INFORME DE RESULTADOS

VALIDACIÓN TECNOLÓGICA LOCAL – MEDELLÍN, COLOMBIA

IMPACTO EN EL CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DEL USO DE TRACTOCAMIÓN GNC EN OPERACIONES DE LA EMPRESA TDM

PRUEBAS BAJO PROTOCOLO NCh 3331

Villalobos, Julio (b); Campos, Rolando (b); Raddatz, Helmuth (b); Ocampo-Wilches, Ana Cristina (d); Rey-Ladino, Andrés Felipe (d); Faride, Camila (c); Wilmsmeier, Gordon (d); Bocarejo, Juan Pablo (c); Duque, Julián (a).

EMPRESA PARTICIPANTE

(a) TDM

(b) **UNIVERSIDAD ANDRES BELLO**

CENTRO DE TRANSPORTE Y LOGISTICA

SANTIAGO DE CHILE, CHILE

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

(c) FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

(d) FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

PROYECTO GIROZERO

MAYO 2024

CONTENIDO

Introducción 4

Metodología de prueba 13

Estandarización de parámetros 14

Ruta de prueba 15

Velocidad de prueba 18

Capacidad de carga 18

Control de combustible 19

Resultados 20

Evaluación Energética 22

Evaluación de Emisiones de CO_2 24

Evaluación Económica 26

Bibliografía 28

ANEXO 1 29

Listado de Figuras

Figura 1. Vehículo de Prueba (T1) / JYY 384 7
Figura 2. Vehículo de Prueba (T1) / JYY 384 – Preparativos antes de la prueba 8
Figura 3. Vehículo de Prueba (T2) / STE 383 10
Figura 4. Vehículo de Prueba (T2) / STE 383 – Preparativos antes de la prueba 11
Figura 5. Ruta de Prueba, Bello, Antioquia, Colombia 16
Figura 6. Estación de servicio Primax/Gazel utilizada como Base 16
Figura 7. Plano de Altimetría de la Ruta 17
Figura 8. Retorno Estación de Metro Niquia. 17
Figura 9. Retorno punto frente a Biochemical Group 18
Figura 10. Base operativa con estación de pesaje por gravimetría y tanques portátiles. 20
Figura 12. Metodología de proceso de datos Validación tecnológica 24
Figura 13. Ciclo de vida del combustible para la estimación de emisiones 24

Listado de Tablas

Tabla 1. Ficha técnica vehículo de prueba (T1) / JYY 384 10
Tabla 2. Ficha técnica vehículo de Prueba (T2) / STE 383 13
Tabla 3. Resultados de las pruebas y análisis estadístico basado en el estándar SAE 1321 21
Tabla 4. Evaluación energética vehículo DAF CF 480 DIESEL 22
Tabla 5. Evaluación energética vehículo SITRACK C7H 430 GNC 22
Tabla 6. Balance Energético. 23
Tabla 7. Cálculo de las emisiones para los vehículos. 25
Tabla 8. Comparación de emisiones entre los vehículos de prueba Diésel y GNC 26
Tabla 8. Precios de los combustibles 26
Tabla 9. Comparación de consumo por trayecto y por kilometro 27
Tabla 10. Control de tiempos del vehículo de control para ambos días de línea base y prueba. 31
Tabla 11. Control de tiempos del vehículo de prueba para ambos días de línea base y prueba. 32

INTRODUCCIÓN

El presente informe ha sido preparado por el equipo de Validación Tecnológica del Centro de Transporte y Logística de la UNAB compuesto por Julio Villalobos, Helmuth Raddatz y Rolando Campos, en conjunto con el equipo de GiroZero compuesto por Andrés Rey, Camila Faride Cubillos y Ana Cristina Ocampo, bajo la supervisión de Gordon Wilmsmeier y Juan Pablo Bocarejo este equipo es el responsable por el diseño e implementación del estudio "Impacto en el Consumo Energético del Uso de Tractocamión GNC en Operaciones de la Empresa TDM".

El proyecto consiste en estudiar el impacto sobre el consumo energético, producto del uso del Gas Natural Comprimido, conocido en Colombia como GNC, en sustitución del combustible tradicional Diésel, que conoce en común la industria del Transporte Automotor de Carga Carretero. En este caso puntual se ponen a prueba dos vehículos de la empresa de transporte TDM. El primer vehículo es el tractocamión Diésel DAF CF 480, año 2023 con una potencia de 483 CV y una caja de transmisión automatizada, el segundo un tractocamión GNC SITRACK C7H 430, año 2021 con una potencia de 436 CV y una transmisión mecánica.

Con el fin de conocer el impacto en el consumo energético se utiliza lo establecido en la norma chilena INN NCh3331 bajo el nombre de "Método de Prueba para la Determinación del Consumo de Combustible para Vehículos de Transporte Terrestre" (Instituto Nacional de Normalización, 2013). La norma chilena INN NCh3331 del año 2013, provee un procedimiento de prueba estándar para comparar el consumo de combustible en una determinada ruta, lo que permite cuantificar los impactos en el rendimiento del combustible evaluado, producto de la incorporación de dispositivos, insumos y

tecnologías o por cambios en la configuración del equipo, como accesorios aerodinámicos.

El resultado de la prueba, usando el procedimiento descrito en la norma, es validado mediante ratios, los cuales son construidos utilizando los datos de consumo del vehículo de control y de prueba.

Ahora bien, es indispensable seguir las siguientes reglas aplicadas a este procedimiento para asegurar la validez del resultado de las pruebas, aunque algunas de ellas no fueron consideradas por la disponibilidad de infraestructura y equipos en la zona de pruebas:

- Las rutas de prueba y peso de carga deben ser representativas de la operación real, es decir, se debe simular lo más parecido a una operación común o frecuente de la empresa TDM, y también no deben sufrir cambios durante la prueba. Otros requisitos de la ruta según la NCh3331 tienen que ver con mínimos de extensión, pendiente tendiente a cero, permitir la activación de velocidad crucero, retornos, etc.
- Hacer solo una corrida/vuelta/circuito no es concluyente, independiente de los resultados, realizar solo una vuelta debe ser tomada como un indicador, más no como conclusión, ya que se debe verificar la repetitividad de los resultados para tener validez. El protocolo de prueba exige al menos 3 vueltas válidas (correspondientes a 3 ratios dentro del rango del 2%) para obtener un dato de comparación. Si hay algún cambio o perturbación según los parámetros establecidos por la norma, esta vuelta se debe descartar y se repite hasta cumplir con el mínimo de vueltas exigidas. Dada las condiciones de la pista de pruebas, solo se realizaron 3 vueltas por día, sin considerar la validez de cada unasegún los requisitos de la norma.
- Al medir y controlar más variables los resultados serán más concluyentes.

- Todos los procedimientos o métodos de prueba son precisos dentro de los límites prescritos en la norma.

La norma NCh3331, incluye actualizaciones con respecto a la norma SAE-J1321_OCT 2020 (SAE, 2020) destacando entre estas:

- Análisis estadístico, que permite conocer el grado de certeza con el que se calculan los ahorros y mejoras en cada prueba.
- Uso de la trazabilidad GPS para evidenciar la velocidad en cada vehículo.
- Nuevos formularios y software de análisis estadístico.
- Mayor riguridad en el espaciado entre los vehículos.
- Obligatoriedad en el uso de observadores (los observadores acompañan a los conductores, monitorean el proceso de conducción velando por que las vueltas sean lo más parecido posible. En la base se queda el equipo de profesionales que realiza la toma de datos de consumo energético, clima y revisión del estado del vehículo para cada vuelta.

Para la aplicación del protocolo de la Norma NCh3331, como prueba de validación tecnológica local y en base a la naturaleza de esta prueba, se necesitan 3 vehículos de similares características, en donde se tiene,

- Vehículo de prueba (T1) DAF CF 480 - 2023
- Vehículo de prueba (T2) SITRACK C7H 430 - 2021 (vehículo sujeto a estudio)
- Vehículo de control (C) DAF CF 480 – 2023 (no sufre modificaciones).

El vehículo T1 permanece sin modificación, el vehículo T2 es el vehículo objeto de estudio y el vehículo C no sufre de modificaciones y permanece en las mismas condiciones durante toda la prueba, su objetivo es absorber las variables externas que afecten ambos vehículos, generar el ratio y poder aislar los resultados de las modificaciones en el vehículo de prueba T2.

Para el estudio, “Impacto en el Consumo Energético del Uso de Tractocamión GNC en Operaciones de la Empresa TDM” se utilizó un vehículo de control sin modificación alguna en los días de construcción de línea base y días de prueba. A todos los vehículos se les realizó todo el mantenimiento y revisiones necesarias para asegurar que estuviesen en óptimas condiciones para los días de prueba.

