

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CATALIZACIÓN DE VEHÍCULOS A GASOLINA EN CONDICIONES DE ARRANQUE EN FRÍO

TESIS PRESENTADA POR:

Ing. Edison Wilmer Calero Durango

Para Obtener el Grado Académico de

Magister en Diseño Mecánico (Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos)

Director Ing. Juan Rocha M.Sc.

Co-Director Ing. Edilberto LLanes Ph.D

Quito-Ecuador

INTRODUCCIÓN



Oganización
Mundial de la Salud



Cada año mueren 12,6 millones de personas a causa de la insalubridad del medio ambiente.

Fuente: OMS, 15 de marzo de 2016, Ginebra

El gran incremento del número de vehículos que circulan en las diferentes ciudades del mundo ha sido clasificado como la principal fuente de contaminación ambiental

Fuente : (Guevarra, 2010).

Los automóviles son impulsados principalmente por motores de combustión. Estos motores generan gases de escape con repercusiones negativas para el medio ambiente y la salud de las personas.

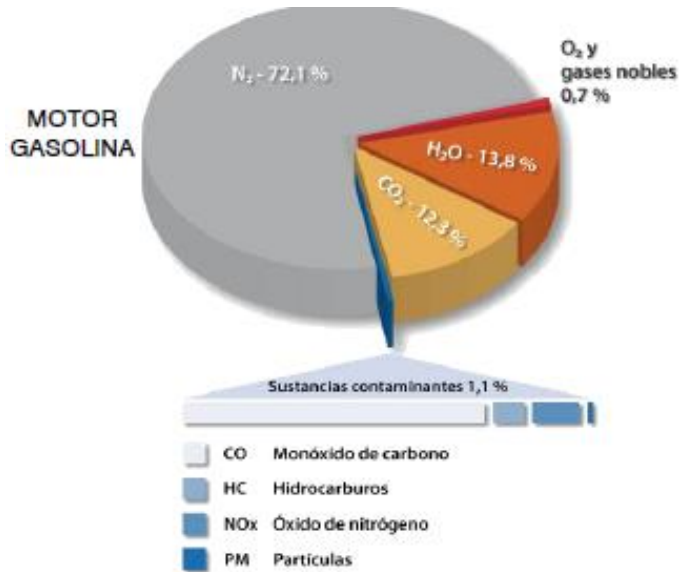
Fuente: Carsmarobe (2015)

El bioetanol, conocido como etanol o alcohol etílico, cuya fórmula química es C_2H_6O proveniente de la caña de azúcar, ha sido ampliamente utilizado como combustible o como potenciador de la gasolina ya que mejora la oxidación de los hidrocarburos y con ello la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Fuente: (Molina, 2016).

INTRODUCCIÓN

COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE

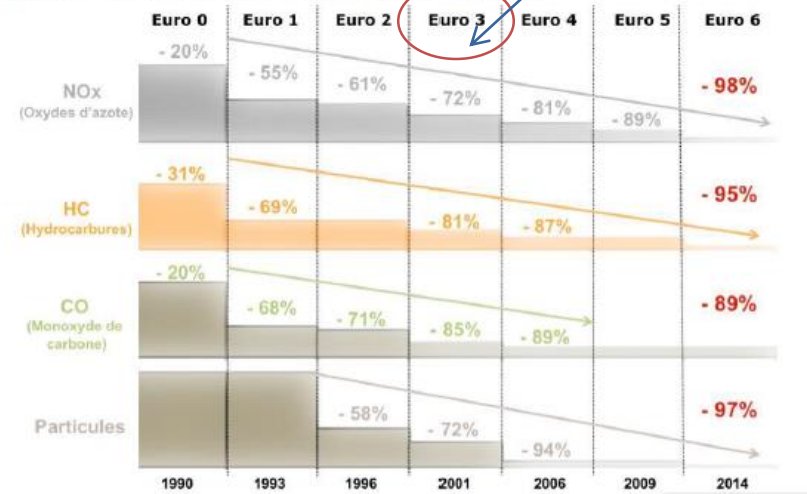


Fuente: Carsmarobe (2015)

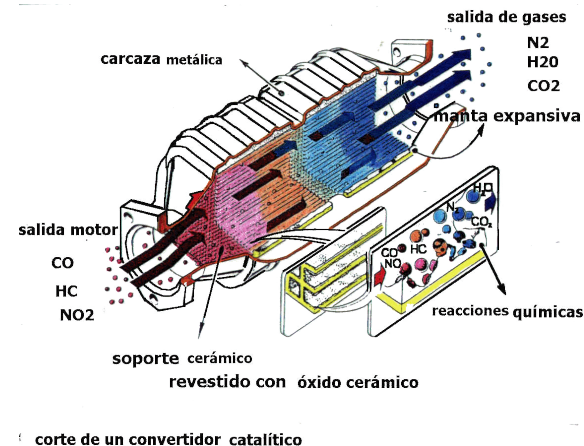
El catalizador empezó a ser utilizado a partir del año 1975, sufriendo considerables modificaciones en su diseño con el paso de los años, lo que ha permitido reducir los niveles de emisiones contaminantes manteniéndolas dentro la reducción de las emisiones convirtiéndolo en un dispositivo altamente efectivo que permite reducir el 90% de los gases nocivos (CONVERTERS, 2009)

VALORES LEGALES Y NORMATIVA

En la actualidad rigen las siguientes normas para la Unión Europea:



Fuente: Carsmarobe (2015)



Ecuador- Ajustes de motores por regla ambiental
Fuente: Comercio(2017)

OBJETIVOS

Objetivo General.

