



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL PRELIMINAR SOBRE EL IMPACTO DEL  
USO DE GAS VEHICULAR EN TRANSPORTE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

OSCAR IVÁN RAMÍREZ DE LA HOZ

PROFESOR GUÍA:

ROBERTO CORVALÁN PAIVA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

SEBASTIAN TOLVETT CARO

MAURICIO OSSES ALVARADO

SANTIAGO DE CHILE

2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL  
TITULO DE: Ingeniero Civil Mecánico  
POR: Oscar Iván Ramírez De La Hoz  
FECHA: 26 de Septiembre 2014  
PROFESOR: Roberto Corvalán Paiva

## DIAGNÓSTICO AMBIENTAL PRELIMINAR SOBRE EL IMPACTO DEL USO DE GAS VEHICULAR EN TRANSPORTE

La motivación de esta memoria es la creciente incorporación de flotas de vehículos que utilizan combustibles gaseosos, como el Gas Natural Comprimido (GNC), al parque automotriz de la ciudad de Santiago, junto con el eventual impacto en emisiones de contaminantes atmosféricos que esta incorporación podría implicar.

El objetivo principal del trabajo, es elaborar un diagnóstico ambiental preliminar del impacto ambiental que genera la conversión de vehículos de locomoción colectiva a Gas Natural. Los objetivos específicos, son recopilar los antecedentes relativos a las tecnologías disponibles para realizar conversiones, realizar una campaña de mediciones con dispositivos de muestreo a bordo a una muestra de taxi colectivos, para posteriormente concluir respecto del impacto ambiental que genera la masiva incorporación de esta tecnología al parque automotriz actual.

La metodología aplicada contempla la realización de las siguientes tres etapas: recopilación de antecedentes, orientada a la caracterización de los kits de conversión que se encuentran en operación actualmente y del parque automotriz de la Región Metropolitana; campaña de mediciones de emisiones contaminantes en ruta aplicada a una muestra de vehículos que operan con Gas Natural Comprimido, utilizando un sistema de muestreo a bordo y el procesamiento y análisis de los datos obtenidos.

Dos de los tres vehículos convertidos analizados, presentaron mayores niveles de emisiones para  $NO_x$  funcionando con GNC que con Gasolina siendo en promedio un 400% mayores, para  $CO_2$  y  $CO$  se observan disminuciones por efecto de la adición del kit de conversión siendo un 20 y 22% menores respectivamente. Por lo tanto, el kit de conversión a Gas Vehicular no representa una clara medida para la disminución de emisiones contaminantes en Taxis básicos y Colectivos.

# Agradecimientos.

A la Sociedad Consultora Sistemas Sustentables, por poner a disposición de este trabajo de título los equipos PEMs necesarios para la campaña, en especial a Luis Alberto Tolvett por su disposición y buena voluntad a la hora de capacitarme en el uso de los equipos.

A Jorge Muñoz por facilitar su vehículo para el traslado de los equipos desde Valparaíso. “Jorgito, Prometo que serás recompensado... algún día”

A los conductores contactados para la campaña experimental, en especial a mi padre Oscar Ramirez Rojas por poner a disposición su tiempo y trabajo para la realización de este trabajo, sin su ayuda y motivación inicial, este trabajo no hubiese sido posible.

A Todas las personas que me acompañaron a lo largo de la carrera, amigos, conocidos, parejas, parejas de amigos, etc. cada uno a su modo influyó en el profesional que soy, de cada uno llevare un recuerdo por siempre.

A mis amigos de la vida, que más que amigos son mis hermanos, sin su amistad, compañía y buen enfoque, no sería el ser humano que soy. Gracias Diego, Gracias Wilson, Gracias Jorge, los amo.

A mis amigos de la Universidad que gracias a su “particular” estilo de vida han alegrado la mía. Gracias Mecánicos 4Real...sin ustedes jamás me hubiese titulado, nos estamos viendo.

A mi familia en especial a mi madre Rosario De La Hoz, por esas levantadas temprano y por todo lo que ha dejado de lado por nosotros, por creer en mí y mis capacidades desde niño motivándome a seguir a lo largo de la carrear. Sin sus enseñanzas, retos y conversaciones no sería la persona que soy. Gracias por prepararme para la vida.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION .....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	8
1.2.1	Principal .....	8
1.2.2	Específicos.....	8
2	ANTECEDENTES .....	9
2.1	Contaminantes Atmosféricos .....	9
2.1.1	Fuentes móviles de contaminación. ....	9
2.1.2	Monóxido de Carbono .....	10
2.1.3	Dióxido de Carbono.....	10
2.1.4	Metano .....	10
2.1.5	Óxido de nitrógeno .....	10
2.1.6	HC.....	10
2.1.7	Material Particulado (MP) .....	11
2.1.8	Dióxido de Nitrógeno .....	11
2.2	Gas Natural .....	12
2.2.1	Shale Gas .....	13
2.2.2	Producción mundial. ....	13
2.2.3	Gas Natural Comprimido (GNC).....	15
2.2.4	Ventajas como combustible vehicular. ....	17
2.2.5	Desventajas del Gas Natural .....	18
2.3	Tecnologías disponibles.....	20
2.3.1	Vehículos dedicados. ....	20
2.3.2	Vehículos convertidos.....	21
2.4	Gas Natural Vehicular en mercado mundial y nacional .....	26
2.5	Parque de taxis básicos y taxis colectivos de la RM.....	28
2.6	Equipos de medición.....	29
3	METODOLOGIA .....	32
3.1	Selección de la muestra.....	32
3.2	Determinación del circuito experimental.....	35
3.3	Provisión del equipamiento experimental necesario para los ensayos.....	37
3.4	Diseño de los procedimientos experimentales específicos .....	40
3.4.1	Potencia específica vehicular (VSP).....	40

3.4.2	Procesamiento y análisis de datos.....	42
4	RESULTADOS .....	44
4.1	Resultados de emisiones .....	45
4.1.1	FLUJO DE ESCAPE.....	45
4.1.2	EMISIONES DE CO <sub>2</sub> .....	46
4.1.3	EMISIONES DE CO.....	46
4.1.4	EMISIONES DE NOX .....	46
4.1.5	ALINEAMIENTO DE RESULTADOS .....	46
4.2	Resultados de Asignación de VSP.....	50
4.3	Resultados de Asignación de Emisiones.....	53
4.4	Resultados de VSP por test.....	55
4.5	Resultado de emisiones por vehículo en g/km y g/s .....	57
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	66
5.1	Análisis de Resultados de Ruta.....	66
5.2	Análisis comparativo con respecto al modo convencional .....	67
5.3	Consumo de Combustible .....	73
5.4	Análisis comparativo con respecto a la norma y el fabricante.....	77
5.5	Emisiones por Tecnología .....	81
5.6	Comparativa de Emisiones Según operación.....	83
5.6.1	Emisiones en Ralentí .....	83
5.6.2	Emisiones en Frenado.....	85
5.6.3	Emisiones en Aceleración.....	87
6	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	92
6.1	Campaña experimental .....	92
6.2	Ruta de Medición.....	92
6.3	Asignación de VSP .....	92
6.4	Asignación de emisiones .....	93
6.5	Comparativa con respecto al vehículo convencional.....	94
6.6	Consumo de combustible.....	94
6.7	Emisiones Respecto de la Norma .....	95
6.8	Emisiones por operación.....	96
6.9	Análisis por tecnología .....	97
6.10	Consideraciones Generales.....	97
6.11	Conclusión General.....	99
7	Bibliografía .....	100

ANEXOS .....	I
Medición de emisiones .....	I
Etiqueta De Consumo de Combustible Nissan Tiida.....	III
Gráficos de Emisiones por BIN .....	IV

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Factores de emisión Para Taxis en operación en China.....	6
Tabla 2.1 Contaminación emitida por fuentes móviles y estacionarias .....	9
Tabla 2.2 Proporción de gases presentes en el Gas Natural.....	12
Tabla 2.3 Importaciones de Gas natural en Chile desde mayo de 2012 a octubre 2013.....	14
Tabla 2.4 Talleres Autorizados para realizar adaptación a Gas en la Región Metropolitana. ....	21
Tabla 2.5 Modelos homologados para cada marca de kit. ....	24
Tabla 2.6 Países con mayor cantidad de vehículos a GNV y % de participación nacional. ....	26
Tabla 2.7 Países con mayores reservas de gas natural comprobadas al año 2012. ....	27
Tabla 2.8 Unidades por modelos con mayor participación en el parque vehicular. ....	28
Tabla 2.9 Ranking de los más convertidos entre 2012-2014 .....	29
Tabla 2.10 Descripción de métodos alternativos para determinación de factores de emisión [30] .....	30
Tabla 3.1 Factores de emisión de homologación para el modelo a Gasolina .....	33
Tabla 3.2 Descripción de los vehículos ensayados.....	33
Tabla 3.3 Limites superiores e inferiores para la asignación de BIN. [33].....	42
Tabla 4.1 Velocidades promedio, distancia recorrida y duración para cada test .....	45
Tabla 4.2 Ajuste de las emisiones respecto del flujo de escape.....	48
Tabla 4.3 Emisiones contaminantes por test en g/km.....	57
Tabla 5.1 Tiempo de medición en ruta y velocidad promedio por Test. ....	66
Tabla 5.2 Emisiones en gramos por kilómetro vehículo 2.....	67
Tabla 5.3 Factores de Emisión [g/s] por BIN para los 3 contaminantes medidos Test 11 .....	73
Tabla 5.4 Factores de emisión de CO <sub>2</sub> por BIN para cada Test [g/s].....	73
Tabla 5.5 Factores de emisión para distintos combustibles en [kg/TJ] .....	74
Tabla 5.6 Densidad y Poder Calorífico Inferior para distintos combustibles .....	74
Tabla 5.7 Consumo de combustible por test [lt/s] .....	75
Tabla 5.8 Consumo de combustible y rendimiento estimado .....	76
Tabla 5.9 Resumen de Distintos Rendimientos determinados en la ruta experimental. ....	76

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Parque nacional de vehículos y serie de producto interno bruto nacional.....	1
Figura 1.2 Parque de Taxis a nivel nacional y región metropolitana.....	2
Figura 1.3 Fracción porcentual de emisiones de GNC y GLP comparadas con Gasolina.....	5
Figura 1.4 Fracción porcentual de emisiones de GNC y GLP comparadas con diésel.....	5
Figura 2.1 Esquema geológico de las reservas de gas natural .....	12
Figura 2.2 Proyecciones de la Producción de Gas Natural en el mundo .....	13
Figura 2.3 Red de distribuidores de Gas natural a lo largo del país .....	14
Figura 2.4 Proyecciones de Consumo de Gas Natural por concepto de transporte a nivel mundial. ....	17

Figura 2.5 Esquema de instalación de Kit de conversión.....	22
Figura 2.6 Esquema de montaje del montaje del kit de 5ta generación.....	23
Figura 2.7 Crecimiento vehículos a Gas Natural a nivel mundial .....	26
Figura 2.8 Número de Conversiones a nivel nacional.....	27
Figura 3.1 Nissan Modelo Tiida Sedan.....	33
Figura 3.2 Recorrido Habitual Línea 5100 .....	34
Figura 3.3 Ruta Alternativa para la medición de emisiones .....	36
Figura 3.4 Diagrama de Flujo SEMTECH G.....	37
Figura 3.5 Montaje instrumentos necesarios SEMTECH G, en cuadros rojos se indica el número.....	38
Figura 3.6 Montaje instrumentos sobre el vehículo, en rojo se indica el número de accesorios .....	39
Figura 3.7 Fuerzas involucradas en el movimiento de un vehículo.....	41
Figura 3.8 Parámetros de Salida alineados según el flujo volumétrico de escape Test 1 Vehículo GNC	43
Figura 4.1 Parámetros GPS, latitud y longitud en gráfico de dos ejes y en representación satelital.....	44
Figura 4.2. Emisiones de contaminantes en función del tiempo, Resultados para el Vehículo 1 .....	46
Figura 4.3 Suavización de la velocidad por promedios móviles .....	49
Figura 4.4 VSP Segundo a Segundo Vehículo 1 Test 1 .....	51
Figura 4.5 Porcentaje de conducción en cada BIN de todos los test .....	52
Figura 4.6 Emisiones de NOx versus Velocidad .....	53
Figura 4.7 Emisiones NOx versus Aceleración .....	53
Figura 4.8 Emisiones de NOx versus VSP .....	54
Figura 4.9 Emisiones de CO2 según estado energético.....	55
Figura 4.10 Emisiones de CO según estado energético.....	56
Figura 4.11 Emisiones de NOx según estado energético.....	56
Figura 4.12 Emisiones de CO2 vehículo 1 según BINs .....	58
Figura 4.13 Emisiones de CO vehículo 1 según BINs .....	58
Figura 4.14 Resumen Emisiones agregadas Ruta Test 1 y2 Vehículo 1 .....	59
Figura 4.15 Emisiones de NOx vehículo 1 según BINs .....	59
Figura 4.16 Emisiones de CO2 vehículo 2 según BINs .....	60
Figura 4.17 Emisiones de CO vehículo 2 según BINs .....	60
Figura 4.18 Resumen Emisiones agregadas Ruta Test 3, 10 y 11 Vehículo 2 .....	61
Figura 4.19 Emisiones de NOx vehículo 2 según BINs .....	61
Figura 4.20 Emisiones de CO2 vehículo 3 según BIN .....	62
Figura 4.21 Emisiones de CO vehículo 3 según BIN .....	62
Figura 4.22 Resumen Emisiones agregadas Ruta Test 4 y 5 Vehículo 3 .....	63
Figura 4.23 Emisiones de NOx vehículo 3 según BINs .....	63
Figura 4.24 Emisiones de CO2 en vehículo 4 según BINs .....	64
Figura 4.25 Emisiones de CO en vehículo 4 según BINs .....	64
Figura 4.26 Emisiones de NOx en vehículo 4 según BINs .....	65
Figura 4.27 Resumen emisiones agregadas Ruta Test 6, 7, 8 y 9 vehículo 4.....	65
Figura 5.1 Emisiones en gramos por kilómetros vehículo2 .....	67
Figura 5.2 Perfil de Velocidades Ciclo de Conducción FTP75 en km/h.....	68
Figura 5.3 Comparativa valores medidos en vehículo 2 vs datos de homologación.....	69
Figura 5.4 Comparación de emisiones entre Vehículo 1 (en sus dos modos) y Vehículo 2 .....	70
Figura 5.5 Comparación de emisiones entre Vehículo 3 (en sus dos modos) y Vehículo 2 .....	71

Figura 5.6 Comparación de emisiones entre Vehículo 4 (en sus dos modos) y Vehículo 2 .....	72
Figura 5.7 Consumo de Combustible por BIN [lt/s] .....	75
Figura 5.8 Rendimiento estimado según metodología para distintos modos en Nissan Tiida .....	76
Figura 5.9 Factores de emisión de CO <sub>2</sub> por test comparados con Normativa [g/km] .....	78
Figura 5.10 Factores de emisión de NO <sub>x</sub> por test comparados con Normativa [g/km] .....	79
Figura 5.11 Factores de emisión de CO por test comparados con Normativa [g/km] .....	80
Figura 5.12 Resultados de Emisiones agregadas por Tecnologías c/Test1 en [g/km] .....	81
Figura 5.13 Resultados de emisiones agregadas por tecnología s/Test1 en g/km.....	82
Figura 5.14 Emisiones de CO <sub>2</sub> en Ralentí por Test y agregado por Tecnología.....	83
Figura 5.15 Emisiones de CO en Ralentí por Test y agregado por Tecnología.....	84
Figura 5.16 Emisiones de NO <sub>x</sub> en Ralentí por Test y agregado por Tecnología.....	84
<i>Figura 5.17 Emisiones de CO<sub>2</sub> en Frenado por Test y agregado por Tecnología .....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5.18 Emisiones de CO en Frenado por Test y agregado por Tecnología .....</i>	<i>86</i>
Figura 5.19 Emisiones de NO <sub>x</sub> en Frenado por Test y agregado por Tecnología.....	86
Figura 5.20 Emisiones de CO <sub>2</sub> en Aceleración por Test y agregado por Tecnología.....	87
Figura 5.21 Emisiones de CO en Aceleración por Test y agregado por Tecnología.....	87
<i>Figura 5.22 Emisiones de NO<sub>x</sub> en Aceleración por Test y agregado por Tecnología .....</i>	<i>88</i>
Figura 5.23 Emisiones de NO <sub>x</sub> en aceleración por Test y agregado por Tecnología, se excluye Test 1	89
Figura 5.24 Emisiones de CO <sub>2</sub> por tecnología y operación .....	89
Figura 5.25 Emisiones de CO por tecnología y operación .....	90
Figura 5.26 Emisiones de NO <sub>x</sub> por tecnología y operación .....	90
Figura 5.27 Emisiones de NO <sub>x</sub> por tecnología y operación sin considerar test1 .....	91

# 1 INTRODUCCION

En el siguiente capítulo se presenta la introducción al proyecto de título del alumno Oscar Iván Ramírez De La Hoz, Titulado “Diagnóstico preliminar ambiental sobre el uso del gas vehicular en transporte”. En este trabajo se presentan antecedentes referente a la tecnología de kits de conversión a GNC en vehículos livianos, así como también un análisis al parque nacional de vehículos livianos destinados al transporte de pasajeros (taxis y colectivos), además de antecedentes respecto del mercado actual del Gas Natural Comprimido (GNC). El estudio concluye en la realización de una campaña experimental que busca como objetivo comparar las emisiones contaminantes de taxis colectivos funcionando tanto con Gas Natural como con Gasolina convencional, por medio de la realización de mediciones *on board* con un dispositivo portátil propiedad de la Sociedad Consultora Sistemas Sustentables y facilitado para la realización de esta Memoria de título.

## 1.1 MOTIVACIÓN

Si se observa la evolución del parque nacional automotriz, se distingue una clara tendencia al crecimiento. Como se observa en la Figura 1.1 el número de vehículos que conforman la flota de nuestro país se correlaciona casi directamente con el Producto Interno Bruto (PIB).

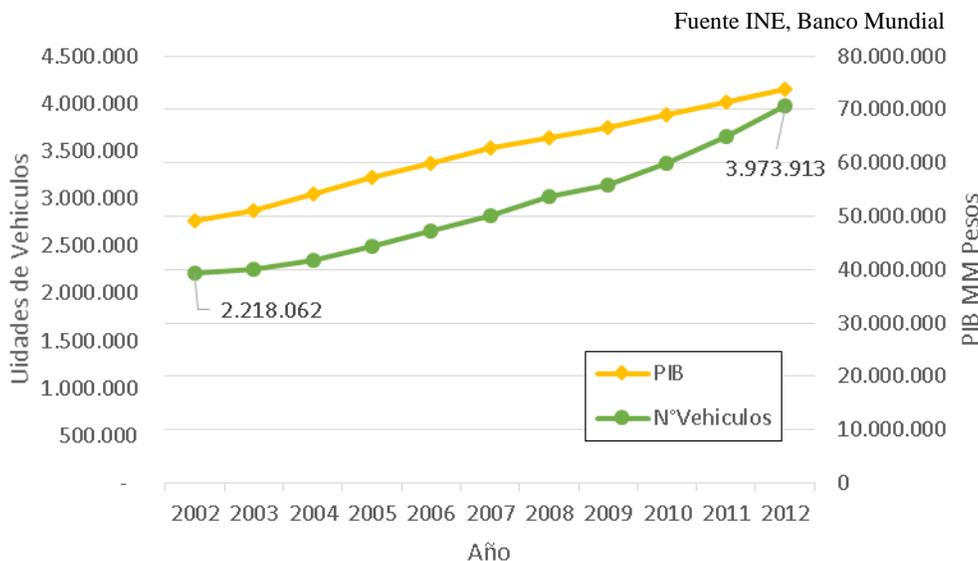


Figura 1.1 Parque nacional de vehículos y serie de producto interno bruto nacional.

En el año 2012 en la ciudad de Santiago se otorgó permiso de circulación a un total de 1.621.946 vehículos, mientras que en el año 2011 fueron 1.513.687, por lo cual se observó un crecimiento de 7,1% en tan solo un año. En la Figura 1.1 se muestra la tendencia del parque nacional automotriz registrada en el período 2000-2012 donde se observa el crecimiento sostenido que ha tenido en la

última década pasando de 2.218.062 vehículos a 3.973.913, lo que representa un crecimiento de casi un 80% en 10 años [1]. Si bien el parque automotriz se encuentra en continuo crecimiento, existe una parte de este que se encuentra congelado. Ese segmento corresponde al de los taxis básicos y taxis colectivos. En la Figura 1.2 se observa la evolución del parque de estos vehículos, si bien el parque de taxis se observa congelado desde el comienzo de la serie de datos, el número de patentes que se otorgan para este tipo de vehículos se encuentra limitada desde noviembre del año 2005<sup>1</sup>. La Región Metropolitana es la que posee el mayor número de patentes de taxis inscritas, poco más del 40% del parque total nacional. Como se observa en la Figura 1.2 el parque total de taxis bordea las 100.000 unidades desde el año 2005 [1].

Al ser el parque de taxis estable y constante en sus niveles de actividad surge la inquietud de estimar las emisiones que genera este segmento, considerando la orientación hacia el cambio tecnológico que se observa con respecto a la renovación de vehículos y a la utilización de combustibles alternativos en reemplazo de la gasolina o el diésel para este tipo de vehículos.

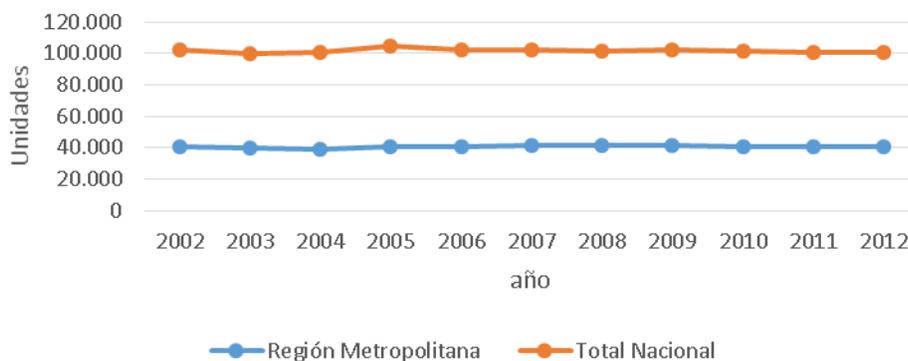


Figura 1.2 Parque de Taxis a nivel nacional y región metropolitana.

Considerando que los taxis básicos y colectivos tienen niveles de actividad que muchas veces superan los 200 km/día, se genera un nivel de contaminación muy superior a lo normal para vehículos de similares características, por ello es que surge la necesidad de realizar el diagnóstico de la tecnología de combustible alternativo que se expone en este trabajo de título.

Diversos medios tanto a nivel nacional como internacional, como lo son el Departamento de Energía de los Estados Unidos (US Department of Energy), la Asociación de distribuidores de Gas Natural de Chile (AGN), el instituto de investigación automotriz de Japón (JARI), entre otros, establecen que la conversión de vehículos a gas natural genera diversos beneficios en cuanto a consumo de combustible y generación de emisiones contaminantes, lo cuales se listan a continuación.

<sup>1</sup> Ley N° 20.076: SUSPENDE LA INSCRIPCION DE TAXIS EN EL REGISTRO NACIONAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS

- Tiene una combustión limpia ya que no emite cenizas ni partículas sólidas a la atmósfera (Material Particulado)
- Genera una emisión reducida en comparación con el combustible convencional de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e hidrocarburos reactivos y virtualmente no genera dióxido de azufre ( $SO_2$ ). De modo que contribuye a la lucha contra el efecto invernadero y la lluvia ácida.
- Ahorro directo en el combustible, ya que el gas natural cuesta una media de 50% menos que la gasolina.
- Ahorro del mantenimiento del vehículo, ya que incrementa la vida útil en ciertos elementos como las bujías, el sistema de escape, el carburador, el lubricante, etc.

Considerando las ventajas y beneficios que mencionan las distintas entidades consultadas, es que se consultan diferentes publicaciones relativas al tema, las cuales se describen a continuación:

***Estudio 1: ANALISIS DE EMISIONES EN VEHICULOS QUE OPERAN CON GNC Y GLP 1997 [2]***

Estudio realizado por la Fundación para la Transferencia Tecnológica, en el marco de un plan piloto de uso de GNC y GLP. Este estudio tiene como objetivos:

- Cuantificar las diferencias en los niveles de emisión de vehículos operando a GNC y GLP respecto del combustible convencional.
- Recopilación y análisis de especificaciones técnicas de las tecnologías de conversión utilizadas en la muestra de vehículos analizadas en el programa experimental (únicamente kits de conversión de 1ra y 2da generación)
- Recopilación de antecedentes técnicos y normativas internacionales en relación con la certificación de vehículos fabricados para GNC y GLP
- Recopilación de resultados de ensayos de emisiones efectuados en el extranjero para vehículos a GNC y GLP

De los ensayos de emisiones se obtuvo como primer resultado un aumento en los  $HC$  y  $NO_x$  presentes en los gases de escape, acompañado de una disminución del  $CO$  en la mayoría de los sistemas analizados, tanto para GLP y GNC.

Las principales conclusiones del estudio fueron:

- En los vehículos gasolina/GNC, cuando operan con combustible gaseoso, se aprecia una clara tendencia a disminuir las emisiones de  $CO$  y a aumentar las de  $HC$  y  $NO_x$ , en relación con las emisiones de estos mismos contaminantes operando con gasolina. Escapan a esta tendencia general los vehículos que presentan muy altas emisiones operando con gasolina, en los cuales es razonable esperar una disminución de las emisiones en todos los contaminantes utilizando GNC.

- Se infiere que los kits de conversión no representan una alternativa clara de reducción de emisiones para vehículos de tecnología de alimentación de combustible más reciente y dotados de sistema de control de emisiones.

***Estudio 2: EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE CONVERSIÓN A GNV DE VEHÍCULOS DE LA FLOTA DE EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. 2001 [3]***

Estudio perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente de la República de Colombia, consiste en la evaluación de la flota convertida a gas natural vehicular de los vehículos de las empresas públicas de Medellín. Los objetivos principales del estudio fueron:

- Identificar y evaluar las propiedades del gas natural como combustible automotor frente a otros combustibles tradicionales.
- Recopilar y analizar información disponible en el ámbito nacional e internacional sobre el desempeño mecánico y ambiental comparativo de los vehículos accionados a gasolina frente a los propulsados con GNV.
- Diseñar y aplicar una metodología para evaluar el desempeño mecánico y ambiental de los vehículos de la flota de las Empresas Públicas de Medellín convertidos para operación dual (Gasolina-GNV)
- Determinar la viabilidad técnica y financiera de la conversión de vehículos a GNV en el ámbito del proyecto piloto de conversión de vehículos a GNV de las Empresas Públicas de Medellín.

Se realizaron pruebas tanto de potencia y torque, rendimiento en ruta y medición de emisiones a los vehículos utilitarios de la flota de empresas públicas de Medellín, obteniéndose resultados y las principales conclusiones que se mencionan a continuación.

*Potencia y torque*

Las pérdidas de potencia y torque operando con GNV varían en un amplio rango (entre 10 y 40% menores respecto del combustible convencional)

*Pruebas de desempeño en ruta*

Los resultados muestran un mejor comportamiento comparativo de la operación con GNV en ruta que en dinamómetro, lo que se traduce en reducciones de *CO* superiores al 80% y de *HC* hasta del 50% en algunos vehículos. Esto se debe al menor nivel de exigencia al que se someten durante el funcionamiento en carretera ya que las pruebas se realizan en condiciones de carga típicas,

***Estudio 3: ANÁLISIS DE EMISIONES DE VEHÍCULOS CON GNC Y GLP COMO COMBUSTIBLE. 2010-2011 [4]***

Estudio realizado para GASCO por la Sociedad Consultora Sistemas Sustentables. En éste busca comparar los antecedentes de emisiones vehiculares tanto del vehículo con combustible gaseoso como con el combustible convencional. La comparación se realiza mediante los datos de emisiones del proceso de homologación y certificación de cada modelo que realiza 3CV. Las principales

conclusiones son las que se pueden extraer de las Figura 1.3 y Figura 1.4 que se presentan a continuación.

En la Figura 1.3 se observa que las emisiones para todos los contaminantes medidos en el proceso de homologación de distintos vehículos se incrementan en operación con gas, ya sea GNC o GLP. El valor 100% en la gráfica corresponde al nivel de emisiones de los mismos modelos sin realizarles conversiones de ningún tipo, estos valores son agregados para distintos modelos seleccionados en el estudio.

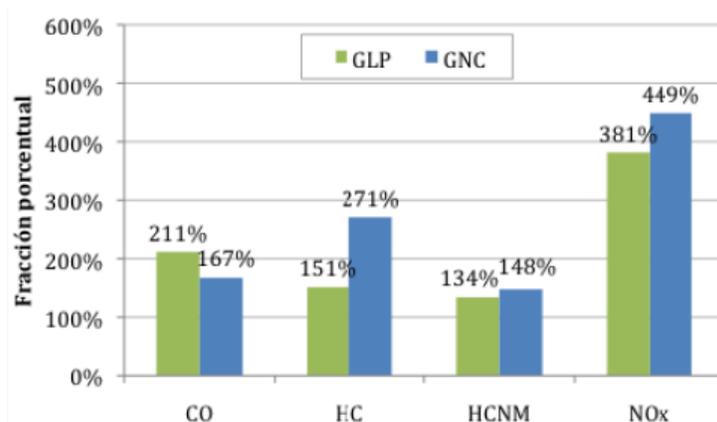


Figura 1.3 Fracción porcentual de emisiones de GNC y GLP comparadas con Gasolina.

Del mismo modo que para la gasolina, se realizó la comparación para el diésel, en donde las emisiones empeoran excepto para el contaminante  $NO_x$  que disminuye considerablemente en contraste con el combustible convencional diésel.

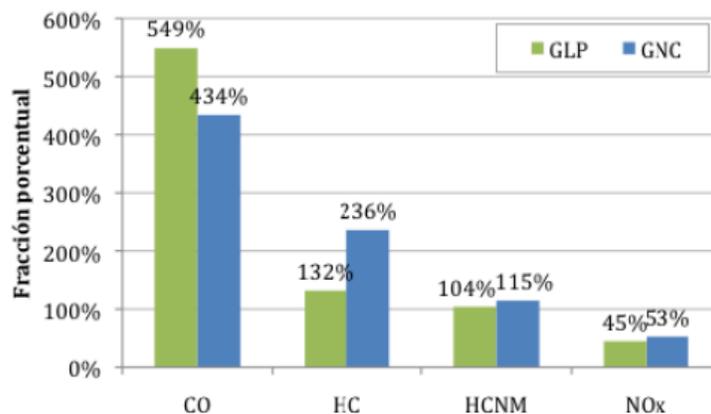


Figura 1.4 Fracción porcentual de emisiones de GNC y GLP comparadas con diésel

#### **Estudio 4: ON-ROAD EMISSION CHARACTERISTICS OF CNG-FUELED BI-FUEL TAXIS. (2014) [5]**

Para aliviar la contaminación de las ciudades y reducir la demanda de petróleo desde el sector transporte en China, es que en el último tiempo se han desarrollado rápidamente los vehículos propulsados por gas natural, sin embargo, no se tiene el conocimiento respecto del nivel de

emisiones que generan estos vehículos en condiciones reales de operación. Es por ello que este estudio busca medir las emisiones de 20 taxis propulsados por GNC con equipos de medición portátiles PEMS, en condiciones reales de operación en TICHANG, China.

Los niveles de emisión que se obtuvieron se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1.1 Factores de emisión Para Taxis en operación en China

	Velocidad Promedio(km/h)	$CO_2$ (g/km)	$CO$ (g/km)	$HC$ (g/km)	$NO_x$ (g/km)
Urbano	26,7	192	1,57	1,66	1,88
Carretera	66,1	118	0,39	0,83	1,91

Las principales conclusiones del estudio son:

- Los ciclos de conducción tienen un impacto importante en las emisiones de taxis a Gas Natural, ya que las emisiones que se obtienen en condiciones de conducción urbana fueron significativamente superiores que las medidas en condiciones de conducción en carretera.
- El promedio de emisiones de  $CO_2$ ,  $CO$  y  $HC$  en condiciones urbanas de conducción fueron 1.6, 4.0 y 2.0 veces mayores que las de condiciones de conducción en carretera.
- Los factores de emisión se generan en un dinamómetro de chasis bajo un ciclo único de conducción, en consecuencia, los datos medidos en laboratorio pueden generar una gran incertidumbre con respecto al cálculo de factores de emisión, lo que conduce a errores en los modelos de calidad de aire. Por lo tanto se debe considerar un mayor espectro de condiciones en las pruebas de laboratorio para disminuir la incertidumbre de utilizar un solo ciclo de conducción.
- En comparación con los vehículos medidos a gasolina, los alimentados por GNC obtuvieron menores emisiones de  $CO_2$  y  $CO$  pero significativamente mayores para  $HC$  y  $NO_x$ .
- Como esta tecnología se encuentra en una notoria expansión, es importante ser cuidadosos en analizar las posibles desventajas de estos vehículos con respecto a las emisiones de  $HC$  y  $NO_x$ .

### **Estudio 5: AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CNG AS AN ALTERNATIVE FUEL FOR A RETROFITTED GASOLINE VEHICLE. [6]**

Este estudio presenta los resultados de las pruebas ejecutadas en un dinamómetro de chasis a un motor de encendido por chispa de 1,5 litros de 4 cilindros, pertenecientes a un PROTON MAGMA equipado de un kit de conversión, donde se midieron rendimiento, consumo de combustible y emisiones contaminantes. Estos resultados fueron obtenidos en condiciones de funcionamiento en estado estacionario para el vehículo en su modo gasolina y modo GNC.

Las principales conclusiones son:

- El vehículo en su modo GNC muestra una baja presión efectiva al freno
- En su modo GNC muestra un bajo consumo de combustible al freno
- Mayor eficiencia del combustible
- Menores emisiones para  $CO$ ,  $CO_2$  y  $HC$  pero mayores para  $NO_x$  comparado con gasolina.

### **Estudio 6: NITROUS OXIDE EMISSIONS FROM GASOHOL, ETANOL AND CNG LIGHT DUTY VEHICLES [7]**

Se midió una muestra de 21 vehículos livianos propulsados con motores de ciclo Otto en dinamómetro de chasis para determinar las emisiones de óxido nitroso. Estas pruebas fueron desarrolladas en el laboratorio de emisiones de vehículos de la Compañía Ambiental del Estado de Sao Paulo.

Para los test se utilizó el ciclo de conducción FTP75, para medir tres tipos de combustibles: gasohol, etanol y GNC. Para determinar las emisiones de  $NO_x$  se utilizaron dos métodos, el de infrarrojo no dispersivo (NDIR) y el de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Para el primer método las emisiones promedio medidas fueron de  $78 \pm 41$  mg/km para el gasóleo,  $73 \pm 45$  mg/km para el etanol y  $171 \pm 69$  mg/km para GNC mientras que para el segundo  $68 \pm 41$  mg/km para gasóleo,  $17 \pm 10$  mg/km para etanol y  $33 \pm 17$  mg/km para GNC.

Se establece que por efecto de la interferencia del vapor de agua presente con mayor concentración en los combustibles etanol y GNC se obtuvieron valores mucho más bajos de  $NO_x$  para el método FTIR que en NDIR

Del análisis de los estudios y las ventajas que algunas fuentes nombran, es que surge este trabajo de título, con el fin de diagnosticar en término de emisiones contaminantes la tecnología que permite pasar de un vehículo con combustible convencional a uno alternativo. Para ello se enumeran una serie de objetivos tanto principales como específicos para desarrollar el diagnóstico mencionado.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Principal**

El objetivo fundamental de este trabajo es la realización de un diagnóstico ambiental preliminar del impacto de la conversión de vehículos de locomoción colectiva a gas natural.

### **1.2.2 Específicos**

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Recopilar antecedentes del tipo de conversiones en términos de número, tecnología y soporte.
- Realizar una medición con un sistema de muestreo a bordo a una flota de taxis colectivos, en condiciones normales de operación.
- Analizar y comparar los datos obtenidos por 3CV en su muestreo de certificación con los datos obtenidos en este trabajo.
- Concluir respecto del impacto ambiental que genera la masiva utilización de esta tecnología en la ciudad de Santiago.

## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los contaminantes atmosféricos se definen como la materia o formas de energías presentes en el aire que implican riesgos, daños o molestias graves para las personas y bienes de cualquier naturaleza [8]. Los principales mecanismos de emisión de contaminantes en las ciudades son los procesos industriales que implican combustión y la calefacción residencial. Entre los procesos industriales se encuentran la actividad de industrias propiamente tal, como centrales térmicas y calderas de diversos tipos. A ese tipo de fuentes, junto con las residenciales, se les denomina fuentes fijas de contaminación. Por otro lado se encuentra la contaminación generada por la actividad de automóviles de toda índole (vehículos livianos, buses, camiones y otros vehículos). A ese tipo se le denomina fuentes móviles de contaminación.

#### 2.1.1 Fuentes móviles de contaminación.

Las fuentes móviles de contaminación incluyen a todas las formas de transporte existentes, tales como automóviles, camiones, aviones, etc. Estas representan una gran proporción de la contaminación global, como se observa en la Tabla 2.1. En el año 2012 las emisiones de las fuentes móviles de contaminación representaban un 46% del material particulado grueso, un 81% del monóxido de carbono y un 77% de los contaminantes  $NO_x$  [9]. Para visualizar correctamente los datos, se debe considerar el aumento en el parque actual con respecto a ese entonces, el cual era un 16% menor.

Tabla 2.1 Contaminación emitida por fuentes móviles y estacionarias

	Ton/año					
	PM10	PM2,5	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
<b>Fuentes Estacionarias</b>	3.401	3.465	29.068	12.030	2.305	33.588
<b>Fuentes Móviles</b>	2.877	2.398	125.727	39.356	14.146	2.114
<b>%Estacionarias</b>	54%	59%	19%	23%	14%	94%
<b>%Móviles</b>	46%	41%	81%	77%	86%	6%

Fuente: inventario de emisiones 2012 [40]

La fuente de contaminantes analizada en esta memoria de título corresponde a los vehículos taxis básicos y colectivos, los cuales corresponden tan solo al 1% de las unidades totales de vehículos presentes en el parque. La mayor parte del parque poseen niveles de actividad muy inferiores, un vehículo particular de pasajeros recorre en un año aproximadamente 12.500 km, mientras que un vehículo del segmento analizado recorre entre 25.000 y 40.000 km. Estos vehículos, pese a ser pocos comparados al total generan el 8% de todos los contaminantes  $NO_x$  del transporte urbano de pasajeros y un 70% de los contaminante  $CO$  del mismo segmento. A continuación se presenta la descripción de los contaminantes atmosféricos, los efectos en la salud y las principales fuentes que los generan.