- Línea base: vehículo de prueba DAF CF 480 con utilización de Diesel cargado en la Estación de Servicio Primax – Gazel ubicada en la vía Bello-Girardota en Antioquia.
- Segmento de prueba: vehículo de prueba con utilización de GNC en un tractocamión SITRACKC7H 430 dedicado 100% a este combustible.

Figura 1. Vehículo de Prueba (T1) / JYY 384

Figura 2. Vehículo de Prueba (T1) / JYY 384 – Preparativos antes de la prueba

Ficha técnica vehículo de prueba (T1) / JYY 384	
Cadena Cinemática	◦ Combustible eco: los ajustes de la estrategia de cambio de marchas del vehículo con eco se centran en el mejor consumo de combustible. El ajuste de consumo eficiente, seleccionado automáticamente, se puede desactivar temporalmente pulsando el botón de desactivación del modo eco para aumentar el rendimiento del vehículo, mientras se mantiene la eficiencia del combustible. ◦ Motor MX-13, par múltiple Diesel de 6 cilindros 12,9 litros, potencia 355 kW (483 CV) 1600 RPM. Par motor 2500 Nm a 900-1125 RPM. ◦ Caja de cambios automatizada TraXon 12 velocidades. ◦ Relación del eje trasero 3.09. ◦ Emisión de gases de escape Euro 6. ◦ Caja de cambios automatizada de accionamiento directo TraXon 12TX2620, relación 16,69-1,00;12 velocidades. ◦ Software de caja de cambios automatizada optimizado para aplicaciones de transporte estándar. Versión de control de la caja de cambios: completa. ◦ Desconexión del ralentí del motor, después de 5 minutos al ralentí. ◦ Bloqueo diferencial mecánico. ◦ El sistema ASR (antideslizamiento) evita que las ruedas accionadas patinen al iniciar la marcha y ayuda al vehículo a permanecer estable en carreteras en mal estado. ◦ Sistema de diagnóstico de a bordo OBD conforme a los requisitos de EURO VI E.
Suspensión y ejes	◦ Ejes traseros tándem con accionamiento doble tipo SR1360T con reducción sencilla y suspensión neumática controlada electrónicamente. Bloqueo de diferenciales intermedio y transversal. Ambos ejes tándem llevan suspensión de 4 fuelles neumáticos e incluyen amortiguadores y estabilizador. Carga máxima 2x10,5 toneladas. ◦ Eje delantero tipo 167N, desplazamiento vertical de 20 mm. ◦ Suspensión parabólica con amortiguadores y estabilizador.

	◦ Carga máxima 8,0 toneladas ◦ Carga máxima de ballesteras traseras 26t, carga de diseño de sistema de frenos 21t.
Ruedas y neumáticos	◦ Ejes delanteros: tamaño de neumático 295/80R22.5, tamaño de rueda 22,5x8,25. ◦ Anillos de protección de rueda con sección central abierta, color gris plata RAL 9006. ◦ Llantas de aluminio, mate Alcoa, orificios de montaje 32mm. ◦ Eje delantero: tamaño del neumático 295/80R22.5, Goodyear tipo KMAXS2 índice de carga 154/149, índice de velocidad M, ejes de dirección, transporte regional. Etiqueta del neumático: resistencia a la rodadura C, adherencia en superficies mojadas B, ruido 74 dB(A). ◦ Primer eje trasero arrastrado: tamaño del neumático 295/80R22.5, Goodyear tipo KMAXD2, índice de carga 152/148, índice de velocidad M, ejes de tracción, regional. Etiqueta del neumático: resistencia a la rodadura D, adherencia en superficies mojadas C, ruido 72 dB(A). ◦ Segundo eje trasero arrastrado: tamaño del neumático 295/80R22.5, Goodyear tipo KMAXD2, índice de carga 152/148, índice de velocidad M, ejes de tracción, regional. Etiqueta del neumático: resistencia a la rodadura D, adherencia en superficies mojadas C, ruido 72 dB(A). ◦ Eje(s) trasero accionado: tamaño de neumático 295/80R22.5, tamaño de rueda 22,5x 8,25. ◦ Proveedor Goodyear ◦ Neumático de rueda repuesto no aplicable.
Sistema de Frenos	◦ Freno motor MX. Conjunto de freno de comprensión de accionamiento hidráulico integrado en el grupo basculante de la válvula. El freno moto MX funciona con el freno de escape, produciendo una potencia de frenado combinada que está disponible a bajas revoluciones. ◦ Frenos de disco ventilados delanteros y traseros. Sistema neumático de circuito doble con control electrónico EBS. Compresor neumático de dos cilindros con secador de aire caliente y modo económico. ◦ Control de freno de estacionamiento sin posición de prueba ◦ Cilindros de freno de resorte en el primer eje delantero ◦ Cilindro freno resorte segundo eje del eje tándem trasero.
Chasis	◦ Depósito de combustible de aluminio de 525 litros, 700mm de altura. ◦ Escape horizontal en lado de unidad DPF/SCR por un difusor de escape bajo. ◦ Dep. AdBlue de 60 l, situado encima del guardabarros izquierdo. ◦ Distancia entre ejes 3,90 m/voladizo trasero 1,65m. ◦ Larguero chasis, altura 310 mm, grosor 7,0mm. Refuerzo interior de longitud completo. ◦ Unidad EAS en el lado derecho del chasis. ◦ Caja de la batería detrás de la cabina, sin soporte para rueda de repuesto. ◦ Calderines de aire de acero. ◦ Deposito en el lado izquierdo del chasis. ◦ Protección anti-empotramiento delantera (FUP), conforme a la directiva de la UE 200/40/CEE. ◦ Pasarela con peldaño, compuesta por dos elementos. Longitud de la pasarela en el lado del peldaño varia hasta un máximo de aproximadamente 100cm; longitud de la sección cerrada entre los largueros principales del chasis aproximadamente 80 cm. No hay elemento de pasarela en el lado opuesto del peldaño. ◦ Estribo de la pasarela en lado derecho. ◦ Guardabarros trasero de 3 piezas termoplásticas. ◦ Dispositivos anti-proyección en el guardabarros, conforme a la directiva 91/226/CEE. ◦ Lampara de trabajo LED detrás de la cabina. ◦ Unidad de luces trasera con bombillas.
Cajas y preparación para montaje	◦ Conector de aplicaciones para las funciones de la carrocería en el tabique del salpicadero delantero de la cabina 01º. Señales eléctricas para el bloqueo de inclinación de cabina y motor en funcionamiento. Suministro eléctrico de 24 V antes y después del contacto. Cableado de repuesto para el salpicadero.
Toma de Fuerza (TDF)	◦ Control analógico de la TDF a caja de cambios, sin T. de F a caja de cambios incluye un interruptor de TDF en el salpicadero y una válvula de control de TDF en el chasis. Conector de TDF en el tabique del salpicadero delantero de la cabina con señales de entrada para embrague y desembrague de la TDF y señales para el indicador de estado de la TDF y aviso de la TDF.

Suministro de Alimentación de 24 V	◦ Alternador de 80ª, baterías 2 x 175 Ah.
MMA y MMC	◦ MMC máx. relacionada con línea cinemática: 61.000 kg, clase 2. ◦ MMA técnica máx. conforme el peso del chasis 27.000 kg. ◦ MMC máxima relacionada con la barra de tracción/el acoplamiento: 12.000 kg ◦ Placa de identificación estándar.
Exterior de la cabina	◦ Visera externa traslucida encima del parabrisas, verde. ◦ Conj. De bocina neumática simple: 2 bocinas en techo cabina, con cordón acciona en cabina. ◦ Luces antiniebla en el parachoques. ◦ Ventana sencilla en pared trasera de cabina. ◦ Retrov. vista frontal de cumpl. direct. CE 2003/97/CE relat, a campo visib. Frontal. ◦ Haz de luz para conducción a la derecha. ◦ Sleeper Cab con parachoques galvanizado, vidrio tintado y elevalunas eléctrico. Retrovisores principales y retrovisores gran angular con calefacción eléctrica. Ancho de cabina 2.300 mm. ◦ Suspensión de cabina mecánica de 4 puntos sin mantenimiento con amortiguadores integrados. ◦ Primer peldaño rígido de acceso a la cabina con suela antideslizante. ◦ Faros halógenos con reflector doble y lentes Lexan con resistencia a impactos. ◦ Luces de conducción diurna con cuatro LED a cada lado, integrados en las unidades de faro. ◦ Ajuste manual de los retrovisores principales. ◦ Sistema de bloqueo central de puertas con función de comprobación de luz exterior. Incluye dos unidades de control a distancia con espadín plegable integrado.