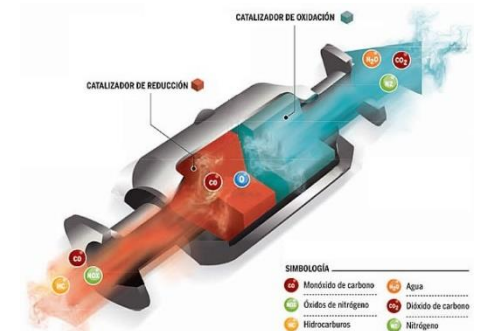
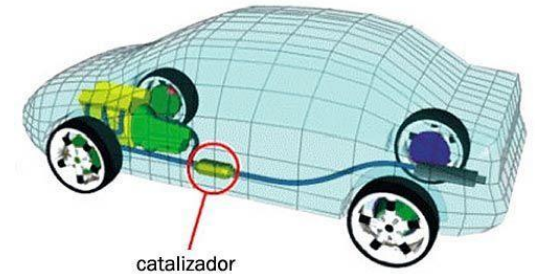
Establecer las variables de contaminación y el factor de emisión en arranques en frío a través de los sistemas de catalización de los vehículos livianos en la ciudad de Quito, para conocer cómo afecta en el diseño del catalizador.

Objetivos específicos.

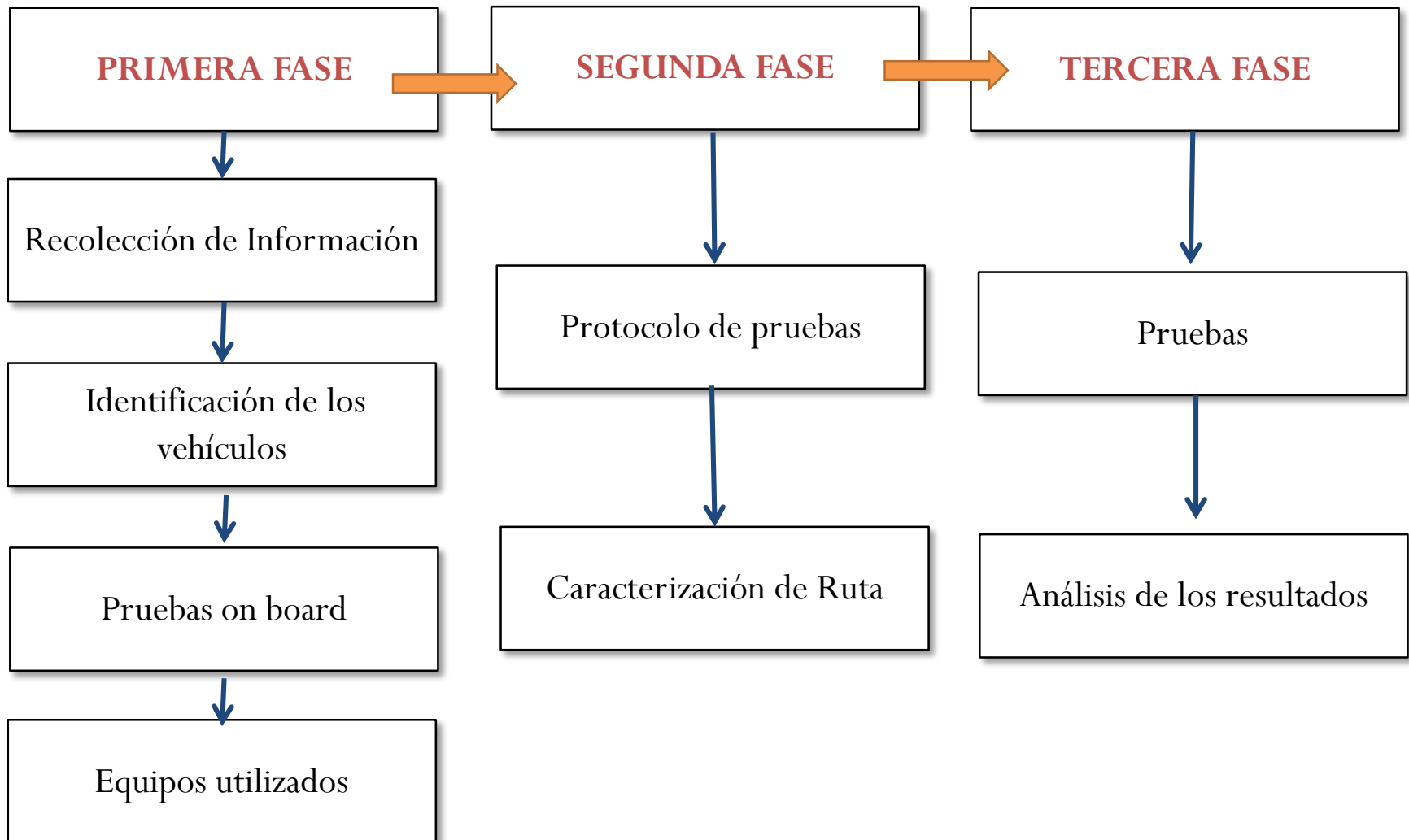
Determinar las variables de contaminación en arranque en frío (CO_2 , CO , HC , O_2 , y NO_x), mediante pruebas on board para su cuantificación en una ruta preestablecida.