### **2.1.2 Monóxido de Carbono**

Es el principal producto de la combustión incompleta. Es peligroso para las personas, pues se fija a la hemoglobina presente en la sangre, impidiendo la oxigenación de la misma, lo que ocasiona diversas fallas en el cuerpo por falta de oxígeno. Este gas se diluye fácilmente en el aire, pero en espacios cerrados la concentración excesiva lo hace tóxico. Los motores de combustión interna emiten este gas a la atmósfera por efecto de deficiencias en la combustión, por lo que en áreas muy urbanizadas tiende a haber concentraciones excesivas de este gas, llegando a entre 50-100 ppm [10], concentraciones que podrían ser peligrosas para la salud de las personas. La principal fuente de este contaminante son los motores de los vehículos livianos con convertidor catalítico, cerca de un 67% del total. [11]

### **2.1.3 Dióxido de Carbono**

Es uno de los principales causantes del efecto invernadero. Este gas se produce naturalmente por efecto de la combustión perfecta de los combustibles. Si bien este gas no es tóxico, en dosis bajas puede llegar a matar por asfixia a partir de cierta concentración. A partir del 0,1% (1000ppm) se transforma en uno de los factores del asma [12].

### **2.1.4 Metano**

Al igual que el dióxido de carbono, el metano es un gas de efecto invernadero, pues aumenta la capacidad de retención de calor de la atmósfera terrestre. Este es un gas combustible que cuando no es quemado en su totalidad se elimina por el tubo de escape como un gas contaminante.

### **2.1.5 Óxido de nitrógeno**

Es un gas incoloro y poco soluble, se produce por la quema de combustibles fósiles en condiciones de mezcla pobre, se oxida muy rápidamente en presencia de calor y oxígeno, convirtiéndose en dióxido de nitrógeno, el que posteriormente se transforma en ácido nítrico produciendo así la lluvia ácida. [11]

### **2.1.6 HC**

Este gas se produce por efecto de la quema deficiente del combustible utilizado por el motor, el cual puede ser combustible no quemado o quemado parcialmente. El término hidrocarburos como contaminante significa compuesto orgánico en estado gaseoso, cuando estos están en estado sólido se consideran parte del material particulado.

### **2.1.7 Material Particulado (MP)**

El material particulado está compuesto por partículas sólidas en suspensión que son liberadas a la atmosfera por los motores de combustión interna. En su mayoría se trata de polvo en suspensión, cenizas presentes en el combustible, hidrocarburos sólidos, nitratos y sulfatos varios.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) identifico el impacto en la salud del material particulado aerotransportable o partículas suspendidas en la atmosfera. Estas partículas se clasifican de acuerdo a su diámetro. Son de especial preocupación para la salud las partículas que poseen diámetros de 10 micrómetros o menos ( $PM_{10}$ ). Estas partículas por su pequeño diámetro alcanzan la zona más profunda del pulmón ocasionando problemas a la salud incluso pudiendo llegar a entrar al torrente sanguíneo ( $PM_{2,5}$ )

### **2.1.8 Dióxido de Nitrógeno**

El dióxido de nitrógeno, que tiene por formula  $N_2O$  es uno de los gases de efecto invernadero, este gas se encuentra naturalmente en la atmosfera. Sin embargo, la actividad humana como la agricultura, la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales, están aumentando la cantidad de  $N_2O$  presente en la atmosfera, incrementando el calentamiento global.

## 2.2 GAS NATURAL

Se considera como combustible cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta. Existen diversos tipos, entre ellos los combustibles líquidos como las gasolinas, diésel y kerosenes, los sólidos como el carbón, la madera y la turba, y los gaseosos que son de principal interés para este trabajo. Entre los combustibles gaseosos más importantes se encuentran el gas natural y el gas licuado de petróleo, combustibles que entre sus múltiples aplicaciones se encuentra el uso vehicular.

El Gas Natural es una mezcla combustible de gases de hidrocarburos, el cual está formado principalmente por metano, incluyendo también en su composición etano, propano, butano y pentano. La composición de estos gases puede variar ampliamente dentro del rango que se presenta en la Tabla 2.2. Sin embargo, en su forma más pura este gas se compone prácticamente por metano puro. [13]

Tabla 2.2 Proporción de gases presentes en el Gas Natural

Gases	Formula	Presencia
Metano	$CH_4$	70-90%
Etano	$C_2H_6$	0-20%
Propano	$C_3H_8$	
Butano	$C_4H_{10}$	
Dióxido de Carbono	$CO_2$	0-8%
Oxígeno	$O_2$	0-0,2%
Nitrógeno	$N_2$	0-5%
Ácido sulfhídrico	$H_2S$	0-5%
Gases Raros	$A, He, Ne, Xe$	Resto

El gas natural se encuentra en reservas bajo tierra de cuatro formas, siendo las más importantes el gas convencional y el recientemente explotado *Shale Gas*, ambas comúnmente asociadas a depósitos de petróleo de donde diversas compañías lo extraen con instrumentos de alta tecnología. [14]

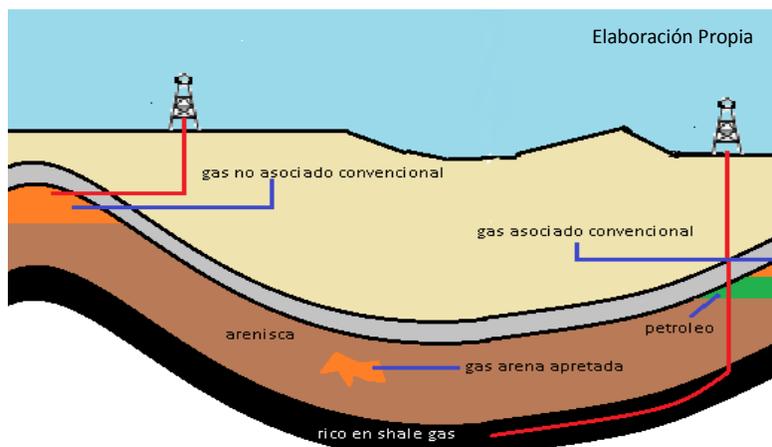


Figura 2.1 Esquema geológico de las reservas de gas natural

### 2.2.1 Shale Gas

Este gas conocido también como gas de esquisto, es un gas natural común, solo que es extraído de formas y fuentes no convencionales. Este gas natural se encuentra incrustado en formaciones rocosas metamórficas o rocas de esquisto, como se observa esquemáticamente en la Figura 2.1. Estas rocas poseen material orgánico y se fracturan debido a las condiciones de presión y temperatura formando gas natural, este gas comúnmente se desliza por la roca formando depósitos convencionales de gas. Pero cuando la impermeabilidad de la roca no lo permite, el gas es absorbido por la arcilla, generando depósitos de shale gas. [14]

### 2.2.2 Producción mundial.

La producción de gas a nivel mundial, lejos de estar decayendo crece constantemente y según fuentes internacionales como lo es la Administración de Información Energética del Gobierno de los Estados Unidos, se espera que continúe creciendo como se observa en la Figura 2.2, superando el billón de metros cúbicos al año 2030 aproximadamente. [15]

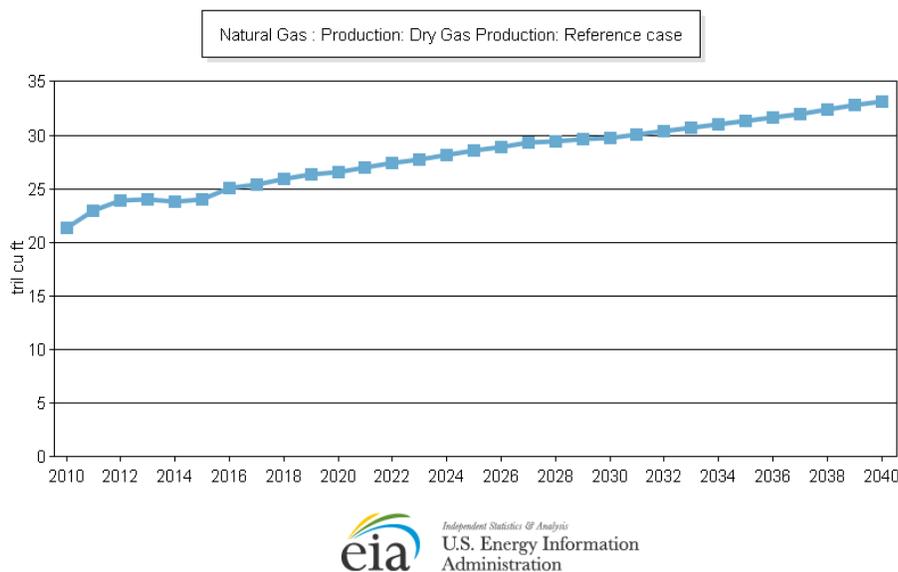


Figura 2.2 Proyecciones de la Producción de Gas Natural en el mundo

El año 2012 en Chile se consumieron 4.879 millones de m<sup>3</sup> de gas natural<sup>2</sup>, de los cuales 3.917 millones de m<sup>3</sup> (cerca de un 80%) corresponde a importaciones, produciéndose en Chile apenas 1.232 millones de m<sup>3</sup>. Este consumo se desagrega en Chile abarcando diversas áreas, entre estas: Transporte, Industrial y Minero, Comercial, público y residencial y Energético

El gas natural que abastece al país proviene principalmente de 7 países que poseen reservas explotadas de gas natural. La decisión sobre elegir uno u otro país para importar el combustible tiene directa relación con el precio que estos establecen en el mercado internacional. En la Tabla 2.3 se observan los países que abastecen al país de este combustible. Se observa que la cantidad

<sup>2</sup> Balance Nacional de Energía (BNE), Cuadro 14 consumo sectorial

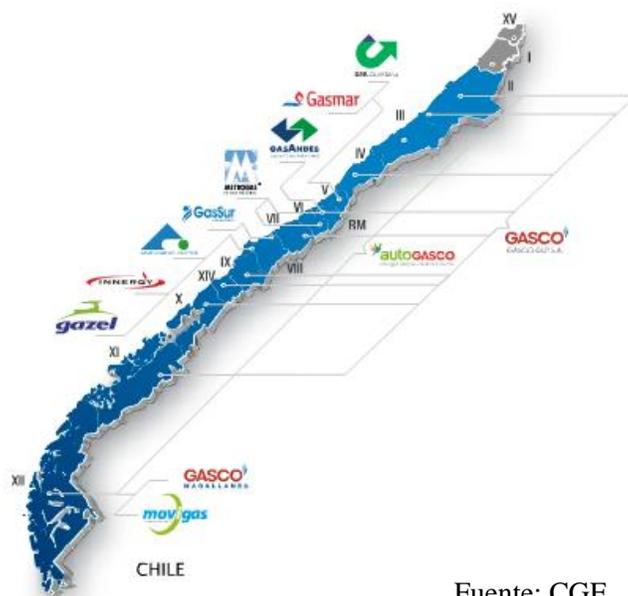
de  $m^3$  importados de un año a otro aumentan en 755,7 MM, lo que corresponde a un alza de 32% en la cantidad importada. En la actualidad el mayor importador de Chile es Trinidad y Tobago, el cual abastece el 83% de las importaciones del año 2013. [16]

Tabla 2.3 Importaciones de Gas natural en Chile desde mayo de 2012 a octubre 2013

Países	2012 [MMm3]	2013 [MMm3]
Argentina	32,9	10,1
Egipto	160,5	
Guinea	183,6	
Noruega	76,2	
Qatar		171,0
Republica de Yemen	165,6	321,9
Trinidad y Tobago	1742,8	2614,2
<b>Total general</b>	<b>2361,5</b>	<b>3117,2</b>

Sistema de Información estadístico.- Ministerio de Energía

El Gas natural que es importado en Chile se transporta por barcos, luego debe ser distribuido por empresas locales, ya sea de forma terrestre o por cañerías. En Chile se creó la Asociación de Distribuidores de Gas natural, organización que agrupa a las cuatro principales empresas distribuidoras de gas que operan en el país, Metrogas, GasValpo, GasSur y Gasco Magallanes. A través de las redes de distribución que poseen estas empresas se da cobertura a las regiones Metropolitana, V, VI, VIII y XII, como se observa en la Figura 2.3. [17]



Fuente: CGE

Figura 2.3 Red de distribuidores de Gas natural a lo largo del país

Además de las empresas antes mencionadas existen otras empresas encargadas de la distribución de gas natural, estas empresas no solo distribuyen gas de forma domiciliaria por cañerías, sino que también lo hacen por medio de camiones. La ubicación de estas empresas a lo largo del país se puede observar en la Figura 2.3.

### 2.2.3 Gas Natural Comprimido (GNC)

Este gas es denominado por su uso también como Gas Natural Vehicular (GNV). Es una mezcla de gases compuesta principalmente por metano ( 95% CH<sub>4</sub>, 2% etano, 2% nitrógeno, 1% otros gases) el cual es comprimido a una presión de 200 bar con el fin de ser almacenado en cilindros, para su utilización en vehículos motorizados<sup>3</sup>. El GNC posee un poder calorífico inferior de 47.000 (kJ/kg) [18], superior al de la gasolina que posee un poder calorífico inferior de 42.500 (kJ/Kg). Además, posee un índice octano que también es superior con 125 octanos mientras que la gasolina solo llega a 98 octanos.

A diferencia de la gasolina, el gas natural no se vende por litros, sino que se hace bajo la unidad de metro cúbico. Si se compara la densidad energética de estos combustibles, es posible determinar un factor comparativo de ambos.

El precio del GNC en Chile asciende a \$570 el metro cubico, el cual se vende con una densidad de 0,78 kg/m<sup>3</sup>. Por otra parte, el precio de la gasolina es de \$880 por litro con una densidad de 680 g/L<sup>4</sup>. Por lo tanto, si se realiza una comparación por unidad de energía utilizando los valores de poder calorífico mencionados anteriormente se obtiene lo siguiente:

Para el Gas Natural se tiene que el costo por unidad de energía estaría dado por

$$P_{GNC} = \text{precio} * \frac{1}{\text{densidad}} * \frac{1}{PCI}$$

$$P_{GNC} = 570 \left[ \frac{\$}{m^3} \right] * \frac{1}{0,78} \left[ \frac{m^3}{kg} \right] * \frac{1}{47000} \left[ \frac{kg}{kJ} \right]$$

$$P_{GNC} = 0,015 \frac{\$}{kJ}$$

Luego para la gasolina el costo por unidad de energía sería:

$$P_{Gasolina} = \text{precio} * \frac{1}{\text{densidad}} * \frac{1}{PCI}$$

$$P_{Gasolina} = 880 \left[ \frac{\$}{L} \right] * \frac{1}{0,680} \left[ \frac{L}{kg} \right] * \frac{1}{42500} \left[ \frac{kg}{kJ} \right]$$

<sup>3</sup> Fuente: [http://www.gnv.cl/sobre\\_gnv](http://www.gnv.cl/sobre_gnv)

<sup>4</sup> Valor de la Gasolina y GNC al 05/05/2014 Fuente Comisión Nacional de Energía

$$P_{Gasolina} = 0,03 \frac{\$}{kJ}$$

Como se observa en los valores obtenidos, el precio por unidad de energía para el GNC es prácticamente la mitad que el de la gasolina. Sin embargo si se aplicaran políticas que eliminaran el impuesto que posee cada uno de estos combustibles y se analizara el valor real de los combustibles, el precio de cada unidad de combustible estaría dado por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} PR_{GNC} &= P_{venta} - IE_{GNC} \\ PR_{GNC} &= 570 \left[ \frac{\$}{m^3} \right] - 1,93 \left[ \frac{UTM}{Km^3} \right] \\ PR_{GNC} &= 570 \left[ \frac{\$}{m^3} \right] - \frac{1,93}{1000} * 41.801 \left[ \frac{\$}{m^3} \right] \\ PR_{GNC} &= 489,3 \left[ \frac{\$}{m^3} \right] \end{aligned}$$

Y luego para la gasolina se tendría que:

$$\begin{aligned} PR_{gasolina} &= P_{venta} - IE_{gasolina} \\ PR_{gasolina} &= 880 \left[ \frac{\$}{L} \right] - 6 \left[ \frac{UTM}{m^3} \right] * \left[ \frac{m^3}{L} \right] \\ PR_{gasolina} &= 629,19 \left[ \frac{\$}{L} \right] \end{aligned}$$

Donde

$P_{gasolina}$	Precio por unidad de energía de Gasolina [\$/kJ]
$P_{GNC}$	Precio por unidad de energía de Gas Natural [\$/kJ]
$PR_{GNC}$	Precio real del Gas Natural Comprimido [\$/m <sup>3</sup> ]
$PR_{gasolina}$	Precio real de la Gasolina [\$/l]
$IE_{GNC}$	Impuesto específico Gas Natural Comprimido [UTM/m <sup>3</sup> ]
$IE_{gasolina}$	Impuesto específico Gasolina [UTM/m <sup>3</sup> ]

De este modo los factores antes calculados quedan dados por:

Gas Natural Comprimido:

$$P_{GNC} = 0,0133 \left[ \frac{\$}{kJ} \right]$$

Gasolina:

$$P_{gasolina} = 0,0217 \left[ \frac{\$}{kJ} \right]$$

Si bien los valores descontando el impuesto específico se acercan mucho más entre ellos, de todas maneras se favorece al GNC por sobre la gasolina. Esto explica en parte el gran crecimiento que ha tenido la utilización de este gas como combustible vehicular, no tan solo en Chile, sino también en el extranjero, la Administración de Información Energética de los Estados Unidos proyecta que el consumo de gas natural por efectos de transporte se incrementará año a año, creciendo exponencialmente a partir del año 2020 como se observa en la Figura 2.4 [15]

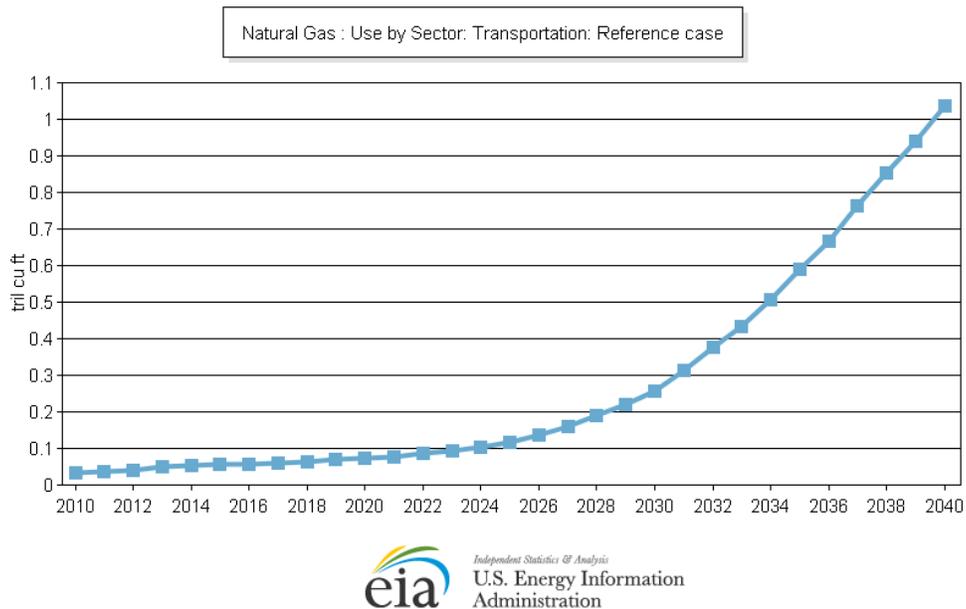


Figura 2.4 Proyecciones de Consumo de Gas Natural por concepto de transporte a nivel mundial.

#### 2.2.4 Ventajas como combustible vehicular.

Este combustible se ha posicionado en la industria automotriz, pues posee una serie de ventajas con respecto a otros combustibles convencionales, las cuales se describen en la siguiente sección.

El año 1995, en la Conferencia Mundial de la Energía que se llevó a cabo en Tokio, se declaró al Gas Natural como el combustible alternativo con mejores opciones de desarrollo para la masificación en el futuro, esto debido a su abundancia, bajo costo de extracción, transporte y distribución, además del bajo nivel de contaminación que genera.

#### **Beneficios Ambientales**

El gas natural tiene una mejor combustión que la gasolina o el diésel, al ser de naturaleza gaseoso permite alcanzar con mayor facilidad la relación Aire/Combustible deseada, lo que

favorece la generación de una llama de pre-mezcla, que genera mejores propiedades al acercarse a la combustión perfecta. Además este fenómeno genera mejores propiedades a la hora de la generación de emisiones, teóricamente se establece que los vehículos que operan con GNV obtienen emisiones más bajas que las de vehículos a gasolina, con aproximadamente 70% menos monóxido de carbono, 89% menos de HCNM y 87% menos óxidos de nitrógeno. Los vehículos dedicados a GNV producen muy pocas emisiones por evaporación durante el llenado del vehículo y régimen de uso, a diferencia de los vehículos a gasolina, donde las emisiones evaporativas y de llenado representan el 50% de las emisiones de *HC* totales. Además, los motores a gas natural teóricamente no generan material particulado. [19]

### ***Menor cantidad de Gases de efecto Invernadero***

Al poseer menos cantidad de carbono elemental por unidad de energía el gas natural genera menos emisiones de  $CO_2$  por unidad de combustible quemado. Los motores a gas natural emiten metano al ambiente que es precursor de gases de efecto invernadero, pero esta emisión se vería compensada por la disminución de  $CO_2$  en la combustión.

### ***Beneficios Económicos***

Si se realiza la comparación de precio por unidad de energía, el gas natural cuesta un promedio de 50% menos que la gasolina, lo que se explica principalmente por su bajo costo de extracción al ser un combustible no refinado. Además, al ser un combustible que se quema limpiamente, reduce las necesidades de mantenimiento del vehículo, prolonga la vida del aceite del motor y de las bujías. Además, para operadores de flotas implica un gran ahorro, pues el gas natural es imposible de extraer artesanalmente succionándolo desde el estanque, a diferencia de los combustibles líquidos. Para los operadores de flotas las mermas de combustible se reducen significativamente, lo que aumenta sus utilidades. [20]

### ***Aspectos de Seguridad***

Los estanques de almacenamiento de combustible utilizados en los vehículos a GNV, al estar contruidos en aceros resistentes a altas presiones son mucho más resistentes que los estanques de gasolina. El diseño de estos cilindros se encuentra normado según las exigencias de la norma chilena NCh2102 Of.87 y NCh2109 Of.87

### **Abundancia y disponibilidad de gas natural**

El gas natural es un combustible abundante en el mundo, en la actualidad se están explotando una serie de yacimientos no convencionales de Gas Natural, como lo es el caso de E.E.U.U. con el *Shale Gas*. Además se instaló en Quinteros una planta de gasificación de gas natural licuado, lo que abrió el mercado a la importación de GNL desde distintas partes del mundo.

### **2.2.5 Desventajas del Gas Natural**

Así como este combustible posee ventajas, también posee desventajas en comparación con la gasolina, las cuales se indican a continuación.

### ***Pérdida de potencia***

Los vehículos convertidos para operar con GNC presentan una disminución en la potencia que son capaces de alcanzar, siendo aproximadamente un 10 % menos que un vehículo de similares características sin convertir. Si bien esta pérdida de potencia no es significativa para el uso cotidiano, es notoria en el operar normal de estos vehículos.

### ***Aumento en el peso***

Al adicionar a estos vehículos un estanque extra de combustible, se le agrega un peso para el cual el vehículo no fue diseñado, por lo cual se debe tener en consideración este aumento en el peso bruto del vehículo a la hora de programar las mantenciones del sistema de suspensión y neumáticos. Además, dependiendo de la autonomía del vehículo, el estanque de gas suele ser de dimensiones bastante importantes respecto de los vehículos en los cuales está instalado (principalmente livianos) por lo cual además de un aumento de peso, el vehículo pierde espacio útil de carga en el lugar donde esté instalado el estanque, que usualmente es la maleta del mismo.

### ***Problemas en la Extracción***

La obtención de este combustible, al igual que el petróleo, supone la perforación de la tierra utilizando similares técnicas y equipos, por lo que podría causar problemas al generar fracturas que pudiesen contaminar con hidrocarburos reservas subterráneas de agua en los lugares de extracción, este problema se ha presentado en algunas oportunidades en la extracción de Shale Gas.

### ***Riesgos de monopolización***

Si bien las reservas de este combustible son abundantes en el mundo, están ubicadas principalmente en unos pocos países, siendo los sectores más importantes Medio Oriente y los alrededores de Rusia, esto podría significar un riesgo de monopolio del combustible lo que ocasionaría dependencias energéticas internacionales, como hoy ocurre con el petróleo.

## 2.3 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

La utilización de estos combustibles gaseosos en el sector vehicular depende de dispositivos que permiten que el combustible entre a las cámaras de combustión en las condiciones aptas para aprovechar su energía. Para esto, existen dos tipos de vehículos, uno equipado con un kit de conversión que se instala sobre la tecnología a gasolina o diésel que posee el motor y otro que utiliza directamente un motor especialmente diseñado para funcionar con gas. A continuación se presentan la descripción de estas dos alternativas.

### 2.3.1 Vehículos dedicados.

Un vehículo a gas dedicado es un vehículo diseñado especialmente para funcionar con gas vehicular, son producidos directamente por los fabricantes de equipos originales, a diferencia de los que son convertidos posteriormente a su venta. Generalmente este tipo de vehículos son diseñados para el segmento liviano de trabajo, tales como pequeños camiones y servicio de pasajeros. Sin embargo, numerosos fabricantes de camiones han incorporado esta tecnología a sus nuevos modelos. Internacionalmente la mayor parte de los fabricantes de automóvil poseen algún modelo a GNV como prototipo en demostración o en producción. [19]

Algunos ejemplos de los modelos dedicados disponibles en el mercado internacional.

#### **Volkswagen up! (Bi-fuel)**

Estándar de emisiones: Euro 5  
Autonomía combinada: -  
Potencia: 68 CV



#### **Fiat Punto Evo 1.4 8V Natural Power (Bi-fuel)**

Estándar de emisiones: Euro 5  
Autonomía combinada: 1000 km  
Potencia; 70 CV



#### **Mercedes Benz E200 NGT (Bi-fuel)**

Estándar de emisiones: Euro 5  
Autonomía combinada: 1070 km  
Potencia: 163 CV



### 2.3.2 Vehículos convertidos

Estos vehículos también llamados Duales, son aquellos a los cuales se le instaló un segundo sistema de inyección de combustible, el cual lo habilita para utilizar gas vehicular. El sistema adicional de inyección de combustible gaseoso en Chile debe ser certificado por el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV), pasando por un proceso de homologación y puede ser instalado en una serie de talleres autorizados distribuidos a lo largo del país, los cuales son enumerados en la Tabla 2.4 con su respectiva adaptación autorizada. [20]

*Tabla 2.4 Talleres Autorizados para realizar adaptación a Gas en la Región Metropolitana.*

<b>Empresa Habilitada</b>	<b>Taller Autorizado</b>	<b>Tipo de Adaptación Autorizada.</b>
Abastible S.A.	Automotriz Italo Argentina Ltda.	GLP
Futurgas Ltda.	Futurgas Ltda.	GNC
Gritti y Schalchli Ltda.	G.A. Autogas	GNC
Gritti y Schalchli Ltda.(AutogasChile Ltda.)	Halin Ltda.	GNC
Sociedad de Poyectos y Tecnología Gastech Ltda.	Halin Ltda.	GNC
Emaserv S.A.	Bosch Car Service La Florida	GNC
Importadora Distribuidora y Comercializadora Halin Ltda.	Importadora Distribuidora y Comercializadora Halin Ltda.	GNC
Gritti y Schalchli Ltda.	Darío Cortéz	GNC
Italgas S.A.	Taller Italgas	GNC/GLP
Autogasco S.A.	Centro de Experiencia	GNC/GLP
Italgas S.A.	Centro de Experiencia	GNC/GLP

Nomina Talleres Autorizados-Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

Como se mencionó anteriormente, para que un vehículo que fue diseñado para funcionar con un combustible líquido (Gasolina o Diesel) funcione con un combustible gaseoso (GLP, GNC), es necesario incorporar en su configuración normal un conjunto de dispositivos que conforman el sistema de inyección alternativo que se denomina “kit de conversión”, el cual se describe a continuación.

### ***Kit de conversión***

El kit de conversión cuenta con varios accesorios que permiten la utilización del gas como combustible, permitiendo el ingreso de este al motor de combustión interna, estos dispositivos se observan esquemáticamente en la Figura 2.5, donde se enumeran las piezas más importantes que se describen en la presente sección.

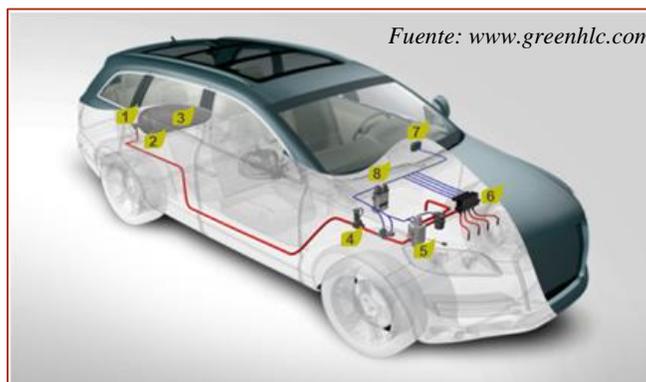


Figura 2.5 Esquema de instalación de Kit de conversión

Existen diversos tipos de kits de conversión, los cuales varían dependiendo de la tecnología del vehículo receptor del kit. Los tipos de kits de conversión se diferencian según generaciones, los cuales poseen diferentes dispositivos. A continuación se describen las principales características de cada generación.

#### ***Primera Generación.***

Este sistema de conversión a GNC permite la sustitución de combustibles líquidos, agrupa tanto a motores con carburador, con encendido con bobinas de ignición. Se introduce la mezcla de aire combustible mecánicamente al motor para posteriormente ser consumido dentro de este. Para alcanzar la mezcla precisa del combustible con el aire se utiliza un dispositivo auxiliar mezclador situado en la entrada de aire del motor.

#### ***Segunda Generación.***

Para motores con inyección, pero sin sensor de oxígeno. Este kit incorpora un accesorio llamado emulador de inyectores, para la inyección de gas en los cilindros y posee la característica de ser regulado electrónicamente además del ajuste manual de la salida de gas. [21]

#### ***Tercera Generación.***

Para motores con inyección multipunto y sensor de oxígeno. Este kit de conversión utiliza un gerenciador (o llave selectora) que cambia el combustible para GNV, dispone de un reductor de presión de 3 fases. Estos kits se consideran auto-calibrados ya que se pone a punto por medio de scanner y el computador a bordo del vehículo, además incorpora un emulador de inyectores de circuito cerrado que supervisa la sonda lambda y a través de un Feed Back se quema mejor el combustible, generando mayor economía y menos emisiones

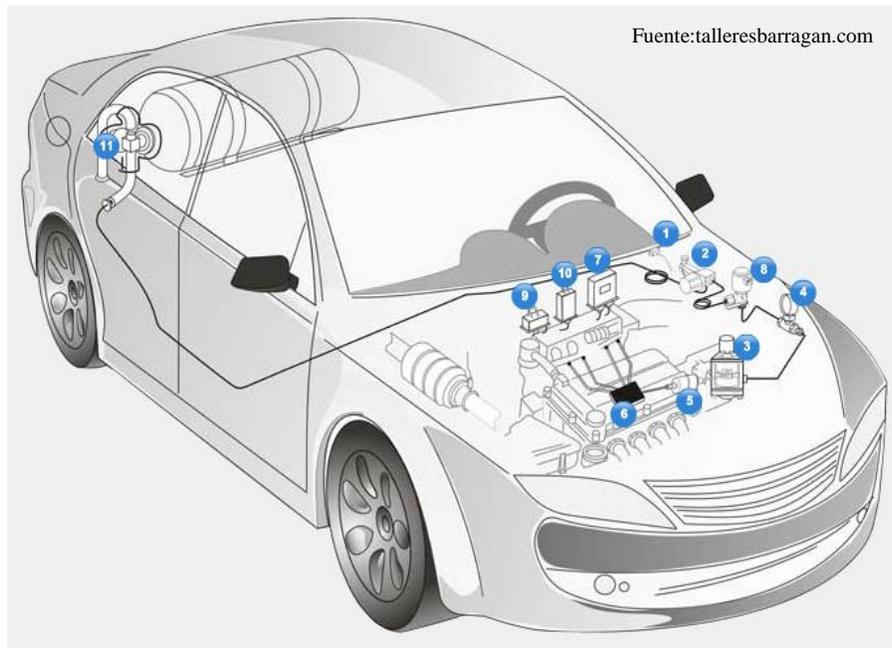
### *Cuarta Generación.*

El circuito de Cuarta generación está compuesto por los mismos componentes que los sistemas anteriores, con la diferencia que el flujo de gas natural es inyectado al motor por un actuador controlado eléctricamente por un microprocesador que mantiene la relación estequiométrica en la mezcla.

Funciona similar a un sistema de inyección de gasolina monitoreando las revoluciones por minuto, la posición del regulador y el sensor de oxígeno; además el sistema ajusta la posición del actuador para alcanzar la mezcla perfecta.

### *Quinta Generación.*

Este tipo de kits permite que el motor del vehículo se comporte con las mismas características que si funcionara con gasolina a distintos estados de carga del motor. A diferencia de los kits de 2da y 3ra generación este sistema no emula el sistema de inyección sino que utiliza los sistemas del combustible líquido para realizar las mezclas necesarias en el motor. A continuación se puede apreciar la configuración del kit de conversión de 5ta generación en la Figura 2.6, donde se enumeran los componentes de éste y se describe la funcionalidad de cada parte. [22]



*Figura 2.6 Esquema de montaje del montaje del kit de 5ta generación.*

**1.-Llave selectora de combustible:** Permite el funcionamiento Dual del motor, optando entre Gasolina o GNC.

**2.-Válvula de carga GNC:** Permite llenar el cilindro de gas, posee una boquilla especial, la cual se puede cargar en diversos puntos de recarga de combustible.

**3.-Reductor de presión de gas:** Permite disminuir la presión desde los 200 bar del cilindro a una presión adecuada para su utilización en el motor.

**4.-Manómetro indicador de nivel de gas:** indica la presión, por lo tanto el estado de carga del estanque.

**5.-Filtro de Gas:** Este dispositivo permite filtrar el gas que se utilizará en la cámara de combustión.

**6.-Rampa de inyectores:** Permite la inyección de combustible en cada uno de los cilindros, varía dependiendo de la cantidad de cilindros del motor.

**7.-Unidad de Control de Motor GNC:** Permite controlar los parámetros del motor independientes para GNC y para gasolina

**8.-Electroválvula:** Permite controlar el flujo de gas que va hacia la rampa de inyectores

**9.-Sensor de presión:** Dispositivo de control que mantiene controlada la presión del sistema

**10.-Variador de avance:** Controla el comienzo y el fin de la combustión, por medio de la gestión de la chispa de encendido de cada ciclo del motor dependiendo de la apertura y cierre de las válvulas

**11.-Válvula de Cilindro:** Permite que el estanque se descargue solo a la presión de utilización, además de permitir el llenado del mismo.

El mercado de kits de conversión en Chile depende netamente del modelo del vehículo receptor, pues la homologación que efectúa 3CV especifica el kit que debe ser instalado en un cierto modelo y marca de vehículo. Existen alrededor de 38 kits disponibles en el mercado para diferentes modelos. A continuación se presentan los kits con mayor presencia en el mercado chileno. [23]

*Tabla 2.5 Modelos homologados para cada marca de kit.*

<b>Marca Kit de conversión</b>	<b>GLP</b>	<b>GNC</b>	<b>Total</b>
Landi Renzo	100	76	176
BRC Gas Equipment	66	59	125
Autogas Italia	69	9	78
LO-GAS	62	13	75
Impco Technologies	31	22	53
AG Autogas Systems	47		47
Pelmag-Lovato		43	43
Tomasetto Achille		36	36
<b>Total</b>	<b>375</b>	<b>258</b>	

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, certificación de vehículos a gas

En la Tabla 2.5 se observa la cantidad de modelos homologados para las principales marcas de kits de conversión, destacando las 5 primeras por poseer alternativas tanto para GNC como para GLP. A continuación se describen las 2 principales marcas de kits de conversión Landi Renzo y BRC Gas Equipment:

#### *Landi Renzo:*

Es una de las marcas líder mundial tanto en tecnología como en ventas de equipos de conversión a gas, se encuentra presente en más de 60 países alrededor del mundo. La marca posee alternativas tanto para GNV como para GLP. [24]

Para el caso del GNV o GNC ofrece alternativas para distintos tipos de vehículos, los que se mencionan a continuación.

- Vehículos con inyección electrónica sin catalizador
- Vehículos con inyección electrónica con catalizador y monitoreo electrónico
- Vehículos con inyección electrónica con catalizador e inyección secuencial

Por su amplia variedad de aplicaciones, esta marca se encuentra certificada en el país para ser utilizada en más de 62 modelos distintos de vehículos.