Tabla 1. Ficha técnica vehículo de prueba (T1) / JYY 384

Figura 3. Vehículo de Prueba (T2) / STE 383

Figura 4. Vehículo de Prueba (T2) / STE 383 – Preparativos antes de la prueba

SITRAK C7H 430 TRACTOR 6X4		
SISTEMA	**DESCRIPCION**	**CARACTERISTICAS**
MOTOR	MT13 43-50	Motor de 430 Hp @ 1900 rpm/ 1900 NM @ 1100 - 1400 rpm
	Nivel de Emisiones	Euro 5
	Tipo de Combustible	Gas Natural Vehicular
	Numero de Cilindros	6 en Línea
	Cilindraje	12,419 litros
	Volumen de Lubricante	42 litros
	Filtros de aceite	1 Hengst
	Filtros de Aire	2 (Principal y de seguridad) MAN + HUMMEL
	Filtros sistema de Gas	2 (Alta y baja presión) Parker
	Frenos Auxiliares	EVB (Engine Valve Brake) Freno Motor + Freno de ahogo
	Bloque Cilindros	Hierro en Grafito Vermicular (Mayor rigidez y durabilidad)
	Camisas de Cilindros	Húmedas
	Culata de Cilindros	En Hierro Gris con múltiple de admisión Integrado
	Sistema de Enfriamiento Motor	Circuitos independientes en Bloque y culata
	Sistema de Lubricación Motor	Circuitos independientes en Bloque y culata Modulo Hengst
	Distribución Mecánica	De engranajes en la parte de atrás
	Fan Clutch	De Acople Viscoso
	Sistema de Encendido	Tipo COP Bobinas Individuales sobre Bujías
	Sistema de GNV	ECONTROLS
	Modulador de Gas	Válvula de Flujo Continuo CFV
	Configuración Cilindros Tipo I	8 X 140 Litros
	Capacidad en m3 Cilindros Tipo I	224 m3
	Peso Cilindros Tipo I	140 Kg x 8 = 1120 Kg
	Configuración Cilindros Tipo II	8 X 212 Litros
	Capacidad en m3 Cilindros Tipo II	339 m3
	Peso Cilindros Tipo II	152 Kg x 8 = 1216 Kg
	Configuración Cilindros Tipo III	6 X 260 Litros

	Capacidad en m3 Cilindros Tipo III	312 m^3
	Peso Cilindros Tipo III	132 Kg x 6 = 792 Kg
TRANSMISION	ZF 16S	16S2231TO
	Relación primera y última velocidad	13,8:1 / 0,84:1
	Tipo de Transmisión	Sincronizada con sobre marcha
	Numero de Velocidades	16 adelante + 2 reversas
	Tipo de Lubricación	Forzada con bomba de aceite
	Volumen de aceite	25,5 litros
	Tipo de Mando Transmisión	Mando por Cable (Guayas)
	Tipo Embrague	Mono disco Cerámico de Tiro (430 mm Sasch o Valeo)
	Tipo de Mando Embrague	Servoembrague con Indicador de desgaste
	Retardador	Hidráulico Intarder
	Torque retardador	3500 NM
EJE DELANTERO	MAN TECHNOLOGY	HR7
	Capacidad Técnica del Eje	7000 Kg (15400 Lbs)
	Capacidad Homologada NTC	6000 Kg (13200 Lbs)
EJES TANDEM	MAN TECHNOLOGY	MCY13Q
	Capacidad Técnica de los Ejes	26000 Kg (57200 Lbs)
	Capacidad Homologada NTC	22000 Kg (48400 Lbs)
	Bloqueos Diferenciales	Bloqueo Diferenciales y Divisor de Potencia
	Tipo de Reducción	Reducción Simple
	Relación final	4,63:1 Relación Tipo Montaña
	Rodamientos Equipo Original	SKF
	Volumen de Aceite ambos ejes	Total 32,5 litros (Delantero 18 Litros + Trasero 14,5 Litros)
SISTEMA DE FRENOS	WABCO	WABCO ABS + ASR
	Tipo de freno	Neumático
	Frenos Delanteros	De Discos Ventilados
	Frenos Traseros	De Discos Ventilados
	Tipo de Ajuste	Automático
SUSPENSION TRASERA	WABCO	ECAS (ELECTRONIC CONTROL AIR SUSPENSION)
	Tipo de Suspensión	Neumática de 8 Bombonas
	Regulación de altura	Electrónica con compensación automática de carga.
	Control de Altura	3 niveles de altura
	Control ECAS	Control de Maniobras Remoto
	Barras estabilizadoras	Barras estabilizadoras en todos los ejes
SUSPENSION DELANTERA	RIGIDA	3 muelles Semielípticos
	Barras estabilizadoras	Barra estabilizadora
SISTEMA DE DIRECCION	BOSCH	Dirección servoasistida Bosch
	Tipo Caja de Dirección	ZF8098
	Columna de Dirección	Con Regulación de Altura y Profundidad
CABINA	MAN TECHNOLOGY	C7H-P
	Construcción cabina	Acero con deformación programada para Colisiones
	Tipo de cabina	Cabover (Sobre Motor) de Lujo
	Certificaciones de Colisiones EU	EU ECE R29
	Silla Conductor	Con Regulación Neumática
	Silla Pasajero	Fija
	Cinturones de Seguridad	De 3 Puntos
	Suspensión Cabina	4 bombonas neumáticas con amortiguadores

	Elevación cabina	Electrohidráulica y manual
	Elevavidrios	Eléctricos Emulsiónales
	Espejos retrovisores	Con regulación eléctrica y desempañamiento
	Litera	Una litera
	Parasoles	Tipo Cortina (2 Frontales y uno puerta Conductor9
	Radio	MP5
	GPS	Sistema de Monitoreo integrado con Diagnóstico Remoto
	Aire Acondicionado	Con Regulación Electrónica
	Sistema Eléctrico	24 voltios
	Baterías	2 x 165 Amp
	Salida Eléctrica al tráiler	12 voltios
OTROS	Chasis	Man Technology
	Dimensiones Chasis	270×85×8
	Tipo de Refuerzo Chasis	Refuerzo sobre Chasis
	Quinta Rueda	JOST 50

Tabla 2. Ficha técnica vehículo de Prueba (T2) / STE 383

METODOLOGÍA DE PRUEBA

Los vehículos C y T1 tienen la misma configuración y están en condiciones similares, con mantenimientos paralelos, según las especificaciones del fabricante, las buenas prácticas de la empresa transportista y los requerimientos específicos del protocolo de pruebas utilizado. El vehículo T2, tiene una tecnología de motorización diferente, tipo de transmisión diferente, no cuenta con velocidad crucero, potencia y torque diferentes; pero es uno de los vehículos utilizados por TDM en sus operaciones, por lo que resulta interesante de comparar con otros de su flota.

El vehículo de control C, que participa en las vueltas y estuvo de la construcción de la línea base, pretende servir de constante, para aislar todas las variables externas como la velocidad del viento, la presión atmosférica, la humedad del aire, y otros factores que inciden en el consumo de combustible. Este vehículo se mantuvo en las mismas condiciones durante todo el proyecto. El vehículo de prueba T, esta vez el foco de este estudio, por lo que exigió la sustitución de esta unidad para comparar el desempeño energético de tractocamiones completos con combustibles diferentes. Ambos equipos se

sometieron a mantenimientos rutinarios completos y se usaron neumáticos con similares características y recorridos.

La prueba consistió en una etapa inicial (segmento de prueba), realizada el martes 16 de enero de 2024, seguida del segmento de línea base ejecutado el 17 de enero de 2024. En el segmento de prueba se cuantificó el consumo de combustible para la carga dada y controlada, utilizando GNC como única energía del vehículo, el cual fue medido según la información mostrada en la pantalla del surtidor disponible en la base; este combustible fue suministrado por Gazel. Por otro lado, en la línea base se cuantifico el consumo de combustible, mediante gravimetría, para una carga dada y controlada, utilizando Diesel como combustible principal suministrado por Primax en la estación de servicio ubicada en la vía Bello-Girardota en Antioquia, cabe mencionar que ambos surtidores o proveedores comparten la misma estación de servicio. Es importante aclarar que los surtidores de GNC y Diésel se encuentra en la misma estación de servicio, donde el GNC es suministrado por Gazel y el Diésel por Primax.

La metodología utilizada pretende realizar tres vueltas validas conforme el protocolo NCh3331 para obtener el dato de línea base, así como, tres vueltas válidas para obtener el dato del segmento de prueba. Las vueltas fueron ejecutadas por requerimientos prácticos y estadísticos, mencionados en el transcurso del informe y contenidos en la NCh331.