Determinar los factores de emisión durante el arranque en frío por medio de la ecuación de reacción del combustible, sus propiedades y proporciones de contaminantes, para la realización de comparativa estadística.

Comparar los sistemas de catalización de los vehículos liviano en la ciudad de Quito con diferentes tipos de gasolinas (extra y ecopáis) a través de los factores de emisión de cada contaminante emitido por la combustión, para la definición de la mejor variante.



MÉTODO



CARACTERIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

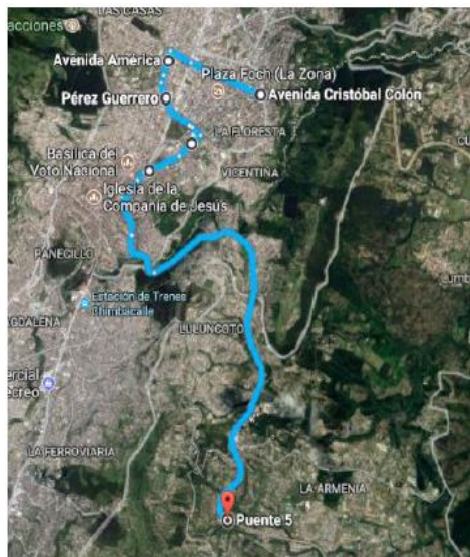
Marca	Modelo	Trasmisión	Cilindraje	Potencia(hp @rpm)	Relación de compresión	Código	Año	Kilometraje (Km)
VOLKSWAGEN	Gol	manual	1,8	99 @ 5 250	10,8:1	VOLK_1,8	2001	198700
CHEVROLET	Gran Vitara	manual	2	126 @ 6000	9,3:1	CHEVR_2,0	2012	83600
MAZDA	BT-50	manual	2,2	101 @ 4500	2,210:1	MAZD_2,2	2014	114600

CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Propiedades del combustible	Norma NTE INEN:935:2012	Gasoline 87	Gasoline
		Octanos	Ecopaís
Número de octanos	87 min.	88,3	85,1
Gravedad especifica API 60 °F	--	--	59,7
T10 – 10% evap., °C	70 max.	50	56
T50 – 50% evap., °C	77 – 121	99	105
T90 – 90% evap., °C	189 max.	163	167,5
Residuo de destilación %	98 min.	98,5	98,5
Presión de vapor de Reid, KPa	60 max.	58,6	50
Corrosión a la lámina de cobre (3h at 50°C)	1	1	1
Contenido de azufre	650 max.	169	--
Contenido de gomas (mg/cm3)	3 max.	1	--



CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA (CICLO FTP 75)



Ruta carretera	Av. Rumiñahui
Ruta ciudad	Av. Pichincha, Av. Gran Colombia, Av. 12 de Octubre, Av. Patria, Av. Pérez Guerrero, Av. América, Av. Colon
Sentido	Este - Oeste
Velocidad máxima (km / h)	78,32
Número de paradas	63
Tiempo total transcurrido (s)	2 889
Distancia recorrida (m)	15 673

7 993 m de zona suburbana y 7680 m de zona urbana .

CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES

Características técnica de equipo on board

Tipo	Rango de medición	Precisión	Resolución
Medición de O2 Sensor	Mayor o igual de (0,01 a 25% Vol)	Mayor o igual a +/- 0,1% abs	Mayor o igual a 0,01% Vol
Medición de CO2 NDIR	Mayor o igual de (0,001 a 10% Vol)	Mayor o igual a +/- 0,02% abs	Mayor o igual a 0,001% Vol
Medición de NOX Sensor	Mayor o igual de (0 a 4000 ppm)	Mayor o igual a +/- 25 ppm abs	Mayor o igual a 1 ppm
Medición de CO NDIR	Mayor o igual de (0,01 a 16% Vol)	Mayor o igual a +/- 0,30% abs	Mayor o igual a 0,01% Vol
Medición de HC NDIR	Mayor o igual de (1 a 15000 ppm)	Mayor o igual a +/- 4 ppm abs	Mayor o igual a 1 ppm



FUENTE: Manual de usuario equipo on board, Marca GLOBAL MRV, Modelo AXION

CÁLCULO DE FACTOR DE EMISIÓN

Ecuación de factor de emisión general

$$EF = EF' * \delta_{Fuel} * FC$$

CO, HC, NO_x

PRUEBAS DE PROTOCOLO

Estacionado de 10 a 12 horas

Instalar el equipo on board

Conectar el conector OBD2

Colocar la sonda de gases

A realizar 30 pruebas considerando 10 pruebas por cada vehículo (3 vehículos utilizados), y a su vez cada vehículo realizará 5 pruebas con mezcla de combustible convencional y 5 pruebas con mezcla de combustible etanol.



