



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

**ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES
PARA INCENTIVAR EL USO DEL GAS
COMBUSTIBLE EN EL SECTOR TRANSPORTE
(Informe Final-Tomo IV)**

Informe preparado para:

**Unidad de Planeación Minero Energética –
UPME**

Contrato # C-005-2014

Protocolo preparado por:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA –
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Noviembre de 2014



CONTENIDO

1.	PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	14
1.1	PROTOCOLO DE MEDICIONES EN RUTA.....	14
1.2	CONDICIONES DEL VEHÍCULO	16
1.2.1	Estabilización.....	16
1.2.2	Accesorios	16
1.2.3	Peso	16
2.	METODOLOGÍA.....	17
2.1	DESCRIPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS EVALUADOS.....	18
2.1.1	Vehículo dual diésel-GNV.....	20
2.1.2	Vehículo dedicado GNV	24
2.1.3	Vehículo transformado GNV.....	26
2.1.4	Vehículo dual diésel-GLP.....	28
2.1.5	Vehículo transformado 1 GLP	32
2.1.6	Vehículo transformado 2 GLP	34
2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	35
2.3	DESCRIPCIÓN DE LAS RUTAS PARA PRUEBAS DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE	37
2.3.1	Descripción de la ruta definida para el vehículo dual diésel-GNV.....	38
2.3.2	Descripción de la ruta definida para el vehículo transformado GNV.....	40
2.3.3	Descripción de la ruta definida para el vehículo dedicado GNV	42
2.3.4	Descripción de la ruta definida para el vehículo dual diésel-GLP.....	45
2.3.5	Descripción de la ruta definida para el vehículo transformado 1 GLP	48
2.3.6	Descripción de la ruta definida para el vehículo transformado 2 GLP	49
2.4	DURACIÓN DE TOMA DE DATOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	51
2.4.1	Ruta vehículo dual diésel-GNV	51
2.4.2	Ruta vehículo dedicado GNV	52
2.4.3	Ruta vehículo transformado GNV	53



2.4.4	Vehículo dual diésel-GLP.....	54
2.4.5	Vehículo transformado 1 GLP	55
2.4.6	Vehículo transformado 2 GLP	56
2.5	ESPECIFICACIONES DE LOS COMBUSTIBLES	57
2.5.1	Cromatografía GNV	57
3.	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	60
3.1	PRE-PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	60
3.2	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	61
4.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS A LOS VEHÍCULOS EVALUADOS.....	62
4.1	RESULTADOS VEHÍCULOS OPERADOS CON GNV	62
4.1.1	Resultados vehículo dual diésel-GNV	62
4.1.2	Resultados vehículo dedicado GNV.....	63
4.1.3	Resultados vehículo transformado GNV	64
4.1.4	Análisis de resultados vehículos operados con GNV.....	65
4.2	RESULTADOS VEHÍCULOS OPERADOS CON GLP.....	66
4.2.1	Resultados vehículo dual diésel-GLP	67
4.2.2	Resultados vehículo transformado 1 GLP	68
4.2.3	Resultados vehículo transformado 2 GLP	69
4.2.4	Análisis de resultados vehículos operados con GLP.....	70
4.3	INDICADORES DE COMPARACIÓN	71
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6.	COMENTARIOS FINALES.....	75



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen vehículos seleccionados GNV	19
Tabla 2. Resumen vehículos seleccionados GLP	19
Tabla 3. Descripción de equipos de medición, sistema de muestreo de gases y consumo de combustible	35
Tabla 4. Rutas de vehículos GNV.....	37
Tabla 5. Rutas de vehículos GLP.....	37
Tabla 6. Descripción de las paradas de la ruta diseñada para las pruebas de los vehículos	40
Tabla 7. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo dual diésel-GNV.....	52
Tabla 8. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo dedicado GNV	53
Tabla 9. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo transformado GNV	54
Tabla 10. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo dual diésel-GLP.....	55
Tabla 11. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo transformado 1 GLP	56
Tabla 12. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo Transformado 2 GLP	57
Tabla 13. Cromatografía GNV, 3 de Septiembre de 2014.....	57
Tabla 14. Cromatografía GNV, 11 de Septiembre de 2014	58
Tabla 15. Cromatografía GNV, 12 de Septiembre de 2014	58
Tabla 16. Descripción de las bases de datos pre-procesadas	60
Tabla 17. Factores de emisión vehículo dual diésel-GNV	62
Tabla 18. Consumo y eficiencia energética vehículo dual diésel-GNV.....	63
Tabla 19. Factores de emisión vehículo dedicado GNV.....	63
Tabla 20. Consumo y eficiencia energética vehículo dedicado GNV	64
Tabla 21. Factores de emisión vehículo transformado GNV.....	64
Tabla 22. Consumo y eficiencia energética vehículo transformado GNV.....	65
Tabla 23. Factores de emisión vehículo dual diésel-GLP	67
Tabla 24. Consumo y eficiencia energética vehículo dual diésel-GLP.....	67
Tabla 25. Factores de emisión vehículo transformado 1 GLP	68
Tabla 26. Consumo y eficiencia energética transformado 1 GLP	68
Tabla 27. Factores de emisión vehículo transformado 2 GLP	69
Tabla 28. Consumo y eficiencia energética vehículo transformado 2 GLP	69
Tabla 29. Comparación de resultados de los vehículos evaluados.....	71



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de actividades durante la medición de consumo de combustible en ruta ...	17
Figura 2. Esquema de actividades durante la medición de emisiones en ruta	18
Figura 3. Información técnica del vehículo dual diésel-GNV.....	21
Figura 4. Registro fotográfico vehículo dual-GNV.....	21
Figura 5. Sistema dual pro para bomba mecánica antes de la intervención	22
Figura 6. Sistema dual pro para bomba mecánica después de la intervención	23
Figura 7. Sensor de posición TPS.....	23
Figura 8. Actuador de la bomba.....	24
Figura 9. Información técnica del vehículo dedicado GNV	25
Figura 10. Registro fotográfico vehículo dedicado-GNV.....	25
Figura 11. Curva característica vehículo dedicado GNV	26
Figura 12. Información técnica del vehículo transformado GNV.....	27
Figura 13. Registro fotográfico vehículo transformado-GNV.....	27
Figura 14. Información técnica del vehículo dual diésel-GLP.....	28
Figura 15. Registro fotográfico vehículo transformado-GNV.....	29
Figura 16. Reductor AC R 02 STAG Diésel	30
Figura 17. Riel de inyectores AC w01	30
Figura 18. Controlador AC STAG diésel.....	31
Figura 19. Sensor de presión AC	31
Figura 20. Montaje del depósito en un camión.....	32
Figura 21. Información técnica Vehículo Transformado 1 GLP	33
Figura 22. Registro fotográfico vehículo transformado 1-GLP.....	33
Figura 23. Información técnica Vehículo Transformado 2 GLP	34
Figura 24. Registro fotográfico vehículo transformado 2 GLP	34
Figura 25. Recorrido y paradas realizadas para la medición de emisiones del vehículo dual diésel-GNV.....	39
Figura 26. Perfil de elevación de la ruta del vehículo dual diésel-GNV.....	39
Figura 27. Recorrido realizado para la medición de emisiones del vehículo transformado GNV	41
Figura 28. Perfil de elevación de la ruta del vehículo transformado GNV	42
Figura 29. Recorrido de la Ruta 1 realizada para la medición de emisiones en vehículo dedicado GNV.....	43
Figura 30. Perfil de elevación de la ruta vehículo dedicado GNV Ruta 1.....	43
Figura 31. Recorrido de la ruta 2 realizada para la medición de emisiones en vehículo dedicado GNV.....	44
Figura 32. Perfil de elevación de la ruta 2 para el vehículo dedicado GNV	45



Figura 33. Recorrido realizado para la medición de emisiones del vehículo dual diésel-GLP Tocancipá-Duitama.....	46
Figura 34. Perfil de elevación de la ruta del vehículo dual diésel-GLP Tocancipá-Duitama	46
Figura 35. Recorrido y paradas realizadas para la medición de emisiones del vehículo dual diésel-GLP Tunja-Duitama.....	47
Figura 36. Perfil de elevación de la ruta del vehículo dual diésel-GLP Tunja-Duitama.....	47
Figura 37. Recorrido de la ruta 1 realizada para la medición de emisiones en el vehículo transformado 1 GLP.....	48
Figura 38. Perfil de elevación de la ruta 1 del vehículo transformado 1 GLP	49
Figura 39. Recorrido de la ruta 1 realizada para la medición de emisiones en el vehículo transformado 2 GLP.....	50
Figura 40. Perfil de elevación de la ruta 1 del vehículo transformado 1 GLP	50
Figura 41. Montaje de equipos para la medición en el vehículo dual diésel-GNV	51
Figura 42. Montaje de equipos para la medición en el vehículo dedicado GNV.....	52
Figura 43. Montaje de equipos para la medición en el vehículo transformado GNV	53
Figura 44. Montaje de equipos para la medición en el vehículo dual diésel-GLP	54
Figura 45. Montaje de equipos para la medición en el vehículo transformado 1 GLP	55
Figura 46. Montaje de equipos para la medición en el vehículo transformado 2 GLP	56
Figura 47. Esquema del procesamiento de datos.....	61



RESUMEN EJECUTIVO

El informe presenta el protocolo de pruebas en ruta, descripción de los vehículos evaluados, descripción de las rutas específicas para cada vehículo, descripción de los equipos de medición, análisis de los resultados de las pruebas en ruta realizadas en los vehículos seleccionados con el objetivo de evaluar la eficiencia energética, el consumo de combustible y las emisiones de contaminantes atmosféricos en vehículos de las diferentes tecnologías: dedicado GNV, dual: diésel-GNV - diésel GLP, transformado: GNV-GLP

Los 6 vehículos de las pruebas cumplen con los requerimientos de tecnologías disponibles en Colombia:

- Un vehículo Chevrolet- NPR 71, opera con tecnología de tipo dual diésel-GNV.
- Un vehículo IVECO-50C14, opera con tecnología de tipo dedicado con combustible GNV.
- Un vehículo Chevrolet- NPR 729, opera con tecnología de tipo transformado a GNV
- Un vehículo Chevrolet –NKR, opera con tecnología de tipo dual diésel-GLP.
- Un vehículo Dodge, opera con tecnología de tipo transformado GLP.
- Un vehículo Chevrolet LUV opera con tecnología de tipo transformado GLP

En el desarrollo de las pruebas se realiza la medición y el registro en tiempo real de las emisiones de material particulado, hidrocarburos totales, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, consumo de combustible, velocidad del vehículo, distancia recorrida, tiempo transcurrido y variables meteorológicas, mediante un robusto sistema de monitoreo implementado siguiendo las normas internacionales para la evaluación de vehículos.

Los factores de emisión se calcularon teniendo como insumos las emisiones reportadas por el analizador de gases, el flujo volumétrico reportado por el flujómetro y la distancia recorrida reportada por el GPS. Se encontraron las emisiones globales de la prueba o del ciclo y posteriormente se reportaron las emisiones específicas, es decir, por unidad de distancia recorrida.

El consumo de combustible se midió directamente en el vehículo y con los flujómetros. Conociendo el consumo específico de combustible, es posible calcular la eficiencia energética en Kilómetros por litro de combustible, al ser esta la inversa del consumo específico.

Todos los vehículos fueron evaluados en ruta bajo condiciones reales de tráfico, cargados, estos vehículos circularon por rutas que se ajustaban a sus condiciones de trabajo generales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

de tipo urbano e inter municipal siguiendo el protocolo de prueba desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.



ALCANCES

En este informe se incluyen los siguientes alcances que hacen parte del contrato C005 de 2014 suscrito entre la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá:

1. Medir consumos y emisiones reales de vehículos que utilicen algunas de las tecnologías evaluadas. Efectuar las emisiones prácticas en por lo menos 3 tecnologías a Gas Natural Vehicular (GNV) y 3 a Gas Licuado de Petróleo (GLP) en vehículos pesados. Las tecnologías seleccionadas para efectuar dichas mediciones serán acordadas con la UPME.
2. Informe que contenga los resultados de todos los análisis y evaluaciones contenidas en los objetivos específicos y el alcance de estudio
3. Análisis y resultados de las mediciones prácticas .



DEFINICIONES

ALVW (Adjusted Loaded Vehicle Weight)

Promedio numérico del peso neto vehicular y el peso bruto vehicular.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Se refiere a la cantidad de combustible empleada por un vehículo, para recorrer una distancia específica o realizar un ciclo de manejo específico. El consumo de combustible se reporta en unidades de masa por kilómetro recorrido o de volumen de combustible por kilómetro recorrido También se puede reportar como la cantidad total de combustible consumido, en unidades de masa o volumen, por ciclo de manejo.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Es la capacidad de un vehículo o motor para aprovechar la energía del combustible en la realización de un trabajo; se reporta en vatios-hora por unidad de masa de combustible o en kilómetros por unidad de masa o volumen de combustible.

HUMO NEGRO

Partículas compuestas de carbón (hollín) que son expulsadas como producto del proceso de combustión del motor.

LINEALIDAD DEL MEDIDOR DE HUMOS

Medida de la desviación máxima absoluta de los valores medidos por el medidor de humo con relación a los valores de referencia.

MASA MÁXIMA

Es aquella entendida como el peso bruto vehicular, según se establece en la directiva 70/156/ECC.

OPACIDAD

Fracción de luz que al ser enviada desde una fuente, a través de una trayectoria obstruida por humo, no llega al receptor de instrumento de medida.



PESO BRUTO VEHICULAR (PBV)

Peso máximo de diseño del vehículo cargado, especificado por el fabricante mismo. Se define como el peso en vacío del vehículo, más el peso de la tripulación más el máximo de carga que puede transportar

$$PBV = \text{Peso en vacío} + \text{peso carrocería posterior} + \text{peso tripulación} + \text{carga útil}$$

PESO DE REFERENCIA (RW)

Es el peso vehicular más 100 kg, esta definición se utilizará cuando se haga referencia a los procedimientos de evaluación de emisiones de la Unión Europea.

PESO VEHICULAR

Es el peso real del vehículo en condiciones de operación con todo el equipo estándar de fábrica y con combustible a la capacidad nominal del tanque.

PRE-ACONDICIONAMIENTO

Ciclo de manejo para llevar el vehículo a las condiciones normales de operación, conforme a las especificaciones del fabricante.

PRUEBA

Evaluación que se realiza a uno o varios vehículos con el fin de determinar una o varias características predefinidas.

RALENTÍ

Velocidad de rotación, expresada en revoluciones por minuto (rpm), a la que gira un motor cuando funciona sin aceleración y en vacío (con su transmisión desconectada).

