



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

## **“ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES DE ESCAPE DE DOS VEHÍCULOS A GASOLINA EN CONDICIONES DE SIMULACIÓN DE CICLO ESTÁNDAR DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** JONATHAN WLADIMIR DE LA CRUZ CHITO;

ÁNGEL VINICIO GUAMÁN CAMACHO

**DIRECTOR:** Ing. JUAN CARLOS ROCHA HOYOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Jonathan Wladimir De La Cruz Chito & Ángel Vinicio Guamán Camacho**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, ÁNGEL VINICIO GUAMÁN CAMACHO y JONATHAN WLADIMIR DE LA CRUZ CHITO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de septiembre de 2021



**Ángel Vinicio Guamán Camacho**  
**015108917-4**



**Jonathan Wladimir De La Cruz Chito**  
**185038462-7**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES DE ESCAPE DE DOS VEHÍCULOS A GASOLINA EN CONDICIONES DE SIMULACIÓN DE CICLO ESTÁNDAR DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO**, realizado por los señores: **ÁNGEL VINICIO GUAMÁN CAMACHO Y JONATHAN WLADIMIR DE LA CRUZ CHITO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. José Francisco Pérez Fiallos MSc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS  
Firmado digitalmente por JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS

2021-09-07

Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MSc.  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

JUAN CARLOS ROCHA

Firmado digitalmente por JUAN CARLOS ROCHA  
DN: cn=JUAN CARLOS ROCHA, gn=JUAN CARLOS ROCHA, o=Escuela MEC ESCUELA POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ou=MECANICA, email=juan.rocha@espolch.edu.ec  
Motivo Soy el autor de este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2021-09-08 21:43:05:00

2021-09-07

Ing. Víctor David Bravo Morocho Mg.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
**VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO**

2021-09-07

## **DEDICATORIA**

Dedico principalmente con todo corazón el presente trabajo de integración curricular a Dios, por ser el ser divino inspirador y por brindarnos fuerzas en el trayecto de nuestras vidas buscando los anhelos que deseamos tener. A mis padres, por su gran sacrificio y apoyo incondicional que me han brindado durante estos años, gracias a ellos por ser un pilar fundamental y motivación para salir hacia adelante. A mis hermanos, y demás familia en general, por confiar en mí y por el apoyo que me han brindado durante toda mi carrera universitaria. A mis amigos y docentes que me han apoyado abriéndome las puertas y compartieron sus grandes conocimientos.

**Ángel**

En primer lugar, se lo dedico a Dios, creador de todas las cosas visible e invisible. Gracias a Él estoy aquí, y ahora es la fuente principal de mi valor y fuerza para seguir adelante en todo a pesar de todo lo que pueda pasar. A mis amados Padres quienes dieron todo su apoyo por verme triunfar, por su amor incondicional, esfuerzo y motivación y por nunca dejar de creer en mí y mantenerme firme. Doy gracias a mis amigos por su confianza, amistad y ayuda en todo el trayecto de mi vida universitaria, gracias por sus palabras de fortaleza, motivación y enseñanza para seguir adelante en la carrera, gracias a ustedes el camino a la meta se llenó de alegría y pasión. A los profesores, quienes abrieron las puertas a esta apasionante profesión, quienes con esmero dieron todo su talento y conocimiento para poder llegar a culminar esta carrera con ética, integridad y conocimiento.

**Jonathan**

## **AGRADECIMIENTO**

Durante el trayecto de nuestra vida, nos encontraremos con retos, y uno de ellos es nuestra carrera universitaria, y al involucrarme en ella me he dado cuenta que esta etapa a más de ser un reto, es un pilar fundamental para entender en lo que concierne mi futuro. Por ello, mi agradecimiento primordialmente a Dios, mi familia y amigos por su gran apoyo incondicional que me han brindado, por todos aquellos consejos y conocimientos que me inculcaron para que finalmente pueda graduarme. Agradezco también a mis docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz por los conocimientos compartidos, en especial al ingeniero Juan Carlos Rocha, quien con esmero y dedicación nos ayudó a realizar el presente trabajo de titulación.

**Ángel**

Dicen que después de la tormenta viene la calma. Y es algo muy cierto, pero más cierto es que en medio de ella siempre esta Dios. Él es quien me sostuvo en cada tormenta, cada trayecto de mi vida y dificultad, tanto universitaria como en todo lo demás. Por ello mi agradecimiento es a Él por sobre todas las cosas. Gracias Papá. Agradezco a mis padres, quienes son pilares fundamentales en mi vida para mi crecimiento y desarrollo personal y profesional. Gracias a ellos, quienes me brindaron su apoyo para poder llegar al final de esta carrera. Doy gracias a mis amigos quienes fueron de gran ayuda para mi desempeño en la carrera, parte primordial por la cual hoy puedo llegar a alcanzar esta meta de vida. A los Docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz por su conocimiento aportado para mi desarrollo profesional, en especial a la Ingeniera Ligia Moreno, quien me apoyo en los momentos difíciles de mi vida. Agradezco al Ingeniero Juan Carlos Rocha quien con esmero y dedicación nos ayudó a realizar el presente proyecto de titulación.

**Jonathan**

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	4
1.2.1. <i>Formulación de problema de investigación</i> .....	4
1.2.2. <i>Delimitación del problema planteado</i> .....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. <i>Objetivos General</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.5. (Ho): Hipótesis Nula .....	6
1.6. (Hi): Hipótesis Alternativa.....	6
1.7. Estado de arte .....	6
1.7.1. <i>MCI: Motor de combustión interna de ciclo Otto</i> .....	7
1.7.2. <i>Combustible</i> .....	7
1.7.3. <i>Tipos de combustibles</i> .....	8
1.7.4. <i>Combustibles utilizados en ecuador</i> .....	8
1.7.5. <i>Emisiones contaminantes del M.C.I.</i> .....	8
1.7.6. <i>Ciclo de conducción IM- 240</i> .....	9
1.7.7. <i>Normas de emisiones de gases de escape</i> .....	10
1.7.7.1. <i>Legislación CARB y sus límites de emisiones</i> .....	10
1.7.7.2. <i>Legislación EPA y sus límites de emisiones</i> .....	11
1.7.7.3. <i>Legislación EURO y sus límites de emisiones</i> .....	12
1.7.7.4. <i>Legislación Mexicana y sus límites de emisiones</i> .....	12
1.7.7.5. <i>Ecuador y sus límites de emisiones</i> .....	13
1.7.8. <i>Revisión bibliográfica a nivel internacional</i> .....	14

1.7.8.1.	<i>Contaminantes CO y CO2 con combustible E0 y E10, régimen transitorio</i> .....	14
1.7.9.	<b>Revisión bibliográfica a nivel nacional</b> .....	16
1.7.9.1.	<i>Factores de emisión a través de pruebas estáticas y dinámicas</i> .....	16
1.7.9.2.	<i>Factores de emisión utilizando ciclo IM240 y On Board en Quito</i> .....	17
1.7.9.3.	<i>Emisiones con prueba estacionaria y con ciclo IM240 en 5 vehículos</i> .....	19
1.7.9.4.	<i>Análisis de gases contaminantes en vehículo a gasolina en altura</i> .....	21
1.7.9.5.	<i>Contaminantes en vehículo, utilizando gasolina de la Comunidad Andina</i> .....	23

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	26
2.1.	<b>Vehículos de prueba y sus características</b> .....	26
2.2.	<b>Sistemas de inspección y mantenimiento</b> .....	27
2.3.	<b>Métodos dinámicos en estado transitorio</b> .....	27
2.3.1.	<i>Prueba americana IM240</i> .....	28
2.3.2.	<i>Procedimiento</i> .....	29
2.4.	<b>IM240 con pruebas de inspección y mantenimiento</b> .....	30
2.5.	<b>Ciclo IM240 y gases emitidos por el motor Otto</b> .....	31
2.6.	<b>Equipamiento y descripción</b> .....	31
2.6.1.	<i>Banco dinamómetro de chasis LPS 3000</i> .....	32
2.6.2.	<i>Centro de comunicación MAHA</i> .....	33
2.6.3.	<i>Analizador de gases MGT 5</i> .....	34
2.6.4.	<i>Sonda de gases</i> .....	35
2.6.5.	<i>Extractor de gases</i> .....	36
2.6.6.	<i>Tanque proveedor de gasolina</i> .....	36
2.7.	<b>Datos del ciclo a utilizar</b> .....	37
2.8.	<b>Protocolo de pruebas dinámicas ciclo IM240</b> .....	37
2.9.	<b>Análisis de los factores de emisiones de gases contaminantes</b> .....	41
2.10.	<b>Análisis de variables</b> .....	44

## CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	46
3.1.	<b>Resultados</b> .....	46
3.1.1.	<i>Rendimiento de combustible en vehículo SPGT1.2</i> .....	46
3.1.1.1.	<i>Rendimiento con combustible Extra</i> .....	46
3.1.1.2.	<i>Rendimiento con combustible Ecopaís</i> .....	47



<b>3.1.2.</b>	<b><i>Emisiones contaminantes en vehículo SPGT1.2</i></b> .....	47
<b>3.1.2.1.</b>	<i>Comportamiento de los gases de emisión</i> .....	47
<b>3.1.2.2.</b>	<i>Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Extra)</i> .....	51
<b>3.1.2.3.</b>	<i>Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Ecopaís)</i> .....	51
<b>3.1.3.</b>	<b><i>Relación de gases respecto a CO2 en vehículo SPGT1.2</i></b> .....	52
<b>3.1.3.1.</b>	<i>Gases CO, HC Y NOx en función de CO2 (combustible Extra)</i> .....	52
<b>3.1.3.2.</b>	<i>Gases CO, HC Y NOx en función de CO2 (combustible Ecopaís)</i> .....	53
<b>3.1.4.</b>	<b><i>Factores de emisión en vehículo SPGT1.2</i></b> .....	53
<b>3.1.4.1.</b>	<i>Factores de emisión (combustible Extra)</i> .....	53
<b>3.1.4.2.</b>	<i>Factores de emisión (combustible Ecopaís)</i> .....	54
<b>3.1.5.</b>	<b><i>Rendimiento de combustible en vehículo SZ2.0</i></b> .....	55
<b>3.1.5.1.</b>	<i>Rendimiento con combustible Extra</i> .....	55
<b>3.1.5.2.</b>	<i>Rendimiento con combustible Ecopaís</i> .....	55
<b>3.1.6.</b>	<b><i>Emisiones contaminantes en vehículo SZ2.0</i></b> .....	56
<b>3.1.6.1.</b>	<i>Comportamiento de los gases de emisión</i> .....	56
<b>3.1.6.2.</b>	<i>Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Extra)</i> .....	59
<b>3.1.6.3.</b>	<i>Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Ecopaís)</i> .....	60
<b>3.1.7.</b>	<b><i>Relación de gases respecto a CO2 en vehículo SZ2.0</i></b> .....	61
<b>3.1.7.1.</b>	<i>Gases CO, HC Y NOx en función de CO2 (combustible Extra)</i> .....	61
<b>3.1.7.2.</b>	<i>Gases CO, HC Y NOx en función de CO2 (combustible Ecopaís)</i> .....	61
<b>3.1.8.</b>	<b><i>Factores de emisión en vehículo SZ2.0</i></b> .....	62
<b>3.1.8.1.</b>	<i>Factores de emisión (combustible Extra)</i> .....	62
<b>3.1.8.2.</b>	<i>Factores de emisión (combustible Ecopaís)</i> .....	62
<b>3.2.</b>	<b>Discusión de resultados</b> .....	63
<b>3.2.1.</b>	<b><i>Rendimiento de combustible</i></b> .....	63
<b>3.2.2.</b>	<b><i>Emisiones contaminantes</i></b> .....	68
<b>3.2.3.</b>	<b><i>Factores de emisión</i></b> .....	72
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	85
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	86
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Descripción de vehículos sometidos a las pruebas .....	5
<b>Tabla 2-1:</b>	Límites de emisiones para vehículos de pasajeros según EPA .....	11
<b>Tabla 3-1:</b>	Límites de emisiones por legislación EURO .....	12
<b>Tabla 4-1:</b>	Límites máximos permisibles (método estático) en México.....	12
<b>Tabla 5-1:</b>	Límites máximos permisibles (método dinámico) en México .....	13
<b>Tabla 6-1:</b>	Límite máximo de emisiones en Ecuador_ método estática .....	13
<b>Tabla 7-1:</b>	Límite máximo de emisiones en Ecuador_ método dinámica.....	14
<b>Tabla 8-1:</b>	Factores de emisión del CO, HC y NOx al utilizar el ciclo IM240 .....	18
<b>Tabla 9-1:</b>	Factores de emisión del CO, HC y NOx al utilizar el ciclo On Board.....	18
<b>Tabla 10-1:</b>	Factores de emisión en prueba estática de vehículos a gasolina .....	20
<b>Tabla 11-1:</b>	Factores de emisión en prueba dinámica de vehículos a gasolina .....	20
<b>Tabla 1-2:</b>	Vehículos de pruebas y sus características .....	26
<b>Tabla 2-2:</b>	Característica de manejo en el ciclo de conducción.....	30
<b>Tabla 3-2:</b>	Información técnica obtenida del dinamómetro (LPS-3000).....	33
<b>Tabla 4-2:</b>	Información técnica del analizador MGT-5.....	35
<b>Tabla 5-2:</b>	Nomenclatura de los niveles de factores para análisis .....	44
<b>Tabla 6-2:</b>	Designación para tratar el análisis de las gráficas de superficies .....	44
<b>Tabla 7-2:</b>	Designación para tratar el análisis de varianza mínima .....	45
<b>Tabla 1-3:</b>	Rendimiento de combustible_ Extra_SPGT1.2.....	46
<b>Tabla 2-3:</b>	Rendimiento de combustible_ Ecopaís_SPGT1.2.....	47
<b>Tabla 3-3:</b>	Emisiones contaminantes_Extra_SPGT1.2 .....	51
<b>Tabla 4-3:</b>	Emisiones contaminantes_Ecopaís_SPGT1.2.....	52
<b>Tabla 5-3:</b>	Relación de gases en función de CO2_Extra_SPGT1.2.....	52
<b>Tabla 6-3:</b>	Relación de gases en función de CO2_Ecopaís_SPGT1.2.....	53
<b>Tabla 7-3:</b>	Factores de emisión_Extra_SPGT1.2 .....	54
<b>Tabla 8-3:</b>	Factores de emisión_Ecopaís_SPGT1.2.....	54
<b>Tabla 9-3:</b>	Rendimiento de combustible_ Extra_SZ2.0 .....	55
<b>Tabla 10-3:</b>	Rendimiento de combustible_ Ecopaís_SZ2.0.....	56
<b>Tabla 11-3:</b>	Emisiones contaminantes_Extra_SZ2.0 .....	60
<b>Tabla 12-3:</b>	Emisiones contaminantes_Ecopaís_SZ2.0 .....	60
<b>Tabla 13-3:</b>	Relación de gases en función de CO2_Extra_SZ2.0 .....	61
<b>Tabla 14-3:</b>	Relación de gases en función de CO2_Ecopaís_SZ2.0.....	61
<b>Tabla 15-3:</b>	Factores de emisión_Extra_SZ2.0 .....	62
<b>Tabla 16-3:</b>	Factores de emisión_Ecopaís_SZ2.0 .....	63
<b>Tabla 17-3:</b>	Rendimiento de combustible.....	64

<b>Tabla 18-3:</b>	Método LSD en rendimiento.....	64
<b>Tabla 19-3:</b>	ANOVA aplicado a los grupos experimentales del rendimiento.....	65
<b>Tabla 20-3:</b>	Diferencia significativa en rendimiento .....	65
<b>Tabla 21-3:</b>	Emisiones Contaminantes .....	68
<b>Tabla 22-3:</b>	Factores de emisión.....	72
<b>Tabla 23-3:</b>	Aplicación de ANOVA para el Factor de CO .....	73
<b>Tabla 24-3:</b>	Método LSD de FCO y diferencia significativa .....	73
<b>Tabla 25-3:</b>	Aplicación de ANOVA para el Factor de HC .....	77
<b>Tabla 26-3:</b>	Método LSD de FHC y diferencia significativa .....	77
<b>Tabla 27-3:</b>	Aplicación de ANOVA para Factor NO <sub>x</sub> .....	81
<b>Tabla 28-3:</b>	Método LSD de FNO <sub>x</sub> y diferencia significativa .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Gases de escape en vehículos con motores de ciclo Otto.....	2
<b>Figura 2-1.</b>	Emisiones contaminantes en función de $\lambda$ .....	3
<b>Figura 3-1.</b>	Motor de combustión interna y proceso de conversión de energía.....	7
<b>Figura 4-1.</b>	Emisión de gases de escape .....	8
<b>Figura 5-1.</b>	Esquema de prueba sobre dinámometro .....	9
<b>Figura 1-2.</b>	Vehículo sobre dinámometro y ciclo de conducción IM240 .....	29
<b>Figura 2-2.</b>	Ciclo de El IM240 como una parte del ciclo FTP-75 .....	29
<b>Figura 3-2.</b>	Ciclo de conducción IM240.....	30
<b>Figura 4-2.</b>	Dinámometro de chasis LPS 3000.....	32
<b>Figura 5-2.</b>	Centro de comunicación MAHA .....	34
<b>Figura 6-2.</b>	Analizador de gases MGT 5 .....	34
<b>Figura 7-2.</b>	Sonda del analizador de gases .....	36
<b>Figura 8-2.</b>	Extractor de gases .....	36
<b>Figura 9-2.</b>	Canister (tanque de presión de combustible) .....	37
<b>Figura 10-2.</b>	Montaje de los vehículos de prueba en el banco dinamométrico .....	37
<b>Figura 11-2.</b>	Anclaje del vehículo contra el piso .....	38
<b>Figura 12-2.</b>	Conexión del Canister mediante acoples en el Spark GT .....	38
<b>Figura 13-2.</b>	Abastecimiento de combustible al tanque de combustible externo .....	39
<b>Figura 14-2.</b>	Instalación de la sonda y extractor de gases .....	39
<b>Figura 15-2.</b>	Prueba del Ciclo de conducción IM240 .....	40
<b>Figura 16-2.</b>	Medición del consumo de combustible .....	40
<b>Figura 17-2.</b>	Procedimiento de la prueba IM240 del vehículo Suzuki Grand Vitara.....	41

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1.</b>	Ruta de trabajo, velocidad vs tiempo del ciclo IM-240 .....	10
<b>Gráfico 2-1.</b>	Emisiones de gases de escape en CARB .....	11
<b>Gráfico 3-1.</b>	Emisión de CO y CO <sub>2</sub> en g/km del motor 1 .....	15
<b>Gráfico 4-1.</b>	CO y CO <sub>2</sub> en g/km carga baja (izquierda) alta (derecha) del motor 2 .....	15
<b>Gráfico 5-1.</b>	Comparativa de resultados de contaminantes .....	16
<b>Gráfico 6-1.</b>	Factores emisión de contaminantes estimados CO, HC, NO <sub>x</sub> .....	17
<b>Gráfico 7-1.</b>	Comportamiento de los gases de escape con distinto combustible .....	22
<b>Gráfico 8-1.</b>	Factores de emisión en ruta con diferente combustible .....	23
<b>Gráfico 9-1.</b>	Emisiones de CO y HC (Prueba a ralentí, 820 RPM) .....	24
<b>Gráfico 10-1.</b>	Emisiones de CO y HC (Prueba a 2500 rpm) .....	24
<b>Gráfico 11-1.</b>	Emisiones de CO y HC (Pruebas dinámicas Ciclo ASM) .....	25
<b>Gráfico 1-3.</b>	Comportamiento de CO_Extra y Ecopaís_SPGT1.2 .....	48
<b>Gráfico 2-3.</b>	Comportamiento de CO <sub>2</sub> _Extra y Ecopaís_SPGT1.2 .....	48
<b>Gráfico 3-3.</b>	Comportamiento de HC_Extra y Ecopaís_SPGT1.2 .....	49
<b>Gráfico 4-3.</b>	Comportamiento de O <sub>2</sub> _Extra y Ecopaís_SPGT1.2 .....	50
<b>Gráfico 5-3.</b>	Comportamiento de NO <sub>x</sub> _Extra y Ecopaís_SPGT1.2 .....	50
<b>Gráfico 6-3.</b>	Comportamiento de CO_Extra y Ecopaís_SZ2.0 .....	57
<b>Gráfico 7-3.</b>	Comportamiento de CO <sub>2</sub> _Extra y Ecopaís_SZ2.0 .....	57
<b>Gráfico 8-3.</b>	Comportamiento de HC_Extra y Ecopaís_SZ2.0 .....	58
<b>Gráfico 9-3.</b>	Comportamiento de O <sub>2</sub> _Extra y Ecopaís_SZ2.0 .....	58
<b>Gráfico 10-3.</b>	Comportamiento de NO <sub>x</sub> _Extra y Ecopaís_SZ2.0 .....	59
<b>Gráfico 11-3.</b>	Caja y bigotes con 95% confianza del rendimiento .....	66
<b>Gráfico 12-3.</b>	Diagrama de Pareto de los factores del rendimiento .....	67
<b>Gráfico 13-3.</b>	Superficie de respuesta para el rendimiento .....	68
<b>Gráfico 14-3.</b>	Concentración volumétrica de CO .....	69
<b>Gráfico 15-3.</b>	Concentración volumétrica de CO <sub>2</sub> .....	70
<b>Gráfico 16-3.</b>	Concentración volumétrica de HC .....	70
<b>Gráfico 17-3.</b>	Concentración volumétrica de O <sub>2</sub> .....	71
<b>Gráfico 18-3.</b>	Concentración volumétrica de NO <sub>x</sub> .....	72
<b>Gráfico 19-3.</b>	Caja y bigotes con 95% confianza del CO .....	75
<b>Gráfico 20-3.</b>	Diagrama de Pareto de los factores del CO .....	75
<b>Gráfico 21-3.</b>	Superficie de respuesta para el CO .....	76
<b>Gráfico 22-3.</b>	Caja y bigotes con 95% confianza del HC .....	79
<b>Gráfico 23-3.</b>	Diagrama de Pareto de los factores del HC .....	79

<b>Gráfico 24-3.</b>	Superficie de respuesta para el HC.....	80
<b>Gráfico 25-3.</b>	Caja y bigotes con 95% confianza de NO <sub>x</sub> .....	83
<b>Gráfico 26-3.</b>	Diagrama de Pareto de los factores del NO <sub>x</sub> .....	83
<b>Gráfico 27-3.</b>	Superficie de respuesta para el NO <sub>x</sub> .....	84

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A.** Ubicación del centro CCICEV
- ANEXO B.** Especificaciones del equipo para medir gases contaminantes [MGT 5]
- ANEXO C.** Especificaciones del centro de comunicación MAHA
- ANEXO D.** Especificaciones de dinamómetro de chasis [LPS 3000]
- ANEXO E.** Registro de datos de prueba SPGT1.2 – Extra
- ANEXO F.** Registro de datos de prueba SPGT1.2 – Ecopaís
- ANEXO G.** Registro de datos de prueba SZ2.0 – Extra
- ANEXO H.** Registro de datos de prueba SZ – Ecopaís
- ANEXO I.** Estimación de factores de emisión
- ANEXO J.** Ejemplo de cálculo de factores de emisión

## RESUMEN

El objetivo en este presente estudio investigativo es analizar los factores de emisiones contaminantes con diferentes combustibles mediante ciclo de conducción de inspección y mantenimiento en la ciudad de Quito-Ecuador para determinar el combustible más eficiente. En esta investigación se aplicará el método experimental, mismo que permitió analizar los factores de emisiones mediante el ciclo IM240, se utilizó Gasolina Extra con 87 octanos y Ecopaís con 87 octanos más un 5% de bioetanol, y los vehículos Chevrolet SPARK GT Active (1.2L SPGT1.2) y Suzuki Grand Vitara SZ 2.0L (SZ2.0), estos fueron montados sobre el dinamómetro para realizarse las pruebas del ciclo de conducción con tiempo de 480 segundos representando una distancia de 6.4 km a diferentes velocidades. Los resultados obtenidos, el SPGT1.2 presta mejores resultados en cuanto a las emanaciones de CO con Extra (0.758g/km), reduciendo el 46.32% de emisiones con relación a utilizar el combustible Ecopaís, mientras el vehículo SZ2.0 posee emisiones superiores a 12g/km. En cuanto al factor de HC el SPGT1.2 reduce el 52.94% de emisiones con Extra (0.008g/km) con relación al Ecopaís, mientras que el SZ2.0 emana por encima de los 0.163g/km con los dos combustibles. En cuanto al factor NOx el SPGT1.2 con el uso del combustible Extra (0.177g/km) reduce el 13.23% respecto Ecopaís, en cuanto al SZ2.0, emana por encima de 2.185g/km. Se concluye que los mejores resultados se obtienen al utilizar el vehículo SPGT1.2 debido a que este vehículo es más actual, por lo tanto, tendrá mejor tecnología incorporada para el control de emisiones. Se recomienda realizar mantenimiento del vehículo, o reparaciones previas para realizar este tipo de pruebas.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <FACTORES DE EMISIONES>, <COMBUSTIBLES >, <CICLO DE CONDUCCIÓN >, <VEHÍCULOS LIVIANOS>.

LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,  
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE, I=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.09.14 17:10:33 -05'00'



1499-DBRA-UTP-2021



## ABSTRACT

This research study objective is to analyze the emission pollutants factors with different fuels, through the driving cycle of inspection and maintenance in Quito city of Ecuador to determine the most efficient fuel. In this research, it was applied the experimental method allowed us to analyze the emissions factors through the IM240 cycle. Extra Gasoline was used with 87 octanes and Ecopaís with 87 octanes plus 5% bioethanol, and Chevrolet SPARK GT Active (1.2L SPGT1.2) and Suzuki Grand Vitara SZ 2.0L (SZ2.0) vehicles, which were mounted on the dynamometer to conduct the driving cycle tests with a time of 480 seconds representing a 6.4 km distance at different speeds. The gathered results; the SPGT1.2 provides better results in terms of CO emissions with Extra (0.758g / km), reducing 46.32% of emissions in relation to using Ecopaís fuel. As long as the SZ2.0 vehicle has greater emissions than 12g / km. Regarding the HC factor, SPGT1.2 reduces 52.94% of emissions; with Extra (0.008g / km) in relation to the Ecopaís. While the SZ2.0 emanates above 0.163g / km with both fuels. Regarding the NOx factor, the SPGT1.2 with the use of Extra fuel (0.177g / km) reduces 13.23% with respect to Ecopaís, as for the SZ2.0, emanates above 2,185g / km. It is concluded that the best results are obtained when using the SPGT1.2 vehicle because it is modern, therefore it has better-integrated technology in emission control. It is recommended the vehicle maintenance, or previous repairs to carry out this test.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <EMISSIONS FACTORS>, <FUELS>, <DRIVING CYCLE>, <AUTOMOBILES>.



Firmado electrónicamente por:  
**PATRICIA PILAR**  
**MOYOTA AMAGUAYA**

## INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los días, el campo automotriz crece de una manera exponencial no solamente en el país ecuatoriano sino también en el mundo entero, siendo el vehículo un gran elemento considerado como clave dentro de la actual sociedad, constituyendo así mismo a una importante causa para la contaminación ambiental, debido a la producción de gases de escape que puede emitir y entre los principales, los hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO), producidos por una combustión incompleta (HC, CO) dado por unas limitaciones de carácter física y química inherentes al sistema que producen subproductos como los óxidos de nitrógeno los cuales son indeseables ya que son muy nocivos no solo para el ambiente sino también para la salud humana. Estos contaminantes son producidos principalmente en los vehículos que funcionan con el ciclo Otto (Estevez et al. 2015, pp.1-5). La situación de la contaminación y de la salud en muchas de las zonas del Ecuador es bastante alarmante, con ello determinando que la polución del aire puede desencadenar muchas enfermedades que terminan afectando y dañando la salud de las personas, esto es según unos análisis de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2016 (El Comercio, 2016, pp.1-2).

Durante los últimos años se han implementado diferentes tecnologías para determinar los factores de emisiones de diferentes tipos de vehículos (livianos o pesados), con diferentes combustibles, entre otros. Dentro de estas tecnologías el más resaltante se basan en los experimentos dinamométricos, en el cual se sigue ciclos de conducción estándar para de ese modo determinar los factores de emisión dependiendo de las condiciones de trabajo del vehículo. En nuestro país, se utilizan diferentes tipos de combustible (gasolina) las cuales son clasificadas según el equivalente el nivel de octanaje que contenga cada combustible, como por ejemplo aquí encontramos la gasolina Súper con 93 octanos, la gasolina Extra con 87 octanos y últimamente ha parecido otra que se denomina gasolina Ecopaís la cual es un biocombustible compuesto por un 95% de gasolina extra más un 5% de bioetanol que este a su vez está compuesto por caña de azúcar. Este biocombustible es más comercializado en zonas que se ubican a nivel del mar (Llanes Cedeño et al., 2018, pp.149-158).

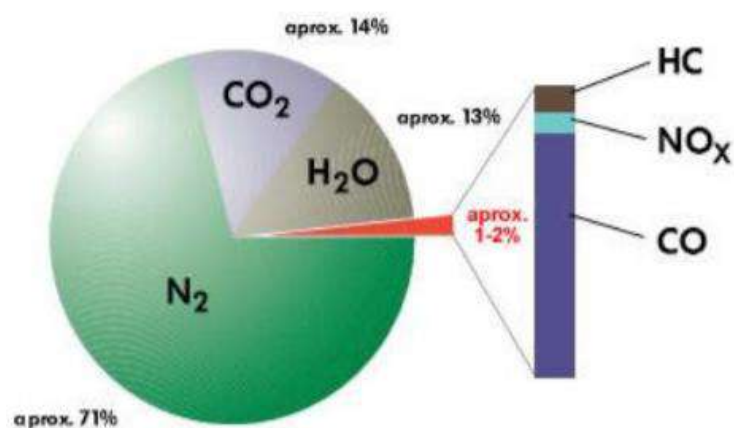
Partiendo de estos precedentes anteriormente mencionados, el objetivo de este trabajo de titulación tipo investigativo es analizar los factores de emisiones de dos vehículos livianos sometidos a pruebas dinámicas con dos tipos de combustible (Extra con 87 octanos y Ecopaís con 87 octanos más 5% de bioetanol) en Quito, Ecuador, mediante el ciclo de conducción estándar de Inspección y Mantenimiento.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes

La contaminación del ambiente en gran parte se produce debido a los gases (Hidrocarburos, Óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, entre otros) que emiten los vehículos motorizados por mal funcionamiento del motor Otto, los gases que se emiten se muestra en la Figura 1-1. sufriendo en mayor proporción en contraer enfermedades por causa de estos gases las personas en las grandes ciudades, ya que en ella existe un parque automotor mayor (Llanes Cedeño et al., 2018: pp.97-108).

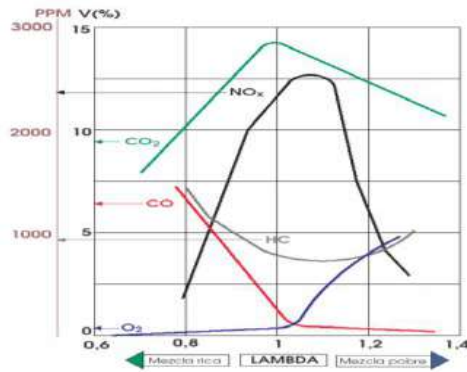


**Figura 1-1.** Gases de escape en vehículos con motores de ciclo Otto

**Fuente:** (Orellana Fierro y Sánchez Quispe, 2017, pp.3-5).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Los contaminantes que son emitidos por los MCI Inofensivas podemos encontrar como: Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Agua (H<sub>2</sub>O), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Pero por otro lado están los tóxicos como: Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que son productos de la combustión incompleta, ya sea por mezcla rica ( $\lambda < 1$ ) o pobre ( $\lambda > 1$ ), los mismos que variaran, vistos en la figura 2-1.



**Figura 2-1.** Emisiones contaminantes en función de  $\lambda$

**Fuente:** (Orellana Fierro y Sánchez Quispe, 2017, pp.3-5).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

A pesar de que los contaminantes tóxicos estén en una fracción pequeña, son los mismos quienes acaban poco a poco contaminando el ambiente. No solamente en nuestro país, sino en toda América Latina y todo el resto del mundo los niveles de contaminación han tenido un crecimiento, hasta que han llegado a un punto donde las organizaciones que cautelan sobre el medio ambiente se han dado cuenta el deterioro que estas emisiones causa al medio ambiente, afectando así a los individuos. Estas razones han sido las principales medidas que toman las autoridades gubernamentales con el fin de proteger el medio ambiente (Zanzzì et al., 2017: pp.12-13).

Dado que al pasar de los días se ha convertido en prioridad, por las cuales se han realizado distintas investigaciones para de ese modo poder encontrar alternativas que ayuden con la disminución de la contaminación provocada por vehículos.

De acuerdo a las aportaciones que nos muestra la Organización Mundial de la Salud (OMS), en América Latina sobrepasa los 150 millones de individuos que se ubican en zonas que sobrepasan los niveles de las Guías de Calidad del Aire (Castillo, 2016, pp.3-4). Por otra parte, en el 2016, según datos que proporciona la OMS, en Ecuador, la situación de contaminación y salud es bastante preocupante teniendo así que más de un 80% de los individuos provenientes de lugares urbanos pueden sufrir afectaciones a sus vidas al momento que inhalan este aire, estas afectaciones pueden ser infartos cerebrales o molestias a las vías respiratorias (El Comercio, 2016, pp.1-2).

Por información proporcionada por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade), entre los 10 vehículos más vendidos en el periodo enero y septiembre de 2019 ocupando el primer puesto encontramos el Chevrolet Spark con 5425 unidades vendidas (El Universo, 2019, p.2), y entre enero y agosto del 2020 según él (El Universo, 2020, pp.1-5) entre los 10 vehículos más vendidos y ocupando el 7mo puesto el Chevrolet Spark con 1418 ventas. De acuerdo al artículo de Pérez Darquea, (2018) el Grand Vitara SZ cuyo tipo fue de los más vendidos en Ecuador hasta el año 2016.

Por ello es necesario realizar investigaciones o someter a los vehículos a pruebas y análisis con la utilización de tecnologías o con distintos combustibles con el fin de disminuir estos gases contaminantes o para obtener conclusiones sobre cuál sería una manera eficiente para reducir los contaminantes al máximo.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Se desconoce que unas de las grandes problemáticas actuales más significativas al hablar de cambio climático son las emisiones vehiculares y su efecto sobre la salud humana. Como es de conocimiento en los últimos años, el campo automotor ha aparecido de forma masiva en varias de las ciudades de Ecuador así contribuyendo al incremento de la contaminación atmosférica como consecuencia de los gases emitidos por los tubos de escape (CO, NO<sub>x</sub> y HC), siendo el CO un gas altamente nocivo para la salud, causante de varias enfermedades, algunas en mayor proporción que otras, pero en altas concentraciones puede llegar a causar la muerte (Urbina et al., 2017: pp.1-4).

Debido a la falta de información de contaminación entre los combustibles, este proyecto se orienta a determinar el combustible más adecuado por medio de ciclo de conducción mediante pruebas en un dinamómetro, con el uso de dos combustibles diferentes, Extra y Ecopaís.

### ***1.2.1. Formulación de problema de investigación***

¿La recolección de datos en condiciones de simulación de ciclo estándar de Inspección y Mantenimiento permitirán el adecuado análisis de factores de emisión en los vehículos con diferente tipo de gasolina Extra y Ecopaís?

### ***1.2.2. Delimitación del problema planteado***

Objeto de estudio: Ciclo de conducción estándar de Inspección y Mantenimiento.

Campo de Acción: Análisis de Gases de escape (factores de emisión)

Límite espacial: Ciudad de Quito, Ecuador

Delimitación temporal: Año 2021

## **1.3. Justificación**

La mala y falta de inspección y mantenimiento se suma a la mala calidad del combustible no cumpliendo de ese modo con los necesarios parámetros internacionales para velar y cuidar el

medio ambiente así como la vida de los individuos, además a esto también se le atribuye que de cierto modo tampoco se realiza un adecuado control de vehículos en todo el Ecuador, es decir el control vehicular en el Ecuador, del 100% de la revisión, el 95% consta de una escasa revisión manual, mas no con el uso e implementación de tecnología avanzada (Guamán Camacho & De la Cruz Chito, 2020).