ESTANDARIZACIÓN DE PARÁMETROS

El procedimiento de prueba bajo la NCh3331 se puede llevar a cabo en una pista o en una ruta publica bajo condiciones controlados y respaldadas por medio de recopilaciones extensas de datos y restricciones en análisis de datos. Según el SAE de los Estados Unidos, el procedimiento de prueba en carretera se ofrece como una alternativa de menor costo con respecto a la prueba en pista o para situaciones en que no se disponga de acceso a una pista que permita sostener operaciones con velocidad constante del vehículo, pero se especifican condiciones de longitud, pendiente y de diseño necesarias a cumplir.

Para obtener datos válidos en una prueba, la NCh3331 establece una serie de rangos de valores mínimos o máximos en parámetros básicos que apunten a dar certeza de replicabilidad de las vueltas y de las condiciones ambientales y de operación de los segmentos de prueba, algunas de estas son temperatura ambiente, velocidad del viento, presión atmosférica, tiempos por cada corrida, tiempos por cada tramo de la ruta, variabilidad en el consumo de combustible (+/-2%), presión de neumáticos, temperatura de las masas, alertas de los vehículos, incidencias reportadas por el conductor u observador, incidencias en la ruta, entre otras.

Durante la ejecución de todas las vueltas tanto de la línea base como del segmento de prueba, todos los parámetros fueron controlados y monitoreados, con el fin de garantizar la replicabilidad de los datos, así como la validez de los consumos de combustible obtenidos.

Ruta de prueba

La ruta seleccionada para ejecutar estas pruebas se encuentra en Bello, Medellín, Colombia. El circuito cuenta con aproximadamente 31 kilómetros de distancia, por lo tanto, para alcanzar los kilómetros exigidos por la Norma, es necesario recorrerlo en 2 oportunidades consecutivas, lo cual es considerado como una vuelta de 62 kilómetros. Es importante señalar que el odómetro del tractocamión SITRAK marco una ligera diferencia en el kilometraje, pero es parte de su configuración de fábrica. Sin embargo, la ruta medida por GPS marca los 62 kilómetros.

La base de operaciones se fija en la Estación de Servicio Primax-Gazel, ya que cuenta con el espacio necesario para la maniobra de los vehículos y, permite la carga del tractocamión SITRAK GNC. En este punto comienza y termina cada vuelta de prueba.

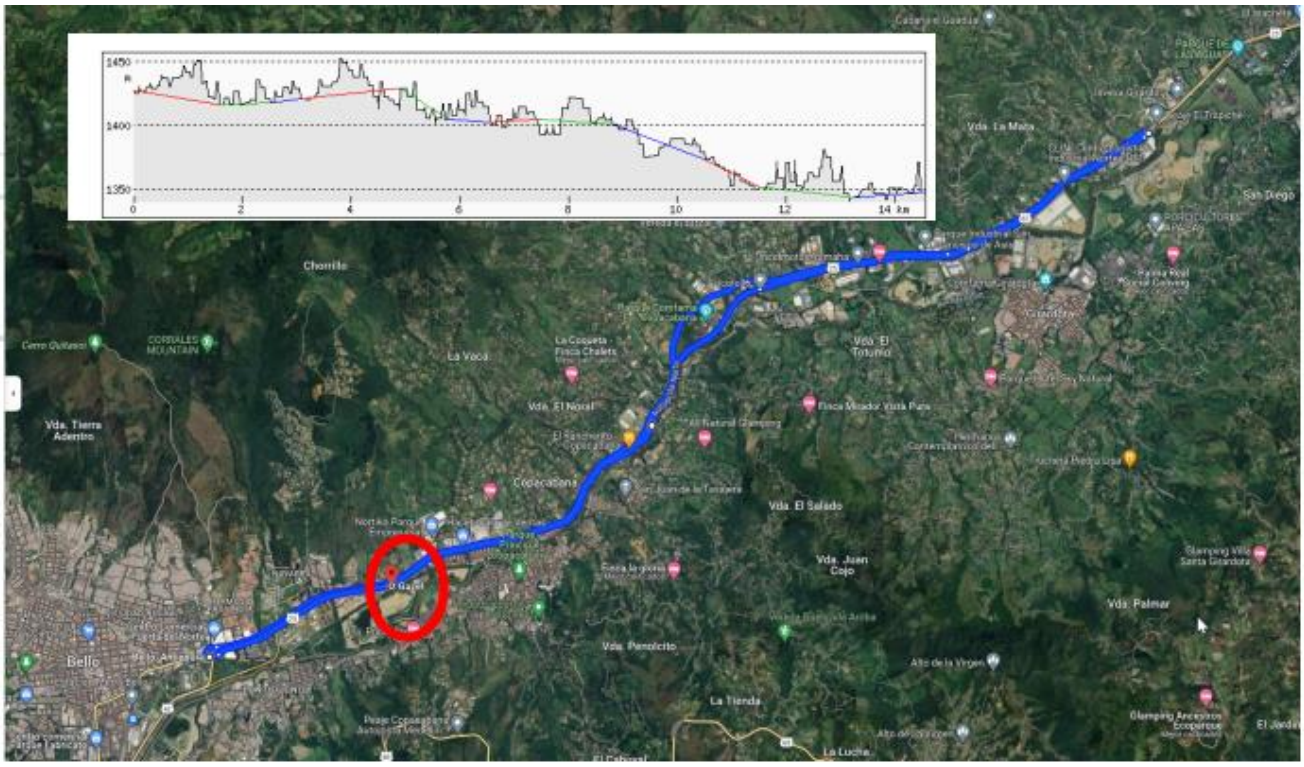


Figura 5. Ruta de Prueba, Bello, Antioquia, Colombia.

Figura 6. Estación de servicio Primax/Gazel utilizada como Base

La geografía de Medellín se caracteriza por contar con pendientes en la mayor parte de las rutas que recorren los vehículos. En este caso, se escoge la que pareciera ser más regular, en las cercanías de la empresa de transportes. El plano de altimetría de la imagen

siguiente describe la ruta plana-ondulada de 31 kilómetros, con una diferencia de altura de 100 metros. La medición se realizó a una altura 1495 metros sobre el nivel del mar (msnm).

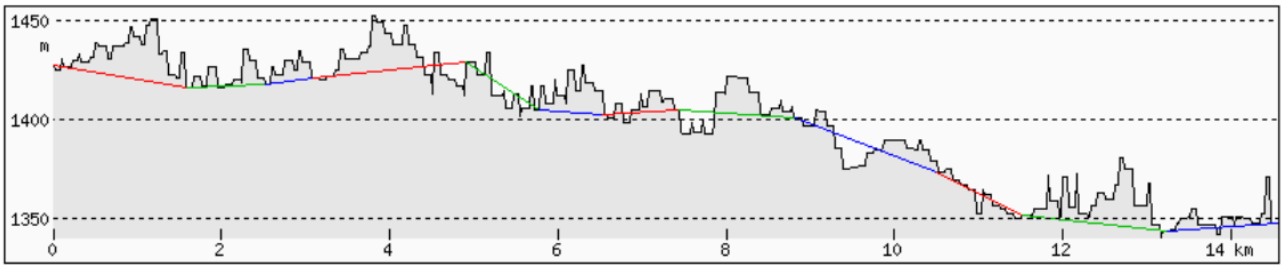


Figura 7. Plano de Altimetría de la Ruta

Los retornos seleccionados en la ruta son fácilmente abordables por los conductores, quienes se deben detener 5 segundos en cada extremo demarcado por un disco PARE.