#### *BRC Gas Equipment*

Esta marca es una de las que lideran el mercado de componentes y equipos de conversión a gas para automotores. Comercializó en 1991 el primer sistema electrónico de control de la carburación, y en 1996 el primer sistema de inyección gaseosa. En la actualidad se encuentra presente en gran parte del mundo, abasteciendo al mercado tanto de vehículos dedicados como convertidos. [25]

En el país, esta marca se encuentra certificada para ser instalada en más de 64 modelos de vehículos tanto de transporte de pasajeros como utilitarios livianos. Posee en el mercado las mismas alternativas de Landi Renzo para distintos tipos de vehículos tanto para GLP como para GNC

## 2.4 GAS NATURAL VEHICULAR EN MERCADO MUNDIAL Y NACIONAL

El gas natural a lo largo de los años se ha situado como una alternativa real en el uso vehicular, aumentando sostenidamente su participación en el mercado automotriz, como se puede observar en la Figura 2.7. Los vehículos que funcionan con GNV han duplicado su número en 5 años, alcanzando los 16,7 millones de unidades al año 2012. Esto demuestra el gran auge que ha tenido este combustible en la última década. [26]

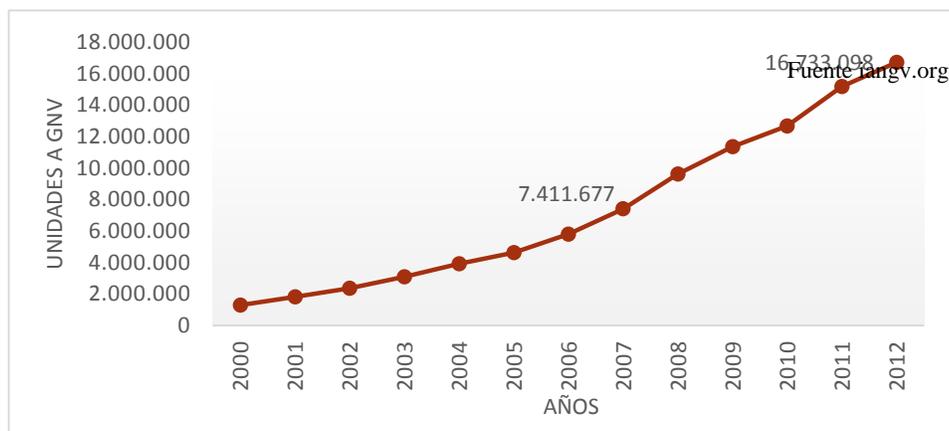


Figura 2.7 Crecimiento vehículos a Gas Natural a nivel mundial

El parque total de vehículos a gas natural se ve especialmente influenciado por los 10 países que se listan en la Tabla 2.6, donde en conjunto poseen poco más el 85% del parque mundial de vehículos a gas natural. En la tercera columna de la Tabla 2.6 se observa el porcentaje de participación que representan los vehículos a gas natural sobre el parque total de cada país, se destacan los casos de Armenia y Pakistán, donde el parque automotriz que funciona con combustible gaseoso supera el 50% del parque total del país. [26]

Tabla 2.6 Países con mayor cantidad de vehículos a GNV y % de participación nacional.

País	Unidades	% de participación por país
Irán	3.000.000	21%
Pakistán	2.900.000	65%
Argentina	2.140.000	17%
Brasil	1.739.676	4%
China	1.577.000	1%
India	1.250.000	2%
Italia	746.470	2%
Ucrania	390.000	5%
Colombia	380.000	8%
Tailandia	358.000	1%
Armenia	244.000	77%

Fuente iangv.org

La penetración de esta tecnología en los países tiene directa relación con la disponibilidad del gas natural, ya sea en términos de valores de mercado o de facilidad de distribución. En la Tabla 2.7 se enumeran los países con mayores reservas de gas natural comprobadas al año 2012, estas

reservas se asocian directamente a los yacimientos de petróleo existentes en el territorio de estos países. [27]

Tabla 2.7 Países con mayores reservas de gas natural comprobadas al año 2012.

País	Reservas comprobadas [mil millones de m3]	% del total
Rusia	44.800	24%
Irán	29.610	16%
Qatar	25.370	14%
Arabia Saudí	7.807	4%
Estados Unidos	7.716	4%
Turkmenistán	7.504	4%
Emiratos Árabes Unidos	6.453	4%
Nigeria	5.292	3%
Venezuela	5.065	3%

La flota a gas vehicular que posee Chile se encuentra muy lejos, en términos de cifras, de los países antes mencionados. Sin embargo, el parque nacional a GNC ha experimentado un gran alza en los últimos años. Como se observa en la Figura 2.8 el número de conversiones a GNC que se acumulan al año 2013 en el país es de 12.157 unidades. [28]

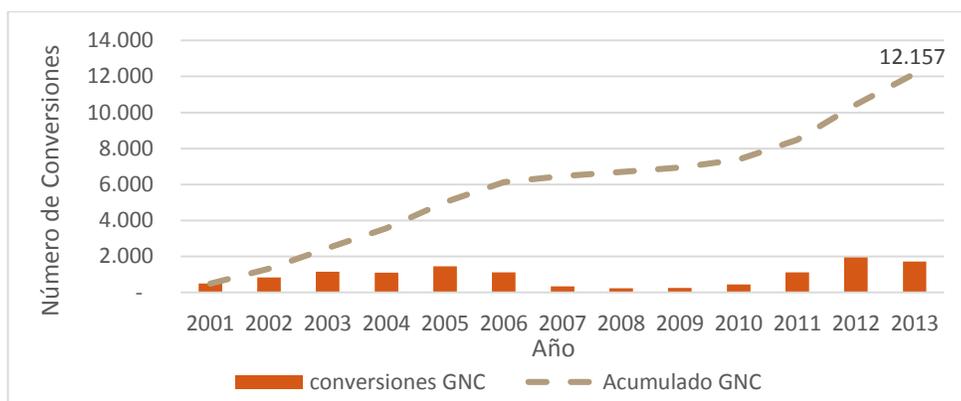


Figura 2.8 Número de Conversiones a nivel nacional.

Se debe considerar que este número incluye tanto vehículos comerciales de transporte de pasajeros como vehículos utilitarios. Si se considera solo el mercado de vehículos de transporte de pasajeros como taxis y colectivos, el número que se alcanza en la Región Metropolitana es de 5.000 unidades convertidas.

Estas 5.000 unidades de vehículos convertidos representan al 14% del parque total de taxis y colectivos de la Región Metropolitana, número que crece año a año a una tasa no despreciable. El año 2009 se proyectaba que al año 2015 en la Región Metropolitana existirían un total de 34.700 vehículos circulando con este combustible, cifra sobre estimada en esa fecha si se observa el parque actual de estos vehículos.

## 2.5 PARQUE DE TAXIS BÁSICOS Y TAXIS COLECTIVOS DE LA RM

El parque de la Región Metropolitana de taxis y colectivos corresponde aproximadamente a 40.000 vehículos de diversas marcas y modelos. La antigüedad máxima de los vehículos de esta naturaleza por mandato de la ley no puede superar los 12 años, sin embargo dentro del parque se encuentran alrededor de 470 vehículos con una antigüedad superior, en general la antigüedad promedio de los vehículos de este sector es de 6,4 años. [1]

En el parque mencionado se pueden encontrar vehículos de múltiples marcas presentes en Chile, siendo las más importantes Nissan, Chevrolet, Toyota y Hyundai. Estas 4 marcas tienen una presencia del 89% del parque total de taxis y colectivos. Los 10 modelos más utilizados como taxis básicos o colectivos son los que se nombran en la Tabla 2.8, los cuales en conjunto abarcan el 92% del parque vehicular de taxis y colectivos en la región metropolitana

*Tabla 2.8 Unidades por modelos con mayor participación en el parque vehicular.*

Marca	Modelo	Gasolina	Diésel	Gas	Total
Nissan	V16	14.017	32	227	14.276
Hyundai	ACCENT	4.091	1.072	44	5.207
Nissan	TIIDA	3.037	13	43	3.093
Toyota	YARIS	2.547	11	7	2.565
Samsung	SM3	2.206	2	18	2.226
Chevrolet	CHEVY TAXI	1.652	99	15	1.766
Chevrolet	CORSA	1.397	3	15	1.415
Chevrolet	OPTRA	923	11	7	941
Nissan	SENTRA	863	4	6	873
Hyundai	ELANTRA	657	11	4	672

Se observa que el modelo con mayor presencia es el V16 de NISSAN, el cual posee una antigüedad promedio de 6,3 años. Sin embargo, no posee algunos de los estándares que se requieren para este tipo de vehículos según las actuales normas de seguridad automotriz, estos estándares corresponden a las barras protectoras laterales, espejos retractiles entre otros. Esto permite inferir que este modelo se encuentra en un proceso de eliminación del parque de taxis y colectivos. Como el modelo V16 presenta este problema, para el presente trabajo se seleccionó el modelo TIIDA, perteneciente al mismo fabricante, el cual posee una antigüedad promedio en el parque de la Región Metropolitana de 2,7 años. Este modelo es el segundo más convertido a GNC desde el 2012 a la fecha, como se observa en la Tabla 2.9, en el transcurso de dos años se convirtieron una cantidad de 186 vehículos.

Tabla 2.9 Ranking de los más convertidos entre 2012-2014

Modelo	Conversiones 2012-2014
SM3	352
TIIDA	186
Accent	51
Yaris	48
Optra	34

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

Las alternativas que ofrece el mercado nacional para vehículos que funcionan con combustible gaseoso son bastante limitadas, existiendo solo la posibilidad de instalar un kit de conversión a un vehículo inicialmente diseñado para funcionar con gasolina. Este proceso solo se puede efectuar si el vehículo cumple con los requisitos generales de seguridad y los dispuestos por las normas chilenas NCh 2102 Of.87 y 2109 Of.87. Actualmente, para realizar la conversión los vehículos deben poseer patente comercial de taxi o vehículo comercial liviano. Además, como se mencionó anteriormente, el modelo se debe encontrar homologado o certificado por el 3CV pues la ley N° 18.502 y el decreto N° 55 de 1998 del Ministerio de Transportes así lo indica. Sin embargo la ley deja abierta la posibilidad a la utilización de vehículos dedicados que sean diseñados especialmente para funcionar con GNC o GLP desde la fábrica, los cuales son homologados por el proceso tradicional de cualquier auto que ingresa al país. Bajo este mecanismo AutoGasco realizó la homologación del primer vehículo particular a Gas licuado, lo que abre la posibilidad de utilización de combustibles gaseosos en mayor proporción del parque.

### Hyundai Accent ecoDrive GLP

En el año 2012 AutoGasco, en conjunto con Hyundai, homologaron la primera versión de un vehículo particular para GLP, el cual en una segunda etapa será homologado para GNC tanto en su versión 1.600 cc como 1.400 cc [29]



## 2.6 EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para medir emisiones de vehículos motorizados, tradicionalmente se utilizan procedimientos estándar en vehículos montados en dinamómetros de chasis, al cual se le aplican ciclos de conducción que simulan el recorrido de los vehículos en condiciones reales. Sin embargo, internacionalmente se han planteado diversos métodos alternativos para el análisis de emisiones vehiculares, entre estos métodos se encuentran:

- Estudios en túneles.
- Sensores remotos.
- Muestreo directo en ruta a bordo de vehículos instrumentados

Los tres métodos poseen tanto ventajas como desventajas, las cuales se describen en la Tabla 2.10. Considerando esta información es que se selecciona la alternativa del método de muestreo directo en ruta a bordo de vehículos instrumentados. La metodología que se debe seguir para utilizar esta alternativa utiliza un montaje portátil de analizadores de gases, los cuales son montados directamente sobre el vehículo analizado. Estos equipos tienen la capacidad de realizar mediciones en tiempo real segundo a segundo

Tabla 2.10 Descripción de métodos alternativos para determinación de factores de emisión [30]

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Estudios en túneles	Un balance de masa es aplicado para medir las concentraciones de material particulado y gases presentes en el aire que ingresa y sale del túnel. Esta metodología ha sido aplicada en varios países de Europa y en Estados Unidos, pero requiere la existencia de un túnel con determinadas características y flujos vehiculares que no se encuentran presentes en la Región Metropolitana de Santiago	(1) es posible medir una gran cantidad de vehículos, obteniéndose emisiones promedio de flotas; (2) es una metodología con buen índice costo/efectividad; (3) no es necesario reclutar vehículos; (4) las mediciones incluyen vehículos altamente contaminantes	(1) típicamente se capturan solo las emisiones generadas durante un modo estabilizado de operación con motor caliente; (2) la circulación en túneles limita la variación de velocidad y aceleración de los vehículos; (3) se obtienen factores de emisión agregados impidiendo una distribución de emisiones por antigüedad del vehículo y tipo de combustible; (4) la presencia de altos emisores pueden afectar los resultados si estos no se efectúan durante períodos largos de observación
Sensores remotos	Técnica usada para medir emisiones de vehículos individuales, cuando estos pasan cerca de un sensor. Rayos de longitudes de onda específicas se proyectan a través de la calle a la altura del tubo de escape, cuya señal es parcialmente absorbida por los contaminantes presentes en el gas de escape. Permite medir CO, HC y CO <sub>2</sub> . Recientemente se han reportado experiencias para determinar emisiones de material particulado en vehículos a gasolina y diesel	(1) permiten mediciones de factores de emisión para vehículos individuales, lo que hace posible desarrollar distribuciones de frecuencia de emisión para distintos parámetros de la flota; (2) es posible medir óptimamente la velocidad y aceleración de los vehículos medidos; (3) método simple y rápido que entrega resultados instantáneos de factores de emisión, evitando interferencias generalmente asociadas a las técnicas de muestreo; (4) la técnica de sensores remotos ofrece las mismas ventajas indicadas anteriormente para túneles	(1) la medición se efectúa durante un período muy corto de operación del vehículo, haciéndola poco representativa de las condiciones existentes en un ciclo completo de conducción; (2) las condiciones de aceleración son limitadas en los puntos de muestreo; (3) las mediciones remotas de material particulado no ofrecen información sobre el carácter químico de las partículas; (4) es una medición indirecta que depende de factores que deben ser calibrados con mucha precisión y complejidad experimental
Muestreo directo en ruta a bordo de vehículos instrumentados	Esta alternativa de medición con equipos analizadores portátiles permite obtener emisiones en tiempo real directamente del sistema de escape de vehículos, operando en condiciones normales de conducción en la vía pública. Los equipos se conectan a la salida del tubo de escape y entregan valores en gramos/kilómetro, mediante un sistema de dilución y medición de flujo de gases	(1) permiten mediciones de factores de emisión para vehículos individuales, permitiendo desarrollar distribuciones de frecuencia de emisión para distintos parámetros de la flota; (2) es posible medir óptimamente la velocidad y aceleración de los vehículos medidos; (3) es posible medir muchos vehículos con costos menores al ensayo con dinamómetro de chasis; (4) genera valores de emisión en tiempo real con intervalos de 1Hz para todos los compuestos simultáneamente	(1) solo captura las emisiones provenientes del sistema de escape, obviando aquellas emisiones debidas a desgaste de frenos y neumáticos o producidas por el desplazamiento del vehículo; (2) los sistemas disponibles comercialmente aún se encuentran en etapa de desarrollo y requieren mayor experiencia de campo para aplicaciones en condiciones reales; (3) su costo efectividad es inferior a las alternativas de medición en túneles o por medio de sensores remotos

Los equipos analizadores de gases pueden ser de diferentes tipos, sin embargo se consideran los sistemas tradicionales de medición utilizados en laboratorios, como lo son el analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR) para medición de CO y CO<sub>2</sub> y el analizador ultravioleta no dispersivo (NDUV) o de luminiscencia química CHLM para óxidos de nitrógeno.

Para el análisis de los datos, paralelamente al medidor de gases en tiempo real, el vehículo debe ser montado con sensores de posición (GPS) y medidores de condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa). De este modo se efectúan las correcciones necesarias por efecto de las

condiciones ambientales existentes en la zona de medición, además de convertir las mediciones volumétricas en mediciones másicas por unidad de distancia (gramos/kilometro).

Considerando los antecedentes descritos en el presente capítulo, es que se realiza la campaña experimental que busca como objetivo el diagnóstico preliminar ambiental de la tecnología de conversión a gas vehicular de vehículos de locomoción colectiva. En los siguientes capítulos se describe la metodología que se llevó a cabo para su realización, así como también los resultados y el análisis de los mismos, para así finalmente realizar el cierre y conclusiones del estudio.

## 3 METODOLOGIA

---

A continuación se presenta la metodología utilizada para la realización de este estudio, de manera de cumplir con los objetivos del capítulo 1 y realizar la medición de emisiones de una flota de vehículos livianos a gas vehicular. La metodología consiste en la instrumentación de una muestra de vehículos, los cuales se describen en la Tabla 3.2, con un analizador portátil de gases, el que registra las emisiones mientras los vehículos realizan un circuito pre-establecido. La metodología consiste en 5 etapas identificadas a continuación:

- Selección de la muestra.
- Determinación del circuito experimental.
- Provisión del equipamiento experimental necesario para los ensayos.
- Diseño de los procedimientos experimentales específicos.
- Procesamiento y análisis de datos.

### 3.1 SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Como se identificó en la Sección 2.4, del parque de automóviles taxis y colectivos se seleccionó al modelo TIIDA como el modelo tipo para este estudio, por ser el segundo modelo más convertido en los últimos años y por poseer una participación considerable dentro del parque de la Región Metropolitana, además de pertenecer a la misma marca y poseer similar motor con el modelo con mayor presencia en el parque (Nissan V16). A continuación se detallan las características del modelo seleccionado.

#### *NISSAN TIIDA*

Este modelo cuenta en Chile con 4 versiones homologadas, dos versiones de 1,6 litros y dos de 1,8, Sedan y Hatch Back. Adicionalmente a los modelos homologados para gasolina, la adaptación para el modelo Tiida ha sido homologada (bajo el procedimiento de medición de emisiones descrito en los Anexos) en dos ocasiones para GLP y certificada para funcionar con más de 8 marcas de kits de conversión tanto para GLP como para GNC. La versión que generalmente se utiliza para aplicaciones de taxis básicos y colectivos es la versión 1,6 Sedan, la cual posee un motor MR16DE de Nissan con tecnología DOHC 4 cilindros y 16 válvulas, con una cilindrada de 1.600 cc, es capaz de desarrollar 106 Caballos de Fuerza a 5.600 RPM, el torque máximo que es capaz de entregar es de 142 Nm. Su motor posee un diámetro de cilindro de 78 mm con un largo de carrera de 83,6 mm, la relación de compresión que se alcanza en la cámara de combustión es de 9,8:1 además posee inyección electrónica multipunto lo que lo habilita para la instalación de kits de 5ta generación. El rendimiento de combustible de homologación con el cual fue aprobado es de 11,3 km/lt en ciudad, 17,8 km/lt en carretera y un consumo mixto de 14,7 km/lt. Equipado

con un estanque de gasolina de 52 litros adquiere una autonomía de 587 km en ciudad, 925 km en carretera y 764 km en régimen mixto.



Figura 3.1 Nissan Modelo Tiida Sedan

El modelo Tiida ha sido homologado tanto para Gasolina como para GLP, para GNC solo fue certificado, proceso que no considera medición de emisiones. En la Tabla 3.1 se presentan los valores de homologación del modelo.

Tabla 3.1 Factores de emisión de homologación para el modelo a Gasolina

Modelo	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HCNM (g/km)
Tiida 1,6 DOHC Sedan 4P. T/M Motor Otto	0,25	0,04	0,01	0,04

Los vehículos a los que se les realizó las pruebas de emisión de contaminantes y se describen en la Tabla 3.2 pertenecen a la línea de colectivos número 5100, la cual efectúa servicio de transporte de pasajeros entre las comunas de El Bosque y San Bernardo. Con punto de partida en la calle Paraíso de la comuna de El Bosque y con punto más lejano de la ruta la esquina de Covadonga con Victoria en la comuna de San Bernardo.

Tabla 3.2 Descripción de los vehículos ensayados

Vehículo	Combustible	Año	Kilometraje
1	GNC/Gasolina	2012	170.000
2	Gasolina	2012	105.549
3	GNC/Gasolina	2012	111.647
4	GNC/Gasolina	2011	222.556
5	Gasolina	2012	106.843

Los vehículos ensayados presentan un desgaste similar entre ellos, presentando mediciones de odómetro bastante similares, a excepción del vehículo 4, el cual fue fabricado el año 2011 a diferencia de los demás vehículos, todos del año 2012.

Los 5 vehículos se encontraban en operación diaria al momento de realizada la campaña experimental, con sus permisos de circulación al día y su certificado de revisión técnica aprobados por las Plantas de Revisión Técnica respectivas.

El recorrido que se observa en la Figura 3.2 corresponde al recorrido que efectúan los vehículos a lo largo del día, posee un largo de 19,3 km. Los vehículos pertenecientes a la línea 5100 son aproximadamente 25, los que según la planilla diaria realizan en promedio 9 vueltas diarias, lo que suma un total de 173,7 km diarios. Según encuestas realizadas a los choferes de la línea, realizan aproximadamente 8 paradas en la ruta para recoger pasajeros lo que implica aproximadamente 1 min por detención. Considerando que demoran en promedio 46 min por vuelta es posible calcular la velocidad promedio de los vehículos.



Figura 3.2 Recorrido Habitual Línea 5100

Se calcula el tiempo efectivo de conducción como:

$$T_e = T_v - 1min * N_d$$

$$T_e = 38 min$$

Donde:

$T_e$	Tiempo efectivo de conducción [min]
$T_v$	Tiempo por vuelta [min]
$N_d$	Número de detenciones [#]

Luego la velocidad promedio queda dada por:

$$\bar{V} = \frac{d}{T_e} = \frac{19,3 Km}{38 min} = 31 km/hr$$

Donde:

$\bar{V}$	Velocidad promedio [km/h]
$d$	Largo de la ruta [km]

## 3.2 DETERMINACIÓN DEL CIRCUITO EXPERIMENTAL

El circuito experimental debe considerar ciertos criterios para su determinación, los cuales influyen en las características de conducción y por ende en el nivel de esfuerzo que se somete el motor del vehículo durante la ruta. Los criterios que se consideraron para este fin son los siguientes:

- Tipo de calle (urbano, autopista)
- Nivel de congestión.
- Ubicación geográfica (con respecto a centro de operaciones).
- Longitud del circuito.

Las calles por las que circulan los vehículos ensayados, corresponden solo a calles del tipo urbanas pues no circulan por autopistas, por esta razón es que la ruta que se diseñó solo considera calles de este tipo. El nivel de congestión que se observó en el recorrido original es bastante similar al recorrido de pruebas, generándose varias detenciones a lo largo de la ruta por efecto de semáforos y atochamiento en las calles.

Como se debe establecer un punto de partida conocido, en donde se instalen los equipos y se realice el proceso de calibración de los mismos, se realiza un trazado alternativo a la ruta que efectúan normalmente los vehículos ensayados. Esta ruta se diseñó considerando la longitud del circuito base además de las condiciones de tránsito (velocidad promedio) que debe sortear el vehículo. El centro de operaciones escogido corresponde al Laboratorio Experimental de Motores del Departamento de Ingeniería Mecánica (LEM-DIMEC) de la Universidad de Chile, el cual se encuentra ubicado en Av. Blanco Encalada 2743.

El recorrido que diariamente realizan los vehículos seleccionados para las muestras es el comprendido entre las calles:

- Paraíso
- Alejandro Guzmán
- Eleuterio Ramirez
- Los Avellanos
- Los Raulés
- Lo Martínez
- Tucapel
- Nueva Imperial
- General Silva
- Vecinal Sur
- Av. Padre Hurtado
- Santa Marta
- San Martín
- O'Higgins
- J.J Pérez
- Covadonga
- Victoria
- Colón
- Freire
- Gran Av. José Miguel Carrera
- Santa Marta
- Av. Padre Hurtado
- Vecinal Sur
- General Silva
- Imperial
- Tucapel
- Lo Martínez
- Los Raulés
- Observatorio
- Los Avellanos
- Eleuterio Ramirez
- Alejandro Guzmán
- Universo

La ruta posee un largo de 19,4 km y contempla segmentos en avenidas principales y en calles interiores. Considerando las variables de la ruta original se seleccionó la ruta demarcada en la

Figura 3.3, la cual inicia en el Laboratorio Experimental de Motores del Departamento de Ingeniería Mecánica y comprende las calles:

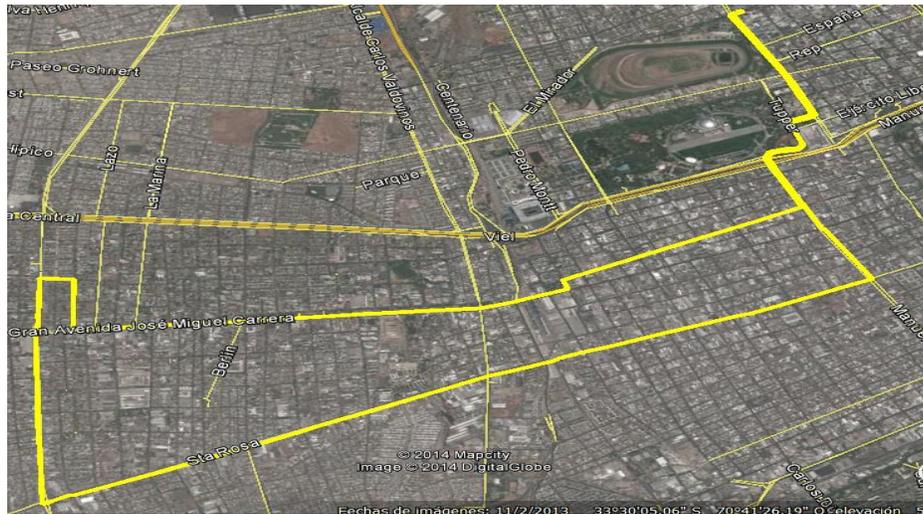


Figura 3.3 Ruta Alternativa para la medición de emisiones

- Unión latinoamericana
- Blanco Encalada
- Av. Matta
- Nataniel Cox
- Bio-bio
- Gran Avenida José Miguel Carrera
- Carlos Edwards
- Gauss
- Departamental
- Santa Rosa
- Av. Matta
- Blanco Encalada
- Abate Molina.

Esta ruta abarca la distancia de 18,6 kilómetros y atraviesa dos comunas, al igual que la ruta original. Por las características de las vías no existe problema de circular a la velocidad promedio calculada anteriormente.

Es importante destacar que el centro de operaciones seleccionado es un recinto cerrado donde se ofrecen condiciones de seguridad a los vehículos y equipamiento, con amplio espacio para estacionamiento, y no genera gastos adicionales.



14. Línea de Escape
15. Correas de Sujeción
16. Abrazaderas varias
17. Regulador de presión Gas Zero y Gas SPAN
18. Líneas de gases
19. Cables de poder a la batería SEMTECH

Los accesorios numerados anteriormente deben ser instalados según un protocolo de montaje experimental sobre el vehículo a ensayar, el procedimiento que se llevó a cabo para este fin se describe a continuación:

1. Se conectó al SEMTECH G los accesorios Antena Wireless, antena GPS Garmin, cable AUX 2, cable de poder SEMTECH, sensor de temperatura y humedad.
2. Al cable de poder SEMTECH se conectó la fuente de poder de 70 amperes, la cual alimenta el SEMTECH G y permite su encendido.
3. Al cable AUX 2 que se conectó en el paso 1, se le adicionó el cable de Flow Meter a SEMTECH, el cual fue conectado al Flow Meter que se utilizó, permitiendo así comunicación entre SEMTECH G y el Flow Meter.
4. Una vez finalizados los pasos 1, 2 y 3 se enciende el equipo con el botón de poder, lo que desencadena el proceso de calentamiento del equipo “Warming Up” (Proceso que toma alrededor de 45 min).



Figura 3.5 Montaje instrumentos necesarios SEMTECH G, en cuadros rojos se indica el número

5. Paralelamente al calentamiento de equipo se montaron los accesorios que permiten guiar el curso de los gases de escape hacia los sensores del equipo, se instaló el adaptador de silicona al tubo de escape, el cual se sujeta por medio de abrazaderas al ángulo de acero que conecta la línea de escape.
6. Se montó el tubo del flujómetro, previamente unido a las ventosas, sobre el maletero del vehículo a ensayar.
7. Se sujetaron las ventosas por medio de correas a la puerta del maletero del vehículo.

8. Se conectó la línea de escape por medio de abrazaderas al tubo del flujómetro, siguiendo la dirección del flujo que indica el tubo.



Figura 3.6 Montaje instrumentos sobre el vehículo, en rojo se indica el número de accesorios

9. Una vez conectado todo el equipo, se montó sobre el vehículo a ensayar, la posición escogida fue el asiento trasero, por comodidad y dimensiones necesarias.
10. Una vez montado el equipo se conectan los cables del tubo del flujómetro, y la línea SAMPLE, lo que permite la comunicación de los sensores del tubo con el SEMTECH G.
11. Posterior al montaje del equipo en el vehículo, se procedió a realizar la calibración de éste, se conectan las líneas de gases previamente instaladas en las válvulas reguladoras de presión del gas ZERO y del gas SPAN. Y se realiza la calibración por medio del software del equipo.
12. Luego de la calibración se conectó la batería de 12 Volt por medio del cable de poder en Y SEMTECH, se inicia la adquisición de datos, se desconecta la fuente externa y se dio inicio a la ruta experimental.

### **3.4 DISEÑO DE LOS PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES ESPECÍFICOS**

Una vez finalizado el montaje experimental necesario para comenzar la etapa de mediciones se procede a ella, por lo que se realiza el recorrido mencionado en la **Sección 3.2** y se monitorean los equipos de adquisición de datos por medio de un computador conectado inalámbricamente al equipo. Esta campaña experimental, como se mencionó en la **Sección 3.1**, consistió en la medición de 5 vehículos NISSAN modelos TIIDA, 3 a GNC y 2 a Gasolina, pertenecientes a la línea 5100 de colectivos, los cuales siguieron la ruta predefinida que se describió anteriormente.

Los vehículos que cuentan con el kit de conversión a GNC se midieron en dos oportunidades, dando cuenta de las emisiones de sus dos modos de circulación, con combustible alternativo y con combustible convencional. Mientras que el vehículo que no posee kit de conversión, solo se mide en el modo gasolina en la misma ruta predefinida.

Los resultados obtenidos de las mediciones en ruta de todos los vehículos permiten comparar los niveles de emisiones contaminantes de los diferentes modos, realizándose así un diagnóstico de la tecnología de kits de conversión a GNC.

Los test se realizan a distintos vehículos y en distintos días, por lo cual los vehículos de pruebas se encuentran con: condiciones de tránsito distintas, forma diferentes de conducción, condiciones ambientales diferentes, etc. Por esta razón es que se requiere un mecanismo de normalización de las mediciones, es por ello que se utiliza la metodología de potencia específica vehicular (VSP), para asignar niveles de emisión a distintos niveles de esfuerzo del motor.

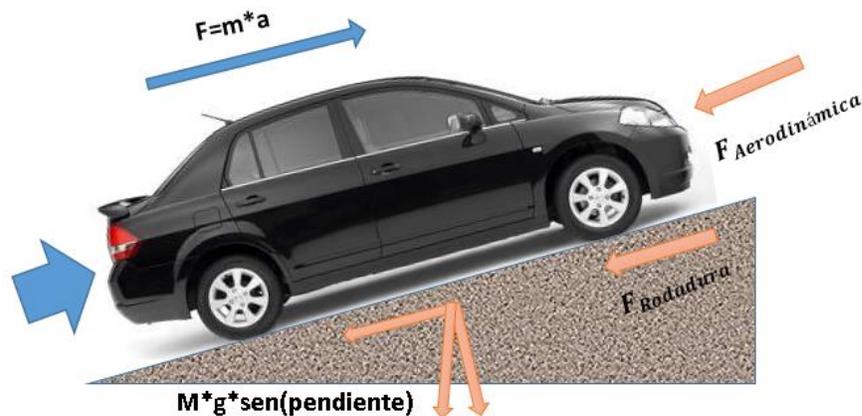
#### **3.4.1 Potencia específica vehicular (VSP)**

La potencia específica vehicular o VSP por sus siglas en inglés, corresponde a la potencia que requiere un vehículo, por unidad de peso, para moverse en determinadas condiciones. Se mide en unidades de kilo Watt por tonelada y representa el estado energético de un vehículo en un instante. El análisis de esta variable es considerado el mejor método para estimar emisiones vehiculares, según modelos internacionales como International Vehicle Emissions (IVE) y Motor Vehicle Emissions Simulator (MOVES). El desarrollo teórico de la metodología utilizada, se encuentra ampliamente reportado en literatura especializada. [31] [32]. La metodología ocupada por IVE permite derivar el VSP por medio de la obtención de la velocidad, aceleración y diferencia de altura segundo a segundo en una ruta predeterminada. Una vez obtenido los datos respecto de VSP se relacionan con el estado de emisiones contaminantes.

### Determinación de VSP

La metodología para determinar la potencia específica vehicular en un vehículo se observa en la Figura 3.7, donde esquemáticamente se distinguen todos los términos considerados para la determinación del parámetro VSP. En la figura se identifican fuerzas cinética, potencial, de rodadura, aerodinámica y por roce mecánico del vehículo en desplazamiento.

Figura 3.7 Fuerzas involucradas en el movimiento de un vehículo



Todas las fuerzas son consideradas para obtener la ecuación de VSP, la cual por medio de una simplificación puede quedar determinada por medio del conocimiento de la velocidad, la aceleración y la pendiente instantánea que enfrenta el vehículo.

$$VSP = \frac{\frac{d(E_{cinetica} + E_{potencial})}{dt} + F_{Rodadura} * V + F_{Aerodinamica} * V + F_{internalfriccion} * V}{m}$$

Despejando la fórmula de VSP queda determinada por tres parámetros.

$$VSP = v[1,1 \cdot a + 9,81 \cdot \text{Sin}(\text{Tan}^{-1}(h_{i=0} - h_{i=-1})) + 0,132] + 0,000302 \cdot v^3$$

Donde:

$VSP$	:	Potencia Especifica Vehicular [kW/Ton]
$v$	:	Velocidad [m/s]
$a$	:	Aceleración [ $m/s^2$ ]
$h_i$	:	Altitud en el tiempo $i$

El modelo IVE propone separar los niveles energéticos en grupos según el VSP de cada instante, estos niveles reciben el nombre de “Bins”, existen 20 niveles energéticos, los cuales se pueden observar en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Límites superiores e inferiores para la asignación de BIN. [33]

Grupo BIN	VSP [kW/Ton]	
	Inferior	Superior
0	-80,0	-44,0
1	-44,0	-39,9
2	-39,9	-35,8
3	-35,8	-31,7
4	-31,7	-27,6
5	-27,6	-23,4
6	-23,4	-19,3
7	-19,3	-15,2
8	-15,2	-11,1
9	-11,1	-7,0
10	-7,0	-2,9
11	-2,9	1,2
12	1,2	5,3
13	5,3	9,4
14	9,4	13,6
15	13,6	17,7
16	17,7	21,8
17	21,8	25,9
18	25,9	30,0
19	30,0	100,0

Cada segundo de medición tiene asociada una velocidad, aceleración y altitud, lo que genera un VSP por segundo, estos son agrupados según el BIN de exigencia del motor al que pertenecen.

### 3.4.2 Procesamiento y análisis de datos.

Una vez concluida la campaña experimental de medición en ruta se procede con el procesamiento de los datos de los equipos utilizados para las mediciones de cada uno de los vehículos. Este proceso se ejecutó a través de la metodología descrita a continuación.

- Resultados de las calibraciones: cada calibración genera resultados que son relevantes para la medición misma.
- Correcciones por variables ambientales: los equipos analizadores de gases utilizados, realizan la corrección de las concentraciones de gases considerando valores instantáneos de humedad relativa, de forma automática según estándares internacionales.
- Alineación de tiempo: las mediciones de distintos gases se realiza por distintos módulos dentro del equipo, por lo que se debe alinear las variables medidas, entre ellas: velocidad, medición de flujo, analizadores, etc (Figura 3.8)
- Emisiones directas: análisis de las emisiones directamente obtenidas bajo las condiciones de conducción existentes en la ruta definida. Generando factores de emisión por BIN
- Análisis grupal: determinación de emisiones por tecnología utilizada, realizando la separación entre Gasolina Convencional, Gasolina Convertida, GNC.

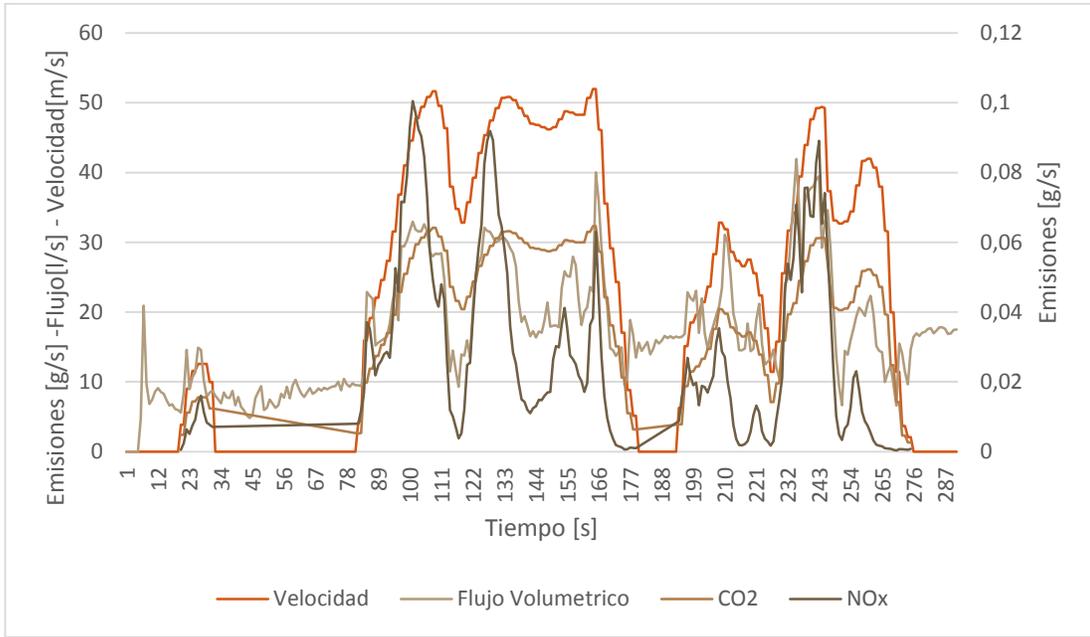


Figura 3.8 Parámetros de Salida alineados según el flujo volumétrico de escape Test 1 Vehículo GNC

## 4 RESULTADOS

La campaña experimental constó de once test de mediciones, en los cuales se recogieron datos de cuatro vehículos NISSAN TIIDA. De las once mediciones tres de ellas se efectuaron a un vehículo a combustible convencional, otras tres mediciones a vehículos convertidos en modo gasolina, y seis mediciones en combustible alternativo GNC. Resultados Ruta

De las mediciones que se realizaron, se obtienen diferentes parámetros que permiten realizar diferentes análisis. Entre ellos se obtienen los datos que genera el GPS que posee el SEMTECH G, estos parámetros permiten reproducir la ruta que efectuó cada vehículo. Además de identificar las velocidades a las que el vehículo realizó la ruta de mediciones, parámetro que permite asignar un VSP a cada segundo.

Los parámetros GPS que genera el SEMTECH G son: Latitud, Longitud, Altitud y Velocidad Relativa, las cuales se pueden representar tanto en un gráfico de dos ejes como directamente en una herramienta de imágenes satelitales como se observa en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Parámetros GPS, latitud y longitud en gráfico de dos ejes y en representación satelital

Además de los parámetros respecto de la posición global, el GPS que dispone el SEMTECH G también entrega valores respecto de la velocidad relativa del vehículo.