RUTA

Recorrido sobre vías sobre las cuales se realiza una prueba particular en un vehículo. Se caracteriza por recorrer diferentes zonas, pudiendo ser estas municipales, departamentales o interdepartamentales, y donde deben tener un punto de inicio y finalización definido. El recorrido se mantiene a lo largo de todas las pruebas que se realicen sobre dicha ruta.

VAM (Vehicle Activity Monitor)

Dispositivo utilizado para monitorear la posición, velocidad, aceleración, elevación y demás propiedades que definan su condición dinámica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

VEHÍCULO AUTOMOTOR

Clasificación dada en la presente resolución a toda fuente móvil objeto de seguimiento y diferente a motocicleta o motocarro.

VEHÍCULO CICLO DIÉSEL

Vehículo que opera con un motor de combustión interna cuya función se basa en un ciclo termodinámico, en el cual se inyecta en la cámara de combustión el combustible después de haberse realizado una compresión de aire por el pistón. La relación de compresión de la carga del aire es lo suficientemente alta como para encender el combustible inyectado, es decir, el calor se aporta a presión constante.

VEHÍCULO CICLO OTTO

Vehículo que opera con un motor de combustión interna cuya función se basa en un ciclo termodinámico, en el cual las operaciones de admisión, compresión, explosión y escape se realizan en un cilindro desde que entra la mezcla carburada hasta que son expulsados los gases. En este ciclo, la adición de calor se realiza a volumen constante. Para efectos de esta resolución, se incluyen los vehículos ciclo Otto que operen gas natural o gas licuado de petróleo.

VEHÍCULO DEDICADO A GAS NATURAL

Vehículo que ha sido diseñado y construido para operar exclusivamente con gas natural vehicular.

VELOCIDAD DE GOBIERNO

Velocidad máxima de giro, expresada en revoluciones por minuto (rpm), a la cual puede llegar el cigüeñal del motor, especificada por el fabricante y controlada por un gobernador de velocidad.



INTRODUCCIÓN

El protocolo expuesto en este documento establece las pautas sobre la manera en que se deben realizar las mediciones en emisiones y consumo de combustible en pruebas en ruta para vehículos de combustión interna convencional (ciclo diésel y ciclo Otto).

El protocolo está diseñado para la evaluación de los vehículos del estudio del contrato suscrito con la UPME para tecnologías de combustión interna que hacen uso de gas natural vehicular (GNV) y Gas Licuado de Petróleo (GLP) como combustible.

Por medio de la metodología planteada es posible determinar los niveles de opacidad, presión, temperatura, conteo de partículas, material particulado, emisiones (Monóxido de Carbono – CO, Hidrocarburos Totales – THC, Metano – CH₄, Óxidos de Nitrógeno - NO_x) y consumo de combustible del vehículo bajo condiciones específicas y controladas dentro de las pruebas. De este modo se pretende establecer a manera comparativa las diferencias a nivel de eficiencia energética, impacto ambiental y desempeño técnico a partir del uso de diferentes tipos de combustible y tecnologías.



1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

1.1 PROTOCOLO DE MEDICIONES EN RUTA

Para realizar las mediciones es ruta es necesario seguir el siguiente protocolo:

1. Debe identificarse y seleccionarse una ruta representativa de los vehículos que se pretenden analizar. Esta ruta debe considerar las condiciones de tráfico típicas de la ciudad, así como incluir distintas facetas de su geografía que permitan realizar posteriormente un análisis por zonas. Al identificar distintas zonas dentro de la ruta que tenga características particulares es posible realizar análisis exclusivos para estas condiciones, lo cual resulta enormemente beneficioso porque es posible estudiar de forma más completa el desempeño de los vehículos sin necesidad de realizar distintas rutas, de esta forma se obtienen factores zonales y factores globales de emisión y consumo.
2. La selección de la ruta representativa debe considerar el volumen de tráfico, las pendientes máxima, mínima y promedio, el número de vehículos estudiados que transitan por la ruta, el impacto social de la ruta es decir se debe incluir la matriz origen-destino al estudio, se debe considerar además la velocidad promedio de la ruta, el número de paradas obligadas que deben realizar los vehículos por esta trayectoria y por último considerar una ruta lo más larga posible mientras se pueda garantizar la repetibilidad de los resultados así como las limitantes técnicas de los equipos utilizados para realizar las mediciones.
3. Deben seleccionarse y estudiarse las características técnicas de cada uno de los vehículos que se van a probar, para que las condiciones de la ruta no favorezcan a una tecnología en especial sino que sea lo más equitativa posible, de modo que las bondades y defectos de cada vehículo sean posteriormente identificables, medibles y analizables.
4. Deben seleccionarse equipos de medición como GPS, analizador de gases, flujómetro y medidor de material particulado que cumplan con los requerimientos de la ruta y del estudio, además que garanticen fiabilidad en los resultados y en su funcionamiento.
5. Los vehículos deben ser cargados con un mínimo del 70% de su peso bruto, pero para el presente estudio por estudiarse tecnologías y vehículos muy dispares en su peso bruto vehicular se decidió cargar todos los vehículos con un peso equivalente a la capacidad nominal de pasajeros para los vehículos tipo padrón, es decir 80 pasajeros. El peso promedio por pasajero considerado fue de 68,1 kilogramos, por lo tanto todos los



vehículos fueron cargados con 5448 kilogramos, repartidos un 60% en canecas de agua y el 40% restante en bultos de arena, lo cual permite simular el efecto de los pasajeros sentados y parados en la dinámica del vehículo.

6. Los equipos de medición, analizador de gases, medidor material particulado, flujómetro y dilutor deben ser instalados lo más cercanamente posible a tubo de escape, para evitar caídas de presión excesivas en la muestra y garantizar además que la composición medida por el analizador de gases se corresponda lo mejor posible con la composición a la salida del tubo de escape, reduciendo por lo tanto los efectos de las reacciones secundarias. Para garantizar también lo anterior debe considerarse una manta térmica que mantenga constante la temperatura de los gases de escape en la línea de muestreo del analizador de gases.
7. Se debe anotar el kilometraje del bus antes y después de cada prueba, para compararlo y usarlo como medición alternativa en caso que los GPS pierdan señal, lo cual es frecuente, pero debe tenerse en cuenta que los equipos de medición cuentan con 2 GPS uno directamente acoplado al analizador de gases y otro conectado a la VAM, lo cual permite tener un respaldo.
8. Para las pruebas en ruta, se hace necesario incluir una planta eléctrica, puesto que los equipos de medición funcionan con energía eléctrica y no se debe cargar al vehículo con este consumo adicional.
9. Equipos como el analizador de gases requiere ser calibrado antes de cada prueba, se le debe realizar un SPAN, un ZERO y un AUDIT antes de la prueba y únicamente un AUDIT al final de la prueba. Para estas calibraciones se hace necesario tener disponibilidad de gases patrones, se requiere un gas neutro (nitrógeno), un gas de baja concentración y un gas de alta concentración.
10. Para la medición de los hidrocarburos totales se hace necesario tener disponibilidad de gas FID (60% H₂ y 40% He), el cual antes de cada prueba es rellenado en una pipeta desde una pipeta más grande poniendo especial cuidado a las fugas de este gas por ser inflamable y conectado al sistema de válvulas y manómetro una bomba de vacío la cual garantice el vacío en la línea de llenado antes de desconectar las pipetas puesto que se manejan presiones del orden de los 1500 psi. Finalmente la pipeta pequeña se introduce y conecta al analizador de gases.
11. Las pruebas se inician una vez todos los equipos hayan sido calibrados y se confirme su correcto funcionamiento. Cuando la prueba se haya iniciado se debe monitorear el correcto funcionamiento de los equipos durante la prueba, así como las lecturas de



composición, flujo y temperatura para poder advertir inconvenientes y solucionarlos a tiempo sin necesidad de repetir la prueba.

12. Una vez finalizada la prueba se procede a descargar los archivos desde los equipos y sistemas de adquisición de datos a un computador para ser posteriormente procesados.

1.2 CONDICIONES DEL VEHÍCULO

1.2.1 Estabilización

Antes de la prueba el vehículo a probar deberá ser estabilizado, es decir que debe tener un kilometraje acumulado de al menos 3200 kilómetros o según las recomendaciones del fabricante, el objetivo es garantizar que tanto el vehículo se encuentre en un estado óptimo para que los resultados de las pruebas tengan más validez.

1.2.2 Accesorios

Los vehículos deberán ser probados con los accesorios de serie, como por ejemplo los espejos, guarda choques entre otros. Algunos accesorios que puedan representar una amenaza para las condiciones de seguridad de la prueba deberán ser retirados como por ejemplo las tapas de los rines que pueden desprenderse a altas velocidades.

1.2.3 Peso

El vehículo deberá ser probado con el peso especificado en la norma bajo la cual se desee ensayar el vehículo. La recomendación dada por la Norma SAE J1711 v002 y SAE J2711 es que se debe cargar el vehículo hasta el 70% de su peso bruto.

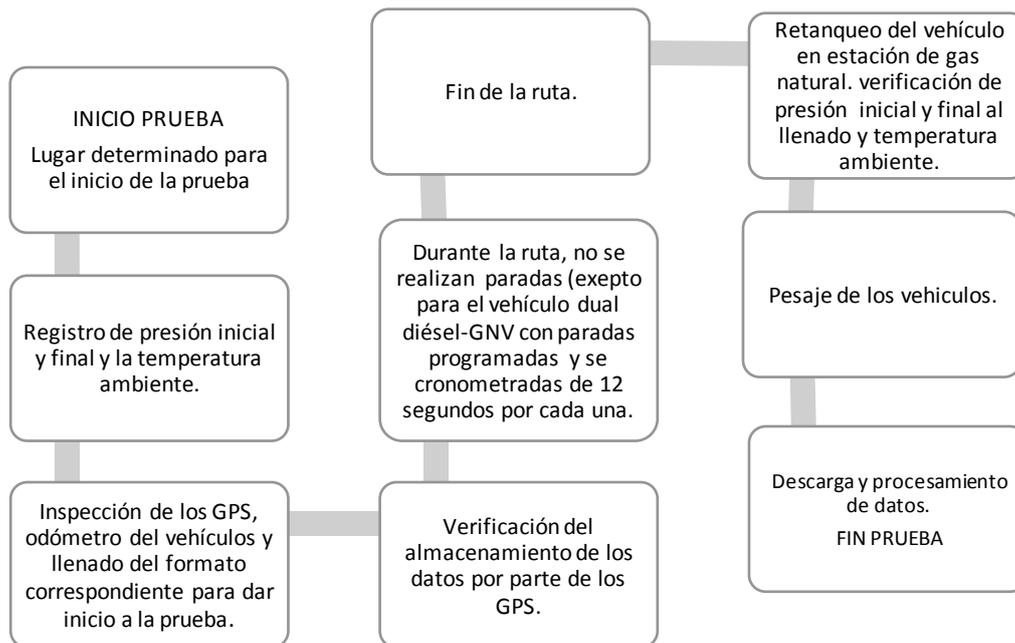


2. METODOLOGÍA

En el caso de las pruebas en ruta, cada vehículo es instrumentado con unidades para determinar su recorrido, sus condiciones de operación, su consumo de combustible y sus emisiones de contaminantes atmosféricos. La Figura 1 y la Figura 2 muestran las actividades generales que se llevan a cabo durante las pruebas en ruta.

En este capítulo se describe cada uno de los componentes considerados para determinar la eficiencia energética, el consumo de combustible y las emisiones de contaminantes atmosféricos.

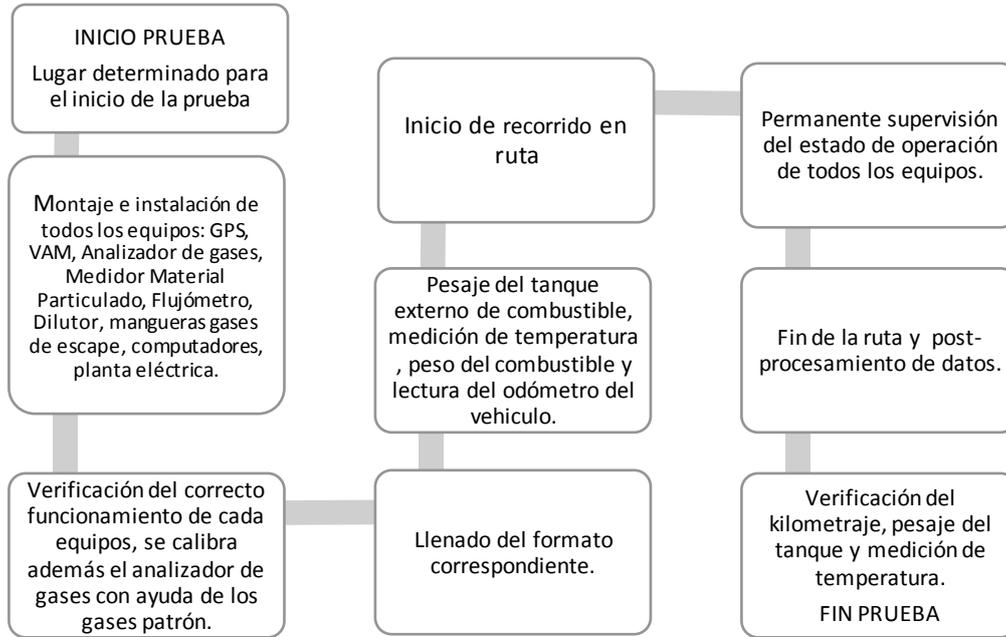
Figura 1. Esquema de actividades durante la medición de consumo de combustible en ruta



Fuente. Elaboración propia



Figura 2. Esquema de actividades durante la medición de emisiones en ruta



Fuente. Elaboración propia

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS EVALUADOS

La selección de los vehículos para la evaluación en pruebas en ruta se realizó considerando tres tecnologías:

- Dual
- Dedicado
- Transformado



En las Tablas 1 y 2 se presenta el resumen de la información de cada uno de los vehículos seleccionados para la evaluación de pruebas en ruta para GNV y GLP respectivamente, incluye: el tipo de tecnología, la información técnica, la ruta y la empresa.