Entre los últimos años, de acuerdo a base de datos que nos proporciona la Organización Mundial de la Salud (OMS) abarcando en sí 3000 ciudades en 103 países, se ha duplicado con más zonas y con ello también ha subido los niveles de contaminación del aire, viendo desde un punto de vista como una de las principales causas de enfermedades y hasta la muerte (EL MUNDO, 2016, párr.1). Según la OMS en 2016, varias de las ciudades de Ecuador, la situación de contaminación y salud es bastante preocupante, apuntando que la polución del aire desencadena varias enfermedades afectando así la salud de las personas (El Comercio, 2016, pp.1-3).

Por medio de la presente investigación se pretende realizar un análisis de las emisiones contaminantes de escape a los vehículos Chevrolet Spark GT y Suzuki Grand Vitara SZ descritos en la Tabla 1-1, con combustibles Extra y Eco-país mediante ciclo de conducción estándar de Inspección y Mantenimiento (IM-240) en la ciudad de Quito, con el fin de determinar el combustible más adecuado para limitación de las emisiones contaminantes.

**Tabla 1-1:** Descripción de vehículos sometidos a las pruebas

Vehículo	Marca	Modelo	Trasmisión	Cilindrada
1	CHEVROLET	SPARK GT Active, 2019	Manual	1.2L
2	Suzuki	Grand Vitara SZ, 2011	Manual	2.0L

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. *Objetivos General*

Analizar los factores de emisiones contaminantes con diferentes combustibles mediante ciclo estándar de conducción IM-240 en las ciudades de altura para determinarse el combustible más eficiente.

### 1.4.2. *Objetivos específicos*

- Realizar una investigación objetiva en base a la contaminación de los gases generados por los automóviles para la determinación del uso adecuado del combustible Extra y Eco País.

- Realizar revisión bibliográfica sobre la eficacia del ciclo de conducción IM-240 por medio fuentes de información confiable para la aplicación del mismo en el trabajo de investigación a realizarse.
- Obtener los datos de factores de emisión por medio del ciclo de conducción IM-240 para el análisis de la influencia del uso de combustible para el medio ambiente.
- Analizar los datos obtenido en el ciclo de conducción en base a estudios de porcentajes de contaminación establecidos para el medio ambiente.
- Comparar los datos obtenidos por el combustible; Extra y Eco País, en los diferentes vehículos, por medio de análisis de varianza de los valores de los factores.

Una vez realizado los análisis de prueba del ciclo de conducción IM-240 respectivos y en base a todos los conocimientos que hemos adquirido en la realización del proyecto, se espera que los resultados con menos contaminación estén por parte de la gasolina tipo Ecopaís. Se probarán 2 vehículos para validar esta premisa, si el tipo de combustible Ecopaís es menos contaminante que el combustible extra en ciudades de altura.

#### **1.5. (Ho): Hipótesis Nula**

En base a los análisis de prueba del ciclo de conducción IM-240, el tipo de combustible Ecopaís no es menos contaminante que el combustible extra en ciudades de altura.

#### **1.6. (Hi): Hipótesis Alternativa**

En base a los análisis de prueba del ciclo de conducción IM-240, el tipo de combustible Ecopaís es menos contaminante que el combustible extra en ciudades de altura.

#### **1.7. Estado de arte**

En este apartado se realizará una revisión bibliográfica consistiendo en realizar una investigación documental ya existente, sobre el tema de las emisiones de gases de escape, factores de emisiones, ciclo de conducción IM-240, combustibles entre otros. De esta forma, esta revisión documental nos permitirá el estudio del conocimiento acumulado escrito dentro de un tema en específico, teniendo como finalidad la revisión detallada y cuidadosa de los documentos que tratan sobre el tema de esta investigación ya mencionado.

### 1.7.1. MCI: Motor de combustión interna de ciclo Otto

El motor de combustión interna o conocido por sus siglas como MCI es una máquina que transforma la energía química provocada por la mezcla de combustible y aire a energía mecánica, ver la figura 3-1. Dicho proceso de combustión o quemado del aire y combustible se genera dentro del motor en la cámara de combustión (González, 2018, pp.2-3).



**Figura 3-1.** Motor de combustión interna y proceso de conversión de energía

Fuente: (Urbina Guzmán, 2016, pp.30-40).

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Este motor de ciclo Otto se puede encontrar de los siguientes tipos:

- Gasolina
- GLP: Gas licuado de petróleo
- GNC: Gas natural comprimido
- Etanol

### 1.7.2. Combustible

Se entiende por combustible a un material que libera energía, es decir este material contiene ciertas propiedades que le permiten arden con facilidad, desprende calor poco a poco y por ende el material tiende a oxidarse. En otras palabras, los combustibles pueden generar energía mecánica o energía térmica (Masson Ricaurte, 2012, pp.5-11).



### 1.7.3. Tipos de combustibles

Podemos encontrar los combustibles más utilizados en la industria automotriz los siguientes:

- Gasolina
- Diésel o gasoil
- Gas licuado de petróleo
- Etanol
- Gas natural

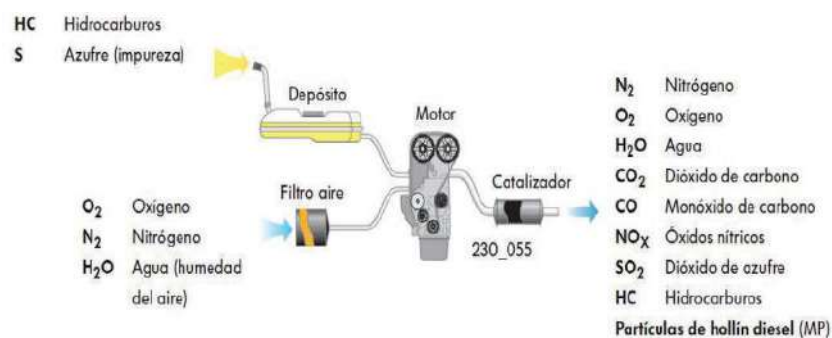
### 1.7.4. Combustibles utilizados en Ecuador

Entre los combustibles que se utilizan en los diferentes lugares del Ecuador, tenemos:

- Gasolina Extra: aquella contiene 87 octanos.
- Gasolina Súper: contiene 93 octanos y es similar o equivale a la gasolina Premium.
- Gasolina Ecopaís: es un biocombustible, con base de gasolina Extra y 5 % de bioetanol echo de caña de azúcar.
- Diésel

### 1.7.5. Emisiones contaminantes del M.C.I.

Se producen a causa de una combustión incompleta, donde el combustible una vez mezclado con el aire no es capaz de quemarse completamente dentro del motor, en la cámara de combustión, por consecuencia de este problema se producen gases contaminantes que pueden ser demasiado nocivos para el ambiente como también para las personas, entre ellos están el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) entre otros (Orellana Fierro y Sánchez Quispe, 2017, pp.3-5).



**Figura 4-1.** Emisión de gases de escape

**Fuente:** (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Estas emisiones se podemos clasificarlas en:

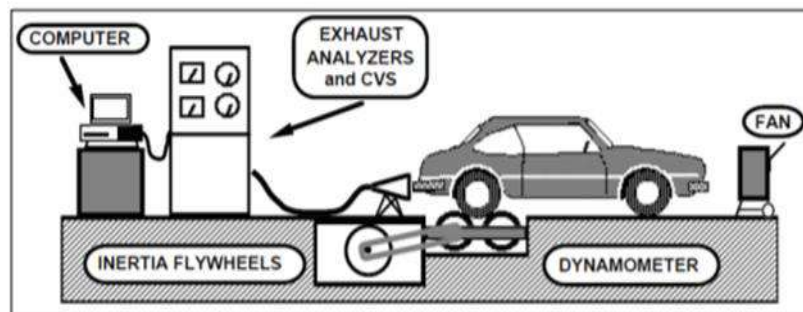
**Inofensivas:** Nitrógeno ( $N_2$ ), Oxígeno ( $O_2$ ), Agua ( $H_2O$ ), Dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

**Toxicas:** Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Óxido de nitrógeno ( $NO_x$ ).

#### 1.7.6. Ciclo de conducción IM- 240

Este ciclo de conducción IM-240, es una prueba que se realiza sobre dinamómetro, este ciclo de conducción es de tipo transitorio y sirve para medición y registro de emisiones en vehículos livianos en movimiento y se caracteriza porque dichas pruebas no se ejecutan a velocidad constante, sino que se sigue un ciclo de recorrido de aproximadamente 3.1 kilómetros en el que se somete a aceleraciones y desaceleraciones al vehículo (Cedeño Llanes et al., 2018, p.101).

Para realizar esta prueba el vehículo debe instalarse en el dinamómetro, como se muestra en la figura 5-1. Ya montado el vehículo en el dinamómetro se empieza la prueba siguiendo unas condiciones de manejo preestablecidas por el software de aplicación del ciclo IM240.

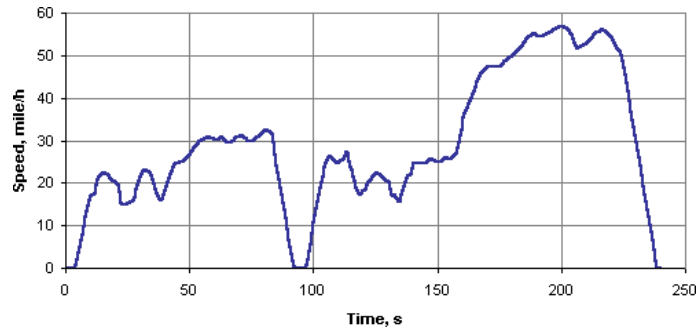


**Figura 5-1.** Esquema de prueba sobre dinamómetro

**Fuente:** (Urbina Guzmán, 2016, pp.30-40).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

La prueba IM-240 es un análisis para pruebas de emisiones de vehículos en programas de inspección y mantenimiento, el fin es tener resultados en un periodo de tiempo (240 segundos) denotando una distancia de 6.4 km, viajando a 47.3 km/h como velocidad media, llegando a máximas de 91.2 km/h (Cedeño Llanes et al., 2018, pp. 101).



**Gráfico 1-1.** Ruta de trabajo, velocidad vs tiempo del ciclo IM-240

**Fuente:** (Cedeño Llanes et al., 2018: p.101).

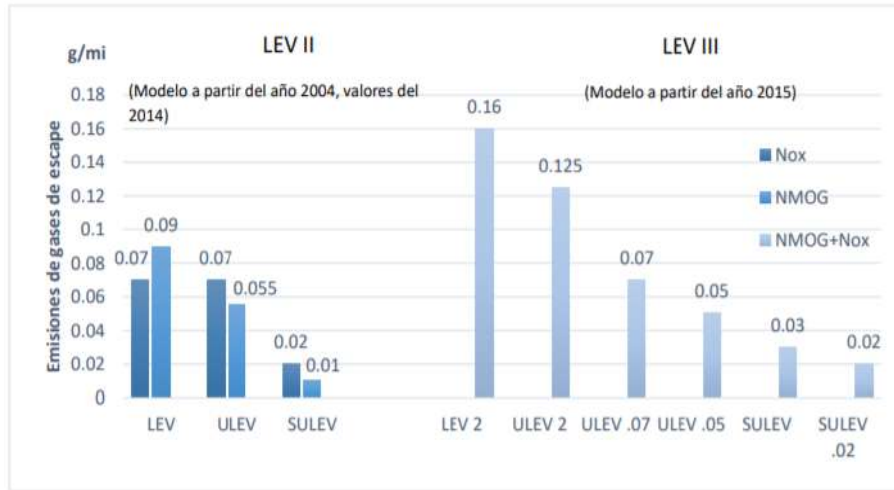
**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### *1.7.7. Normas de emisiones de gases de escape*

Estas normas son requisitos que permitirán que los motores de combustión interna se regulen en cuanto a los límites de aceptación de gases de escape. Como no es posible detener el crecimiento del parque automotriz, los distintos países de América como también de Europa han venido implementando normas o estándares con el fin de disminuir los niveles de contaminación emitidos por los tubos de escape de los vehículos tanto a gasolina como a diésel.

#### *1.7.7.1. Legislación CARB y sus límites de emisiones*

La legislación CARB o también denominada como California Air Resources Board, órgano público de California, teniendo como prioridad mantener un aire limpio creando políticas y normativas que hacen cumplir con las regulaciones en cuanto a las emisiones de gases contaminantes, teniendo así a todo el estado bajo los niveles descritos por la misma normativa (Vega et al., 2019, pp.23-31). Durante la implementación de esta normativa se dividió por categorías los gases de escape siendo CO, NO<sub>x</sub>, gases orgánicos distintos del metano (NMOG) y partículas en; Vehículo de baja emisión (LEV), vehículos de ultra bajas emisiones (ULEV) teniendo así también súper bajos (SULEV) y los eléctricos (ZEV). Los niveles (LEV) denotan los años en los que rigen estas normas; las LEV I son normas de emisión extendidas hasta 2003, LEV II son las normas extendidas desde el 2004 hasta 2010 y las LEV III son utilizadas desde el 2015 hasta el 2025 (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).



**Gráfico 2-1.** Emisiones de gases de escape en CARB

**Fuente:** (Vega et al., 2019, pp.23-31).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 1.7.7.2. Legislación EPA y sus límites de emisiones

Descrita por sus siglas como Agencia de Protección Ambiental, establece límites para vehículos utilizando designación “Bin”, también se encarga de precautelos por la salud de las personas cuidando la calidad del medio ambiente y sus límites se describen en la tabla 2-1 siguiente.

**Tabla 2-1:** Límites de emisiones para vehículos de pasajeros según EPA

Etapa	Límites de emisión g/mi			
	NO <sub>x</sub>	CO/10	HCHO	PM (diésel)
Bin 10	0.60	0.42	0.156	0.08
Bin 9	0.3	0.42	0.09	0.06
Bin 8	0.2	0.42	0.125	0.02
Bin 7	0.15	0.42	0.09	0.02
Bin 6	0.1	0.42	0.09	0.01
Bin 5	0.07	0.42	0.09	0.01
Bin 4	0.04	0.21	0.07	0.01
Bin 3	0.03	0.21	0.055	0.01
Bin 2	0.02	0.21	0.01	0.01
Bin 1	0	0	0	0

**Fuente:** (Vega et al., 2019, pp.23-31).

### 1.7.7.3. Legislación EURO y sus límites de emisiones

Las normas creadas en Europa las denominaban como EURO, Europa como todo el mundo también trata de precautelar la salud de las personas reduciendo las emisiones contaminantes. Estas normas son tomadas en cuenta por vehículos cuyo encendido sea por chispa y dependiendo al año se los viene denominando como EURO 1, EURO 2, EURO 3, etc., como se muestra en la tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Límites de emisiones por legislación EURO

Etapa	Año	Límite de emisiones (g/km)				
		CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	PN (1/km)
EURO 1	1992	2.72	0.97	-	-	-
EURO 2	1996	2.20	0.50	-	-	-
EURO 3	2000	2.30	0.20	0.15	-	-
EURO 4	2005	1.00	0.10	0.08	-	-
EURO 5	2009	1.00	0.10	0.06	0.05	-
EURO 6	2014	1.00	0.10	0.06	0.05	$6 \times 10^{11}$

Fuente: (Vega et al., 2019, pp.23-31).

### 1.7.7.4. Legislación Mexicana y sus límites de emisiones

En México se establecen límites de los gases de escape de acuerdo a dos métodos (estático y dinámico) con el objetivo de reducir la contaminación ambiental. En las siguientes tablas se puede observar los límites establecidos.

**Tabla 4-1:** Límites máximos permisibles (método estático) en México

Año vehículo	HC (ppm)	CO (%vol)	O <sub>2</sub> (%vol)	CO+ CO <sub>2</sub> (%vol)		Factor Lambda máx.
1993 y anteriores	400	3.0	2.0	13	16.5	1.05
1994 y posteriores	100	1.0	2.0	13	16.5	1.05

Fuente: (Vega et al., 2019, pp.23-31).

**Tabla 5-1:** Límites máximos permisibles (método dinámico) en México

Año vehículo	HC (ppm)	CO (%vol)	O <sub>2</sub> (%vol)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO+ CO <sub>2</sub> (%vol)		Factor Lambda máx.
					13	16.5	
1990 y anteriores	350	2.5	2.0	2500	13	16.5	1.05
1991 y posteriores	100	1.0	2.0	1500	13	16.5	1.05

Fuente: (Vega et al., 2019, pp.23-31).

#### 1.7.7.5. Ecuador y sus límites de emisiones

El límite de emisión en el Ecuador también se da de acuerdo con los métodos dinámicos y estáticos y se basan en las normas del INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) debido a que es un organismo ecuatoriano para la normalización y certificación. Entonces mediante la norma NTE INEN 2204:2002 se da a conocer los límites permisibles en los que puede estar emitiendo los motores de combustión interna (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

**Tabla 6-1:** Límite máximo de emisiones en Ecuador\_ método estática

Año	% CO (Volumen)		Ppm HC (volumen)	
	0-1500 msnm	1500-3000 msnm	0-1500 msnm	1500-3000 msnm
2000 y posteriores	1.0	1.0	200.0	200.0
1990 a 1999	3.5	4.5	650.0	750.0
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000.0	1200.0

Fuente: (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

**Tabla 7-1:** Límite máximo de emisiones en Ecuador\_ método dinámica

Categoría	Peso del coche	gCO/km	gHC/km	gNOx/km	Prueba
<b>Prueba con ciclo americano</b>					
Livianos (mayor de 2000)	-	2.10	0.25	0.62	FTP-75
Medianos (mayor de 2000)	3860	6.20	0.50	0.75	FTP-75
<b>Prueba con ciclo europeo</b>					
Livianos (mayor de 2000)	3500	2.72	0.97		ECE 15 + EUDC

Fuente: (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

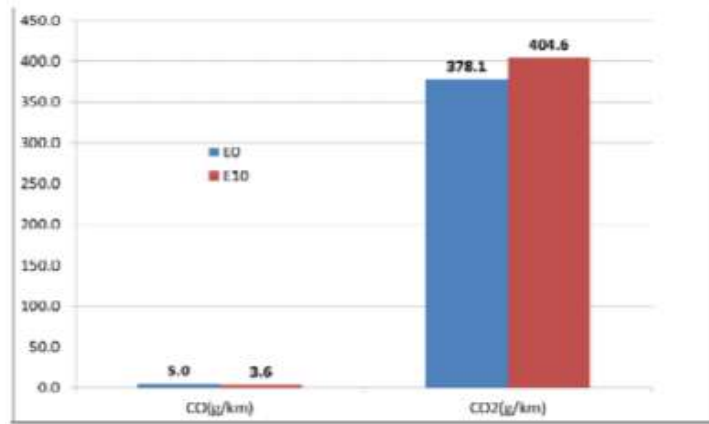
### 1.7.8. Revisión bibliográfica a nivel internacional

#### 1.7.8.1. Contaminantes CO y CO<sub>2</sub> con combustible E0 y E10, régimen transitorio

Desde la aparición del motor hasta el año 1970 no se ha tomado mucha importancia sobre la concepción del etanol, sin embargo, ya para los siguientes años en Brasil, Estados Unidos y Canadá fueron dando importancia a la utilización del etanol como aditivo para la gasolina debido a las propiedades que presenta para hacer un combustible más poderoso mejorando el desempeño del motor, además de esto también se tenía el beneficio de reducir las emisiones contaminantes que producen los motores de combustión interna (Hernández Arévalo et al., 2017, pp.3-12). En esta investigación se tiene como objetivo la implementación de un ciclo de prueba transitoria en MCI refiriéndose al ciclo de conducción de Japón (Modo 10) en un banco de pruebas que servirá para comparar las emisiones de contaminantes del CO y CO<sub>2</sub> con gasolina corriente E0 y Gasohol E10, dicho ciclo de conducción será similar a condiciones reales urbanas que transita un vehículo con velocidad promedio de 17.7 km/h y con máxima velocidad de 40km/h. Según (Salazar Salazar, 2018, p.8) nos dice “cuando se agrega un 10% de etanol a la gasolina, mejora en un 5% la potencia del motor, el número de octanos crece e incrementa en un 5 % por cada 10% de etanol que se ha mezclado a la gasolina. También agrega que con la utilización de un combustible E10 se puede reducir los niveles de gases de monóxido de carbono (CO) en un 30%”.

Este experimento se la realizo en Bogotá-Colombia, en dos motores montados en un banco de pruebas compuesto por un dinamómetro hidráulico acoplado a la salida del motor que se quiere estudiar. Estos motores tenían las siguientes características, motor 1 (D=92mm, C=93,8mm, V=2494 cc, inyección mono punto y pot= 76.5 kW a 3000 rpm) y motor 2 (D=54.4mm, C=80mm, V=747 cc, carburador y pot= 19.9 kW a 4500 rpm).

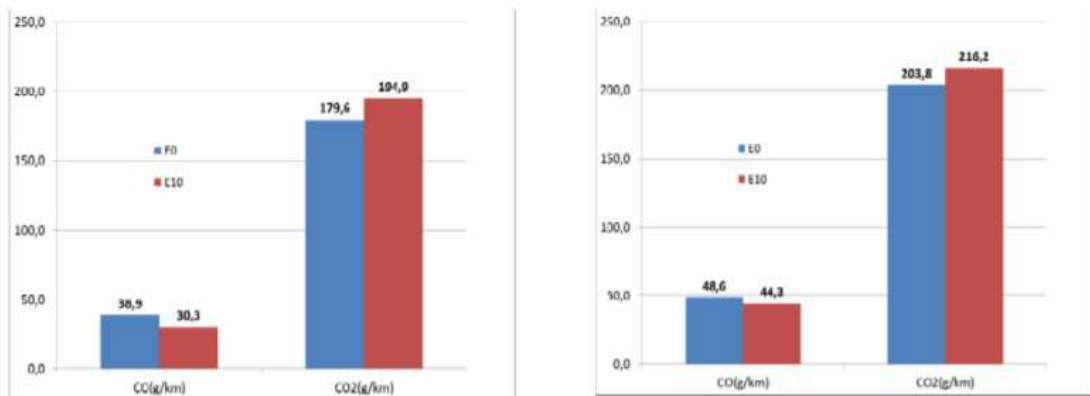
Una vez realizadas los análisis se obtuvieron los siguientes gráficos:



**Gráfico 3-1.** Emisión de CO y CO<sub>2</sub> en g/km del motor 1

**Fuente:** (Hernández Arévalo et al., 2017, pp.3-12).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.



**Gráfico 4-1.** CO y CO<sub>2</sub> en g/km carga baja (izquierda) alta (derecha) del motor 2

**Fuente:** (Hernández Arévalo et al., 2017, pp.3-12).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Teniendo estos resultados se establecen las conclusiones:

- Con el combustible tipo E10, las concentraciones de monóxido de carbono (CO) disminuyen notoriamente mientras que los dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>), tanto en el motor portados del sistema de inyección como en el motor a carburador.
- Los datos obtenidos en los dos motores tienen una gran diferencia en los factores de emisión, esto se debe a que son distintos tipos de sistema de alimentación. Cuando se utilizó el combustible E10 se produce un breve incremento de los CO<sub>2</sub> emitidos en gramos por kilómetro de distancia recorrido y en los CO se reducen en gramos por kilómetro, comparándolo de cierta forma con el combustible tipo E0.



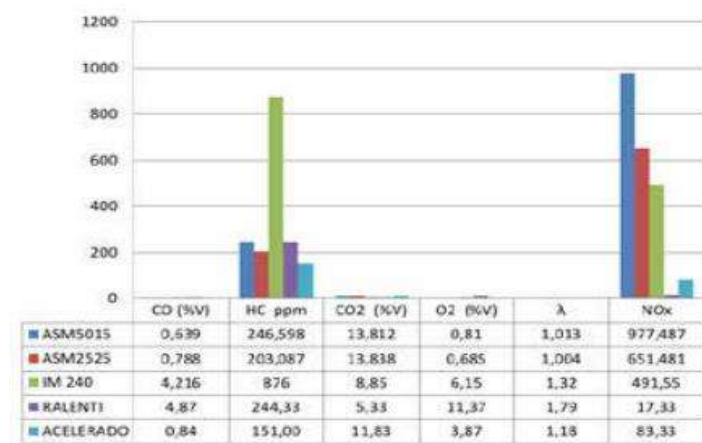
### 1.7.9. Revisión bibliográfica a nivel nacional

#### 1.7.9.1. Factores de emisión a través de pruebas estáticas y dinámicas

Según (Cedeño Llanes et al., 2018, pp.97-108), en su artículo científico publicado en el 2018. Durante mucho tiempo, la gran parte en las preocupaciones que se tenía en las pruebas de gases de escape eran los hidrocarburos (HC) y los monóxidos de carbono (CO) ya para 1970 apareció los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que a su vez los mismos contribuían a la formación del smog. Esta investigación se basa en una explicación a partir de un método experimental tomando un vehículo de marca Nissan Sentra 1.6 L. 4P con el cual se realizarán las pruebas estáticas y dinámicas para determinar los niveles de emisiones con combustible tipo gasolina Extra. Para la realización de estudio se basaron en la utilización del analizador de gases para las pruebas estáticas y el dinamómetro de marca MAHA FPS 2700 según el método ASM y protocolo IM 240, para las pruebas dinámicas se aplicaron tres ensayos por cada prueba con el fin de garantizar los resultados obtenidos durante el experimento.

Estas pruebas de laboratorio son realizadas en la ciudad de Quito-Ecuador sobre una altura de 2810 msnm, estas pruebas se realizaron de manera estática (Ralentí y a carga del motor: 2500 rpm) y dinámicas (con método ASM 50/15;25/25 y protocolo IM 240). De los resultados que se obtuvieron en el análisis se puede ver en el siguiente gráfico.

Con relación a las pruebas estáticas, las dinámicas muestran menor cantidad de emisión de CO, pero aun así supera lo permitido por la norma NTE INEN 2204. En el caso de los hidrocarburos se ven altas emisiones, esto se debe a las condiciones y poca probabilidad de generar mezcla pobre en el motor, hasta en el caso de la prueba estática en aceleración dándose la menor emisión de hidrocarburos se supera los límites de la norma ya mencionada (Cedeño Llanes et al., 2018, pp.97-108).

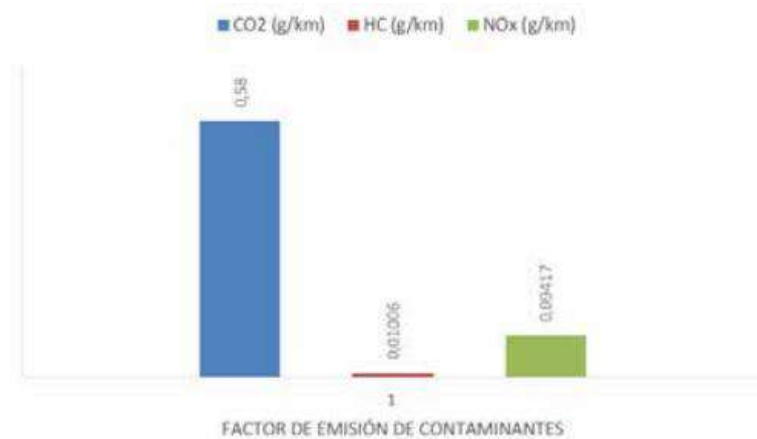


**Gráfico 5-1.** Comparativa de resultados de contaminantes

**Fuente:** (Cedeño Llanes et al., 2018, pp.97-108).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Con la determinación del consumo de combustible y la densidad del combustible se obtiene los factores de emisión de los contaminantes como se muestra en el gráfico 6-1.



**Gráfico 6-1.** Factores emisión de contaminantes estimados CO, HC, NO<sub>x</sub>

**Fuente:** (Cedeño Llanes et al., 2018, pp.97-108).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Una vez que se han obtenido esos resultados se llega a las conclusiones siguientes:

- El sistema de alimentación de dicho vehículo funciona de manera incorrecta en la prueba estática debido a que lambda fluctúa entre 1.18 a 1.79. En cuanto a la prueba dinámica funciona bien debido a que lambda se acerca a 1, siendo el valor ideal.
- En relación al análisis realizado tanto estático como dinámico, existe variación de datos, esto es explicado debidamente a que en las distintas pruebas no se exige de la misma manera al motor, notándose que en condiciones de ralentí el motor contamina más que cuando este acelerado.

#### 1.7.9.2. Factores de emisión utilizando ciclo IM240 y On Board en Quito

Se considera como factores de emisión a la relación que existe entre el contaminante arrojado al medio ambiente y una unidad de actividad ya sea un consumo de energía, producción o distancia que se ha recorrido. En el sector automotriz los factores de emisión son esencialmente considerados ya que son quienes dañan la atmósfera y acaban con la salud de las personas, estos se expresan en kilogramos de contaminante por kilómetro recorrido o por un volumen de combustible consumido (Urbina Guzmán, 2016, pp.30-40). En este documento (tesis) se centra en analizar y comparar los resultados de las emisiones de gases principalmente como CO, HC y NO<sub>x</sub> utilizando el ciclo de conducción IM 240 y On Board. Para la realización del estudio se utilizó

vehículos marca Chevrolet Aveo, Spark y Grand vitara en la ciudad de Quito-Ecuador. (Urbina, Tipanluisa y Cotacahi, 2017)

La determinación de los factores de emisión se basó en ocupar las concentraciones de los gases como también el consumo de la gasolina cuando se realizó la prueba de conducción con el ciclo IM 240. En la tabla 8-1 siguiente se puede observar los factores de emisiones de los contaminantes con la utilización del ciclo de conducción IM 240. Estos factores de los distintos contaminantes comparándolos con la norma NTE INEN 2204 que es referente al ciclo FTP 75, se puede determinar que los valores son menores que los límites establecidos por esa norma.

**Tabla 8-1:** Factores de emisión del CO, HC y NOx al utilizar el ciclo IM240

Ítem	Marca	Modelo	AÑO	Cilindrada (L)	gCO/km	gHC/km	gNO <sub>x</sub> /km
1	Chevrolet	Aveo	2011	1.6	0.054	0.094	0.303
2		GT (Spark)	2015	1.0	1.337	0.057	0.029
3		GT (Spark)	2015	1.0	1.004	0.063	0.043
4		G. Vitara	2011	2.0	1.865	0.070	0.336
5		G. Vitara	2012	2.0	1.852	0.182	0.190

Fuente: (Urbina Guzmán, 2016, pp.30-40).

En la tabla 9-1 se puede observar los resultados de los factores de emisiones de los contaminantes con la utilización del ciclo On Board. Aquí también se puede notar que los factores de contaminación son menores que los límites de la norma antes mencionada excepto al valor de CO del vehículo Chevrolet Grand Vitara 2011.

**Tabla 9-1:** Factores de emisión del CO, HC y NOx al utilizar el ciclo On Board

Ítem	Marca	Modelo	AÑO	Cilindrada (L)	gCO/km	gHC/km	gNO <sub>x</sub> /km
1	Chevrolet	Aveo	2011	1.6	0.447	0.042	0.184
2		GT (Spark)	2015	1.0	0.648	0.049	0.048
3		GT (Spark)	2015	1.0	1.600	0.055	0.034
4		G. Vitara	2011	2.0	2.431	0.091	0.067
5		G. Vitara	2012	2.0	2.067	0.060	0.035

Fuente: (Urbina Guzmán, 2016, pp.30-40).

En base a los datos obtenidos se redactan unas conclusiones:

- En la realización de este proyecto se construyó el protocolo de pruebas para los ciclos de conducción IM 240 y On Board, teniendo como análisis que entre los dos ciclos hay una variabilidad de datos en los factores de emisión ya que en los resultados se pudo observar que los factores de emisión de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno son menores en el ciclo On Board que en el ciclo IM 240, pero con el CO es mayor en el ciclo IM 240.
- Desacuerdo a cálculos estadísticos resulta que hay una confiabilidad del 95%, es decir que los resultados que emitieron en cada prueba son muy fiables.
- Se puede determinar los factores de emisión en distintos ciclos de conducción.

#### *1.7.9.3. Emisiones con prueba estacionaria y con ciclo IM240 en 5 vehículos*

Durante los últimos años, en el país el sector automovilista ha crecido de forma masiva en todas las zonas de Ecuador, contribuyendo con ello el incremento de los niveles y problemas de contaminación ambiental como efecto de las emisiones de gases de escape presentándose de diferentes estados (sólida, líquida o gaseosa). Por eso en este proyecto de tesis se analiza el sector automotriz de la ciudad de Quito-Ecuador con el fin de determinar el tamaño de muestra, una vez determinado la muestra se procede a detallar el protocolo de prueba para cada vehículo para de ese modo obtener los factores de emisión mediante pruebas estáticas y dinámicas (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

Cada una de las mediciones fueron realizadas en la ciudad de Quito-Ecuador en el centro del CCICEV O conocido también como Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares. Se ha seleccionado 5 vehículos de marca Toyota (Corolla) y Chevrolet (Aveo, Spark y Sail) los cuales todos han operado con el mismo tipo de combustible gasolina Extra. Los factores de emisión en g/km con la prueba estática visto en la tabla 10-1 se obtuvieron mediante el consumo de combustible en ralentí y acelerado.

**Tabla 10-1:** Factores de emisión en prueba estática de vehículos a gasolina

<b>Ralentí</b>						
<b>No.</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Cilindrada (L)</b>	<b>AÑO</b>	<b>gCO/km</b>	<b>(gHC/km)</b>	<b>(gNO<sub>x</sub>/km)</b>
1	Toyota	1.8	2006	0.0000	0.0137	0.0165
2	Aveo	1.6	2011	0.0268	0.0028	0.0026
3	Spark_2	1.0	2012	2.7396	0.0123	0.0006
4	Sail	1.4	2013	0.1368	0.0027	0.0007
5	Spark_1	1.0	2015	0.4675	0.0171	0.0007
<b>Acelerado (2500)</b>						
1	Toyota	1.8	2006	0.0000	0.0159	0.0360
2	Aveo	1.6	2011	0.0000	0.0040	0.0023
3	Spark_2	1.0	2012	0.2267	0.0028	0.0009
4	Sail	1.4	2013	0.0000	0.0047	0.0017
5	Spark_1	1.0	2015	0.2047	0.0200	0.0007

Fuente: (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

De la misma manera en el desarrollo de los factores de emisiones para la prueba dinámica se obtienen los factores de los contaminantes en gramos por kilómetro recorrido como se muestra en la tabla 11-1 siguiente.

**Tabla 11-1:** Factores de emisión en prueba dinámica de vehículos a gasolina

<b>No.</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Cilindrada (L)</b>	<b>AÑO</b>	<b>gCO/km</b>	<b>(gHC/km)</b>	<b>(gNO<sub>x</sub>/km)</b>
<b>1</b>	Toyota	1.8	2006	0.0000	0.0137	0.0165
<b>2</b>	Aveo	1.6	2011	0.0268	0.0028	0.0026
<b>3</b>	Spark_2	1.0	2012	2.7396	0.0123	0.0006
<b>4</b>	Sail	1.4	2013	0.1368	0.0027	0.0007
<b>5</b>	Spark_1	1.0	2015	0.4675	0.0171	0.0007

Fuente: (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

Considerando el tiempo de 240 segundos, se tendrá la duda de conocer los momentos en el ciclo en el que el contaminante sobrepase los valores de los límites estándares por lo tanto para obtener unas conclusiones se han tomado las gráficas de ciclos de conducción de los contaminantes más destacados (CO, HC y NO<sub>x</sub>) de los cinco vehículos de los cuales se distingue los factores de la siguiente manera:

- CO y HC: elevan sus niveles durante las aceleraciones pronunciadas, pero también se da elevación de niveles de contaminantes cuando se simula tráfico en las ciudades, es decir cuando hay velocidades bajas.
- NO: sus niveles de contaminación más altos se los encuentra en las velocidades altas (aprox. 100km/h) que simularían en el ciclo las autopistas.

Entre el análisis de la prueba estática y dinámica también se tienen otras conclusiones:

- Los vehículos que se han tomado como muestras para los experimentos tanto estático como dinámico, cumplen con la normativa de límites de contaminantes que proporciona la NTE INEN 2204 (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).
- Las concentraciones de los contaminantes de CO y HC mediante la prueba IM 240 arroja valores mayores a inicios del ciclo, en cambio NO<sub>x</sub> se elevan al final del ciclo.
- los datos que se obtuvieron de factores de emisión, muestran que con la prueba estática y dinámica tienen variabilidad de datos, esto es debido a la tecnología que se incorpora con el fin de reducir los contaminantes al máximo.