Para las ruta realizada por los vehículos es posible determinar la velocidad relativa de cada uno, para así identificar la distancia que estos recorrieron además del tiempo que le tomó en recorrerla. De este modo se genera la Tabla 4.1 donde se observa la distancia, velocidad y duración de cada ruta.

Tabla 4.1 Velocidades promedio, distancia recorrida y duración para cada test

Test	Tipo	Combustible	Distancia Recorrida [km]	Velocidad Promedio [km/hr]	Duración [min]
1	Convertido	GNC	18,5	22,5	49,30
2	Convertido	Gasolina	11,1	23,0	29,02
3	Convencional	Gasolina	18,4	22,6	48,76
4	Convertido	GNC	18,4	21,9	50,53
5	Convertido	Gasolina	18,5	22,6	49,26
6	Convertido	GNC	18,5	22,6	49,20
7	Convertido	GNC	18,4	21,5	51,40
8	Convertido	Gasolina	18,4	23,4	47,48
9	Convertido	GNC	2	16,3	7,55
10	Convencional	Gasolina	16,3	18,7	52,49
11	Convencional	Gasolina	15,4	21,2	43,77

Si bien la distancia recorrida por todos los test debiese ser la misma, se presentan irregularidades en la medición, esto tiene explicación en el test 2 y 11 por la descarga de la batería que provocó que el SEMTECH G se apagara, registrando mediciones solo hasta el minuto 29 en el primer caso y 43 en el segundo. La irregularidad en el test 9 se explica por haber sido solo un recorrido de pruebas para verificar el estado de los dispositivos, sin embargo se registran mediciones de igual manera que aportan al análisis. Para el caso del Test10, que si bien es una ruta normal, se presentaron condiciones de tránsito anormales con respecto a los otros test. Como se puede observar en esa prueba la velocidad promedio solo alcanzó los 18 km por hora, lo que indica el alto nivel de tráfico que debió enfrentar el vehículo.

## 4.1 RESULTADOS DE EMISIONES

Además de los parámetros del GPS, el SEMTECH G genera como principal medida las emisiones contaminantes recogidas por la línea de escape, la cual es procesada y analizada, para entregar valores en g/s de los contaminantes analizados. Los parámetro de emisiones que genera el SEMTECH G son básicamente 4: *THC*, *CO<sub>2</sub>*, *CO*, *NO<sub>x</sub>*. Sin embargo, para la realización de esta campaña experimental el dispositivo presentó desperfectos técnicos que impidieron la recopilación de todas las variables. A continuación se presenta una descripción de las variables recogidas por el equipo

### 4.1.1 FLUJO DE ESCAPE

La variable flujo de escape se encuentra determinada por el tubo del flujómetro instalado en la línea de escape. El SEMTECH G entrega resultados de esta variable en litros por segundo. Con este valor se determinan el resto de las emisiones que están dadas en ppm o porcentaje, por lo tanto es importante sincronizarla correctamente con el resto. Se considerará la variable flujo de escape como la variable independiente, por lo tanto las demás variables se verán afectadas por la metodología de alineamiento.

#### **4.1.2 EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

El analizador ultravioleta no dispersivo entrega como resultados los niveles de  $CO_2$  y  $CO$  presentes en la muestra de gases de escape, estos valores se presentan como un porcentaje del flujo total de escape, por lo que es de gran importancia alinear bien los datos con respecto al primero. El estudio de este gas contaminante es de suma importancia, pues es uno de los responsables del calentamiento global, además de ser la reducción de este una causante del aumento de la utilización de kits de conversión a GNC.

#### **4.1.3 EMISIONES DE CO**

Al igual que el  $CO_2$  el  $CO$  es un valor entregado por el analizador ultravioleta no dispersivo. Este valor es entregado en porcentaje del flujo volumétrico de escape, por lo que al igual que el  $CO_2$  es de suma importancia alinearlos correctamente. En las mediciones realizadas en la campaña experimental, se detectó una anomalía en la detección de este gas, presentándose en ocasiones valores negativos, lo cual no tiene aparentemente un sentido físico, sin embargo se procesó este gas de igual manera realizando una normalización para transformar estos valores negativos a positivos, sumando a todo el sistema el valor más negativo que se alcanzó en el desarrollo de la campaña experimental. En el análisis de resultados se desarrolla la explicación de este ajuste.

#### **4.1.4 EMISIONES DE NO<sub>x</sub>**

A diferencia del  $CO_2$  y el  $CO$ , el  $NO_x$  es procesado por el SEMTECH G en unidades de partes por millón. Sin embargo también está referenciado a flujo total de gases de escape que se mencionó anteriormente. Por ello que también debe ser alineado correctamente. Gran parte del análisis de los resultados se basaron en la comparación de este gas entre las diferentes tecnologías, pues se tiene como antecedente que el GNC, al tener un mayor poder calorífico, generaría mayor temperatura en la cámara de combustión, lo que produciría una mayor emisión de este gas contaminante.

En la Figura 4.2 se presentan los gráficos en función del tiempo de las emisiones de cada contaminante, en ella se puede observar las diversas detenciones y cambios de velocidad que experimentaron los vehículos en las condiciones de la ruta definida.

#### **4.1.5 ALINEAMIENTO DE RESULTADOS**

Las series de emisiones de gases presentan diferentes desfases respecto unas de otras, esto tiene explicación en parte por un delay entre los distintos sensores de la máquina, por lo tanto se debe desarrollar una metodología de alineación de los datos. Para ello se utiliza una función del programa Excel, que permite mover una serie en función de otra, de este modo y observando el

*Figura 4.2. Emisiones de contaminantes en función del tiempo, Resultados para el Vehículo 1*

gráfico se alinean segundo a segundo de modo tal que los principales peaks de emisiones coincidan con los puntos donde el motor se encontró con mayor exigencia.

Como se mencionó anteriormente, tanto las emisiones de contaminantes como la velocidad, para efectos de la alineación de resultados dependerán de la medición de flujo de escape, tomándose esta última como variable independiente que permite alinear a las demás. Es por ello que en la Tabla 4.2 se observa que el flujo de escape no presenta corrimiento respecto de sí mismo.

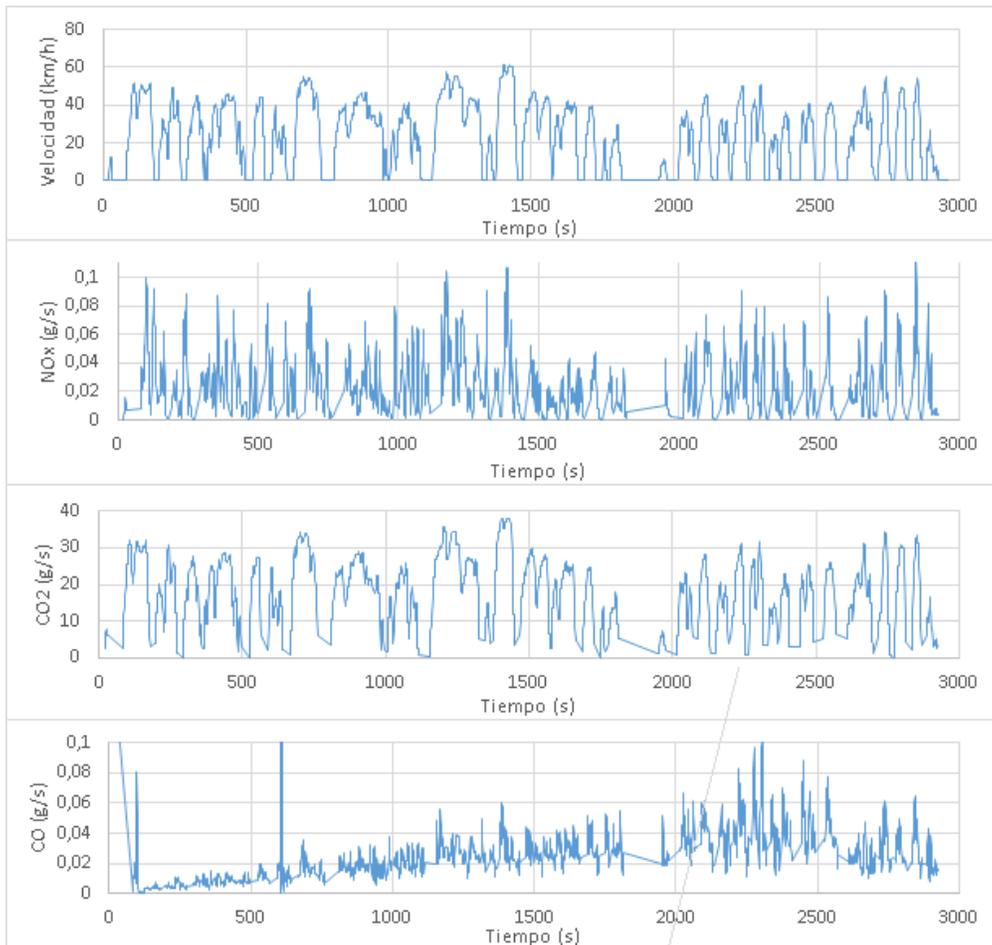


Tabla 4.2 Ajuste de las emisiones respecto del flujo de escape

Test	NOx	CO <sub>2</sub>	Flujo Escape	Velocidad
1	6	3	-	5
2	5	5	-	5
3	6	6	-	5
4	9	6	-	5
5	4	13	-	4
6	4	3	-	6
7	2	3	-	5
8	6	3	-	6
9	0	0	-	5
10	4	8	-	5
11	4	1	-	7

Una vez alineados los datos de emisiones, se cuenta con un valor de emisiones para cada contaminante así como también una velocidad para cada segundo de muestreo. De este modo es posible determinar un valor de VSP para cada segundo por medio de asignación de aceleraciones.

Para determinar la aceleración (valor que no se obtiene directamente desde el SEMTECH G) es que se realiza un mecanismo de asignación, para determinar la aceleración se tiene que:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}$$

Donde:

- $\vec{a}$  : Aceleración
- $dv$  : Diferencial de velocidad
- $dt$  : Diferencial de tiempo

Desde el SEMTECH G se tienen los datos respecto de la velocidad segundo a segundo, por lo tanto, si se considera el diferencial de tiempo  $dt = 1$  se tiene que:

$$\vec{a}_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{1}$$

Donde:

- $\vec{a}_i$  : Aceleración en el instante i
- $v_i$  : Velocidad en el instante i

De este modo se obtiene una aceleración por cada instante de tiempo  $i$ , sin embargo, el muestreo de la velocidad que efectúa el SEMTECH G, presenta algunas irregularidades que afectan el cálculo de la aceleración punto a punto, sin embargo esta se suavizó por medio de un mecanismo que realiza promedios móviles dependiendo si se presenta o no la irregularidad de medición de velocidad.

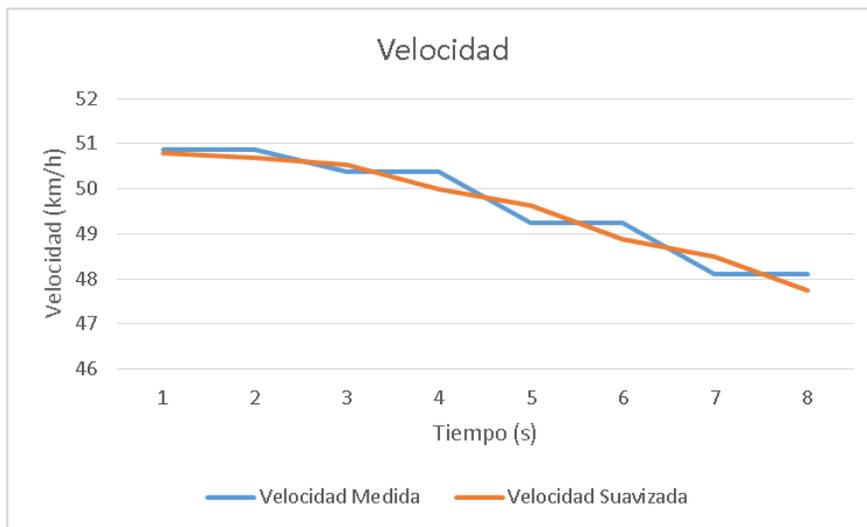


Figura 4.3 Suavización de la velocidad por promedios móviles

El mecanismo consulta si en el segundo anterior o posterior el valor de la velocidad es igual al del instante actual, si encuentra algún valor igual, realizara un promedio entre los 5 valores que rodean al punto. De este modo se suaviza la curva de velocidad, ya que con la curva original se presentaban valores de aceleración irregulares. Como se puede observar en el tiempo  $t=5$  y  $t=6$  de la Figura 4.3 las velocidades presentan un valor idéntico, calculándose así un valor para la aceleración igual a 0 en ese instante, lo cual distorsiona el cálculo final de VSP.

## 4.2 RESULTADOS DE ASIGNACIÓN DE VSP

Una vez alineados los datos de salida del SEMTECH G y suavizada la velocidad, es posible determinar un valor de VSP para cada segundo. De este modo asignar los valores de emisiones a un valor de potencia específica vehicular según corresponda.

En la Sección 3.4.1 se indica que la fórmula de la potencia específica vehicular, está dada por:

$$VSP = v[1,1 \cdot a + 9,81 \cdot \sin(\tan^{-1}(h_{i=0} - h_{i=-1})) + 0,132] + 0,000302 \cdot v^3$$

Donde:

$VSP$	:	Potencia Específica Vehicular [kW/Ton]
$v$	:	Velocidad [m/s]
$a$	:	Aceleración [ $m/s^2$ ]
$h_i$	:	Altitud en el tiempo $i$

Si bien entre los datos del salida del SEMTECH G se cuenta con la altitud en cada segundo, se ha determinado despreciar este término, pues la pendiente que posee la ruta predefinida es bastante despreciable segundo a segundo, alcanzándose una inclinación máxima de 0,8% lo que no significaría una gran exigencia para el motor del vehículo, por lo tanto la fórmula que se utiliza para determinar la potencia específica vehicular estará dada por:

$$VSP \left[ \frac{kW}{Ton} \right] = v[1,1 \cdot a + 0,132] + 0,000302 \cdot v^3$$

Donde  $a$  y  $v$  corresponden a los mismos valores mencionados anteriormente.

De los valores generados por el GPS montado internamente en el SEMTECH G se obtiene directamente la velocidad relativa del vehículo con respecto al piso, de este modo se tiene plenamente definida una variable de la fórmula de VSP. Sin embargo la otra variable se debe determinar por medio de un breve procedimiento.

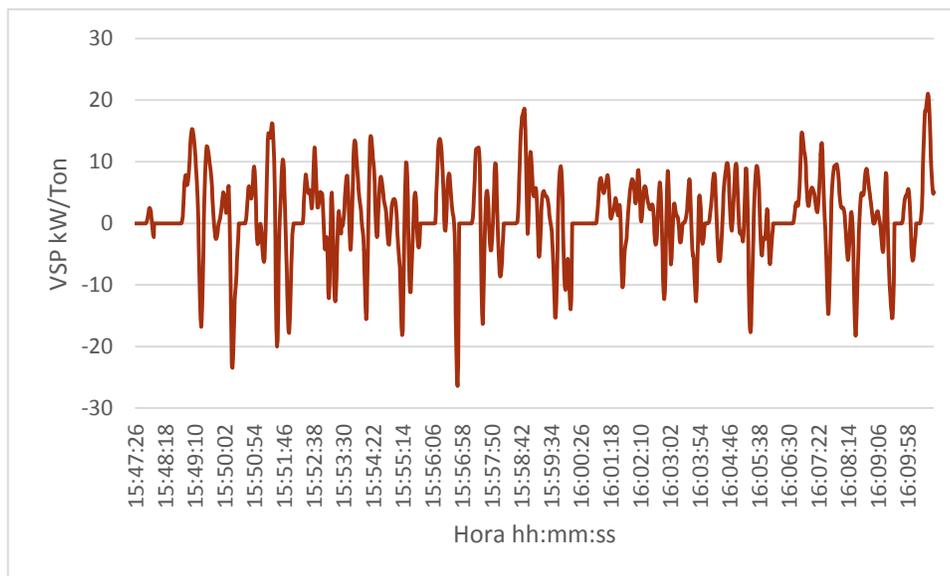
Se sabe que la aceleración de un cuerpo está dada por:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}$$

Por lo tanto al tener el valor de la velocidad en cada uno de los instantes de tiempo, solo basta definir el  $dt$  del muestreo para obtener una aceleración asociada a cada instante, si se considera  $dt = 1$ , se tiene que:

$$\vec{a}_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{1}$$

Donde  $v_i$  representa a la velocidad en un instante  $i$  de este modo, de la serie de velocidad para cada test, se obtiene una serie de aceleraciones que permite definir la potencia específica vehicular de cada punto. Como se observa en la Figura 4.4 donde se presentan los valores hasta aproximadamente el minuto 20 de la medición del vehículo 1 en el Test 1, en ella se puede observar los momentos de detenciones que se presentan entre altos y bajos peaks de VSP. Esto se explica por la gran cantidad de detenciones que presentó la ruta.



*Figura 4.4 VSP Segundo a Segundo Vehículo 1 Test 1*

La Potencia Especifica Vehicular VSP, como se mencionó en las secciones anteriores, es la variable que describe de mejor manera los estados energéticos de un vehículo, por lo tanto sus niveles de emisiones contaminantes. De esta forma se utiliza esta variable para comparar las emisiones que se registraron en las múltiples mediciones realizadas en esta campaña experimental, ya que al haberse realizado en días, horas y a vehículos distintos es importante obtener un valor por el cual normalizar las mediciones, para que la comparación de estas sea válida.

En la Figura 4.5 se muestra el porcentaje de conducción que los vehículos mantuvieron en cada ruta, donde se asignan los valores de VSP a BINs según lo descrito en la Sección 3.4.1, para de este modo agrupar los estados energéticos del vehículo en valores más discretos que el VSP. En la Figura 4.5 se observa claramente como un gran porcentaje de la conducción en zonas urbanas se realiza en ralentí, lo que otorga un gran porcentaje al BIN 11, el cual abarca el margen entre -2,9 y 1,2 kW/Ton. Esto se explica por la gran cantidad de detenciones que realizaron los vehículos a lo largo de la ruta por efecto de semáforos y atochamiento en general.

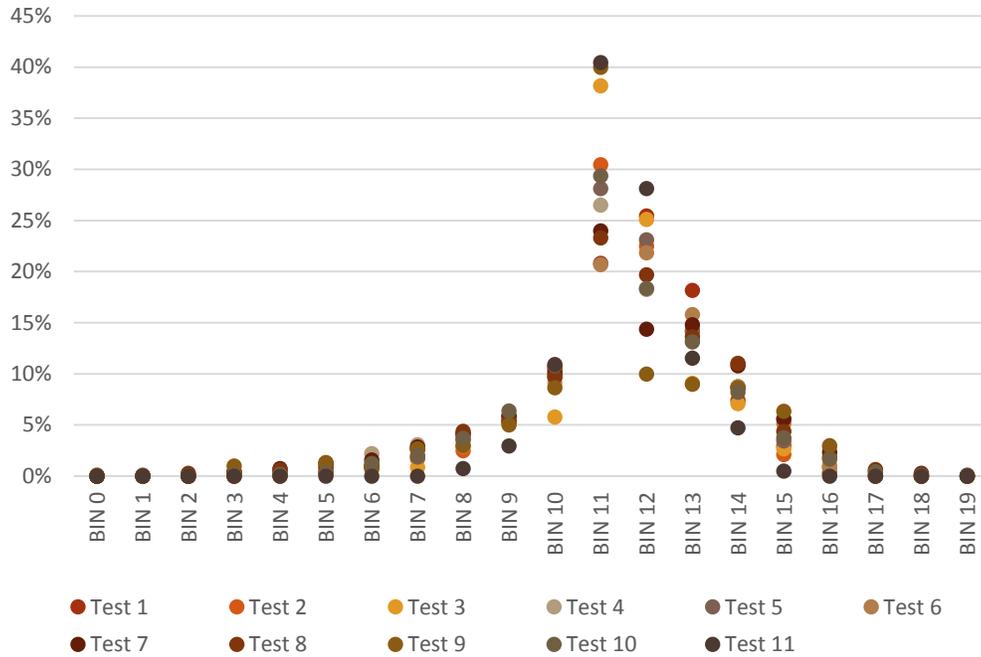


Figura 4.5 Porcentaje de conducción en cada BIN de todos los test

El test que presentó mayores cantidades de instantes en el BIN 11 con un 40% fue el Test 11, el que justamente fue desarrollado en condiciones anormales de tráfico, teniéndose un importante atochamiento en la calle Blanco Encalada al inicio y fin de la ruta. El Test que menor cantidad de instantes en ralentí se mantuvo fue el test 6 que corresponde a la ruta en GNC del vehículo 3.

### 4.3 RESULTADOS DE ASIGNACIÓN DE EMISIONES

Si bien se mencionó anteriormente que el VSP es el mejor predictor de las emisiones de un vehículo, se debe efectuar la validación de esta afirmación. Por ello es que se presenta la comparación entre las correlaciones entre las emisiones de  $NO_x$  con la velocidad, Aceleración y VSP, para determinar entre esas tres variables el mejor parámetro para correlacionar las emisiones.

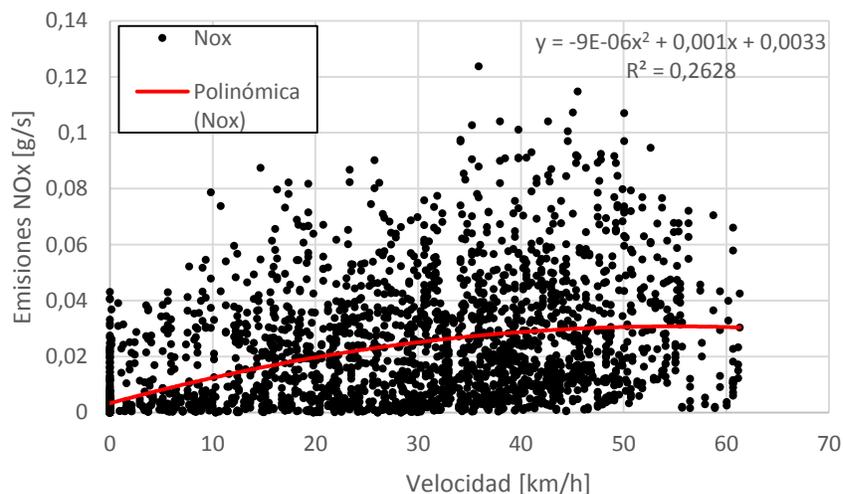


Figura 4.6 Emisiones de  $NO_x$  versus Velocidad

En la Figura 4.6 se observa la dispersión de las emisiones en todo el rango de velocidades, la que como se observa es bastante alta, si se realiza una aproximación por una línea de tendencia polinomial de orden 2 se obtiene un factor  $R^2$  de 0,26.

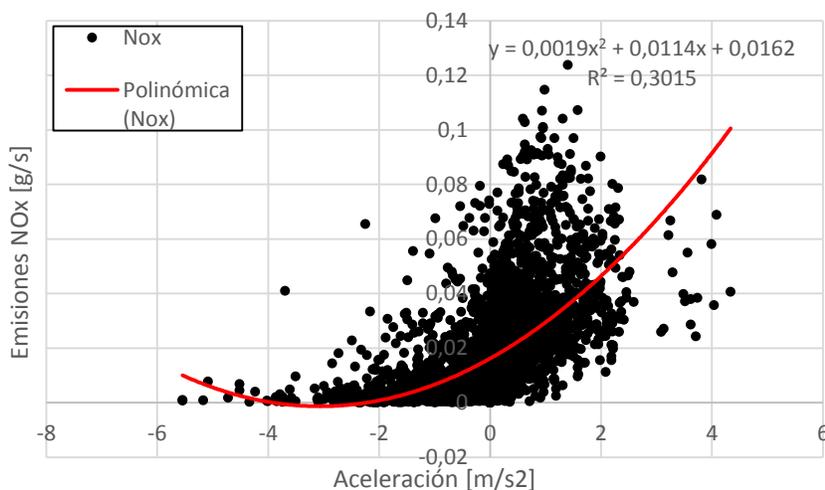


Figura 4.7 Emisiones  $NO_x$  versus Aceleración

En la Figura 4.7 se presenta la relación entre las emisiones del contaminante NOx y la aceleración, en donde se observa la línea de tendencia que se obtiene de la aproximación lineal de orden 2 que entrega un factor  $R^2$  de 0,51, el cual es mayor al de la velocidad, lo que denota una mayor correlación de esta variable.

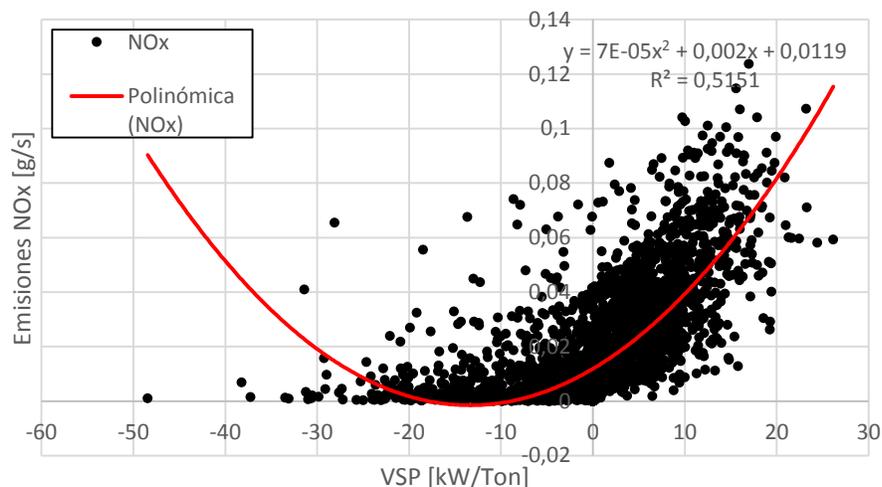


Figura 4.8 Emisiones de NOx versus VSP

En tercer lugar en la Figura 4.8 se presenta la relación entre emisiones y potencia específica VSP. Se observa para este caso que la misma aproximación polinomial de orden 2 genera un valor de  $R^2$  de 0,51 lo que significa que la aproximación es mucho más precisa para este caso, lo que confirma la afirmación establecida al principio de la sección.

#### 4.4 RESULTADOS DE VSP POR TEST

Según lo observado en la **Sección 4.2** se utiliza la variable VSP para comparar las emisiones de cada una de los test. El estado energético de los vehículos pasa por los 19 BIN que se definieron en la **Sección 3.4.1** con porcentaje de presencia de cada BIN según el resultado de la Figura 4.5, donde el porcentaje representa el tiempo que el vehículo se encuentra en cada BIN en comparación con el total de segundos que el vehículo estuvo circulando.

Si se asignan las emisiones contaminantes según el estado energético de los vehículos, se obtiene la Figura 4.9 donde se observa el gráfico de emisiones por cada test. En la figura se aprecia como las emisiones contaminantes aumentan a medida que el VSP también lo hace, según se había analizado en la sección anterior. En la Figura 4.9 se distingue que las emisiones contaminantes de  $CO_2$  de cada test, son bastante similares, aun considerando el estilo de conducción diferente, los vehículos diferentes, condiciones ambientales e incluso la utilización de distintos combustibles.

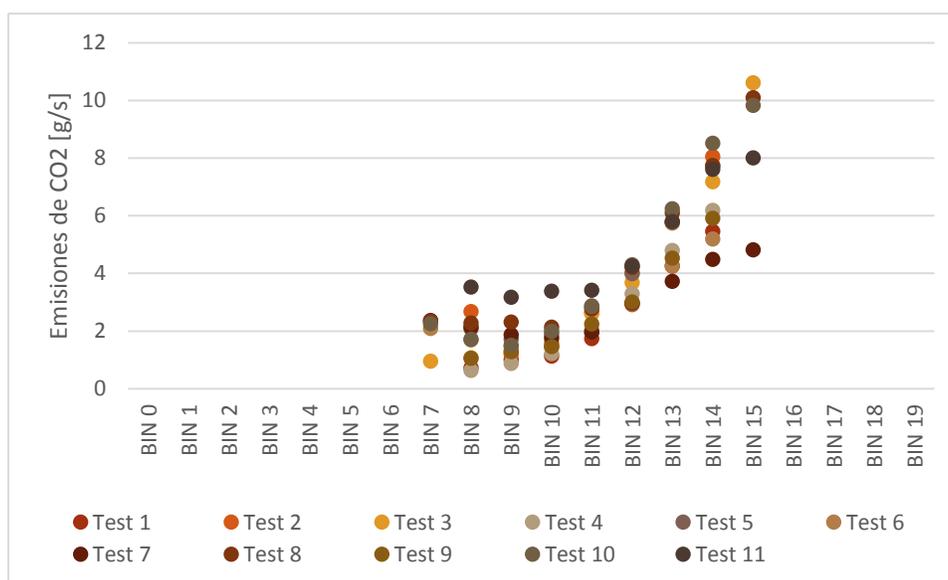


Figura 4.9 Emisiones de  $CO_2$  según estado energético

Del mismo modo que para el  $CO_2$  se realiza el ejercicio comparativo para el contaminante  $NO_x$ , donde se obtiene el gráfico que se presenta en la Figura 4.11, en ella se observan las emisiones de todos los test, donde se graficó según el eje secundario las emisiones del Test 1, ya que al ser muy superiores al resto no permitía observar la tendencia de las emisiones.

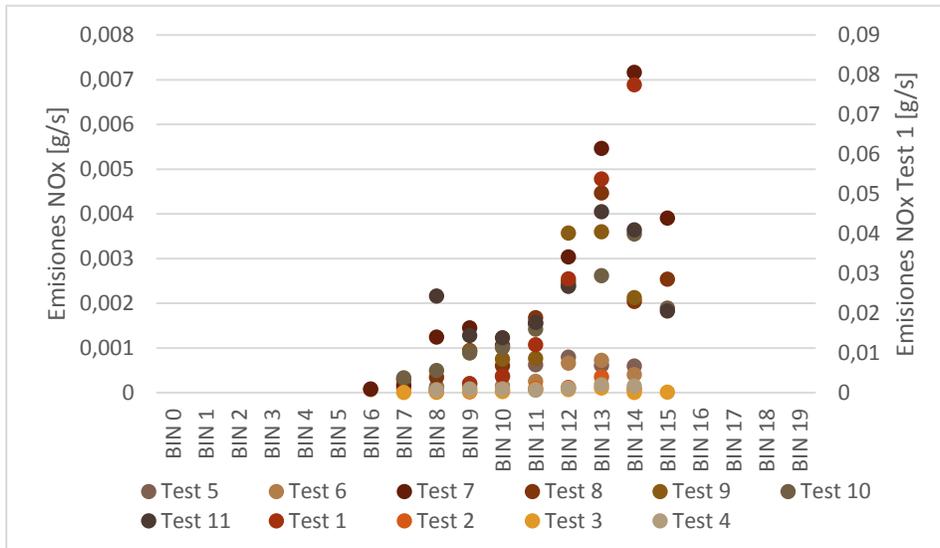


Figura 4.11 Emisiones de NOx según estado energético

Para el caso del contaminante  $NO_x$  los valores de emisiones por cada bin tienen una dispersión mucho más grande que para el caso del  $CO_2$ . Esto se explica principalmente por la diferencia de combustibles, ya que según los antecedentes anteriormente expuestos, los vehículos que utilizan GNC tendrían un comportamiento diferente para el caso de contaminantes  $NO_x$ , explicado principalmente por la temperatura que se alcanza al interior de la cámara de combustión.

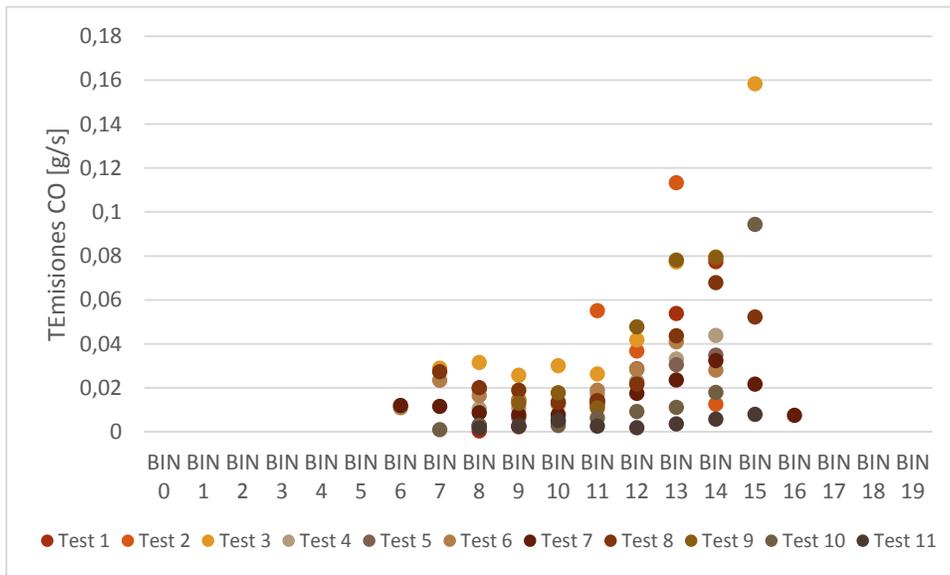


Figura 4.10 Emisiones de CO según estado energético

Del mismo modo que para los otros contaminantes se analizan los resultados para el contaminante CO, donde se observa una la dispersión que poseen sus datos. Cabe mencionar que estos resultados fueron procesados de manera posterior para realizar el análisis a los valores negativos que entregó en primera instancia el SEMTECH G

Esta etapa permite obtener un valor promedio de emisiones por BIN para cada uno de los test, de modo de asignar un valor de emisiones de cada vehículo.

## 4.5 RESULTADO DE EMISIONES POR VEHÍCULO EN G/KM Y G/S

El análisis anterior permite obtener un valor de emisiones por unidad de tiempo para cada uno de los BINS, de este modo se puede asignar un nivel de emisiones a cada uno de los test que se realizó. De manera de obtener resultados comparables entre los distintos test, es que se realizó la agregación de las emisiones de toda la ruta en cada uno de los test, de este modo se obtienen los resultados en gramos por kilómetros que se presentan a continuación en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Emisiones contaminantes por test en g/km

Test	Emisiones (g/km)		
	CO2	NOx	CO
#1	300,45	2,86	3,07
#2	430,83	0,19	6,50
#3	393,64	0,09	4,61
#4	346,71	0,13	2,65
#5	441,43	0,08	2,27
#6	319,65	0,06	3,03
#7	313,34	0,14	1,95
#8	468,30	0,25	2,83
#9	458,44	0,28	4,81
#10	447,17	0,21	1,00
#11	529,29	0,27	0,38

En los 11 tests presentados en la Tabla 4.3 se incluyen tanto recorridos efectuados en modo gasolina como en modo gaseoso. De los 4 vehículos medidos, a los vehículos duales se les realizó como mínimo 2 pruebas, una en cada modo, y al vehículo no convertido se le realizaron 3 test.

En primer lugar se separa la información por vehículo, a modo de comparar las emisiones en cada uno de sus modos. A continuación se presentan los gráficos de emisiones por BIN y por ruta de cada uno de los vehículos ensayados.

## Vehículo 1

**Sistema de combustible:** Gasolina/GNC

**Año:** 2012

Este vehículo se midió el primer día de la campaña experimental. Durante la ruta no se presentaron mayores problemas que impidieran continuar con ella, por lo que se completó satisfactoriamente.

El vehículo 1 corresponde a un vehículo convertido a gas, por lo cual se tienen las emisiones para sus dos modos de operación. Cada una de las muestras fue tomada en un circuito de la ruta predefinida.

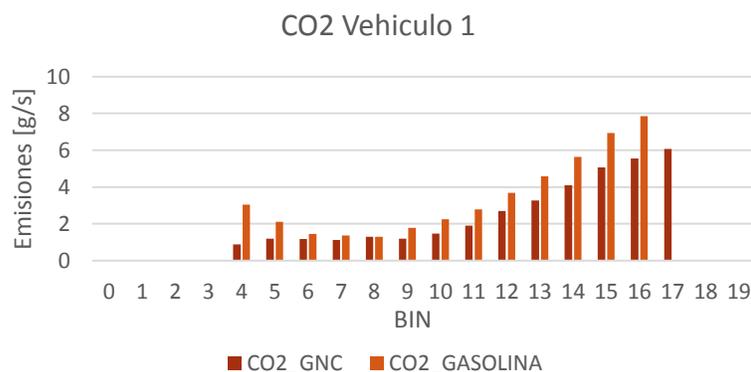


Figura 4.12 Emisiones de CO<sub>2</sub> vehículo 1 según BINs

En la Figura 4.12 se observan las emisiones del vehículo 1 en sus dos modos, se observa como las emisiones del modo GNC son levemente inferiores al modo gasolina, lo que se explica principalmente por la cantidad de carbono elemental en el combustible.

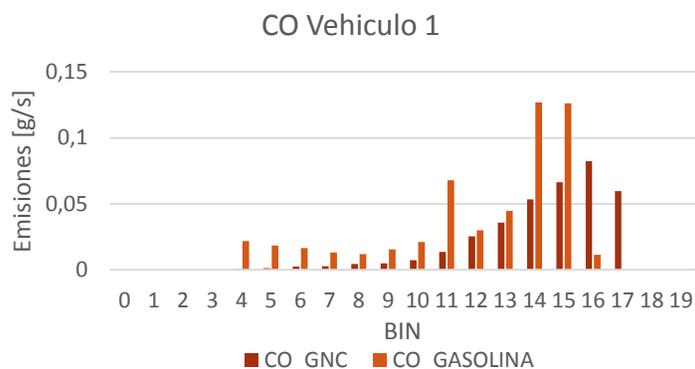


Figura 4.13 Emisiones de CO vehículo 1 según BINs

En la Figura 4.13 se tienen las emisiones de CO del primer vehículo medido, se observa como las emisiones aumentan con la potencia específica vehicular, tal como se planteó como hipótesis anteriormente. Además se observa que el vehículo operando con GNC genera menores emisiones de este contaminante que en su operación convencional con Gasolina.

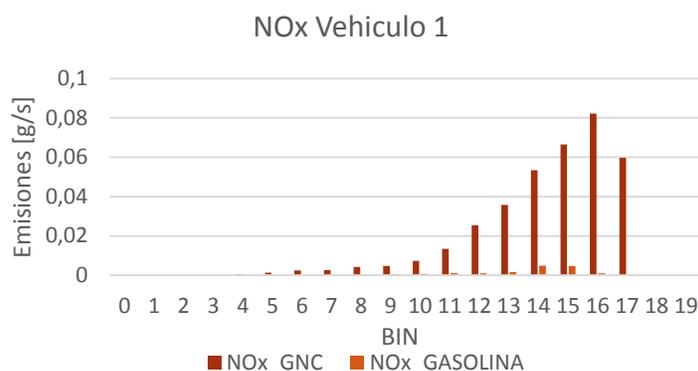


Figura 4.15 Emisiones de NOx vehículo 1 según BINs

En la Figura 4.15 se observan las emisiones de contaminantes  $NO_x$  del primer vehículo ensayado. En la figura se observa la gran diferencia de emisiones del modo GNC por sobre a Gasolina, se observa como en los estados energéticos altos las emisiones disminuyen por efecto del convertidor catalítico. Este caso se tratará especialmente en el análisis de resultados, al ser un caso que escapa de las emisiones normales que se registraron en los otros vehículos.