Tabla 1. Resumen vehículos seleccionados GNV

Combustible GNV				
Tipo de tecnología	Información Técnica		Ruta	Empresa
Dual	Placa	VDB 563	Bogotá-Ruta estándar	Masivo Capital
	Marca-Línea	Chevrolet-NPR		
	Cilindraje (c.c)	4570		
	No. cilindros	4		
	Tipología	Bus(50 pasajeros)		
Dedicado	Placa	TGK 079	Bogotá-Duitama Duitama-Bogotá	Gas Natural
	Marca-Línea	IVECO-50C14 GNC		
	Cilindraje (c.c)	2998		
	No. cilindros	4		
	Tipología	Furgón		
Transformado	Placa	VEH 306	Bogotá con restricción (Circunvalar)	Servientrega
	Marca-Línea	Chevrolet-NPR 729		
	Cilindraje (c.c)	4570		
	No. cilindros	4		
	Tipología	Furgón		

Fuente. Elaboración propia

Tabla 2. Resumen vehículos seleccionados GLP

Combustible GLP				
Tipo de Tecnología	Información Técnica		Ruta	Empresa
Dual	Placa	TWA 098	Tocancipa-Duitama Duitama-Tocancipa / Duitama-Tunja Tunja-Duitama	Gragos
	Marca-Línea	Chevrolet-NKR		
	Cilindraje (c.c)	2771		
	No. cilindros	4		
	Tipología	Repartidor		
Transformado 1	Placa	GLA 647	Bogotá- Ruta modificada	Unigas
	Marca-Línea	Dodge		



	Cilindraje (c.c)	5920		
	No. cilindros	4		
	Tipología	Carro tanque		
	Placa	CVR 288		
	Marca-Línea	Chevrolet- LUV		
Transformado 2	Cilindraje (c.c)	2300	Bogotá	Unigas
	No. cilindros	4		
	Tipología	Camioneta		

Fuente. Elaboración propia

A continuación se realiza la descripción de los 6 vehículos evaluados que cumplen con los requerimientos de tecnologías disponibles en Colombia, para los vehículos duales se hace la descripción del kit correspondiente.

2.1.1 Vehículo dual diésel-GNV

Corresponde a un vehículo Chevrolet - línea NPR, de tipología bus con capacidad de 50 pasajeros, modelo de fábrica 2004, con un cilindraje de 4570 [cc]. En su condición inicial operaba con combustible diésel, posteriormente fue modificado para operar con una tecnología de tipo dual diésel-GNV, con la instalación de un Kit de marca Landirengo, el cual se describe en la sección 2.1.1.1.

El vehículo pertenece a la empresa Masivo Capital, está asignado a una ruta de transporte para los operadores de la empresa en la ciudad de Bogotá.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
 Protección del Medio Ambiente
 Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
 Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
 Bogotá D.C.
 Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
 Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

Figura 3. Información técnica del vehículo dual diésel-GNV

Información técnica del vehículo				
VDB 563				
Empresa	Masivo Capital S.A.S			
Ciudad	Bogotá			
Identificación del vehículo		Motor		
Placa	VDB 563	Marca-línea	Chevrolet - NPR	
Especificaciones		Referencia del motor	4HG1T	
		Potencia	89 kW (121 cv) @ 2850 RPM	
Tipología	Bus (50 pasajeros)	Torque neto	324,6 Nm (33,1 kgfm) @ 1800 RPM	
Tecnología	Dual	Modelo	2004	
Combustible	Diésel-GNV	Estándar de emisiones	Euro II	
Peso Kg		Cilindraje (c.c)	4570	
Peso bruto vehicular	7500	No. cilindros	4	
		Batería (V/Ah)	12/110	

Fuente. Elaboración propia

Figura 4. Registro fotográfico vehículo dual-GNV



Fuente. Elaboración propia



2.1.1.1 Descripción del kit dual diésel-GNV

El sistema utilizado es conocido como Diésel Dual Fuel LandiRenzo, permite que el motor trabaje con la mezcla de los dos combustibles (GNV y diésel) sin realizar ninguna modificación al motor ya que la ignición de los combustibles se da por la presencia del diésel y el gas es inyectado a través de las toberas al ducto de admisión de aire. La inyección de GNV es controlada por una ECU que también controla la cantidad de diésel que entra al motor.

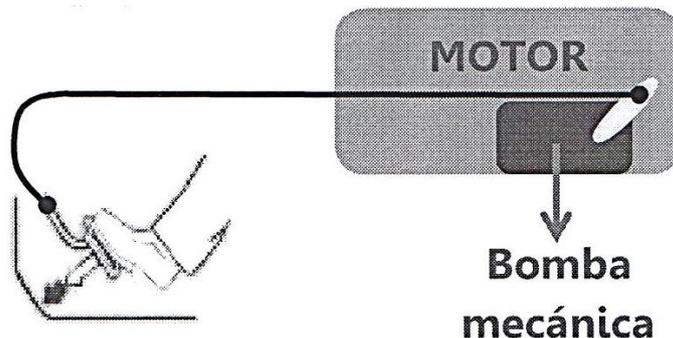
Existen dos tipos básicos de sistema (bomba mecánica o bomba electrónica) a los que se adapta el sistema para el ingreso de combustible diésel al motor, en este caso el vehículo de interés funciona con un sistema por bomba mecánica como se explica a continuación.

1. Sistema con bomba mecánica

En este tipo de sistema la cantidad de diésel inyectado al motor se controla por la posición de una palanca ubicada en la bomba de inyección, la posición de dicha palanca se establece por una relación directamente proporcional a la del pedal de aceleración, conectándose por una guaya flexible o una barra rígida.

Estos sistemas necesitan componentes que permitan el control de la bomba a través de la ECU, conocido como Dual Pro

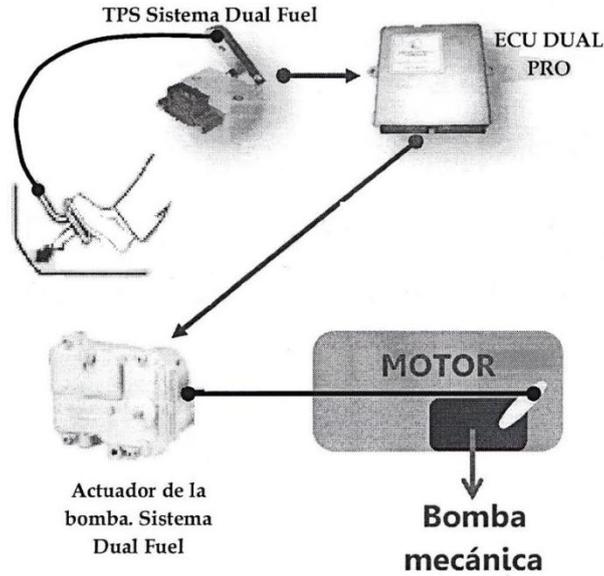
Figura 5. Sistema dual pro para bomba mecánica antes de la intervención



Fuente. Landirenzo Diésel Dual Fuel http://www.dieselmetano.it/en/dual_fuel.php



Figura 6. Sistema dual pro para bomba mecánica después de la intervención



Fuente. Landireno Diésel Dual Fuel http://www.dieselmetano.it/en/dual_fuel.php

Este sistema utiliza un sensor de posición acelerador TPS que se encuentra conectado al pedal original del vehículo, su función es copiar el movimiento mecánico realizado por el pedal y convertir dicho movimiento en una señal que se envía a la ECU.

Figura 7. Sensor de posición TPS

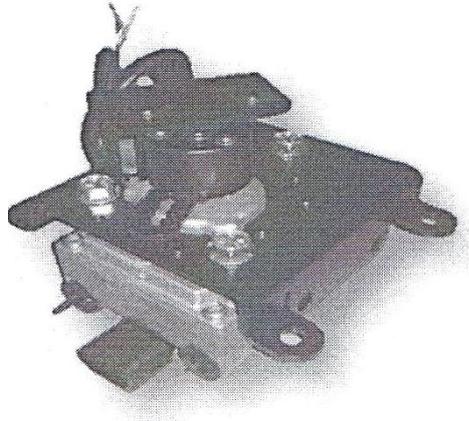


Fuente. Landireno Diésel Dual Fuel http://www.dieselmetano.it/en/dual_fuel.php



El actuador de la bomba es el encargado de manejar la apertura y cierre de la bomba mecánica de combustible original del vehículo a través de las señales recibidas de la ECU, este se encuentra acoplado a la bomba mecánica a través de una barra roscada que transmitirá el movimiento realizado por la palanca del actuador a la palanca de la bomba.

Figura 8. Actuador de la bomba



Fuente. Landireno Diésel Dual Fuel http://www.dieselmetano.it/en/dual_fuel.php

2.1.2 Vehículo dedicado GNV

Corresponde a un vehículo IVECO – línea 50C14 GNC, modelo 2012 con nivel de emisiones de vehículo ecológico mejorado, con un cilindraje de 2998 [cc]. Opera con una tecnología de tipo dedicado 100% a GNC.

Pertenece a la empresa Gas Natural, al ser de tipo chasis cabina trabaja como furgón tal como se aprecia en las imágenes.



Figura 9. Información técnica del vehículo dedicado GNV

Información técnica del vehículo				
TGK 079				
Empresa	Gas Natural			
Ciudad	Cota			
Identificación del vehículo		Motor		
Placa	TGK 079	Marca-línea	IVECO-50C14 GNC	
Especificaciones		Referencia del motor	F1CE0441A	
		Potencia	100 kW (136 cv) @ 2730-3500 RPM	
Tipología	Furgón	Torque neto	350 Nm (35,7 kgfm) @ 1500-2730 RPM	
Tecnología	Dedicado	Modelo	2012	
Combustible	GNV	Estándar de emisiones	2005/78H/CE	
Peso Kg		Cilindraje (c.c)	2998	
Peso bruto vehicular	8700	No. cilindros	4	
		Batería (V/Ah)	12/110	

Fuente. Elaboración propia

Figura 10. Registro fotográfico vehículo dedicado-GNV

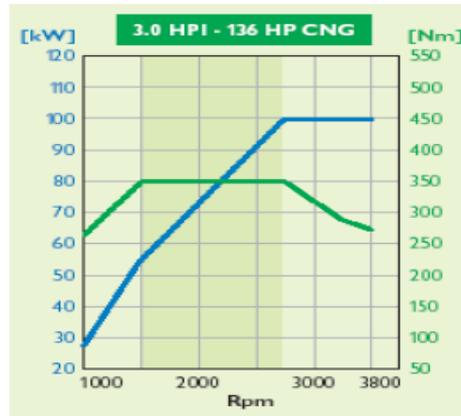


Fuente. Elaboración propia



La figura 11 corresponde a la curva característica que describe el comportamiento del vehículo.

Figura 11. Curva característica vehículo dedicado GNV



Fuente. Iveco Body builders. <http://ibb.iveco.com>

2.1.3 Vehículo transformado GNV

Corresponde a un vehículo Chevrolet - línea NPR 729, tipo furgón, modelo de fábrica 2007, con un cilindraje de 4570 [cc]. En su condición inicial operaba con combustible diésel, posteriormente fue transformado para operar 100 % con GNV.

Pertenece a la empresa Servientrega, asignado para realizar los recorridos de correo urbano en la ciudad de Bogotá.



Figura 12. Información técnica del vehículo transformado GNV

Información técnica del vehículo				
VEH 306				
Empresa	Servientrega			
Ciudad	Bogotá			
Identificación del vehículo		Motor		
Placa	VEH 306	Marca-línea	Chevrolet – NPR 729	
Especificaciones		Referencia del motor	-	
		Potencia	89 KW (121 cv) @ 2850 RPM	
Tipología	Furgón	Torque neto	324,6 Nm (33,1 kgfm) @ 1800 RPM	
Tecnología	Transformado	Modelo	2007	
Combustible	GNV	Estándar de emisiones	Euro II	
Peso Kg		Cilindraje (c.c)	4570	
Peso bruto vehicular	7500	No. cilindros	4	
		Batería (V/Ah)	12/110	

Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Registro fotográfico vehículo transformado-GNV



Fuente. Elaboración propia



2.1.4 Vehículo dual diésel-GLP

Corresponde a un vehículo Chevrolet - línea NKR, de tipo repartidor, modelo de fábrica 2002, con un cilindraje de 2771 [cc]. En su condición inicial operaba con combustible diésel, posteriormente fue modificado para operar con una tecnología de tipo dual diésel, con la instalación de un Kit de marca STAG, el cual se describe en la sección 2.1.4.1.

El vehículo pertenece a la empresa Gragos, es utilizado para la distribución de gas natural en el departamento de Boyacá.

Figura 14. Información técnica del vehículo dual diésel-GLP

Información técnica del vehículo			
TWA 098			
Empresa		Gragos S.A.S	
Ciudad		Paipa	
Identificación del vehículo		Motor	
Placa	TWA 098	Marca-línea	Chevrolet-NKR
Especificaciones		Referencia del motor	4JB1T
		Potencia	70 kW (95 cv) @ 3400 RPM
Tipología	Vehículo repartidor	Torque neto	206 Nm (21 kgfm) @ 2000 RPM
Tecnología	Dual	Modelo	2002
Combustible	Diésel-GLP	Estándar de emisiones	Euro II
Peso Kg		Cilindraje (c.c)	2771
Peso bruto vehicular	5200	No. cilindros	4
		Batería (V/Ah)	12/110

Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Registro fotográfico vehículo transformado-GNV



Fuente. Elaboración Propia

2.1.4.1 Descripción del kit dual diésel-GLP

El sistema utilizado es conocido como GLP STAG Diésel, este permite que el motor trabaje con la mezcla de los dos combustibles, en este caso GLP y diésel. Dicho sistema consta de varios elementos que permiten la post inyección del GLP, los cuales se explican a continuación:

1. Reductor AC R 02

Este reductor fabricado en aluminio se instala directamente al elemento relacionado con la carrocería del vehículo. El dispositivo reduce la presión que llega del depósito de gas GLP y provoca su paso a la fase de gas (vaporización). El reductor es conectado al sistema de refrigeración con tes de metal montados en el circuito del calentador del vehículo. Este posee una entrada para el gas de conexión de 12 mm de diámetro, que le permite mantener una presión estable y garantizando una dosis correcta de combustible bajo condiciones de carga o aceleración repentina.



