



Universidad Tecnológica de Panamá

Colon LNG Marketing S. de R.L.

**Construcción de un Modelo de Estimación de Emisiones Aplicable a
Vehículos de Transporte Urbano en Ciudad de Panamá**

Producto:

Reporte Final

Presentado por:

Ing. Carlos R. Plazaola L.

Marzo de 2024

Índice

EQUIPO DE TRABAJO	3
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
ALCANCE	7
CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS	8
METODOLOGÍA.....	15
ESTUDIO DE LAS RUTAS	17
FUNDAMENTOS DEL DESARROLLO DEL MODELO.....	18
MODELO MATEMÁTICO.....	21
DESARROLLO DEL CÓDIGO COMPUTACIONAL.....	22
APLICACIÓN DEL MODELO A CADA UNA DE LAS RUTAS	24
ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES POR RUTAS	25
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	26
CONCLUSIONES.....	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS	53

EQUIPO DE TRABAJO

Dra. Ilka Arelys Banfield

Dra. Franchesca González

Dr. Cesar Pinzón

M.Sc. Gil Blas Henriquez

Ing. Zayira Alvárez Domínguez

Ing. María Alejandra Cedeño

Ing. Miguel Moreno

Ing. Said Vargas

Ing. Gabriel Ayu Prado

Colaboradores

Ing. Gabriel Tuzlaci

Ing. Iván Guerrero

Ing. Alejandra Ávila

ANTECEDENTES

Actualmente, la contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más serios a los que se enfrenta la población mundial. Son varios los motivos que aportan a los altos niveles de contaminación del aire ambiental, en el caso de las zonas urbanas, la razón principal es la quema de combustibles fósiles por fuentes móviles en ruta. Las fuentes móviles en rutas (on-road mobile sources) son aquellos vehículos que se encuentran en carreteras y autopistas, incluidos los autos, camiones, buses y motos [1]. Se estima que la contaminación por emisiones debido al transporte por carretera representa el 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos en Europa [2].

La contaminación del aire exterior producida por fuentes móviles se da producto de la combustión de hidrocarburos dentro de los cilindros del motor del vehículo. Los productos contaminantes de tal combustión interna producen óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos (hidrocarburos no quemados), óxidos de sulfuros (SOx),

dióxido de carbono (CO₂), y material particulado (PM_x). La cantidad de contaminantes que se produzcan dependen a su vez de la interacción entre los procesos físicos y químicos que ocurren dentro del motor de combustión interna [3].

Especial atención se da a los motores de combustión interna de ignición por compresión o motores Diesel ya que son principalmente usados para el transporte público de pasajeros y a su vez son causantes de considerables cantidades de emisiones de material particulado y gases de efecto invernadero.

JUSTIFICACIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que anualmente la contaminación del aire ambiental causa la muerte de 3 millones de personas a nivel mundial [4]. En algunos estudios ya han correlacionado la contaminación ambiental debido a fuentes móviles con malestares respiratorios [5], desarrollo de asma y alergias durante la infancia [6], afecciones en el desarrollo cognitivo en niños [7], y con efectos sobre el sistema nervioso central [8].

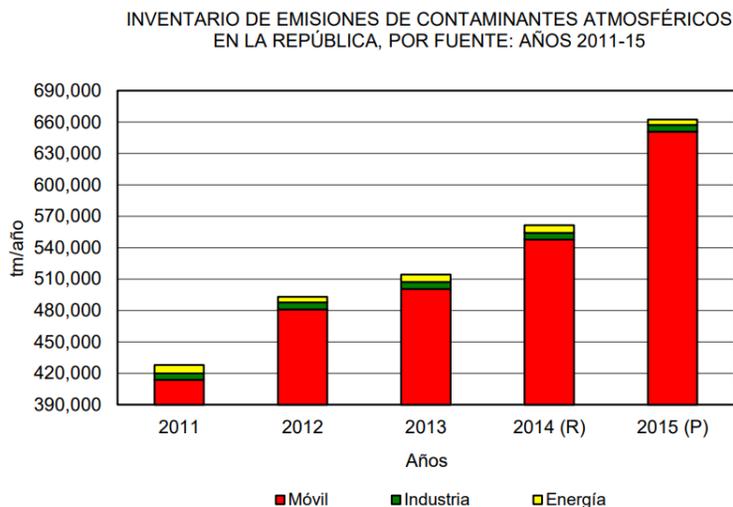


Figura 1. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la República de Panamá, por fuente para los años 2011 al 2015 (INEC). R: revisado, P: preliminar

En Panamá, según las estadísticas ambientales del Instituto Nacional de Estadística y Censo [9], las fuentes móviles son las que más contribuyen a la contaminación ambiental,

representando más del 95% del total de emisiones de contaminantes para el año 2015, ver Figura 1.