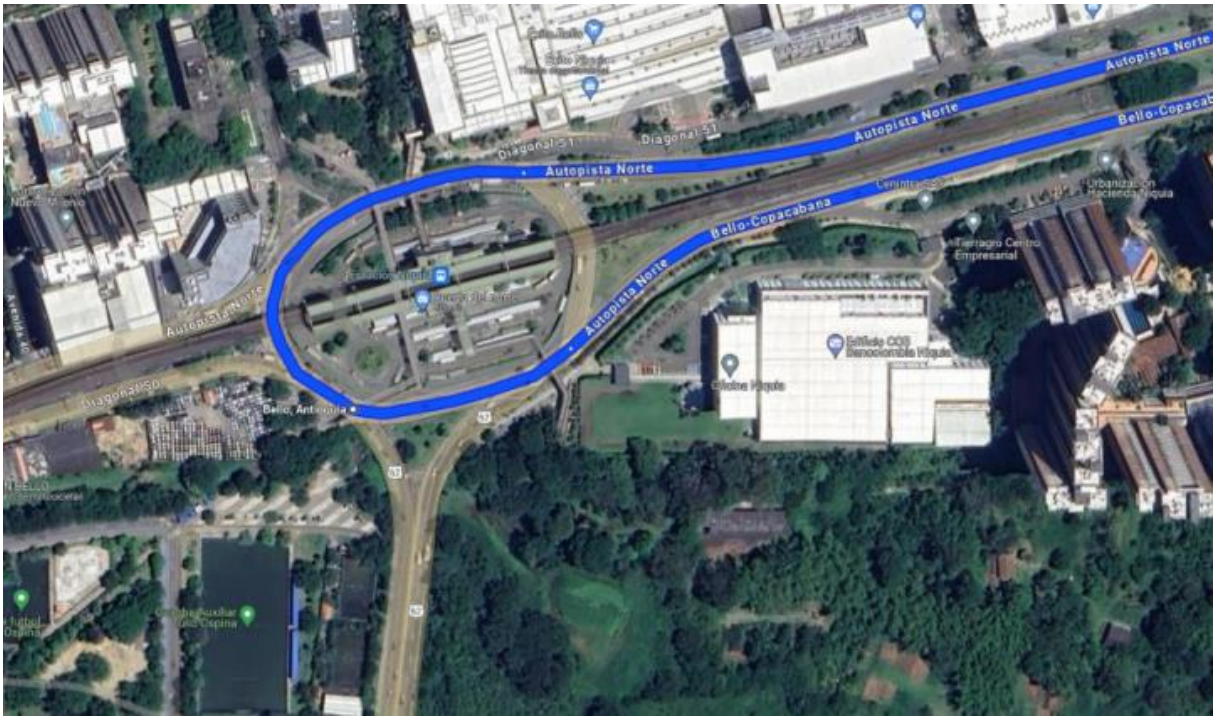


Figura 8. Retorno Estación de Metro Niquia.

Figura 9. Retorno punto frente a Biochemical Group

Velocidad de prueba

La velocidad en ruta se fijó en 50 Km/h según la operación normal de la empresa TDM, usando la velocidad crucero del tracto camión, en los vehículos de Control (C) y de Línea Base (T1) y según la replicabilidad de conducción del conductor para el vehículo de Prueba (T), que cuenta con transmisión mecánica ni velocidad crucero. Para el control del ciclo de conducción se determinaron zonas de detención, aceleración, activación y desactivación de la velocidad crucero, desaceleración y 29 hitos de carretera. En el Anexo 1, se presentan los hitos y tiempos registrados por los observadores que viajaban en cada uno de los vehículos.

Capacidad de carga

Los vehículos deben contar con una buena distribución de peso. El peso de carga no cambió durante cada prueba, lo cual fue controlado mediante un sello de seguridad en

cada semirremolque de prueba. El peso total del convoy fue controlado en romanas de uso público, el tarado del equipo se efectuó durante las pruebas:

- Línea Base:

Vehículo de Prueba (T1) / JYY 384, peso neto controlado = 39.790 Kg

Vehículo de Control (C) / JYY 098, peso neto controlado = 39.800 Kg.

- Segmento de Prueba:

Vehículo de Prueba (T2) / STE 383, peso controlado = 41.460 Kg

Vehículo de Control (C) / JYY 098, peso controlado = 39.800 Kg.

Control de combustible

En esta prueba se compara el consumo de combustible de dos vehículos de prueba T1 y T2, que operan acompañados de un vehículo de control (C), que no sufre modificaciones en todos los segmentos de prueba. El consumo de combustible de T1 se midió, según lo establecido en la NCh3331 mediante un proceso de gravimetría de los tanques portátiles exigidos en la norma, los que fueron pesados antes y después de cada viaje, en una balanza calibrada con legibilidad de 0,4g y controlada con 2 pesos patrones antes de cada medición, cada uno de 20 kilogramos.

El consumo del vehículo T2 fue controlado y consignado mediante recarga hasta el nivel máximo en el surtidor de GNC dispuesto por Gazel.

Es importante señalar que en el día 1 de pruebas, al finalizar la tercera vuelta, se evidenció una pequeña fuga de metano desde los tanques de almacenamiento del vehículo de prueba T2, lo cual podría influir en los resultados obtenidos.

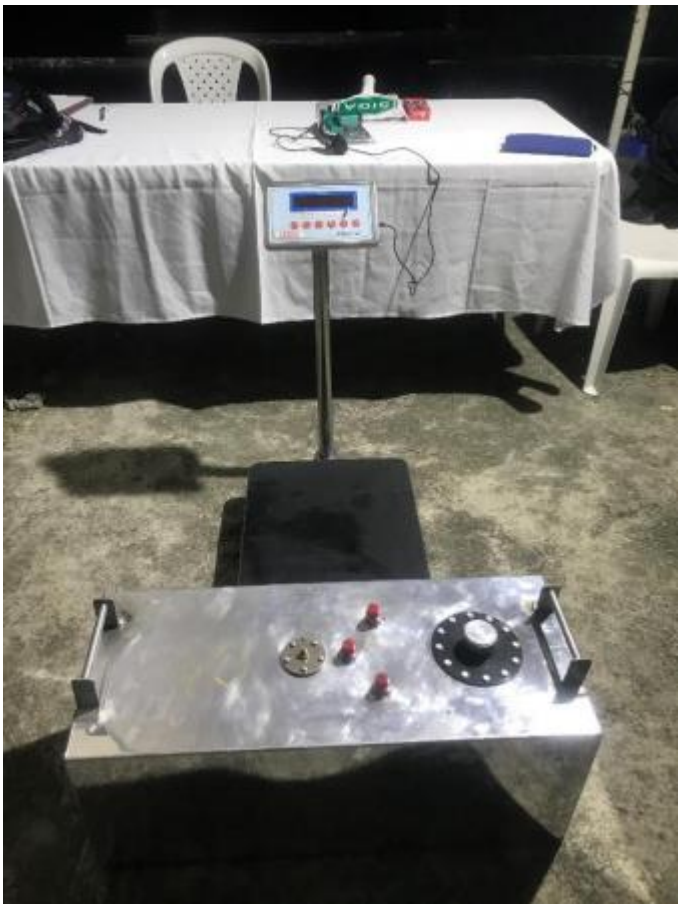
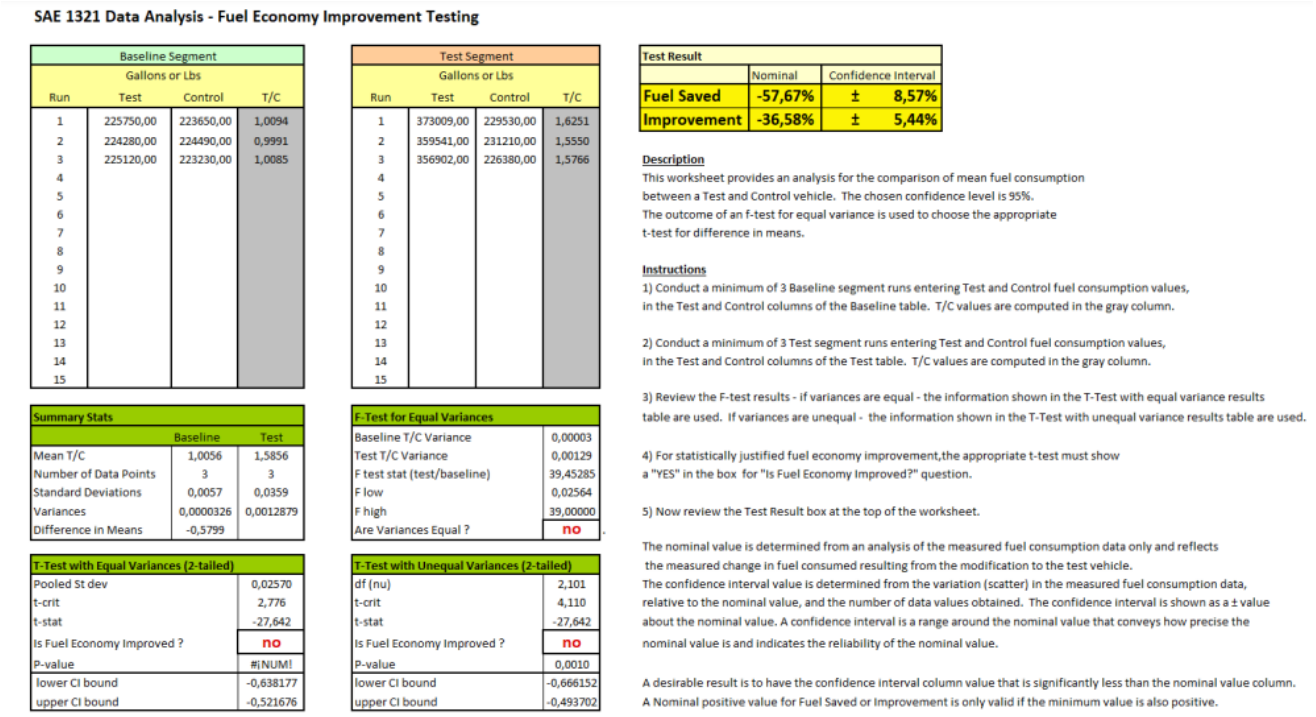


Figura 10. Base operativa con estación de pesaje por gravimetría y tanques portátiles.