Figura 16. Reductor AC R 02 STAG Diésel

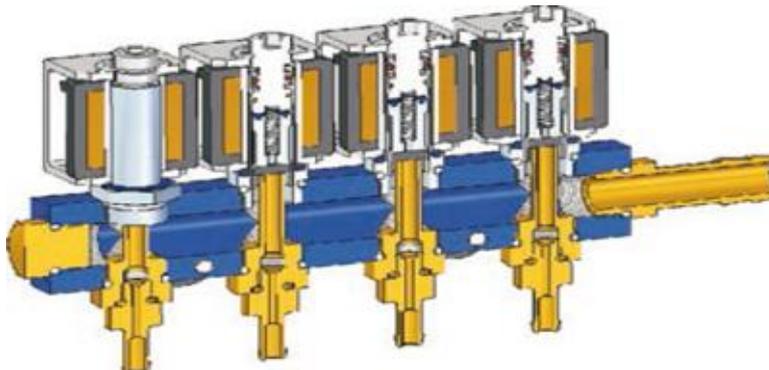


Fuente. STAG Autogas systems. <http://www.ac.com.pl/es/produkt/379/ac-r02>

2. Riel de inyectores AC w01

El Riel de inyección AC garantiza una dosificación precisa del gas Vaporizado dirigido al canal de entrada individualmente para cada cilindro del motor. Este posee una fricción interna disminuida ya que posee una moderna capa deslizante, de alta resistencia a las impurezas la cual no requiere regulación.

Figura 17. Riel de inyectores AC w01



Fuente. Realegas. Autogas de España <http://www.realegas.com/rail-de-inyectores/>



3. Controlador AC Stag diésel

La función principal del este sistema es la modificación continua y automática del mapa de gas en función de las revoluciones del motor. Este recoge los puntos del mapa de gasolina, una vez creado el mapa, el sistema cambia el controlador a la alimentación de gas. Posteriormente realiza una adaptación con base en la comparación continua del trabajo del motor con gas y los parámetros definidos de carga y revoluciones (Figura 18).

Figura 18. Controlador AC STAG diésel



Fuente. STAG Autogas systems. <http://www.ac.com.pl/es/produkt/296/stag-300-premium>

4. Sensor de presión AC

El sensor de presión PS-02 debe montarse en el tubo de gas entre el filtro de la fase volátil y los inyectores de gas; como su nombre lo indica se encarga de sensar esta propiedad (Figura 19).

Figura 19. Sensor de presión AC



Fuente. STAG Autogas systems. Instrucciones de montaje del sistema de post-inyección de GLP para los motores diésel



En la instalación del tanque de combustible se realiza un montaje preciso con respecto al método de fijación garantizando los requisitos de resistencia.

Figura 20. Montaje del depósito en un camión



Fuente. STAG Autogas systems. Instrucciones de montaje del sistema de post-inyección de GLP para los motores diésel

2.1.5 Vehículo transformado 1 GLP

Corresponde a un vehículo Dodge, tipo carro tanque, modelo de fábrica 1978, con un cilindraje de 5920 [cc]. En su condición inicial operaba con combustible diésel, posteriormente fue transformado para operar 100 % con GLP.

Pertenece a la empresa Unigas, asignado para transportar combustible en Cundinamarca.



Figura 21. Información técnica Vehículo Transformado 1 GLP

Información técnica del vehículo			
GLA 647			
Empresa		Unigas	
Ciudad		Fusagasugá	
Identificación del vehículo		Motor	
Placa	GLA 647	Marca-línea	DODGE
Especificaciones		Modelo	1978
		Cilindraje (c.c)	5920
Tipología	Carro tanque	No. cilindros	4
Tecnología	Transformado	Batería (V/Ah)	12/110
Combustible	GLP		

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Registro fotográfico vehículo transformado 1-GLP



Fuente. Elaboración Propia



2.1.6 Vehículo transformado 2 GLP

Corresponde a un vehículo Chevrolet - LUV, tipo camioneta, modelo de fábrica 1990, con un cilindraje de 2300 [cc]. En su condición inicial operaba con gasolina como combustible, posteriormente fue transformado para operar 100 % con GLP. Pertenece a la empresa Unigas,

Figura 23. Información técnica Vehículo Transformado 2 GLP

Información técnica del vehículo				
CVR 288				
Empresa	Unigas			
Ciudad	La Calera			
Identificación del vehículo		Motor		
Placa	CVR 288	Marca-línea	Chevrolet- LUV	
Especificaciones		Modelo	1990	
		Cilindraje (c.c)	2300	
Tipología	Camioneta	No. cilindros	4	
Tecnología	Transformado	Batería (V/Ah)	12/110	
Combustible	GLP			

Fuente. Elaboración Propia

Figura 24. Registro fotográfico vehículo transformado 2 GLP



Fuente. Elaboración propia



2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

El sistema para medición de material particulado consta de dos medidores (DEKATI ELPI + y Nanomet3), un computador, un flujómetro, una bomba de vacío y conectores. Para la medición de gases se utilizó un sistema que consta de 2 analizadores de gases (Testo 350 y Brain Bee AGS 688), un flujómetro, GPS, medidor de temperatura ambiente y humedad relativa, una fuente de poder, batería de 12V, computador, compresor de 9 CFM, sistemas de conexión y manta térmica.

Tabla 3. Descripción de equipos de medición, sistema de muestreo de gases y consumo de combustible

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
<p>Elpi Plus</p> 	<p>Dekati Elpi plus (Elpi+) es un instrumento para mediciones en tiempo real de emisiones vehiculares de material Particulado, en el rango 0.03-10 μm. El principio de operación está basado en una cascada de impactadores que reciben las partículas previamente cargadas eléctricamente. 14 etapas de muestreo y distribución de concentraciones para cada una de ellas. Medición de aire ambiente o muestras previamente procesadas mediante sistemas de dilución. Resolución de muestreo de hasta 10hz.</p>
<p>FPS 4000</p> 	<p>Controlador de la relación de dilución la cual es ajustable en tiempo real, con software propio para la gestión de todos los sistemas. Doble dilutor y múltiples sensores que garantizan la correcta operación del equipo y la definición de las mismas en función de múltiples parámetros</p>
<p>Nanomet 3</p> 	<p>Contador de partículas. Rango de medición de 10 a 700 nm. Sistema integrado de dilución de 10, 100 y 300 a 1. Sonda de muestreo con calentamiento. Alimentación 12 VDC o 120 AC.</p>
<p>Analizador de gases BrainBee AGS 688</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • CO de 0 a 9,99 %vol Res. 0,01 • CO2 de 0 a 19,9 %vol Res. 0,1 • HC hexano de 0 a 19.999 ppmvol Res. 1 • O2 de 0 a 25 %vol Res. 0,01 • NOx de 0 a 5000 ppmvol Res 1 • Lambda de 0.5 a 5 Res. 0,001 • CO(H2-compensated)-sensor, 0...10000 ppm, resolution 1 ppm • NO-Sensor, 0...4000 ppm, resolution 1 ppm



**Analizador de gases Testo
350**



- NO₂-Sensor, 0...500 ppm, resolution 0.1 ppm
- SO₂-Sensor, 0...5000 ppm, resolution 1 ppm
- CO₂(NDIR)-sensor, 0...50 Vol %, resolution 0.01 Vol %, infrared measurement principle condensate trap and CO₂ absorption filter with refill pack
- C_xH_y-sensor, methane 100...40000 ppm, propane 100...21000 ppm, butane 100...18000 ppm, resolution 10 ppm.

VAM Unit



(Vehicle Activity Monitor) GPS de alta sensibilidad que permite el monitoreo de vehículos mediante seguimiento satelital con alta precisión y autonomía de hasta 7 días de muestreo continuo. 1Hz de muestreo. Capacidad de almacenamiento de datos de sensores externos.

DFM 250D



Módulo de medición de flujo de combustibles líquidos, diferencial con sistema de adquisición de datos en tiempo real. Muestreo desde 0 a 250 lats por hora.

**Opacómetro –
Smokemeter 495/01
Tecnotest Diesel**



Campo de medida
De 0 a 99,9% (res0.1)
OPACIDAD
De 0 a 9,99 km⁻¹ (res.0,01)
Medida de la temperatura: de 0 a 600°C(res.1°C)
Puesta a cero Automática
Tiempo de precalentamiento: Max 5 min
Alimentación:12-0-12 Voltios en Alternada
Dimensiones: 470x230x220 mm
Peso: 7,5 kg

**Manómetro de presión
diferencial
CEM DT-8897**



Model: DT-8897
Accuracy: +/- 0.3%FSO
Repeatability: +/- 0.2% (Max.+/- 0.5% FSO)
Linearity/Hysteresis: +/- 0.29% FSO
Pressure Range: +/- 2psi (+/- 55.40 inH₂O)



DWYER DPG



DWYER Series DPG Medidor de presión digital. Con exactitud del 0,5% de la escala completa. Rango de medición de 0 a 500 bares. Selección de unidades y congelamiento de pantalla.

Fuente. Elaboración Propia

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS RUTAS PARA PRUEBAS DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

En las Tablas 4 y 5 se presentan las rutas de las pruebas para cada uno de los vehículos de acuerdo a la tecnología: dedicado, dual y transformado tanto para GNV como para GLP.

Tabla 4. Rutas de vehículos GNV

Pruebas en Ruta Universidad Nacional de Colombia-UPME		
GNV		
Tipo de Tecnología	Ruta	Empresa
Dual: diésel-GNV	Bogotá-Ruta estándar	Masivo Capital
Dedicado	Bogotá-Duitama / Duitama-Bogotá	Gas Natural
Transformado	Bogotá con restricción (Circunvalar)	Servientrega

Fuente. Elaboración propia

Tabla 5. Rutas de vehículos GLP

Pruebas en Ruta Universidad Nacional de Colombia-UPME		
GLP		
Tipo de Tecnología	Ruta	Empresa
Dual: diésel-GLP	Tocancipa-Duitama / Duitama-Tunja	Gragos



Tunja-Duitama		
Transformado 1	Bogotá- Ruta modificada	Unigas
Transformado 2	Bogotá	Unigas

Fuente. Elaboración propia

A continuación se presenta la descripción de las rutas para cada uno de los vehículos evaluados.

2.3.1 Descripción de la ruta definida para el vehículo dual diésel-GNV

La ruta empleada obedece a criterios evaluados para Bogotá como la demanda de pasajeros según su origen y destino, pendientes, condiciones de tráfico, rutas con diferentes velocidades de circulación vehicular y demás características propias del ciclo de manejo de Bogotá para la estimación de factores de emisión (g/km y g/kWh).¹

La ruta seleccionada para la evaluación de vehículos del servicio zonal SITP de la ciudad de Bogotá se describe a continuación:

Inicia en la Universidad nacional Sede Bogotá, Calle 53 con Carrera 30, hacia el sur con una pendiente muy reducida que podría clasificarse como llana. Posteriormente, se dirige al oriente por la Calle 19, donde se inicia un ascenso hacia la avenida circunvalar desde la Universidad de los Andes. En esta etapa es donde se evalúan los vehículos en ascenso, posteriormente se inicia el descenso desde la sede la Macarena de la Universidad Distrital.

El descenso continúa por la iglesia de Egipto y por la Calle 6. Desde la Calle 6 con Carrera 30, la ruta se puede considerar de nuevo como llana puesto que tiene una pendiente baja.

El recorrido continúa hacia el occidente por la Calle 6 hasta la carrera 42, se toma la Carrera 42 hasta la Calle 3 y posteriormente se continua por la Calle 3 hasta la Carrera 68, donde se toma la Carrera 68 en dirección norte, hasta llegar a la Calle 53, por la cual se avanza hacia el oriente y se cierra el circuito ingresando a la Universidad Nacional de Colombia.

¹ Secretaría Distrital de Ambiente, 2013



La distancia total recorrida para un ciclo de medición es de 27,3 km, considerando el recorrido de salida y entrada en el campus de la Universidad. La distancia total desde que cruza la entrada de la universidad y regresa a este punto es de 25,7 km.

Figura 25. Recorrido y paradas realizadas para la medición de emisiones del vehículo dual diésel-GNV



Fuente. Elaboración propia

Figura 26. Perfil de elevación de la ruta del vehículo dual diésel-GNV



Fuente. Elaboración propia

La prueba en ruta consiste en evaluar el vehículo energéticamente y ambientalmente bajo condiciones reales de operación, para esto se diseñó una ruta que cumple con características



específicas tales como trayectos planos, en ascenso y en descenso. De igual forma se establecieron 18 paradas con una duración de 12 segundos, tal como se describe en la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción de las paradas de la ruta diseñada para las pruebas de los vehículos

PARADA No.	LUGAR
1	Calle 19 con Carrera 22
2	Calle 19 Avenida Caracas
3	Calle 19 Carrera 7
4	Universidad de los Andes Edificio ML
5	Circunvalar - Instituto Roosevelt
6	Circunvalar Barrio Egipto
7	Calle 6 Carrera 5ta
8	Calle 6 Avenida caracas
9	Calle 6 Carrera 24
10	Calle 6 Carrera 32, después semáforo
11	Calle 6 Carrera 42
12	Transversal 42 Calle 3
13	Calle 3 Carrera 56
14	Avenida 68 Calle 10
15	Avenida 68, Avenida La Esperanza,
16	Calle 53 Carrera 66
17	Calle 53 Carrera 54
18	Calle 53 Icontec

Fuente. Elaboración propia

2.3.2 Descripción de la ruta definida para el vehículo transformado GNV

La ruta escogida fue desarrollada en la ciudad de Bogotá, esta obedece a criterios de exigencia adecuada para el vehículo utilizado, condiciones de tráfico, rutas con diferentes velocidades de circulación vehicular y demás características, propias del ciclo de manejo para la estimación de factores de emisión (g/km y g/kWh).²

La ruta seleccionada se describe a continuación:

² Secretaría Distrital de Ambiente, 2013



Inicia en la Universidad nacional Sede Bogotá, Calle 53 con Carrera 30, hacia el sur con una pendiente muy reducida que podría clasificarse como llana. Posteriormente, se dirige al oriente por la Calle 19, donde se inicia un ascenso hacia la Avenida Circunvalar desde la Universidad de los Andes. En esta etapa es donde se evalúan los vehículos en ascenso, posteriormente se inicia el descenso desde la sede la Macarena de la Universidad Distrital. El descenso continúa por la iglesia de Egipto y por la Calle 6. Desde la Calle 6 con Carrera 30, la ruta se puede considerar de nuevo como llana puesto que tiene una pendiente baja.

El recorrido continúa hacia el occidente por la Calle 6 hasta la carrera 42, se toma la Carrera 42 hasta la Calle 3 y posteriormente se continua por la Calle 3 hasta la Carrera 68, donde se toma la Carrera 68 en dirección norte, hasta llegar a la Calle 53, por la cual se avanza hacia el oriente y se cierra el circuito ingresando a la Universidad Nacional de Colombia.

La distancia total recorrida para un ciclo de medición es de 27,3 km, considerando el recorrido de salida y entrada en el campus de la Universidad. La distancia total desde que cruza la entrada de la universidad y regresa a este punto es de 25,7 km.