Para el año 2015 circulaban en la República de Panamá 29925 vehículos denominados microbús (automóvil usado para transportar pasajeros; sus asientos están ubicados en dirección hacia el conductor y su capacidad de transporte puede ser de 5 a 25 pasajeros) y ómnibus (automóvil usado para transportar pasajeros; sus asientos están ubicados en dirección hacia el conductor y son de dos o más personas; su capacidad es de 26 pasajeros en adelante), registrados más del 64 % de ellos en la Provincia de Panamá.

En otros países ya se ha establecido la relación de la contaminación del aire con los vehículos que usan Diesel [10], como en la Ciudad de Addis Abada en Etiopia [11]. Es por esta razón que los gobiernos están dedicando esfuerzos a tecnologías menos contaminantes como buses eléctricos y uso de combustibles como LNG y GNC, además de biocombustibles para sus flotas de transporte. El comportamiento de las flotas es evaluado para conocer el beneficio de la introducción de las mencionadas tecnologías.

El gas natural presenta numerosas ventajas ambientales para la sostenibilidad de los territorios. Una de sus grandes ventajas es que su energía es limpia, por lo tanto, mucho menos perjudicial para el medio ambiente. Su combustión es regulable, no emite partículas, produce escasa contaminación y menos emisiones de CO₂ que otros combustibles fósiles. Su uso contribuye a evitar el calentamiento global del planeta, reducir el efecto invernadero y mejorar la calidad del aire que respiramos en las ciudades.

El motor del bus a GNC es eco-amigable ya que produce menos emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂, óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre y materia particulada (PM) comparado con el bus que opera con combustible Diesel.

Colón LNG Marketing (CLM), es un "Joint Venture" entre AES Colón y TOTAL que fue creado con el objetivo de comercializar gas natural licuado (GNL) en Panamá, Centroamérica y el Caribe, y despacha desde la Terminal de GNL de Costa Norte en la Provincia de Colón, República de Panamá.

Colon LNG Marketing propuso realizar este proyecto piloto a la empresa MiBus con el fin de demostrar el funcionamiento de la tecnología de GNC para el sector transporte bajo las condiciones actuales en Panamá. La propuesta del proyecto incluye:

- Firma de Acuerdo de Cooperación CLM / MiBus. En este acuerdo se recogen los detalles técnicos y comerciales del proyecto, las responsabilidades de cada una de las partes, así como los hitos a alcanzar y metodología de captación de datos para en análisis posterior de los resultados.
- Provisión Temporal de Autobuses. CLM proporcionó 2 buses Hyundai nuevos para la ejecución del proyecto piloto. El tiempo estimado del proyecto piloto es de 6 meses, pudiendo prorrogarse de estar de acuerdo las partes.
- Instalación de Dispensadores de GNC. CLM instaló a su costo, una estación de servicio dentro de uno de los patios actuales de MiBus y se encargará de remover la misma luego de la finalización del proyecto. Parte del proyecto piloto es proveerle a MiBus visibilidad de una futura operación de llenado de GNC en sus patios.
- CLM asumió el costo del combustible de los buses durante el período de vigencia del proyecto piloto.

MiBus seleccionó las rutas donde operaron los buses, a los operadores e indicó el patio de buses en donde se colocó la estación de servicio.

La propuesta planteó solicitar a un grupo de investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá, construir un modelo matemático que correlacione el consumo de combustible con variables como las distancias recorridas en las rutas, las velocidades, las aceleraciones, la topografía del recorrido, los efectos de la resistencia del aire, las características del tipo de pavimento, el comportamiento del motor en operación, para dos buses de transporte público operando con combustible LNG y un modelo de un bus con idénticas características a los que utilizan LNG, pero que opera con un motor que utiliza combustible Diesel. Obtenidos los consumos de combustible se estiman las emisiones de los vehículos operando con ambos combustibles y se comparan.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las emisiones de vehículos que operan a Gas Natural Licuado (LNG) y compararlas con las emitidas por los vehículos que operan con combustible Diesel utilizados actualmente en el transporte público colectivo de rutas operadas por la empresa MiBus. La evaluación se realizará por medio de la construcción de modelos matemáticos que correlacionen las Emisiones/Régimen del Motor/Consumo Específico basados en el análisis de data de campo y las especificaciones de los motores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construcción de un modelo matemático para vehículos que operan con LNG. El modelo estará basado en las especificaciones técnicas del motor, las condiciones operativas del motor, las características químicas de los dos tipos de combustibles y las condiciones ambientales (humedad, temperatura, etc.).
- Construcción de un modelo matemático, por medio de cálculo indirecto, para vehículos que operan con Diesel para obtener la estimación de emisiones a nivel de toneladas equivalentes de CO₂ en cada una de las rutas.
- Validación y ajuste de los modelos matemáticos en base a datos empíricos registrados durante la prueba piloto.
- Análisis comparativo de las emisiones obtenidas por los modelos de LNG y Diesel que permita generar una interpretación cualitativa y cuantitativa de los resultados obtenidos.