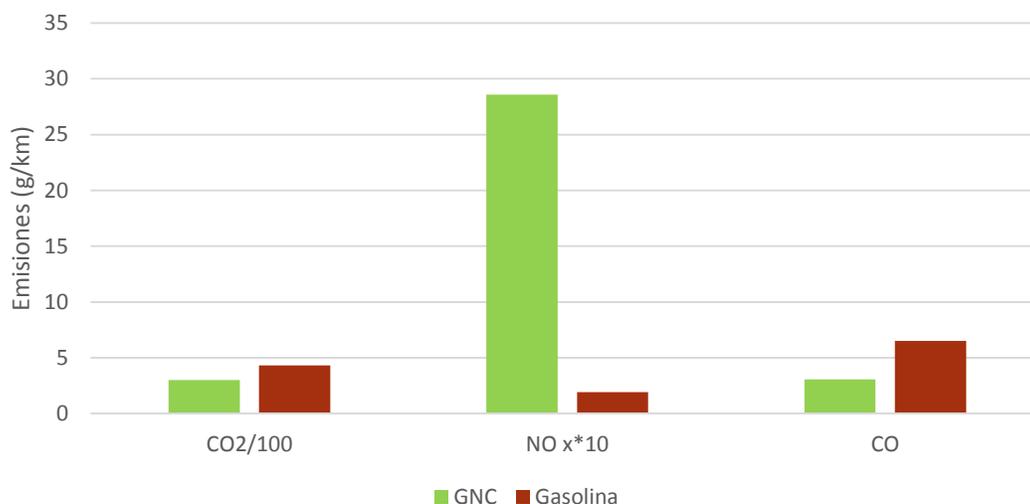


Figura 4.14 Resumen Emisiones agregadas Ruta Test 1 y2 Vehículo 1

En la Figura 4.14 se observan los Factores de emisión obtenidos de la ruta del primer vehículo, agregadas a lo largo de esta y divididos por el largo de la ruta a modo de obtener el factor de emisiones por unidad de distancia recorrida. En la figura se puede observar como los niveles de  $CO_2$  y  $CO$  disminuyen en el modo GNC con respecto a Gasolina, sin embargo se observa lo contrario con los niveles de  $NO_x$ .

## Vehículo 2

**Sistema de combustible:** Gasolina Convencional

**Año:** 2012

El vehículo 2 se midió el día 2 y el día 5 de la campaña experimental, durante el segundo día se midió solo en una vuelta de la ruta predefinida, mientras que el día 5 se midió en dos oportunidades. El día 5 se presentaron condiciones de tráfico bastante más lentas que el segundo día, por lo que la velocidad promedio de ese día fue menor. Las emisiones que se registran en los siguientes gráficos corresponden a los promedios por BIN de este vehículo.

Al ser un vehículo sin convertir solo se presentan las emisiones del modo Gasolina, las que posteriormente serán comparadas con las de los otros vehículos en su modalidad Dual.

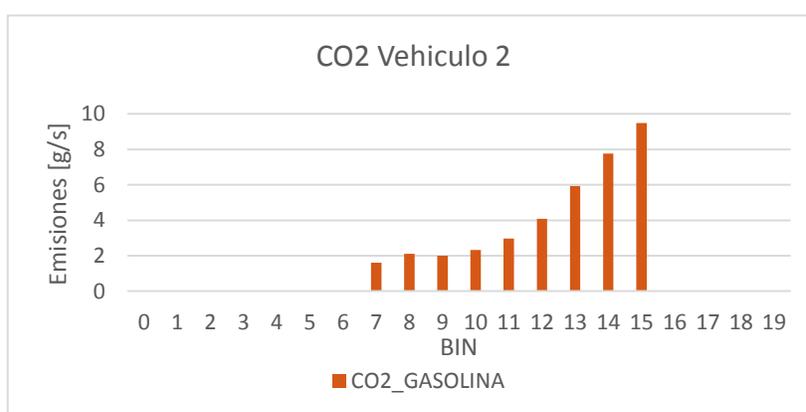


Figura 4.16 Emisiones de CO<sub>2</sub> vehículo 2 según BINs

En la Figura 4.16 se observan las emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo 2 que corresponde a un vehículo sin convertir, se observa como estas aumentan con los BINs de modo que a mayor exigencia del motor es mayor la producción de este contaminante.

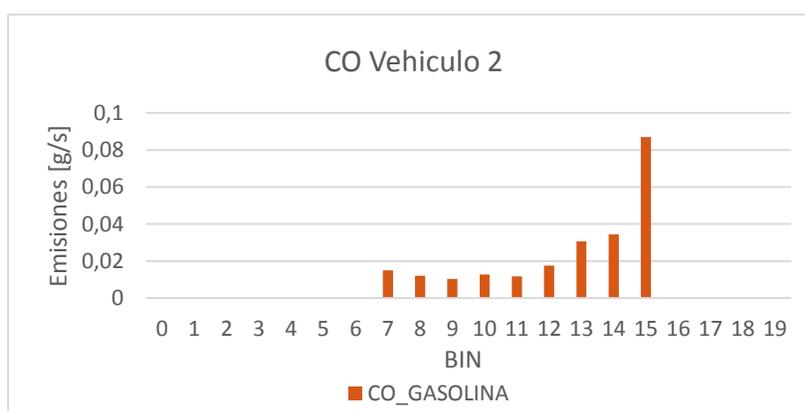


Figura 4.17 Emisiones de CO vehículo 2 según BINs

Del mismo modo que para el  $CO_2$  se observan las emisiones de  $CO$  a medida que aumentan los BINs en la Figura 4.17.

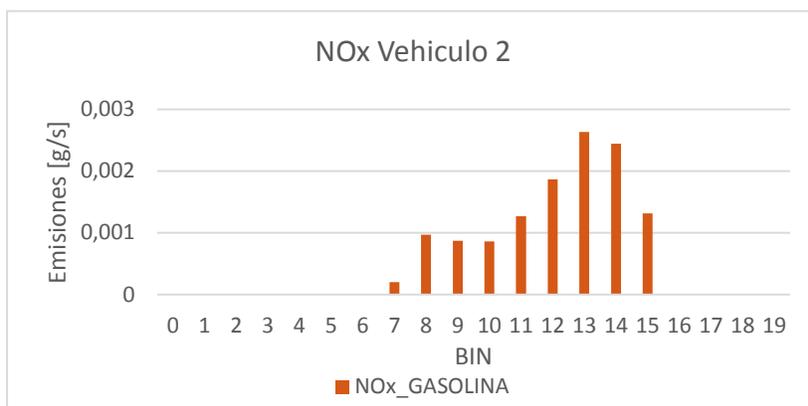


Figura 4.19 Emisiones de  $NOx$  vehículo 2 según BINs

En la Figura 4.19 se observan las emisiones de contaminante  $NOx$  según los BIN, estas aumentan hasta el BIN 13 para luego descender en el BIN 14 y 15 por efecto de la entrada en funcionamiento de convertidor catalítico. Si se observara un crecimiento constante se supondrían problemas con el dispositivo, solo se presentan las emisiones del modo gasolina, ya que este vehículo no posee kit de conversión.

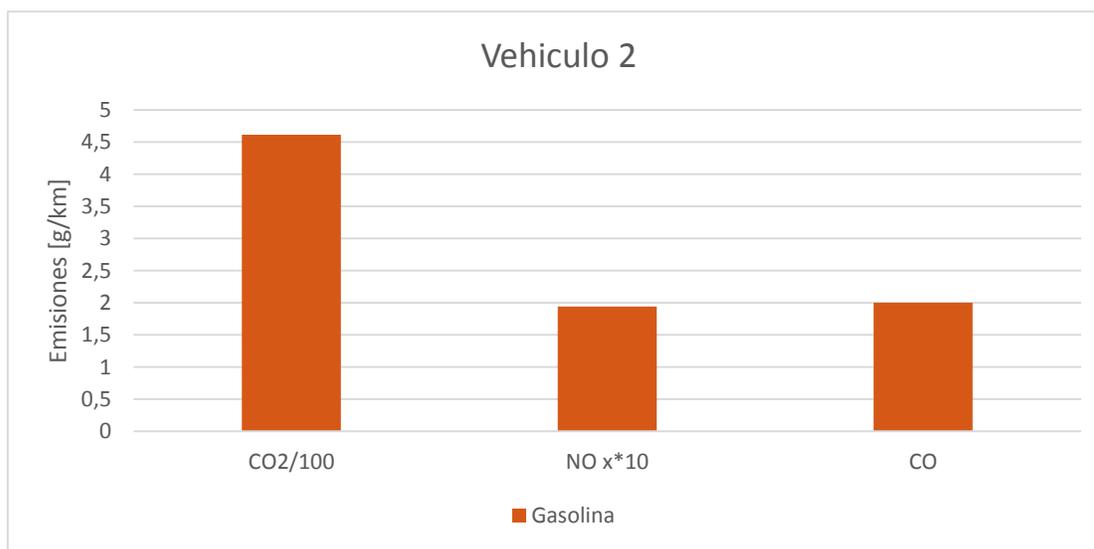


Figura 4.18 Resumen Emisiones agregadas Ruta Test 3, 10 y 11 Vehículo 2

En la Figura 4.18 se observa el resumen de los factores de emisión del vehículo 2 obtenido en los test 3, 10 y 11. Los cuales se realizaron en diferentes días de muestreo (7 días de diferencia entre el primero y los dos últimos), la metodología de VSP permite de todas maneras agregar los datos, para obtener un promedio general para cada contaminante. Los valores obtenidos en este vehículo se utilizarán para comparar emisiones entre vehículos con el kit de conversión instalado y sin este.

### Vehículo 3

**Sistema de Combustible:** Gasolina/GNC

**Año:** 2012

Este vehículo se midió el 3er día de campaña, fue medido en dos oportunidades, en primera instancia recorrió la ruta predefinida con su motor alimentado por GNC, mientras que en la segunda ruta lo hizo utilizando GASOLINA. A continuación se presentan los resultados de los test respectivos.

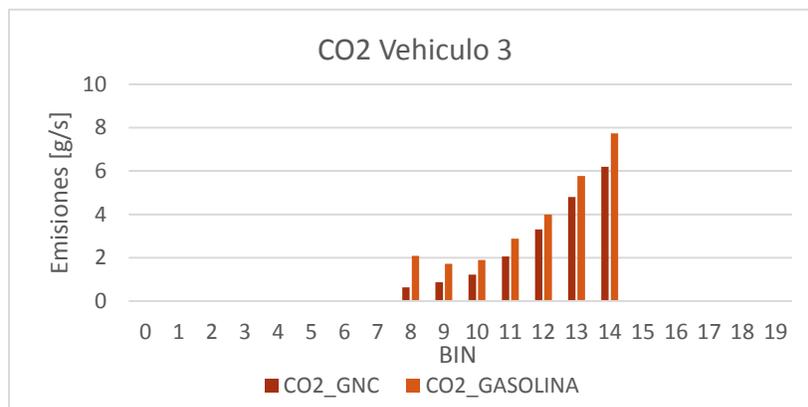


Figura 4.20 Emisiones de CO2 vehículo 3 según BIN

En la Figura 4.20 se observan las emisiones por BIN del motor, se aprecia cómo estas aumentan a medida que el motor demanda mayor potencia. Además se observa como las emisiones en el Modo GNC son ligeramente inferiores a las del modo Gasolina.

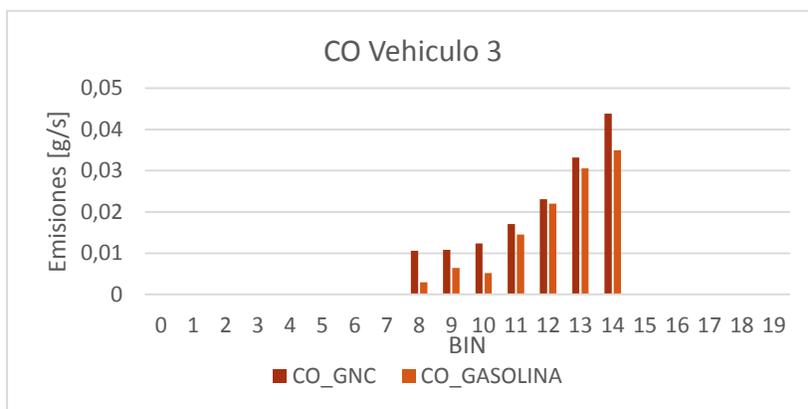


Figura 4.21 Emisiones de CO vehículo 3 según BIN

Del mismo modo que para el contaminante  $CO_2$  las emisiones de  $CO$  aumentan a medida que la potencia específica vehicular VSP lo hace, de este modo a mayores BIN las emisiones son superiores, en la Figura 4.21 se observa como las emisiones para el modo GNC, son ligeramente inferiores que para el modo Gasolina, esto se explica en gran medida por la menor cantidad de carbono elemental presente en el combustible.

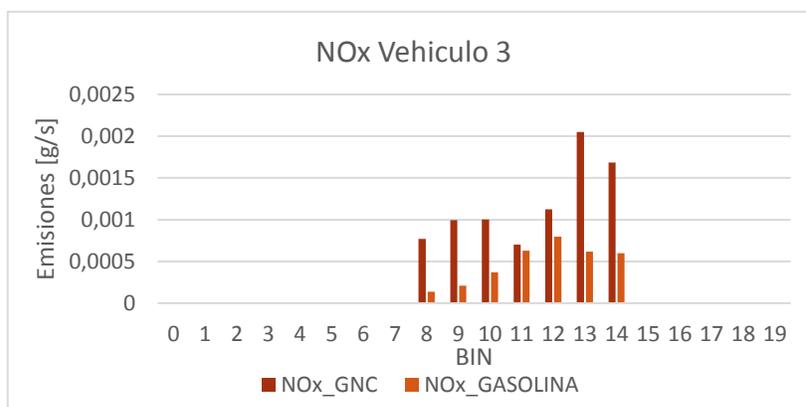


Figura 4.23 Emisiones de NOx vehículo 3 según BINs

En la Figura 4.23 se observan las emisiones de  $NO_x$  en los distintos niveles energéticos discretizados según los BIN. Se observa como las emisiones de este contaminante aumentan hacia el BIN 12 para luego descender en el caso del modo gasolina, para el modo GNC estas alcanzan un mínimo en el ralentí, mientras que para los BINS de acelerada y frenada estas emisiones son más altas.

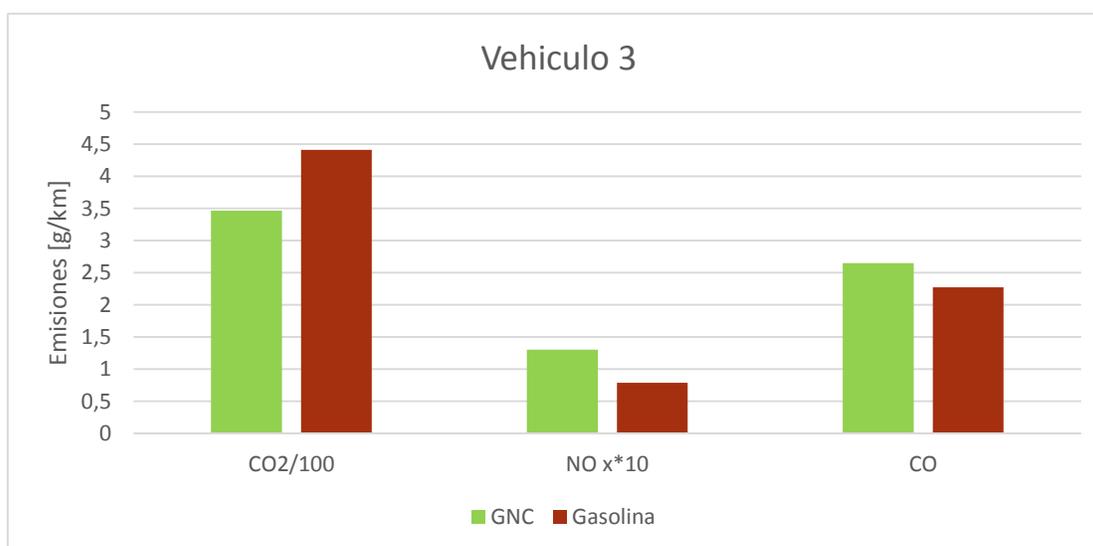


Figura 4.22 Resumen Emisiones agregadas Ruta Test 4 y 5 Vehículo 3

En la Figura 4.22 se presenta el resumen de los factores de emisiones obtenidos de cada una de las rutas que se midió el vehículo 3, tanto en su modo GNC como en el modo gasolina se observa que las emisiones para  $CO_2$  son inferiores en el modo GNC mientras que las de  $CO$  aumentan, al igual que el vehículo 1 se obtiene un factor de emisiones superior para el caso de GNC en el contaminante  $NO_x$  que el caso de Gasolina.

## Vehículo 4

**Sistema de Combustible:** Gasolina/GNC

**Año:** 2011

Este vehículo fue medido en 4 tests el cuarto día de campaña experimental, 3 de ellos se realizaron de forma completa, sin embargo el 4to test solo se realizó a modo de pruebas para verificar el estado de los equipos, por lo que las emisiones registradas solo corresponden a un tramo de la ruta predefinida. De los 4 test en donde se registraron datos, 3 de ellos correspondieron a emisiones en Modo GNC, mientras que solo 1 a emisiones en Modo Gasolina.

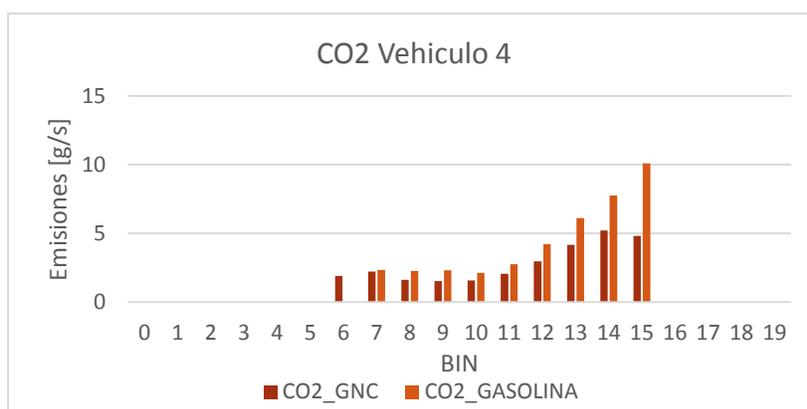


Figura 4.24 Emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículo 4 según BINs

Al igual que en los anteriores vehículos, se observa en la Figura 4.24 como las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan a medida que lo hace la potencia específica vehicular VSP. Además se observa como levemente las emisiones en GNC son inferiores a las de Gasolina.

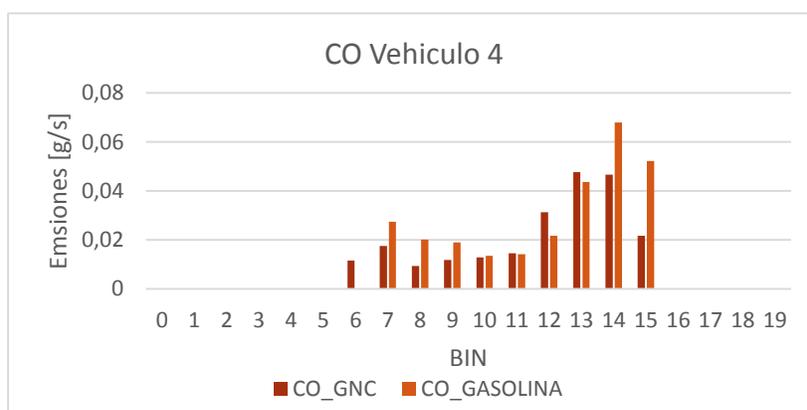


Figura 4.25 Emisiones de CO en vehículo 4 según BINs

En la Figura 4.25 se observan las emisiones de contaminante CO para el vehículo, en la figura se observa el valor promedio por cada BIN considerando las 4 rutas de recorrido. Se observan comportamientos erráticos en los BINs altos, sin embargo se aprecia el crecimiento de la variable junto con el VSP

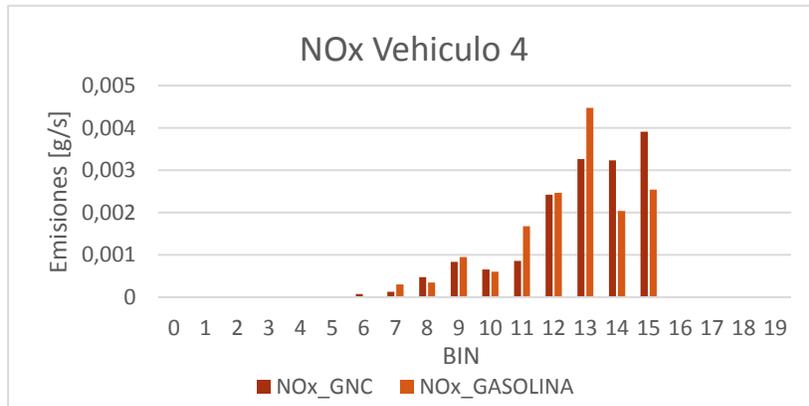


Figura 4.26 Emisiones de NOx en vehículo 4 según BINs

Se observa que para el vehículo 4 al igual que el resto, las emisiones crecen junto con la variable VSP (Figura 4.26), sin embargo, en este caso se observa que las emisiones de  $NO_x$  por BIN no son siempre mayores en un Modo, sino que varían dependiendo del BIN que se esté observando. Por ejemplo, se observa que para valores de aceleración leve (BIN12 y 13) las mayores emisiones son generadas por la tecnología Gasolina, mientras que para aceleración fuerte (BIN 14 y 15) los roles se invierten. Sin embargo, en el agregado final las emisiones de Gasolina son superiores a las de GNC, como se observa en la Figura 4.27.

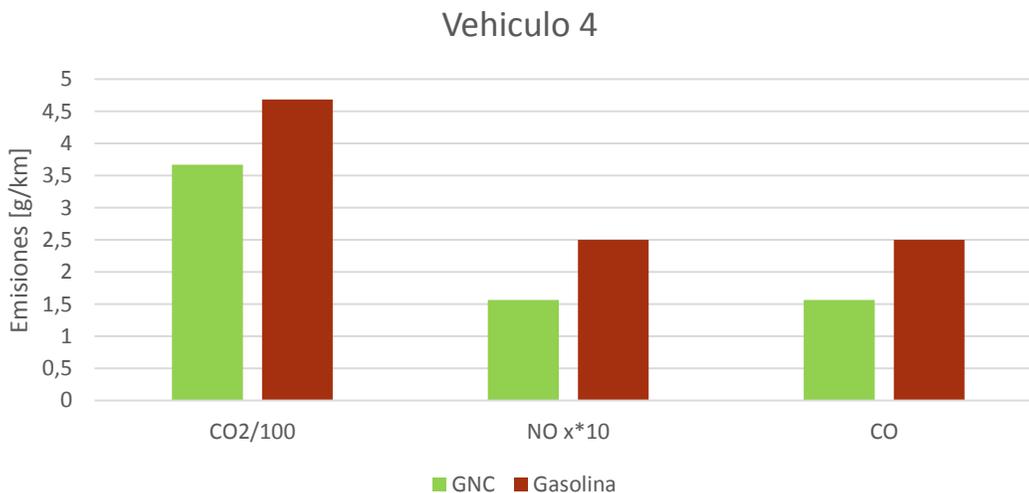


Figura 4.27 Resumen emisiones agregadas Ruta Test 6, 7, 8 y 9 vehículo 4

En la Figura 4.27 se observa el resumen de las emisiones del vehículo 4 donde se observa que las emisiones de  $CO_2$  y  $CO$  son inferiores para el caso de GNC al igual que los anteriores vehículos duales ensayados. Sin embargo, a diferencia del resto las emisiones de  $NO_x$ , en este vehículo presentan mayores niveles en el caso de Gasolina que de GNC.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentará el análisis de los resultados de la campaña experimental, en la cual se midieron 4 vehículos Marca Nissan Modelo Tiida, tres de ellos con la adaptación para funcionar con GNC y uno funcionando con el combustible convencional, gasolina.

El análisis se divide en las etapas que se enumeran a continuación.

- Análisis de Resultados de Ruta
- Análisis comparativo con respecto al modo convencional
- Análisis comparativo con respecto a la norma y el fabricante
- Consumo de Combustible
- Emisiones por Tecnología
- Comparativa de emisiones según operación

### 5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RUTA

La ruta predefinida escogida para llevar a cabo las pruebas de emisiones de los vehículos seleccionados se llevó a cabo en su totalidad, salvo en dos test, el segundo y el onceavo. En ellos se tuvieron dificultades técnicas con la batería del equipo que impidieron completar la ruta. Para el resto de los casos se completó la ruta sin inconvenientes permitiendo recoger las emisiones de toda la ruta desarrollándose así el análisis de las mismas, dependiendo de las condiciones del vehículo.

La ruta elegida logró los objetivos de generar condiciones similares de tránsito en todos los test. Como se observó en la Figura 4.5 la mayor parte de los test se situaron en torno a los BINs centrales que corresponden a estados de frenado leve, ralentí y aceleración leve. Como se observa en la Tabla 5.1 no se alejan bastante del promedio general por vehículo excepto por el test a gasolina del vehículo 1 que no se realizó en su totalidad.

Tabla 5.1 Tiempo de medición en ruta y velocidad promedio por Test.

Vehículo	Duración Ruta [min]		Velocidad Promedio [km/h]	
	GNC	Gasolina	GNC	Gasolina
1	49,3	29,0	22,5	23
2	--	48,3	--	20,8
3	50,5	49,2	21,9	22,6
4	50,3	47,4	22,5	23,4
<b>Promedio</b>	<b>50</b>	<b>43,4</b>	<b>22,3</b>	<b>22,4</b>

Es importante que las velocidades promedio de cada test sean similares, ya que a partir de este parámetro se obtiene la aceleración y la potencia específica vehicular que servirá para asignar las emisiones a cada nivel energético. A partir de la velocidad también se obtiene la distancia recorrida por el vehículo en ruta, ya que si bien es siempre la misma según la ruta predefinida, el vehículo se mueve de maneras diferentes por las pistas de la calle lo que genera diferencias de longitud.

## 5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO CON RESPECTO AL MODO CONVENCIONAL

Dentro de la campaña de mediciones se estudió un vehículo Tiida sin adaptaciones de motor, el cual fue medido en tres oportunidades, generándose así un parámetro de comparación entre este y los demás vehículos medidos. Es importante obtener la cantidad de emisiones que emite un vehículo de estas características, ya que de este modo se puede comparar de manera realista las emisiones obtenidas de los demás vehículos.

Las emisiones obtenidas en los tres test a los que fue sometido el vehículo 2 en la ruta de mediciones, se agregan para determinar un factor de emisiones en unidades de g/km como se observa en la Tabla 5.2. Estos valores si bien no son representativos de todos los vehículos Tiida sin convertir fueron medidos en la misma ruta que se definió para los demás vehículos, en condiciones de tránsito bastante similares.

Tabla 5.2 Emisiones en gramos por kilómetro vehículo 2

	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]
Vehículo 2	2,02	480,67	0,20

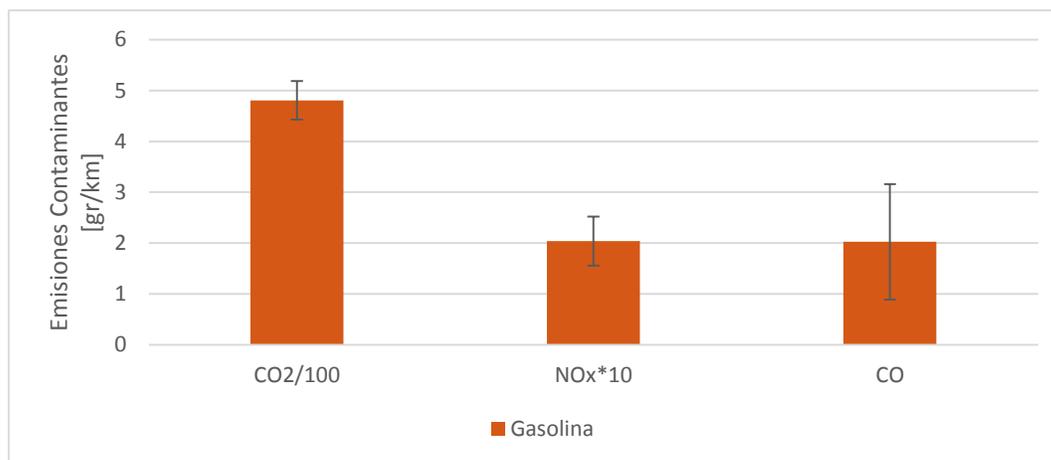


Figura 5.1 Emisiones en gramos por kilómetros vehículo2

Las emisiones en los 3 tests fueron bastante similares para los casos  $CO_2$  y  $NO_x$ , sin embargo las emisiones de  $CO$  tienen una desviación estándar bastante grande. Cabe destacar que los datos para  $CO$  fueron procesados de una manera especial ya que en primera instancia estos valores resultaban ser negativos, por efecto de desperfectos del equipo de medición.

El modelo Tiida de Nissan, como se menciona en la Sección 3.1 ha sido homologado en diversas versiones en Chile, sin embargo en esta campaña experimental se midió la versión 1,6 DOHC Sedan que se describió en la Sección 3.1.

Para comparar las emisiones medidas en la campaña experimental con los datos provistos por la entidad certificadora 3CV, es necesario elaborar una metodología para determinar las emisiones que este vehículo hubiese tenido en el ciclo de prueba que utiliza el laboratorio. El ciclo utilizado por el laboratorio es el FTP75 que se describe en el Anexo A. Para asignar emisiones a este ciclo se desarrolló la metodología que se describe a continuación.

A partir del ciclo de conducción FTP75 (Figura 5.2) se extrae la serie de velocidades que permiten determinar aceleración y VSP del mismo modo que para los datos de la campaña de medición, metodología descrita en la Sección 4.2.

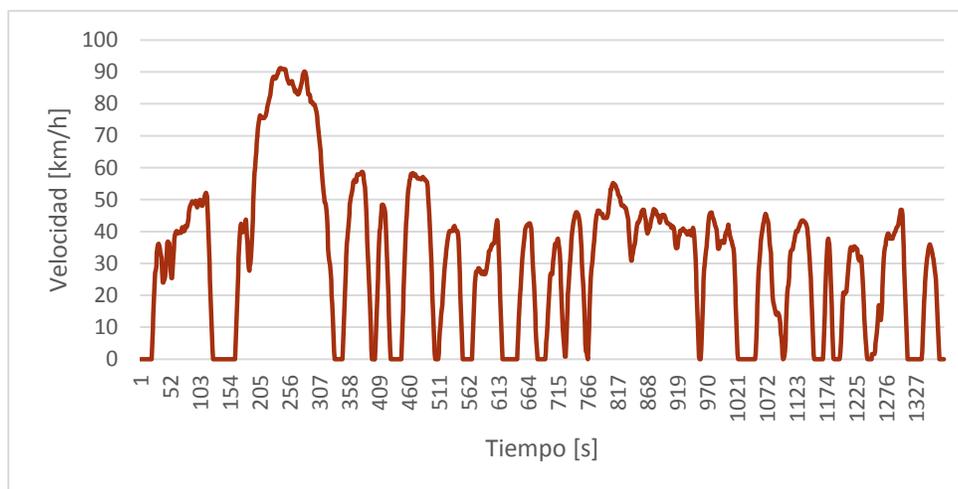


Figura 5.2 Perfil de Velocidades Ciclo de Conducción FTP75 en km/h

Una vez asignado un valor de potencia específica vehicular a cada punto del ciclo de conducción se le asigna un BIN dependiendo de su estado energético del mismo modo que para los test de la campaña.

Para cada vehículo se tiene una serie de factores de emisión por BIN determinado de la campaña de medición. Estos valores se ponderan dependiendo de la cantidad de puntos por BIN que se tienen del ciclo de conducción. De este modo se tienen emisiones por BIN, las cuales pueden ser agregadas para obtener el valor por kilómetro que se requiere para comparar con el valor de homologación del modelo.

Una vez obtenidos los valores de emisiones que generaría el vehículo en las mismas condiciones del Test de homologación que efectúa 3CV se puede realizar la comparativa que se observa en la Figura 5.3.

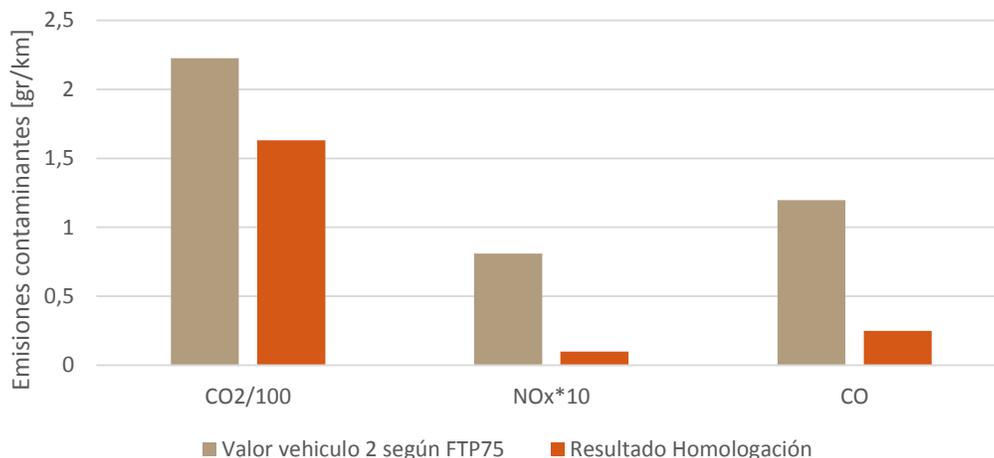


Figura 5.3 Comparativa valores medidos en vehículo 2 vs datos de homologación.

En la Figura 5.3 se observa como los valores de emisión medidos en el vehículo 2 a Gasolina, son bastante superiores a los valores que se generan de la homologación de estos modelos. Para el caso del  $CO_2$  se utiliza el valor entregado por la página [www.consumovehicular.cl](http://www.consumovehicular.cl) [34] perteneciente al ministerio de energía como valor de emisiones de homologación, ya que 3CV no reporta ese contaminante. Las emisiones obtenidas de la campaña experimental, que se presentan en la Figura 5.3 son para el caso del  $CO_2$  un 36% superior al valor de homologación, para el  $NOx$  son 8 veces más grandes y para el caso del  $CO$  estas son superadas en un 380%. Esto se explica principalmente por el nivel de actividad que estos vehículos poseen, sumando cerca de 60.000 km al año, lo que conlleva desperfectos en los sistemas de control de emisiones.

Una vez comparados los valores con los resultados de homologación se procede a comparar las emisiones de cada uno de los vehículos analizados contra las emisiones del vehículo sin convertir.

Si se comparan los niveles de emisiones con respecto a vehículos que poseen 2 modos de operación se generan gráficas donde se observan 3 valores de emisión por contaminante. Para el caso del primer vehículo se genera la Figura 5.4 donde se observan las emisiones para los 3 contaminantes analizados.

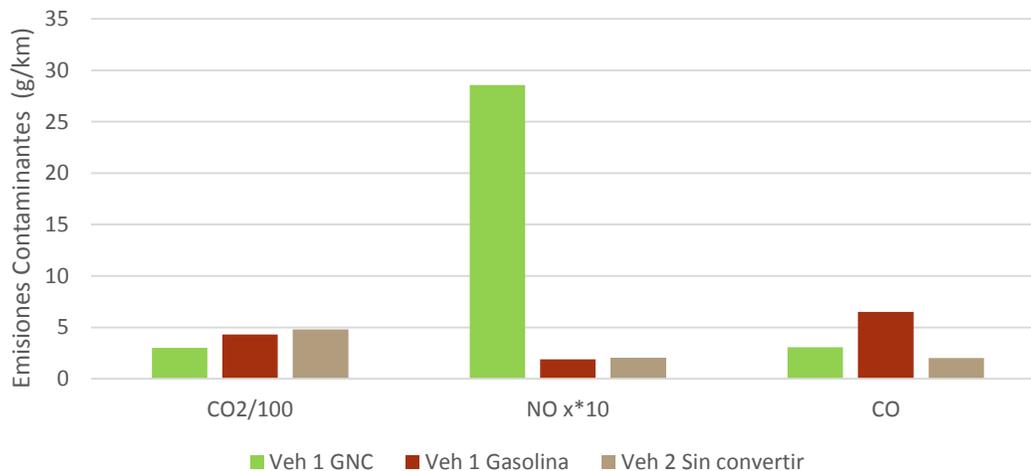


Figura 5.4 Comparación de emisiones entre Vehículo 1 (en sus dos modos) y Vehículo 2

En la Figura 5.4 se observan las diferencias en las emisiones de cada uno de los vehículos. Para el caso del contaminante  $CO_2$  se observa como el vehículo 1 emite significativamente menos  $CO_2$  en el modo GNC que el vehículo sin convertir, aproximadamente un 38% menos. Sin embargo, para los otros contaminantes como lo es el  $CO$  y el  $NOx$ , se obtienen valores muy superiores, 14 veces más para el caso de  $NOx$  y un 50% más para el caso del  $CO$ . Si se analiza el vehículo 1 en su modo Gasolina también se puede observar como las emisiones para el caso del  $CO_2$  se comportan bastante similar siendo solo un 10% inferiores. Para el caso del  $CO$ , estas aumentan en un 320% aproximadamente, para el caso del contaminante  $NOx$  las emisiones del vehículo 1 en modo Gasolina son inferiores a las del vehículo 2 sin convertir.

Del análisis de las emisiones del vehículo 1 se puede observar que estas empeoran en 2 de los 3 contaminantes para el caso del modo GNC. Para el modo Gasolina del mismo vehículo solo empeoran las emisiones del contaminante  $CO$ , el resto se ven disminuidas por la instalación del kit de conversión.

Las emisiones del tercer vehículo al ser en dos modos, también se comparan con las emisiones del vehículo 2 sin convertir. La Figura 5.5 muestra gráficamente los resultados de la comparación.