Instalar el tanque de presión de combustible en el vehículo

Encender el equipo on board

Se realizan comparativas estadística de los resultados obtenidos, para lo cual se emplea el software STATGRAPHICS Centurion XVI

Al finalizar la prueba se debe registrar las concentraciones de emisiones

Seguir la ruta establecida

Iniciar la prueba

RESULTADOS Y ANÁLISIS

RESULTADOS DE EMISIÓN DE GASES

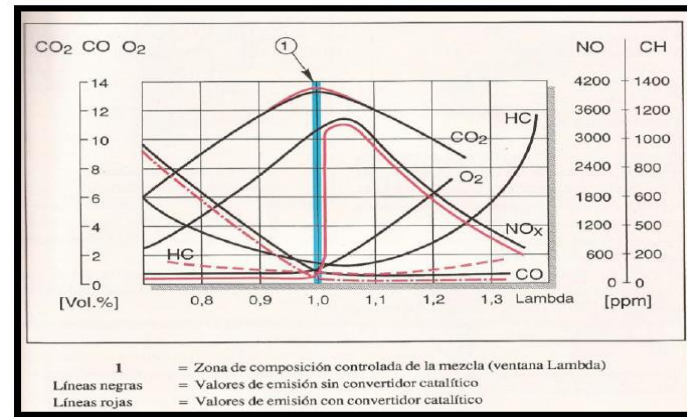


Figura 1. Evolución de las emisiones contaminantes en el escape de un MEP (Motores de encendido provocado) en función de Lambda. Fuente: (Guixot, 2011)

Criterios de evaluación

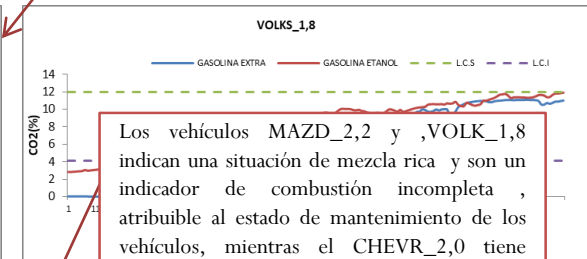
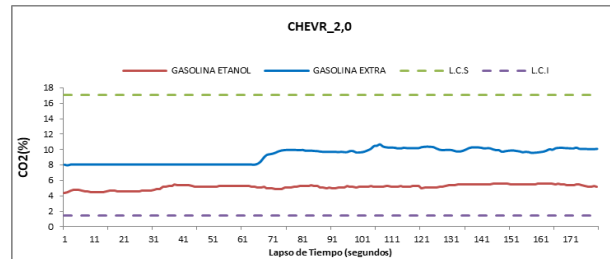
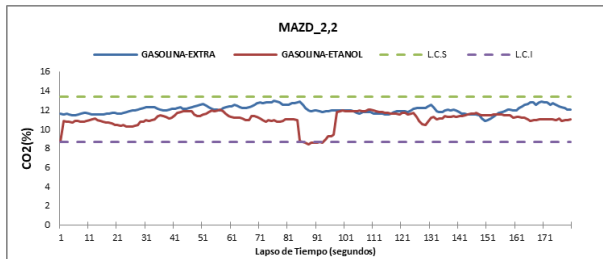
CO2: Valores elevados indican una alta eficiencia

O2: Valores elevados indican una situación de mezcla pobre

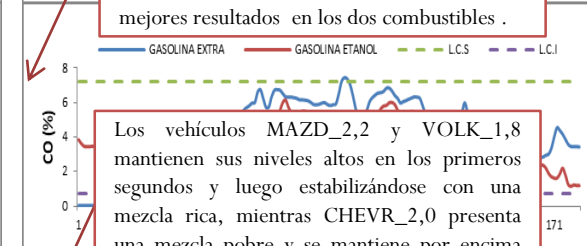
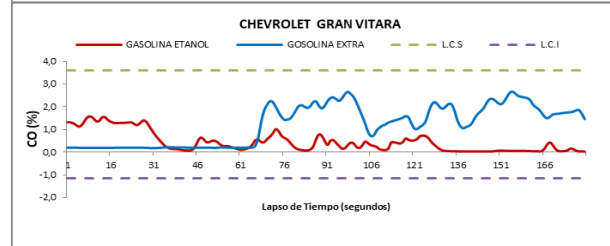
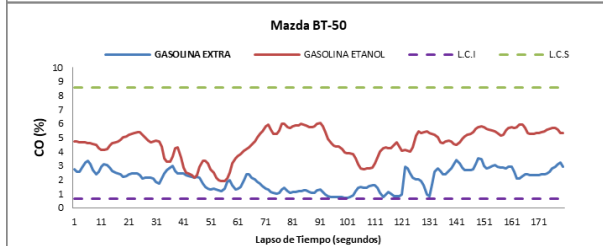
CO: Valores altos indican una situación de mezcla rica y son un indicador de **combustión incompleta**

Fuente: Tenneco Inc. Understanding catalytic converter (2013)