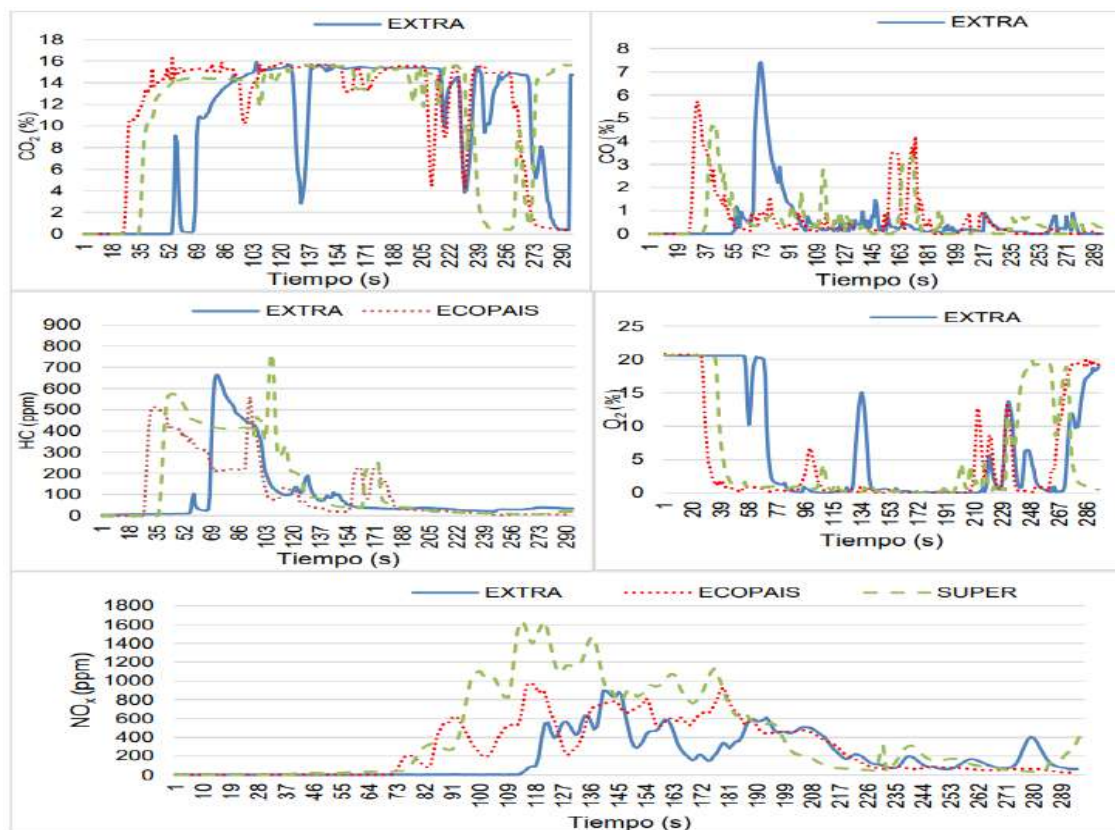
#### *1.7.9.4. Análisis de gases contaminantes en vehículo a gasolina en altura*

Los gases de escape de los vehículos proporcionan información importante para los inventarios nacionales y locales, jugando un papel dañino para la salud de las personas por las grandes concentraciones emitidos por el parque automotor y acumuladas en el aire (WHO, 2016, pp.23-24). Por ello a nivel mundial se han establecido normas y reglas con el fin de disminuir la contaminación, tomando en cuenta la vida útil de los vehículos, así como también el tipo de combustible que se utilice en los mismos (Llanes Cedeño et al., 2018, pp.149-158). El objetivo principal de esta investigación es la evaluación de los factores de emisión mediante pruebas en ruta con diferente tipo de combustible.

Durante el estudio se monta el sistema On Board sobre el carro Aveo de cilindrada 1.6L, conducido por una distancia de 12 kilómetros con velocidad aproximada a 40 km/h. los combustibles (gasolina) utilizados fueron; Súper, Extra y Ecopaís con 93, 87 y 87 (+ 5% bioetanol) octanos respectivamente, de acuerdo a esto se obtuvo datos de factores de emisión.

La recolección de datos sobre el comportamiento de los gases de escape de los diferentes tipos de combustibles como se ve en el gráfico 7-1 siguiente se obtuvieron mediante el recorrido de la vía de Simón Bolívar en la ciudad de Quito.

El  $\text{CO}_2$  se muestra similar con la utilización de los tres combustibles durante la prueba, teniendo un aproximado de 13% en promedio. El contaminante CO en los primeros segundos de la prueba son de aproximadamente de 4.5% y mientras avanza la prueba decrecen a 1%, el contaminante HC al principio es alto con 500 ppm, pero luego se reducen a 50 ppm aproximadamente. El  $\text{O}_2$  tiene un comportamiento normal, y en el  $\text{NO}_x$  se ve que funciona en operación normal excepto la gasolina súper ya que tiene un incremento.

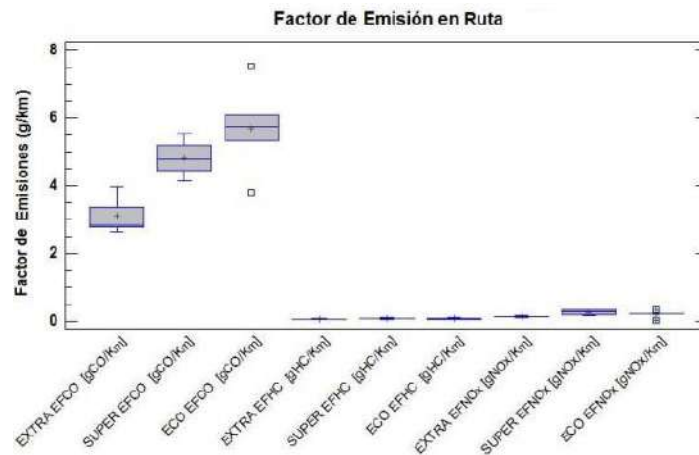


**Gráfico 7-1.** Comportamiento de los gases de escape con distinto combustible

**Fuente:** (Llanes Cedeño et al., 2018, pp.149-158).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

También se da a conocer los factores de emisión donde se puede visualizar de mejor manera, donde se muestra que los gases HC y  $\text{NO}_x$  no tienen un gran cambio en los tres combustibles utilizados, es decir no hay una diferencia significativa, pero en cambio el gas CO emitido sí hay gran diferencia, reduciendo este gas al momento de utilizar la gasolina Extra y Súper (Llanes Cedeño et al., 2018, pp.149-158).



**Gráfico 8-1.** Factores de emisión en ruta con diferente combustible

**Fuente:** (Llanes Cedeño et al., 2018 pp.149-158).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Con la obtención de estos datos se llega a las conclusiones siguientes:

- Uno de los métodos más idóneos para el estudio de combustibles que se aplican en los vehículos es el realizar pruebas en rutas reales con un sistema On Board para la recolección de datos.
- Los gases HC, O<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub> arroja un porcentaje bajo en con cualquier combustible, teniendo valores menores de 1.5% de las emisiones.
- El gas CO se comporta de mejor manera cuando se utiliza la gasolina Extra.
- El combustible tipo gasolina Súper nos brinda menos emisiones de gases contaminantes desde el inicio hasta el final de la prueba.

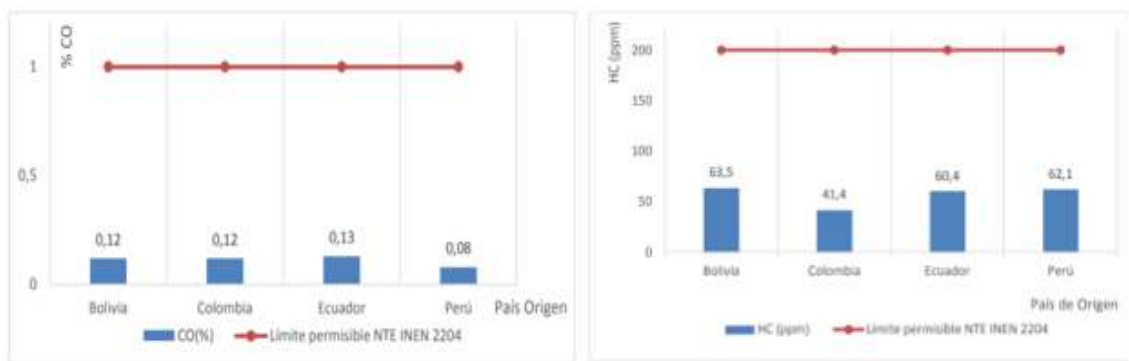
#### 1.7.9.5. Contaminantes en vehículo, utilizando gasolina de la Comunidad Andina

Las normas y reglas que se desarrollan con el objetivo de mejorar los niveles de contaminación del aire también está presente en todos los estados de la comunidad Andina, con el fin de precautelar la contaminación los gobiernos reparten combustibles normados de diferentes tipos a los países inmersos en la comunidad (CAN, 2019, pp.61-63). Lo que se plantea como objetivo en este proyecto es la comparación de las emisiones de gases contaminantes con el combustible normalizado en cada país inmerso, en Bolivia se emplea la gasolina Premium con 92 octanos, en Colombia la gasolina extra con 92 octanos, en Ecuador la gasolina Súper con 92 octanos y Perú con la Gasohol con 95 octanos, siendo este país el que tiene mayor cantidad de octanaje en su combustible (Martínez, Proaño y Puertas, 2018, p.40). Según (BOSCH, 2005, p.233), afirma que “cuanto mayor es el índice de octanos más resistente al picado es el combustible” refiriéndose que mientras más alto octanaje tenga el combustible mejor será el rendimiento del motor contribuyendo al decremento de los niveles de emisiones de gases contaminantes.



Para obtener datos se tomó como vehículo de prueba a un Chevrolet Sail a una altura de 2800 msnm en la ciudad de Quito-Ecuador, se desarrollaron los experimentos tanto dinámico (ciclos 25/25 y 50/15) como estático (ralentí y carga) con distinta gasolina proveniente de cada país antes mencionado (Guasgua Antamba et al., 2016, pp.110-119).

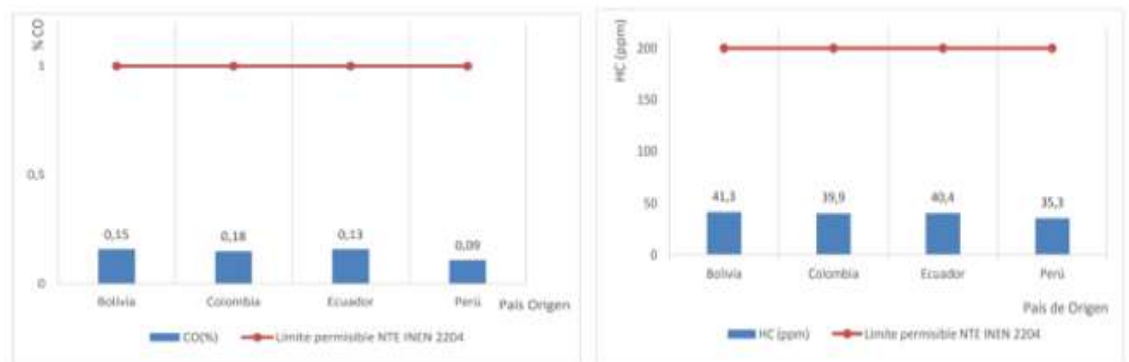
En el gráfico 9-1 se puede apreciar los datos que se obtuvieron en la prueba estática ralentí, se puede apreciar que el combustible de Bolivia y Colombia emiten un 0.12% de CO mientras que el de Ecuador existe una ligera diferencia de 0.1% y Perú emitiendo 0.08%. En el Gas HC vemos que el combustible de Bolivia emite la mayor cantidad de hidrocarburos. En cambio, en las pruebas estáticas acelerado visto en el gráfico 10-1, Bolivia y Colombia aumentan el porcentaje de CO a 0.15% y 0.18% respectivamente mientras que de Ecuador y Perú siguen similares, en el caso del gas HC el combustible de Bolivia sigue emanando más que los otros.



**Gráfico 9-1.** Emisiones de CO y HC (Prueba a ralentí, 820 RPM)

**Fuente:** (Guasgua Antamba et al., 2016, pp.110-119).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

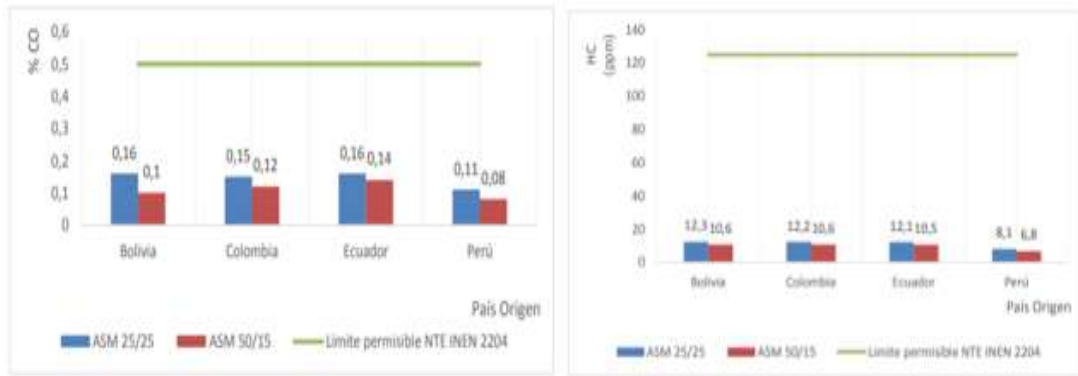


**Gráfico 10-1.** Emisiones de CO y HC (Prueba a 2500 rpm)

**Fuente:** (Guasgua Antamba et al., 2016, pp.110-119).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el gráfico 11-1 siguiente se muestra las mediciones de CO y HC en torno al desarrollo de las pruebas dinámicas.



**Gráfico 11-1.** Emisiones de CO y HC (Pruebas dinámicas Ciclo ASM)

**Fuente:** (Guasgua Antamba et al., 2016, pp.110-119).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En base a estos datos que se han obtenido se concluye que:

- El combustible que contenga mayor número de octanos contribuye con la disminución de los niveles contaminantes debido a la reducción de azufre que se presenta en dicho combustible (Guasgua Antamba et al., 2016, pp.110-119).
- De acuerdo con los límites bajo los cuales deben estar las emisiones de los vehículos y los que rigen en la comunidad Andina todos estos combustibles están aptos para ser utilizados ya que ninguno supera el límite.
- De acuerdo con las pruebas realizadas sobre los 2800 msnm el combustible que entrega mejores prestaciones al motor y contribuye en la reducción de gases contaminantes es el combustible comercializado en Perú.

## CAPÍTULO II



### 2. MARCO METODOLÓGICO

La realización de este trabajo se basará en el tipo de metodología investigativa y explicativa a partir de la aplicación del método experimental, mismos métodos son utilizados para establecer explicaciones y conclusiones en torno al fenómeno de estudio a partir de la recolección de datos como fuentes de información, implementando herramientas necesarias para llevar a cabo el estudio.

#### 2.1. Vehículos de prueba y sus características

Los vehículos que se toman para la realización de este análisis son CHEVROLET y Suzuki, descritos en la tabla 1-2 siguiente. Se han tomado estos vehículos ya que son bastante comercializados a nivel nacional, determinándose los factores de emisión con combustible Extra y Eco-país bajo pruebas de ciclo de conducción IM-240.

**Tabla 1-2:** Vehículos de pruebas y sus características

Vehículo 1	
	
Marca: <b>Chevrolet</b>	<b>Modelo:</b> SPARK GT ACTIV AC 1.2 5P 4X2 TM
Versión: <b>crossover</b>	<b>Año modelo:</b> 2019
Torque: <b>108 Nm @ 4800 rpm</b>	<b>Potencia:</b> 80.5 HP @ 6400 rpm
Cilindrada: <b>1.2L</b>	<b>Tonelaje:</b> 0.375
Combustible: <b>Gasolina Extra</b>	<b>VIN:</b> 9GACE6CD8KB057399
Vehículo 2	
	

Marca: <b>SUZUKI</b>	<b>Modelo:</b> GRAND VITARA SZ
Versión: <b>N/A</b>	<b>Año modelo:</b> 2011
Torque: <b>183 Nm @ 4000 RPM</b>	<b>Potencia:</b> 103 KW @ 6000 RPM
Cilindrada: <b>2 L</b>	<b>Tonelaje:</b> 0.75
Combustible: <b>Gasolina Extra</b>	<b>VIN:</b> 8DLCB535XB0059319

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Los análisis de los factores de emisión son realizados en Quito, en el centro del CCICEV, ubicada sus instalaciones en la Escuela Politécnica Nacional a una altura superior a los 2800 msnm. Estas pruebas realizadas sobre los vehículos ya mencionados determinaran las cantidades de los contaminantes emitidas por los tubos de escape con 2 tipos de combustible comercializados en el país; Extra con 87 octanos y Ecopaís con 87 octanos más 5% de bioetanol.

## 2.2. Sistemas de inspección y mantenimiento

Debido a que los vehículos aportan en gran parte a la contaminación ambiental por la emanación de los gases de escape las distintas autoridades de los distintos países han implementado normas o reglas a partir de los años 70 para el control de las emanaciones de gases de escape o también denominados como sistemas de Inspección y Mantenimiento (I/M) (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40). Dicho sistema de Inspección y Mantenimiento es empleado con el fin de localizar por medio de una prueba de tiempo corto y eficaz, aquellos vehículos que por no tener un buen mantenimiento no cumple con los límites de las emisiones de gases contaminantes.

Para el sistema de inspección y mantenimiento de vehículos a gasolina existe una gran variedad de métodos empleados para la determinación de los factores de emisión, estas pruebas son empleados en métodos estáticos y dinámicos (estable o transitorio). En esta investigación nos basaremos en el método tipo dinámico en estado transitorio, en especial el IM 240.

**Prueba dinámica  
(Estado transitorio)**

- FIP75
- New York
- Europea ECE
- CDH 226
- IM240

## 2.3. Métodos dinámicos en estado transitorio

Las pruebas de tipos métodos dinámicos en estado transitorio, son pruebas que se realizan sobre un dinamómetro, en el cual el conductor debe seguir un patrón de manejo denominado ciclo de

conducción, en donde la carga y la velocidad del vehículo cambia en todo momento del ciclo, esto es con el objetivo de simular la carga y la potencia real necesaria para mover al vehículo en una carretera (Llerena Rengel, 2019, pp.1-50).

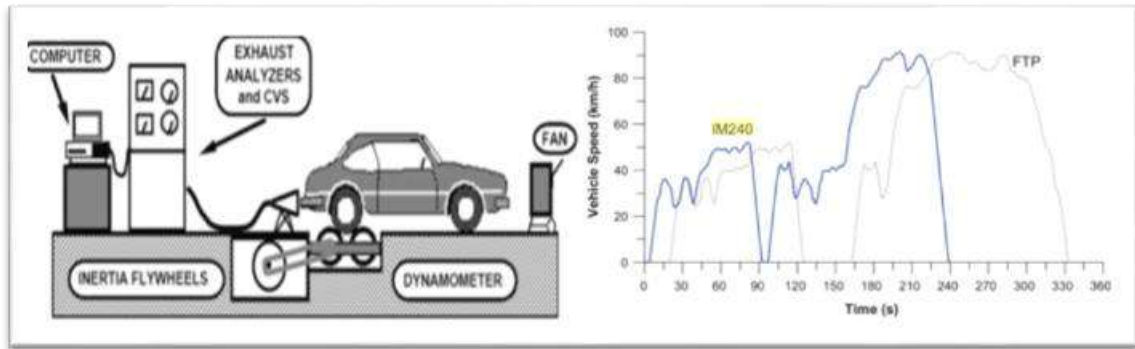
Las muestras de los gases contaminantes (productos de la reacción de combustión del motor) que se obtienen a lo largo del ciclo conducido se muestran en masa del contaminante emitido hacia la atmosfera por una distancia recorrida. Las pruebas realizadas y los datos que se obtienen con el uso del método dinámico en estado transitorio tienen una alta correlación con la FTP (Procedimiento de Prueba Federal), prueba de alto rango utilizadas en vehículos nuevos y buena certificación en cuanto se trate de las emisiones vehiculares. En el presente proyecto se aplica método dinámico en estado transitorio con el ensayo americano conocido como ciclo de conducción IM240, quien nos ayudara a obtener los factores de emisión.

### ***2.3.1. Prueba americana IM240***

Cuando los vehículos salen de las ensambladoras a iniciar su vida útil, los gases de escape están en un nivel muy aceptable, cumpliendo así las normas que cautelan el medio ambiente. Pero con el pasar de los años el deterioro de sus componentes es el factor más importante para causar mayor contaminación, sus límites de contaminación serán mucho mayor llegando hasta contaminar más de lo permitido. Por ello han aparecido sistemas de Inspección y Mantenimiento como el ciclo IM240 teniendo por objetivo principal:

- Determinar las emisiones de escape CO, NO<sub>x</sub> y HC.
- Identificar entre los vehículos que circulan por carretera los que necesiten ser reparados ya que sus emanaciones de gases contaminantes no son permitidas por la ley.

El ciclo IM240, versión abreviada del ciclo FTP (figura 1-2), es el ciclo corto actual empleado en los Estados Unidos para asegurar que los vehículos conserven sus perfiles de baja contaminación en uso real. La abreviatura IM hace referencia a la Inspección y Mantenimiento, mientras que 240 designa la duración máxima del ciclo en segundos. La distancia que recorre durante este lapso de tiempo es de 3.1 kilómetros manteniendo 47.3 kilómetros por hora como una media velocidad y llegando a 91.2 km/h como máxima (Giakoumis, 2017, pp.1-116). Esta prueba se la realiza sobre un dinamómetro de carga variable para simular una ruta real. A demás este equipo dispone de un analizador de gases que es quien va a permitir la medición de los contaminantes.



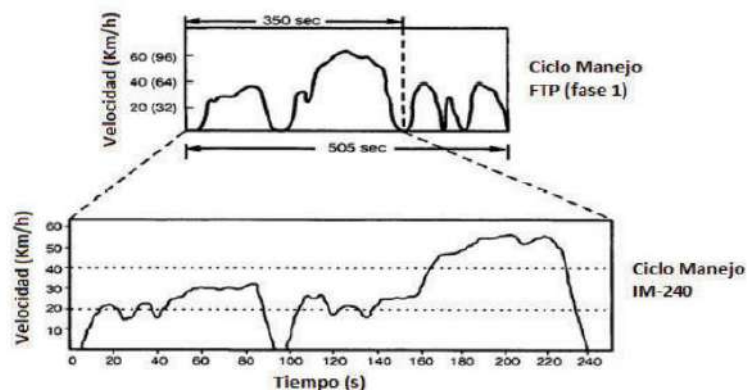
**Figura 1-2.** Vehículo sobre dinámometro y ciclo de conducción IM240

**Fuente:** (Giakoumis, 2017, pp.1-116).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 2.3.2. Procedimiento

La prueba IM240 es una versión abreviada en 240 segundos del ciclo FTP75 de los primeros 505 segundos, primera fase en el periodo transitorio ejecutado por arranque en frío. El ciclo IM240 fue hecha por la EPA o también conocida como Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU., para los vehículos livianos a gasolina o diésel.



**Figura 2-2.** Ciclo de El IM240 como una parte del ciclo FTP-75

**Fuente:** (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En esta prueba IM240 no es accionado con arranque en frío como consiste en la primera fase del ciclo FTP75, sino que se evalúa los gases contaminantes partiendo con el motor caliente. Para tener la temperatura correcta del motor e iniciar con la prueba, la norma de la prueba IM240 muestra unas operaciones opcionales, los cuales son:

- Acelerar sin carga a 2500 revoluciones por un tiempo de 4 minutos.
- Por un tiempo de 4 minutos mantener el vehículo estable a 30 mph.
- Conducir de un ciclo preliminar.

Según (Yépez Lomas, 2012, pp.109-110), este ciclo IM240 consta de 2 fases para un mejor entendimiento y estudio.

**Fase 1:** Los 93 segundos primeros, con velocidades máximas hasta 54.4 km/h, recorriendo una distancia de 0.9 kilómetros.

**Fase 2:** Desde los 93 hasta los 240 segundos, adoptando velocidades máximas hasta 91 km/h, recorriendo una distancia de 2.25 kilómetros.



**Figura 3-2.** Ciclo de conducción IM240

Fuente: (Urbina et al., 2017, pp.1-4).

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

La prueba IM240 consta de las siguientes características de manejo:

**Tabla 2-2:** Característica de manejo en el ciclo de conducción

Característica de manejo	
Tiempo en ralentí	9 a 11 segundos
% ralentí del tiempo total	3.8 %
Velocidad media	47.3 km/h
Velocidad máxima	91.2 km/h

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

## 2.4. IM240 con pruebas de inspección y mantenimiento

En la Inspección y Mantenimiento, la mayoría de las pruebas se realizan con el vehículo estático obteniendo las concentraciones de los gases contaminantes, mostrándonos de forma racional las emisiones en autos controlados mecánicamente, ya para los vehículos más actuales los cuales son controlados electrónicamente los resultados varían, algunas de las veces no pueden ser detectado las emisiones de NO<sub>x</sub> debidamente.

Por esta razón los Estados Unidos y Alemania en el año de 1989 demostraron que los vehículos puestos sobre un dinamómetro y sometidos a carga transitoria nos permite simular la conducción que los vehículos pueden experimentar en la realidad mediante ciclos de conducción, de este modo entonces los resultados que se obtienen serán mucho más mejores (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

La correlación más alta que tiene el ciclo de conducción IM240 es con la prueba FTP-75, con coeficientes (0.89 -- 0.97) mayores a los que se presenta con ASM. En los últimos años el ciclo IM240 se considera como un sistema de Inspección y Mantenimiento mejorado gracias a la EPA, utilizado para vehículos más actuales (Recalde Rojas y Revelo Argoti, 2015, pp.32-40).

## **2.5. Ciclo IM240 y gases emitidos por el motor Otto**

Los gases emanados por los tubos de escape, provenientes de la mala combustión en los motores de ciclo Otto a gasolina podemos diferenciarlos de 2 maneras; inofensivas (Nitrógeno ( $N_2$ ), Oxígeno ( $O_2$ ), Agua ( $H_2O$ ), Dióxido de carbono ( $CO_2$ )) y tóxicos (Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Óxido de nitrógeno ( $NO_x$ )).

Los gases tóxicos son aquellos los cuales pueden causar varias complicaciones no solo al hombre sino a todo el medio ambiente, como en el caso de los HC que al tener contacto con la luz solar o altas temperaturas reacciona con los  $NO_x$  formando ozono en bajas altitudes, así del mismo modo contribuyendo a la lluvia ácida, en el caso del CO resulta muy letal, reduciendo el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo, afectando al cerebro y la visión (Pérez Darquea, 2018, pp.23-34).

En el ciclo de conducción IM240 y junto con el analizador de gases se puede obtener información del CO o monóxido de carbono,  $CO_2$  o dióxido de carbono, hidrocarburos, oxígeno y  $NO_x$ , de los cuales se obtiene los factores de emisión de los gases nocivos (CO, HC,  $NO_x$ ), en gramos emitidos por kilómetro recorrido.

## **2.6. Equipamiento y descripción**

Los equipos utilizados para la determinación de los factores de emisión mediante la prueba dinámica IM240 son perteneciente al Centro de Transferencia Tecnológica (CCICEV), teniendo la ubicación de sus instalaciones en la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito-Ecuador.

- Banco dinamómetro de chasis LPS 3000
- Pupitre de comunicaciones
- Analizador de gases MGT5
- Sonda de gases



- Extractor de gases
- Tanque de presión de combustible externo
- Probeta de 1000ml y 5000 ml, las cuales serán utilizadas para medir el consumo del combustible.

### **2.6.1. Banco dinamómetro de chasis LPS 3000**

El dinamómetro de chasis LPS 3000 se emplea con el fin de realizar pruebas de modo dinámico en camiones y vehículos livianos de motor Otto y a Diésel. Permite simular ciclos de conducción, como el IM240, con la aplicación de cargas y velocidades diferentes a través de todo el tiempo que dure dicho ciclo. Con la utilización de este dinamómetro también nos permite realizar pruebas de medición de consumo de combustible, así como también los gases emitidos por el vehículo en prueba.



**Figura 4-2.** Dinamómetro de chasis LPS 3000

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

El dinamómetro tiene una velocidad de ensayo máxima de 200 km/h, una fuerza de tracción máxima de 15 kN, funcionalidad de número de revoluciones por minuto entre 10 y 10000 rpm., potencia de su rueda de entre 30 KW - 400 KW como máximo y un juego de rodillos de la serie R200/2 (Juego de rodillos dividido), que se compone de un bastidor auto portante con recubrimiento de polvo y rodillos metálicos con la llama, utilizado para vehículos de ensayo (Coches/Camiones/Furgonetas/Buses). En la tabla 3-2 se puede apreciar más datos técnicos de este equipo.

**Tabla 3-2:** Información técnica obtenida del dinamómetro (LPS-3000)

<b>Juego de rodillos</b>	<b>R200/2</b>
Carga sobre el eje	15 t
Longitud (mm)	2260 por rodillo
Ancho (mm)	1100
Altura (mm)	865
Peso	aprox. 1250 kg por rodillo
Rodillos (mm)	900 de longitud
Rodillo (mm)	318 de diámetro
Distancia (mm)	565 entre rodillos
<b>Sistema de elevación con bloqueo de rodillos</b>	
Hidráulica	
<b>Datos eléctricos</b>	
Datos corriente parásita	2 x 200 kW
Alimentación	400 V / 50 Hz
<b>Campo de indicación</b>	
Velocidad de ensayo	máximo 200 km/h
Potencia rueda	30 - máximo 400 kW
Fuerza de tracción	máximo 15 kN
Núm. de revoluciones	10 – 10 000 rpm.

Fuente: (CCICEV, 2020).

### 2.6.2. Centro de comunicación MAHA

Este Centro o pupitre de comunicación es quien controla el banco de prueba, complemento del dinamómetro de chasis, en el cual se puede iniciar la prueba correspondiente y visualizar los ciclos de conducción, así como la información obtenida de las concentraciones de los gases de escape.



**Figura 5-2.** Centro de comunicación MAHA

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 2.6.3. *Analizador de gases MGT 5*

Para la medición de las concentraciones de los gases se utiliza el analizador de gases MGT 5, instrumento utilizado para medir los gases provenientes del tubo de escape de los vehículos provocados por una combustión incorrecta. Este analizador mide en concentración volumétrica ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) y partes por millón ( $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$ ).



**Figura 6-2.** Analizador de gases MGT 5

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

El analizador presenta unos datos técnicos descritos en la siguiente tabla.

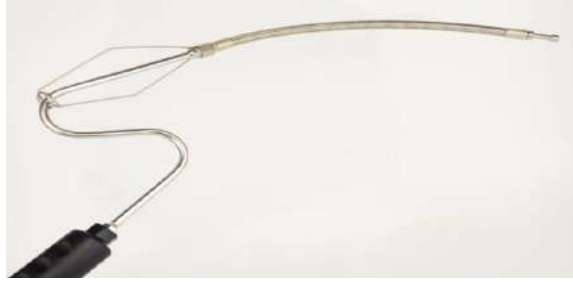
**Tabla 4-2:** Información técnica del analizador MGT-5

<b>Gases analizables</b>	<b>CO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>HC</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>
<b>Intervalo de medición</b>	0-15 Vol. %	0-20 Vol. %	0-2000 ppm (Hexano) 0-4000 ppm (Propano)	0-25 Vol. %	0 - 5000 ppm Vol.
<b>Precisión</b>	0.06 Vol. %	0.5 Vol. %	12 ppm vol.	0.1 Vol. %	32 - 120 ppm vol. según rango de medición
<b>Principio</b>	infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electroquímico	electroquímico
<b>Resolución valores</b>	0.001 Vol. %	0.01 Vol. %	0.1 ppm vol.	0.01 Vol. %	1 ppm vol.
<b>Derivación de rango</b>	inferior a $\pm 0.6$ % del valor final del intervalo				
<b>Precaentamiento</b>	min. 30 minutos, máx. 10 minutos, regulado por temperatura				
<b>Electricidad para medición</b>	3 l/min				
<b>Nivel de electricidad</b>	automática, continuada, aprox.1 l/min				
<b>Presión de servicio</b>	750 - 1100 mbar				
<b>Variación de la presión</b>	máx. Error 0.2% para variaciones de 5 kPascal				
<b>Alimentación de corriente</b>	85 V - 280 V, 50 Hz, 65 W				
<b>Prueba de HC residuales</b>	automático				

Fuente: (CCICEV, 2020).

#### 2.6.4. Sonda de gases

La sonda nos permite recolectar la información de las concentraciones de los gases que salen por el tubo de escape, que posteriormente esta información será obtenida por el analizador de gases.



**Figura 7-2.** Sonda del analizador de gases

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

#### **2.6.5. *Extractor de gases***

Nos ayudara a que los gases de escape provenientes por la mala combustión del motor sean evacuados hacia el exterior del área de trabajo.



**Figura 8-2.** Extractor de gases

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

#### **2.6.6. *Tanque proveedor de gasolina***

Este tanque es externo, se le llama técnicamente Canister y se ocupó de la marca Liqui Moly, utilizado para abastecer de combustible al vehículo en prueba, este tanque se abastece de 5 litros de combustible, los cuales se puede presurizar como máximo de hasta 80 psi, regulable a cada marca conforme dicte el fabricante. Este equipo además de proporcionar combustible al vehículo también es utilizado para determina el consumo de combustible medido con la ayuda de las probetas.



**Figura 9-2.** Canister (tanque de presión de combustible)

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

## 2.7. Datos del ciclo a utilizar

El ciclo de conducción IM240 se va a realizar 2 veces, es decir se va a recorrer 6.4 km de distancia (480 segundos). Se va a realizar 3 pruebas con cada combustible y en cada vehículo, recolectando la información de las tres mediciones en el software de Excel.

## 2.8. Protocolo de pruebas dinámicas ciclo IM240

El manejo y ensayo sobre el dinamómetro de chasis se realiza con el personal del centro de CCICEV, ya que este personal es autorizado y certificado en el uso de estos equipos. El procedimiento da inicio montando el vehículo en el dinamómetro, verificando que el vehículo este centrado y que sus ruedas estén perfectamente acopladas en los rodillos del dinamómetro.



**Figura 10-2.** Montaje de los vehículos de prueba en el banco dinamométrico

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Una de las seguridades que se toma en cuenta en este tipo de prueba es la utilización de fajas para anclar el vehículo contra el piso, así de este mismo modo existirá un mayor contacto y agarre de las ruedas y los rodillos.



**Figura 11-2.** Anclaje del vehículo contra el piso

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Seguidamente se coloca un tanque de presión de combustible externo, también denominado como Canister, que además de proporcionar combustible al vehículo, ayudara a la medición del consumo de combustible utilizado. En el caso del Spark GT el tanque extra es conectado a través de acoples a la salida del tanque de combustible como se muestra en la figura 12-2, en aso del SZ se acopla en la entrada del riel de combustible.



**Figura 12-2.** Conexión del Canister mediante acoples en el Spark GT

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.



Este tanque de combustible externo es abastecido con 5 litros de gasolina a una presión interna del tanque de 40 psi



**Figura 13-2.** Abastecimiento de combustible al tanque de combustible externo

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Se procede a encender el vehículo con el fin de que la temperatura del motor se encuentre en óptimas condiciones para iniciar la prueba. Una vez que el motor se encuentra en temperatura correcta se procede a instalar la sonda del analizador de gases MGT 5 en el tubo de escape, así como el extractor de los mismos.