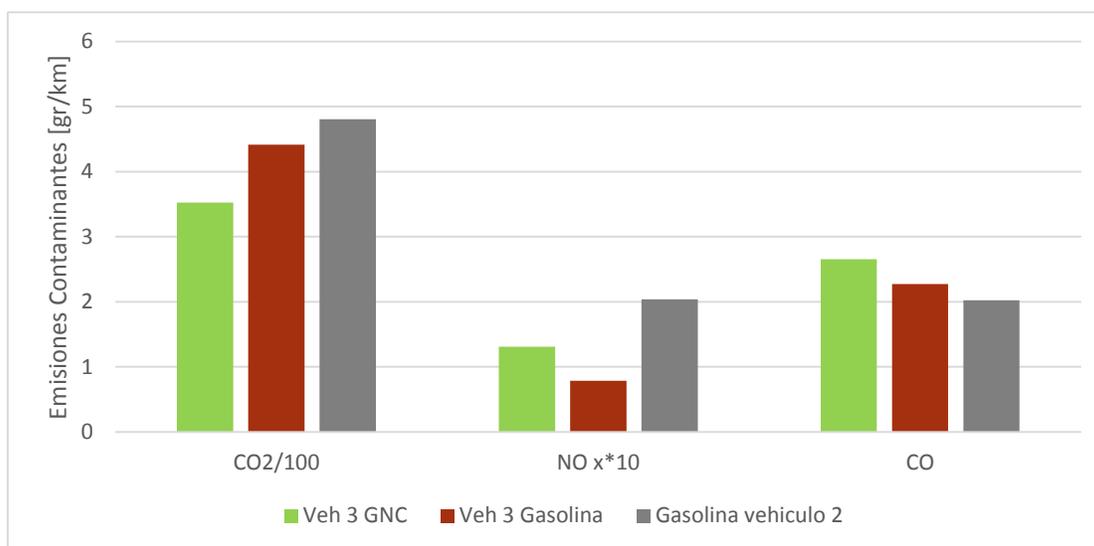


Figura 5.5 Comparación de emisiones entre Vehículo 3 (en sus dos modos) y Vehículo 2

En la Figura 5.5 se observa que las diferencia en las emisiones entre el vehículo 2 y el vehículo 3 en sus dos modos se comportan de un modo diferente para el caso de los contaminantes  $NO_x$  donde se observan reducciones de un 38% para el caso del modo GNC y 62% para el caso de Modo gasolina. Se observa que las emisiones en el caso de GNC son superiores a las emitidas en modo gasolina. Si se analiza el contaminante  $CO_2$  se obtienen reducciones de un 27% para las emisiones del modo GNC y 8% con respecto al modo gasolina. Similar al caso de vehículo 1 se observa que las emisiones de  $CO$  del vehículo convertido fueron superiores un 31% para el modo GNC y un 12% para el modo gasolina.

De este análisis de emisiones se puede observar que las emisiones empeoran tan solo en el caso del contaminante  $CO$  para los otros dos contaminantes medidos,  $CO_2$  y  $NO_x$ , las emisiones disminuyen tanto en el modo GNC como en el modo Gasolina.

Similar a los otros vehículos, se realiza la comparación entre el vehículo 4 y el vehículo 2, la cual se presenta gráficamente en la Figura 5.6.

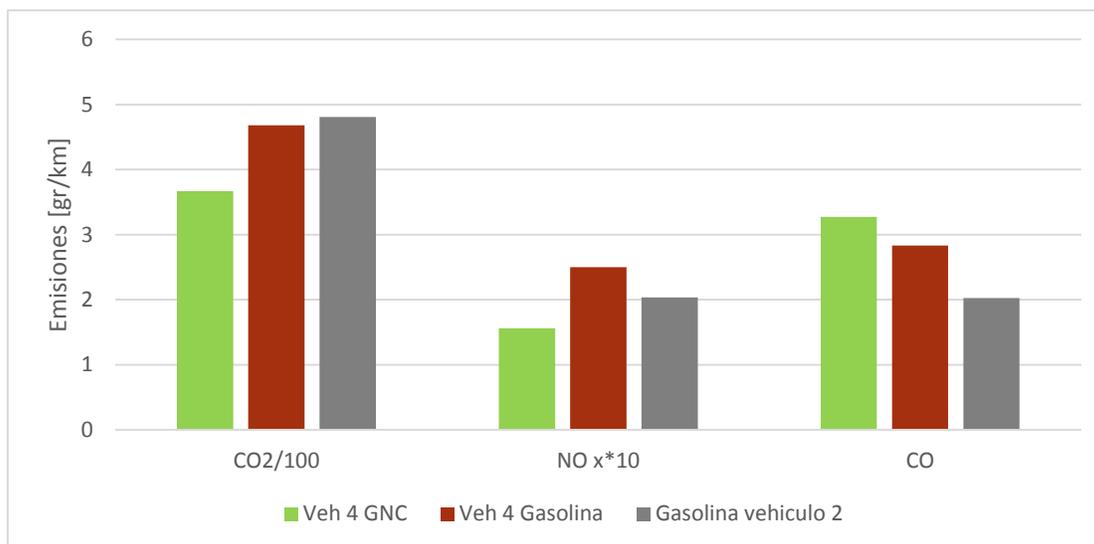


Figura 5.6 Comparación de emisiones entre Vehículo 4 (en sus dos modos) y Vehículo 2

En la figura se observan las diferencias en emisiones que se obtuvieron en gr/km para los distintos modos. En el caso de la comparación de  $CO_2$  emitido para el modo GNC se obtuvieron valores un 24% menores del vehículo convertido versus el sin convertir. Para el modo Gasolina la diferencia fue más discreta con tan solo un 3%, al contrario del  $CO_2$  para el  $CO$  las emisiones son opuestas, para el caso del modo GNC se obtienen alzas de hasta un 67%, mientras que para el modo Gasolina de un 40% superiores. Para el caso de las emisiones de  $NO_x$  se observa que en el modo GNC estas disminuyen aproximadamente un 24% mientras que para el modo Gasolina estas aumentan un 22 %.

Para el caso del vehículo 4 sus emisiones disminuyeron con respecto a su par sin convertir en el modo GNC para dos de los tres contaminantes medidos, sin embargo en el modo gasolina solo disminuyó sus emisiones de  $CO_2$ , para los demás contaminantes experimentó un alza.

### 5.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Las emisiones de escape analizadas con el SEMTECH G permiten determinar el consumo de combustible de cada uno de los vehículos a lo largo de la ruta de medición.

De las subsecciones anteriores se obtiene un factor de emisión por BIN para cada uno de los vehículos medidos en los test, los cuales se presentan en la Tabla 5.3 para el test 11 a modo de ejemplo.

Tabla 5.3 Factores de Emisión [g/s] por BIN para los 3 contaminantes medidos Test 11

BIN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
CO2	0	0	0	0	0	0	0	0	3,535	3,171	3,389	3,424	4,262	5,802	7,617	8,018	0	0	0	0
NOx	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0021	0,0012	0,0012	0,0015	0,0023	0,004	0,0036	0,0018	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0016	0,0026	0,0052	0,0025	0,0018	0,0035	0,0057	0,0079	0	0	0	0

De estos factores de emisión por test se separan en particular los factores de emisión de CO2, los cuales por medio de ciertos valores serán convertidos en factores de consumo los que posteriormente generan un consumo de combustible que puede traducirse en rendimiento del vehículo en la ruta de medición. Estos factores se presentan en la Tabla 5.4 que se observa a continuación.

Tabla 5.4 Factores de emisión de CO2 por BIN para cada Test [g/s]

BIN	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8153	1,9932	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,9527	0,0	0,0	2,0901	2,3741	2,3529	0,0	2,2641	0,0
8	0,7283	2,6818	1,0744	0,6348	2,0860	1,6936	2,1497	2,2770	1,0576	1,7144	3,5351
9	1,0129	1,1987	1,3131	0,8791	1,7166	1,4682	1,8695	2,3172	1,2847	1,5054	3,1718
10	1,1305	1,4408	1,6039	1,2208	1,9007	1,5331	1,7581	2,1339	1,4672	1,9983	3,3897
11	1,7415	2,6362	2,6086	2,0569	2,8812	1,9622	1,9671	2,7688	2,2441	2,8556	3,4248
12	2,9262	4,0325	3,6843	3,3024	3,9951	2,9437	2,9740	4,2122	3,0113	4,3047	4,2624
13	4,2591	5,7840	5,7510	4,8011	5,7678	4,2735	3,7282	6,1031	4,5380	6,2469	5,8030
14	5,4576	8,0627	7,1801	6,1922	7,7398	5,2022	4,4918	7,7496	5,9124	8,5186	7,6173
15	0,0	0,0	10,6195	0,0	0,0	0,0	4,8270	10,0988	0,0	9,8400	8,0182
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Los valores que se utilizan para transformar de Factores de emisiones a Factores de Consumo son los que se presentan en la siguiente ecuación:

$$FdC_{Bin} = \frac{FE_{Bin}}{FE \times PCI} \times 10^6$$

Donde:

- $FdC_{Bin}$  : Factor de Consumo de Combustible por BIN [lt/seg]  
 $FE$  : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de energía del combustible[kg/TJ]  
 $FE_{Bin}$ : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> por BIN [g/seg]  
 $PCI$  : Poder Calorífico Inferior del combustible [kJ/lt]

Los factores de Emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de energía del combustible se determinan desde el capítulo 3 del IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [35], donde asumiendo la oxidación completa del carbono contenido por los distintos combustibles, se determina un factor de emisión de CO<sub>2</sub> para cada uno, estos factores se observan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Factores de emisión para distintos combustibles en [kg/TJ]

Combustible	Factor de Emisión de CO <sub>2</sub> [kg/TJ]		
	Promedio	Límite inferior	Límite superior
Gasolina	69.300	67.500	73.000
Diésel	74.100	72.600	74.800
Gas Licuado	63.100	61.600	65.600
Kerosene	71.900	70.800	73.700
Gas Natural Comprimido	56.100	54.300	58.300
Gas Natural Licuado	56.100	54.300	58.300

Para determinar el poder calorífico inferior (PCI) de los distintos combustibles en [kJ/lt] se cuenta con la información reportada por el Balance Nacional de Energía del Ministerio de Energía donde se obtiene el poder calorífico de estos, además de la densidad de los combustibles para presentarlos en las unidades correctas. La densidad y el PCI se presentan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Densidad y Poder Calorífico Inferior para distintos combustibles

Combustible	Densidad [kg/lt]	Poder Calorífico Inferior	
		kCal/kg	KJ/lt
Gasolina	0,730	11.200	34.208
Diésel	0,840	10.900	38.309
Gas Licuado	0,550	12.100	27.845
Kerosene	0,810	11.100	37.618
Gas Natural Comprimido	0,000717	11.990	35,98
Gas Natural Licuado	0,451	11.653	48,75

Una vez determinados estos factores, es posible determinar los factores de consumo de cada uno de los vehículos en los distintos test de medición, estos se presentan en la Tabla 5.7 donde se observa que estos crecen junto con el nivel energético (BIN). En particular se observa que los test realizados en GNC (coloreados en la Tabla 5.7) tienen consumo de combustible bastante elevados cuando se utilizan las unidades de lt/s. Esto se explica principalmente por qué el combustible, al ser un gas, su densidad es bastante baja por lo que la unidad correcta de medida para el análisis es en metros cúbicos ( $m^3$ ).

Tabla 5.7 Consumo de combustible por test [lt/s]

BIN	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11
BIN 0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8654	0,9502	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 7	0,0	0,0	0,0004	0,0	0,0	0,9964	1,1318	0,0009	0,0	0,0009	0,0
BIN 8	0,3472	0,0011	0,0004	0,3026	0,0008	0,8074	1,0248	0,0009	0,5042	0,0007	0,0014
BIN 9	0,4829	0,0005	0,0005	0,4191	0,0007	0,6999	0,8912	0,0009	0,6125	0,0006	0,0013
BIN 10	0,5390	0,0006	0,0006	0,5820	0,0008	0,7309	0,8381	0,0009	0,6995	0,0008	0,0014
BIN 11	0,8302	0,0011	0,0010	0,9806	0,0012	0,9354	0,9378	0,0011	1,0698	0,0011	0,0014
BIN 12	1,3950	0,0016	0,0015	1,5744	0,0016	1,4034	1,4178	0,0017	1,4356	0,0017	0,0017
BIN 13	2,0304	0,0023	0,0023	2,2888	0,0023	2,0373	1,7773	0,0024	2,1634	0,0025	0,0023
BIN 14	2,6018	0,0032	0,0029	2,9520	0,0031	2,4800	2,1414	0,0031	2,8186	0,0034	0,0031
BIN 15	0,0	0,0	0,0043	0,0	0,0	0,0	2,3012	0,0040	0,0	0,0039	0,0032
BIN 16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BIN 19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

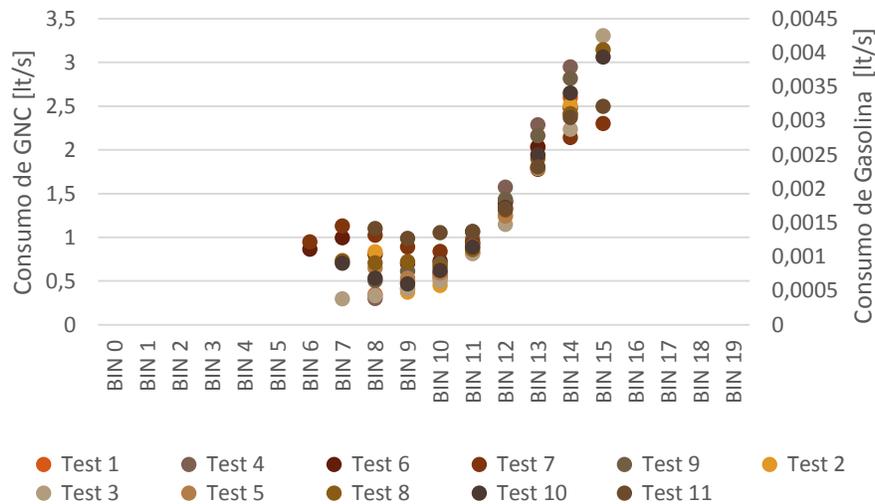


Figura 5.7 Consumo de Combustible por BIN [lt/s]

Al tener determinado el consumo de combustible por BIN como se observa en la Figura 5.7, este se puede agregar para determinar el total de combustible que el vehículo utilizó durante la ruta de medición. Estos resultados así como también el rendimiento del vehículo en la ruta se presentan en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Consumo de combustible y rendimiento estimado

Test	Consumo en Ruta	Unidad	Rendimiento Estimado	Unidad
Test 1	2,077	m <sup>3</sup>	8,92	km/m <sup>3</sup>
Test 2	1,307	lt	8,53	km/lt
Test 3	1,902	lt	9,69	km/lt
Test 4	2,300	m <sup>3</sup>	8,05	km/m <sup>3</sup>
Test 5	2,240	lt	8,29	km/lt
Test 6	2,210	m <sup>3</sup>	8,40	km/m <sup>3</sup>
Test 7	2,114	m <sup>3</sup>	8,76	km/m <sup>3</sup>
Test 8	2,627	lt	7,05	km/lt
Test 9	0,239	m <sup>3</sup>	8,59	km/m <sup>3</sup>
Test 10	2,646	lt	7,00	km/lt
Test 11	2,293	lt	6,74	km/lt

Si se agregan los consumos de combustibles por tecnología y se dividen por el total de kilómetros recorridos en las rutas de medición es posible determinar el rendimiento de cada tecnología. Considerando la desviación estándar que implica esta agregación se presentan los resultados en la Figura 5.8.

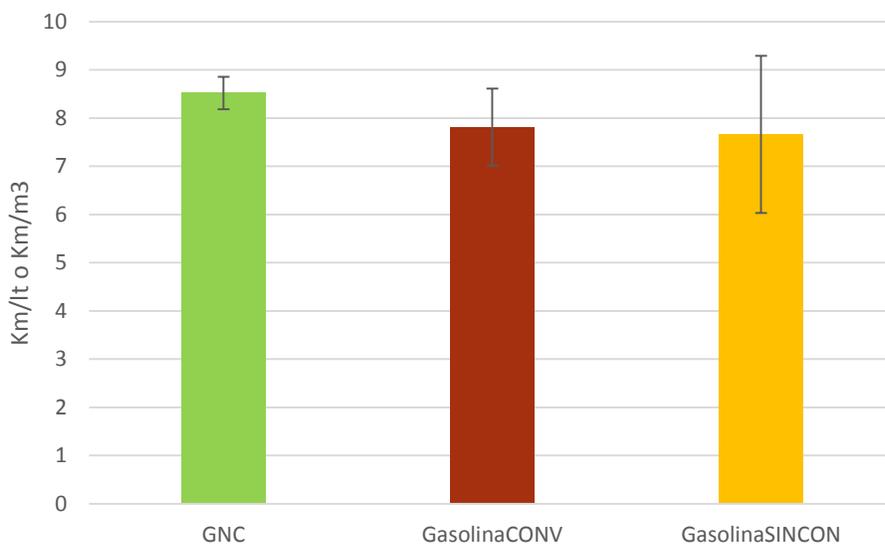


Figura 5.8 Rendimiento estimado según metodología para distintos modos en Nissan Tiida

Tabla 5.9 Resumen de Distintos Rendimientos determinados en la ruta experimental.

Modo	Rendimiento en ruta	Rendimiento Energético [Km/MJ]	Rendimiento Económico [\$/km]
GNC	8,521 Km/m <sup>3</sup>	0,232	67
Gasol-Conv	7,812 Km/L	0,270	113
Gasolina	7,661 Km/L	0,265	115

Se observa que para GNC se tiene un mayor rendimiento por unidad de combustible que con gasolina, lo que tiene directa relación con la menor emisión de CO<sub>2</sub> que presentan estos vehículos. Como se observa en la Tabla 5.9 el GNC gana si se observa la cantidad de km que es posible recorrer con una unidad de combustible. Gana también si se observa el rendimiento económico, al ser el GNC mucho más barato, recorrer un kilómetro cuesta menos en un vehículo GNC, alrededor de \$67, mientras que en el mismo vehículo funcionando en modo Gasolina cuesta un 68% más y un 71% más en el mismo sin convertir.

Como se mencionó en la Sección 2.2 el GNC tiene un mayor poder calorífico que la gasolina, por lo tanto si se analiza el rendimiento energético del vehículo funcionando con distintos combustibles se obtiene que la gasolina presenta un mejor rendimiento en kilómetros por unidad de energía alrededor de un 16% más, lo que tiene sentido considerando que el vehículo fue diseñado para funcionar con este combustible, distinto sería el caso de un vehículo dedicado a GNC.

#### **5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO CON RESPECTO A LA NORMA Y EL FABRICANTE.**

Para realizar la comparación directa con los valores que entrega la norma de emisión que rige actualmente en Chile [36] es necesario obtener los valores que los vehículos medidos hubiesen tenido en la prueba de medición que realiza 3CV, en este caso FTP75. Para ello, como se mencionó anteriormente en la sección 5.2 se tiene la serie de velocidad del test que realiza 3CV en su proceso de homologación, de esta forma es posible determinar el VSP de esta serie y asignar un factor de emisión en función de la campaña experimental que se desarrolló en esta memoria.

Al igual que el análisis que se realizó en la sección 5.2 se utilizan como valores de comparación los asociados a la norma de emisión para vehículos livianos para NO<sub>x</sub> y para CO. Para comparar el CO<sub>2</sub> se utiliza la información de homologación del modelo Tiida, los cuales se observan en la Ficha que se adjunta en el Anexo B.

Se determina un factor de emisión en g/km para cada test, desarrollando la metodología que se explicó anteriormente. De este modo se generan las Figuras que se presentan a continuación, donde la línea color rojo representa los niveles fijados por la norma o por la homologación del modelo en el caso de CO<sub>2</sub>.

En la Figura 5.9 se observan los factores de emisión en g/km que se generaron desde los niveles de emisión medidos en la campaña experimental [g/s]. En la figura se observa que en todos los test se registraron niveles de emisión de  $CO_2$  superiores a los valores de homologación, siendo los más grandes los valores de los test 10 y 11 con un 112 y 122% respectivamente más que el valor de homologación. Se observa además que los valores que más se acercan al nivel que se utiliza como comparación, son los test que se realizaron funcionando con GNC (Test 1, Test 4, Test 6, Test 7 y Test 9). Esto es de especial interés ya que si el país se fija como meta la reducción de las emisiones de  $CO_2$ , los vehículos de este tipo podrían ser un gran aporte para el cumplimiento de este objetivo, aun considerando el nivel de operación que poseen los vehículos de este tipo.

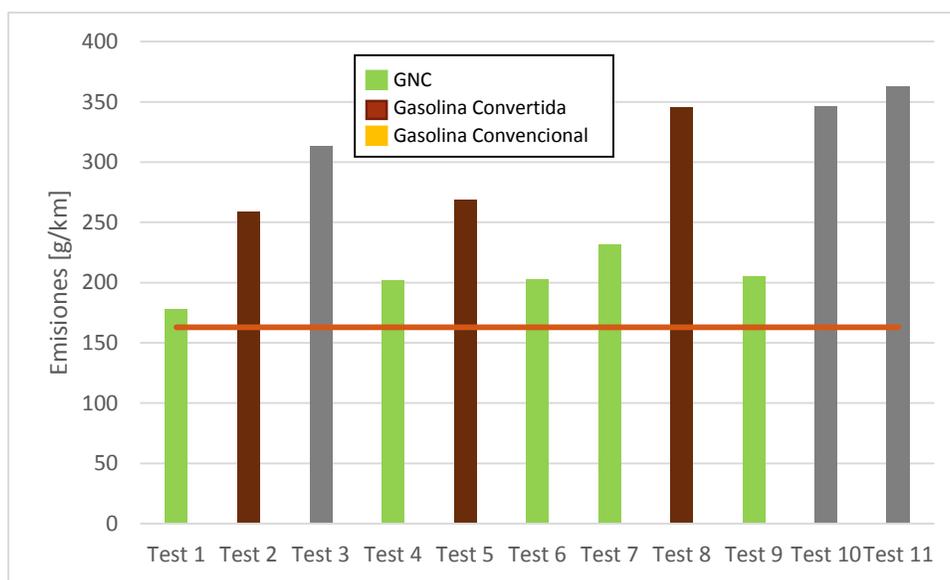


Figura 5.9 Factores de emisión de  $CO_2$  por test comparados con Normativa [g/km]

Del mismo modo que para CO<sub>2</sub> se determina el factor de emisión de cada uno de los Test para el contaminante NO<sub>x</sub>, los cuales se comparan con el nivel de emisión establecido por la norma que se indica como máximo en 0,62 g/km, valor que es superado solo por el test 1, como se observa en la Figura 5.10.

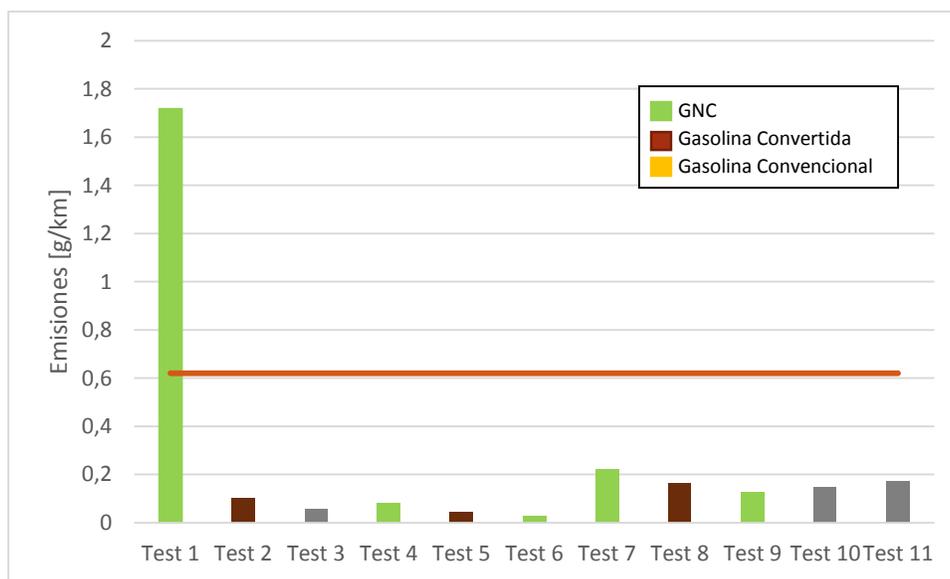


Figura 5.10 Factores de emisión de NO<sub>x</sub> por test comparados con Normativa [g/km]

La desviación estándar de las emisiones de NO<sub>x</sub> es bastante grande, pudiéndose observar en la Figura 5.10 como para test bajo la misma tecnología, como sería el caso del test 6 y 7, las emisiones que se observan corresponden a un valor mínimo para el test 6 y uno de los máximos el 7. Para la comparación entre distintas tecnologías se considera la variabilidad de los datos para dar un mejor análisis a los datos recopilados.

Cabe destacar el caso del test1, el cual debió ser bajado un orden de magnitud para que entre a la tabla comparativa sin distorsionar las demás muestras. El vehículo 1 posee algunos problemas mecánicos provocados por temperatura excesiva al interior de la cámara de combustión, lo que tiene sentido al analizar las emisiones de NO<sub>x</sub> ya que estas se generan por efecto de la temperatura de combustión de la mezcla. En la sección 5.6 relacionada con la comparación de emisiones según la operación del motor, se dedica una subsección al análisis de los resultados del test 1

Para el caso de contaminante CO, si bien se realizó un ajuste post-adquisición de datos, de todas maneras se genera la comparación entre estas emisiones y los máximos niveles de emisión permitidos por la actual normativa, el resultado de esta comparación se presenta en la Figura 5.11.

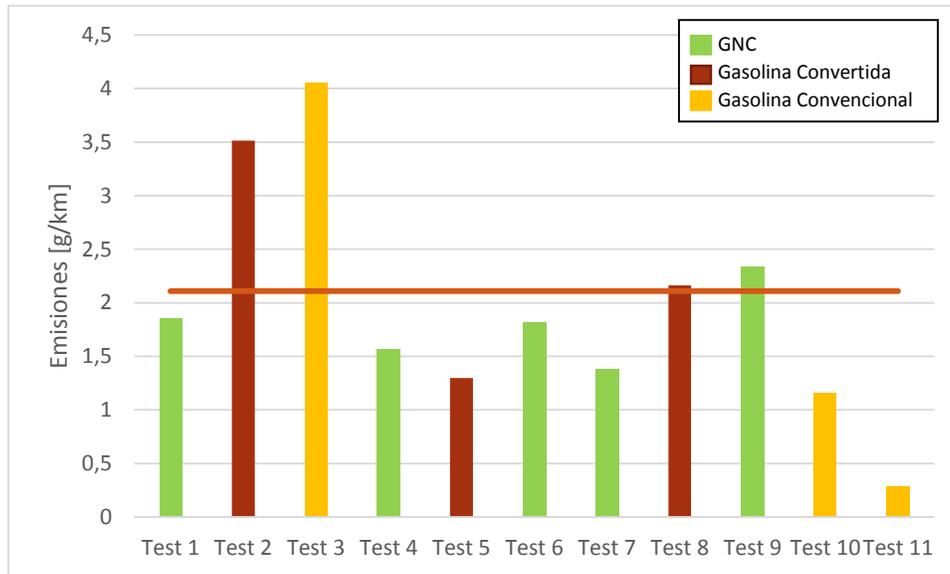


Figura 5.11 Factores de emisión de CO por test comparados con Normativa [g/km]

Para el monóxido, se observa, al igual que el caso del NOx, la variabilidad en el resultado promedio de emisiones es bastante grande. Esto provoca cierta incertidumbre en el valor final obtenido por tecnología. Dentro de la muestra analizada se observan casos donde el nivel de emisiones cae dentro de los parámetros permitidos por la normativa, así como también muestreos que exceden la normativa, cabe destacar el caso del Test 11, donde el vehículo medido corresponde al mismo que se utilizó para el test 3, el cual tiene los mayores niveles de emisiones de CO de todas las muestras. Este resultado provoca que las mediciones para el vehículo 2 posean una gran incertidumbre para este contaminante.

## 5.5 EMISIONES POR TECNOLOGÍA

De los distintos test emisiones, se determinó factores de emisión en [g/km] para cada uno de los vehículos Nissan Tiida funcionando con distintas tecnologías (duales y convencionales). Para el caso de los vehículos Duales se cuenta con un nivel de emisiones funcionando con GNC y también con Gasolina, para el caso del vehículo sin convertir solo se tiene resultados para esta tecnología. De este modo se genera una gráfica comparativa donde se observa los niveles de emisiones agregados por tecnologías.

Para determinar el factor de emisión de la tecnología GNC se agregaron los datos respecto del test 1, test 4, test 6, test 7 y test 9. Generando una desviación estándar que responde a la variabilidad de los datos para cada contaminante en los distintos test, del mismo modo se obtiene el factor de emisión para la tecnología Gasolina Convertido, en donde se agregaron los datos provenientes del test 2, test 5 y test 8. Así como también se obtiene el valor para la tecnología de gasolina convencional, agregando los datos recopilados en los test 3, test 10 y test 11

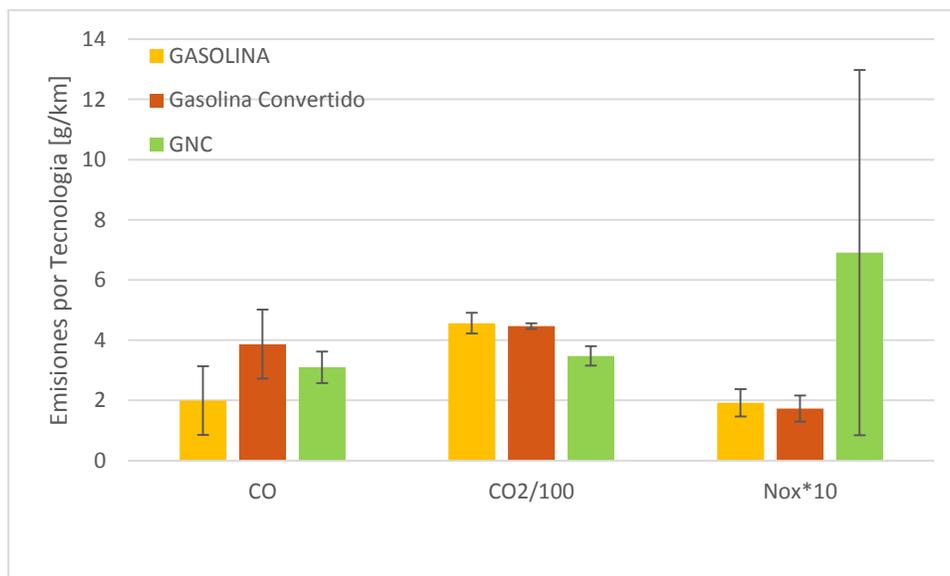


Figura 5.12 Resultados de Emisiones agregadas por Tecnologías c/Test1 en [g/km]

En la Figura 5.12 se observan las emisiones agregadas según tecnología para cada uno de los contaminantes, se expresan gráficamente la desviación estándar de los datos como los segmentos de línea en los extremos de cada una de las barras que representan el factor de emisión, se observa como las emisiones para el contaminante NOx posee una alta variabilidad para el caso del Combustible GNC, esto se explica principalmente por las altas emisiones que se obtuvieron en el Test 1 que posee un orden de magnitud superior a las de otros test.

Como se observó que el test 1 genera una gran dispersión de los resultados de las emisiones de NOx en la tecnología GNC, se analiza la información generada sin considerar este test, se observa que las emisiones tanto de CO2 como de NOx en promedio disminuyen, cabe mencionar que es solo el valor promedio que lo hace, pues como se observó en la sección 4.5 se obtuvieron mayores emisiones de NOx en dos de los 3 vehículos duales medidos en su tecnología GNC durante la campaña experimental.

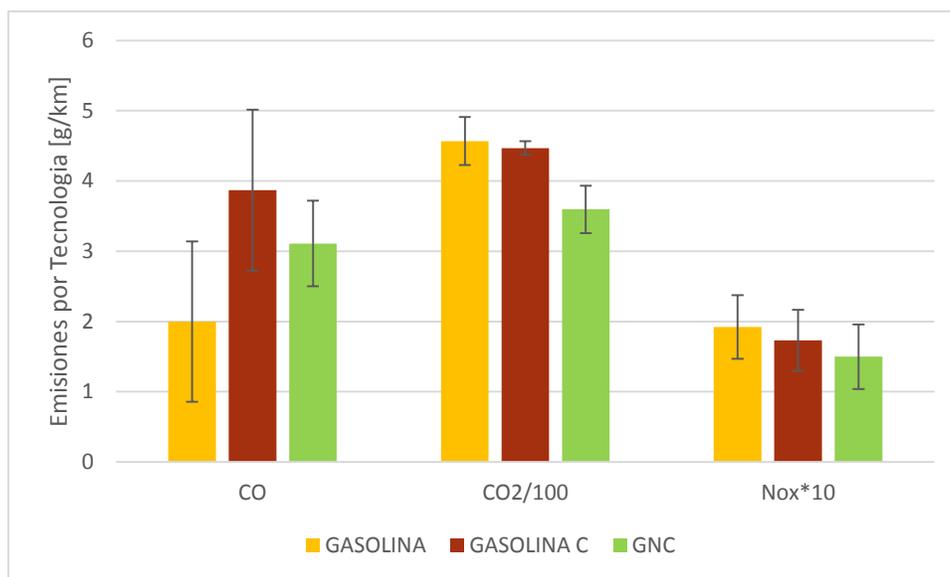


Figura 5.13 Resultados de emisiones agregadas por tecnología s/Test1 en g/km

En la figura se observa el análisis comparativo de las emisiones sin considerar el test 1 en ella se aprecia como al no considerar los resultados del test 1 las emisiones de NOx de las mediciones realizadas, son bastante más parejas y se generan en un mismo rango, inclusive estas poseen similares desviaciones estándar con los datos recopilados de los test realizados en las otras tecnologías. Las menores desviaciones estándar se observan para el contaminante CO2 donde los datos obtenidos en la mayoría de los test presentan comportamientos similares.

## 5.6 COMPARATIVA DE EMISIONES SEGÚN OPERACIÓN

Obtenidos los factores de emisión para los distintos contaminantes por BIN, es posible agruparlos para determinar los distintos niveles de emisiones para los 3 estados energéticos diferentes que se nombran a continuación:

- Ralentí
- Aceleración
- Frenado

En las figuras que se presentan en esta sección en primer lugar se observa los niveles de emisiones obtenidos para cada test así como también la comparación entre distintas tecnologías, la cual permite observar el comportamiento de estas en distintos requerimientos.

### 5.6.1 Emisiones en Ralentí

Para determinar los niveles de emisiones de los distintos contaminantes en este estado energético, se analizaron los valores que se agrupan en torno a los VSP del BIN 11.

De este modo se genera las Figura 5.14, Figura 5.15 y Figura 5.16 donde se observan niveles de emisión para CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub> respectivamente.

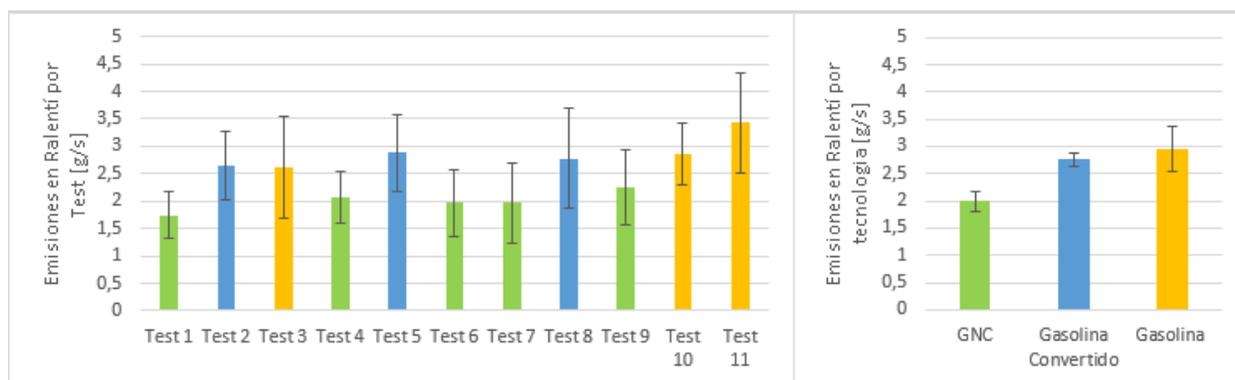


Figura 5.14 Emisiones de CO<sub>2</sub> en Ralentí por Test y agregado por Tecnología

En la Figura 5.14 se realiza la comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se obtienen en los distintos test, además de las emisiones agregadas según tecnologías. Se observa que las emisiones para CO<sub>2</sub> en este nivel energético son bastante regulares y responden con una muy baja variabilidad según las tecnologías, como se interpreta al observar las desviaciones estándar expresadas gráficamente como líneas de segmento al extremo de las barras. En este nivel energético la tecnología que genera mayores emisiones es el Vehículo a Gasolina sin convertir. El kit de conversión a GNC provoca la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.

A continuación en la Figura 5.15 se observan las emisiones para el contaminante CO para todos los test por separado y agrupados según tecnología.