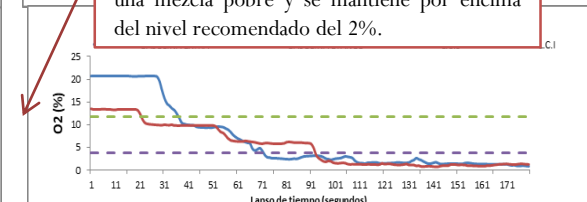
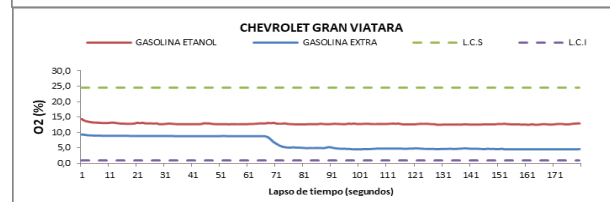
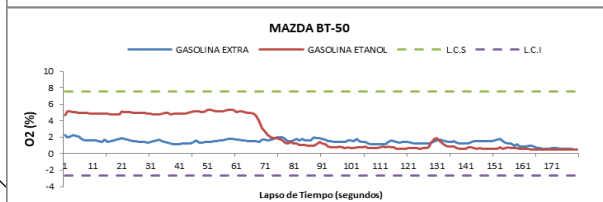
Los vehículos MAZD_2,2 y ,VOLK_1,8 tienen mejores resultados y se estabilizan en el rango eficiente cercano al 13% CO2 con el uso de los dos combustibles , mientras CHEVR_2,0 se mantiene con poca eficiencia



Los vehículos MAZD_2,2 y ,VOLK_1,8 indican una situación de mezcla rica y son un indicador de combustión incompleta , atribuible al estado de mantenimiento de los vehículos, mientras el CHEVR_2,0 tiene mejores resultados en los dos combustibles .



Los vehículos MAZD_2,2 y VOLK_1,8 mantienen sus niveles altos en los primeros segundos y luego estabilizándose con una mezcla rica, mientras CHEVR_2,0 presenta una mezcla pobre y se mantiene por encima del nivel recomendado del 2%.



Los vehículos MAZD_2,2 y VOLK_1,8 tienen mayores cantidades esto puede asociarse con exceso de carbono que inhibe la acción del catalizador, mientras el CHEVR_2,0 tienen mejores resultados con gasolina etanol que se encuentra en un rango estable cercano al límite recomendado donde se puede mencionar una eficiencia para el motor y el catalizador

El vehículo VOLK_1,8 se mantiene por debajo del límite en los primeros segundos luego creciendo hasta mantenerse por encima del límite al igual que los dos vehículos más en prueba con los dos combustibles

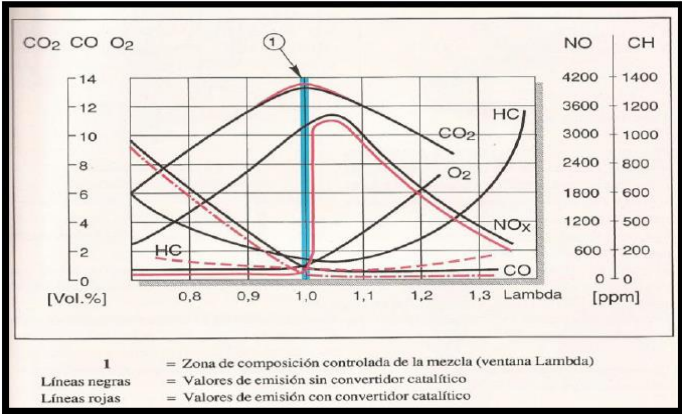
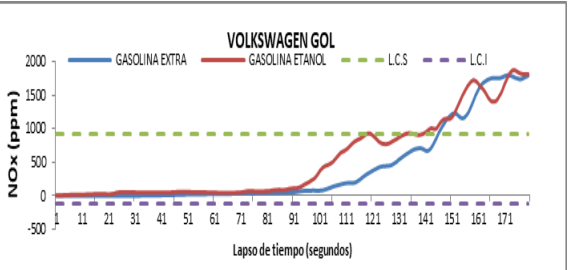
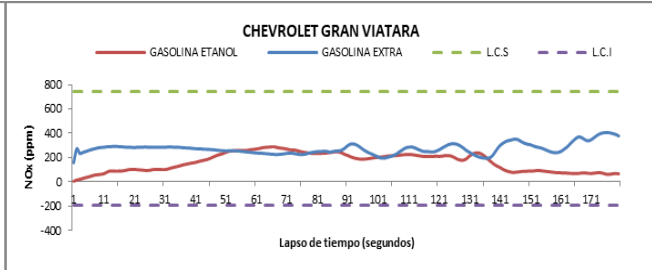
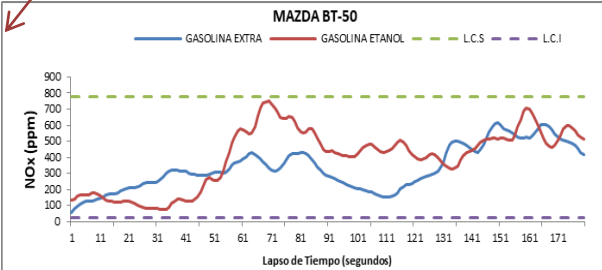
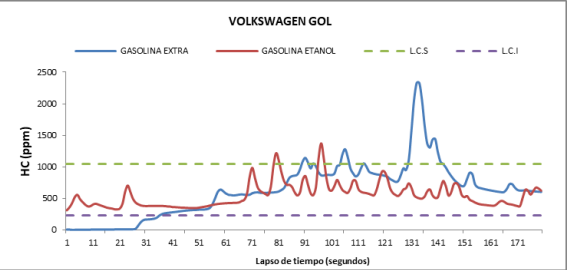
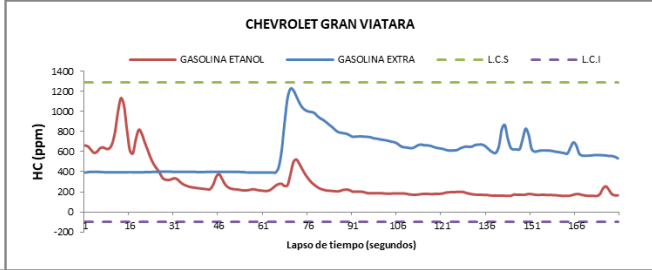
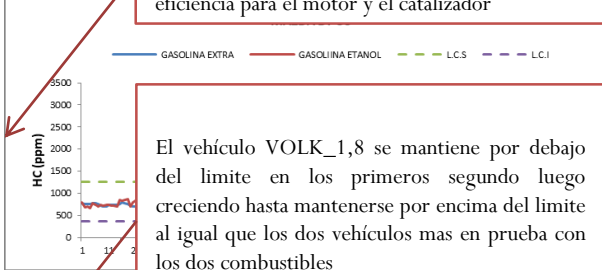