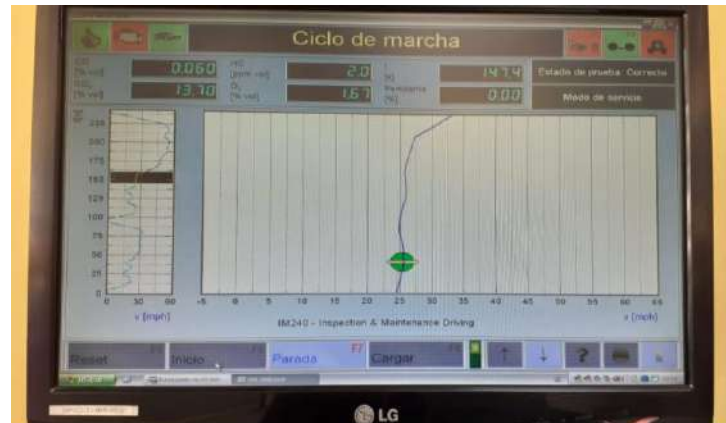
**Figura 14-2.** Instalación de la sonda y extractor de gases

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Ya instalado el analizador de gases y completado el tanque externo con los 5 litros de combustible, se da inicio a la prueba de ciclo de conducción, en este apartado se tiene preestablecido una condición de manejo que nos proporciona el Software, este ciclo de conducción es el IM240, un ciclo americano. A medida que se va realizando este ciclo de conducción se va realizando la medición de los gases de escape. Para que la prueba realizada sea válida tiene que existir un



mínimo de error en los datos recolectados, caso contrario se anulaba esa prueba y se tendrá que realizar otra. Toda la información que se obtiene en el transcurso del ciclo de conducción se guarda en una hoja de Excel, información valiosa que luego será analizada respectivamente.



**Figura 15-2.** Prueba del Ciclo de conducción IM240

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Tras realizarse cada prueba de ciclo de conducción y con diferente combustible se procede a medir el consumo de combustible con la utilización de probetas de 1000 ml y 5000 ml. Teniendo en cuenta que el tanque de presión de combustible es suministrado por 5 litros de combustible, una vez que se termine cada prueba de ciclo se debe comprobar cuanto a consumido con la utilización de las probetas.



**Figura 16-2.** Medición del consumo de combustible

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Este procedimiento de la prueba dinámica IM240 con combustible Extra y Ecopaís se siguió para los dos tipos de vehículos (Spark GT y Suzuki Grand Vitara).

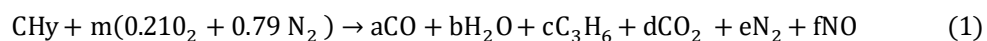


**Figura 17-2.** Procedimiento de la prueba IM240 del vehículo Suzuki Grand Vitara  
**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

## 2.9. Análisis de los factores de emisiones de gases contaminantes

Se determina las variables dependientes e independientes de un experimento con un modelo simplificado. Estos datos experimentales son concentraciones del volumen, se expresa en (% V) “concentración volumétrica”, Es necesario saber las concentraciones de los de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , HC, CO, también es muy importante el consumo y densidad del combustible para llegar obtener los gramos de contaminantes que se emiten durante una distancia recorrida.

Los gases provenientes del tubo de escape del vehículo se expresan en la Ecuación 1, podemos ver en ello su comportamiento de su análisis dinámico, las letras a, b, c, d, e, f y m son representantes de coeficientes que aún no se conocen y obtenidos por mol del consumo de combustible. Desarrolla una relación de masa o balance, respecto a la cantidad de carbono, se debe a que como resultado de la combustión obtenemos  $\text{CO}_2$ , CO y HC. Este balance se lo describe en la Ecuación 1 (Leguísamo Milla eat., 2020, pp.68-83).



m son los moles aire por mol de combustible y a, b, c, d, e, f son moles que se forman del CO,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  y NO por mol de combustible consumido respectivamente, así tendremos una visión de los coeficientes obtenidos en la ecuación simplificada mostrada anteriormente en la ecuación 1.

De esta fórmula se pueden establecer las siguientes ecuaciones:

$$\text{Carbono: } 1 = a + 3c + d \quad (2)$$

$$\text{Hidrogeno: } y = 2b + 6c \quad (3)$$

$$\text{Oxigeno: } 0.42m = a + b + 2d + f \quad (4)$$

$$\text{Nitrógeno: } 1.58 = 2e + f \quad (5)$$

Formando parte de los residuos de la combustión el gas  $\text{CO}_2$ , es un gas predominante, con el cual se pretende relacionar este con los demás residuos, los cuales ayudan a la formación de la relación de este estudio, mostrándose la relación en las siguientes ecuaciones 6, 7 y 8.

$$R_{\text{CO}} = \left( \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} \right) = \frac{a}{d} \quad (6)$$

$$R_{\text{HC}} = \left( \frac{\text{HC}}{\text{CO}_2} \right) = \frac{c}{d} \quad (7)$$

$$R_{\text{NOx}} = \left( \frac{\text{NO}}{\text{CO}_2} \right) = \frac{f}{d} \quad (8)$$

De las cuales relacionando con las ecuaciones 2, 3, 4 y 5 se obtiene:

$$1 = a + 3c + d \quad (9)$$

$$a = d * R_{\text{CO}} \quad (10)$$

$$c = d * R_{\text{HC}} \quad (11)$$

$$d = \frac{1}{R_{\text{CO}} + 3R_{\text{HC}} + 1} \quad (12)$$

La relación que existe entre CO respecto al  $\text{CO}_2$  se le denota como  $R_{\text{CO}}$  en porcentaje, teniendo del mismo modo la relación de HC respecto a  $\text{CO}_2$  denotada como  $R_{\text{HC}}$ . Con los valores de a, c y f podemos obtener resultados de gramos de contaminante por gramos de combustible consumido. Donde  $MW_{\text{CO}}$  es el peso molecular del CO y  $MW_{\text{comb}}$  peso molecular del combustible.

$$EF'_{\text{CO}} = a * \frac{MW_{\text{CO}}}{MW_{\text{comb}}} = \frac{R_{\text{CO}}}{R_{\text{CO}} + 3R_{\text{HC}} + 1} * \frac{MW_{\text{CO}}}{MW_{\text{comb}}} \quad (13)$$

$$EF'_{\text{HC}} = c * \frac{MW_{\text{HC}}}{MW_{\text{comb}}} = \frac{R_{\text{HC}}}{R_{\text{CO}} + 3R_{\text{HC}} + 1} * \frac{MW_{\text{HC}}}{MW_{\text{comb}}} \quad (14)$$

$$EF'_{\text{NOx}} = f * \frac{MW_{\text{NOx}}}{MW_{\text{comb}}} = \frac{R_{\text{NOx}}}{R_{\text{CO}} + 3R_{\text{HC}} + 1} * \frac{MW_{\text{NOx}}}{MW_{\text{comb}}} \quad (15)$$

Teniendo en cuenta que la base del combustible es  $C_8H_{18}$  equivaliendo a  $CH_{2,25}$  se procede a obtener el peso molecular del combustible mostrada en la ecuación 16.

$$MW_{\text{comb}} = \frac{12 \text{g Carb}}{\text{mol Carb.}} * \left( \frac{1 \text{mol Carb.}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1 \text{g Hidro.}}{\text{mol Hidro.}} * \left( \frac{y * \text{mol Hidro.}}{\text{mol comb}} \right) = 14,25 \frac{\text{g comb}}{\text{mol comb}} = 0.01425 \frac{\text{kg comb}}{\text{mol comb}} \quad (16)$$

Una vez que se tenga la densidad del combustible  $D_{\text{comb}}$  (kg/m<sup>3</sup>) y consumo de combustible FC (m<sup>3</sup>/km), se puede obtener los factores de emisión en g/km y teniendo en cuenta que el CO ( $MW_{\text{CO}} = 28 \text{ g/mol}$ ), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> ( $MW_{\text{HC}} = 42 \text{ g/mol}$ ) y NO ( $MW_{\text{NO}_x} = 30 \text{ g/mol}$ ).

$$EF = EF' * D_{\text{comb}} * FC \quad (17)$$

Y luego obtenemos las fórmulas para calcular los factores de emisión del CO, HC y NO<sub>x</sub>.

$$EF_{\text{CO}} = \frac{\text{gCO}}{\text{km}} = \frac{28 \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + 3 \left( \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) + 1} * \frac{D_{\text{comb}} * FC}{0.01425} \quad (18)$$

$$EF_{\text{HC}} = \frac{\text{gHC}}{\text{km}} = \frac{42 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + 3 \left( \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) + 1} * \frac{D_{\text{comb}} * FC}{0.01425} \quad (19)$$

$$EF_{\text{NO}} = \frac{\text{gNO}}{\text{km}} = \frac{30 \frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + 3 \left( \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) + 1} * \frac{D_{\text{comb}} * FC}{0.01425} \quad (20)$$

O también:

$$EF_{\text{CO}} = \frac{\text{gCO}}{\text{km}} = \frac{28 R_{\text{CO}}}{R_{\text{CO}} + 3(R_{\text{HC}}) + 1} * \frac{D_{\text{comb}} * FC}{0.01425} \quad (21)$$

$$EF_{\text{HC}} = \frac{\text{gHC}}{\text{km}} = \frac{42 R_{\text{HC}}}{R_{\text{CO}} + 3(R_{\text{HC}}) + 1} * \frac{D_{\text{comb}} * FC}{0.01425} \quad (22)$$

$$EF_{\text{NO}} = \frac{\text{gNO}}{\text{km}} = \frac{30 R_{\text{NO}}}{R_{\text{CO}} + 3(R_{\text{HC}}) + 1} * \frac{D_{\text{comb}} * FC}{0.01425} \quad (23)$$

Notando que  $EF_{\text{CO}}$  es el factor de emisión en g/km del monóxido de carbono,  $R_{\text{CO}}$  se le conoce como la razón o relación de % de CO con  $\text{CO}_2$ ,  $R_{\text{HC}}$  se conoce como la razón de % de HC con  $\text{CO}_2$ , y también tenemos  $R_{\text{NO}}$  que es la razón de % de NO<sub>x</sub> con respecto a  $\text{CO}_2$ .

Se consideran como variables independientes la densidad del combustible ( $D_{\text{comb}}$  denotados por las unidades kg/m<sup>3</sup>), con 748 kg/m<sup>3</sup> de densidad a 15 °C de temperatura y el combustible que se ha consumido durante la distancia recorrida sobre la ruta de prueba (Leguísamo Milla et al., 2020, pp.68-83).

## 2.10. Análisis de variables

Para la verificación de los resultados y estudio del comportamiento estadístico se toma en cuenta la nomenclatura que se presenta en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Nomenclatura de los niveles de factores para análisis

Factores	Niveles de los factores	Designación 1	Designación 2
Vehículos	Spark GT 1.2L [SPGT1.2]	-1	A1
	Suzuki Gran Vitara SZ 2.0L [SZ2.0]	1	A2
Combustibles	Extra	1	-
	Ecopaís	2	

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Para la comparación de los resultados se utiliza el software de Statgraphics por medio de superficies de respuesta formando combinaciones de los vehículos y los combustibles, así como se muestra en la tabla 6-2 siguiente.

**Tabla 6-2:** Designación para tratar el análisis de las gráficas de superficies

No.	Medición	Vehículos	Combustibles
1	1	1	1
2	1	-1	1
3	1	-1	2
4	1	1	2
5	2	-1	1
6	2	1	1
7	2	1	2
8	2	-1	2
9	3	1	1
10	3	1	2
11	3	-1	2
12	3	-1	1

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Además, en el mismo programa se utilizó ANOVA, una ventana que nos permite saber si entre las medias de las mediciones existe o no diferencia mínima significativa, este método es utilizado

actualmente para obtener información estadística de la comparación de las medias con método de varianza por método de Fisher. Este método nos brinda un 95% de confianza para saber si hay varianza significativa. Para ello también se necesita el tratamiento para el análisis de varianza significativa.

**Tabla 7-2:** Designación para tratar el análisis de varianza mínima

No.	Medición	Vehículos	Combustibles
1	1	A1	Extra
2	2	A1	Extra
3	3	A1	Extra
4	1	A1	Ecopaís
5	2	A1	Ecopaís
6	3	A1	Ecopaís
7	1	A2	Extra
8	2	A2	Extra
9	3	A2	Extra
10	1	A2	Ecopaís
11	2	A2	Ecopaís
12	3	A2	Ecopaís

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Resultados

En el presente capítulo se mostrará los resultados que se obtuvieron de los gases emitidos y el combustible consumido de los dos tipos de vehículos (Spark GT (SPGT1.2) y Suzuki Grand Vitara SZ (SZ2.0)), cuando se ha utilizado la prueba de ciclo de conducción IM240. De esta manera, estos datos serán de mucha importancia ya que con los mismos se podrá calcular los factores de emisión del monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de nitrógeno.

##### 3.1.1. Rendimiento de combustible en vehículo SPGT1.2

El rendimiento de combustible tras realizarse las pruebas con el ciclo IM240, 2 veces, se considera un parámetro importante para la obtención de los factores de emisión, en las siguientes tablas se estará mostrando el rendimiento con los distintos combustibles empleados en el vehículo. Cabe recalcar que las variables atmosféricas en las que se realizó esta prueba fueron con temperatura ambiental de 20.5 °C, humedad relativa de 51% y una presión atmosférica de 732 hPa.

##### 3.1.1.1. Rendimiento con combustible Extra

Con la utilización del combustible Extra se obtiene las mediciones mostradas en la tabla 1-3 siguiente, tras haber realizado 3 pruebas (mediciones). En promedio el consumo de combustible obtenido durante los 6.4 km recorridos es de 0.390 litros, obteniendo así un rendimiento promedio de 62.110 km que se recorre por cada galón de combustible Extra o también 16.431 km/lt.

**Tabla 1-3:** Rendimiento de combustible\_ Extra\_SPGT1.2

Cálculo del rendimiento - combustible Extra				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	promedio
Consumo en litros	0.38	0.41	0.38	0,390
Rendimiento km/lt	16.842	15.610	16.842	16.431
Rendimiento km/Gl	63.663	59.005	63.663	62.110

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.1.2. Rendimiento con combustible Ecopaís

Con la aplicación del combustible Ecopaís se logra obtener un consumo de combustible tras recorrer los 6.4 km de 0.388 litros, así obteniendo un rendimiento de 62.299 kilómetros que se puede recorrer con un galón de combustible Ecopaís, o también 16.481 km/lt.

**Tabla 2-3:** Rendimiento de combustible\_ Ecopaís\_SPGT1.2

Cálculo del rendimiento - combustible Ecopaís				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	promedio
Consumo en litros	0.39	0.39	0.385	0.388
Rendimiento km/lt	16.410	16.410	16.623	16.481
Rendimiento km/Gl	62.031	62.031	62.836	62.299

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

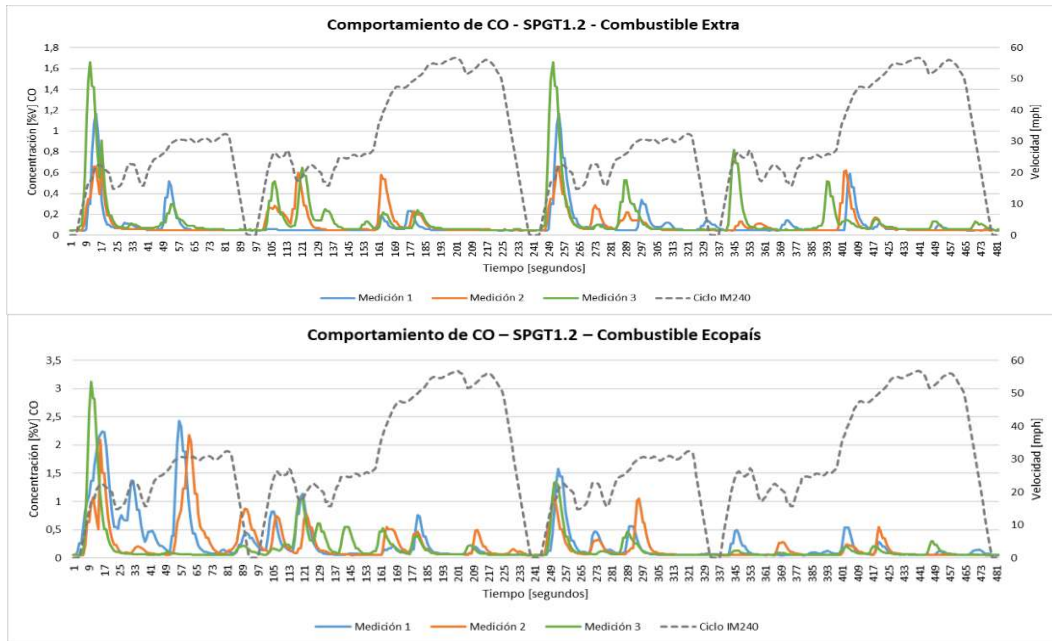
### 3.1.2. Emisiones contaminantes en vehículo SPGT1.2

Tras realizarse las 3 pruebas (3 mediciones) a través del ciclo de conducción, los gases que se obtienen a con el analizador en concentración volumétrica son CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y partes por millón los HC y NO<sub>x</sub>.

#### 3.1.2.1. Comportamiento de los gases de emisión

En el 3-1 se muestra el comportamiento de la emanación del monóxido de carbono en las 3 pruebas, tanto con la utilización del combustible Extra como del Ecopaís durante los dos ciclos de conducción IM240. En el inicio de cada ciclo se puede ver que hay un incremento de emisiones entre 0.6 %V y 1.63 %V, manteniéndose luego de los 28 segundos primeros por debajo de los 0.6 %V en cuanto a la utilización del combustible extra. En la utilización del combustible Ecopaís, al inicio del primer ciclo, en los primeros 28 segundos sus picos llegan a valores entre 2 y 3.1 %V, al igual que entre los segundos 49 y 73, para luego estabilizarse por debajo de 1 %V, al inicio del segundo ciclo se puede observar que los picos pueden estar entre 1 y 1.5 %V. La utilización del combustible Ecopaís hace incrementar la concentración volumétrica en relación al combustible Extra.

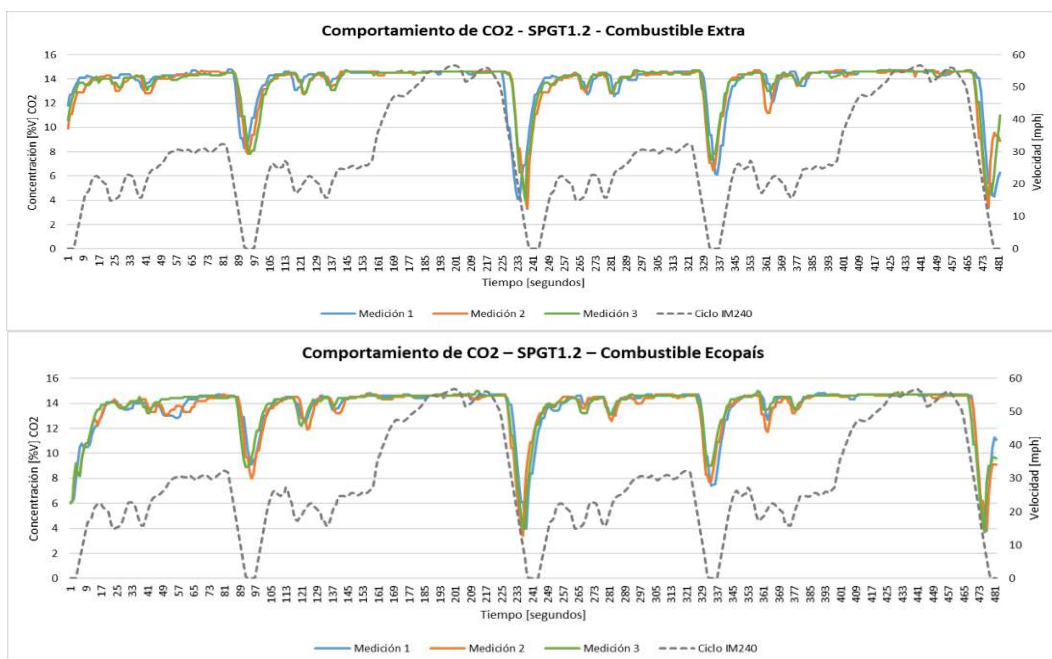




**Gráfico 1-3.** Comportamiento de CO\_Extra y Ecopaís\_SPGT1.2

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

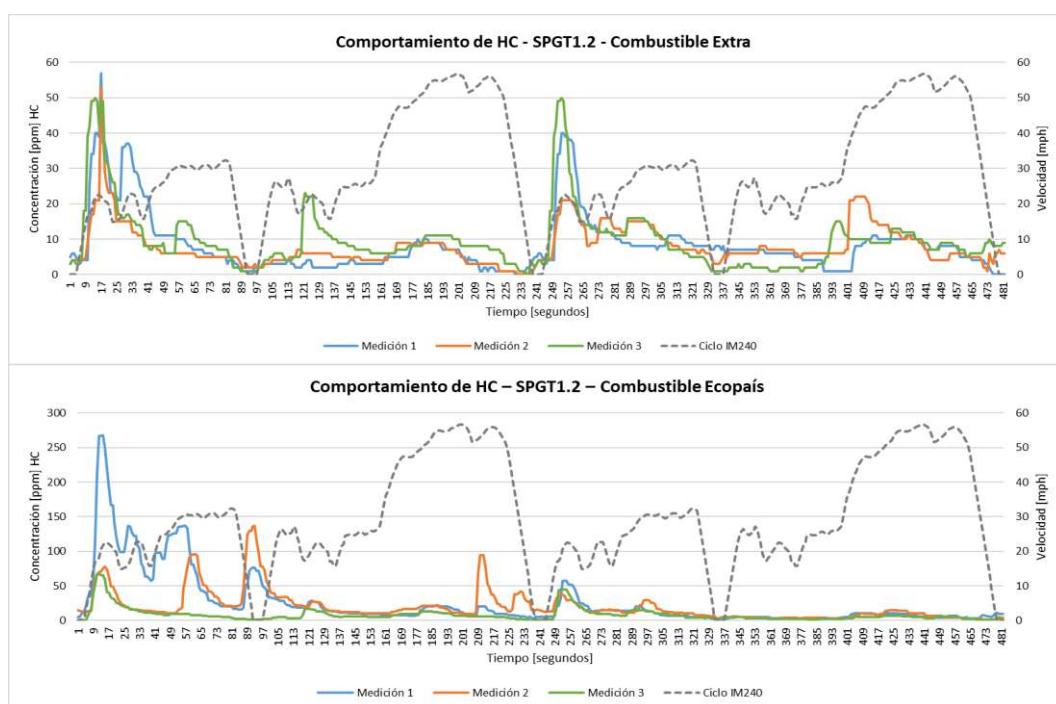
El comportamiento del dióxido de carbono, se puede notar similitud entre sus diferentes mediciones y diferente tipo de combustible, aumentando durante los primeros 12 segundos para luego estabilizarse por encima de 13% V, así denotándose una excelente eficiencia en la combustión. Mientras transcurre la prueba el CO<sub>2</sub> cae cuando el vehículo se detiene y aumenta cuando la velocidad del vehículo empieza a elevarse.



**Gráfico 2-3.** Comportamiento de CO2\_Extra y Ecopaís\_SPGT1.2

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

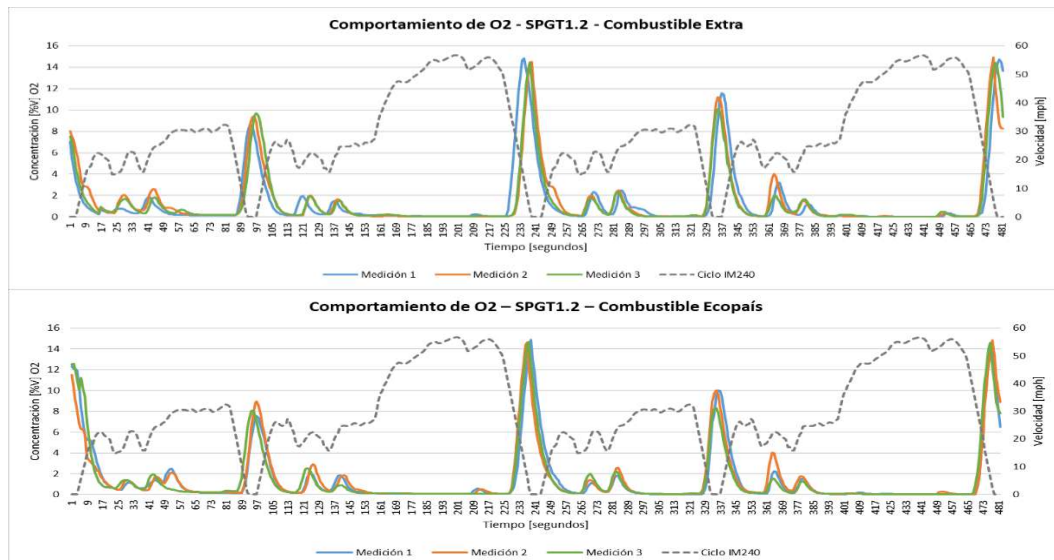
El comportamiento de los hidrocarburos varia con la utilización de distinto combustible, teniendo en los primeros segundos del primer ciclo unos picos con intervalos entre 40 y 55 ppm, en el inicio del segundo ciclo llegan sus picos de la primera y tercera medición hasta 40 y 50 ppm respectivamente para luego descender hasta por debajo de las 15 ppm en el recto del ciclo en cuanto a la utilización del combustible Extra. Mientras se utiliza el combustible Ecopaís se puede observar que su comportamiento en concentración aumenta, teniendo picos en sus primeros segundos de su primera medición por encima de 250 ppm y en la segunda y tercera por encima de los 60 ppm para luego de 100 segundos estatzarse por debajo de los 25 ppm. Como se puede apreciar la utilización del combustible Extra emite menos Hidrocarburos que la Ecopaís.



**Gráfico 3-3.** Comportamiento de HC\_Extra y Ecopaís\_SPGT1.2

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

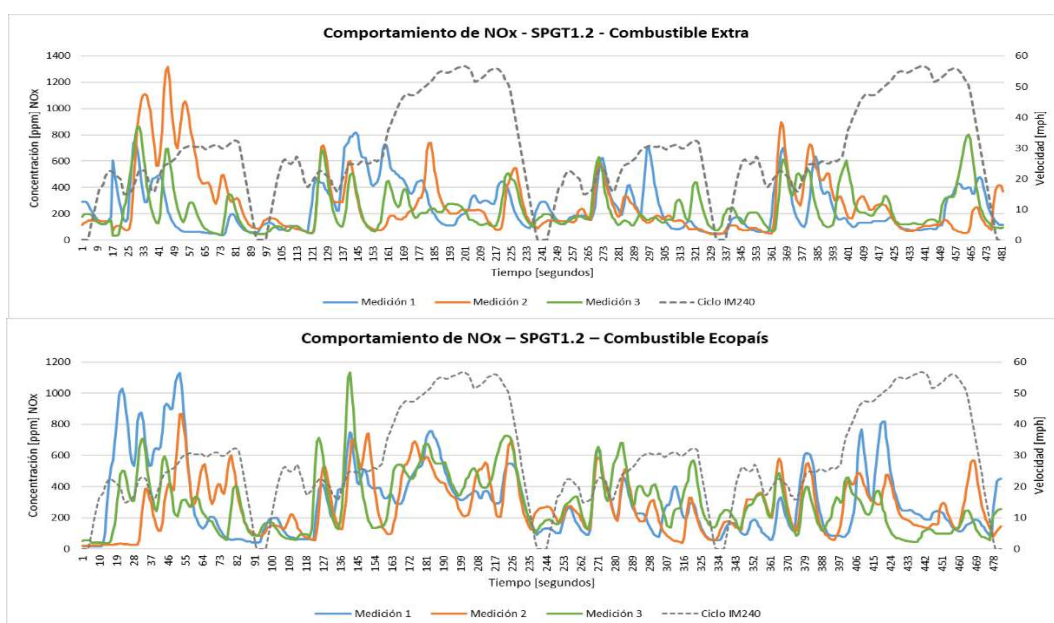
El oxígeno sigue exactamente el opuesto al  $\text{CO}_2$  (gráfico 3-4) disminuyendo durante los primeros 12 segundos para luego estabilizarse por debajo del 2 %V. Mientras transcurre la prueba el  $\text{O}_2$  cae cuando el vehículo aumenta la velocidad y se eleva cuando la velocidad del vehículo empieza a disminuirse.



**Gráfico 4-3.** Comportamiento de O2\_Extra y Ecopaís\_SPGT1.2

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En los óxidos de nitrógeno, en cuanto a la utilización del combustible Extra, los primeros 64 segundos sus valores pueden llegar a sobrepasar los 1200 ppm para luego oscilar por debajo de los 800 ppm. Sus 3 ediciones no presentan una gran similitud. En cuanto a la utilización del combustible Ecopaís, en los primeros 64 segundos, es su primera medición llega valores que sobrepasan las 1000 ppm para luego estabilizarse con más oscilaciones que con el Extra por debajo de los 800 ppm, teniendo que con la utilización del combustible Ecopaís se emite más NO<sub>x</sub> al medio ambiente.



**Gráfico 5-3.** Comportamiento de NOx\_Extra y Ecopaís\_SPGT1.2

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.2.2. Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Extra)

Las mediciones de los gases contaminantes que se muestra en las siguientes tablas son promedios de cada prueba que se realizó (2 veces IM240), es decir, los datos fueron recolectados en una hoja de Excel durante los 8 minutos aproximadamente, de los cuales se tomó el promedio de cada gas, los cuales se muestran en las siguientes tablas descritas. Para mantener todos estos gases en una sola unidad de medida se transformará los HC y NO<sub>x</sub> de partes por millón en concentración volumétrica, dividiendo las partes por millón para 10000, es decir  $\frac{\text{ppm}}{10000} = \%V$ , aplicado en todas las mediciones promedios.

Con la utilización del combustible Extra podemos observar los datos obtenidos de los 5 gases (tabla 3-3) en concentración volumétrica. Se puede observar en cuanto al gas CO, en su primera medición tenemos 0.090 %V, 0.11 en la segunda y en la tercera 0.15, teniendo así un promedio de 0.117 %V. Mientras el CO<sub>2</sub> no varía significativamente, manteniendo un promedio de 13.56 %V. Los HC se mantienen en 0.001 %V. El O<sub>2</sub> en si primera, segunda y tercera medición tiene valores de 1.56; 1.51; 1.45 respectivamente no variando mucho, con un promedio de 1.507 %V, y los NO<sub>x</sub> con un promedio de sus tres mediciones de 0.025 %V.

**Tabla 3-3** Emisiones contaminantes\_Extra\_SPGT1.2

Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Extra)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
CO (%V)	0.090	0.110	0.150	0.117
CO <sub>2</sub> (%V)	13.520	13.560	13.600	13.56
HC (%V)	0.001	0.001	0.001	0.001
O <sub>2</sub> (%V)	1.560	1.510	1.450	1.507
NO <sub>x</sub> (%V)	0.025	0.028	0.023	0.025

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.2.3. Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Ecopaís)

Al implementar el combustible Ecopaís en las pruebas del ciclo de conducción se obtienes que en el CO en su primera medición se tiene 0.27 %V, luego desciende hasta 0.180 %V en su tercera medición, obteniendo así un promedio de 0.22 %V. En el CO<sub>2</sub> se obtiene un promedio de 13.603 %V. En los HC se obtiene un promedio de 0.002 %V. En cuanto al O<sub>2</sub> se tiene un

promedio de 1.487 % V. El NO<sub>x</sub> se cambia significativamente tras sus tres mediciones, teniendo un promedio de 0.0297 % V.

**Tabla 4-3:** Emisiones contaminantes\_Ecopaís\_SPGT1.2

Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Ecopaís)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
CO (% V)	0.270	0.210	0.180	0.220
CO <sub>2</sub> (% V)	13.630	13.480	13.700	13.603
HC (% V)	0.003	0.002	0.001	0.002
O <sub>2</sub> (% V)	1.430	1.620	1.410	1.487
NO <sub>x</sub> (% V)	0.031	0.028	0.030	0.030

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.3. Relación de gases respecto a CO<sub>2</sub> en vehículo SPGT1.2

Para establecer la relación de los gases CO, HC y NO<sub>x</sub> con respecto a CO<sub>2</sub> lo que se hace es dividir el gas contaminante para el gas CO<sub>2</sub> de cada medición, así de ese modo sabremos cual es la relación que tienen los gases con respecto al dióxido de carbono.

#### 3.1.3.1. Gases CO, HC Y NO<sub>x</sub> en función de CO<sub>2</sub> (combustible Extra)

Con el uso del combustible Extra la relación que existe del monóxido de carbono en función del dióxido de carbono en su primera medición en 0.007; 0.008 en su segunda medición y en su tercera es de 0.011, teniendo en promedio de 0.009 en relación. Para los hidrocarburos la relación es de 0 y para los óxidos de nitrógeno se mantiene una relación de 0.002 en todas sus mediciones.

**Tabla 5-3:** Relación de gases en función de CO<sub>2</sub>\_Extra\_SPGT1.2

Relación de gases en función de CO <sub>2</sub> (combustible Extra)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
RCO	0.007	0.008	0.011	0.009
RHC (% V)	0.000	0.000	0.000	0.000
RNO <sub>x</sub> (% V)	0.002	0.002	0.002	0.002

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.3.2. Gases CO, HC Y NOx en función de CO2 (combustible Ecopaís)

Cuando se usa el combustible Ecopaís la relación que existe de los hidrocarburos en función al dióxido de carbono es de 0. Mientras que para los óxidos de nitrógeno es de 0.002 en todas sus mediciones, al igual que con el uso del combustible Extra. Para los monóxidos de carbono existe una relación promedio de 0.016 de relación en función de dióxido de carbono.

**Tabla 6-3:** Relación de gases en función de CO2\_Ecopaís\_SPGT1.2

Relación de gases en función de CO2 (combustible Ecopaís)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
RCO	0.020	0.016	0.013	0.016
RHC (% V)	0.000	0.000	0.000	0.000
RNO <sub>x</sub> (% V)	0.002	0.002	0.002	0.002

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.4. Factores de emisión en vehículo SPGT1.2

Tras tener los datos necesarios, se prosiguió al cálculo de los factores de emisión de los hidrocarburos, monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, quienes se expresarán en gramos consumidos por kilómetro recorrido.

#### 3.1.4.1. Factores de emisión (combustible Extra)

Mientras se utilizó el combustible Extra, con una densidad de 744 kg/m<sup>3</sup>, en cuanto al monóxido de carbono en su primera medición arroja un valor de 0.574 gramos emitidos en un kilómetro recorrido, su segunda y tercera medición nos arroja 0.753 y 0,947 gramos respectivamente emitidos tras recorrer un kilómetro de distancia, teniendo así un promedio de 0.758 g/km. En cuanto a los hidrocarburos estos no tienen cambio en sus 3 pruebas, teniendo así un promedio de 0.008 g/km. Para los óxidos de nitrógeno en su primera, segunda y tercera medición se tiene valores de 0.171, 0.202 y 0.157 g/km respectivamente, y un promedio de 0.177 gramos emitidos por kilómetro recorrido.

**Tabla 7-3:** Factores de emisión\_Extra\_SPGT1.2

Factores de emisión (combustible Extra)				
Parámetros	Densidad de combustible (Kg/m3)			744
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
FCO (g/km)	0.574	0.753	0.947	0.758
FHC (g/km)	0.008	0.008	0.009	0.008
FNO <sub>x</sub> (g/km)	0.171	0.202	0.157	0.177

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Como podemos observar que la utilizar el combustible Extra el contaminante que más se emite es el monóxido de carbono, proseguido por los óxidos de nitrógeno, y por último los hidrocarburos.

#### 3.1.4.2. Factores de emisión (combustible Ecopaís)

Tras la utilización del combustible Ecopaís se obtiene que en la primera medición del gas CO se emite 1.729 gramos por cada kilómetro recorrido, en la segunda medición se obtiene 1.366 gramos emitidos por kilómetro, en la tercera se obtiene 1.140 g/km y como promedio tenemos 1.412 g/km, es decir, con el uso del combustible Ecopaís emite más que con el Extra. En cuanto a los hidrocarburos, estos no varían mucho teniendo un promedio de 0.017 gramos emitidos por cada kilómetro. Los NO<sub>x</sub> en su primera medición se tiene 0.212 gramos emitidos por kilómetro, en la segunda y tercera prueba se obtiene 0.198 y 0.202 g/km respectivamente, en promedio se tiene 0.204 gramos emitidos por kilómetro. Los datos nos muestran que con la utilización del combustible Ecopaís se contamina más.