Figura 27. Recorrido realizado para la medición de emisiones del vehículo transformado GNV



Fuente. Elaboración propia



Figura 28. Perfil de elevación de la ruta del vehículo transformado GNV



Fuente. Elaboración propia

2.3.3 Descripción de la ruta definida para el vehículo dedicado GNV

Para este vehículo se realizaron tres rutas: la primera en la ciudad de Bogotá, obedeciendo a criterios de una ruta de exigencia adecuada para el vehículo utilizado, condiciones de tráfico, rutas con diferentes velocidades de circulación vehicular y demás características propias del ciclo de manejo para la estimación de factores de emisión (g/km y g/kWh).³ La segunda ruta parte desde la ciudad de Bogotá hasta Duitama y en la tercera se realiza el regreso desde la ciudad de Duitama hasta la ciudad de Bogotá.

La ruta realizada en la ciudad de Bogotá se describe de la siguiente forma:

Inicia en la Universidad nacional Sede Bogotá, Calle 53 con Carrera 30, hacia el sur con una pendiente muy reducida que podría clasificarse como llana. Posteriormente, se dirige al oriente por la Calle 19, donde se inicia un ascenso hacia la Avenida Circunvalar desde la Universidad de los Andes. En esta etapa se evalúan los vehículos en ascenso, posteriormente se inicia el descenso desde la sede la Macarena de la Universidad Distrital. El descenso continúa por la iglesia de Egipto y por la Calle 6. Desde la Calle 6 con Carrera 30, la ruta se puede considerar de nuevo como llana puesto que tiene una pendiente baja.

El recorrido continúa hacia el occidente por la Calle 6 hasta la carrera 42, se toma la Carrera 42 hasta la Calle 3 y posteriormente se continua por esta hasta la Carrera 68, donde se toma la Carrera 68 en dirección norte hasta llegar a la Calle 53, por la cual se avanza hacia el oriente y se cierra el circuito ingresando a la Universidad Nacional de Colombia.

³ Secretaría Distrital de Ambiente, 2013



La distancia total recorrida para un ciclo de medición es de 27,3 km, considerando el recorrido de salida y entrada en el campus de la Universidad. La distancia total desde que cruza la entrada de la universidad y regresa a este punto es de 25,7 km.

Figura 29. Recorrido de la Ruta 1 realizada para la medición de emisiones en vehículo dedicado GNV



Fuente. Elaboración propia

Figura 30. Perfil de elevación de la ruta vehículo dedicado GNV Ruta 1

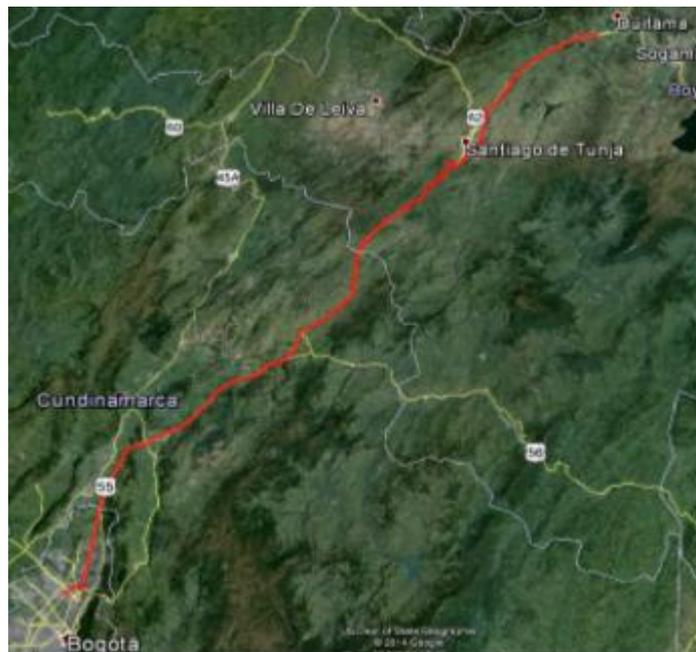


Fuente. Elaboración propia



La segunda ruta realizada, parte desde la ciudad de Bogotá hasta Duitama (Boyacá) recorriendo una distancia total de 188 Km. La ruta inició en la calle 72 con carrera 68, siguiendo por esta vía hasta la calle 100 con Autopista norte, donde se realiza la oreja para tomar esta autopista hacia el norte. Al seguir por esta autopista hasta salir de la ciudad se tomó la ruta Nacional 55, que es una ruta troncal nacional que inicia en Bogotá (Carrera Séptima con Calle 236), esta es también conocida como la troncal central del norte. Se prosiguió por esta vía hasta llegar al municipio de Paipa, allí la vía toma el nombre de carrera 24, luego se continua en la ruta Nacional 55 y se termina al entrar en la ciudad de Duitama como se ilustra en la figura 31.

Figura 31. Recorrido de la ruta 2 realizada para la medición de emisiones en vehículo dedicado GNV



Fuente. Elaboración propia



Figura 32. Perfil de elevación de la ruta 2 para el vehículo dedicado GNV



Fuente. Elaboración Propia

Como se puede observar en la Figura 32, la ruta es bastante exigente en términos de elevaciones y descensos, por lo que se puede asegurar que el vehículo fue expuesto a esfuerzo adecuado y correspondiente a sus labores.

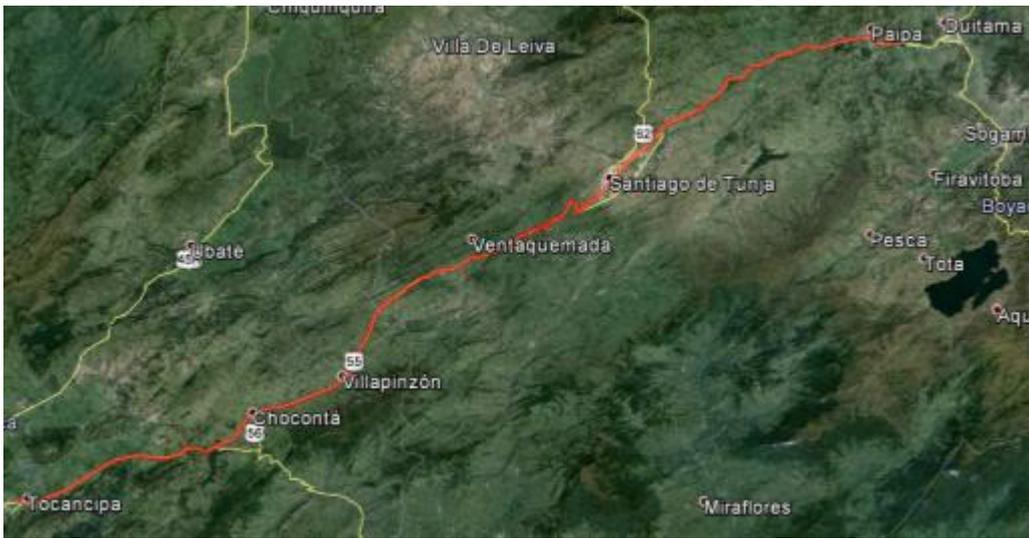
En la ruta 3 se realizó el regreso desde la ciudad de Duitama hasta la ciudad de Bogotá, esta sigue los mismos lineamientos que la ruta anterior. Sin embargo se realizó una pequeña modificación pues al llegar a la ciudad de Bogotá, se continuó por la autopista norte hasta la calle 80 y allí se finalizó la ruta, por lo que se recorrió una distancia total de 187 km.

2.3.4 Descripción de la ruta definida para el vehículo dual diésel-GLP

Para este vehículo se definieron cuatro rutas, la primera se realizó desde el municipio de Tocancipá hasta Duitama (Boyacá) con una distancia total de 149 Km. La ruta inicio en Tocancipá luego se tomó la ruta Nacional 55 para finalizar al llegar al municipio de Duitama. Esta misma ruta se realizó en sentido contrario, es decir desde Duitama hacia Tocancipá con una distancia de 147 Km.

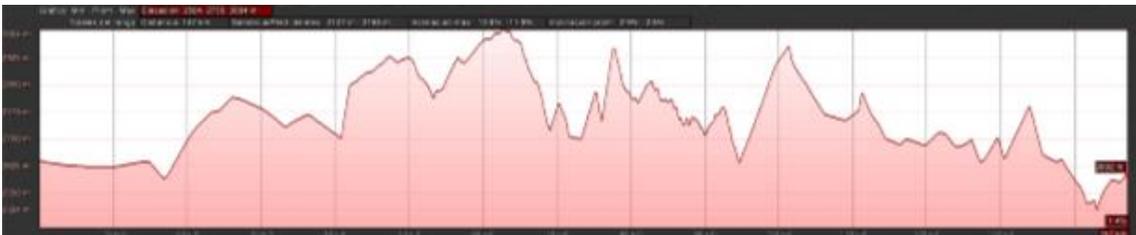


Figura 33. Recorrido realizado para la medición de emisiones del vehículo dual diésel-GLP Tocancipá-Duitama



Fuente. Elaboración propia

Figura 34. Perfil de elevación de la ruta del vehículo dual diésel-GLP Tocancipá-Duitama

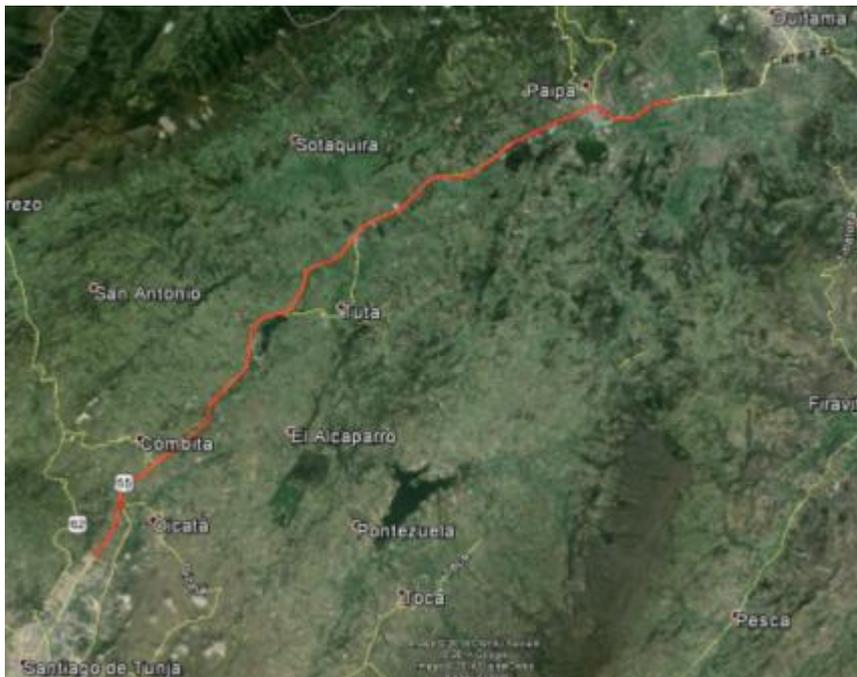


Fuente. Elaboración propia

Para evaluar los vehículos en carretera y realizar un análisis acorde a sus labores generales, se establecieron las otras dos rutas partiendo desde Tunja hasta Duitama y viceversa. La ruta se realizó por la ruta Nacional 55 o troncal central del norte hasta llegar al municipio de Duitama donde se terminó, recorriendo una distancia de 40.6 Km. Esta misma ruta se realizó en sentido contrario, es decir, desde Duitama hacia la ciudad de Tunja con una distancia de 43.2 Km.



Figura 35. Recorrido y paradas realizadas para la medición de emisiones del vehículo dual diésel-GLP Tunja-Duitama



Fuente. Elaboración Propia

Se evaluó el vehículo energéticamente y ambientalmente bajo condiciones reales de operación, pues la ruta cumple con características específicas tales como trayectos planos, en ascenso y en descenso (Figura 36).

Figura 36. Perfil de elevación de la ruta del vehículo dual diésel-GLP Tunja-Duitama



Fuente. Elaboración Propia

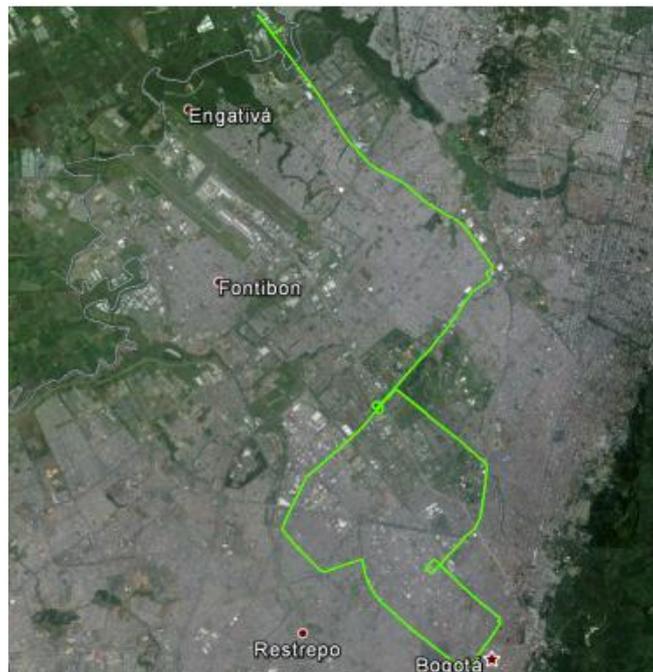


2.3.5 Descripción de la ruta definida para el vehículo transformado 1 GLP

Para este vehículo, la ruta inicial parte desde el Kilómetro 1 vía Bogotá-Siberia, luego realiza el retorno que se encuentra aproximadamente a 500 metros del punto de partida, para volver hacia la ciudad por la misma vía que luego toma el nombre de calle 80. Continúa este camino hasta la calle 80 con carrera 68, donde se desvía para tomar la carrera 68 hasta la calle 26 donde realiza la doble oreja para devolverse por la misma carrera 68 hacia el norte de la ciudad.

Al llegar a la carrera 68 con calle 53, toma la calle 53 subiendo hacia la NQS y luego se dirige hacia el sur de la ciudad para llegar a la calle 19, donde realiza la oreja para subir hasta la carrera decima con calle 19. Se toma la carrera decima hacia el sur hasta la calle sexta (carrera 10 con calle 6), luego baja por esta hasta la transversal 42 dirigiéndose hacia el sur hasta la calle tercera. Al llegar a la carrera tercera con carrera 68, toma esta vía hacia el norte hasta llegar a la calle 53 finalizando la ruta en la calle 53 con carrera 37, para obtener una distancia recorrida de 39.4 Km (Figura 37).