RESULTADOS

El consumo de combustible es consignado en su unidad de medición disponible dada la infraestructura y equipamiento disponible para esta prueba. Los vehículos que utilizan diésel evidenciarán el consumo de combustible en kilogramos, utilizando la gravimetría; mientras que el vehículo a gas natural lo consigna en m3, información que proviene de la pantalla de lectura del surtidor GNC disponible para estas pruebas. Ante esta situación, y después de tomar datos durante los días de prueba, se deberán llevar los datos de ambos combustibles a una unidad común, para realizar los análisis comparativos de consumo energético, que será en Kilocalorías.

La empresa de transportes TDM ha aportado los valores de densidad del gas natural utilizado en estas pruebas. Desde la página oficial de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) se obtienen el poder calorífico del gas natural y los datos de densidad y potencia térmica del diésel. Cabe señalar que para estos cálculos se consideraron los datos disponibles para Diésel B2. Si el combustible utilizado en los días de prueba, proveído por Primax, tuviese una composición diferente, entonces los resultados pudiesen sufrir alteraciones.



SAE 1321 Data Analysis - Fuel Economy Improvement Testing

Baseline Segment			
Gallons or Lbs			
Run	Test	Control	T/C
1	225750,00	223650,00	1,0094
2	224280,00	224490,00	0,9991
3	225120,00	223230,00	1,0085
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Test Segment			
Gallons or Lbs			
Run	Test	Control	T/C
1	373009,00	229530,00	1,6251
2	359541,00	231210,00	1,5550
3	356902,00	226380,00	1,5766
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Test Result			
	Nominal	Confidence Interval	
Fuel Saved	-57,67%	±	8,57%
Improvement	-36,58%	±	5,44%

Description

This worksheet provides an analysis for the comparison of mean fuel consumption between a Test and Control vehicle. The chosen confidence level is 95%. The outcome of an f-test for equal variance is used to choose the appropriate t-test for difference in means.

Instructions

1) Conduct a minimum of 3 Baseline segment runs entering Test and Control fuel consumption values, in the Test and Control columns of the Baseline table. T/C values are computed in the gray column.

2) Conduct a minimum of 3 Test segment runs entering Test and Control fuel consumption values, in the Test and Control columns of the Test table. T/C values are computed in the gray column.

3) Review the F-test results - if variances are equal - the information shown in the T-Test with equal variance results table are used. If variances are unequal - the information shown in the T-Test with unequal variance results table are used.

4) For statistically justified fuel economy improvement,the appropriate t-test must show a "YES" in the box for "Is Fuel Economy Improved?" question.

5) Now review the Test Result box at the top of the worksheet.

The nominal value is determined from an analysis of the measured fuel consumption data only and reflects the measured change in fuel consumed resulting from the modification to the test vehicle. The confidence interval value is determined from the variation (scatter) in the measured fuel consumption data, relative to the nominal value, and the number of data values obtained. The confidence interval is shown as a ± value about the nominal value. A confidence interval is a range around the nominal value that conveys how precise the nominal value is and indicates the reliability of the nominal value.

A desirable result is to have the confidence interval column value that is significantly less than the nominal value column. A Nominal positive value for Fuel Saved or Improvement is only valid if the minimum value is also positive.

Summary Stats		
	Baseline	Test
Mean T/C	1,0056	1,5856
Number of Data Points	3	3
Standard Deviations	0,0057	0,0359
Variances	0,0000326	0,0012879
Difference in Means	-0,5799	

F-Test for Equal Variances	
Baseline T/C Variance	0,00003
Test T/C Variance	0,00129
F test stat (test/baseline)	39,45285
F low	0,02564
F high	39,00000
Are Variances Equal ?	no

T-Test with Equal Variances (2-tailed)	
Pooled St dev	0,02570
t-crit	2,776
t-stat	-27,642
Is Fuel Economy Improved ?	no
P-value	#¡NUM!
lower CI bound	-0,638177
upper CI bound	-0,521676

T-Test with Unequal Variances (2-tailed)	
df (nu)	2,101
t-crit	4,110
t-stat	-27,642
Is Fuel Economy Improved ?	no
P-value	0,0010
lower CI bound	-0,666152
upper CI bound	-0,493702

Tabla 3. Resultados de las pruebas y análisis estadístico basado en el estándar SAE 1321.

Los indicadores obtenidos en estas pruebas, y que son presentados en la tabla anterior, muestran un ahorro de combustible negativo: -57,67%, con un intervalo de Confianza de +/-8,57%, lo que debe ser leído como un mayor consumo energético para el vehículo de Prueba T2: Tractocamión a GNC. Además de la diferencia en el tipo de combustible se debe considerar la marca, modelo y año de los vehículos comparados, y sus aspectos técnico-operativos que determinaron una alta variabilidad en los datos del vehículo a GNC. El tractocamión DAF CF480 obtiene un mejor desempeño energético en esta ruta de

prueba y bajo las condiciones ya mencionadas que el tractocamión SITRAK C7H 430. Se da cuenta que los resultados obtenidos del "ahorro" del consumo de combustible y la "mejora" que se reportan fueron obtenidos usando los datos de las pruebas en terreno, según el procedimiento SAE J-1321 y Norma Chilena INN NCh3331 y aplicando las siguientes fórmulas del cálculo establecidas por dicho protocolo:

$$\%\ DE\ COMBUSTIBLE\ AHORRADO = (T/C\ \ linea\ base - T/C\ \ Prueba)\ /\ T/C\ \ linea\ base$$

$$\%\ DE\ MEJORA = \ (T/C\ \ linea\ base - T/C\ \ Prueba)\ /\ T/C\ \ Prueba$$

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Este análisis se realiza totalmente independiente a los establecido por la norma, utilizando los promedios de kilómetros recorridos, promedios de consumo de combustible. Para llevarlo a unidades comunes se aplican los parámetros de densidad y poderes caloríficos de cada tipo de energía.

DAF CF 480 DIESEL (PRUEBA)							
Vuelta	Combustible	Distancia Recorrida (km)	Consumo (kg)	Consumo (L)	Consumo (Galón)	Energía utilizada (Kcal)	Energía utilizada (Kcal/Km)
1	DIESEL	61	21,50	25,24	6,67	232.484,48	3.811,22
2	DIESEL	60	21,36	25,07	6,62	230.970,62	3.849,51
3	DIESEL	61	21,44	25,17	6,65	231.835,68	3.800,58
PROMEDIOS		60,67	21,43	25,16	6,66	225.050,00	3.709,77

Tabla 4. Evaluación energética vehículo DAF CF 480 DIESEL

SITRACK C7H 430 GNC (PRUEBA)						
Vuelta	Combustible	Distancia recorrida (km)	Consumo (m^3)	Consumo (kg)	Energía utilizada (Kcal)	Energía utilizada (Kcal/Km)
1	DIESEL	62	40,99	33,2	386.685,39	6.236,86
2	DIESEL	62	39,52	32,0	372.723,58	6.011,67
3	DIESEL	62	39,22	31,77	369.987,82	5.967,55
		62	39,91	32,32	363.150,67	5.857,27

Tabla 5. Evaluación energética vehículo SITRACK C7H 430 GNC

Balance Energético

Promedios	Consumo Energético (kg)	Energía utilizada (Kcal)	Diferencia (Kcal)	Diferencia (%)
DIESEL	21,43	225.050,0	-138.100,67	61,97
GNC	32,32	363.150,67		

Tabla 6. Balance Energético.

Como muestra en la tabla 6, existe un 61,97% de diferencia en el consumo energético entre los vehículos comparados, siendo el vehículo a GNC el de mayor consumo.

EVALUACIÓN DE EMISIONES DE CO_2

La evaluación de estimación de emisiones se realiza mediante un proceso sencillo de toma de datos de campo, uso de factores de emisión y como resultado se estima un valor de emisiones con los factores de emisiones de CO2 equivalente. El principal indicador por comparar es la intensidad de emisiones por tonelada kilómetro, que es el recomendado para comparar distintas tecnologías, vehículos, productos, cadenas logísticas y de esta forma poder hacer un adecuado benchmarking (Smart Freight Center, 2019).