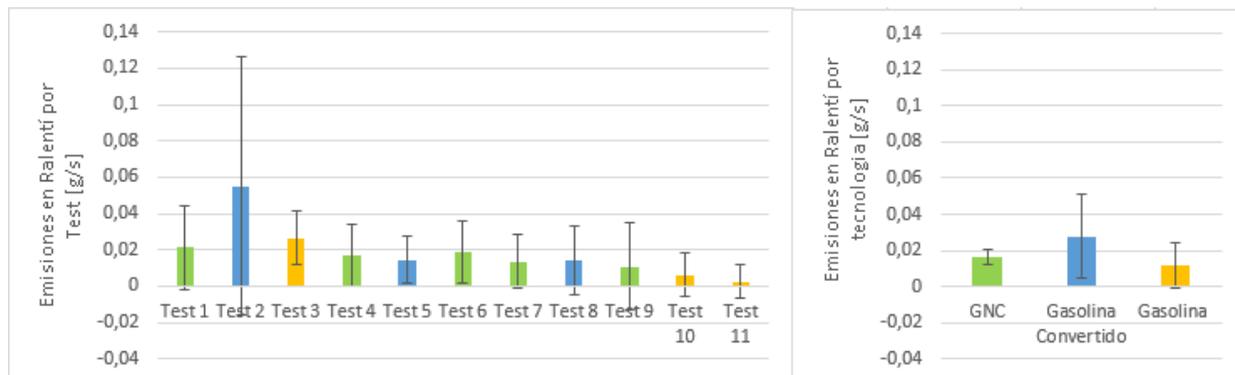
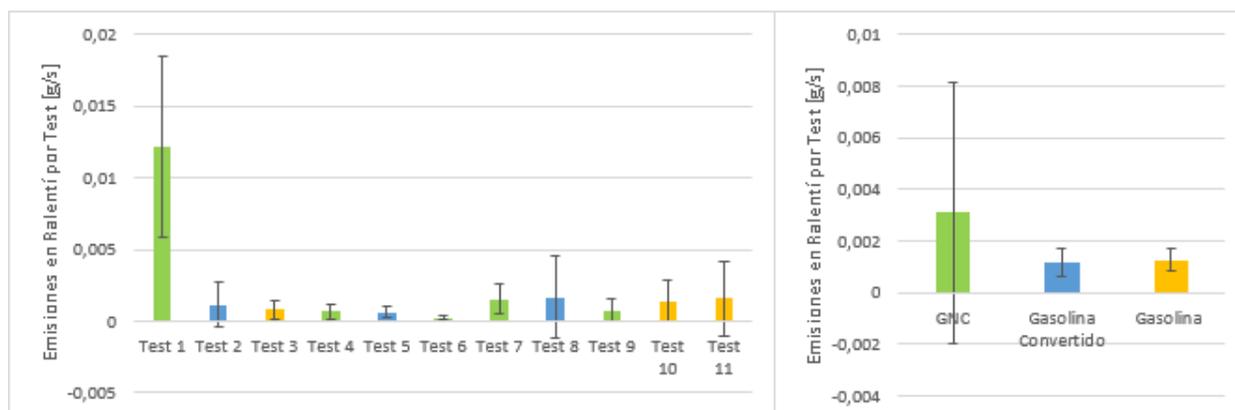


Figura 5.15 Emisiones de CO en Ralentí por Test y agregado por Tecnología

En la Figura se observa como las emisiones de CO de la tecnología del kit de conversión funcionando con Gasolina están aumentadas principalmente por el test 2, el cual posee una gran desviación estándar dentro de sus datos, lo que se interpreta como una importante incertidumbre en el valor final obtenido para esta tecnología. En general las emisiones de este contaminante son bastante similares a excepción del test 2. Las emisiones más grandes se observaron para la tecnología de Gasolina convertido mientras que las más bajas fueron para los test correspondiente al vehículo 2 sin convertir.

Figura 5.16 Emisiones de NOx en Ralentí por Test y agregado por Tecnología



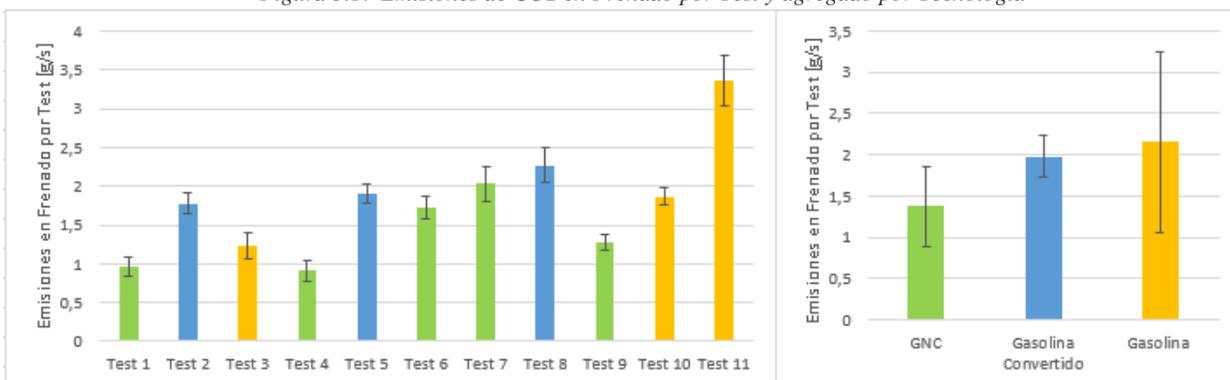
Para el contaminante NOx se observa un importante aporte de contaminantes por parte del test 1 en las emisiones de ralentí que se observan en la Figura 5.16 además se observa que la desviación estándar de este test da cuenta de una gran variabilidad de los datos, moviéndose en valores altos de emisiones de NOx este importante aporte a los contaminantes genera que al realizar el promedio agregado por tecnología el GNC sea la tecnología más contaminante en el modo ralentí, sin embargo también posee la más alta incertidumbre generado por la gran desviación estándar que se observa.

En general las emisiones nocivas se ven aumentadas por la instalación del kit de conversión tanto para CO como para NOx, sin embargo disminuidas para el caso de CO2 lo que se explica principalmente por la menor cantidad de carbono elemental en el combustible.

### 5.6.2 Emisiones en Frenado

Como Frenado se considera a los estados energéticos que se encuentran bajo el BIN 11, estos estados poseen un valor negativo de VSP pues la aceleración lleva ese signo se realizó el promedio simple entre las emisiones de los BIN 1 al 10. Al igual que para el ralentí, se generaron graficas comparativas para cada contaminante, las cuales se agregaron por tecnología.

Figura 5.17 Emisiones de CO2 en Frenado por Test y agregado por Tecnología



En la Figura 5.17 se realiza la comparación de las emisiones que los distintos vehículos emitieron en el rango energético de frenado en la Grafica se observan cómo estas emisiones varían en un amplio rango para el caso de la tecnología GNC donde se obtienen tanto los valores máximos como los valores mínimos, sin embargo al realizar el promedio de esta tecnología se obtiene el menor promedio. Para el caso del resto de las tecnologías el valor es más estable, lo que se observa al analizar las desviaciones estándar del cuadro de la agrupación por tecnología, donde se tiene un valor de 0,18 y 0,23 para Gasolina convertido y gasolina convencional respectivamente mientras que para GNC se tiene un valor de 0,31. Las emisiones de CO2 se ven disminuidas con la instalación del kit de conversión para el estado energético de frenado, siendo en promedio un 25% menores para GNC que para gasolina.

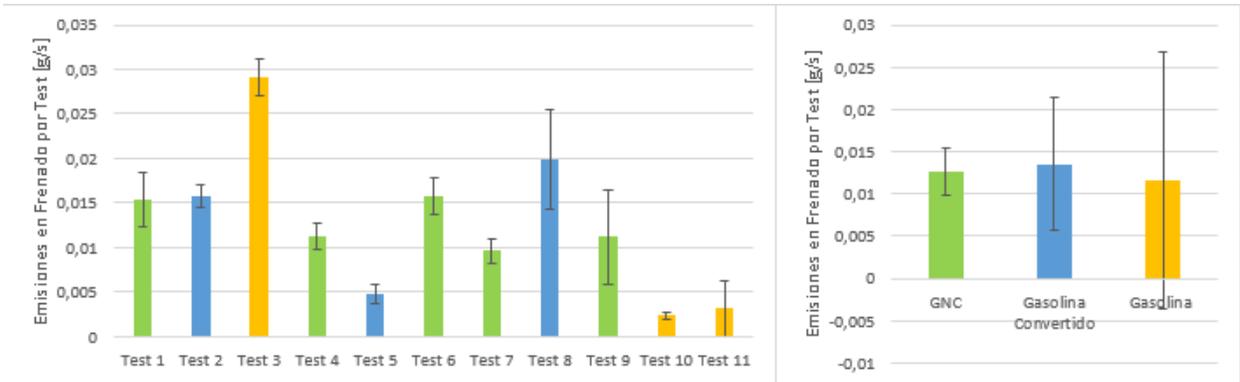


Figura 5.18 Emisiones de CO en Frenado por Test y agregado por Tecnología

Para el caso de las emisiones de CO, en promedio se observan bastante similares, estando todas en torno a los 0,004 g/s para el estado energético de frenado, sin embargo si observa test a test se puede identificar la gran variabilidad que tienen los datos de este contaminante, vale la pena destacar el caso de las mediciones efectuadas al vehículo 2, el cual se grafica en amarillo en la Figura 5.18 los valores obtenidos en los test 3, 10 y 11 tienen muy poca variabilidad entre ellos, sin embargo cuando se agregan para obtener las emisiones por tecnología se genera una desviación estándar de 0,005, el cual es un 80% más grande que la desviación de la tecnología Gasolina convertido y un 235% más grande que para GNC

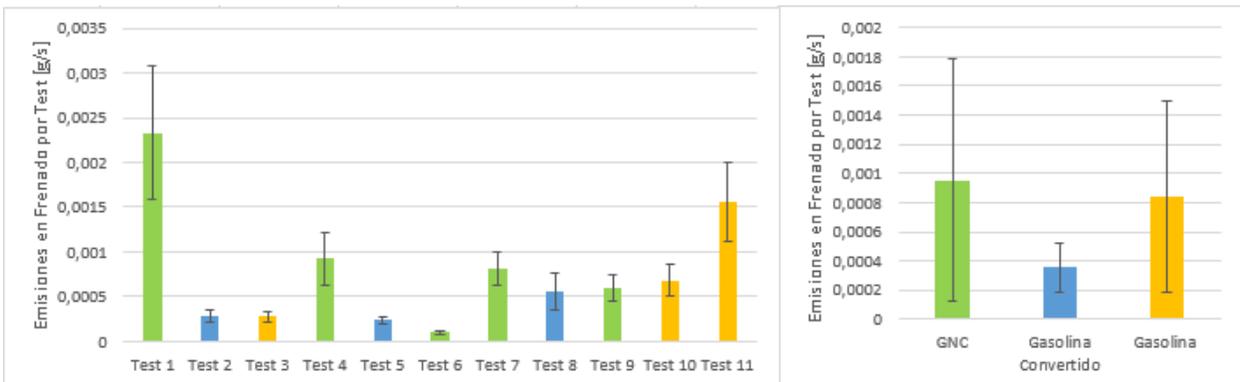


Figura 5.19 Emisiones de NOx en Frenado por Test y agregado por Tecnología

Para el caso de las emisiones de NOx que se observan en la Figura 5.19 se identifica en particular para el caso del Test1 que la diferencia respecto de los otros test no es tan significativa como para el Ralentí, sin embargo de igual manera las emisiones de NOx de la tecnología GNC son superiores a las otras tecnologías a Gasolina. Las emisiones de NOx de la tecnología Gasolina convertido, son en particular bajas con una baja incertidumbre, lo que se debe principalmente a las bajas emisiones obtenidas en el test 2 y 5, por lo que se puede indicar que las emisiones de NOx con el kit de conversión instalado y funcionando con el combustible convencional se ven

disminuidas con respecto al vehículo sin convertir, sin embargo al cambiar el modo a GNC, las emisiones de este contaminante se disparan siendo en promedio un 150% mayores.

### 5.6.3 Emisiones en Aceleración

Como aceleración se consideran los estados energéticos que poseen más altos valores de VSP, para realizar este análisis se agregaron los valores de emisiones provenientes de los BINs superiores al BIN 11. Es importante analizar las emisiones en este nivel de operación, pues es donde se genera la mayor cantidad de contaminantes.

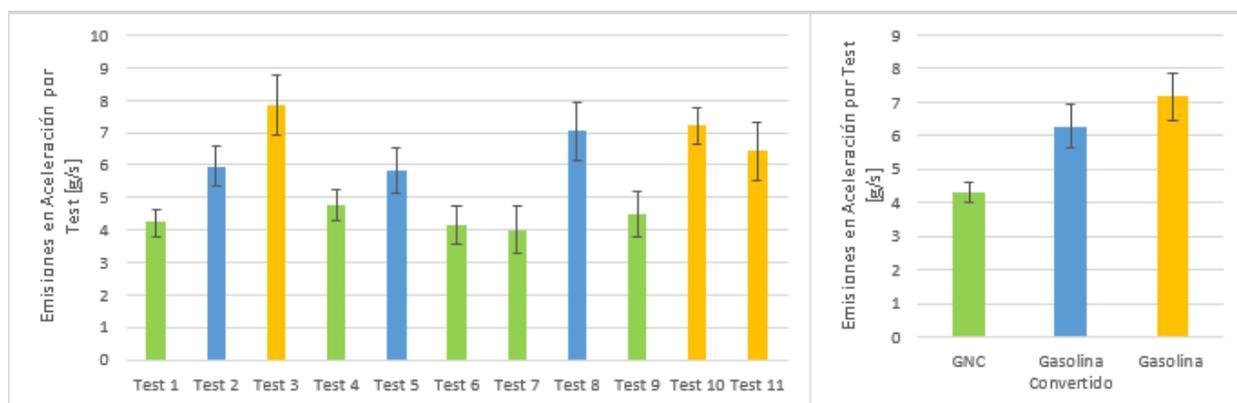


Figura 5.20 Emisiones de CO2 en Aceleración por Test y agregado por Tecnología

En la Figura 5.20 se observan las emisiones de CO2 de todos los estados acelerados de los test de emisiones que se efectuaron. Al igual que los demás estados energéticos para el contaminante CO2 se observan disminuciones en las emisiones para los vehículos funcionando con el kit de conversión, destacándose los casos del funcionamiento con GNC que son los test que entregan menor cantidad de emisiones de CO2 a la atmosfera, en promedio un 35 y un 49% menores para Gasolina convertido y Gasolina convencional Respectivamente. Las desviaciones estándar para este contaminante no son particularmente grandes, ya que los valores se mantienen bastante estables a través de los test.

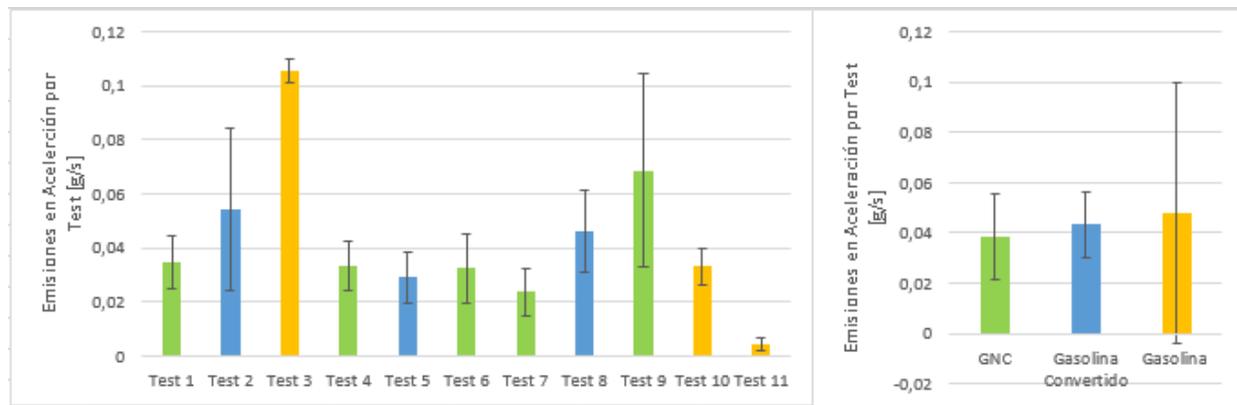


Figura 5.21 Emisiones de CO en Aceleración por Test y agregado por Tecnología

Las emisiones del Contaminante CO para el estado Acelerado se presentan en la Figura 5.21, donde se observa que las emisiones disminuyen para los vehículos que poseen kit de conversión al igual que lo hacen para el caso del CO<sub>2</sub> en la Figura 5.20, sin embargo para el caso del vehículo a gasolina sin convertir se presenta una gran dispersión de los valores, representándose como una alta desviación estándar, los valores del test3 son los que generan que esta tecnología se sitúe como la más contaminante en este nivel energético, sin embargo si no se considerará este test seria la menos contaminante. Cabe destacar que las emisiones de CO en los test realizados en la presente memoria, son obtenidas por medio de un procesamiento posterior a la adquisición de datos, pues el dispositivo de mediciones presento problemas para la medición de este contaminante, por lo tanto estos niveles de contaminante pueden estar distorsionados en el procesamiento. Sin embargo al estar todos procesados del mismo modo, es posible realizar la comparación que se observa en la figura. El GNC se sitúa como la tecnología que emite menor cantidad de CO en el estado de aceleración, explicado principalmente por la menor cantidad de carbono elemental presente en el combustible, además a partir de la figura se podría determinar que la combustión con GNC resulta más “perfecta” que la de gasolina, para los estados energéticos acelerados.

Para el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub> en los estados energéticos acelerados, se presenta la Figura 5.22, donde se observa tanto las emisiones por test como el agregado para cada tecnología.

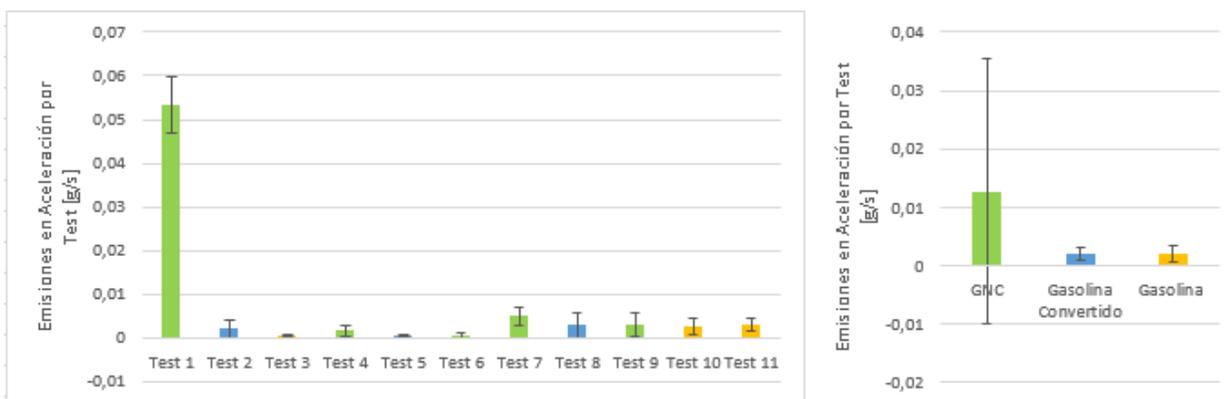


Figura 5.22 Emisiones de NO<sub>x</sub> en Aceleración por Test y agregado por Tecnología

En la figura se observan lo alta que son las emisiones para el Test 1, las emisiones en ese test poseen una desviación estándar bastante baja como se observa en el extremo de la barra de ese test. Sin embargo en comparación con los niveles de emisiones que se observan en el resto de los test de emisiones estas se presentan bastante superiores, 8 veces más grandes que las del test 7 que son la segunda más grande. Si no se considerara el test 1 en el análisis de emisiones en aceleración (Figura 5.23), se observa que de igual manera las emisiones de la tecnología GNC son superiores a las otras 2 opciones, sin embargo la diferencia entre ellas es más reducida, por lo que las desviaciones son mucho más modestas que para el caso anterior.

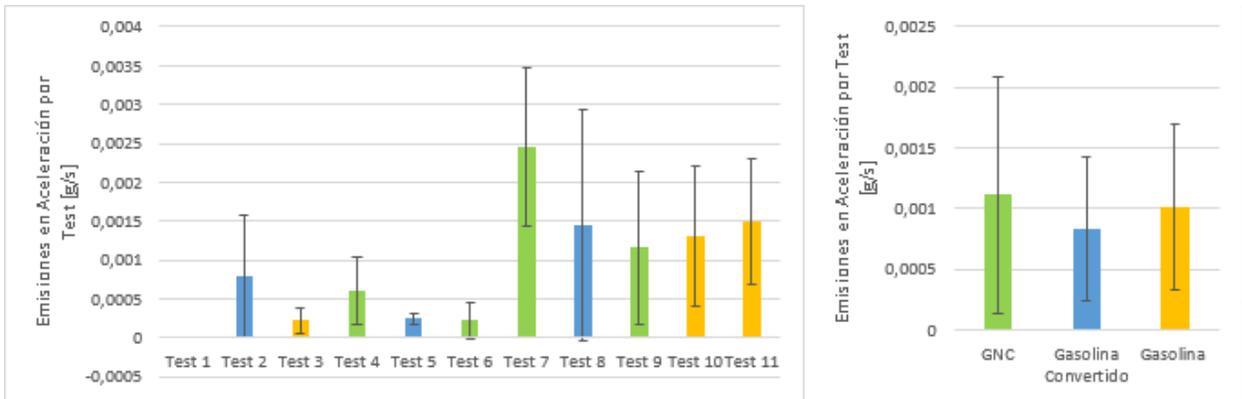


Figura 5.23 Emisiones de NOx en aceleración por Test y agregado por Tecnología, se excluye Test 1

Las emisiones de NOx se ven perjudicadas con la instalación del Kit de conversión para el estado energético de aceleración, se incrementan un promedio de 33% por sobre la tecnología de gasolina convertido y un 10% para el caso del vehículo sin convertir.

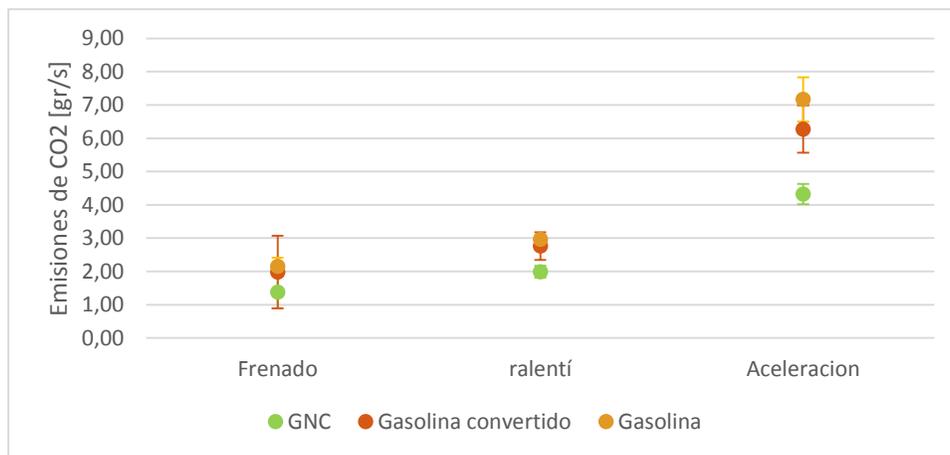


Figura 5.24 Emisiones de CO2 por tecnología y operación

En la Figura 5.24 se presentan las emisiones de CO2 según la operación de los vehículos, claramente se observa que la tecnología GNC presenta menores niveles de emisiones en todos los niveles de operación, además se observa la baja desviación estándar que poseen los datos, disminuyendo la incertidumbre de estos valores.

Para el caso de las emisiones CO se observó que la tecnología Gasolina convertido fue la que mayores emisiones tuvo en el rango de frenado y ralentí sin embargo son superadas en el nivel de aceleración por las emisiones de la tecnología a gasolina con una alta desviación estándar para el nivel de aceleración. Se comentó previamente que la desviación estándar del modo gasolina resulto ser bastante grande por efecto de las amplias diferencias que se observaron entre un día de medición y otro para el mismo vehículo. De la figura se puede extraer, que la instalación del kit de conversión empeora las emisiones del vehículo convertido en su modo gasolina para la

operación en ralentí, generando mayor cantidad de contaminante CO lo que implicaría una peor combustión al interior de la cámara.

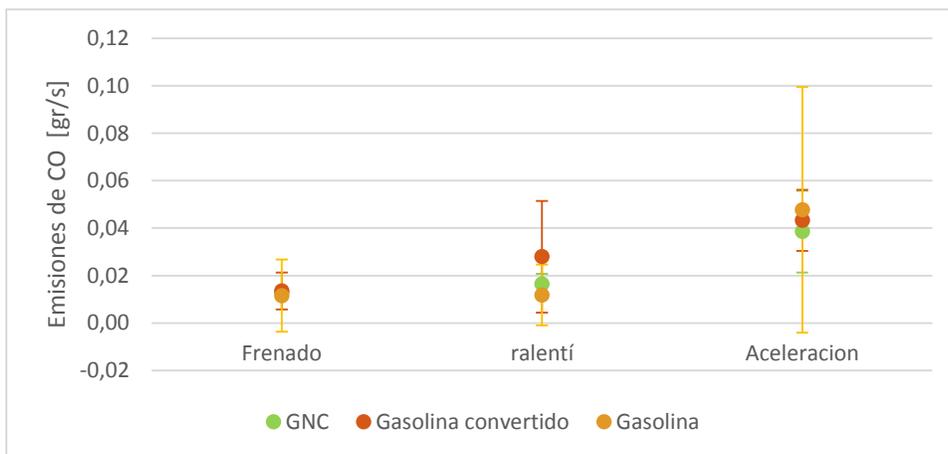


Figura 5.25 Emisiones de CO por tecnología y operación

Para el caso del contaminante NOx se observan dos análisis presentados en la Figura 5.26 y Figura 5.27, donde en primer lugar se observan las emisiones considerando el vehículo 1 y el segundo lugar sin considerar este vehículo, este análisis se realiza para disminuir en parte la incertidumbre que genera este alto valor de emisiones de NOx

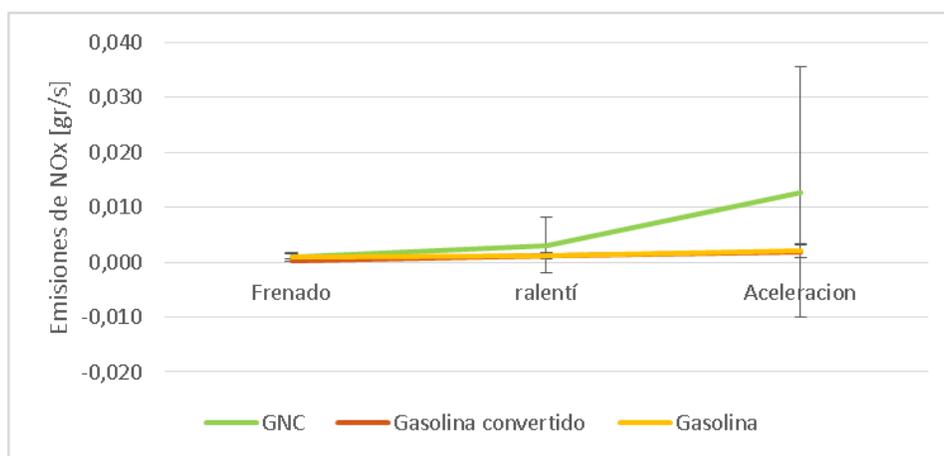


Figura 5.26 Emisiones de NOx por tecnología y operación

Al considerar el vehículo 1 se observa como las emisiones son en exceso altas para la tecnología GNC en el rango de aceleración, también se observan más altas en la operación de ralentí y frenado, sin embargo la diferencia es menos importante que para el caso de aceleración, donde esta llega a ser 6 veces las emisiones de la tecnología a gasolina sin convertir.

Si se retiran los valores del test 1 se observa que las emisiones son bastante más similares entre si, sin embargo de igual manera se observa como las emisiones del GNC son mayores tanto en frenado como en aceleración que el modo gasolina convertido, para el caso de la tecnología sin convertir en cambio solo se ve superada en aceleración por el GNC. Las menores emisiones en ralentí para GNC indicarían que en estos vehículos funciona de mejor manera el sistema de inyección gaseoso que para gasolina, no así para el estado acelerado del mismo vehículo.

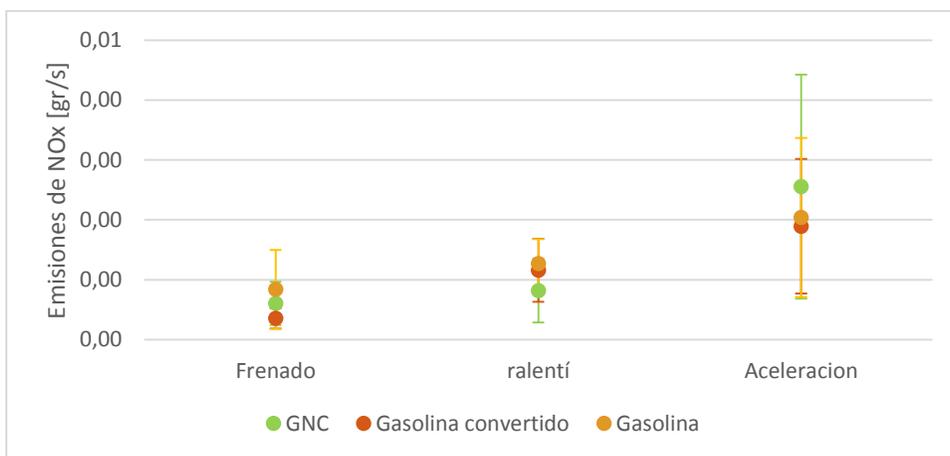


Figura 5.27 Emisiones de NOx por tecnología y operación sin considerar test1

## 6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

---

A continuación se presentan las discusiones y conclusiones finales separadas por los temas desarrollados a lo largo del informe

### 6.1 CAMPAÑA EXPERIMENTAL

La campaña en si se desarrolló sin inconvenientes salvo dos ocasiones en donde se descargó la batería, hecho que provoco una detención del muestreo del final de la ruta, este impase no fue de gran importancia, ya que al realizar el normalizado de las emisiones por la variable VSP se rescataron los valores de esa muestra del mismo modo que las demás. La batería necesaria para hacer funcionar el SEMTECH G a lo largo de la campaña fue uno de los componentes críticos, ya que sin ella es imposible mantener funcionando el dispositivo de muestreo a bordo. Para evitar inconvenientes para campañas experimentales es importante determinar que batería es la óptima para las horas de muestreo que implica cada recorrido de una ruta.

### 6.2 RUTA DE MEDICIÓN

La ruta elegida previamente, se recorrió durante los 5 días de campaña experimental en un tiempo de ruta que va entre los 47 y 53 min por vuelta, la ruta se recorrió con velocidades promedio de entre 18,7 y 23,4 km/h. La ruta presento buenas característica con respecto al tráfico que se observó en los 5 días que tomó la campaña experimental, el cual se mantuvo relativamente constante durante los días, salvo para el caso del último de día de campaña, donde se observaron condiciones de trafico inusuales y extraordinarias. Estas condiciones anormales de tráfico causaron que el vehículo medido tardara algunos minutos extra en recorrer la ruta, los cuales no fueron significativos en la totalidad del muestreo de cada vehículo.

### 6.3 ASIGNACIÓN DE VSP

Para la asignación de VSP, la variable más importante que fue medida y procesada durante el análisis de resultados fue la velocidad relativa del vehículo, las mediciones de esta variable presentaron problemas si se utilizaba directamente como la entrega el SEMTECH G, ya que ocasionaba en diversos momentos que la aceleración se hiciera 0 y esto genera asignaciones de emisiones en BINs erróneos. Para evitar este hecho se realizó un suavizamiento de la variable velocidad, lo que permitió una asignación de BIN también más suave que finalmente generó los resultados que se presentaron en el presente informe. Para la asignación de VSP, además del suavizamiento de la curva en ciertos puntos por medio de un promedio móvil, se asumió como supuesto, que la pendiente de la ruta fue despreciable entre un instante y otro, supuesto que se justificó en la **Sección 4.4** donde se identificó una pendiente máxima de 0,8% a lo largo de la ruta, lo cual no implica grandes exigencias para el motor. Por lo que se desprecia este efecto.

De los resultados de la asignación de VSP se obtuvo que la mayor parte de los test de emisiones se realizaron entre los BIN 8 y 16 concentrándose principalmente en los BIN cercanos al 11 que representa al ralentí, con valores entre un 20-40% de puntos en el BIN 11 y entre 10-30% para el BIN 12, lo que da cuenta de que al desarrollar una ruta de mediciones en condiciones reales, son las emisiones en ralentí las que primar en el total de emisiones.

## 6.4 ASIGNACIÓN DE EMISIONES

Para realizar las comparaciones entre los datos y obtener correlaciones de estos, se analizaron 3 posibilidades: Velocidad, Aceleración y Potencia Especifica vehicular. Del análisis de estas tres variables se determinó que para la velocidad se contaba con un valor  $R^2$  de 0.26 para la aceleración de 0.30 y para potencia especifica vehicular un valor  $R^2$  de 0.51 lo que sitúa a la potencia especifica vehicular (VSP) como la mejor variable para correlacionar los valores de emisión

De la asignación de emisiones por VSP se obtuvieron resultados tanto de emisiones en g/km como en g/s, los primeros dan cuenta de una agregación total de la ruta de medición y los segundos de las emisiones asociadas a la operación instantánea del motor. De las agregaciones totales se obtuvo que las mayores emisiones para el contaminante CO<sub>2</sub> se obtuvieron en el Test 11 (vehículo 2-Gasolina) lo cual tiene directa relación con el combustible consumido a lo largo de la ruta, pues fue la ruta que presento mayores niveles de tráfico. Para el caso del contaminante NO<sub>x</sub> las mayores emisiones fueron registradas en el test1 en el cual se midió el vehículo 1 funcionando en GNC, obteniéndose mediciones de 2,8 g/km estos valores son prácticamente de un orden de magnitud superior a los valores de los demás test de emisiones lo cual genera distorsiones en la agregación final. Se plantean como hipótesis que este vehículo posee problemas tanto de configuración del Kit de conversión como de convertidor catalítico, por los altos niveles de NO<sub>x</sub> medidos en los distintos niveles de operación.

Las mediciones de CO obtenidas en los resultados, fueron agregadas a partir de los datos entregados por el SEMTECH G, los cuales poseían una desviación ocasionada por el corrimiento del cero del sensor que mide esta variable. Estos resultados fueron ajustados para cada una de las mediciones, permitiendo así la generación de resultados para este gas. Considerando este hecho, es que las mayores emisiones registradas se obtuvieron en el test 3 (vehículo 2-Gasolina), lo cual genera una alta desviación estándar pues el mismo vehículo en otra ruta de mediciones (Test11) generó los menores valores para este contaminante.

De la comparativa vehículo a vehículo, se observó que dos de los tres vehículos duales medidos presentaron mayores emisiones de NO<sub>x</sub> funcionando con GNC versus las emisiones del mismo vehículo funcionando con Gasolina. Lo cual indica que dentro del espectro de posibilidades de emisiones vehiculares, se pueden encontrar tanto vehículos que ven favorecidas sus emisiones con la utilización de GNC y como los que las ven perjudicadas.

## **6.5 COMPARATIVA CON RESPECTO AL VEHÍCULO CONVENCIONAL**

Los valores obtenidos para el vehículo funcionando con combustible convencional fueron determinados del análisis de tres test de mediciones, estos valores fueron agregados para obtener un valor por unidad de distancia y separados para obtener nivel de emisión según la operación instantánea. Una vez obtenidos los valores de emisiones agregados se comparó con los datos provenientes de la homologación del mismo Modelo por los laboratorios de 3CV. De esta comparación se determinó que el vehículo medido presentaba, como se esperaba, mayores emisiones que los valores de homologación, lo que se explica principalmente por el gran nivel de actividad que poseen estos vehículos y el desgaste típico del motor. Para realizar una correcta comparación con respecto a los máximos permitidos por la norma. Se utilizaron los valores de VSP del ciclo de conducción FTP75, obteniéndose valores de 222.45 g/km para CO, 0.081 g/km para NOx y 1.19 g/km para CO, valores que si bien se encuentran dentro de la norma de emisiones, superan con creces los valores de homologación antes mencionados.

Al comparar los distintos vehículos con respecto al vehículo con la tecnología base sin convertir se determinó que para el vehículo 1 los niveles de CO se vieron empeorados por la instalación del kit, para CO<sub>2</sub> el kit mejoro las emisiones disminuyéndolas en un 38%, para NOx se observa como las emisiones se ven en gran medida afectadas en la operación con GNC no así las emisiones en modo gasolina las que si disminuyeron con respecto al vehículo sin convertir. Para el vehículo 3 las emisiones de CO<sub>2</sub> y NOx se vieron disminuidas con respecto al vehículo 2 por la instalación del kit en sus dos modos de operación, sin embargo las emisiones de CO se vieron aumentadas con respecto al vehículo 2. Para el vehículo 4 se vieron aumentadas las emisiones tanto de CO en todos sus modos y NOx solo en su modo gasolina, las emisiones tanto para CO<sub>2</sub> como para NOx GNC se vieron disminuidas con respecto a la tecnología base sin convertir.

## **6.6 CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

El consumo de combustible de los distintos test, se determinó considerando la oxidación completa del carbono elemental del combustible, por lo tanto se considera como un valor referencial solo comparativo, y no necesariamente lo que ocurre exactamente en el vehículo. Este valor considera solo las emisiones de CO<sub>2</sub> que se midieron de la campaña experimental.

Para los distintos test se observaron rendimientos de combustible similares considerando una unidad de combustible (litro para el caso de gasolina, metro cubico para GNC). Si se analiza el rendimiento en la ruta considerando directamente km/unidad de volumen, la tecnología que resulta con mayor rendimiento es la de GNC alcanzando los 8,5 km/m<sup>3</sup>, versus los 7,8 y 7,6 km/lit para gasolina convertido y gasolina convencional respectivamente. Del mismo modo si se analiza el rendimiento económico (\$/km) también resulta el GNC como la tecnología con mejor rendimiento teniendo un costo de 66 pesos cada kilómetro recorrido, versus los 113 y 115 de las otras tecnologías. Sin embargo si se observa el rendimiento por unidad energética del combustible, se debe recordar que el GNC posee un mayor poder calorífico, por lo tanto es lógico que se obtenga

un mejor rendimiento, sin embargo se observa que el GNC es la tecnología que presenta el menor rendimiento energético, con solo 0,23 km/MJ versus los 0,27 y 0,26 km/MJ de las otras dos tecnologías a Gasolina. Esto se explica principalmente por qué el motor de los vehículos Nissan Tiida está especialmente diseñado para funcionar con Gasolina y no con GNC, por lo que aprovecha de mejor forma la energía contenida en el combustible líquido que en el Gaseoso.

## **6.7 EMISIONES RESPECTO DE LA NORMA**

Para realizar la comparación con la normativa actual, se debió desarrollar una metodología para generar valores comparables de niveles de emisiones. Estos valores debieron considerar condiciones similares de exigencia de motor. Para ello se utilizó la serie de velocidades que se desarrolla en el ciclo de conducción FTP75, ciclo que se utiliza para realizar las pruebas en dinamómetro de chasis en la entidad certificadora 3CV, de este modo se obtuvo un valor de emisiones por kilómetro para cada test, valor que fue comparado con la normativa actual.

Para comparar valores de emisiones de CO<sub>2</sub> se utilizó como valor referencial el valor de homologación del modelo Tiida, dato que utiliza el Ministerio de Energía para realizar el etiquetado de eficiencia de vehículos.

