<-000.59	OK	
Medibles							
00.00.00.00	Medibles	RPM EN ALTAS	***	2550.00	300.00<-X<-700.00	OK	
Mecatronicas							
05.01.06.01	Mecatronicas	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 2° EJE	%	0.00	000.00<-X<-000.00	OK	
04.04.01.01	Mecatronicas	EFICACIA FRENO DE ESTACIONAMIENTO	%	0.00	000.00<-X<-000.00	OK	
ESPECIAL							
10.01.01.03	ESPECIAL	FUGAS INTERMEDIAS EN EL SILENCIADOR O CANO	***	0.00	000.00<-X<-000.00	OK	



Pag.: 1

Fecha

24 February 2022