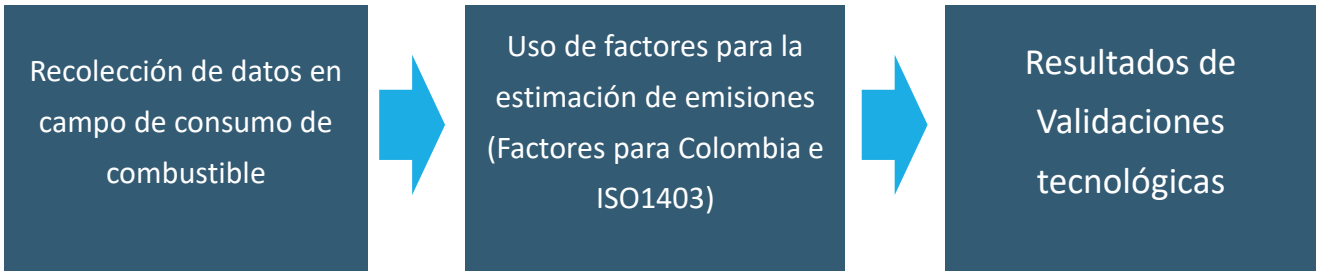


Figura 11. Metodología de proceso de datos Validación tecnológica

De igual manera, la estimación de emisiones se realiza siguiendo las recomendaciones de incluir las emisiones con el ciclo de vida del combustible empleado tal como lo recomienda el GLEC Framework en la que considera la medición las emisiones bajo lo que se denomina "del pozo a la rueda", o por su término en inglés "Well to Wheel" (WTW), el cual considera tanto las emisiones relacionadas a la producción del energético, ya sea gas natural o diésel "Well to Tank" (WTT) y las emisiones relacionadas al consumo del energético del vehículo "Tank to Wheel" (TTW). (Smart Freight Center, 2019),

Figura 12. Ciclo de vida del combustible para la estimación de emisiones

Los factores para calcular las emisiones relacionadas a la producción del energético "Well to Tank" (WTT) se obtuvieron de la norma internacional ISO 14083 (ISO, 2023). Para calcular las emisiones relacionadas TTW para el gas natural, se utilizó el factor de 1,952 kg C02eq/m3ST y para el diésel 10,133 kg C02eq/galón, consultados en el Decreto 926 de 2017 (MinAmbiente, 2017).

Diesel (Euro VI) Vehículo de Prueba (T1) / JYY0384							
Factor Diesel Decreto 926 de 2017 (KgCO2/galón) para TTW							10,133
Factor Diesel ISO14083 para WTT- Norte América (KgCO2/galón)							2,116
			Peso de la carga transportada (ton)				20
	Consumo (Galones)	Distancia (Kilómetros)	Rendimiento Km/galón	TTW gCO2/km (1)	WTT gCO2/km (2)	WTW gCO2/km (1+2)	WTW gCO2/ton-km
Trayecto 1	6,67	61	9,15	1108	231	1339	67,0
Trayecto 2	6,62	60	9,06	1118	233	1351	67,6
Trayecto 3	6,65	61	9,17	1105	231	1335	66,8
Resultado	**6,65**	**60,67**	**9,13**	**1110**	**232**	**1342**	**67,1**

Gas Natural Comprimido (GNC) Euro V- Vehículo de prueba (T2): STE383							
Factor Gas Decreto 926 de 2017 (KgCO2/m3)							1,952
Factor Diesel ISO14083 para WTT Norte América (Fuel source gCO2e/Kcal)							0,070709522
			Peso de la carga transportada (ton)				20
	Consumo (m3)	Distancia (Kilómetros)	Rendimiento Km/m3	TTW gCO2/km (1)	WTT gCO2/km (2)	WTW gCO2/km (1+2)	WTW gCO2/ton-km
Trayecto 1	40,99	62	1,513	1291	441	1732	86,6
Trayecto 2	39,51	62	1,569	1244	425	1669	83,5
Trayecto 3	39,22	62	1,581	1235	422	1657	82,8
Resultado	**39,91**	**62**	**1,554**	**1256**	**414**	**1671**	**83,5**

Tabla 7. Cálculo de las emisiones para los vehículos.

Comparación de emisiones	TTW gCO2/km (1)	WTT gCO2/km (2)	WTW gCO2/km (1+2)	WTW gCO2/ton-km
Diesel (Euro VI) Vehículo de Prueba (T1) / JYY0384	**1110**	**232**	**1342**	**67**
Gas Natural Comprimido (GNC) Euro V- Vehículo de prueba (T2): STE383	**1256**	**414**	**1671**	**84**
Diferencia Diesel vs Gas natural (Mayor para Gas Natural)	**13,17%**	**78,64%**	**24,48%**	**24,48%**

Tabla 8. Comparación de emisiones entre los vehículos de prueba Diésel y GNC

Por los anteriores resultados se concluye que el vehículo a gas natural tiene un 24,48% más emisiones de CO_2e para el GNC vs Diesel por cada tonelada kilometro transportado a condiciones de altura de 1495 msnm.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Este análisis es independiente a los establecidos por la norma, utilizando los promedios de consumo de combustible en su unidad de medida original, en galón para el diésel y m3 para el GNC. Para conseguir el costo de combustible promedio por vuelta, se registraron los precios en los días de prueba de Primax y Gazel.

Precio de los Combustibles en la estación seleccionada (enero 2024)		
DIESEL	9180	COP / GALÓN
GNC	2550	COP / M^3

Tabla 9. Precios de los combustibles

Promedios	Costo del Combustible ($ COP)	UM	KM recorridos	Consumo Energético	UM	COSTO por trayecto ($ COP)	Diferencia ($ COP)	Diferencia (%)
DIESEL	$ 9.180	cop / galón	60,67	6,65	GALÓN	61.014,35	-40. 747,65	59,96
GNC	$ 2.550	cop / m^3	62	39,91	M^3	101.762		

Tabla 10. Comparación de consumo por trayecto y por kilometro

Energético	Costo del Combustible ($ COP)	Unidad de Medida	KM recorridos	Consumo Energético	Unidad de Medida	COSTO por trayecto ($ COP)	COSTO por kilometro ($ COP)	Diferencia ($ COP)	Diferencia (%)
DIESEL	$ 9.180	cop / galón	62	6,65	GALÓN	61.014,35	$984	$657	66,8%
GNC	$ 2.550	cop / m^3	62	39,91	M^3	101.762	$1.641		

El cuadro recientemente revisado permite ver como la utilización del vehículo SITRAK C7H 430, genera un costo mayor para realizar el mismo recorrido, donde cada una de las vueltas resulta un costo adicional de $Col 40.747,65 para la empresa de Transportes TDM.

BIBLIOGRAFÍA

Instituto Nacional de Normalización. (2013). *Método de prueba para la determinación del consumo de combustible para vehículos de transporte terrestre.* INN, Santiago de Chile, Chile.

ISO. (2023). *Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenouse gas emissions arising from transport chaion operations (ISO14083:2023).* Brussels: European Committee for Standardization. Obtenido de https://www.iso.org

MinAmbiente. (2017). Decreto 926 de 2017. *Reglamenta el impuesto nacional al carbono y el mecanismo de no causación del impuesto*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/13.-Decreto-926-de-2017.pdf

SAE. (2020). *Fuel Consumption Test Procedure - Type II (SAE J1321).* Truck and Bus Aerodynamics and Fuel Economy Committee. Washington, United States: SAE International. doi:https://doi.org/10.4271/J1321_202010

Smart Freight Center. (2019). *Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting.*

Transport & Environment. (2021). LNG Trucks: a dead end bridge. Emissions testing of a diesel- and a gas-powered long-haul truck. Obtenido de https://www.transportenvironment.org/discover/lng-trucks-a-dead-end-bridge/

ANEXO 1.

A continuación, se presentan los hitos y tiempos registrados por los observadores que viajaban en cada uno de los vehículos. El control de tiempo asegura la repetibilidad de los trayectos para garantizar la rigurosidad en la manera de conducir de los conductores durante toda la prueba.