**Tabla 8-3:** Factores de emisión\_Ecopaís\_SPGT1.2

Factores de emisión (combustible Ecopaís)				
Parámetros	Densidad de combustible (Kg/m3)			744
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
FCO (g/km)	1.729	1.366	1.140	1.412
FHC (g/km)	0.025	0.019	0.008	0.017
FNO <sub>x</sub> (g/km)	0.212	0.198	0.202	0.204

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Como podemos observar que la utilizar el combustible Ecopaís el contaminante que más se emite es el monóxido de carbono, proseguido por los óxidos de nitrógeno, y por último los hidrocarburos.

### 3.1.5. Rendimiento de combustible en vehículo SZ2.0

Uno de los parámetros importantes para la obtención de datos respecto a la cantidad de emisiones contaminantes y sus factores es el “Rendimiento de Combustible”, por parte de cada combustible usado en los vehículos en las pruebas realizadas en el Ciclo IM 240. Cabe aclarar que las condiciones a las cuales fueron realizadas las pruebas es; 20,4 °C de temperatura ambiente, 52% de humedad relativa y una presión atmosférica de 732 hPa.

#### 3.1.5.1. Rendimiento con combustible Extra

Al utilizar el combustible Extra se obtiene las mediciones mostradas en la tabla 9-3, tras haber realizado 3 pruebas (mediciones). En promedio el consumo de combustible obtenido durante los 6.4 km recorridos es de 1.0867 litros, por lo cual podemos obtener un rendimiento promedio de 22.272 km que se recorre por cada galón de combustible Extra o a su vez 5.892 km/lt.

**Tabla 9-3:** Rendimiento de combustible\_ Extra\_SZ2.0

Cálculo del rendimiento (combustible Extra)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	promedio
Consumo en litros	1.06	1.11	1.09	1.0867
Rendimiento km/lt	6.038	5.766	5.872	5.892
Rendimiento km/Gl	22.823	21.795	22.198	22.272

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

#### 3.1.5.2. Rendimiento con combustible Ecopaís

Al utilizar combustible Ecopaís se logra obtener un consumo de combustible tras recorrer los 6.4 km de 1.033 litros, así obteniendo un rendimiento de 23.459 kilómetros que se puede recorrer con un galón de combustible Ecopaís, o a su vez 6.026 km/lt.



**Tabla 10-3:** Rendimiento de combustible\_ Ecopaís\_SZ2.0

Cálculo del rendimiento (combustible Ecopaís)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	promedio
Consumo en litros	1.000	1.000	1.100	1.033
Rendimiento km/lt	6.400	6.400	5.818	6.206
Rendimiento km/Gl	24.192	24.192	21.993	23.459

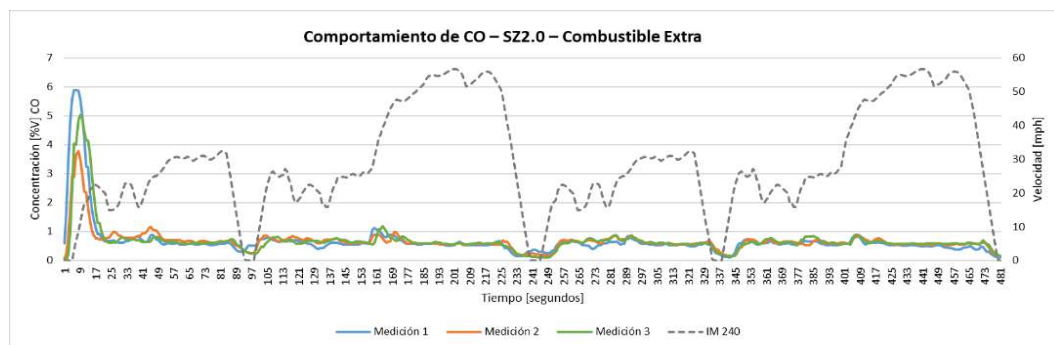
Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

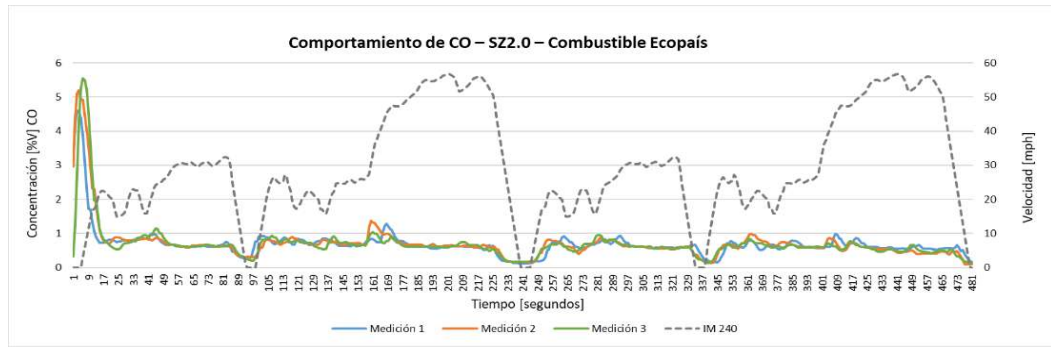
### 3.1.6. Emisiones contaminantes en vehículo SZ2.0

Después de haber realizado las tres pruebas en el ciclo de conducción, por medio de un analizador de gases se tiene la concentración volumétrica de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y las partes por millón de los HC y NO<sub>x</sub> se puede obtener el comportamiento de los gases de emisión a través del tiempo en el que se realizó el ciclo como también los promedios de las mediciones efectuadas.

#### 3.1.6.1. Comportamiento de los gases de emisión

En la gráfica 6-3 podemos ver el comportamiento de los gases a través del ciclo de conducción IM 240, el cual se realizó dos ciclos por cada prueba. Por medio de las gráficas tenemos que el CO o monóxido de carbono tiene una variación notablemente persuasiva, que aumenta el CO en el caso del uso del combustible Ecopaís al inicio de su ciclo de prueba, para el combustible extra 5.86 y 5.5 para el combustible Ecopaís, estos son sus valores entre cada prueba por combustibles. Durante los siguientes minutos de prueba tenemos un comportamiento igualitario por parte de ambos combustibles.

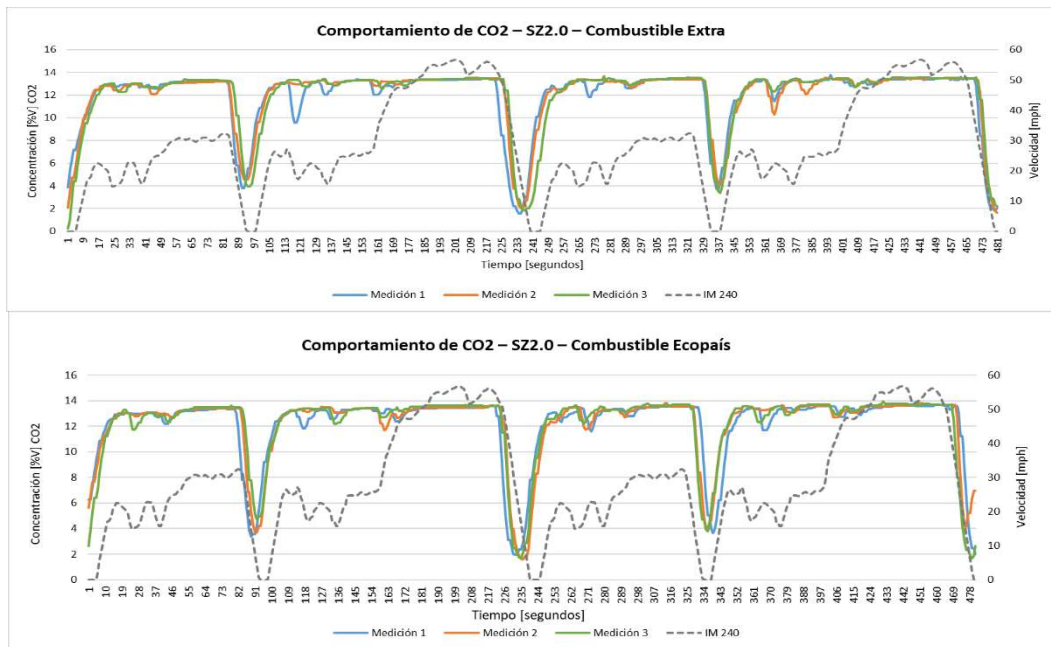




**Gráfico 6-3.** Comportamiento de CO\_Extra y Ecopais\_SZ2.0

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

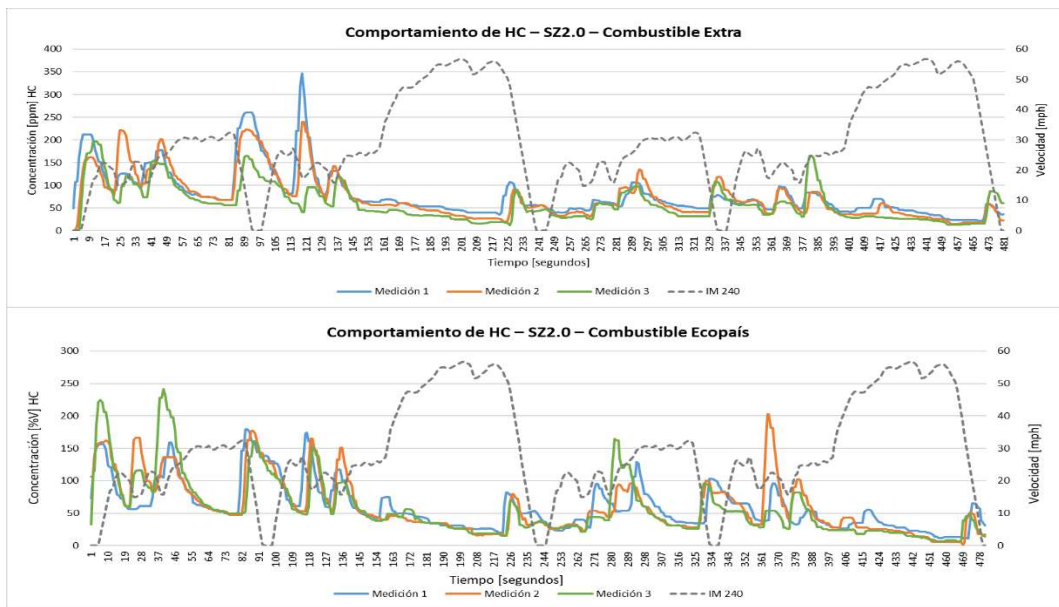
En la gráfica 7-3 se puede apreciar el comportamiento del CO<sub>2</sub> nos permite ver que ambos combustibles, Extra y Ecopais no tienen una variación significativa en la emisión de este gas, su comportamiento a lo largo del ciclo de prueba permanece en niveles iguales, tanto para el aumento de velocidad por parte del vehículo como en el descenso de la misma.



**Gráfico 7-3.** Comportamiento de CO2\_Extra y Ecopais\_SZ2.0

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

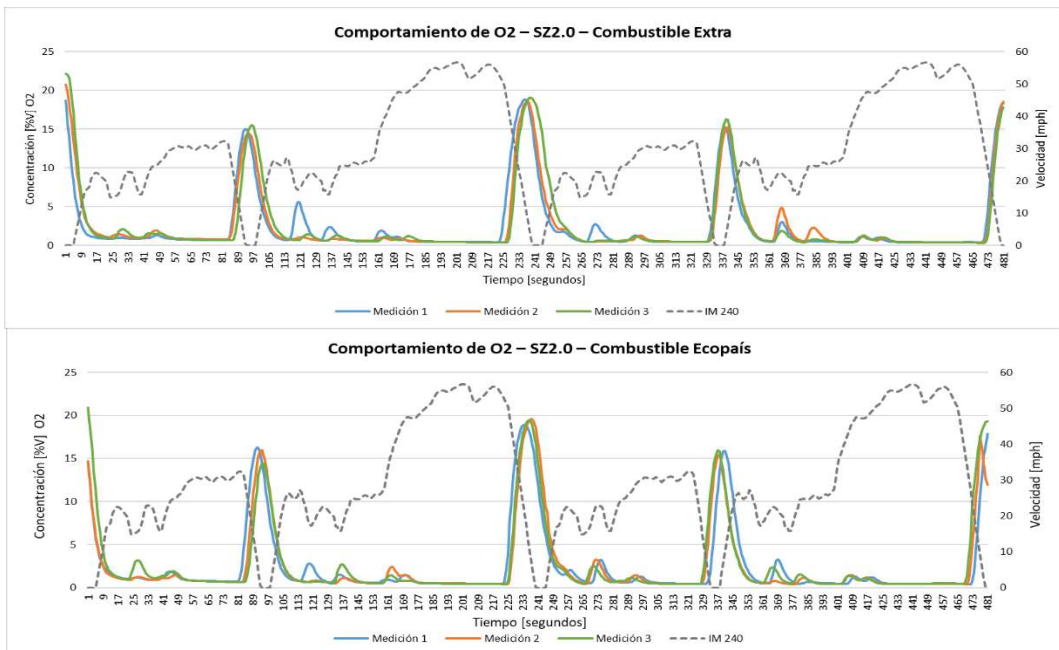
Los HC por parte del uso del combustible Ecopais disminuye respecto al uso del combustible Extra, a lo largo del ciclo podemos ver la variación de sus valores entre el segundo 80 y 97 ppm en la gráfica del Ecopais y 80 y 97ppm por parte del Extra, se puede visualizar una variación de datos notorios, que nos informa que el Combustible Ecopais emite menos HC mientras disminuye su velocidad, esto lo podemos corroborar en todo el recorrido a través de la gráfica 8-3. De la misma forma que cuando aumenta su velocidad el Combustible Ecopais emite menos HC.



**Gráfico 8-3.** Comportamiento de HC\_Extra y Ecopaís\_SZ2.0

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

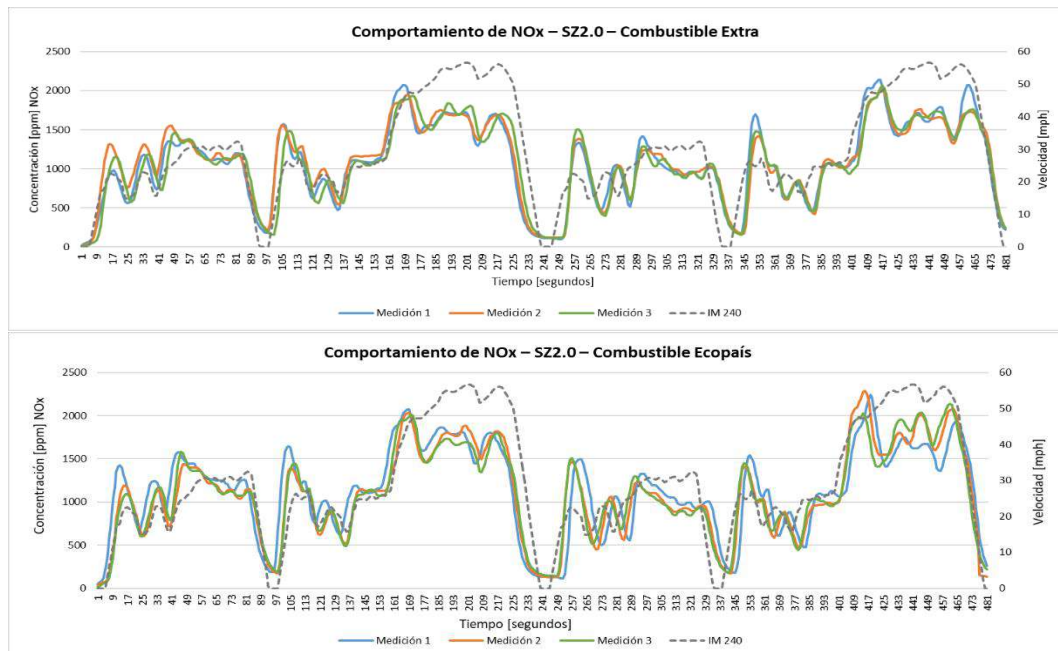
Los valores obtenidos a través de las pruebas tenemos que el combustible Ecopaís ocupa menos Oxígeno en su combustión cuando aumenta su velocidad, lo que nos permite ver en la gráfica 9-3, y a medida que disminuye su velocidad el combustible Ecopaís nos da mayor  $O_2$  por lo que esto nos dice que el combustible Ecopaís no permite la misma eficiencia del motor que el Extra.



**Gráfico 9-3.** Comportamiento de O2\_Extra y Ecopaís\_SZ2.0

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

La gráfica 10-3 del NO<sub>x</sub> permite visualizar que las emisiones contaminantes del Combustible Extra y Ecopaís tiene valores igualitarios, tanto en el aumento de velocidad como en la disminución, no se puede visualizar una variación significativa. Sus valores oscilan en un rango igual, por tanto, no tenemos una disminución o aumento de NO<sub>x</sub> concreto por parte de la determinación de gráfica.



**Gráfico 10-3.** Comportamiento de NO<sub>x</sub>\_Extra y Ecopaís\_SZ2.0

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.6.2. Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Extra)

Se ha realizado una conversión en los gases cuyos valores nos dieron en parte por millón para así obtener los datos en concentración volumétrica, se logra esto dividiendo las partes por millón para 10000, es decir  $\frac{\text{ppm}}{10000} = \%V$ , aplicado en todas las mediciones. Los datos obtenidos en cada medición fueron almacenados en una hoja de Excel durante el tiempo que dura la prueba IM240, los cuales se pueden visualizar los promedios que se verán en las siguientes tablas.

Con la utilización del combustible Extra podemos observar los datos obtenidos de los 5 gases en concentración volumétrica. Se puede observar en cuanto al gas CO, en su primera medición tenemos 0.67 %V, 0.67 en la segunda y en la tercera 0.68, teniendo así un promedio de 0.673 %V. Mientras el CO<sub>2</sub> no varía significativamente, manteniendo un promedio de 12.050 %V. Los HC se mantienen en 0.008 y 0.006 %V. El O<sub>2</sub> en si primera, segunda y tercera medición tiene valores de 2.45; 2.470; 2.570 respectivamente no variando mucho, con un promedio de 2.497 %V, y los NO<sub>x</sub> con un promedio de sus tres mediciones de 0.108 %V.

**Tabla 11-3:** Emisiones contaminantes\_Extra\_SZ2.0

Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Extra)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
CO (% V)	0.670	0.670	0.680	0.673
CO <sub>2</sub> (% V)	11.990	12.090	12.070	12.050
HC (% V)	0.008	0.007	0.006	0.007
O <sub>2</sub> (% V)	2.450	2.470	2.570	2.497
NO <sub>x</sub> (% V)	0.108	0.110	0.107	0.108

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.6.3. Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Ecopaís)

Al implementar el combustible Ecopaís en las pruebas del ciclo de conducción se obtienen que en el CO en su primera medición se tiene 0.670 %V, la segunda 0.710 %V y la tercera en 0.690 %V en, obteniendo así un promedio de 0.6967 %V. En el CO<sub>2</sub> se obtiene un promedio de 12.210 %V. En los HC se obtiene un promedio de 0.006 %V. En cuanto al O<sub>2</sub> se tiene un promedio de 2.500 %V. El NO<sub>x</sub> no varía significativamente tras sus tres mediciones, teniendo un promedio de 0.112 %V.

**Tabla 12-3:** Emisiones contaminantes\_Ecopaís\_SZ2.0

Emisiones contaminantes en porcentaje (combustible Ecopaís)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
CO (% V)	0.690	0.710	0.690	0.697
CO <sub>2</sub> (% V)	12.150	12.250	12.230	12.210
HC (% V)	0.006	0.006	0.006	0.006
O <sub>2</sub> (% V)	2.49	2.42	2.59	2.500
NO <sub>x</sub> (% V)	0.114	0.111	0.111	0.112

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.7. Relación de gases respecto a CO<sub>2</sub> en vehículo SZ2.0

Para establecer la relación de los gases CO, HC y NO<sub>x</sub> con respecto a CO<sub>2</sub> lo que se hace es dividir el gas contaminante para el gas CO<sub>2</sub> de cada medición, así de ese modo sabremos cual es la relación que tienen los gases con respecto al dióxido de carbono.

#### 3.1.7.1. Gases CO, HC Y NO<sub>x</sub> en función de CO<sub>2</sub> (combustible Extra)

Con el uso del combustible Extra la relación que existe del monóxido de carbono en función del dióxido de carbono en su primera medición en 0.056; 0.055 en su segunda medición y en su tercera es de 0.056, teniendo en promedio de 0.056 en relación. Para los hidrocarburos la relación es de 0.001; 0.001 y 0; para la primera, segunda y tercera respectivamente, con un promedio de 0.0007. Para los óxidos de nitrógeno se mantiene una relación con un promedio de 0.009.

**Tabla 13-3:** Relación de gases en función de CO<sub>2</sub>\_Extra\_SZ2.0

Relación de gases en función de CO <sub>2</sub> (combustible Extra)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
RCO	0.056	0.055	0.056	0.056
RHC (% V)	0.001	0.001	0	0.0007
RNO <sub>x</sub> (% V)	0.009	0.009	0.009	0.009

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

#### 3.1.7.2. Gases CO, HC Y NO<sub>x</sub> en función de CO<sub>2</sub> (combustible Ecopaís)

Cuando se usa el combustible Ecopaís la relación que existe de los Monóxido de carbono en función al dióxido de carbono en de 0.057; 0.058; 0.056 en la primera, segunda y tercera medición; con un promedio de 0.057. Mientras que para los óxidos de nitrógeno es de 0.009 en todas sus mediciones y para hidrocarburos existe una relación de 0 en función de dióxido de carbono.

**Tabla 14-3:** Relación de gases en función de CO<sub>2</sub>\_Ecopaís\_SZ2.0

Relación de gases en función de CO <sub>2</sub> (combustible Ecopaís)				
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
RCO	0.057	0.058	0.056	0.057
RHC (% V)	0	0	0	0
RNO <sub>x</sub> (% V)	0.009	0.009	0.009	0.009

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.1.8. Factores de emisión en vehículo SZ2.0

Tras tener los datos necesarios, se prosiguió al cálculo de los factores de emisión de los hidrocarburos, monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, quienes se expresarán en gramos consumidos por kilómetro recorrido.

#### 3.1.8.1. Factores de emisión (combustible Extra)

Mientras se utilizó el combustible Extra, con una densidad de 744 kg/m<sup>3</sup>, en cuanto al monóxido de carbono en su primera medición arroja un valor de 12.79 gramos emitidos en un kilómetro recorrido, su segunda y tercera medición nos arroja 13.29 y 13.26 gramos respectivamente emitidos tras recorrer un kilómetro de distancia, teniendo así un promedio de 13.113 g/km. En cuanto a los hidrocarburos estos no tienen cambio en sus 3 pruebas, teniendo así un promedio de 0.2053 g/km. Para los óxidos de nitrógeno en su primera, segunda y tercera medición se tiene valores de 2.211; 2.346 y 2.242 g/km respectivamente, y un promedio de 2.266 gramos emitidos por kilómetro recorrido.

**Tabla 15-3:** Factores de emisión\_Extra\_SZ2.0

Factores de emisión (combustible Extra)				
Parámetros	Densidad de combustible (Kg/m <sup>3</sup> )			744
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
FCO (g/km)	12.79	13.29	13.26	13.113
FHC (g/km)	0.226	0.217	0.173	0.2053
FNO <sub>x</sub> (g/km)	2.211	2.346	2.242	2.266

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Como podemos observar que al utilizar el combustible Extra el contaminante que más se emite es el monóxido de carbono, seguido por los óxidos de nitrógeno, y por último los hidrocarburos.

#### 3.1.8.2. Factores de emisión (combustible Ecopaís)

Tras la utilización del combustible Ecopaís se obtiene que en la primera medición del gas CO se emite 12.258 gramos por cada kilómetro recorrido, en la segunda medición se obtiene 12.496 gramos emitidos por kilómetro, en la tercera se obtiene 13.401 g/km y como promedio tenemos 12.718 g/km, es decir, con el uso del combustible Ecopaís emite menos que con el Extra. En

cuanto a los hidrocarburos, estos varían teniendo un promedio de 0.163 gramos emitidos por cada kilómetro. Los NO<sub>x</sub> en su primera medición se tiene 2.17 gramos emitidos por kilómetro, en la segunda y tercera prueba se obtiene 2.086 y 2.299 g/km respectivamente, en promedio se tiene 2.185 gramos emitidos por kilómetro. Los datos nos muestran que con la utilización del combustible Ecopaís contamina menos.

**Tabla 16-3:** Factores de emisión\_Ecopaís\_SZ2.0

<b>Factores de emisión (combustible Ecopaís)</b>				
<b>Parámetros</b>	Densidad de combustible (Kg/m <sup>3</sup> )			744
	<b>Medición 1</b>	<b>Medición 2</b>	<b>Medición 3</b>	<b>Promedio</b>
FCO (g/km)	12.258	12.496	13.401	12.718
FHC (g/km)	0.16	0.161	0.169	0.163
FNO <sub>x</sub> (g/km)	2.17	2.086	2.299	2.185

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Como podemos observar que la utilizar el combustible Ecopaís el contaminante que más se emite es el monóxido de carbono, proseguido por los óxidos de nitrógeno, y por último los hidrocarburos.

### **3.2. Discusión de resultados**

#### **3.2.1. Rendimiento de combustible**

En la siguiente tabla 17-3 se presenta el rendimiento del combustible, cabe recalcar que estos resultados se obtuvieron en la ciudad de Quito, en el centro del CCICEV, ubicado a 2810 msnm, por lo tanto, la altura influye en la combustión del motor por la razón del oxígeno ingresado a la cámara de combustión, y por ende también influirá en los gases emitidos por el tubo de escape, así como también en el rendimiento del combustible.



**Tabla 17-3:** Rendimiento de combustible

	SPGT1.2 [A1]		SZ2.0 [A2]	
Parámetros	Consumo en km/Gl			
combustible	Extra	Ecopaís	Extra	Ecopaís
Medición 1	63.663	62.031	22.823	24.192
Medición 2	59.005	62.031	21.795	24.192
Medición 3	63.663	62.836	22.194	21.993
promedio	62.1103	62.2993	22.2707	23.459

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Tras aplicar el test LSD (Least Significant Difference) de Fisher se podrá determinar si el rendimiento de los dos tipos de combustible en los diferentes vehículos existe diferencia mínima significativa de acuerdo a sus medias, este análisis mantiene un nivel de confianza de 95 % y se le conoce también como análisis de varianza- ANDEVA (ANOVA).

**Tabla 18-3:** Método LSD en rendimiento

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A2_Extra	3	22.2707	X
A2_Ecopaís	3	23.459	X
A1_Extra	3	62.1103	X
A1_Ecopaís	3	62.2993	X

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Para determinar si en el rendimiento de los tipos de combustible en los diferentes vehículos tiene diferencia significativa se tiene que seguir el método siguiente, a través de plantear hipótesis. Si el valor p es mayor que  $\alpha$ , entonces no rechazaremos la hipótesis nula lo que querrá decir es que el promedio del rendimiento del combustible Extra es igual al rendimiento del combustible Ecopaís. Si el valor p es menor a  $\alpha$ , entonces rechazamos Hipótesis nula, teniendo que el promedio del rendimiento de combustible Extra con el rendimiento de combustible Ecopaís es diferente.

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna        Por lo menos una media es diferente

Nivel de significancia     $\alpha = 0.05$

En la siguiente tabla ANOVA 19-3 se puede notar como se descompone el Rendimiento [km/Gl], siendo el primer componente “entre-grupos” y otro “dentro-de-grupos”. También esta la razón F

y el valor de P con el que podremos denotar si existe o no diferencia significativa entre la media de Rendimiento un nivel de Vehículo\_Combustible y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla 19-3:** ANOVA aplicado a los grupos experimentales del rendimiento

Fuente	Gl	Suma de cuadrados (SC) Ajustado	Medio Cuadrado (MC) Ajustado	Razón-F	Valor p
Entre grupos	3	4645.08	1548.36	663.91	0.000
Intra grupos	8	18.66	2.33		
Total	11	4663.74			

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el SPGT1.2 con la utilización del combustible Extra se recorre 62.110 km/Gl y en el SZ2.0 con el mismo combustible se recorre 22.270 km/Gl, recorriendo 39.840 kilómetros menos, es decir existe un 64.14% menos de eficiencia en relación del SPGT1.2. En cuanto a la utilización del combustible Ecopaís, el SPGT1.2 al utilizar un galón de este combustible recorre 62.299 kilómetros y el SZ2.0 recorre 38.840 kilómetros menos, existiendo un 62.34% menos de eficiencia en el SZ2.0 con relación al SPGT1.2.

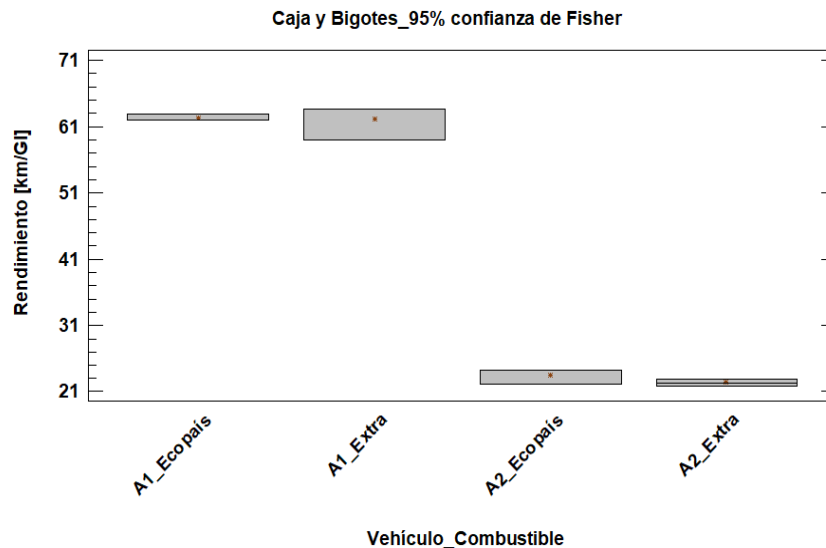
**Tabla 20-3:** Diferencia significativa en rendimiento

Contraste	Sig.	Diferencia
A1_Ecopaís - A1_Extra		0.189
A1_Ecopaís - A2_Ecopaís	*	38.840
A1_Ecopaís - A2_Extra	*	40.029
A1_Extra - A2_Ecopaís	*	38.651
A1_Extra - A2_Extra	*	39.840
A2_Ecopaís - A2_Extra		1.18833

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el gráfico 11-3, se muestra la comparación de medias mediante una caja de bigotes para los consumos de combustibles de los vehículos, aplicando a la misma la diferencia mínima significativa. Se concluye que existe diferencia significativa entre los vehículos, siendo el SPGT1.2 quien presta mejores resultados en cuanto al rendimiento con el uso del combustible Ecopaís. En el vehículo SPGT1.2 se observar no existe gran varianza en la utilización de estos dos combustibles, tras aplicar un galón de combustible Extra se obtiene 62.110 kilómetros de recorrido, mientras que cuando se aplica combustible Ecopaís, su rendimiento es de 62.299 km/Gl,

lo que indica un 0.3 % de aumento en eficiencia al utilizar combustible Ecopaís. En el caso del vehículo SZ2.0 tras aplicar combustible Extra se puede recorrer 22.270 kilómetros con un galón, mientras que cuando se aplica combustible Ecopaís su consumo es de 23.459 km/Gl, lo que indica un 5.07 % de aumento en eficiencia tras el uso de un galón de combustible Ecopaís, se puede observar no existe una gran varianza en la utilización de estos dos combustibles en cada vehículo. De acuerdo a (Leguísamo Milla et al., 2020, pp.68-83) a través de un estudio realizado en un Aveo Family en conducción ecodriving se obtiene 32.104 km/Gl lo que indica una disminución del 48.47 % en relación mejor rendimiento del SPGT1.2, y un aumento del 36.85% de rendimiento en relación al SZ2.0. En el análisis realizado por (Cedeño Llanes et al., 2018, pp.149-158) en un Nissan Sentra 1.6L el consumo es de 0.07081 L/km o 14.122 km/L (53.39 km/Gl), lo que indica que recorre 8.91 km menos en relación al mejor rendimiento del SPGT1.2 y 29.93 km más recorre en relación a mejor rendimiento del SZ2.0. Comparando con los datos de (Recalde Rojas & Revelo Argoti., 2015, pp.32-40), en un Spark GT 1.0L con consumo de combustible de 16.08 km/L (60,86 km/Gl) son similares a los obtenidos en el SPGT1.2 y con diferencias de 38,62 km/Gl y 37,43 km/Gl en relación al SZ2.0 con combustibles Extra y Ecopaís respectivamente.

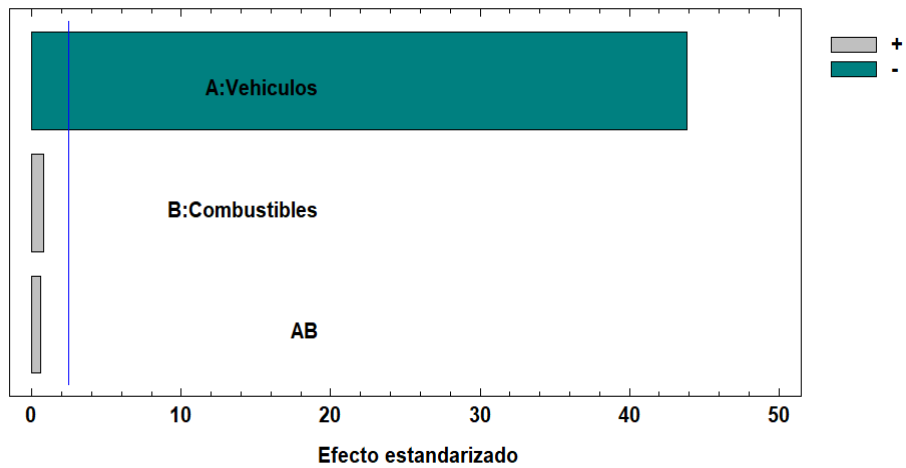


**Gráfico 11-3.** Caja y bigotes con 95% confianza del rendimiento

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el diagrama de Pareto (gráfico 12-3) se puede observar la influencia de los factores sobre el rendimiento de combustible, donde los vehículos es un factor que incide en la variable respuesta, el factor vehículos es altamente significativo.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Rendimiento



**Gráfico 12-3.** Diagrama de Pareto de los factores del rendimiento

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En la siguiente gráfica 13-3, en la superficie de respuesta se representa la relación que posee el rendimiento en función al tipo de combustible y a los vehículos, del mismo modo se despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos, influyendo de manera negativa el factor de vehículos, mientras que el combustible y la combinación (vehículo - combustible) influye de manera positiva.

Los mejores resultados se obtienen al utilizar el combustible Ecopaís, obteniendo para el SPGT1.2 un rendimiento de 62.299 km/Gl, con el 0.3% de aumento en eficiencia en relación al combustible Extra, para el SZ2.0 un rendimiento de 23.459 km/Gl con el uso del combustible Ecopaís aumentando un 5.07 % de eficiencia en relación al combustible Extra, como se puede ver la diferencia no es tan grande si se trata del uso de los combustibles.