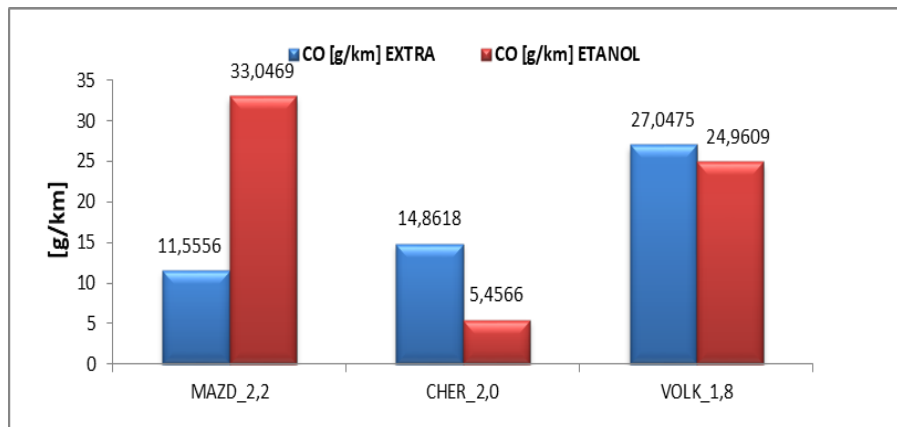
Figura 1. Evolución de las emisiones contaminantes en el escape de un MEP (Motores de encendido provocado) en función de Lambda. Fuente: (Guixot, 2011)



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Factor de emisión de CO con combustible extra y etanol en frío.

FACTOR DE EMISION CO			
Vehículos	CO [g/km] EXTRA	CO [g/km] ETANOL	NORMA NTE INEN 2204 CO [g/km]
MAZD_2,2	11,5556	33,0469	4,17
CHEVR_2,0	14,8618	5,4566	4,17
VOLK_1,8	27,0475	24,9609	4,17



Prueba de múltiples rangos en factor de emisión de CO

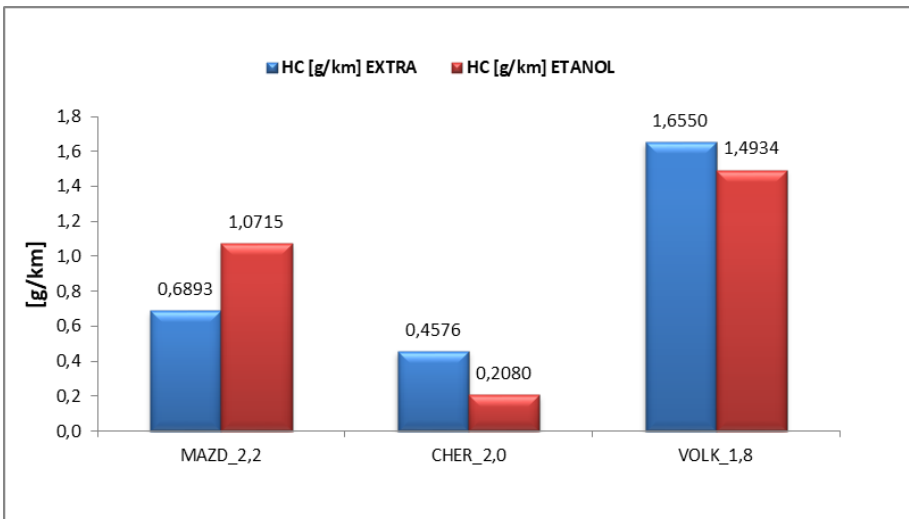
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 ETANOL CO	5	5,45664	X
MAZD_2,2 EXTRA CO	5	11,5556	X
CHER_2,0 EXTRA CO	5	14,8618	X
VOLK_1,8 ETANOL CO	5	24,9609	X
VOLK_1,8 EXTRA CO	5	27,0474	X
MAZD_2,2 ETANOL CO	5	33,0469	X