VEHÍCULO DE CONTROL			
FECHA: 16/01/2024	**Corrida N°1 /C0.1**	**Corrida N°2 /C0.2**	**Corrida N°3 /C0.3**
Hito	**Tiempo h:min:seg:miliseg**		
Hora inicio (base gazel)	00:00:00:00	00:00:00:00	00:00:00:00
Acel. Pista 1	00:00:31:59	00:00:27:38	00:00:28:32
Puente Copacabana	00:02:52:69	00:03:06:66	00:03:11:17
Rancherito	00:04:43:94	00:05:14:82	00:05:12:83
TDM puente peatonal	00:09:40:33	00:10:17:05	00:10:26:85
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	00:13:56:60	00:14:32:34	00:14:44:15
Pare (5 seg)	00:14:44:48	00:15:20:32	00:15:28:57
Pista aceleración 2	00:14:51:61	00:15:25:32	00:15:38:11
Puente peatonal TDM	00:20:06:79	00:20:39:92	00:20:56:09
Rancherito (retomando velocidad crucero)	00:25:48:06	00:26:20:54	00:26:44:04
Puente peatonal electrocontrol	00:29:23:97	00:29:56:55	00:30:28:31
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	00:32:54:31	00:33:28:49	00:34:02:21
Pare (5 seg)	00:33:45:94	00:34:13:90	00:34:51:16
Acel. Pista 2	00:34:00:84	00:34:21:45	00:34:49:93
Base Gazel	00:37:43:98	00:38:21:99	00:38:49:93
Puente copacabana	00:40:21:68	00:41:02:57	00:41:28:89
Rancherito	00:42:29:25	00:42:11:59	00:43:29:93
TDM puente peatonal	00:47:35:83	00:48:15:77	00:48:43:44
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	00:51:50:89	00:52:31:45	00:53:00:27
Pare (5 seg)	00:52:41:23	00:53:18:76	00:53:50:35
Pista aceleración 2	00:52:47:96	00:53:24:14	00:53:57:34
Puente peatonal TDM	00:58:01:97	00:58:41:63	00:59:19:01

Rancherito (retomando velocidad crucero)	01:03:43:59	01:04:22:02	01:05:09:06
Puente peatonal electrocontrol	01:07:23:70	01:08:02:32	01:08:52:54
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	01:10:55:15	01:11:32:72	01:12:36:02
Pare (5 seg)	01:11:35:30	01:12:15:18	01:13:12:03
Acel. Pista 2	01:11:42:28	01:12:24:66	01:13:17:63
Hora Fin Base Gazel	01:16:09:34	01:16:57:63	01:17:37:40
Apagado	01:16:20:00	01:17:09:47	01:17:47:20
FECHA: 17/01/2024	**Corrida N°1 /C0.1**	**Corrida N°2 /C0.2**	**Corrida N°3 /C0.3**
Hito	**Tiempo h:min:seg:miliseg**		
Hora inicio (base gazel)	00:00:00:00	00:00:00:00	00:00:00:00
Acel. Pista 1	00:00:20:31	00:00:20:33	00:00:20:30
Puente Copacabana	00:03:00:42	00:03:02:43	00:03:04:78
Rancherito	00:05:03:44	00:05:02:30	00:05:06:26
TDM puente peatonal	00:10:16:64	00:10:16:70	00:10:19:13
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	00:14:33:80	00:14:33:30	00:14:35:72
Pare (5 seg)*	00:15:14:13	00:15:15:60	00:15:25:61
Pista aceleración 2*	00:15:28:77	00:15:20:38	00:15:39:00
Puente peatonal TDM	00:20:48:10	00:20:40:17	00:20:52:85
Rancherito (retomando velocidad crucero)	00:26:35:39	00:26:27:29	00:26:41:17
Puente peatonal electrocontrol	00:30:18:16	00:30:10:73	00:30:24:33
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	00:30:50:20	00:33:44:34	00:33:58:95
Pare (5 seg)	00:34:32:04	00:34:26:96	00:33:43:25
Acel. Pista 2	00:34:38:33	00:34:32:57	00:34:54:96
Base Gazel	00:38:24:74	00:38:48:97	00:38:43:02
Puente copacabana	00:41:01:48	00:41:25:28	00:41:19:97
Rancherito	00:43:02:51	00:43:28:29	00:43:21:19
TDM puente peatonal	00:48:14:75	00:48:41:09	00:48:33:77
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	00:52:31:09	00:52:57:53	00:52:50:13
Pare (5 seg)	00:53:13:28	00:35:49:05	00:53:33:59
Pista aceleración 2	00:53:19:93	00:53:49:05	00:53:48:81
Puente peatonal TDM	00:58:39:64	00:53:49:05	00:58:59:03
Rancherito (retomando velocidad crucero)	01:04:25:83	01:04:53:29	01:04:44:39
Puente peatonal electrocontrol	01:08:09:74	01:08:36:91	01:08:27:70
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	01:11:42:21	01:12:10:32	01:12:09:50
Pare (5 seg)	01:12:16:52	01:12:50:89	01:12:46:11
Acel. Pista 2	01:12:34:49	01:13:05:14	01:13:00:15
Hora Fin Base Gazel	01:17:08:56	01:17:23:79	01:17:20:27
Apagado		01:17:34:17	01:17:31:29

Tabla 11. Control de tiempos del vehículo de control para ambos días de línea base y prueba.

VEHÍCULO DE PRUEBA			
16/01/2024	**Corrida N°1 /C0.1**	**Corrida N°2 /C0.2**	**Corrida N°3 /C0.3**
Hito	**Tiempo h:min:seg:miliseg**		
Hora inicio (base gazel)	00:00:00:00	00:00:00:00	00:00:00:00
Acel. Pista 1	50,38	1:13	1:07
Puente copacabana	3:51	3:41	3:40
Rancherito	5:56	5:24	5:26
TDM puente peatonal	11:01	10:48	10:44
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	15:17	15:06	15:03
Pare (5 seg)	16:01	15:47	15:45
Pista aceleración 2	16:10	16:20	16:45
Puente peatonal TDM	21:28	21:16	21:10
Rancherito (retomando velocidad crucero)	28:02:00	27:33:00	27:20:00
Puente peatonal electrocontrol	31:53:00	31:20:00	31:10:00
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	35:23:00	35:02:00	35:01:00
Pare (5 seg)	35:57:00	35:20:00	35:26:00
Acel. Pista 2	36:44:00	36:45:00	36:45:00
Base Gazel	39:37:00	39:11:00	39:17:00
Puente copacabana	42:46:00	42:18:00	42:26:00
Rancherito	44:35:00	44:01:00	44:07:00
TDM puente peatonal	49:52:00	49:21:00	49:31:00
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	54:15:00	53:40:00	53:51:00
Pare (5 seg)	54:55:00	54:20:00	6:32
Pista aceleración 2	55:23:00	55:24:00	55:38:00
Puente peatonal TDM	1:00:20	59:52:00	1:00:10
Rancherito (retomando velocidad crucero)	1:04:48	1:05:55	1:06:18
Puente peatonal electrocontrol	1:09:54	1:09:54	1:10:13
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	1:13:53	1:13:37	1:13:57
Pare (5 seg)	1:14:30	1:14:05	1:14
Acel. Pista 2	1:15:21	1:15:16	1:15:40
Hora Fin Base Gazel	1:18:42	1:17:58	1:18:27
Apagado	-	-	-
HORA INICIO	23:06	0:38	2:13
HORA FINAL	0:25	1:56	3:31
17/01/2024	**Corrida N°1 /C0.1**	**Corrida N°2 /C0.2**	**Corrida N°3 /C0.3**
Hito	**Tiempo h:min:seg:miliseg**		

Hora inicio (base gazel)	00:00:00:00	00:00:00:00	00:00:00:00
Acel. Pista 1	33,01	34,93	37,9
Puente copacabana	3:29	3:35	3:32
Rancherito	5:10	5:17	5:14
TDM puente peatonal	10:25	10:20	10:23
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	14:37	14:42	14:39
Pare (5 seg)	15:14	15:18	15:15
Pista aceleración 2	15:43	15:34	15:36
Puente peatonal TDM	20:39	20:48	20:40
Rancherito (retomando velocidad crucero)	26:34:00	26:45:00	26:34:00
Puente peatonal electrocontrol	30:09:00	30:20:00	29:43:00
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	33:51:00	33:53:00	33:43:00
Pare (5 seg)	34:15:00	34:30:00	34:10:00
Acel. Pista 2	35:24:00	35:29:00	35:16:00
Base Gazel	38:10:00	38:21:00	38:02:00
Puente copacabana	41:13:00	41:24:00	41:03:00
Rancherito	42:55:00	43:06:00	42:45:00
TDM puente peatonal	48:04:00	48:12:00	47:53:00
Desconexión Vel. Crucero Letrero informativo	52:21:00	52:30:00	52:11:00
Pare (5 seg)	52:56:00	53:06:00	4:44
Pista aceleración 2	53:20:00	53:23:00	53:04:00
Puente peatonal TDM	58:28:00	58:35:00	58:06:00
Rancherito (retomando velocidad crucero)	1:04:22	1:04:30	1:04:03
Puente peatonal electrocontrol	1:07:57	1:07:36	1:07:37
Des. Crucero 1. Primera entrada Puerta del Norte	1:11:51	1:11:37	1:11:11
Pare (5 seg)	1:12:00	1:12:12	1:11
Acel. Pista 2	1:13:13	1:13:11	1:12:53
Hora Fin Base Gazel	1:16:17	1:16:14	1:15:45
Apagado	-	-	-
HORA INICIO	23:18	0:48	2:15
HORA FINAL	0:34	2:05	3:31

Tabla 12. Control de tiempos del vehículo de prueba para ambos días de línea base y prueba.