Figura 37. Recorrido de la ruta 1 realizada para la medición de emisiones en el vehículo transformado 1 GLP



Fuente. Elaboración Propia



Figura 38. Perfil de elevación de la ruta 1 del vehículo transformado 1 GLP



Fuente. Elaboración propia

La siguiente ruta se realizó desde el último punto (calle 53 con carrera 37) hacia el punto inicial (Kilómetro 1 vía Bogotá-Siberia). Partiendo desde la calle 53 con carrera 57, se toma la calle 53 subiendo hacia la NQS, al llegar a esta vía se toma hacia el sur de la ciudad hasta la calle 19, donde realiza la oreja para subir hasta la carrera decima con calle 19, luego se toma la carrera decima hacia el sur hasta la calle sexta. Al bajar por la calle sexta hasta la transversal 42, toma esta vía hacia el sur hasta la calle tercera, continuando por esta calle hasta llegar a la carrera 68. Luego continua por esa vía hacia el norte hasta llegar a la calle 80 y desde allí viaja hasta el Kilómetro 1 vía Bogotá-Siberia, finalizando con una distancia recorrida de 31.6Km.

2.3.6 Descripción de la ruta definida para el vehículo transformado 2 GLP

Para este vehículo se seleccionó una ruta en la ciudad de Bogotá, obedeciendo a criterios de una ruta de exigencia adecuada para el vehículo utilizado, condiciones de tráfico, rutas con diferentes velocidades de circulación vehicular y demás características propias del ciclo de manejo para la estimación de factores de emisión (g/km y g/kWh).⁴

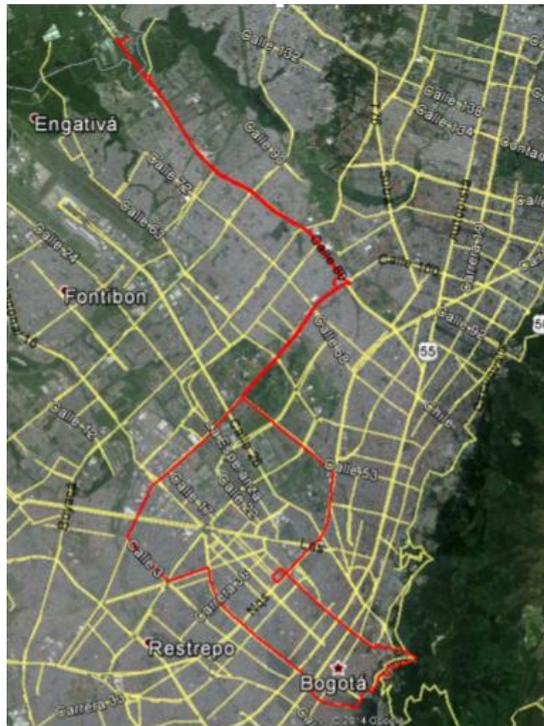
Para este vehículo, la ruta inicial parte desde el Kilómetro 1 vía Bogotá-Siberia, luego realiza el retorno que se encuentra aproximadamente a 500 metros del punto de partida, para volver hacia la ciudad por la misma vía que luego toma el nombre de calle 80. Continúa este camino hasta la calle 80 con carrera 68, donde se desvía para tomar la carrera 68 hasta la calle 53, toma la calle 53 subiendo hacia la NQS y luego se dirige hacia el sur de la ciudad para llegar a la calle 19, donde realiza la oreja para subir por la calle 19 hasta la carrera tercera, allí desvía hacia el norte y sube por la calle 22 para luego tomar la circunvalar hacia el sur, hasta salir a la calle 10 B, para luego tomar la carrera tercera hacia el sur, luego se toma la calle de los

⁴ Secretaría Distrital de Ambiente, 2013



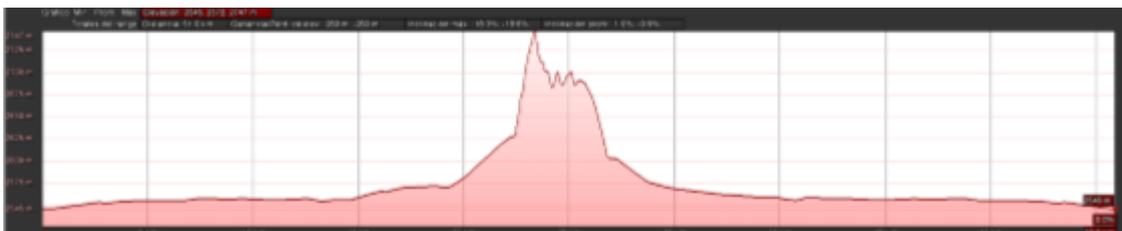
comuneros hacia el occidente de la ciudad, por esta se llega hasta la calle sexta con carrera décima, se toma entonces la calle sexta y se baja hasta la transversal 42 dirigiéndose hacia el sur hasta la calle tercera. Al llegar a la carrera tercera con carrera 68, toma esta vía hacia el norte hasta la calle 80 y desde allí viaja hasta el Kilómetro 1 vía Bogotá-Siberia, finalizando con una distancia recorrida de 51 Km, como se muestra en la figura 39.

Figura 39. Recorrido de la ruta 1 realizada para la medición de emisiones en el vehículo transformado 2 GLP



Fuente. Elaboración Propia

Figura 40. Perfil de elevación de la ruta 1 del vehículo transformado 1 GLP



Fuente. Elaboración Propia



Se evaluó el vehículo energéticamente y ambientalmente bajo condiciones reales de operación, pues la ruta cumple con características específicas tales como trayectos planos, en ascenso y en descenso, necesarios para un vehículo de estas características.

2.4 DURACIÓN DE TOMA DE DATOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

En cada vehículo se realizó un montaje necesario para el desarrollo de las pruebas en ruta y la toma de datos. Para la prueba de emisiones, en todos los vehículos se instrumenta el equipo con un sistema de direccionamiento de gases de escape, tubo muestreador, equipos de medición, una planta eléctrica de alimentación de equipos y sistemas de monitoreo GPS. A continuación se presenta la información correspondiente a cada ruta realizada en los vehículos.

2.4.1 Ruta vehículo dual diésel-GNV

En la Figura 41 se presenta el registro fotográfico del montaje de equipos implementado en el vehículo dual diésel- GNV, para el desarrollo de las pruebas en ruta y la respectiva toma de datos de emisiones y consumo de combustible.

Figura 41. Montaje de equipos para la medición en el vehículo dual diésel-GNV



Fuente. Elaboración Propia



En la Tabla 7 se presenta la información detallada relacionada con las rutas realizadas para el vehículo dual diésel-GNV., se especifica la distancia de cada ruta, duración y tipo de combustible.

Tabla 7. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo dual diésel-GNV

Ruta	Combustible	Distancia Odómetro [Km]	Distancia VAM [Km]	Duración de la Ruta [s]	Fecha
No.1 GNV	Dual (GNV-diésel)	40	33,1	8817	03/09/2014
No.2 GNV	Dual (GNV-diésel)	28	19,9	3665	03/09/2014
No.3 GNV	Dual (GNV-diésel)	24	22,2	6217	03/09/2014
No.4 Diésel	Diésel	23		5759	03/09/2014

Fuente. Elaboración Propia

2.4.2 Ruta vehículo dedicado GNV

En la Figura 42 se presenta el registro fotográfico del montaje de equipos implementado en el vehículo dedicado GNV, para el desarrollo de las pruebas en ruta y la respectiva toma de datos de emisiones y consumo de combustible.

Figura 42. Montaje de equipos para la medición en el vehículo dedicado GNV



Detalle montaje tubo muestreador en el vehículo dedicado GNV

Fuente. Elaboración Propia



En la Tabla 8 se presenta la información relacionada con las rutas realizadas para el vehículo dedicado GNV, se especifica la distancia de cada ruta, duración y tipo de combustible.

Tabla 8. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo dedicado GNV

Ruta	Combustible	Distancia Odómetro [Km]	Duración de la Ruta [s]	Fecha
No.1 Bogotá GNV	GNV	32	7772	11/09/2014
No.2 Duitama Bogotá GNV	GNV	385	6060	11/09/2014

Fuente. Elaboración Propia

2.4.3 Ruta vehículo transformado GNV

En la Figura 43 se presenta el registro fotográfico del montaje de equipos implementado en el vehículo transformado GNV, para el desarrollo de las pruebas en ruta y la respectiva toma de datos de emisiones y consumo de combustible.

Figura 43. Montaje de equipos para la medición en el vehículo transformado GNV



Detalle montaje tubo muestreador en el vehículo transformado GNV

Fuente. Elaboración propia



En la Tabla 9 se presenta la información relacionada con las rutas realizadas para el vehículo transformado GNV, se especifica la distancia de cada ruta, duración y tipo de combustible.

Tabla 9. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo transformado GNV

Ruta	Combustible	Distancia Odómetro [Km]	Duración de la Ruta [s]	Fecha
No.1 Bogotá GNV	GNV	27	6881	29/10/2014
No.2 Bogotá GNV	GNV	28	5412	29/10/2014

Fuente. Elaboración Propia

2.4.4 Vehículo dual diésel-GLP

En la Figura 44 se presenta el registro fotográfico del montaje de equipos implementado en el vehículo dual diésel-GLP, para el desarrollo de las pruebas en ruta y la respectiva toma de datos de emisiones y consumo de combustible.

Figura 44. Montaje de equipos para la medición en el vehículo dual diésel-GLP



Fuente. Elaboración Propia



En la Tabla 10 se presenta la información correspondiente a las rutas realizadas para el vehículo dual diésel-GLP, se especifica la distancia de cada ruta, duración y tipo de combustible.

Tabla 10. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo dual diésel-GLP

Ruta	Combustible	Distancia Odómetro [Km]	Distancia VAM [Km]	Duración de la Ruta [s]	Fecha
No.1 GLP (Duitama-Tocancipa)	Dual (GLP-Diésel)	161		10566	24/09/2014
No.2 GLP (Tocancipa-Duitama)	Dual (GLP-Diésel)	38	33,24	2051	24/09/2014
No.3 GLP (Duitama-Tunja)	Dual (GLP-Diésel)	154		8557	24/09/2014
No.4 Diésel (Tunja - Duitama)	Diésel	41	36,25	2087	24/09/2014

Fuente. Elaboración Propia

2.4.5 Vehículo transformado 1 GLP

En la Figura 45 se presenta el registro fotográfico del montaje de equipos implementado en el vehículo transformado 1 GLP, para el desarrollo de las pruebas en ruta y la respectiva toma de datos de emisiones y consumo de combustible.

Figura 45. Montaje de equipos para la medición en el vehículo transformado 1 GLP



Fuente. Elaboración Propia



En la Tabla 11 se presenta la información correspondiente a las rutas realizadas para el vehículo transformado 1 GLP, se especifica la distancia de cada ruta, duración y tipo de combustible.

Tabla 11. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo transformado 1 GLP

Ruta	Combustible	Distancia Google Earth [Km]	Duración de la Ruta [s]	Fecha
No.1 Bogotá GLP	GLP	39,3	7373	20/10/2014
No.2 Bogota GLP	GLP	31,6	6102	20/10/2014

Fuente. Elaboración Propia

2.4.6 Vehículo transformado 2 GLP

En la Figura 46 se presenta el registro fotográfico del montaje de equipos implementado en el vehículo transformado 2 GLP, para el desarrollo de las pruebas en ruta y la respectiva toma de datos de emisiones y consumo de combustible.

Figura 46. Montaje de equipos para la medición en el vehículo transformado 2 GLP



Fuente. Elaboración propia



En la Tabla 12 se presenta la información correspondiente a la ruta realizada para el vehículo transformado 1 GLP, se especifica la distancia de la ruta, duración y tipo de combustible.

Tabla 12. Tiempos y distancias de las rutas realizadas vehículo Transformado 2 GLP

Ruta	Combustible	Distancia Odómetro [Km]	Duración de la Ruta [s]	Fecha
No.1 Bogotá GNV	GLP	51	13843	31/10/2014

Fuente. Elaboración Propia

2.5 ESPECIFICACIONES DE LOS COMBUSTIBLES

A continuación se presentan las especificaciones de cada combustible utilizado en las pruebas en ruta, la fecha del reporte y adicionalmente se incluye la refinera.

2.5.1 Cromatografía GNV

En las Tablas 13, 14 y 15 se presentan los reportes de la cromatografía del GNV para las siguientes fechas: 3, 11 y 12 de septiembre de 2014. Los archivos se relacionan en el Anexo C. Cromatografía Cogua – Porvenir la Belleza.

Tabla 13. Cromatografía GNV, 3 de Septiembre de 2014

Fecha	03/09/2014	
Refinera	Gas Cogua	Gas Porvenir la Belleza
Composición cromatografía	Mol %	Mol %
Poder Calorífico	1.146,30	1148,88
Nitrógeno	0,527	0,66751
CO2	1,9401	1,83897
Metano	82,6544	82,57755
Etano	10,0173	10,03024
Propano	3,6589	3,64331
i_butano	0,5367	0,53448
n_butano	0,519	0,54212
i_pentano	0,0877	0,08932



n_pentano	0,0446	0,04802
n_hexano	0,0143	0,02848
Neopentano	0	0
grav. Especifica	0,6788	0,6791
densidad Relativa	0,0518	0,0518

Fuente. Informe cromatografía gas Cogua y Porvenir la Belleza- Gas Natural

Tabla 14. Cromatografía GNV, 11 de Septiembre de 2014

Fecha	11/09/2014	
Refinería	Gas Cogua	Gas Porvenir la Belleza
Composición cromatografía	Mol %	Mol %
Poder Calorífico	1.145,55	1148,32
Nitrógeno	0,5261	0,66682
CO2	1,9907	1,83948
Metano	82,5791	82,57548
Etano	10,1165	10,03252
Propano	3,5842	3,64341
i_butano	0,5268	0,53439
n_butano	0,5164	0,54203
i_pentano	0,0954	0,08934
n_pentano	0,0496	0,04805
n_hexano	0,0153	0,02848
Neopentano	0	0
grav. Especifica	0,6791	0,6791
densidad Relativa	0,0519	0,0518

Fuente. Informe cromatografía gas Cogua y Porvenir la Belleza- Gas Natural

Tabla 15. Cromatografía GNV, 12 de Septiembre de 2014

Fecha	12/09/2014	
Refinería	Gas Cogua	Porvenir la Belleza
Composición cromatografía	Mol %	Mol %
Poder Calorífico	1.144,77	1148,38
Nitrógeno	0,528	0,66673
CO2	1,9919	1,83958
Metano	82,6248	82,57515



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

Etano	10,1027	10,03286
Propano	3,5629	3,64342
i_butano	0,522	0,53437
n_butano	0,511	0,54202
i_pentano	0,0935	0,08934
n_pentano	0,0486	0,04805
n_hexano	0,0148	0,02848
Neopentano	0	0
grav. Especifica	0,6787	0,6791
densidad Relativa	0,0518	0,0518

Fuente. Informe cromatografía gas Cogua y Porvenir la Belleza- Gas Natural



3. ADQUISICIÓN DE DATOS

3.1 PRE-PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

En los anexos D al I se encuentran consignados los datos suministrados en campo por los analizadores DEKATI Nanomet 3, Analizador de gases Testo 350 y CEM DT-8897 , como también los datos reportados por el dilutor ISSRC-VAM, en formato de archivo Excel.