- Las lecturas elevadas de CO indican una situación de mezcla rica y son un indicador de combustión incompleta atribuible al estado de mantenimiento de los vehículos automotores” (Condori Marza , 2015), dando una escases de oxigeno que impide a los catalizadores (Platino y Paladio) el funcionamiento de oxidación adecuada para la transformación del CO a CO₂.
- Estudios realizados Urbina et al. (2017), tienen como resultados un factor de emisión de CO en promedio de 1,847 g/km, en razón de que es un ciclo mixto, mientras que nuestro ciclo de evaluación es en un ciclo de ciudad por esa razón se visualiza valores altos de los factores, y muchos más altos los factores de emisión al considerar el uso del etanol por elevamiento de temperatura en la cámara de combustión, en general los resultados están el línea con otros resultados, que encontraron que las emisiones de CO en el uso de mezclas de combustible de etanol son mayores en comparación con otros combustibles (Hernández et al., 2014), (Schifter, Díaz, Rodríguez, & Salazar, 2011) y (Balaji et al., 2010).

- Existiendo diferencia significativa entre los tres vehículos y los dos combustibles, estos resultados coinciden con estudios realizados por Tipanluisa et al. (2017), donde menciona que existe diferencia significativa de factores de emisión CO, en el uso de combustible de etanol y extra.

Factor de emisión de HC con de combustibles extra y etanol en frío.

FACTOR DE EMISION HC			
Vehículos	HC [g/km] EXTRA	HC [g/km] ETANOL	NORMA NTE INEN 2204 HC [g/km]
MAZD_2,2	0,6893	1,0715	0,25
CHEVR_2,0	0,4576	0,2080	0,25
VOLK_1,8	1,6550	1,4934	0,25



Prueba de múltiples rangos en factor de emisión de HC

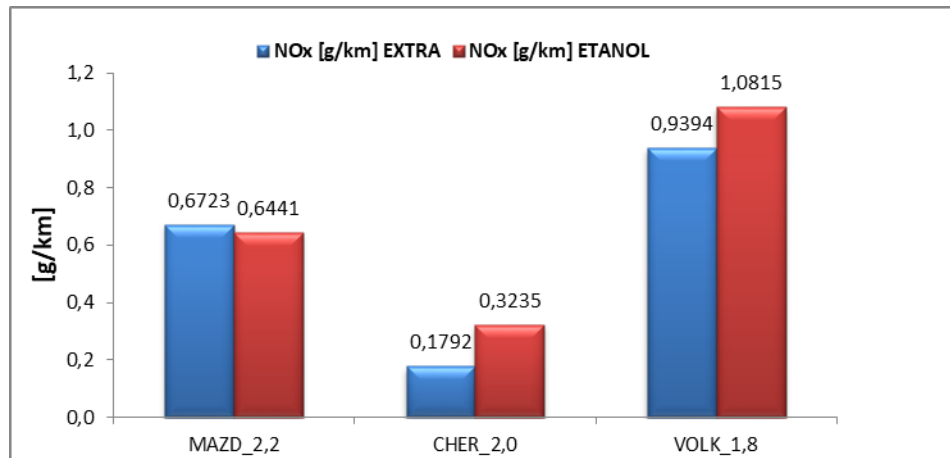
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHEVR_2,0 ETANOL HC	5	0,20798	X
CHEVR_2,0 EXTRA HC	5	0,45758	XX
MAZD_2,2 EXTRA HC	5	0,68936	X
MAZD_2,2 ETANOL HC	5	1,0715	X
VOLK_1,8 ETANOL HC	5	1,49336	X
VOLK_1,8 EXTRA HC	5	1,655	X

- Se puede observar que para el VOLK_1,8 y MAZD_2,2 existe una combustión incompleta dado posiblemente por la falta de oxígeno en la combustión o por una baja velocidad de inflamabilidad estas causas afectan el funcionamiento normal del catalizador en la oxidación.
- Estos resultados obtenidos son mayores al estudio realizado por Urbina et al. (2017), donde el factor de emisión de HC oscila entre 0,042-0.091 g/km, esto coinciden con los resultados según Hernandez et al. (2014), donde mencionan que al utilizar mezclas de etanol las emisiones de HC tienen una disminución del 25 al 35% además estos resultados son comparados con Balaji et al. (2010) y Schifter et al. (2011).
- Pero por otra parte según Condori (2015), las causas potenciales de mediciones altas de HC pueden ser: Una carga excesiva en el motor o en el vehículo, un sistema deficiente de la calidad de suministro de combustible, sensores de oxígeno desgastados, contra presión excesiva y chispa deficiente o encendido débil (Condori Marza, 2015).
- HC no existe diferencia significativa este resultado se alinea a estudios realizados por Tipanluisa et al. (2017)

Factor de emisión de NOx con combustibles extra y etanol en frío.