Ya para comparar entre vehículos su diferencia es bastante significativa, teniendo tras el implemento de combustible Extra en el SPGT1.2 un recorrido de 62.110 kilómetros con un galón de combustible, mientras que en el SZ2.0 recorre 39.84 km menos, 64.14% menos eficiente. Con el combustible Ecopaís el SPGT1.2 recorre 62.299 km/Gl mientras que el SZ2.0 23.459 km/Gl, siendo un 38.84% menos eficiente.

$$\text{Rendimiento} = 41,5018 + 0,688667 * B - 20,4195 * A + 0,499667 * B * A$$

Superficie de Respuesta Estimada para el rendimiento

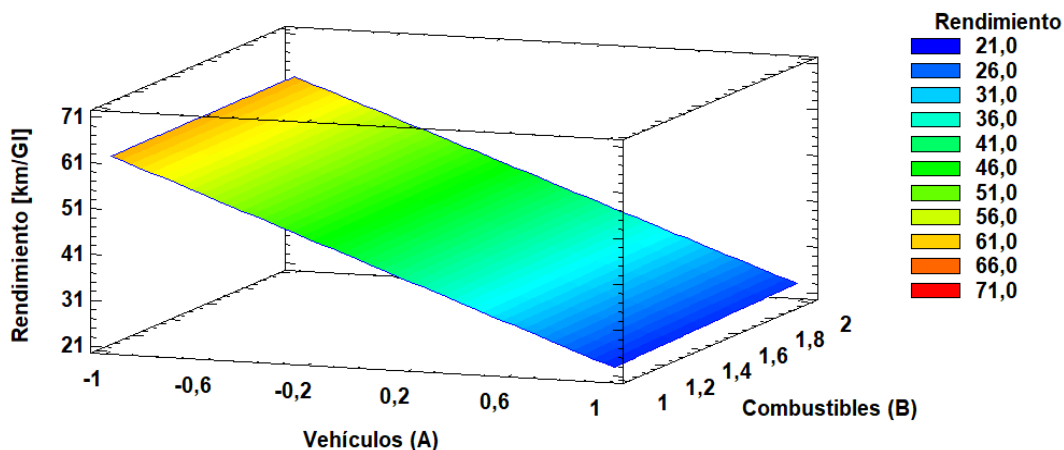


Gráfico 13-3. Superficie de respuesta para el rendimiento

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.2.2. Emisiones contaminantes

En la tabla 21-3, se puede notar los promedios de los gases emitidos tras realizarse el ciclo de prueba IM240 de los cinco gases CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

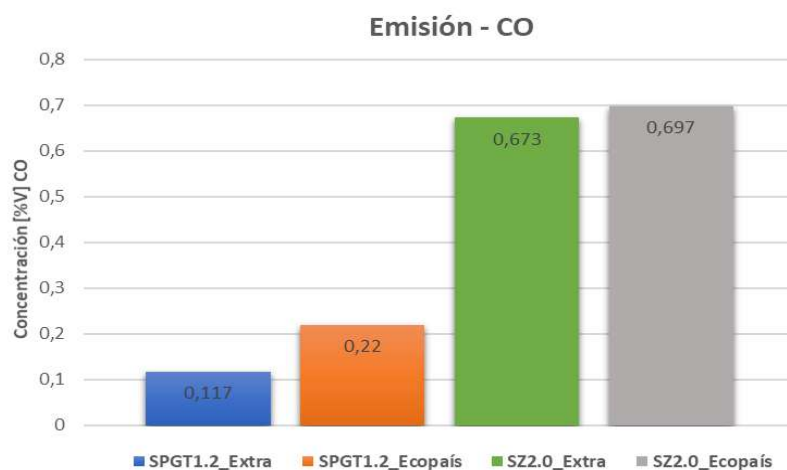
Tabla 21-3: Emisiones Contaminantes

Promedios de emisiones contaminantes en %				
Parámetros	Promedios de las mediciones			
	SPGT1.2		SZ2.0	
combustible	Extra	Ecopaís	Extra	Ecopaís
CO (% V)	0.117	0.220	0.673	0.697
CO <sub>2</sub> (% V)	13.56	13.603	12.050	12.210
HC (% V)	0.001	0.002	0.007	0.006
O <sub>2</sub> (% V)	1.507	1.487	2.497	2.500
NO <sub>x</sub> (% V)	0.025	0.030	0.108	0.112

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Cuando un motor está funcionando con insuficiente oxígeno convierte el carbono en Monóxido de Carbono, en otras palabras, no hay una relación adecuada de aire-combustible. (Ramadhas et al., 2016). El oxígeno en el aire que se admite a la cámara de combustión disminuye con la altitud

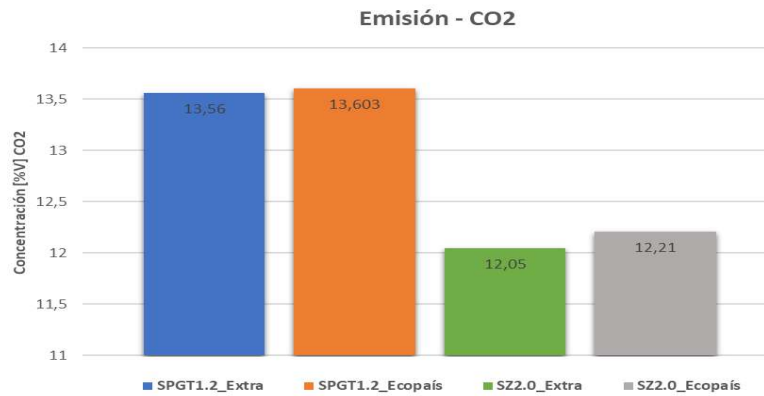
(Lapuerta, 2011, párr.2). El vehículo SPGT1.2 con el combustible extra tiene una concentración de 0.117 de Monóxido de carbono y 0.22 con la utilización del combustible Ecopaís, tenemos un aumento de 88.03% de CO con relación al combustible extra. Por otro lado, la concentración de CO en el vehículo SZ2.0 obtuvimos un valor de 0.673 y 0.697 en el combustible extra y Ecopaís respectivamente, lo que nos da un aumento del 3.566% de CO respecto al uso de combustible extra. El aumento de CO por parte del vehículo SPGT1.2 es menor que el del vehículo SZ2.0 en CO al usar combustible Ecopaís para su funcionamiento. Podemos ver que tenemos una variación significativa en el uso de combustible Ecopaís en el vehículo SPGT1.2 lo que es corroborado con la investigación de Llanes Cedeño et al. (2018, pp.149-158) quien también tuvo aumento de emisión de CO al contrario de Hernandez et al., (2014, pp.3-12) quien tuvo reducciones de emisión con la mezcla combustible con etanol. La causa que sustenta se debe a la variación de la distancia sobre el nivel del mar que se realizó la prueba, dado que ahora tenemos un valor de 2810 msnm.



**Gráfico 14-3.** Concentración volumétrica de CO

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Los CO<sub>2</sub> se consideran como la energía de la salida del motor, donde el combustible que tiene carbono se convertirá en CO<sub>2</sub> (Tuner, 2016). En la gráfica 15-3 podemos ver la emisión de CO<sub>2</sub> por parte de los dos vehículos SPGT1.2 y SZ2.0, teniendo un valor de 13.56 y 13.603 %V en combustible Extra y Ecopaís respectivamente para el vehículo SPGT1.2, teniendo así un aumento de 0.317% de CO<sub>2</sub> con el uso de combustible Ecopaís, por otro lado, el uso de Ecopaís en el SZ2.0 también causó un aumento en el CO<sub>2</sub> de 12.05 para el Extra, y un valor de 12.21 %V en el uso de Ecopaís, su aumento fue de 1.327% respecto al combustible Extra. Podemos decir que la incidencia de CO<sub>2</sub> es mayor en el vehículo SZ2.0 al usar Ecopaís.

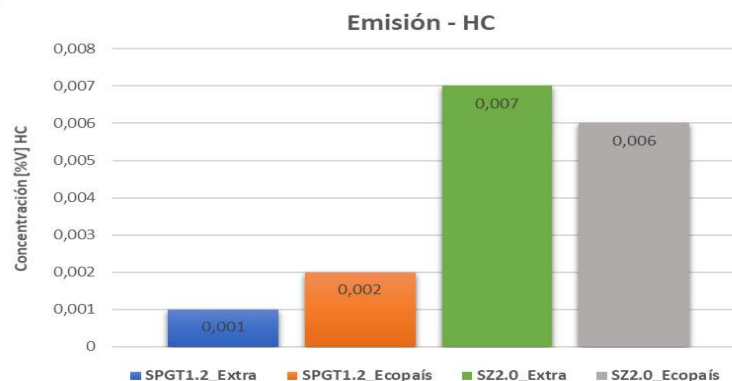


**Gráfico 15-3.** Concentración volumétrica de CO2

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

La combustión incompleta, los depósitos en las paredes de la cámara de combustión y el apagado de la llama de las superficies de la misma provoca la generación de hidrocarburos (HC) (Ramadhas et al., 2016). Los valores de emisiones de HC son de 0.001 y 0.002 %V para el uso de combustible extra y Ecopaís respectivamente, teniendo un aumento del 100% al usar Ecopaís. Por otra parte, existe una disminución de contaminantes al usar combustible Ecopaís en el Vehículo SZ2.0 teniendo así un valor de 0.007 a 0.006 %V para el uso de combustible extra y Ecopaís respectivamente, teniendo así una disminución del 14.28% en concentración de HC. El uso de combustible Ecopaís permite tener una menor disminución en los HC según EdD. Pérez Darquea Diego Gustavo en su estudio de Emisiones contaminantes usando combustibles locales (Pérez Darquea, 2018, pp.23-34).

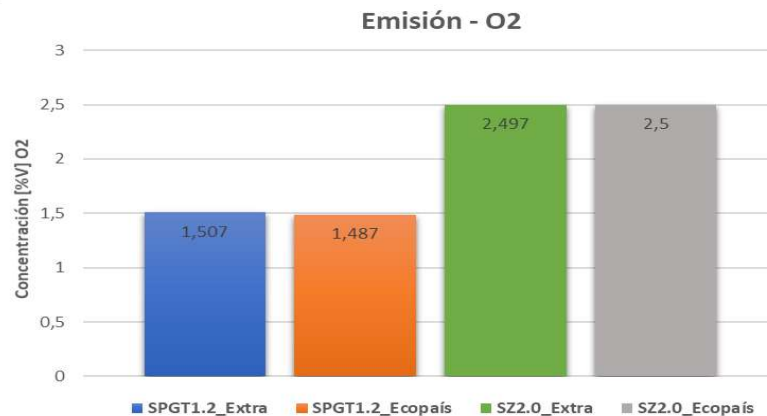
La reducción de HC que tenemos en el SZ2.0 es semejante a la prueba llevada a cabo por Hernandez et al., (2014), teniendo en ella una reducción de HC a 2600 msnm. Por otro lado, en el vehículo SPGT1.2 tenemos un aumento del mismo lo cual sería debido al funcionamiento independiente de cada sistema de control electrónico para llevar a cabo las condiciones para el proceso de combustión.



**Gráfico 16-3.** Concentración volumétrica de HC

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En la gráfica 17-3 se puede observar el comportamiento del O<sub>2</sub> emitido por ambos vehículos, dando valores de 1.507 y 1.487 %V para el vehículo SPGT1.2, 2.497 y 2.5 %V para el vehículo SZ2.0 en combustible extra y Ecopaís respectivamente, teniendo una disminución del 1.32% de O<sub>2</sub> en el vehículo SPGT1.2 con respecto a los datos del combustible extra. Por otra parte, tenemos un aumento de O<sub>2</sub> en el vehículo SZ2.0 al usar Ecopaís en un 1.32 de porcentaje respecto al combustible extra. Lo que nos dice que al usar combustible Ecopaís tenemos un menor uso de oxígeno en el proceso de combustión.

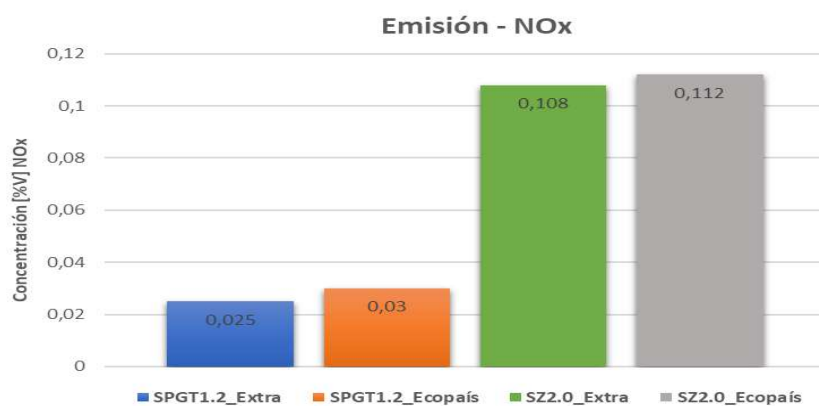


**Gráfico 17-3.** Concentración volumétrica de O<sub>2</sub>

**Realizado por:** Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Los datos de la gráfica 18-3 siguiente nos permiten visualizar el comportamiento de los combustibles en base a sus emisiones contaminantes, teniendo así un 0.025 y 0.03 %V de concentración NO<sub>x</sub> en el vehículo SPGT1.2 existiendo un aumento al pasar de combustible extra a Ecopaís, con un valor de 20%. Por otra parte, también tenemos un aumento de 3.7% de NO<sub>x</sub> con unos datos de 0.108 y 0.112 %V para extra y Ecopaís respectivamente. Podemos observar que el porcentaje de aumento en el contaminante por parte del combustible Ecopaís depende del vehículo, ya que tenemos un valor de 20% para el SPGT1.2 Y 3.7% de NO<sub>x</sub> para el SZ2.0. Así también podemos determinar que el uso del combustible Ecopaís en emisión de NO<sub>x</sub> aumenta respecto al uso del combustible Extra. Lo que es contrario a los resultados obtenido por Hernandez et al., (2014, pp.236-242), quienes obtuvieron reducciones de NO<sub>x</sub> donde el empleo de etanol genera una reducción de este contaminante.





**Gráfico 18-3.** Concentración volumétrica de NOx

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

### 3.2.3. Factores de emisión

En la tabla 22-3, siguiente podemos observar los factores de emisión de los gases contaminantes con la aplicación de los distintos combustibles en las distintas mediciones realizadas.

**Tabla 22-3:** Factores de emisión

Factores de emisión_SPGT1.2						
Parámetros	Combustible Extra			Combustible Ecopais		
	[gCO/km]	[gHC/km]	[gNO <sub>x</sub> /km]	[gCO/km]	[gHC/km]	[gNO <sub>x</sub> /km]
Medición 1	0.574	0.008	0.171	1.729	0.025	0.212
Medición 2	0.753	0.008	0.202	1.366	0.019	0.198
Medición 3	0.947	0.009	0.157	1.140	0.008	0.202
Promedio	0.758	0.008	0.177	1.412	0.017	0.204
Factores de emisión_SZ2.0						
Medición 1	12.790	0.226	2.211	12.258	0.160	2.170
Medición 2	13.290	0.217	2.346	12.496	0.161	2.086
Medición 3	13.260	0.173	2.242	13.401	0.169	2.299
Promedio	13.113	0.205	2.266	12.718	0.163	2.185

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Tras la aplicación del test LSD de Fisher en las mediciones del gas monóxido de carbono (CO) se puede obtener la tabla 23-3 siguiente, en esta tabla se puede notar que el valor de P es de 0 con lo que se puede decir que si existe una mínima diferencia estadísticamente significativa entre la

media de Factores de emisión CO [g/km] entre un nivel de vehículo\_combustible y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla 23-3:** Aplicación de ANOVA para el Factor de CO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	420.793	3	140.264	992.29	0.0000
Intra grupos	1.13083	8	0.141354		
Total	421.923	11			

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se presenta la tabla 24-3, mostrándose el promedio de las mediciones y su diferencia de emisión de uso de los combustibles y de los vehículos.

**Tabla 24-3:** Método LSD de FCO y diferencia significativa

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
FCO_A1_Extra	3	0.758	X
FCO_A1_Ecopaís	3	1.412	X
FCO_A2_Ecopaís	3	12.718	X
FCO_A2_Extra	3	13.113	X
Contraste		Sig.	Diferencia
FCO_A1_Ecopaís - FCO_A1_Extra			0.654
FCO_A1_Ecopaís - FCO_A2_Ecopaís		*	-11.306
FCO_A1_Ecopaís - FCO_A2_Extra		*	-11.701
FCO_A1_Extra - FCO_A2_Ecopaís		*	-11.960
FCO_A1_Extra - FCO_A2_Extra		*	-12.355
FCO_A2_Ecopaís - FCO_A2_Extra			-0.395

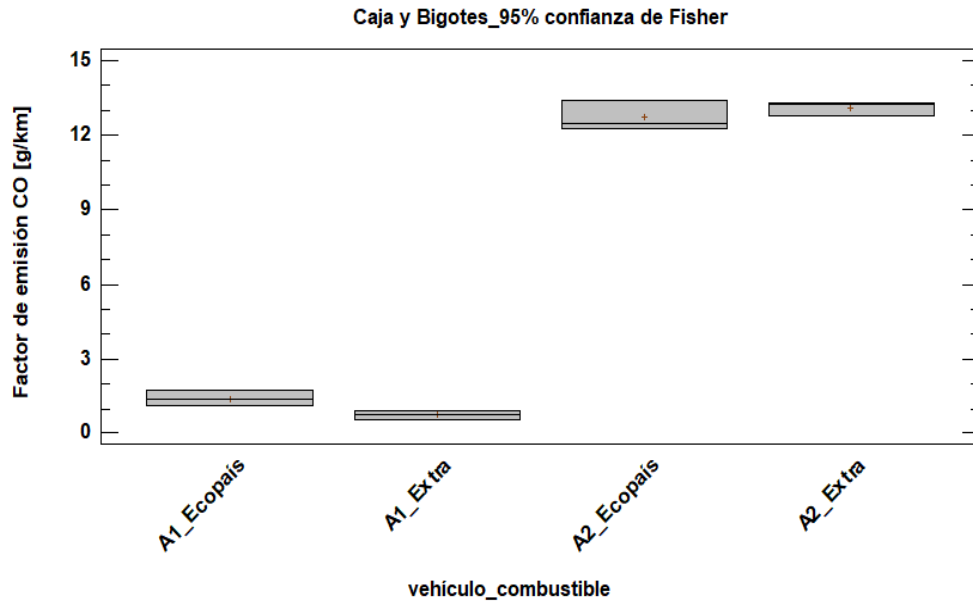
Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Mediante la gráfica 19-3 de caja de bigotes seguidamente, se muestra la comparación de medias para los factores de emisión de CO de los vehículos, aplicando a la misma la diferencia mínima significativa, se concluye que existe diferencia significativa entre los vehículos, siendo el SPGT1.2 quien presta mejores resultados en cuanto a las emanaciones de monóxido de carbono con el uso del combustible Extra con un factor de emisión de 0.758 g/km, en cuanto al uso del

combustible Ecopaís aumenta un 0.654 g/km, es decir con el combustible Extra se obtiene un mejor comportamiento reduciendo el 46.32 % de emanaciones del CO en relación a la utilización del combustible Ecopaís. Comparando con los resultados de la prueba de Llanes Cedeño et al., (2018, pp.149-158), en el cual se usó el vehículo de prueba en ruta Aveo emoción 1.6L (AE1.6) del 2011, al igual que el SPGT1.2 se obtienen mejores resultados con el uso del combustible Extra, tras el implemento del combustible Extra en el AE1.6 con el que se obtuvo 3.119 g/km, en el SPGT1.2 existe un 75.7% menos emisiones de gCO/km en comparación al AE1.6. En cuanto al utilizar el combustible Ecopaís el SPGT1.2 emite 4.291 g/km (75.24%) menos que el AE1.6 con Ecopaís. De acuerdo al estudio realizado en 2 Chevrolet Spark 1.0L por Urbina et al., (2017, pp.1-4) y un informe de Urbina Guzmán, (2016, pp.30-40) en ciclo IM240 se obtuvo factor de CO de 1.33 g/km y 1.004g/km, similares a los obtenidos en el SPGT1.2 con la utilización de combustible Ecopaís y Extra respectivamente. Comparando los resultados con los de Recalde Rojas & Revelo Argoti., (2015, pp.32-40), estudio en el que se utiliza el vehículo Spark GT 1.0L (2015, gasolina extra) el cual emite 0.6766 gCO/km, es decir este Spark GT 1.0L emite 10.73% menos que el SPGT1.2 con combustible Extra, mientras que con el Ecopaís el Spark GT 1.0L emite el 52.08% menos que el SPGT1.2.

A diferencia del vehículo Nissan Sentra 1.6L del estudio de Cedeño Llanes et al., (2018, pp.97-108) en el cual se obtiene un factor de 0.58 gCO/km, emitiendo el 23.48% menos que el SPGT1.2 tras utilizar gasolina Extra, si el SPGT1.2 utiliza gasolina Ecopaís el Nissan emite 58.92% menos que el SPGT1.2.

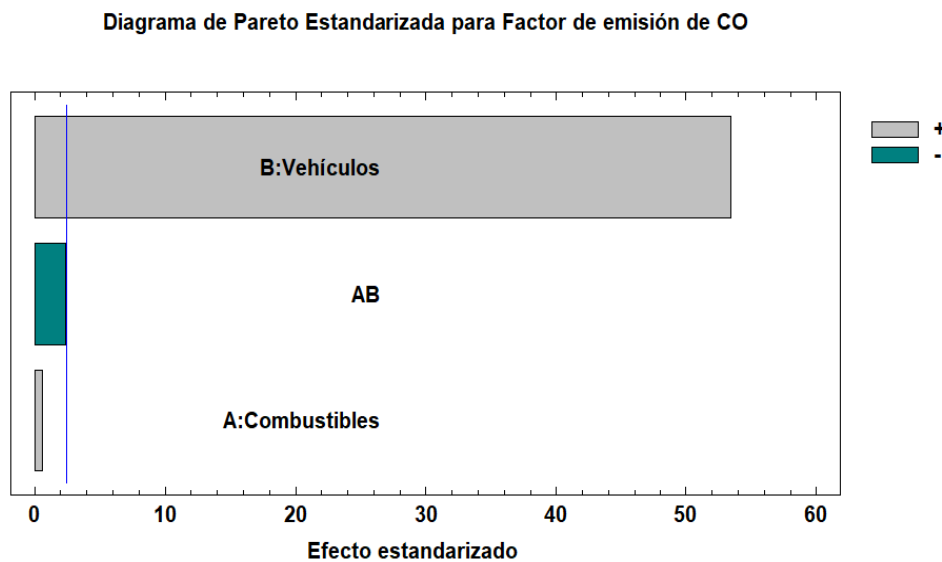
En cuanto al vehículo SZ2.0 posee emanaciones por encima de los 12 g/km, con la utilización del combustible Extra emana 12.718 g/km mientras que con la utilización del Ecopaís se mejora el comportamiento, emanando 0.395 gramos de CO menos en cada kilómetro recorrido, es decir con el uso del combustible Ecopaís en el vehículo SZ2.0 se emite 3% menos de contaminante CO en relación al uso del combustible Extra. En comparación al AE1.6 del análisis de Llanes Cedeño et al., (2018, pp.149-158), el SZ2.0 contamina 9.599 g/km más con combustible Extra mientras que con el Ecopaís se obtiene en el AE1.6 5.703 g/km de emanación, en el que el SZ2.0 emite 4.41 g/km más. En base a datos obtenidos por Urbina Guzmán, (2016, pp.30-40) en el estudio de dos Chevrolet Grand Vitara 2.0L se obtuvo factores de CO 1.852 y 1.865 g/km, comparando con el SZ2.0, este aumenta 10.866 y 11.248 g/km más con el uso del combustible Extra y Ecopaís. Comparando con el vehículo Aveo 1.6L (2011, gasolina Extra) de Recalde Rojas & Revelo Argoti., (2015, pp.32-40), tras utilizar combustible Extra en el SZ2.0 su emanación es de 12.99 gCO/km más que el Aveo 1.6L mientras que con gasolina Ecopaís emana 12.59 gCO/km más que el Aveo 1.6L. A diferencia del Nissan Sentra 1.6L con Combustible Extra el SZ2.0 emana 12.53 gCO/km más que el Nissan.



**Gráfico 19-3.** Caja y bigotes con 95% confianza del CO

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el diagrama de Pareto, gráfico 20-3, siguiente se puede observar la influencia de los factores sobre la emanación del monóxido de carbono, donde los vehículos y la combinación de ellos con el combustible es un factor que incide en la variable respuesta, el factor vehículos es altamente significativo.



**Gráfico 20-3.** Diagrama de Pareto de los factores del CO

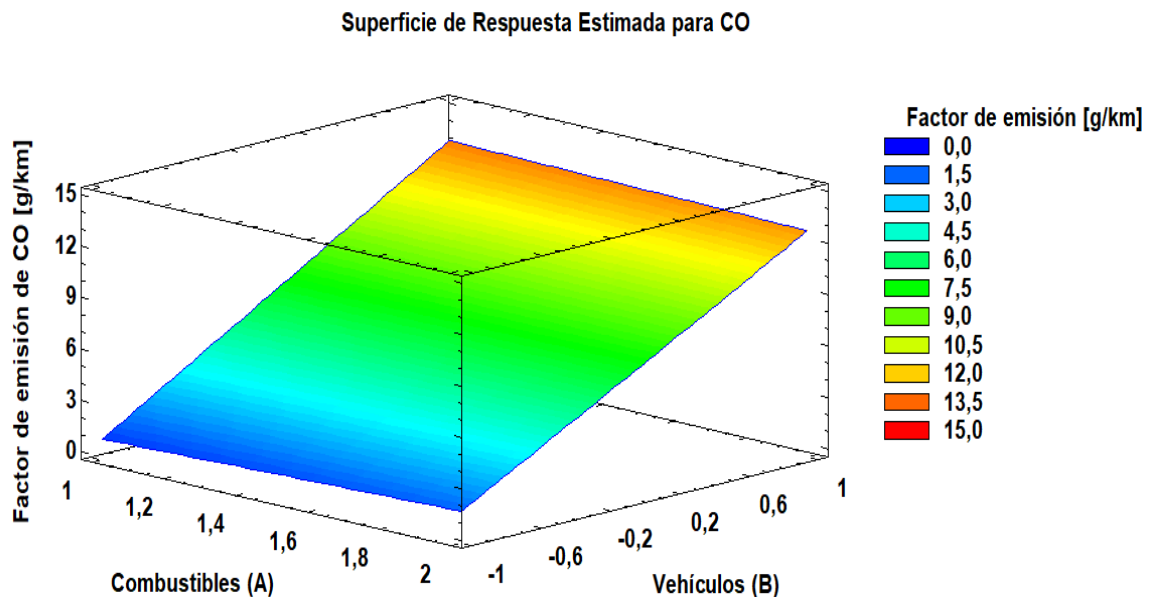
Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el gráfico 21-3 siguiente, en la superficie de respuesta se representa la relación que posee el factor de emisión del CO en función al tipo de combustible y a los vehículos, del mismo modo se

despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos, influyendo de manera negativa la combinación (vehículo - combustible), mientras que el combustible y factor de vehículos influye de manera positiva.

Cuando el factor de emisión sea lo más pequeño posible, será el óptimo valor, en este caso los mejores resultados se obtienen al utilizar el combustible Extra en el vehículo SPGT1.2, teniendo una emanación de 0.758 g/km, reduciendo un 46.32% de emanación con relación a la utilización del combustible Ecopaís. Comparando con el vehículo SZ2.0 que emana 12.718 g/km y 13.113 g/km con la utilización del combustible Ecopaís y extra respectivamente el SPGT1.2 emite un 94.04 % y 94.22% menos de gramos por kilómetro en relación al SZ2.0 con la utilización del Ecopaís y Extra. Con la utilización del combustible Ecopaís en el SPGT1.2 se obtiene 1.412 g/km comparando con el SZ2.0 emite 88.9% y 89.23% menos de gramos por kilómetro en relación al SZ2.0 con la utilización del Ecopaís y Extra. De acuerdo a Leguísamo Milla et al., (2020, pp.68-83) a través de un estudio realizado en un Aveo Family en conducción ecodriving se obtiene 5.3 g/km lo que indica un aumento de emisión en comparación al SPGT1.2 y disminución en relación del SZ2.0.

$$\text{Factor de emisión CO} = 6,80633 + 0,129333 * A + 6,702 * B - 0,524333 * A * B$$



**Gráfico 21-3.** Superficie de respuesta para el CO

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Con la aplicación del test LSD de Fisher en las mediciones de los factores de emisión de los hidrocarburos (HC) se obtiene la tabla 25-3, siendo que P tiene el valor de 0 se puede concluir que si existe diferencia entre la media de Factores de emisión HC [g/km] entre un nivel de vehículo\_combustible y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla 25-3:** Aplicación de ANOVA para el Factor de HC

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0910042	3	0.0303347	134.32	0.0000
Intra grupos	0.00180667	8	0.000225833		
Total	0.0928109	11			

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se presenta la tabla 26-3, mostrándose el promedio de las mediciones y su diferencia de emisión con el uso de los combustibles y de los vehículos. Se muestra también una estimación de la diferencia que existe entre cada una de las medias combinando el combustible y el vehículo. Por otro lado, también se puede denotar que existe diferencia significativa en donde está colocado el asterisco.

**Tabla 26-3:** Método LSD de FHC y diferencia significativa

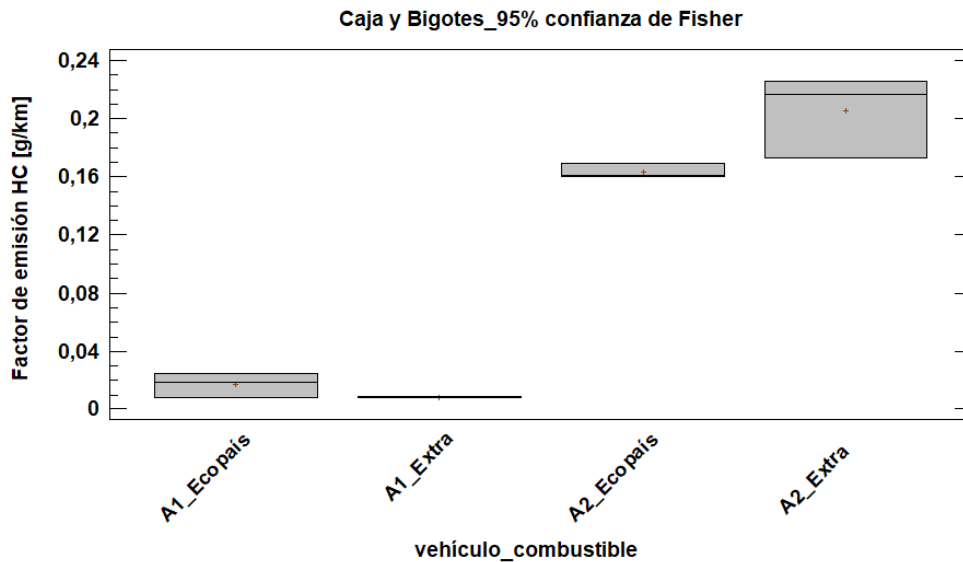
Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
FHC_A1_Extra	3	0.008	X
FHC_A1_Ecopaís	3	0.017	X
FHC_A2_Ecopaís	3	0.163	X
FHC_A2_Extra	3	0.205	X
Contraste		Sig.	Diferencia
FHC_A1_Ecopaís - FHC_A1_Extra			0.009
FHC_A1_Ecopaís - FHC_A2_Ecopaís		*	-0.146
FHC_A1_Ecopaís - FHC_A2_Extra		*	-0.188
FHC_A1_Extra - FHC_A2_Ecopaís		*	-0.155
FHC_A1_Extra - FHC_A2_Extra		*	-0.197
FHC_A2_Ecopaís - FHC_A2_Extra		*	-0.042

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Mediante la gráfica 22-3 de caja de bigotes seguidamente, se muestra la comparación de medias para los consumos de combustibles de los vehículos, aplicando a la misma la diferencia mínima significativa. Se concluye que existe diferencia significativa entre los vehículos, siendo el SPGT1.2 quien presta mejores resultados en cuanto a las emanaciones de hidrocarburos con el uso del combustible Extra con un factor de emisión de 0.008 g/km, en cuanto al uso del

combustible Ecopaís aumenta un 0.009 g/km, es decir con el combustible Extra se obtiene un mejor comportamiento reduciendo el 52.94 % de emanaciones del HC en relación a la utilización del combustible Ecopaís. Comparando con los resultados de la prueba de Llanes Cedeño et al., (2018, pp.149-158), en el cual se usó el vehículo de prueba AE1.6 en ruta, al igual que el SPGT1.2 se obtienen mejores resultados con el uso del combustible Extra, tras el implemento del combustible Extra en el AE1.6 con el que se obtuvo 0,061 g/km, el SPGT1.2 emite un 86.88% menos emisiones de gHC/km en relación al AE1.6. En cuanto al utilizar el combustible Ecopaís el SPGT1.2 emite 0.059 g/km (77.80%) menos que el AE1.6 con Ecopaís. De acuerdo al estudio realizado en 2 Chevrolet Spark 1.0L por Urbina et al., (2017, pp.1-4) y un informe de Urbina Guzmán, (2016, pp.30-40) en ciclo IM240 se obtuvo factor de CO de 0.057 g/km y 0.063g/km mientras que los valores que se obtienen en el SPGT1.2 se reducen más del 70%. Comparando con datos obtenidos en el Spark GT Spark GT 1.0L (2015, gasolina extra) del estudio de Recalde Rojas & Revelo Argoti., (2015, pp.32-40) quien emana 0.0103 gHC/km, el SPGT1.2 con gasolina Extra emite 22.33% menos que el Spark GT 1.0L mientras que cuando se utiliza Ecopaís en el SPGT1.2, el Spark GT 1.0L emite 39.41% menos. A diferencia del vehículo Nissan Sentra 1.6L del estudio de Cedeño Llanes et al., (2018, pp.97-108), el SPGT1.2 tras el uso de Extra emite 20% menos en relación a lo que emite el Nissan (0.01 gHC/km), y utilizando Ecopaís, el Nissan emite 41.17% menos.

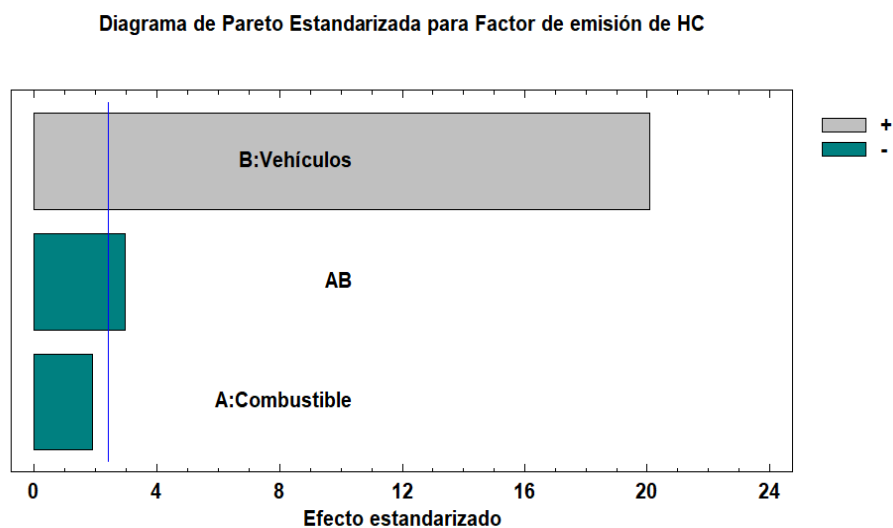
En cuanto al vehículo SZ2.0 posee emanaciones por encima de 0.1 g/km, con la utilización del combustible Extra su emanación es de 0.205 g/km mientras que con la utilización del Ecopaís se mejora el comportamiento, emanando 0.042 gramos de HC menos en cada kilómetro recorrido, es decir con el uso del combustible Ecopaís en el vehículo SZ2.0 se emite 20.49% menos de contaminante HC en relación al uso del combustible Extra. En comparación al AE1.6 del análisis de Llanes Cedeño et al., (2018, pp.149-158), el SZ2.0 contamina 0.144 g/km más con combustible Extra mientras que con el Ecopaís se obtiene en el AE1.6 0.076 g/km de emanación, en el que el SZ2.0 emite 0.087 g/km más. En base a datos obtenidos por Urbina Guzmán, (2016, pp.30-40) en el estudio de dos Chevrolet Grand Vitara 2.0L se obtuvo factores de HC de 0.182 y 0.070 g/km, comparando con el SZ2.0, este aumenta 0.023 y 0.093 g/km más con el uso del combustible Extra y Ecopaís. Comparando con el vehículo Aveo 1.6L (2011, gasolina Extra) del estudio de Recalde Rojas & Revelo Argoti., (2015, pp.32-40) donde se obtiene el factor 0.0094 gHC/km, el Aveo 1.6L emite 95.41% en relación a lo que emite el SZ2.0 con Extra, y cuando el SZ2.0 ocupa gasolina Ecopaís, el Aveo 1.6L emite 94,23% menos en relación al SZ2.0.