En los anexos citados se recopila el número de pruebas efectuadas y los archivos post-procesados de factores de emisión, además del consumo realizado por el vehículo.

Tabla 16. Descripción de las bases de datos pre-procesadas

#	Tecnología	Vehículo	Nombre de archivo	N° de Pruebas	Ciclo
1	Dual-GNV	VDB 563	Anexo D. VDB563_Dual-GNV	R1	Diésel
				R2	Dual diesel-GNV
				R3	
				R4	
2	Dedicado-GNV	TGK 079	Anexo E. TGK079_Dedicado-GNV	R1	GNV
				R2	GNV
3	Transformado-GNV	VEH 306	Anexo F. VEH306_Transformado-GNV	R1	GNV
				R2	GNV
4	Dual-GLP	TWA 098	Anexo G. TWA098_Dual-GLP	R1	Diésel
				R2	Dual diésel- GLP
5	Transformado 1-GLP	GLA 647	Anexo H. GLA647_Transformado 1-GLP	R1	GLP
				R2	GLP
6	Transformado 2-GLP	CRV 288	Anexo I. CRV288_Transformado2-GLP	R1	GLP
				R2	GLP

Fuente. Elaboración Propia

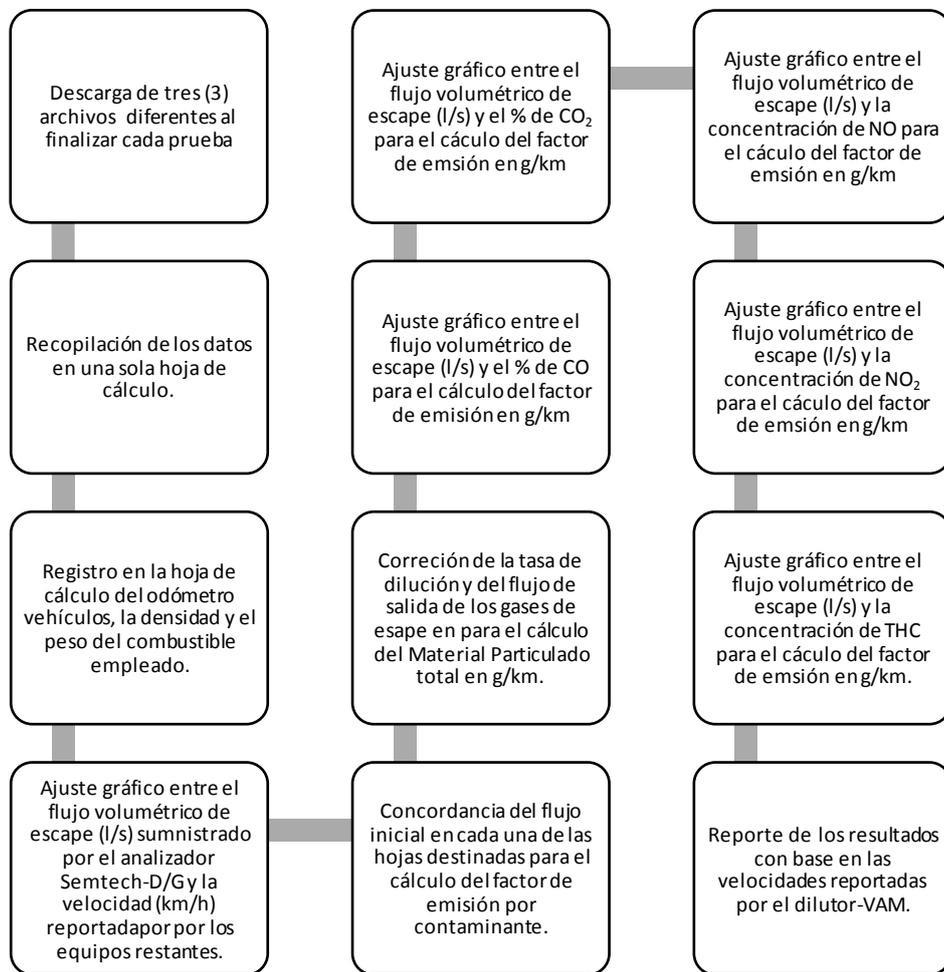
Cada base de datos cuenta con cerca de 5.700 registros tomados segundo a segundo, es decir que para un vehículo sometido a tres (3) pruebas consecutivas, se procesan alrededor de 17.100 datos.



3.2 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

El procesamiento de datos para cada vehículo consiste en la integración de los reportes suministrados por los investigadores a cargo de los equipos de medición de emisiones gaseosas, particuladas y de consumo. Los reportes en conjunto con la data recolectada de la unidad de monitoreo GPS se usan para determinar los flujos de los gases de escape, los factores de emisión en g/km y el consumo de combustible en km/gal.

Figura 47. Esquema del procesamiento de datos



Fuente: Elaboración propia



4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS A LOS VEHÍCULOS EVALUADOS

4.1 RESULTADOS VEHÍCULOS OPERADOS CON GNV

En la muestra evaluada con tecnología a gas natural, fueron evaluados tres vehículos así:

1. Motor GNV dedicado original de fábrica
2. Motor originalmente diésel y transformado para operación a GNV
3. Motor diésel con un kit instalado para operar con tecnología dual diésel-GNV

4.1.1 Resultados vehículo dual diésel-GNV

En la Tabla 17 se presentan los resultados de los factores de emisión de cada una de las pruebas en ruta efectuadas en el vehículo dual diésel-GNV, dentro de los cuales se tiene: HC (g/km), CO₂ (g/km), CO (g/km), NO_x (g/km), PM_{2.5} (g/km), PM₁₀ (g/km), PN (#/km), adicionalmente se incluye la velocidad media (km/h).

Tabla 17. Factores de emisión vehículo dual diésel-GNV

Factores de emisión	Diésel		Dual	
	Ruta 1	Ruta 1**	Ruta 2	Ruta 3
HC (g/km)	0,08	0,999	1,17	2,89
CO ₂ (g/km)	1630,50	1166,65	1083,18	1668,62
CO (g/km)	22,52	15,68	24,57	37,89
NO _x (g/km)	32,89	25,29	31,26	34,45
PM _{2.5} (g/km)	0,018	ND	0,01	0,01
PM ₁₀ (g/km)	0,29	ND	0,11	0,05
PN (#/km)*	4,49E+14	ND	ND	4,55E+14
Velocidad media (km/h)	16,3	15,08	19,56	12,87
*Difícil de medir por la cantidad de hollín				
**Se usó una dilución baja y se saturaron todos los sensores				
Fuente. Elaboración Propia				



En la Tabla 18 se presentan los resultados de consumo de combustible y de eficiencia energética del vehículo dual diésel-GNV.

Tabla 18. Consumo y eficiencia energética vehículo dual diésel-GNV

Parámetro	Operación diésel	Operación dual
Distancia recorrida (km)	23	87
Consumo diésel (Galones)	2,03	4,37
Consumo de Gas Natural (m3)	---	8,13
Equivalente en diésel (gal)	---	2,33
Consumo de combustible (km/galón)	11,33	12,99
Poder calorífico del diésel - LHV (KJ/Kg)	43829	43829
Poder calorífico del Gas Natural - LHV (KJ/m3)	40673	40673
Poder calorífico del Gas Natural - LHV (KJ/kg)	51485	51485
Densidad del diésel (kg/m3)	856	856
Densidad del gas (kg/m3)	0,79	0,79
Consumo energético por km recorrido (KJ/km)	12533,41	10933,67
Ahorro en consumo energético con referencia al diésel		12,8%

Fuente: Elaboración Propia

Nota: El consumo de este vehículo NPR es atípico y emitir resultados concluyentes en cuanto a consumo, no es del todo satisfactorio

4.1.2 Resultados vehículo dedicado GNV

En la Tabla 19 se presentan los resultados de los factores de emisión de la prueba en ruta urbana e inter-urbana efectuadas en el vehículo dedicado GNV, dentro de los cuales se tiene: HC (g/km), CO₂ (g/km), CO (g/km), NO_x (g/km), PM₁₀ (g/km), PN (#/km).

Tabla 19. Factores de emisión vehículo dedicado GNV

Factores de emisión	Ruta urbana	Ruta inter-urbana
HC (g/km)	0,813	0,057
CO ₂ (g/km)	1216,06	823,01
CO (g/km)	24,65	1,95
NO _x (g/km)	16,97	7,25
PM ₁₀ (g/km)	2,0E-04	2,5E-05
PN (#/km)*	2,80E+12	2,59E+12



Velocidad Media (km/h)

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 20 se presentan los resultados de consumo de combustible y de eficiencia energética del vehículo dedicado GNV.

Tabla 20. Consumo y eficiencia energética vehículo dedicado GNV

Parámetro	Operación GNV Urbana	Operación GNV Inter-Urbana
Distancia recorrida (km)	32	374
Consumo de Gas Natural (m ³)	8,53	60,60
Equivalente en diésel (gal)	2,50	17,76
Consumo de combustible (km/galón)	12,80	21,06
Poder calorífico del Gas Natural - LHV (KJ/kg)	51100	51100
Densidad del Gas Natural (kg/m ³)	0,81	0,81
Consumo energético por km recorrido (KJ/km)	11093,77	6743,43

Fuente. Elaboración Propia

4.1.3 Resultados vehículo transformado GNV

En la Tabla 21 se presentan los resultados de los factores de emisión de la prueba en la ruta urbana efectuada en el vehículo transformado GNV, dentro de los cuales se tiene: HC (g/km), CO₂ (g/km), CO (g/km), NO_x (g/km), PM₁₀ (g/km), PN (#/km).

Tabla 21. Factores de emisión vehículo transformado GNV

Factores de emisión	Ruta urbana
HC (g/km)	3,371
CO ₂ (g/km)	1193,40
CO (g/km)	49,88
NO _x (g/km)	25,88
PM ₁₀ (g/km)	5,1E-03
PN (#/km)*	9,44E+13
Velocidad Media (km/h)	

Fuente. Elaboración Propia



En la Tabla 22 se presentan los resultados de consumo de combustible y de eficiencia energética del vehículo transformado GNV.

Tabla 22. Consumo y eficiencia energética vehículo transformado GNV

Parámetro	Operación GNV Urbana
Distancia recorrida (km)	52
Consumo de Gas Natural (m3)	22,76
Equivalente en diésel (gal)	6,67
Consumo de combustible (km/galón)	7,80
Poder calorífico del Gas Natural - LHV (KJ/kg)	51100
Densidad del Gas Natural (kg/m ³)	0,81
Consumo energético por km recorrido (KJ/km)	18215,83

Fuente. Elaboración Propia

4.1.4 Análisis de resultados vehículos operados con GNV

Sobre cada uno de estos vehículos, se realizaron pruebas en ruta bajo diferentes condiciones. Unas rutas fueron urbanas, como es el caso del vehículo dual, dedicado y transformado, y otras fueron únicamente inter-urbanas, como es el caso del dedicado. Los resultados son concluyentes, las emisiones de material particulado de los vehículos con operación únicamente en gas natural (transformado y dedicado) son muy bajas. Sin embargo, el número de partículas es similar (ver Tablas 21 y 19). Esto es muy lógico, ya que en general los vehículos con tecnologías EURO V o inferiores, emiten altas concentraciones de partículas ultrafinas.

El motor con sistema dual reduce la concentración de material particulado en casi un 30%, pero al igual que sus similares transformado y dedicado, emite concentraciones elevadas de partículas ultrafinas (ver Tabla 17). En cuanto a las emisiones de hidrocarburos sin quemar y monóxido de carbono, son bajas para el dedicado (tanto en la ruta urbana como en la inter-urbana), ya que éste cuenta con un buen sistema de pos-tratamiento de gases de escape, mientras que para el transformado, estas emisiones son bastante elevadas llegando a valores de 3 y 50 gr/km para HC y CO respectivamente.

Los resultados registrados en la Tabla 17 indican que en el caso del vehículo con motor dual, el uso del sistema dual aumenta considerablemente las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar en comparación con la operación en diésel y alcanzan a ser



equiparables con el motor transformado. Los óxidos de nitrógeno son bajos para el caso del motor dedicado (alrededor de 15 gr/km), mientras que para el caso de los vehículos transformado y dual son elevados (alrededor de 35 gr/km). Esto se debe a que estos últimos dos motores mostraron temperaturas relativamente más altas que su par en motor dedicado.

Haciendo referencia al desempeño energético, la operación del motor dedicado es la más eficiente de todas. El vehículo transformado tiene un rendimiento de 7.8 km/gal, el vehículo dual un rendimiento de 11.33 y 12.99 km/gal (diésely dual respectivamente) y el dedicado un rendimiento de 12.80 km/gal todas en la misma ruta. Mientras que el transformado consume 18 MJ/km, el dedicado y dual consumen tan solo 11 MJ/km (ver Tablas 22, 20 y 18). De cualquier forma, el dedicado en operación en ruta inter-urbana, incrementa dramáticamente su eficiencia, realizando un consumo de 21 km/galón, con un consumo de tan solo 6 MJ/km. Esto indica que las condiciones de operación de estos vehículos requieren velocidades medias relativamente altas para poder encontrar sus puntos óptimos de funcionamiento.

4.2 RESULTADOS VEHÍCULOS OPERADOS CON GLP

Para el desarrollo de las pruebas en relación con vehículos que operan con GLP se seleccionaron las siguientes tecnologías:

1. Un vehículo Chevrolet NKR, el cual opera con la tecnología de tipo dual diésel-GLP, con la implementación del respectivo kit descrito en el capítulo 2.
2. Un vehículo Dodge, su operación se realiza con tecnología de tipo transformado GLP.
3. Un vehículo Chevrolet LUV, al igual que el anterior vehículo su operación se realiza con tecnología de tipo transformado GLP.



4.2.1 Resultados vehículo dual diésel-GLP

En la Tabla 23 se presentan los resultados de los factores de emisión de la prueba en cada una de las ruta efectuadas en el vehículo dual diésel- GLP, dentro de los cuales se tiene: HC (g/km), CO₂ (g/km), CO (g/km), NO_x (g/km), PM₁₀ (g/km), PN (#/km).