De los resultados obtenidos para las emisiones, se observó que los niveles de CO<sub>2</sub> de las muestras son todas superiores al nivel de emisiones que se obtiene de la homologación de estos vehículos, lo cual responde al desgaste común que tiene un motor en la operación normal, a mayor uso el vehículo presenta menores valores de rendimiento, lo que es una relación directa para el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los valores más cercanos al valor de homologación determinado por 3CV corresponden a los factores de la tecnología GNC los cuales se presentan bastante estables manteniendo una baja desviación estándar con un promedio en torno a los 200g/km.

Para el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub> los valores obtenidos en la mayoría de los test fue muy inferior al valor indicado por la normativa para este tipo de vehículos. Sin embargo el test 1 generó valores de emisión superiores a la norma de emisión, lo que indicaría que en el parque automotriz existen al menos vehículos emitiendo con un nivel muy superior a las emisiones permitidas. Esto resulta de especial cuidado ya que los contaminantes NO<sub>x</sub> (junto con el material particulado) son los que se busca disminuir con la aplicación de normas de emisiones más exigentes.

Para el contaminante CO se observó que la desviación estándar para el caso del GNC es relativamente baja, en comparación a las observadas para el caso de las tecnologías a gasolina. De los valores obtenidos para los once test, solo se obtuvieron dos valores que superaron significativamente la norma, ambos valores se obtienen en tecnología a gasolina el test2 de gasolina convertido y el test3 para gasolina convencional. Sin embargo los valores para el vehículo medido en el test 3 poseen una alta incertidumbre al tener valores tan diferentes comparados con los test 10 y 11.

## 6.8 EMISIONES POR OPERACIÓN

Para realizar el análisis con respecto a la operación del vehículo, se determinaron 3 niveles energéticos, los cuales responden a los niveles de aceleración del vehículo, estos fueron: Frenado, Ralentí y Acelerado. Para los tres estados energéticos se determinaron los factores de emisiones en g/s, los cuales presentan diferencias para las tecnologías analizadas.

Del análisis del nivel energético correspondiente al ralentí se obtuvieron valores de emisiones en g/s, las cuales se comparan directamente entre las tecnologías. Al observar las emisiones de CO<sub>2</sub> en ralentí, se visualiza una disminución en las emisiones de los vehículos con el kit de conversión instalado, donde la más importante reducción de emisiones corresponde a la tecnología GNC con un 35%. Para las emisiones de CO en el mismo estado energético, se observó un aumento en las emisiones tanto para GNC como para la tecnología de gasolina convertida, lo cual indica que en este rango de operación el vehículo se ve perjudicado con la instalación del kit de conversión. Las emisiones de NO<sub>x</sub> en ralentí como en la mayoría de los análisis realizados en este trabajo, para GNC se observan bastante altas en comparación con las emisiones de las otras tecnologías, lo cual indicaría una operación deficiente del kit de conversión en el control de emisiones.

Las emisiones en g/s que caracterizan al nivel de operación de frenado para CO<sub>2</sub> se observa un comportamiento similar al modo ralentí donde las emisiones de la tecnología GNC son un 25% menor a la tecnología de gasolina sin convertir. Para CO se observó que las emisiones son estables para las tecnologías GNC y gasolina convertida, sin embargo son levemente superiores a las de la tecnología sin convertir, aproximadamente un 9%. Para el contaminante NO<sub>x</sub> del mismo modo que el estado de ralentí se observó que la tecnología GNC emite mayor cantidad de contaminantes por unidad de tiempo, siendo un 13% superior a la gasolina sin convertir. Y un 150% superior al modo convertido.

Para el nivel de operación de aceleración se obtuvieron las emisiones de CO<sub>2</sub> donde se observaron disminuciones aún más importantes que en los demás estados, donde se observó un 49% de disminución respecto de la gasolina sin convertir. Las emisiones de CO se mantuvieron bastante estables en las dos tecnologías convertidas y una alta desviación para la sin convertir. Sin embargo se observó una disminución en las emisiones para la tecnología GNC de un 20%. Para el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub> se realizó un análisis en donde se considera el test 1 y uno en donde no. El primer análisis muestra que las emisiones de NO<sub>x</sub> para la tecnología GNC son en exceso superiores a las otras tecnologías superando en 8 veces los niveles de emisión para gasolina sin convertir. Sin embargo en el segundo análisis el aumento es bastante más modesto solo llegando a un 33% por sobre la tecnología base. Esto da cuenta que en este estado energético las emisiones de NO<sub>x</sub> son elevadas en comparación a la tecnología sin convertir, sobre todo si el vehículo presenta desperfectos en su sistema de inyección, donde las emisiones pueden llegar a incrementarse un 800%.

## **6.9 ANÁLISIS POR TECNOLOGÍA**

Del análisis presentado en el Capítulo 5.5 se obtiene que los factores de emisión para CO<sub>2</sub> son 465.69, 446.85 y 347.71 g/km para Gasolina, Gasolina convertido y GNC respectivamente, se observa que en general las emisiones de CO<sub>2</sub> se ven disminuidas con la instalación del kit de conversión, obteniendo valores más bajos para GNC.

Las emisiones de CO se observan en 1.99, 3.86 y 3.10 g/km para Gasolina, Gasolina Convertido y GNC respectivamente. Las emisiones de este contaminante se ven perjudicadas con la instalación del kit de conversión, aumentando tanto en la modalidad GNC como en la de Gasolina Convertido, esto da cuenta de deficiencias en la combustión al interior del motor, lo que puede ser resultado del manejo de las relaciones aire/combustible que se deben asignar al computador del vehículo para los distintos combustibles.

Al determinar las emisiones de NO<sub>x</sub> agregadas por tecnologías, surge el problema al agregar las emisiones del test 1 correspondiente a GNC, ya que estas son varias veces superior a las emisiones de las otras tecnologías. Por ello se separa el análisis en dos, en primer lugar considerando el test 1 y en segundo lugar se excluye del agregado por tecnología. Si se considera para la obtención del promedio, se observan niveles de emisión de NO<sub>x</sub> de 0.192, 0.172 y 0,691 g/km para gasolina, gasolina convertida y GNC respectivamente de donde se determina claramente que las emisiones de NO<sub>x</sub> para GNC son casi 3 veces superiores a las emisiones del modo convencional sin convertir. Si bien las emisiones para GNC son bastante grandes, también lo es la desviación estándar asociada a los datos que generan el promedio que determino este factor de emisión, llegando a 12 veces la desviación asociada a las otras tecnologías. Al no considerar el test 1 en la determinación del promedio asociado a la tecnología, se obtiene que la instalación del kit de conversión genera disminuciones en las emisiones de NO<sub>x</sub>, lo que resulta contradictorio, al observar que en 2 de los 3 vehículos duales medidos esto no se cumple, sin embargo esto se complementa con la magnitud de la desviación estándar asociada al dato, la cual considera una variabilidad que sitúa por encima o por debajo al GNC de la gasolina sin convertir según se requiera.

## **6.10 CONSIDERACIONES GENERALES.**

Con respecto a la ruta predefinida, se eligió considerando la distancia, el tipo de calle y tiempos de recorrido que posee la ruta que ejecutan originalmente los vehículos analizados. Estas consideraciones resultaron suficientes para asegurar la homogeneidad necesaria para la comparación de datos entre los test de emisiones en distintas oportunidades brindando valores de VSP similares para todos los test.

La utilización de la metodología que utiliza la potencia específica vehicular para la asignación de emisiones vehiculares permite realizar mediciones en distintas condiciones tanto temporales

como operaciones y de igual manera obtener resultados comparables entre sí. La metodología se confirmó así como una poderosa herramienta para la realización de campañas experimentales.

De la literatura consultada se identificó que los ciclos de conducción utilizados en los distintos ensayos de emisiones influyen importantemente en las emisiones que se obtienen de la campaña experimental, es por ello que habitualmente se realiza el mismo ensayo para generar resultados comparables. Al realizar una campaña de medición on-board, no se cuenta con condiciones controladas de velocidad y exigencias del motor, por lo que se debe ser mucho más cuidadoso a la hora de comparar emisiones entre distintos ensayos.

Dentro de la muestra se analizó un vehículo convertido que generó emisiones en exceso altas para el contaminante NO<sub>x</sub>, lo que permite suponer que dentro del parque automotriz de Taxis y Colectivos convertidos existen vehículos con similares niveles de emisión operando, los cuales no están siendo medidos o se está haciendo de manera deficiente en las plantas de revisión técnica. Si bien este vehículo se considera un caso extraño dentro de la muestra analizada, no puede descartarse que sea una condición común dentro del parque total de taxis básicos y colectivos convertidos.

La instalación de Kits de conversión sin duda genera ventajas para el conductor por concepto de rendimiento económico del combustible. Además genera disminuciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>, tema que se encuentra en la discusión pública por ser uno de los causantes del calentamiento global. Sin embargo la instalación de este dispositivo genera algunos problemas en los otros contaminantes. Observándose aumentos en el contaminante NO<sub>x</sub> en dos de tres unidades duales medidas con respecto del combustible convencional, lo cual se presenta como un problema ambiental al considerar que las normativas que fijan los niveles máximos de este contaminante buscan disminuirlo en sus versiones más modernas.

## **6.11 CONCLUSIÓN GENERAL**

La instalación de un Kit de conversión genera cambio en los niveles de emisiones del motor intervenido, los cuales pueden empeorar o mejorar respecto de la tecnología base, dependiendo de la operación del vehículo. Por lo tanto en un escenario de masificación de esta tecnología se hace imperativa la necesidad de realizar un estudio más extenso que busque determinar con mayor representatividad los niveles de emisiones de estos vehículos dentro de la flota de interés, ya que este trabajo en conjunto con diversos estudios aislados han encontrado niveles de emisiones de NOx en exceso altos para este tipo de vehículos.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Intituto Nacional de Estadísticas INE, «Intituto Nacional de Estadísticas,» abril 2014. [En línea]. Available: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_economicas/transporte\\_y\\_comunicaciones/parquevehiculos.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/transporte_y_comunicaciones/parquevehiculos.php).
- [2] Fundación para la Transferencia Tecnológica, «Análisis de emisiones en vehículos que operan con GNC y GLP,» Santiago, 1997.
- [3] Compañía de entrenamiento técnico automotriz, «evaluación del programa de conversión a gnv de vehículos de la flota de empresas publicas de medellín,» medellín, 2001.
- [4] Sistemas Sustentables, «análisis de emisiones de vehículos con GNC y GLP como combustible,» Santiago, 2010-2011.
- [5] Z. Yao, X. Cao, X. Shen, Y. Zhang, X. Wang y K. He, «On-road emission characteristics of CNG-fueled bi-fuel taxis,» *Atmospheric Environment*, 2014.
- [6] M. Aslam, H. Masjuki, M. Kalam, H. Abdesselam, T. Mahlia y M. Amalina, «An experimental investigation of CNG as an alternative fuel for a retrofitted gasoline vehicle,» *ELSEVIER*, 2005.
- [7] V. Borsari y J. Vicente de Assunção, «Nitrous oxide emissions from gasohol, ethanol and CNG light duty vehicles,» *Climatic Change*, 2012.
- [8] E. M. A. y Y. D. d. M. Morales, Contaminacion Atmosferica, La Mancha, 2004.
- [9] D. R. M. Segura, Contaminación Atmosférica Urbana. Episodios críticos de Contaminación en la ciudad de Santiago, Universitaria, 2006.
- [10] S. E. Manahan, Introducción a la química ambiental, Reverte.
- [11] DICTUC, «Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosfericos en la Región Metropolitana,» 2007.
- [12] M.-T. B. M.-F. N. Bonnard, Ficha Toxicologica Dioxido de Carbono.
- [13] «Natural Gas.org,» [En línea]. Available: <http://naturalgas.org/overview/background/>. [Último acceso: abril 2014].
- [14] F. A. Susana Jiménez, «La Revolución del Shale Gas en Chile y el mundo,» 2013.
- [15] U. E. I. Administration, «Annual Energy Outlook 2011 contains extensive analysis of side cases,» 2013.
- [16] Ministerio de Energía, «Sistema de información Estadístico,» [En línea]. Available: <http://sie.minenergia.cl/sieJSFServer/pages/reporte.xhtml?i=75>. [Último acceso: abril 2014].
- [17] CGE, «SECTOR GAS Grupo CGE,» [En línea]. Available: <http://www.cge.cl/sectorgas/Paginas/Descripcion.aspx>.
- [18] A. Lima, «Poder Calorífico,» [En línea]. Available: <http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>.
- [19] U.S. Department of Energy, «Energy efficiency & Renewable Energy-Alternative Fuels Data Center,» [En línea]. Available: [http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural\\_gas\\_benefits.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_benefits.html).
- [20] U.S. Department of Energy, «Natural Gas Basics-Vehicle Technologies Program,» 2010.

- [21] U.S. Department of Energy, «Alternative Fuel Data Center,» [En línea]. Available: [http://www.afdc.energy.gov/vehicles/natural\\_gas.html](http://www.afdc.energy.gov/vehicles/natural_gas.html).
- [22] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, «Nómina de Talleres Autorizados para Adaptar Vehículos a Gas,» 2014. [En línea]. Available: <http://mtt.gob.cl/archivos/5572.html>.
- [23] Landi Renzo, «Productos,» [En línea]. Available: [http://www.landirengo.com.br/es/?target=sistemas\\_interno&sid=1&uid=34&cid=6](http://www.landirengo.com.br/es/?target=sistemas_interno&sid=1&uid=34&cid=6). [Último acceso: Mayo 2014].
- [24] Talleres Barragan, «Circuito de inyeccion Secuencial,» [En línea]. Available: [http://talleresbarragan.com.ar/inyeccion\\_secuencial.html](http://talleresbarragan.com.ar/inyeccion_secuencial.html). [Último acceso: diciembre 2013].
- [25] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, «Centro de Control y Certificacion Vehicular,» Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://mtt.gob.cl/archivos/5572.html>.
- [26] LANDI RENZO, «Landi Renzo,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.landirengo.com.br/es/?target=empresa>.
- [27] BRC gas equipment, Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.brc.it/es/storia.asp>.
- [28] IANGV , «Natural Gas Vehicle Knowledge Base,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>. [Último acceso: marzo 2014].
- [29] M. Barrientos y C. Soria, «IndexMundi,» [En línea]. Available: <http://www.indexmundi.com/map/?v=98&l=es>.
- [30] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, «CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN VEHICULAR,» [En línea]. Available: <http://mtt.gob.cl/archivos/5572.html>.
- [31] Alejandro Marimán Ibarra, «AutoCosmo-Salón del Automóvil,» 11 10 2012. [En línea]. Available: <http://www.autogasco.cl/conoce-los-beneficios-del-hyundai-new-accent-eco-drive/>.
- [32] Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas., « Actualización de factores de emisión para vehículos livianos y medianos.,» 2007.
- [33] J. L. Jiménez, P. McIntock, G. McRae, D. Nelson y M. Zahniser, «Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emissions Studies,» 1999.
- [34] J. Jimenez, «Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote-Sensing,» 1998.
- [35] S. Tolvett Caro, «Análisis de emisiones en ruta de vehículos diesel en ciudad de México, Santiago y Sao Paulo.,» Santiago, 2009.
- [36] Ministerio de Energia, «Etiqueta para Consumo Energetico para vehículos livianos,» [En línea]. Available: [www.consumovehicular.cl](http://www.consumovehicular.cl).
- [37] Intergovernmental panel on Climate Change, «2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,» 2006.
- [38] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, «Decreto 221: NORMAS SOBRE EMISIONES DE VEHICULOS MOTORIZADOS LIVIANOS».
- [39] Endesa , «[http://www.endesaonline.com/ES/grandesclientes/movilidad\\_sostenible/gas\\_natural\\_vehicular/index.asp](http://www.endesaonline.com/ES/grandesclientes/movilidad_sostenible/gas_natural_vehicular/index.asp),» [En línea]. [Último acceso: mayo 2014].
- [40] GNV, «GNV.cl,» [En línea]. Available: [http://www.gnv.cl/sobre\\_gnv](http://www.gnv.cl/sobre_gnv). [Último acceso: mayo 2014].

[41] U. Energy, «Annual Energy Outlook 2011 contains extensive analysis of side cases».

[42] Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile, «Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana,» Santiago, 2014.

# ANEXOS

---

## MEDICIÓN DE EMISIONES

Procedimiento laboratorio (3CV)

El procedimiento de certificación que lleva a cabo el Centro de Control y Certificación vehicular se desarrolla en varios procesos.

- En primer lugar el laboratorio deberá verificar el cumplimiento de la norma chilena NCH 2109 Of 98. que tiene relación a los requisitos mínimos de seguridad que debe cumplir un sistema de uso de gas natural comprimido como combustible de vehículos motorizados analizando los componentes. conexiones. tuberías. accesorios de conexión. distintivos e instalación que posee el vehículo.
- Posteriormente se debe verificar que las emisiones contaminantes que expulsa el vehículo utilizando el combustible gaseoso no sobrepasan los niveles máximos vigentes definidos en los decretos supremos números 211, de 1991 y 54 de 1994, ambos del ministerio de transporte y telecomunicaciones. La verificación de las emisiones de gases de escape se debe realizar de acuerdo al procedimiento FTP -75 USEPA que se describe a continuación.

### *FTP 75*

El procedimiento federal de pruebas conocido comúnmente como FTP-75 por sus siglas en inglés (Federal Test Procedure) consiste en una serie de pruebas definidas por la agencia de protección ambiental de EE.UU. (EPA) para medir las emisiones contaminantes del tubo de escape de vehículos de pasajeros y el consumo de combustible de estos vehículos.

El procedimiento de medición fue actualizado el año 2008 incluyendo 4 test.

- Conducción Urbana (FTP-75)
- Conducción en Carretera (HWFET)
- Conducción Agresiva (SFTP US06)
- Test opcional de Aire Acondicionado (SFTP SC03)

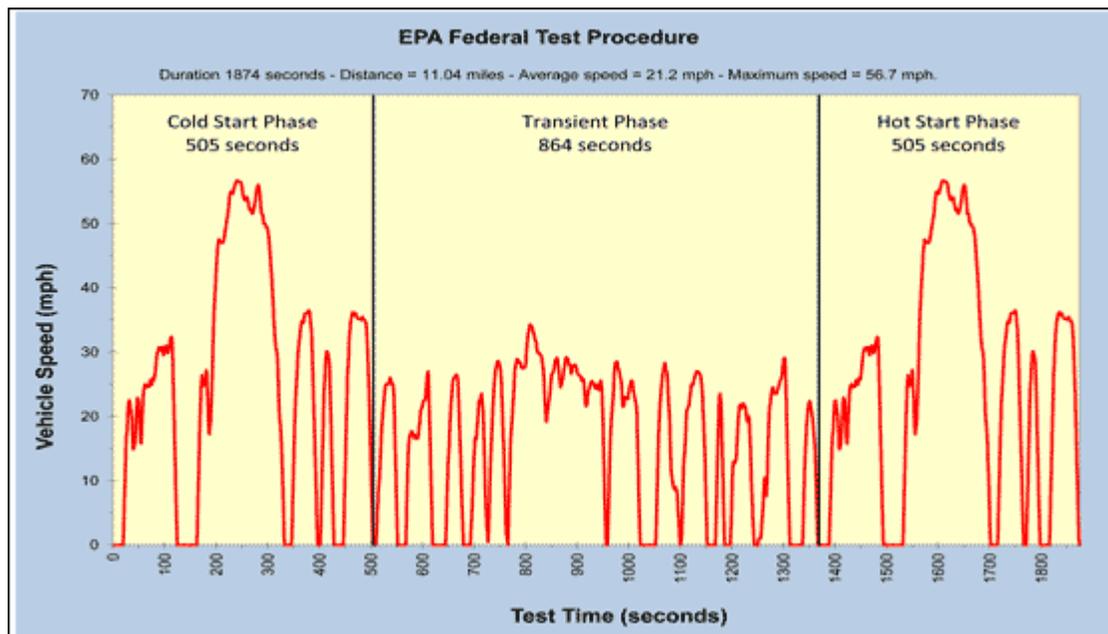
El test de conducción urbana está basado en el test FTP-72. Consiste en medición de partida en frío del motor y realizando 23 paradas dentro de un periodo de 31 minutos. Considerando una velocidad promedio de 32 km/h y una velocidad máxima de 90 km/h.

El ciclo de medición se desarrolla en tres etapas la partida en frío. Fase transiente y partida en caliente:

Partida en frío: Tiene una duración de 505 segundos, durante esta fase el vehículo deberá recorrer una distancia proyectada de 5.78 km a una velocidad promedio de 41.2 km/h.

Fase Transiente: Esta fase tiene una duración de 864 segundos continua inmediatamente después de la partida en frío y es la que representa las condiciones reales de conducción.

Partida en caliente: Esta fase parte 10 minutos después de terminada la fase transiente, esta fase intenta simular a los vehículos estacionados que vuelven a partir su conducción. Consiste simplemente en repetir el ciclo de la partida en frío.



Para el test de conducción en carretera se considera el motor ya caliente. y no se realizan detenciones. el vehículo tendrá una velocidad promedio de 77 km/h con una velocidad máxima de 97 km/h considerando un recorrido de 16 km. esta prueba toma alrededor de 765 segundos.

## ETIQUETA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE NISSAN TIIDA

En el presente anexo, se adjunta la ficha de eficiencia energética generada por el Ministerio de Energía para el etiquetado de vehículos con los resultados de las homologaciones de los vehículos motorizados

# Eficiencia Energética

 <b>Rendimiento de Combustible</b>	<b>Marca:</b> Nissan
	<b>Modelo:</b> Tiida
<b>Ciudad</b> 11,3 km/l	<b>Combustible:</b> Gasolina
	<b>Norma de Emisión:</b> EURO IV
	<b>Código de Informe Técnico:</b> NS3807E4111OS
	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub></b> 163 g/km
	<b>Mixto</b> 14,7 km/l
	<b>Carretera</b> 17,8 km/l

**Los valores reportados en esta etiqueta son referenciales.**

El rendimiento de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> corresponde al valor constatado en el proceso de homologación desarrollado por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, a través del Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV).

El rendimiento efectivamente obtenido por cada conductor dependerá de sus hábitos de conducción, de la frecuencia de mantenimiento del vehículo, de las condiciones ambientales y geográficas, entre otras.

El CO<sub>2</sub> es el principal gas efecto invernadero responsable del cambio climático.

Infórmate en [www.consumovehicular.cl](http://www.consumovehicular.cl)



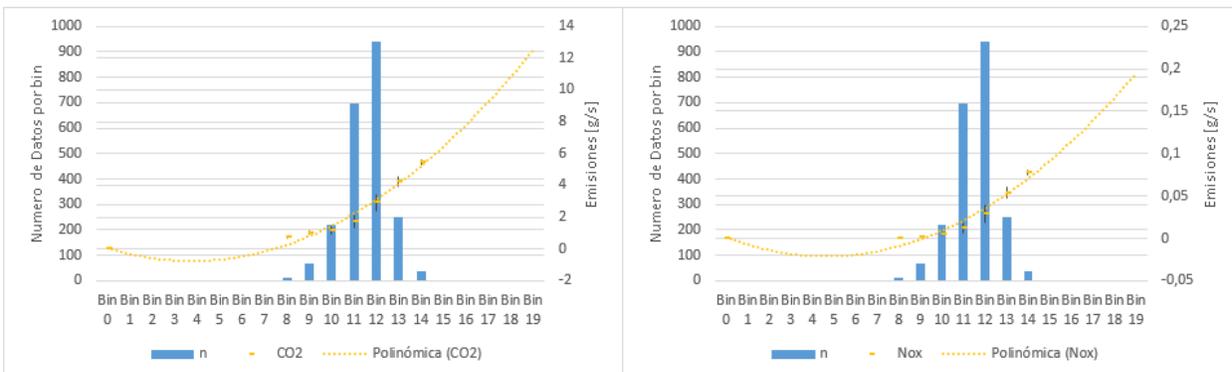
## GRÁFICOS DE EMISIONES POR BIN

En el presente anexo, se adjuntan los gráficos generados para CO2 y NOx para cada test, en donde se observan la cantidad de datos por BIN el nivel de emisión, la desviación estándar y la línea de tendencia de emisiones.

### Test 1

Vehículo 1

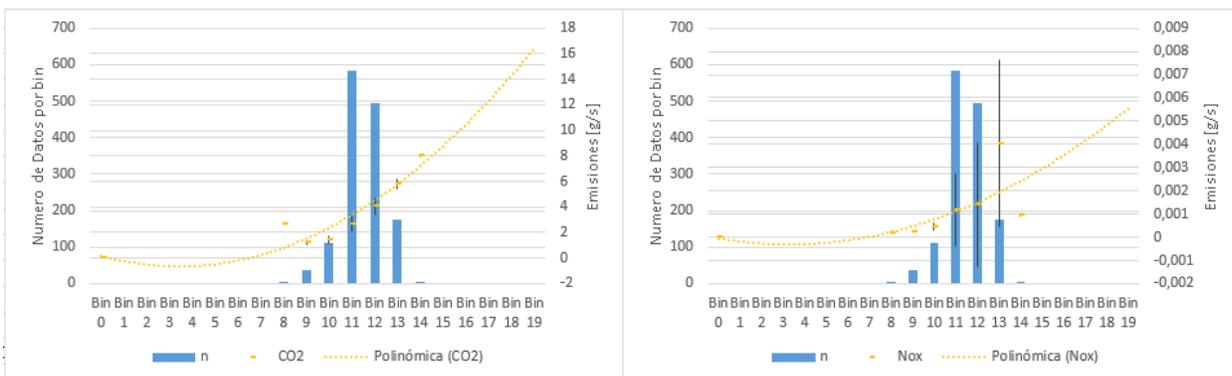
Combustible: GNC



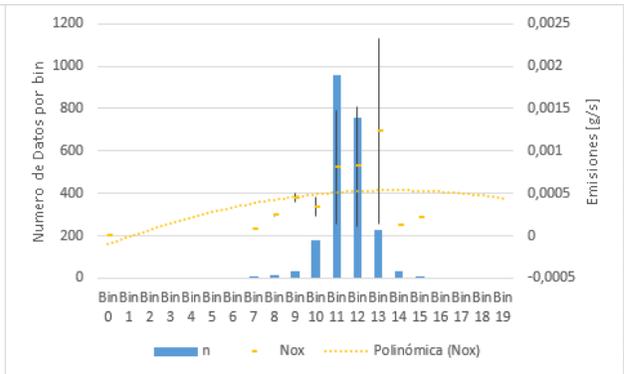
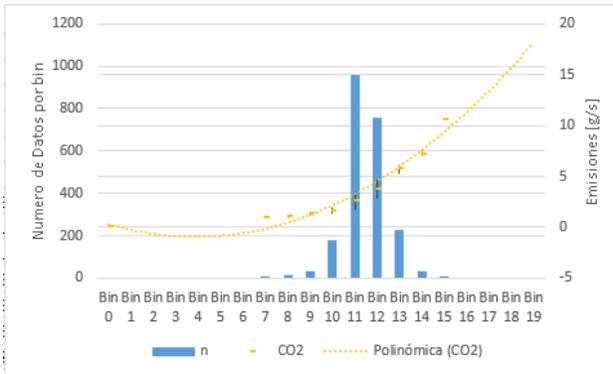
### Test 2

Vehículo 1

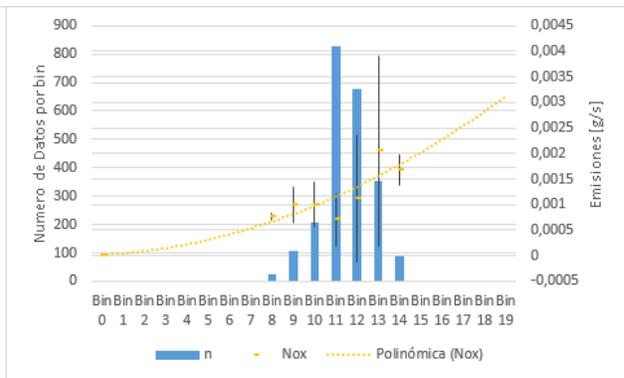
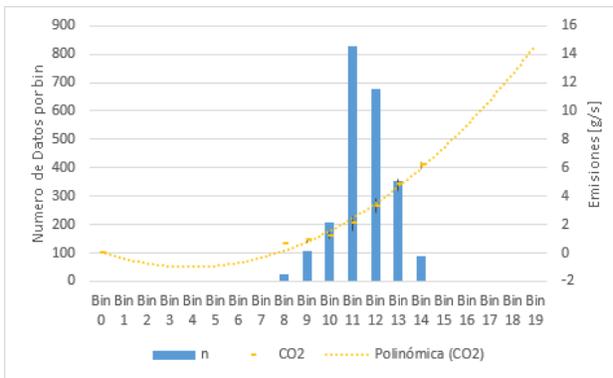
Combustible: Gasolina



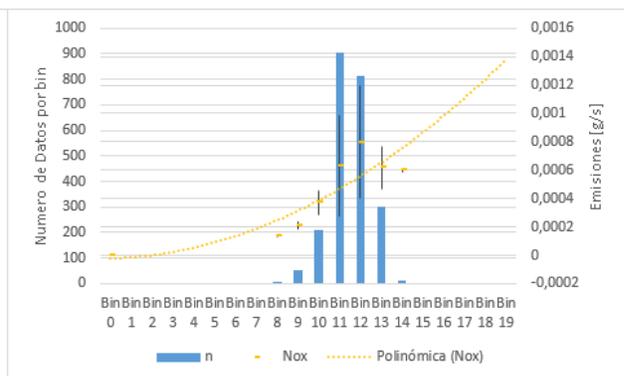
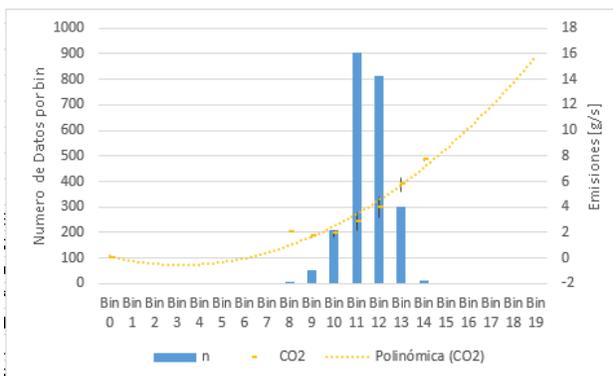
**Test 3**  
 Vehículo 2  
 Combustible: Gasolina



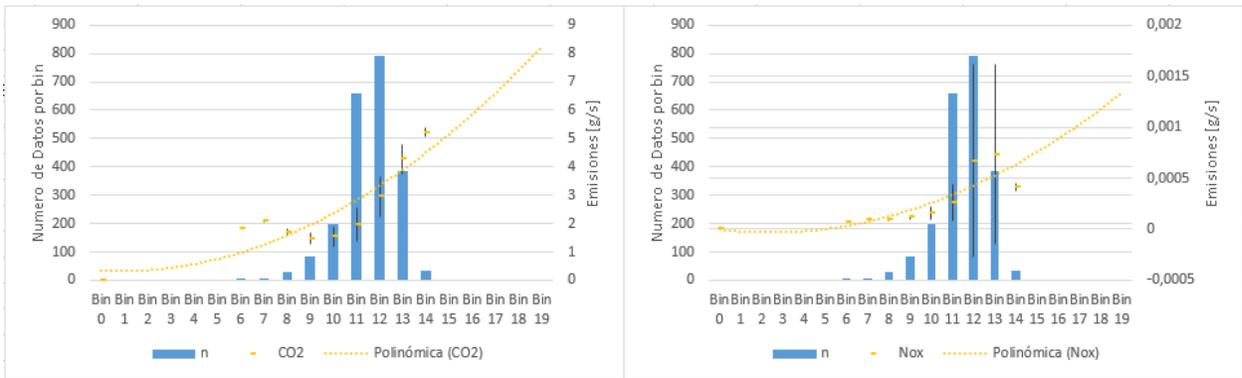
**Test 4**  
 Vehículo 3  
 Combustible: GNC



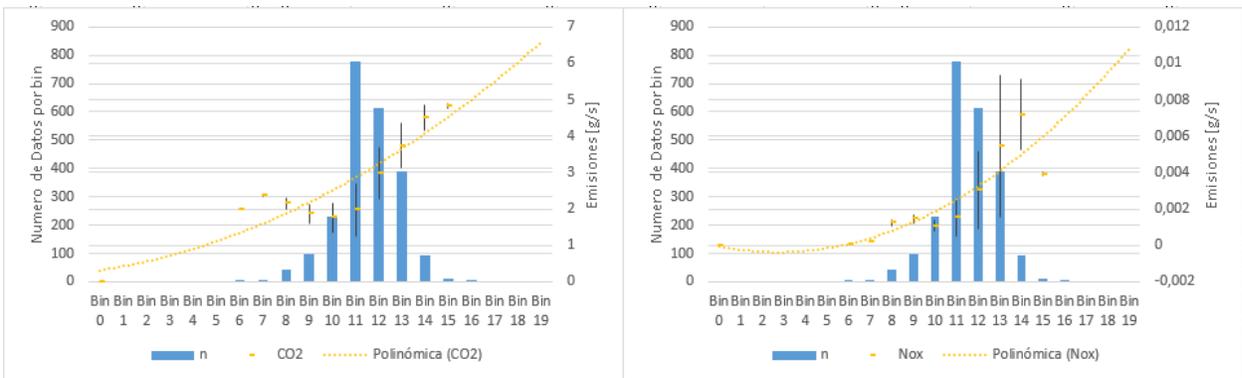
**Test 5**  
 Vehículo 3  
 Combustible: Gasolina



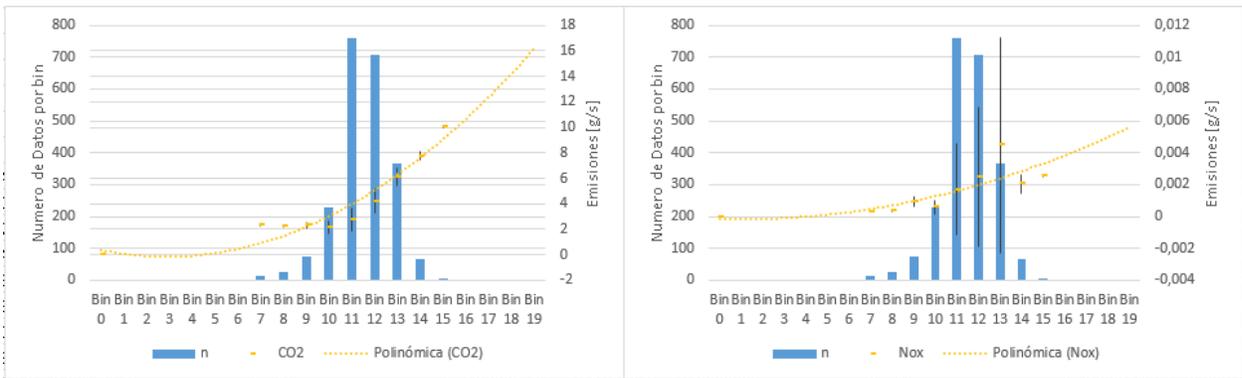
**Test 6**  
 Vehículo 4  
 Combustible: GNC



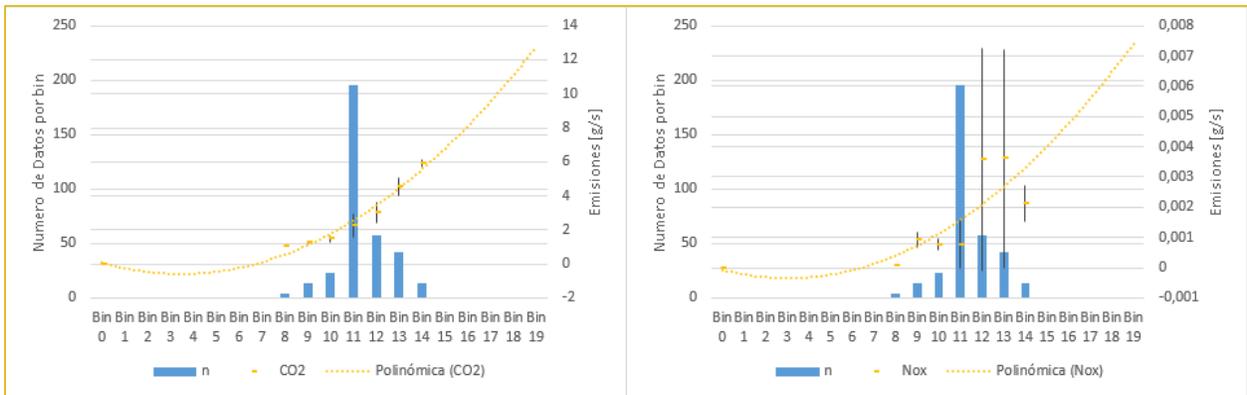
**Test 7**  
 Vehículo 4  
 Combustible: GNC



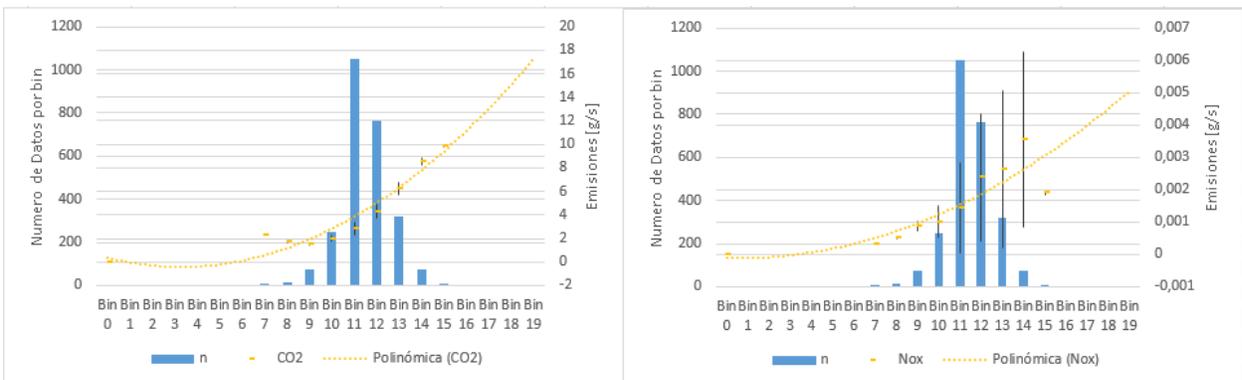
**Test 8**  
 Vehículo 4  
 Combustible: Gasolina



**Test 9**  
 Vehículo 4  
 Combustible: GNC



**Test 10**  
 Vehículo 2  
 Combustible: Gasolina



**Test 11**  
 Vehículo 2  
 Combustible: Gasolina