Resultados del factor de emisión NOx

FACTOR DE EMISIÓN NOx			
Vehículos	NOx [g/km] EXTRA	NOx [g/km] ETANOL	NORMA NTE INEN 2204 NOx [g/km]
MAZD_2,2	0,6723	0,6441	0,18
CHEVR_2,0	0,1792	0,3235	0,18
VOLK_1,8	0,9394	1,0815	0,18



Prueba de múltiples rangos en factor de emisión de NOx

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHEVR_2,0 EXTRA NOx	5	0,17916	X
CHEVR_2,0 ETANOL NOx	5	0,32354	X
MAZD_2,2 ETANOL NOx	5	0,64414	X
MAZD_2,2 EXTRA NOx	5	0,6723	X
VOLK_1,8 EXTRA NOx	5	0,93944	X
VOLK_1,8 ETANOL NOx	5	1,08152	X

- Se observa que el catalizador del VOLK_1,8 y MAZD_2,2 mantiene una elevada temperatura y grandes cantidades de oxígeno impidiendo el desarrollo adecuado del funcionamiento del catalizador en la fase de reducción (Radio y Platino) comprometiendo el aceleramiento del envejecimiento del catalizador.
- Se observa que utilizando gasolina extra el catalizador el que presenta los mejores resultados es el vehículo CHEVR_2,0 tiene el menor factor de emisión 0,1792 g/km mientras que el catalizador del vehículo VOLK_1,8; mientras que en el uso de la gasolina con etanol el catalizador del vehículo que presenta los mejores resultados es CHEVR_2,0 con 0,3235 g/km pero que se encuentra por encima del valor permisible de la norma INEN 2204, estos resultados coinciden con los estudios de Hernandez et al. (2014), donde menciona que las emisiones NOx son mayores con el uso de combustibles con mezclas de etanol en referencia al uso de otros combustibles.
- NOx no existe diferencia significativa estos resultados están alineados al estudio realizados por Tipanluisa et al. (2017), donde menciona que no existe diferencia significativa de factores de emisión NOx, en el uso de combustible de etanol y extra

CONCLUSIONES

- Se considera que al aplicar el combustible ecopais influye al envejecimiento acelerado al convertido, teniendo que genera mayor cantidad de gases haciendo elevar la temperatura y desactivando el Platino y Paladio como componente activo(oxidación) y Radio y Platino (reducción) ya que la carga de CO y NO_x es alto en base a los valores de factor de emisión medidos en nuestro trabajo experimental, por tanto influye en todo el sistema de escape, esto se debe tomar en cuenta en función de los nuevos diseño de este componente para nuestra realidad.
- El desarrollo del presente estudio se cumplió con los objetivos planteados, mediante la evaluación de los catalizadores en arranques en frío con la utilización de combustibles tradicional y el uso del combustible ecopais.
- Se concluye que existe diferencia significativa en el factor de emisión CO tanto para los vehículos como entre el uso de los combustibles, mientras que los HC y NO_x , no existe diferencia significativa en el uso del combustible pero si entre los vehículos.
- Se determinó que el catalizador con mejores resultados entre los tres vehículos en experimento es del vehículo CHEVR_ 2,0 con los factores de emisión CO y HC mas bajas en el uso de la gasolina ecopais, mientras NO_x fueron cuando utilizo gasolina extra.

- En el estudio realizado se determinó que el combustible etanol (ecopais) tiene mejores resultados en factores de emisión CO y HC en comparación con la gasolina extra, mientras en la gasolina extra mantuvo mejores resultados en NO_x.

RECOMENDACIONES

- Realizar un nuevo estudio de evaluación de catalizadores en arranque en frío con catalizadores nuevos para analizar la eficiencia de los catalizadores nuevos en vehículos de similares características a las planteadas en este estudio.
- Ampliar el número de vehículos evaluados, marcas y modelos para identificar los diversos comportamientos de la gasolina ecopaís y ratificar que la gasolina ecopaís reduce las emisiones de CO en los vehículos
- Aplicar la investigación a vehículos ensamblados en el país para definir las características de los motores de última tecnología con la mezcla de combustible etanol y su influencia en el comportamiento de los catalizadores.
- El estudio de los catalizadores y su desempeño con base al tipo de combustible utilizado es muy amplio y en este estudio solo se ha mencionado los resultados del comparativo de 2 tipos de combustibles (gasolina extra y gasolina ecopaís), con lo cual en posteriores estudios se puede ampliar el rango de % de etanol o a su vez utilizar gasolina súper y la mezcla de gasolina súper con un % de etanol.
- Se puede realizar el estudio complementario de resultados de laboratorio con dinamómetro utilizando los 2 combustibles analizados (gasolina extra y gasolina ecopaís) para poder comparar los resultados obtenidos entre las pruebas *on board* y el laboratorio y poder conocer la diferencia o valor de ajuste que se necesita para igualar en lo posible los resultados de laboratorio y *on board*