**Gráfico 22-3.** Caja y bigotes con 95% confianza del HC

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el diagrama de Pareto siguiente se puede observar la influencia de los factores sobre la emanación de los hidrocarburos, donde los vehículos y la combinación de ellos con el combustible es un factor que incide en la variable respuesta, el factor vehículos es altamente significativo. A diferencia del CO, la combinación (vehículo\_combustible) incide más.



**Gráfico 23-3.** Diagrama de Pareto de los factores del HC

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

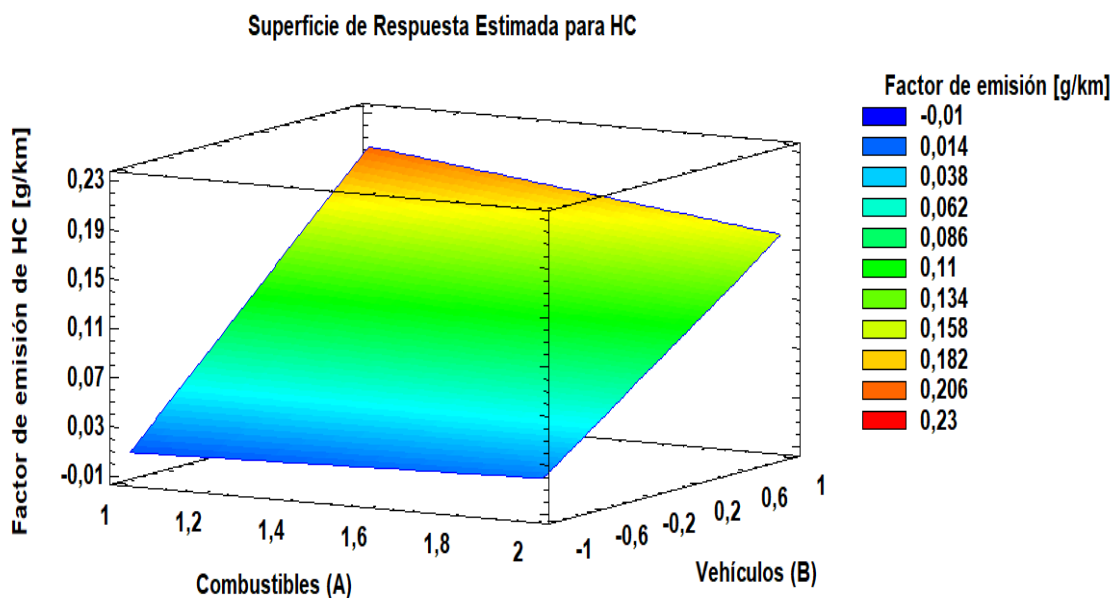
En la gráfica 24-3, en la superficie de respuesta se representa la relación que posee el factor de emisión de los HC en función al tipo de combustible y a los vehículos, del mismo modo se despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos, influyendo de manera negativa



la combinación (vehículo\_combustible) y el factor de combustible mientras que el factor de vehículos influye de manera positiva.

Cuando el factor de emisión sea lo más pequeño posible, será el valor óptimo, en este caso los mejores resultados se obtienen al utilizar el combustible Extra en el vehículo SPGT1.2, teniendo una emanación de 0.008 g/km, reduciendo un 52.94% de emanación con relación a la utilización del combustible Ecopaís. Comparando con el vehículo SZ2.0 que emana 0.163g/km y 0.205 g/km con la utilización del combustible Ecopaís y extra respectivamente el SPGT1.2 emite un 95.1 % y 96.1% menos de gramos por kilómetro en relación al SZ2.0 con la utilización del Ecopaís y Extra respectivamente. Con la utilización del combustible Ecopaís en el SPGT1.2 se obtiene 0,017 g/km comparando con el SZ2.0 emite 89.57% y 91.7% menos de gramos por kilómetro en relación al SZ2.0 con la utilización del Ecopaís y Extra. De acuerdo a Leguísamo Milla et al., (2020, pp.68-83) a través de un estudio realizado en un Aveo Family en conducción ecodriving se obtiene 0.827 gHC/km lo que indica un aumento de emisión en comparación al SPGT1.2 y del SZ2.0. En el análisis realizado por Cedeño Llanes et al., (2018, pp.97-108) en un Nissan Sentra 1.6L su factor de emisión es de 0.01 gHC/km lo que indica un aumento de 0.002 gHC/km en relación al mejor factor del SPGT1.2 y 0.153 gHC/km menos en relación a mejor factor del SZ2.0.

$$\text{Factor de emisión HC} = 0,123333 - 0,0165 * A + 0,124 * B - 0,0255 * A * B$$



**Gráfico 24-3.** Superficie de respuesta para el HC

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.).

Tras la aplicación del test LSD de Fisher en las mediciones de los factores de emisión de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se obtiene la tabla 27-3 siguiente, con el valor de P igual a 0 se

determina que existe diferencia significativa entre sus medias de Factores de emisión  $\text{NO}_x$  [g/km] entre un nivel de vehículo\_combustible y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla 27-3:** Aplicación de ANOVA para Factor  $\text{NO}_x$

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.4388	3	4.14626	970.25	0.0000
Intra-grupos	0.0341873	8	0.00427342		
Total	12.473	11			

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se presenta la tabla 28-3, mostrándose el promedio de las mediciones y su diferencia de emisión con el uso de los combustibles y de los vehículos, del mismo modo también se muestra la estimación de la diferencia que existe entre las medias combinando el combustible y vehículo. También se denota que existe diferencia significativa a los que se encuentra marcados con el asterisco.

**Tabla 28-3:** Método LSD de  $\text{FNO}_x$  y diferencia significativa

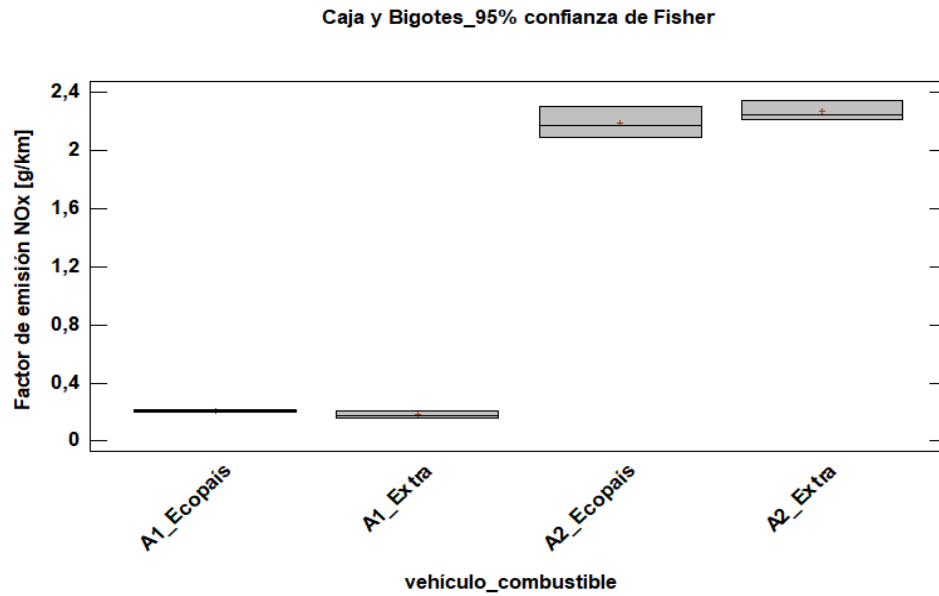
Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
$\text{FNO}_x_{A1\_Extra}$	3	0.177	X
$\text{FNO}_x_{A1\_Ecopaís}$	3	0.204	X
$\text{FNO}_x_{A2\_Ecopaís}$	3	2.185	X
$\text{FNO}_x_{A2\_Extra}$	3	2.266	X
Contraste		Sig.	Diferencia
$\text{FNO}_x_{A1\_Ecopaís} - \text{FNO}_x_{A1\_Extra}$			0.027
$\text{FNO}_x_{A1\_Ecopaís} - \text{FNO}_x_{A2\_Ecopaís}$		*	-1.981
$\text{FNO}_x_{A1\_Ecopaís} - \text{FNO}_x_{A2\_Extra}$		*	-2.062
$\text{FNO}_x_{A1\_Extra} - \text{FNO}_x_{A2\_Ecopaís}$		*	-2.008
$\text{FNO}_x_{A1\_Extra} - \text{FNO}_x_{A2\_Extra}$		*	-2.089
$\text{FNO}_x_{A2\_Ecopaís} - \text{FNO}_x_{A2\_Extra}$			-0.081

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

Mediante la gráfica 25-3 de caja de bigotes seguidamente, se muestra la comparación de medias para los factores de emisión del  $\text{NO}_x$  de los vehículos, aplicando a la misma la diferencia mínima significativa. Se concluye que existe diferencia significativa entre los vehículos, siendo el

SPGT1.2 quien presta mejores resultados en cuanto a las emanaciones de óxidos de nitrógeno con el uso del combustible Extra con un factor de emisión de 0.177 g/km, en cuanto al uso del combustible Ecopaís aumenta un 0.027 g/km, es decir con el combustible Extra se obtiene un mejor comportamiento reduciendo el 13.23% de emanaciones del NO<sub>x</sub> en relación a la utilización del combustible Ecopaís. De acuerdo a los resultados en el análisis de Llanes Cedeño et al., (2018, pp.149-158), en el cual se usó el vehículo de prueba en ruta AE1.6, al igual que el SPGT1.2 se obtienen mejores resultados con el uso del combustible Extra, tras el implemento del combustible Extra en el AE1.6 con el que se obtuvo 0.137 gNO<sub>x</sub>/km, emitiéndose un 22.6% menos que el SPGT1.2. En cuanto al utilizar el combustible Ecopaís el SPGT1.2 emite 0.204 g/km, igual que el AE1.6 (0.205) con Ecopaís. De acuerdo al estudio realizado en 2 Chevrolet Spark 1.0L por Urbina et al., (2017, pp.1-4) y un informe de Urbina Guzmán, (2016, pp.30-40) en ciclo IM240 se obtuvo factor de NO<sub>x</sub> de 0.029 g/km y 0.043g/km reduciéndose en un más de un 83% en relación de vehículo SPGT1.2. Comparando con los datos de Recalde Rojas & Revelo Argoti., (2015, pp.32-40) quienes utilizaron el vehículo Spark GT Spark GT 1.0L para el análisis de gases en el ciclo IM240 quien emite 0.0037 gNO<sub>x</sub>/km, es decir emite el 2.1% de lo que emite el SPGT1.2 tras el implemento del combustible Extra, mientras que con el Ecopaís el Spark GT Spark GT 1.0L emite el 1.81% de lo que emite el SPGT1.2. Comparando con el vehículo Nissan Sentra 1.6L del estudio de Cedeño Llanes et al., (2018, pp.97-108) este vehículo mite el 46.78% menos que el SPGT1.2 con gasolina Extra, mientras que con Ecopaís el Nissan emite el 53,83% menos que el SPGT1.2. En cuanto al vehículo SZ2.0 posee emanaciones por encima de 2 g/km, con la utilización del combustible Extra su emanación es de 2.266 g/km mientras que con la utilización del Ecopaís se mejora el comportamiento, emanando 0.081 gramos de NO<sub>x</sub> menos en cada kilómetro recorrido, es decir con el uso del combustible Ecopaís en el vehículo SZ2.0 se emite 3.57% menos de contaminante NO<sub>x</sub> en relación al uso del combustible Extra.

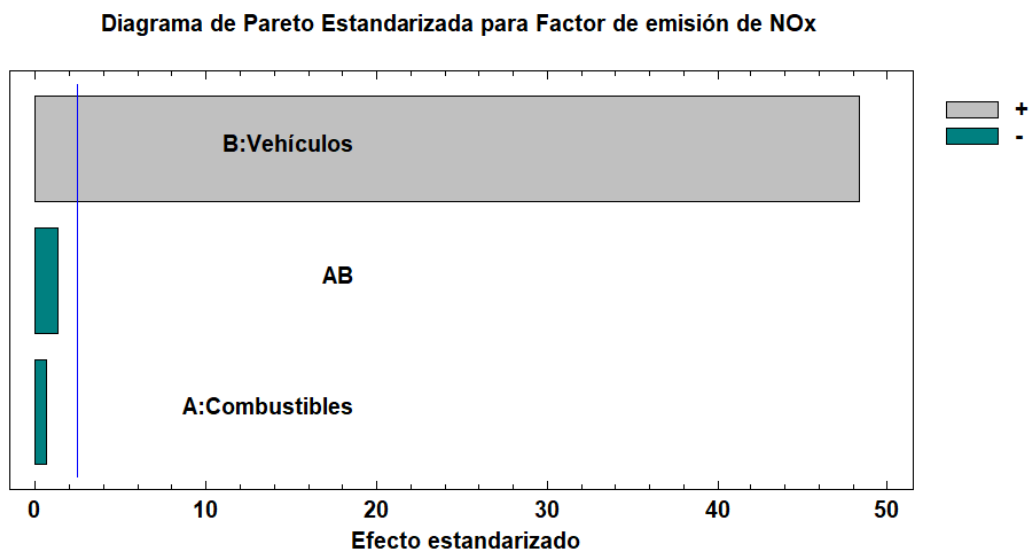
En comparación al AE1.6 del análisis de Llanes Cedeño et al., (2018, pp.149-158), el SZ2.0 contamina 2.129 g/km más con combustible Extra mientras que con el Ecopaís se obtiene en el AE1.6 0,205 g/km de emanación, en el que el SZ2.0 emite 1.98 gNO<sub>x</sub>/km más. En base a datos obtenidos por Urbina Guzmán, (2016, pp.30-40) en el estudio de dos Chevrolet Grand Vitara 2.0L se obtuvo factores de NO<sub>x</sub> de 0.336 y 0.190 g/km, comparando con el SZ2.0, este aumenta 1.93 y 1.99 g/km más con el uso del combustible Extra y Ecopaís respectivamente. Si se compara con el vehículo Aveo 1.6L (2011, gasolina Extra) del estudio de Recalde Rojas & Revelo Argoti., (2015, pp.32-40), implementando gasolina Extra al SZ2.0, el Aveo 1.6L emite el 0.96% de lo que emite el SZ2.0 mientras que cuando utiliza Ecopaís, el Aveo 1.6L emite el 1% de lo que emite SZ2.0.



**Gráfico 25-3.** Caja y bigotes con 95% confianza de NOx

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En el diagrama de Pareto siguiente se puede observar la influencia de los factores sobre la emanación del NO<sub>x</sub>, donde el factor de los vehículos es un factor que incide en la variable respuesta, el factor vehículos es altamente significativo.



**Gráfico 26-3.** Diagrama de Pareto de los factores del NOx

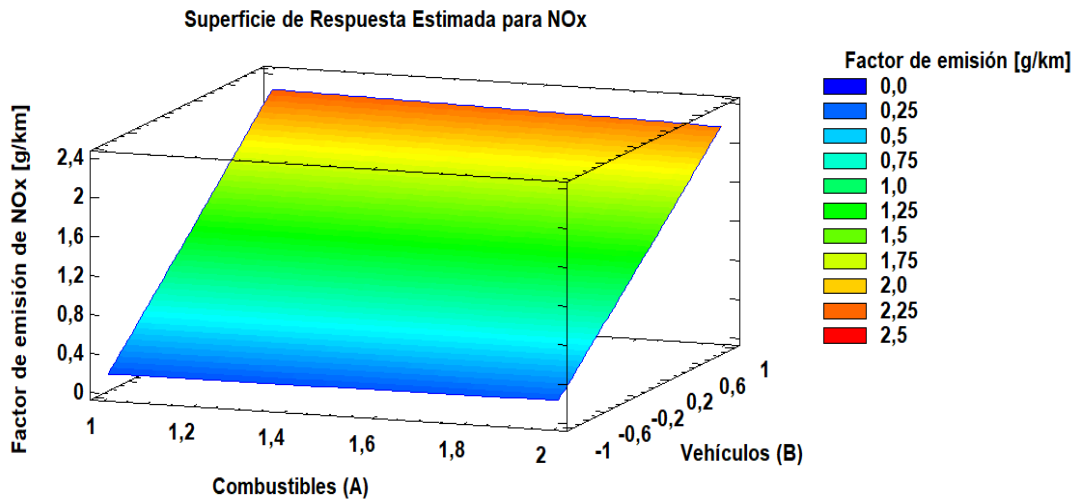
Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

En la siguiente gráfica 27-3, en la superficie de respuesta se representa la relación que posee el factor de emisión de los NO<sub>x</sub> en función al tipo de combustible y a los vehículos, del mismo modo

se despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos, influyendo de manera negativa la combinación (vehículo\_combustible) y el factor de combustible mientras que el factor de vehículos influye de manera positiva.

Cuando el factor de emisión sea lo más pequeño posible, será el valor óptimo, en este caso los mejores resultados se obtienen al utilizar el combustible Extra en el vehículo SPGT1.2, teniendo una emanación de 0.177 g/km, reduciendo un 13.24% de emanación con relación a la utilización del combustible Ecopaís. Comparando con el vehículo SZ2.0 que emana 2.185g/km y 2.266 g/km con la utilización del combustible Ecopaís y extra respectivamente el SPGT1.2 emite un 91.90 % y 92.19% menos de gramos por kilómetro en relación al SZ2.0 con la utilización del Ecopaís y Extra respectivamente. Con la utilización del combustible Ecopaís en el SPGT1.2 se obtiene 0,204 g/km comparando con el SZ2.0 emite 90.66% y 91% menos de gramos por kilómetro con relación al SZ2.0 con la utilización del Ecopaís y Extra. De acuerdo a (Leguísamo Milla et al., (2020, pp.68-83) a través de un estudio realizado en un Aveo Family en conducción ecodriving se obtiene 0.827 g/km lo que indica un aumento de emisión en comparación al SPGT1.2 y disminución en relación del SZ2.0.

$$\text{Factor de emisión NOx} = 1,2485 - 0,027 * A + 1,09917 * B - 0,0543333 * A * B$$



**Gráfico 27-3.** Superficie de respuesta para el NOx

Realizado por: Guamán, A.; De la Cruz, J., 2020.

## CONCLUSIONES

De los resultados y análisis de los resultados que se han mostrado anteriormente se puede obtener las siguientes conclusiones:

Se ha logrado analizar los factores de emisiones contaminantes con diferentes combustibles mediante ciclo estándar de conducción IM-240 en la ciudad de Quito-Ecuador, donde se logró determinar diferencia en los factores obtenidos. Siendo el SPGT1.2 quien presta mejores resultados en cuanto a las emanaciones de monóxido de carbono con el uso del combustible Extra con un factor de emisión de 0,758 g/km, reduciendo el 46,32 % de emanaciones del CO en relación a la utilización del combustible Ecopaís, en cuanto al vehículo SZ2.0 posee emanaciones por encima de los 12 g/km, con la utilización de los dos combustibles. En cuanto al factor de HC el SPGT1.2 presta mejores resultados con gasolina Extra (0,008 g/km) reduciendo el 52,94 % de emanaciones en relación a la gasolina Ecopaís, en cuanto el vehículo SZ2.0 emana 0,205 g/km con gasolina Extra mientras que con Ecopaís mejora, emanando 0,042 g/km menos. En cuanto al factor NO<sub>x</sub> el SPGT1.2 con el uso del combustible Extra con un factor de emisión de 0,177 g/km, reduciendo el 13,23 % de emanación en relación a la utilización del combustible Ecopaís, en cuanto al vehículo SZ2.0, utilizando gasolina Extra su emanación es de 2,266 g/km mientras que con Ecopaís se mejora el comportamiento, emanando 0,081 g/km menos.

La diferencia de los factores de emisión obtenidos en los dos vehículos, se puede observar que existe gran diferencia en el tipo de vehículo y el año de fabricación, teniendo los mejores resultados de parte del vehículo más actual. Esto es debido a la tecnología que se incorpora para mejorar el control de emisiones.

Al principio de la prueba los HC y CO, en bajas velocidades en el ciclo dinámico IM240 se presentan valores mayores, mientras que el NO<sub>x</sub> crece a medida que el vehículo se va sometiendo a carga.

El comportamiento del CO<sub>2</sub> con el O<sub>2</sub> son exactamente idénticas en sentidos opuestos, cuando el vehículo incrementa la velocidad, el CO<sub>2</sub> posee valores cercanos a 14 %V, mientras que el O<sub>2</sub> sus valores menores a 1%V, y cuando el vehículo disminuye su velocidad el CO<sub>2</sub> disminuye, mientras que el O<sub>2</sub> aumenta. Esto denota el buen funcionamiento del vehículo, y con lo cual se valida las pruebas tomadas.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda tener un equipo de diagnóstico automotriz como el scanner, para poder tener una visualización de datos mientras se realiza la prueba IM240 de tal manera que podemos ver el comportamiento de los sensores y actuadores para obtener datos de los diferentes sistemas del vehículo que estén directamente relacionado con el funcionamiento del motor, y así poder tener un análisis conciso respecto a la variación de datos entre las pruebas realizadas entre los vehículos. Realizar mantenimiento, o reparaciones previas de ser necesario, en los diferentes sistemas que estén directamente relacionados con el funcionamiento del motor, por lo que la mala eficiencia de los sistemas puede llegar a influir de manera considerable en la obtención de datos de las emisiones contaminantes.

Realizar las pruebas en vehículos que estén en condiciones similares, como en año de fabricación y condiciones mecánicas para obtener resultados más cercanos y semejantes entre los vehículos con los datos obtenido a través de las pruebas realizadas en los vehículos SPGT1.2 y SZ2.0.

Realizar una verificación del funcionamiento adecuado de los sensores y actuadores del vehículo antes de la realización de las pruebas IM240 buscando disminuir la variación de datos obtenidos en el consumo de combustible y emisiones contaminantes entre el vehículo SPGT1.2 y SZ2.0.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOSCH.** *Manual de La Técnica Del Automóvil.* 3ra ed., 2005, p. 233, <https://julioestrepo.files.wordpress.com/2013/08/bosch-manual-de-la-tecnica-del-automovil-tercera-edicion.pdf>.
- CASTILLO, JUAN JOSÉ.** “Unidad de Cambio Climático y Determinantes Ambientales de La Salud Departamento de Enfermedades Transmisibles y Determinantes Ambientales de La Salud.” *PAHO*, 2016, pp. 3–4.
- CEDEÑO LLANES, EDILBERTO ANTONIO, ET AL.** “Análisis de Gases Del Motor de Un Vehículo a Través de Pruebas Estáticas y Dinámicas.” *Diciembre*, vol. 11, no. 28, 2018, pp. 97–108.
- EL COMERCIO.** “Seis Urbes En Ecuador Se Exceden En Contaminación Ambiental, Según OMS.” *Junio 10*, 2016, pp. 1–3, <https://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html%0Ahttps://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html#:~:text=De acuerdo a los análisis,contaminación perjudiciales>.
- EL MUNDO.** *Aumentan Los Niveles de Contaminación En Muchas de Las Ciudades Más Pobres Del Mundo.* May 2016, p. 1.
- EL UNIVERSO.** *¿Sabes Cuáles Son Los 10 Carros Preferidos Por Los Ecuatorianos?* Nov. 2019, pp. 1–5.
- EL UNIVERSO.** “Estas Son Las Marcas y Modelos de Vehículos Más Vendidos En Lo Que va Del 2020 En Ecuador.” *Economía*, Sept. 2020, p. 2.
- ESTEVEZ, MABEL, ET AL.** “MEDICIÓN DE EMISIONES EN VEHÍCULOS LIVIANOSEQUIPADOS CON MOTORES CICLO OTTO.” *August 8*, 2015, pp. 1–5.
- GIAKOUMIS, EVANGELOS G.** *Driving and Engine Cycles.* N. 01, 2017, doi:10.1007/978-3-319-49034-2.
- GONZÁLES, DAVID.** *MOTORES.* 2º edición, 2018.



**GUASGUA ANTAMBA, JAIME FERNANDO, ET AL.** *Estudio Comparativo de Gases Contaminantes En Un Vehículo M1, Utilizando Gasolina de La Comunidad Andina.* Sept. 2016, pp. 110–19.

**HERNÁNDEZ ARÉVALO, HERNÁN DARÍO, ET AL.** “Comparación de Las Emisiones En Motores Que Utilizan Combustible E0 y E10 En Régimen Transitorio.” *Revista de Ingeniería Energética*, vol. 39, no. 1, Oct. 2017, pp. 3–12.

**HERNANDEZ, MARCEL, ET AL.** “Fuel Economy and Emissions of Light-Duty Vehicles Fueled with Ethanol-Gasoline Blends in a Mexican City.” *Renewable Energy*, vol. 72, Elsevier Ltd, 2014, pp. 236–42, doi:10.1016/j.renene.2014.07.018.

**IMAM ARDIANSYAH.** “Dimension Economico Social de La Comunidad Andina.” *Comunidad Andina*, vol. 4, no. 1, 2019, pp. 75–84.

**LEGUÍSAMO MILLA, JULIO CÉSAR, ET AL.** “Impacto Del Ecodriving Sobre Las Emisiones y Consumo de Combustible En Una Ruta de Quito.” *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 1, 2020, pp. 68–83, doi:10.29019/enfoque.v11n1.500.

**LLANES CEDEÑO, EDILBERTO ANTONIO, JUAN CARLOS ROCHA HOYOS, ET AL.** “Evaluación de Emisiones de Gases En Un Vehículo Liviano a Gasolina En Condiciones de Altura. Caso de Estudio Quito, Ecuador.” *Junio*, 2018, pp. 149–58.

**LLANES CEDEÑO, EDILBERTO ANTONIO, JUAN CARLOS ROCHA-HOYOS, ET AL.** “Evaluación de Emisiones de Gases En Un Vehículo Liviano a Gasolina En Condiciones de Altura. Caso de Estudio Quito, Ecuador.” *Enfoque UTE*, vol. 9, no. 2, 2018, pp. 149–58, doi:10.29019/enfoqueute.v9n2.201.

**LLERENA RENGEL, FAUSTO JAVIER.** *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO BAJO DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS.* UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, 2019.

**MARTÍNEZ, FERNANDO, ET AL.** *ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZANDO UN IONIZADOR A 2800 MTS APROX SOBRE EL NIVEL DEL MAR.* Universidad Internacional del Ecuador, 2018.

**MASSON RICAURTE, MANUEL ALEJANDRO.** *DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MEZCLA DE GASOLINA DE 90 OCTANOS CON ETANOL ANHÍDRIDO PARA SU UTILIZACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA.* ESPOCH, 2012.

**ORELLANA FIERRO, GUSTAVO ADOLFO, AND DIMAS MISAEL SÁNCHEZ QUISPE.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR (IHX) DE DIFERENTES GEOMETRÍAS, PARA SU EVALUACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL COP DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO EN UN VEHÍCULO TIPO SEDAN.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2017, <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7004/1/65T00236.pdf>.

**PAYRI, F., AND M. DESANTES.** “Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA) (1ºParte).” *Reverte*, vol. 1, 2011.

**PÉREZ DARQUEA, DIEGO GUSTAVO.** “Estudio de Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales.” *INNOVA Research Journal*, vol. 2, no. 23, 2018, pp. 23–34, doi:10.33890/innova.v3.n3.2018.635.

**RAMADHAS, A. S., ET AL.** “Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Combustion and Emissions of a Passenger Car Engine at Part Load Operations.” *SAE Technical Papers*, vol. 2016-Febru, no. February, 2016, doi:10.4271/2016-28-0152.

**RECALDE ROJAS, MAURICIO NORBERTO, AND ROMEL VLADIMIR REVELO ARGOTI.** *ANÁLISIS DE EMISIONES EN VEHÍCULOS A GASOLINA UTILIZANDO PRUEBAS ESTACIONARIA Y DINÁMICA MEDIANTE CICLO IM-240.* Escuela Politécnica Nacional, 2015, <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11925/1/CD-6584.pdf>.

**SALAZAR SALAZAR, LEONARDO.** “Comportamiento de Mezclas Gasolina-Etanol, En Un Motor de Encendido Por Chispa y Sus Efectos En Las Emisiones.” *RECOPE*, Apr. 2018, p. 8.

**SÁNCHEZ VELA, LUIS GERARDO, ET AL.** “Revisión de La Normativa Internacional Sobre Límites de Emisiones Contaminantes de Vehículos de Carretera.” *INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*, 2019, <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>.

**TUNER, MARTIN.** “Review and Benchmarking of Alternative Fuels in Conventional and Advanced Engine Concepts with Emphasis on Efficiency, CO<sub>2</sub>, and Regulated Emissions.” *SAE Technical Papers*, 2016, doi:10.4271/2016-01-0882.

**URBINA, ANDRÉS, ET AL.** “ESTUDIO DE LAS EMISIONES VEHICULARES EN PRUEBAS CON DINAMÓMETRO Y EN RUTA.” *April*, 2017, pp. 1–4.

**URBINA GUZMÁN, ANDRÉS JACINTO.** *COMPARACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN VAHICULAR AL UTILIZAR CICLOS DE CONDUCCIÓN IM240 Y ON BOARD EN LA CIUDAD DE QUITO.* Escuela Politécnica Nacional, 2016.

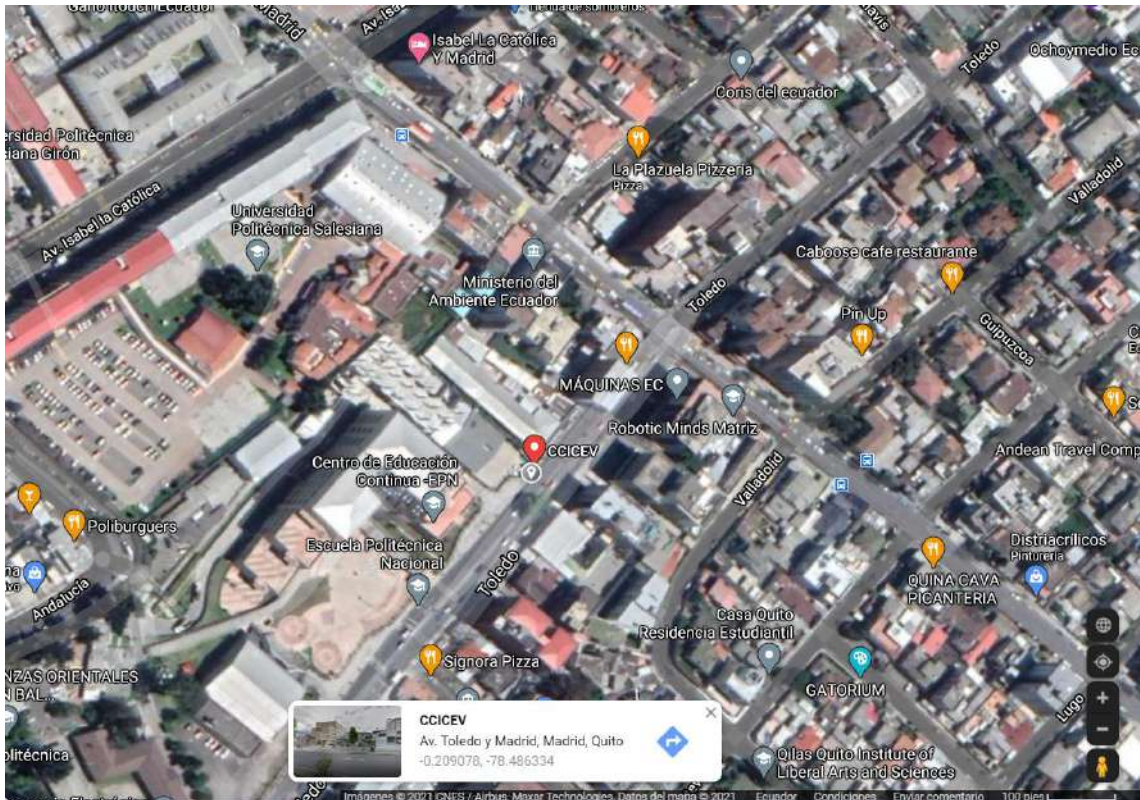
**WHO.** “Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease.” *World Health Organization*, 2016, pp. 23–24.

**YÉPEZ LOMAS, JUNIOR ANDRÉS.** *ESTUDIO DE AUTOMOTOR A BIOETANÓL CON RESPECTO A GASOLINA EXTRA VENTAJAS, DESVENTAJAS, EFICIENCIA EN EL MOTOR, CONSUMO, CONTAMINACIÓN, RENDIMIENTO; EN LA CIUDAD DE QUITO.* UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, 2012.

**ZANZZI, FABRICIO, ET AL.** “APROXIMACIONES SOBRE LA (NO) EFECTIVIDAD DEL IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR EN LA REDUCCIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR DE GUAYAQUIL.” *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 10, no. 23, Aug. 2017, pp. 12–13.

## ANEXOS

### ANEXO A. Ubicación del centro CCICEV



El CCICEV se encuentra en la ciudad de Quito-Ecuador, en la Av. Toledo y Madrid

A una latitud:  $0.20^{\circ}90.78''$  S.

Y longitud:  $78^{\circ}48'63.34''$  O.

Con temperaturas de  $18^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$

Presión atmosférica de 732 hPa

### ANEXO B. Especificaciones del equipo para medir gases contaminantes [MGT 5]



## Datos técnicos

Gases analizables	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Rango de medición	0 - 15,00 Vol %	0 - 20,0 Vol %	0 - 2000 ppm (Hexano) 0 - 4000 ppm Propano	0 - 25,00 Vol %	0 - 5000 ppm Vol
Precisión de medida	0,06 Vol %	0,5 Vol %	12 ppm vol	0,1 Vol %	32 - 120 ppm vol según rango de medición
Principio de medida	infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electro- químico	electro- químico
Resolución valores de med.	0,001 Vol %	0,01 Vol %	0,1 ppm vol	0,01 Vol %	1 ppm vol
Deriva del rango de med.	inferior a $\pm 0,6$ % del valor final del rango de medición				
Fase de precalentamiento	min. 30 minutos, máx. 10 minutos • regulado por temperatura				
Nivel de electricidad para mediciones de gas	3 l/min				
Nivel de electricidad	automática, continuada •aprox.1 l/min				
Presión de servicio	750 - 1100 mbar				
Variación de la presión	máx. Error 0,2% para variaciones de 5 kPascal				
Alimentación d. corriente	85 V - 280 V • 50 Hz • 65 W o Cable de alimentación con conexión a 10 - 42 V CC con Pinzas de apriete y diodo como protección contra polarización inversa 5 m; (batería vehículo, opcional)				
Cuentarrevoluciones p. inducción	0 - 10000 /min-1 •Resolución 1,5,10, o 50 RPM				
Temperatura de servicio	+5°C - +45°C • Desviación $\pm 2^{\circ}\text{C}$				
Temperatura de almacenaje	-10°C - +60°C • Desviación $\pm 2^{\circ}\text{C}$				
Termómetro del aceite	+0° - +150°C •Resolución 1				
Prueba de hermiticidad	guída por menú, 1x al día				
Prueba de HC residuales	automático				
Ajuste a cero	automático				
Calibración	Semestralmente (se necesita gas de prueba específico)				



**ANEXO C. Especificaciones del centro de comunicación MAHA**



**Pupitre de comunicaciones**

- Monitor de color 19" diámetro diagonal (recomendado por el fabricante)
- Dimensiones pupitre de comunicaciones (An x Al x L) 600 x 1850 x 800 mm
- Dimensiones del embalaje (L x An x Al) 2360 x 960 x 870 mm
- Peso incl. embalaje aprox. 250 kg
- Laca por recubrimiento de polvo azul, RAL 5010
- Alimentación 400 V, 50 Hz
- Apto para multiprocesador
- Apto para multitarea



**Requisitos mínimos PC (estado: noviembre 2002)**

CPU .....	Procesador a partir de 800 MHz
Placa madre .....	Conexión USB
Memoria RAM.....	256 MB
Disco duro.....	> 4 GB
Unidades de disco .....	CD-ROM > 32x
.....	Disquetera de 1,44"
Tarjeta gráfica.....	Resolución 800x600 con 64000 colores
.....	Memoria 4 MB
Sistema operativo.....	Windows XP Professional

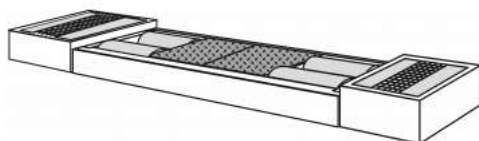
## ANEXO D. Especificaciones de dinamómetro de chasis [LPS 3000]

### Juegos de rodillos de la serie R200

Los juegos de rodillos del LPS 3000 se componen de un bastidor autoportante con recubrimiento de polvo y rodillos metalizados con la llama.