Tabla 23. Factores de emisión vehículo dual diésel-GLP

Factores de emisión	Diésel		Dual	
	Ruta 1	Ruta 1**	Ruta 2	Ruta 3
HC (g/km)	0,07	2,791	1,27	1,56
CO ₂ (g/km)	1145,83	1256,30	899,14	1796,85
CO (g/km)	13,19	28,67	20,49	39,88
NO _x (g/km)	13,58	14,31	14,17	18,59
PM _{2.5} (g/km)	ND	ND	ND	
PM ₁₀ (g/km)	0,45	ND	0,25	0,13
PN (#/km)*	4,25E+14	ND		
Velocidad media (km/h)				
*Difícil de medir por la cantidad de hollín				
**Se usó una dilución baja y se saturaron todos los sensores				
Fuente. Elaboración Propia				

En la Tabla 24 se presentan los resultados de consumo de combustible y de eficiencia energética del vehículo dual diésel-GLP.

Tabla 24. Consumo y eficiencia energética vehículo dual diésel-GLP

Parámetro	Operación Diésel	Operación Dual
Distancia recorrida (km)	37,6	328,56
Consumo diésel (Galones)	1,65	10,41
Consumo de GLP (m ³)	---	3,10
Equivalente en diésel (gal)	---	2,20
Consumo de combustible (km/galón)	22,79	26,06
Poder calorífico del diésel - LHV (KJ/Kg)	43965	43965
Poder calorífico del GLP - LHV (KJ/kg)	50	50
Densidad del diésel (kg/m ³)	856	856
Densidad del gas (kg/m ³)	536,33	536,33
Consumo energético por km recorrido (KJ/km)	6251,15	4512,37
Ahorro en consumo energético con referencia al diésel		27,8%
Fuente. Elaboración Propia		



4.2.2 Resultados vehículo transformado 1 GLP

En la Tabla 25 se presentan los resultados de los factores de emisión de la prueba en la ruta urbana efectuada en el vehículo transformado 1 GLP, dentro de los cuales se tiene: HC (g/km), CO₂ (g/km), CO (g/km), NO_x (g/km), PM₁₀ (g/km), PN (#/km).

Tabla 25. Factores de emisión vehículo transformado 1 GLP

Factores de emisión	Ruta urbana
HC (g/km)	15,98
CO ₂ (g/km)	1476,39
CO (g/km)	788,56
NO _x (g/km)	10,42
PM ₁₀ (g/km)	3,2E-05
PN (#/km)*	3,84E+11
Velocidad Media (km/h)	

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 26 se presentan los resultados de consumo de combustible y de eficiencia energética del vehículo transformado 1 GLP.

Tabla 26. Consumo y eficiencia energética transformado 1 GLP

Parámetro	Operación GLP Mixta
Distancia Recorrida (km)	72,9
Consumo de GLP (galones)	19,40
Equivalente en Diésel (gal)	13,69
Consumo de Combustible (km/galón)	5,32
Poder Calorífico del Gas Natural - LHV (KJ/kg)	49410
Densidad del Gas Natural (kg/m ³)	536,00
Consumo Energético por km recorrido (KJ/km)	26679,05

Fuente: Elaboración propia



4.2.3 Resultados vehículo transformado 2 GLP

En la Tabla 27 se presentan los resultados de los factores de emisión de la prueba en la ruta urbana efectuada en el vehículo transformado 2 GLP, dentro de los cuales se tiene: HC (g/km), CO₂ (g/km), CO (g/km), NO_x (g/km), PM₁₀ (g/km), PN (#/km).

Tabla 27. Factores de emisión vehículo transformado 2 GLP

Factores de emisión	Ruta urbana
HC (g/km)	8,71
CO ₂ (g/km)	2634,76
CO (g/km)	1401,88
NO _x (g/km)	2634,76
PM ₁₀ (g/km)	5,7E-02
PN (#/km)*	1,93E+15
Velocidad Media (km/h)	

Fuente. Elaboración Propia

En la Tabla 28 se presentan los resultados de consumo de combustible y de eficiencia energética del vehículo transformado 2 GLP.

Tabla 28. Consumo y eficiencia energética vehículo transformado 2 GLP

Parámetro	Operación GLP Mixta
Distancia recorrida (km)	51
Consumo de GLP (galones)	5,40
Equivalente en diésel (gal)	3,83
Consumo de combustible (km/galón)	13,32
Poder calorífico del Gas Natural - LHV (KJ/kg)	49610
Densidad del Gas Natural (kg/m ³)	536,30
Consumo energético por km recorrido (KJ/km)	10663,93

Fuente. Elaboración Propia



4.2.4 Análisis de resultados vehículos operados con GLP

Para los dos vehículos transformados a GLP, prácticamente las emisiones de hidrocarburos sin quemar y monóxido de carbono fueron muy elevadas. Valores de 15 y 8 gr/km para hidrocarburos, mientras que para monóxido de carbono fueron 780 y 1400 gr/km (ver Tablas 25 y 27). Estos valores muestran una incorrecta calibración del sistema de dosificación de combustible que se sustenta en la necesidad de que el vehículo cuente con buenas prestaciones para realizar trabajo. Es una mezcla excesivamente rica en combustible para que el vehículo pueda arrastrar la carga a la que se somete. Es una condición incorrecta de uso y calibración, eso se verifica con las elevadísimas emisiones de dióxido de carbono que rodean valores de 1400 y 2600 gr/km. El material particulado es prácticamente despreciable, mientras que las emisiones de partículas ultrafinas son altas comparables con sus similares a gas natural.

En cuanto al motor dual, los hidrocarburos y monóxido de carbono se incrementan en forma notoria. Cuando el motor opera en dual, el material particulado se reduce a la mitad aproximadamente (ver Tabla 23). Los valores de partículas ultrafinas son elevados en cualquier caso.

La eficiencia energética de los vehículos transformados es baja. Los consumos son del orden de 5 y 13 km/gal equivalente para el vehículo Dodge y el vehículo Chevrolet LUV, respectivamente. El vehículo Dodge consumió 26 MJ/km, mientras que el vehículo Chevrolet LUV 11 MJ/km (ver Tablas 26 y 28), este último valor es muy elevado para un vehículo de tan solo una tonelada de carga.

Como se observa en la Tabla 24, el equipo dual tiene un consumo de 22 y 26 km/gal para diésel y diésel-GLP, respectivamente. Su consumo es de 6 y 4 MJ/km para el diésel y diésel-GLP, respectivamente.



4.3 INDICADORES DE COMPARACIÓN

La Tabla 29 presenta la comparación entre las tecnologías evaluadas. Para este análisis, hay dos indicadores adicionales.

- El primer indicador corresponde a los galones necesarios para mover una tonelada de carga durante 100 kilómetros para las condiciones evaluadas.
- El segundo indicador es la energía consumida para mover una tonelada un kilómetro. Estos indicadores permiten comparar adecuadamente las tecnologías evaluadas.

Tabla 29. Comparación de resultados de los vehículos evaluados

Vehículo	Modo de Operación	Consumo de Combustible (Gal/100Km)	Peso Actual (Kg)*	Gal/ (Ton·100Km)	Consumo Energético por km recorrido (KJ/km)	KJ/(Ton·Km)
Dual diésel-GNV	Diésel	8,826	6658	1,326	12533,415	1,882
	Dual	7,699		1,156	10933,673	1,642
Dedicado GNV	Urbana	7,811	5490	1,423	11093,767	2,021
	Inter-urbana	4,748		0,865	6743,433	1,228
Transformado GNV	GNV Urbana	12,826	6690	1,917	18215,828	2,723
Dual diésel-GLP	Diésel	4,388	5240	0,837	6251,150	1,193
	Dual	3,837		0,732	4512,370	0,861
Transformado 1 GLP	GLP Mixta	18,785	11840	1,587	26679,049	2,253
Transformado 2 GLP	GLP Mixta	7,509	2440	3,077	10663,926	4,370

*Peso del Vehículo más la carga que llevaba.

Fuente. Elaboración Propia

Claramente en referencia al primer indicador (Gal/ton*100 km), el vehículo diésel con su respectivo kit de GLP es el más eficiente de todos, con un requerimiento de 0.83 y 0.73 galones para mover una tonelada en su operación diésel y dual respectivamente. Seguidamente se encuentra el vehículo con motor dedicado original de fábrica a GNV con un requerimiento de 0.86 gal/ton. El resto de tecnologías evaluadas, están muy por encima de estos valores. Hay vehículos que incluso triplican estos requerimientos, lo que indica claramente tecnologías no viables energéticamente.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

Acevedo y otros (2014) encontraron que valores promedios para vehículos de pasajeros pueden estar alrededor de 0.8 a 1.1 gal/ton por 100 kilómetros. Valores fuera de este rango, son ineficientes en consumo de combustible, así como también, son altos emisores. Por ello, el vehículo transformado a GNV, el vehículo dual a GNV, y los vehículos transformados a GLP presentan valores anormales que indicarían que no son tecnologías competitivas.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las pruebas en ruta permiten concluir lo siguiente:

1. Los vehículos con motores dedicados de fábrica, muestran los mejores desempeños energéticos y ambientales.
2. El uso de dispositivos duales (GNV / GLP) en vehículos de carga con motor diésel (hasta de 5 toneladas), operan con emisiones gaseosas más elevadas en comparación con la operación en diésel original.
3. El uso de dispositivos duales (GNV / GLP) en vehículos de carga con motor diésel (hasta de 5 toneladas), operan con emisiones sólidas (material particulado) menores en comparación con la operación diésel original.
4. El uso de dispositivos duales (GNV / GLP) en vehículos de carga con motor diésel (hasta de 5 toneladas) requieren de catalizadores especiales para poder controlar las altas concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar.
5. Los vehículos denominados transformados, aquellos que fueron originalmente diseñados para una operación con un combustible determinado y se migran para uso con combustibles gaseosos (en este caso GNV o GLP), no son una alternativa energética y ambiental para el sector carga. Esas transformaciones muestran que los vehículos consumen más energía para hacer el mismo trabajo, y emiten mayores cantidades de contaminantes (especialmente contaminantes gaseosos).

Recomendaciones:

1. Promover un proceso de reducción de los límites de emisión para vehículos de carga nuevos en Colombia, de manera que se acelere la introducción de vehículos de baja emisión, equipados con las tecnologías ya disponibles para cumplirlos.
2. Promover un proceso de reducción de los límites de emisión para vehículos de carga usados en Colombia, de manera que se fomente la conversión a tecnologías con menores emisiones.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

3. Promover un proceso de planeación para la adopción del estándar Euro VI en motores para vehículos de carga, acompañado por un proceso de investigación del desempeño de dichos motores en Colombia.



6. COMENTARIOS FINALES

La tecnología de vehículos convertidos a GLP evaluados en este estudio, no es del todo representativa del parque automotor de carga en Colombia. El GLP se ha restringido a vehículos que estén dentro del sector, esto es, vehículos que transporten GLP. Desde hace varios años, Colombia ha visto como se ha migrado al uso del combustible diésel como fuente de alimentación de los motores en el sector carga. Esto ha conllevado que los vehículos de carga sean diésel y se ha relegado el uso del GLP. Debido a esto, los vehículos que fueron evaluados, son de tecnología obsoleta, ya que son vehículos con un alto promedio de uso, carburados, sin electrónica. Todo lo contrario a los vehículos actuales diésel, que cuentan con electrónica, sistemas de inyección de alta presión, incluso, algunos con sistemas post-tratamiento de gases de escape. Por eso, debe entenderse que los resultados mostrados en GLP, sobre todo lo que tiene que ver con consumos energéticos y emisiones, deben verse objetivamente y re-evaluarse en tecnologías más modernas.

Por otro lado, la conversión o transformación de los vehículos en general, pasando de un ciclo diésel a un ciclo a gasolina (transformación diésel a GNV o transformación de gasolina a GLP), no es un procedimiento que conlleve a una mejora en eficiencia energética o factores de emisión. Por el contrario, se observa cómo esta clase de transformaciones muestran altos consumo energéticos asociados a altas emisiones para realizar el mismo trabajo para el cual fue diseñado en su condición original. Seguramente por los costos de combustible, una operación de un vehículo transformado puede verse para el usuario final como una alternativa, pero las autoridades regulatorias de Colombia deben valorar aspectos ambientales y energéticos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía, y
Protección del Medio Ambiente
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia –Sede
Bogotá D.C.
Carrera 30 No 45 –03, Edificio 453, Oficina 401
Tel.: 3165320, Fax.: 316533 Correo Electrónico:
gruicte_bog@unal.edu.co

GLOSARIO

ALVW: Adjusted Loaded Vehicle Weight

GNC: Gas Natural Comprimido

GNL: Gas Natural Licuado

GLP: Gas Licuado de Petróleo

GNV: Gas Natural Vehicular

HHV: Higher Heating Value (Poder Calorífico Superior)

LHV: Lower Heating Value (Poder Calorífico Inferior)

LVW: Loaded Vehicle Weight.

PM: Material Particulado.

MCI: Motor de Combustión Interna



REFERENCIAS

- [1] SAE J2711 “Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy-Duty Vehicles “.
- [2] SAE Paper Number: 690764 “Exhaust Emissions from Heavy Duty Vehicles”.
- [3] SAE Paper Number: 690765 “Present and Future Emission Standards for Heavy-Duty Vehicles”.
- [4] ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, EMISIONES GASEOSAS Y MATERIAL PARTICULADO PARA VEHÍCULOS DE SERVICIO ZONAL, TRONCAL Y VEHÍCULOS COLECTIVOS DE SERVICIO PUBLICO , Convenio 0013- 2012 SDA Universidad Nacional de Colombia



ANEXOS

Anexo A. Equivalencia energética consumo vehículo operando con GNV y diésel convencional, archivo de Word en formato digital CD.

Anexo B. Opacidad, archivo de Word en formato digital CD.

Anexo C. Cromatografía Cogua – Porvenir la Belleza, archivo de Excel en formato digital CD.

Anexo D. VDB563_Dual-GNV, archivo de Excel en formato digital CD.

Anexo E. TGK079_Dedicado-GNV, archivo de Excel en formato digital CD.

Anexo F. VEH306_Transformado-GNV, archivo de Excel en formato digital CD.

Anexo G. TWA098_Dual-GLP, archivo de Excel en formato digital CD.

Anexo H. GLA647_Transformado 1-GLP, archivo de Excel en formato digital CD.

Anexo I. CRV288_Transformado2-GLP, archivo de Excel en formato digital CD.