El juego de rodillos para el LPS 3000 está disponible en diferentes versiones:

Juego de rodillos	Vehículos de ensayo	Comentario
R200/1	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos cerrado
R200/1	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos cerrado con frenos reforzados
R200/2	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos dividido
R200/2	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos dividido con frenos reforzados






Los juegos de rodillos de la Serie R200 no son apropiados para la medición de motocicletas!

Juego de rodillos	R200/1	R200/1 reforzado	R200/2	R200/2 reforzado
Carga sobre el eje	15 t	15 t	15 t	15 t
Longitud [mm]	4550	4550	2260 por rodillo	2260 por rodillo
Ancho [mm]	1100	1100	1100	1100
Altura [mm]	625	625	865	865
Peso	aprox. 2350 kg	aprox. 2410 kg	aprox. 1250 kg por rodillo	aprox. 1310 kg por rodillo
Longitud de rodillo	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm
Vía min.	820 mm	820 mm	1000 mm	1000 mm
Vía max.	2620 mm	2620 mm	2800 mm	2800 mm
Diámetro mínimo de rueda para ensayar	12"	12"	12"	12"
Diámetro rodillo	318 mm	318 mm	318 mm	318 mm
Distancia entre rodillos	565 mm	565 mm	565 mm	565 mm
Sobreelevación rodillo	45 mm	45 mm	--	--
<b>Sistema de elevación con bloqueo de rodillos</b>				
Neumática				
Hidráulica	x	x	x	x
<b>Datos eléctricos</b>				
Datos corr. parásita	2 x 200 kW	2 x 330 kW	2 x 200 kW	2 x 330 kW
Alimentación	400 V / 50 Hz	400 V / 50 Hz	400 V / 50 Hz	400 V / 50 Hz
Protección por fusible	35 A lento	63 A lento	35 A lento	63 A lento
<b>Campo de indicación</b>				
Velocidad de ensayo	max. 200 km/h	max. 200 km/h	max. 200 km/h	max. 200 km/h
Potencia rueda	30 - max. 400 kW	30 - max. 660 kW	30 - max. 400 kW	30 - max. 660 kW
Fuerza de tracción	max. 15 kN	max. 25 kN	max. 15 kN	max. 25 kN
Núm. de revoluciones	10 - 10 000 rpm	10 - 10 000 rpm	10 - 10 000 rpm	10 - 10 000 rpm
Presición de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición



ANEXO E. Registro de datos de prueba SPGT1.2 – Extra

		Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares																																																														
REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISION																																																																
CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión 2	N°	CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 085 - P1																																																													
	Página 1 / 2	FECHA:	14 de diciembre de 2020																																																													
TÉCNICOS RESPONSABLES		Fabián Iza																																																														
OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN																																																														
Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>																																																														
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4 <sub>ta</sub> rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>																																																														
No. Visita <input type="text" value="1"/>	Otros <input type="checkbox"/>																																																															
*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV																																																																
DATOS GENERALES DEL VEHICULO																																																																
Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	9GACE6CD8KB057399 / PDJ3731																																																													
Modelo:	SPARK GT ACTIV AC 1.2 5P 4X2 TM	Kilometraje:	17350																																																													
MOTOR (Datos del fabricante)**																																																																
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	Z2183258HOAX0229																																																													
No. de cilindros y disposición	4 EN LÍNEA	Versión	N/A																																																													
Maxima Potencia (kw/rpm)	60,03 KW @ 6400 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	108 N.m @ 4800 RPM																																																													
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO																																																													
Cilindrada [cm3]	1200	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL																																																													
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA EXTRA	Categoría-Subcategoría-Clase	HATCHBACK																																																													
Tipo	M_1	Año modelo vehiculo	2019																																																													
Tonelaje	0,375	País de origen	COLOMBIA																																																													
** Opcional en RTV																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Hora de inicio</td> <td style="width: 25%;">10 h 30 min</td> <td style="width: 25%;">Hora final</td> <td style="width: 25%;">12 h 30m min</td> </tr> <tr> <td>Temperatura ambiente °C</td> <td>20,5</td> <td>Humedad Relativa (%)</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>Presión Atmosférica (hPa)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">732</td> </tr> <tr> <td>Prueba en ruta o laboratorio</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">PRUEBA EN LABORATORIO</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Parámetros</th> <th colspan="5" style="text-align: center;">PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD</th> </tr> <tr> <th>Medición 1</th> <th>Medición 2</th> <th>Medición 3</th> <th>Medición 4</th> <th>Medición 5</th> </tr> <tr> <td>CO [%v]</td> <td>0,09</td> <td>0,11</td> <td>0,15</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>CO2 [%v]</td> <td>13,52</td> <td>13,56</td> <td>13,6</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>HC [ppm]</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>O2 [%v]</td> <td>1,56</td> <td>1,51</td> <td>1,45</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>NOx [ppm]</td> <td>250</td> <td>275</td> <td>232</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>				Hora de inicio	10 h 30 min	Hora final	12 h 30m min	Temperatura ambiente °C	20,5	Humedad Relativa (%)	51	Presión Atmosférica (hPa)	732			Prueba en ruta o laboratorio	PRUEBA EN LABORATORIO			RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES				Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD					Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	CO [%v]	0,09	0,11	0,15	-	-	CO2 [%v]	13,52	13,56	13,6	-	-	HC [ppm]	8	8	9	-	-	O2 [%v]	1,56	1,51	1,45	-	-	NOx [ppm]	250	275	232	-	-
Hora de inicio	10 h 30 min	Hora final	12 h 30m min																																																													
Temperatura ambiente °C	20,5	Humedad Relativa (%)	51																																																													
Presión Atmosférica (hPa)	732																																																															
Prueba en ruta o laboratorio	PRUEBA EN LABORATORIO																																																															
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES																																																																
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD																																																															
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5																																																											
CO [%v]	0,09	0,11	0,15	-	-																																																											
CO2 [%v]	13,52	13,56	13,6	-	-																																																											
HC [ppm]	8	8	9	-	-																																																											
O2 [%v]	1,56	1,51	1,45	-	-																																																											
NOx [ppm]	250	275	232	-	-																																																											
<p><b>OBSERVACIONES:</b> El combustible fue proporcionado por el solicitante</p> <p>Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba</p>																																																																
<p>Técnico No 1</p> <p>Firma Responsables:  <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b></p> <p>Nombres: Fabián Iza</p>		<p>Técnico No 2</p> <p>Firma Responsable de Unidad:  <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b></p> <p>Nombre: Ing. Diego Lincango</p>																																																														
<p>Formato de registro primario para ensayo de factores de emisión / Los resultados aplican únicamente al ítem evaluado</p>																																																																



**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISIÓN**

CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión 2	N°	CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 085 - P1
	Página 2 / 2	FECHA:	14 de diciembre de 2020

DATOS DEL CICLO UTILIZADO					
CICLO DE PRUEBA			CICLO 2 VECES IM-240		
DISTANCIA RECORRIDA (Km)			6,4		
DISTANCIA RECORRIDA (m)			6400		
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Consumo en litros	0,38	0,41	0,38	-	-

CÁLCULO DEL RENDIMIENTO					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Rendimiento (Km/lt)	16,842	15,610	16,842	-	-
Rendimiento (Km/Gl)	63,663	59,005	63,663	-	-

EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
CO [%v]	0,090	0,110	0,150	-	-
CO2 [%v]	13,520	13,560	13,600	-	-
HC [%v]	0,001	0,001	0,001	-	-
O2 [%v]	1,560	1,510	1,450	-	-
NOx [%v]	0,025	0,028	0,023	-	-

R EN FUNCIÓN DE CO <sub>2</sub>					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
RCO	0,007	0,008	0,011	-	-
RHC	0,000	0,000	0,000	-	-
RNOX	0,002	0,002	0,002	-	-

FACTORES DE EMISIÓN					
Parámetros	DENSIDAD DE COMBUSTIBLE (Kg/m <sup>3</sup> )			744	
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
FCO (g/Km)	0,574	0,753	0,947	-	-
FHC (g/Km)	0,008	0,008	0,009	-	-
FNOX (g/Km)	0,171	0,202	0,157	-	-

PROMEDIO FACTORES DE EMISION	
FCO (g/Km)	0,758
FHC (g/Km)	0,008
FNOX (g/Km)	0,177

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante








Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba

Firma  Técnico No 1  
FABIAN ANDRES  
IZA COLLAGUAZO  
Nombres: Fabián Iza

Técnico No 2

Firma Responsable de  **DIEGO LUIS LINCANGO**  
Nombre: Ing. Diego Lincango

ANEXO F. Registro de datos de prueba SPGT1.2 – Ecopais

		Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares																																																														
REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISION																																																																
CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión	2	Nº																																																													
	Página	1 / 2	FECHA:																																																													
		CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 085 - P2																																																														
TÉCNICOS RESPONSABLES		Fabián Iza																																																														
OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN																																																															
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular	<input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>																																																													
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4 <sub>rev</sub>	<input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>																																																													
No. Visita <input type="text" value="2"/>	Otros	<input type="checkbox"/>																																																														
*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV																																																																
DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO																																																																
Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	9GACE6CD8KB057399 / PDJ3731																																																													
Modelo:	SPARK GT ACTIV AC 1.2 5P 4X2 TM	Kilometraje:	17370																																																													
MOTOR (Datos del fabricante)**																																																																
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	Z2183258HOAX0229																																																													
No. de cilindros y disposición	4 EN LÍNEA	Versión	N/A																																																													
Maxima Potencia (kw/rpm)	60,03 KW @ 6400 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	108 N.m @ 4800 RPM																																																													
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO																																																													
Cilindrada [cm3]	1200	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL																																																													
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA ECOPAIS	Categoría-Subcategoría-Clase	HATCHBACK																																																													
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2019																																																													
Tonelaje	0,375	País de origen	COLOMBIA																																																													
** Opcional en RTV																																																																
<table border="1"> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>12 h 30 min</td> <td>Hora final</td> <td>14 h 30 min</td> </tr> <tr> <td>Temperatura ambiente °C</td> <td>20,6</td> <td>Humedad Relativa (%)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Presión Atmosférica (hPa)</td> <td colspan="3">732</td> </tr> <tr> <td>Prueba en ruta o laboratorio</td> <td colspan="3">PRUEBA EN LABORATORIO</td> </tr> <tr> <th colspan="4">RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Parámetros</th> <th colspan="5">PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD</th> </tr> <tr> <th>Medición 1</th> <th>Medición 2</th> <th>Medición 3</th> <th>Medición 4</th> <th>Medición 5</th> </tr> <tr> <td>CO [%v]</td> <td>0,27</td> <td>0,21</td> <td>0,18</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>CO2 [%v]</td> <td>13,63</td> <td>13,48</td> <td>13,7</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>HC [ppm]</td> <td>26</td> <td>19</td> <td>8</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>O2 [%v]</td> <td>1,43</td> <td>1,62</td> <td>1,41</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>NOx [ppm]</td> <td>309</td> <td>284</td> <td>297</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>				Hora de inicio	12 h 30 min	Hora final	14 h 30 min	Temperatura ambiente °C	20,6	Humedad Relativa (%)	50	Presión Atmosférica (hPa)	732			Prueba en ruta o laboratorio	PRUEBA EN LABORATORIO			RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES				Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD					Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	CO [%v]	0,27	0,21	0,18	-	-	CO2 [%v]	13,63	13,48	13,7	-	-	HC [ppm]	26	19	8	-	-	O2 [%v]	1,43	1,62	1,41	-	-	NOx [ppm]	309	284	297	-	-
Hora de inicio	12 h 30 min	Hora final	14 h 30 min																																																													
Temperatura ambiente °C	20,6	Humedad Relativa (%)	50																																																													
Presión Atmosférica (hPa)	732																																																															
Prueba en ruta o laboratorio	PRUEBA EN LABORATORIO																																																															
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES																																																																
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD																																																															
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5																																																											
CO [%v]	0,27	0,21	0,18	-	-																																																											
CO2 [%v]	13,63	13,48	13,7	-	-																																																											
HC [ppm]	26	19	8	-	-																																																											
O2 [%v]	1,43	1,62	1,41	-	-																																																											
NOx [ppm]	309	284	297	-	-																																																											
OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante																																																																
Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba																																																																
<table border="0"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Técnico No 1</p> <p>Firma Responsables: </p> <p>Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b></p> <p>Nombres: Fabián Iza</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Técnico No 2</p> <p>Firma Responsable de Unidad: </p> <p>Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b></p> <p>Nombre: Ing. Diego Lincango</p> </td> </tr> </table>				<p>Técnico No 1</p> <p>Firma Responsables: </p> <p>Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b></p> <p>Nombres: Fabián Iza</p>	<p>Técnico No 2</p> <p>Firma Responsable de Unidad: </p> <p>Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b></p> <p>Nombre: Ing. Diego Lincango</p>																																																											
<p>Técnico No 1</p> <p>Firma Responsables: </p> <p>Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b></p> <p>Nombres: Fabián Iza</p>	<p>Técnico No 2</p> <p>Firma Responsable de Unidad: </p> <p>Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b></p> <p>Nombre: Ing. Diego Lincango</p>																																																															
Formato de registro primario para ensayo de factores de emisión / Los resultados aplican únicamente al ítem evaluado																																																																

**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISIÓN**

CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión 2	N°	CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 085	- P2
	Página 2 / 2	FECHA:	14 de diciembre de 2020	

DATOS DEL CICLO UTILIZADO					
CICLO DE PRUEBA			CICLO 2 VECES IM-240		
DISTANCIA RECORRIDA (Km)			6,4		
DISTANCIA RECORRIDA (m)			6400		
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Consumo en litros	0,39	0,39	0,385	-	-

CÁLCULO DEL RENDIMIENTO					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Rendimiento (Km/Mt)	16,410	16,410	16,623	-	-
Rendimiento (Km/Gl)	62,031	62,031	62,836	-	-

EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
CO [%v]	0,270	0,210	0,180	-	-
CO2 [%v]	13,630	13,480	13,700	-	-
HC [%v]	0,003	0,002	0,001	-	-
O2 [%v]	1,430	1,620	1,410	-	-
NOx [%v]	0,031	0,028	0,030	-	-

R EN FUNCIÓN DE CO <sub>2</sub>					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
RCO	0,020	0,016	0,013	-	-
RHC	0,000	0,000	0,000	-	-
RNOX	0,002	0,002	0,002	-	-

FACTORES DE EMISIÓN					
Parámetros	DENSIDAD DE COMBUSTIBLE (Kg/m <sup>3</sup> )			744	
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
FCO (g/Km)	1,729	1,366	1,140	-	-
FHC (g/Km)	0,025	0,019	0,008	-	-
FNOX (g/Km)	0,212	0,198	0,202	-	-

PROMEDIO FACTORES DE EMISION	
FCO (g/Km)	1,412
FHC (g/Km)	0,017
FNOX (g/Km)	0,204

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante











Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba

Firma  Técnico No 1  
FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO  
Nombres: Fabián Iza

Firma Responsable de  Técnico No 2  
DIEGO LUIS LINCANGO  
Nombre: Ing. Diego Lincango



ANEXO G. Registro de datos de prueba SZ2.0 – Extra

		Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares																																																														
REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISION																																																																
CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión 2	N°	CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 086 - P1																																																													
	Página 1 / 2	FECHA:	15 de diciembre de 2020																																																													
TÉCNICOS RESPONSABLES		Diego Lincango Fabián Iza																																																														
OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN																																																														
Evaluación Inicial	<input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular	<input type="checkbox"/>																																																													
Reevaluación	<input type="checkbox"/>	Evaluación RTV*4 <sub>u</sub> rev	<input type="checkbox"/>																																																													
No. Visita	1	Otros	<input type="checkbox"/>																																																													
*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV																																																																
DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO																																																																
Marca	SUZUKI	VIN Chasis / Placa:	8DLCB53XB0059319 / IBA5654																																																													
Modelo:	GRAND VITARA SZ	Kilometraje:	206416																																																													
MOTOR (Datos del fabricante)**																																																																
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	J20A709046																																																													
No. de cilindros y disposición	4 EN LÍNEA	Versión	N/A																																																													
Maxima Potencia (kw/rpm)	103 KW @ 6000 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	183 N. m @ 4000 RPM																																																													
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO																																																													
Cilindrada [cm3]	2000	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL																																																													
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA EXTRA	Categoría-Subcategoría-Clase	VEHÍCULO DEPORTIVO UTILITARIO																																																													
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2011																																																													
Tonelaje	0,75	País de origen	ECUADOR																																																													
** Opcional en RTV																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>14 h 30 min</td> <td>Hora final</td> <td>16 h 00</td> </tr> <tr> <td>Temperatura ambiente °C</td> <td>20,4</td> <td>Humedad Relativa (%)</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>Presión Atmosférica (hPa)</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">732</td> </tr> <tr> <td>Prueba en ruta o laboratorio</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">PRUEBA EN LABORATORIO</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Parámetros</th> <th colspan="5" style="text-align: center;">PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD</th> </tr> <tr> <th>Medición 1</th> <th>Medición 2</th> <th>Medición 3</th> <th>Medición 4</th> <th>Medición 5</th> </tr> <tr> <td>CO [%v]</td> <td>0,67</td> <td>0,67</td> <td>0,68</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>CO2 [%v]</td> <td>11,99</td> <td>12,09</td> <td>12,07</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>HC [ppm]</td> <td>79</td> <td>73</td> <td>59</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>O2 [%v]</td> <td>2,45</td> <td>2,47</td> <td>2,57</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>NOx [ppm]</td> <td>1081</td> <td>1104</td> <td>1073</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>				Hora de inicio	14 h 30 min	Hora final	16 h 00	Temperatura ambiente °C	20,4	Humedad Relativa (%)	52	Presión Atmosférica (hPa)	732			Prueba en ruta o laboratorio	PRUEBA EN LABORATORIO			RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES				Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD					Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	CO [%v]	0,67	0,67	0,68	-	-	CO2 [%v]	11,99	12,09	12,07	-	-	HC [ppm]	79	73	59	-	-	O2 [%v]	2,45	2,47	2,57	-	-	NOx [ppm]	1081	1104	1073	-	-
Hora de inicio	14 h 30 min	Hora final	16 h 00																																																													
Temperatura ambiente °C	20,4	Humedad Relativa (%)	52																																																													
Presión Atmosférica (hPa)	732																																																															
Prueba en ruta o laboratorio	PRUEBA EN LABORATORIO																																																															
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES																																																																
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD																																																															
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5																																																											
CO [%v]	0,67	0,67	0,68	-	-																																																											
CO2 [%v]	11,99	12,09	12,07	-	-																																																											
HC [ppm]	79	73	59	-	-																																																											
O2 [%v]	2,45	2,47	2,57	-	-																																																											
NOx [ppm]	1081	1104	1073	-	-																																																											
<b>OBSERVACIONES:</b> El combustible fue proporcionado por el solicitante Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba																																																																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <b>Técnico No 1</b>                        Firmado electrónicamente por:  <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b> </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <b>Técnico No 2</b>                        Firmado electrónicamente por:  <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b> </td> <td style="width: 33%; text-align: center;">                       Firmado electrónicamente por:  <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">                     Firma Responsables:                      Nombres: Diego Lincango                 </td> <td style="text-align: center;">                     Firma Responsable de Unidad:                      Nombre: Fabián Iza                 </td> <td style="text-align: center;">                     Firma Responsable de Unidad:                      Nombre: Ing. Diego Lincango                 </td> </tr> </table>				<b>Técnico No 1</b>  Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b>	<b>Técnico No 2</b>  Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b>	Firma Responsables: Nombres: Diego Lincango	Firma Responsable de Unidad: Nombre: Fabián Iza	Firma Responsable de Unidad: Nombre: Ing. Diego Lincango																																																							
<b>Técnico No 1</b>  Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b>	<b>Técnico No 2</b>  Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>DIEGO LUIS LINCANGO</b>																																																														
Firma Responsables: Nombres: Diego Lincango	Firma Responsable de Unidad: Nombre: Fabián Iza	Firma Responsable de Unidad: Nombre: Ing. Diego Lincango																																																														
Formato de registro primario para ensayo de factores de emisión / Los resultados aplican únicamente al ítem evaluado																																																																

**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISIÓN**

CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión 2	Nº	CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 086	- P1
	Página 2 / 2	FECHA:	15 de diciembre de 2020	

DATOS DEL CICLO UTILIZADO					
CICLO DE PRUEBA			CICLO 2 VECES IM-240		
DISTANCIA RECORRIDA (Km)			6,4		
DISTANCIA RECORRIDA (m)			6400		
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Consumo en litros	1,06	1,11	1,09	-	-

CÁLCULO DEL RENDIMIENTO					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Rendimiento (Km/lt)	6,038	5,766	5,872	-	-
Rendimiento (Km/Gl)	22,823	21,795	22,194	-	-

EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
CO [%v]	0,670	0,670	0,680	-	-
CO2 [%v]	11,990	12,090	12,070	-	-
HC [%v]	0,008	0,007	0,006	-	-
O2 [%v]	2,450	2,470	2,570	-	-
NOx [%v]	0,108	0,110	0,107	-	-

R EN FUNCIÓN DE CO <sub>2</sub>					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
RCO	0,056	0,055	0,056	-	-
RHC	0,001	0,001	0,000	-	-
RNOX	0,009	0,009	0,009	-	-

FACTORES DE EMISIÓN					
Parámetros	DENSIDAD DE COMBUSTIBLE (Kg/m <sup>3</sup> )			744	
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
FCO (g/Km)	12,790	13,290	13,260	-	-
FHC (g/Km)	0,226	0,217	0,173	-	-
FNOX (g/Km)	2,211	2,346	2,242	-	-

PROMEDIO FACTORES DE EMISION	
FCO (g/Km)	13,114
FHC (g/Km)	0,205
FNOX (g/Km)	2,266

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante





Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba

Firma  Técnico No 1  
Firmado electrónicamente por:  
**DIEGO LUIS LINCANGO**  
Nombres: Diego Lincango

 Técnico No 2  
Firmado electrónicamente por:  
**FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO**  
Firma Responsable de:  
Nombre: Fabián Iza

 Firmado electrónicamente por:  
**DIEGO LUIS LINCANGO**  
Nombre: Ing. Diego Lincango

ANEXO H. Registro de datos de prueba SZ – Ecopais

		Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares																																																														
<b>REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISION</b>																																																																
CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE		Revisión 2	N°																																																													
		Página 1 / 2	FECHA:																																																													
		CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 086 - P2																																																														
		15 de diciembre de 2020																																																														
TÉCNICOS RESPONSABLES		Diego Lincango																																																														
		Fabián Iza																																																														
<b>OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN</b>		<b>TIPO DE EVALUACIÓN</b>																																																														
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>		Evaluación Regular <input type="checkbox"/>																																																														
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>		Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>																																																														
No. Visita <input type="text" value="2"/>		Evaluación RTV*4 <sub>u</sub> rev <input type="checkbox"/>																																																														
		Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>																																																														
		Otros <input type="checkbox"/>																																																														
*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV																																																																
<b>DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO</b>																																																																
Marca	SUZUKI	VIN Chasis / Placa:	8DLCB535XB0059319 / IBA5654																																																													
Modelo:	GRAND VITARA SZ	Kilometraje:	206436																																																													
<b>MOTOR (Datos del fabricante)**</b>																																																																
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	J20A709046																																																													
No. de cilindros y disposición	4 EN LÍNEA	Versión	N/A																																																													
Máxima Potencia (kw/rpm)	103 KW @ 6000 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	183 N. m @ 4000 RPM																																																													
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO																																																													
Cilindrada [cm3]	2000	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL																																																													
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA ECOPAIS	Categoría-Subcategoría-Clase	VEHÍCULO DEPORTIVO UTILITARIO																																																													
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2011																																																													
Tonelaje	0,75	País de origen	ECUADOR																																																													
** Opcional en RTV																																																																
<table border="1"> <tr> <td> <b>Hora de inicio</b> </td> <td>                     16 h 00                 </td> <td> <b>Hora final</b> </td> <td>                     17 h 30 min                 </td> </tr> <tr> <td> <b>Temperatura ambiente °C</b> </td> <td>                     20,4                 </td> <td> <b>Humedad Relativa (%)</b> </td> <td>                     52                 </td> </tr> <tr> <td> <b>Presión Atmosférica (hPa)</b> </td> <td colspan="3" style="text-align: center;">                     732                 </td> </tr> <tr> <td> <b>Prueba en ruta o laboratorio</b> </td> <td colspan="3" style="text-align: center;">                     PRUEBA EN LABORATORIO                 </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"> <b>Parámetros</b> </td> <td colspan="5" style="text-align: center;"><b>PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD</b></td> </tr> <tr> <td> <b>Medición 1</b> </td> <td> <b>Medición 2</b> </td> <td> <b>Medición 3</b> </td> <td> <b>Medición 4</b> </td> <td> <b>Medición 5</b> </td> </tr> <tr> <td>                     CO [%v]                 </td> <td>                     0,69                 </td> <td>                     0,71                 </td> <td>                     0,69                 </td> <td>                     -                 </td> <td>                     -                 </td> </tr> <tr> <td>                     CO2 [%v]                 </td> <td>                     12,15                 </td> <td>                     12,25                 </td> <td>                     12,23                 </td> <td>                     -                 </td> <td>                     -                 </td> </tr> <tr> <td>                     HC [ppm]                 </td> <td>                     60                 </td> <td>                     61                 </td> <td>                     58                 </td> <td>                     -                 </td> <td>                     -                 </td> </tr> <tr> <td>                     O2 [%v]                 </td> <td>                     2,49                 </td> <td>                     2,42                 </td> <td>                     2,59                 </td> <td>                     -                 </td> <td>                     -                 </td> </tr> <tr> <td>                     NOx [ppm]                 </td> <td>                     1140                 </td> <td>                     1106                 </td> <td>                     1105                 </td> <td>                     -                 </td> <td>                     -                 </td> </tr> </table>				<b>Hora de inicio</b>	16 h 00	<b>Hora final</b>	17 h 30 min	<b>Temperatura ambiente °C</b>	20,4	<b>Humedad Relativa (%)</b>	52	<b>Presión Atmosférica (hPa)</b>	732			<b>Prueba en ruta o laboratorio</b>	PRUEBA EN LABORATORIO			<b>RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES</b>				<b>Parámetros</b>	<b>PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD</b>					<b>Medición 1</b>	<b>Medición 2</b>	<b>Medición 3</b>	<b>Medición 4</b>	<b>Medición 5</b>	CO [%v]	0,69	0,71	0,69	-	-	CO2 [%v]	12,15	12,25	12,23	-	-	HC [ppm]	60	61	58	-	-	O2 [%v]	2,49	2,42	2,59	-	-	NOx [ppm]	1140	1106	1105	-	-
<b>Hora de inicio</b>	16 h 00	<b>Hora final</b>	17 h 30 min																																																													
<b>Temperatura ambiente °C</b>	20,4	<b>Humedad Relativa (%)</b>	52																																																													
<b>Presión Atmosférica (hPa)</b>	732																																																															
<b>Prueba en ruta o laboratorio</b>	PRUEBA EN LABORATORIO																																																															
<b>RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES</b>																																																																
<b>Parámetros</b>	<b>PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD</b>																																																															
	<b>Medición 1</b>	<b>Medición 2</b>	<b>Medición 3</b>	<b>Medición 4</b>	<b>Medición 5</b>																																																											
CO [%v]	0,69	0,71	0,69	-	-																																																											
CO2 [%v]	12,15	12,25	12,23	-	-																																																											
HC [ppm]	60	61	58	-	-																																																											
O2 [%v]	2,49	2,42	2,59	-	-																																																											
NOx [ppm]	1140	1106	1105	-	-																																																											
<b>OBSERVACIONES:</b> El combustible fue proporcionado por el solicitante																																																																
Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba																																																																
<hr/>																																																																
<b>Técnico No 1</b>		<b>Técnico No 2</b>																																																														
Firma Responsables:		Firmado electrónicamente por:																																																														
	DIEGO LUIS LINCANGO		FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO																																																													
Nombres:	Diego Lincango	Fabián Iza	Firma Responsable de Unidad:																																																													
																																																																
			DIEGO LUIS LINCANGO																																																													
		Nombre :	Ing. Diego Lincango																																																													
Formato de registro primario para ensayo de factores de emisión / Los resultados aplican únicamente al ítem evaluado																																																																



**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE FACTORES DE EMISIÓN**

CODIGO: CCICEV-04-00-03-EFE	Revisión 2	Nº	CCICEV-04-00-03-2020-EFE - 086	- P2
	Página 2 / 2	FECHA:	15 de diciembre de 2020	

DATOS DEL CICLO UTILIZADO					
CICLO DE PRUEBA			CICLO 2 VECES IM-240		
DISTANCIA RECORRIDA (Km)			6,4		
DISTANCIA RECORRIDA (m)			6400		
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Consumo en litros	1	1	1,1	-	-

CÁLCULO DEL RENDIMIENTO					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
Rendimiento (Km/lit)	6,400	6,400	5,818	-	-
Rendimiento (Km/Gl)	24,192	24,192	21,993	-	-

EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
CO [%v]	0,690	0,710	0,690	-	-
CO2 [%v]	12,150	12,250	12,230	-	-
HC [%v]	0,006	0,006	0,006	-	-
O2 [%v]	2,490	2,420	2,590	-	-
NOx [%v]	0,114	0,111	0,111	-	-

R EN FUNCIÓN DE CO <sub>2</sub>					
Parámetros	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
RCO	0,057	0,058	0,056	-	-
RHC	0,000	0,000	0,000	-	-
RNOX	0,009	0,009	0,009	-	-

FACTORES DE EMISIÓN					
Parámetros	DENSIDAD DE COMBUSTIBLE (Kg/m <sup>3</sup> )			744	
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
FCO (g/Km)	12,258	12,496	13,401	-	-
FHC (g/Km)	0,160	0,161	0,169	-	-
FNOX (g/Km)	2,170	2,086	2,299	-	-

PROMEDIO FACTORES DE EMISION	
FCO (g/Km)	12,718
FHC (g/Km)	0,163
FNOX (g/Km)	2,185

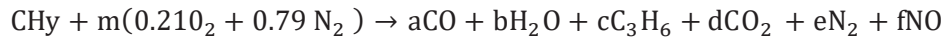
OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Los resultados aplican únicamente al vehículo de prueba

<p>Firma</p>  <p>Nombres:</p>	<p>Técnico No 1</p> <p>Firmado electrónicamente por:</p> <p><b>DIEGO LUIS LINCANGO</b></p> <p>Diego Lincango</p>	<p>Firma</p>  <p>Nombres:</p>	<p>Técnico No 2</p> <p>Firmado electrónicamente por:</p> <p><b>FABIAN ANDRES IZA COLLAGUAZO</b></p> <p>Fabián Iza</p>	<p>Firma Responsable de</p>  <p>Nombres:</p>	<p>Firmado electrónicamente por:</p> <p><b>DIEGO LUIS LINCANGO</b></p> <p>Ing. Diego Lincango</p>
--	--	--	---	---	---

## ANEXO I. Estimación de factores de emisión

Se conoce la fórmula simplificada de combustión



Teniendo como desconocido  $m$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  y  $f$  los cuales son los moles de aire consumido, moles formados de  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  y  $\text{NO}$  por mol de combustible consumido respectivamente. Teniendo en claro esto, podemos obtener ecuaciones de balance de masa del elemento en el reactante y producto:

$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

$$y = 2b + 6c \quad (3)$$

$$0.42m = a + b + 2d + f \quad (4)$$

$$1.58 = 2e + f \quad (5)$$

Ya que se quiere llegar a la respuesta de este sistema de ecuaciones, se tiene la medición y razones de gases en función de  $\text{CO}_2$ :

$$R_{\text{CO}} = \left(\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}\right) = \frac{a}{d} \quad (6)$$

$$R_{\text{HC}} = \left(\frac{\text{HC}}{\text{CO}_2}\right) = \frac{c}{d} \quad (7)$$

$$R_{\text{NO}_x} = \left(\frac{\text{NO}}{\text{CO}_2}\right) = \frac{f}{d} \quad (8)$$

Obteniendo así:

$$a = R_{\text{CO}} * d \quad (9)$$

$$c = R_{\text{HC}} * d \quad (10)$$

$$f = R_{\text{NO}_x} * d \quad (11)$$

reemplazando en la ecuación 2 se tiene:

$$d = \frac{1}{R_{\text{CO}} + 3R_{\text{HC}} + 1} \quad (12)$$



Con las ecuaciones a, c y f podemos obtener resultados de gramos de contaminante por gramos de combustible consumido. Donde  $MW_{CO}$  es el peso molecular del CO y  $MW_{comb}$  es el peso molecular del combustible.

$$EF'_{CO} = a * \frac{MW_{CO}}{MW_{comb}} = \frac{R_{CO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{comb}} \quad (13)$$

$$EF'_{HC} = c * \frac{MW_{HC}}{MW_{comb}} = \frac{R_{HC}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{comb}} \quad (14)$$

$$EF'_{NOx} = f * \frac{MW_{NOx}}{MW_{comb}} = \frac{R_{NOx}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{NOx}}{MW_{comb}} \quad (15)$$

Considerando que la base de combustible el octano  $C_8H_{18}$  (equivalente  $CH_{2.25}$ ), se tiene el peso del combustible en  $\frac{kg\ comb}{mol\ comb}$ :

$$MW_{comb} = \frac{12g\ C}{mol\ C} * \left(\frac{1mol\ C}{mol\ comb}\right) + \frac{1gH}{mol\ H} * \left(\frac{y*molH}{mol\ comb}\right) = 14,25 \frac{g\ comb}{mol\ comb} = 0.01425 \frac{kg\ comb}{mol\ comb} \quad (16)$$

Una vez que se tenga la densidad del combustible  $D_{comb}$  (km/m3) y consumo de combustible FC (m3/km), se puede obtener los factores de emisión en g/km y teniendo en cuenta que el CO ( $MW_{CO} = 28\ g/mol$ ),  $C_3H_6$  ( $MW_{HC} = 42\ g/mol$ ) y NO ( $MW_{CO} = 30\ g/mol$ ).

$$EF = EF' * D_{comb} * FC \quad (17)$$

Y luego obtenemos las fórmulas para calcular los factores de emisión del CO, HC y NOx.

$$EF_{CO} = \frac{gCO}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + 3\left(\frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{D_{comb} * FC}{0.01425} \quad (18)$$

$$EF_{HC} = \frac{gHC}{km} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + 3\left(\frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{D_{comb} * FC}{0.01425} \quad (19)$$

$$EF_{NO} = \frac{gNO}{km} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + 3\left(\frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{D_{comb} * FC}{0.01425} \quad (20)$$

## ANEXO J. Ejemplo de cálculo de factores de emisión

En este ejemplo se realiza el cálculo del factor de emisión para el CO que se obtiene en el SPGT1.2 en su primera medición.

$$EF_{CO} = \frac{gCO}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + 3\left(\frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{D_{comb} * FC}{0.01425}$$

### Datos

**Densidad de combustible:**  $D_{comb} = 744 \text{ kg/m}^3$

**Consumo de combustible:**  $FC = 16.842 \frac{km}{L} = 0.0594 \frac{L}{km} = 5.94 * 10^{-5} \frac{m^3}{km}$

**%CO en primera medición** = 0.090% V

**HC en primera medición** = 8 ppm

**%CO2 en primera medición** = 13.520% V

$$EF_{CO} = \frac{gCO}{km} = \frac{28 \frac{0.090}{13.520}}{\frac{0.090}{13.520} + 3\left(\frac{8/10000}{13.520}\right) + 1} * \frac{744 * (5.94 * 10^{-5})}{0.01425}$$

$$EF_{CO} = 0,574 \frac{g}{km}$$



*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*

*DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL*

*REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA*

*Fecha de entrega: 10 / 08 / 2021*

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Jonathan Wladimir De La Cruz Chito Ángel Vinicio Guamán Camacho</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Mecánica</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Automotriz</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniero Automotriz</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>



*1499-DBRA-UTP-2021*