ALCANCE

Desarrollar un modelo con capacidad de estimar las emisiones (CO₂ equivalente) de dos tipos de vehículos, dos que operan con combustible LNG y un vehículo de las mismas características de capacidad y tamaño impulsado por un motor que opera con combustible DIESEL, tomando en consideración las rutas, capacidad de los vehículos, cantidad de pasajeros; considerando las posibles las características de operación de los motores, con un nivel de confiabilidad aceptable. La captura de datos del GPS de los buses no tiene por objeto

realizar estudios de la naturaleza propuesta, que requeriría control de los ajustes del GPS, en particular de la tasa de muestreo, que debería ser del orden de dos o tres segundos . Esto es evidente porque no se utiliza una tasa de muestreo fija, no hay captura de datos por unidad de tiempo preestablecida, se desconoce el criterio utilizado para determinar el momento de captura de datos, por lo que hay variaciones significativas entre los períodos transcurridos para la captura de datos y no se observa un patrón en la forma en que se eligen los instantes, lo cual limita significativamente la calidad y los estimados que se pueden hacer de las variables cinemáticas, del modelo de conducción y de la operación del vehículo.

CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS

El estudio se basa en las características del motor C6AF y el motor D6AB ambos fabricados por HYUNDAI y utilizados con el mismo vehículo de pasajeros modelo Aero City [12].

En la nomenclatura que utiliza HYUNDAI para su identificar los motores lo primero es la letra que define el tipo de combustible (G para gasolina, D para diesel y C para gas natural). Luego se encuentra un número que indica el número de cilindros. La tercera y cuarta letra indica la familia y la serie del motor.



Figura 2. a) Autobús Modelo Hyundai Super Aero City 540 [13]. b) autobús de la flota de MiBus utilizado para pruebas.

Los motores D6AB y D6AC se fabricaron e instalaron en vehículos denominados New Super Aerocity, Unicity y Universe Space para exportar a países en desarrollo. El modelo C6AB, con especificación para combustible GNC, apareció en 1998 y se montó por primera vez en

el auto de prueba del autobús a gas natural Aerocity 540 [13] figura 2, y se produjo en serie en 2000, cuando comenzó la producción en masa del autobús a gas natural Super Aerocity. En 2008, el diseño se cambió de C6AB a C6AC para cumplir con las normas de emisiones Euro 4. En 2014, se lanzó el C6AF, que cumple con las normas de emisiones Euro 6, y en 2021, se publicaron las especificaciones para Euro 6 [12].

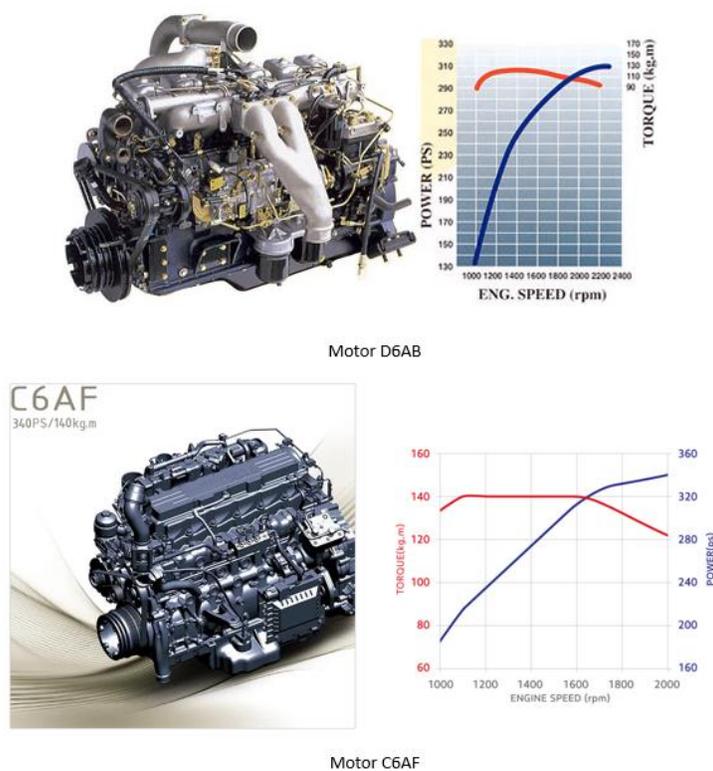


Figura 3. Imagen 3D de los motores Hyundai D6AB y C6AF con sus respectivas curvas de desempeño.

A continuación, la tabla 1 con las especificaciones de ambos motores utilizados como base del presente estudio.

Tabla 1. Especificaciones de los motores HYUNDAI C6AF y D6AB

Fabricante	Hyundai Motor Company	Hyundai Motor Company
	C6AF(E6)	D6AB
Cilindrada	11670 cm ³	11149 cm ³
Relación de Compresión	11.5 : 1	17:1
Cilindros	6 en línea	6 en línea
Potencia Máxima	V1-250 kW a 2000 RPM	216 –231 KW a 2000 RPM

	V2-213 kW a 2000 RPM	
Máxima Velocidad de Giro	2380 RPMN	2520 RPM
Máximo Torque	V1-1373 Nm a 1200 RPM V2-1177 Nm a 1200 RPM	1250 Nm a 1400 RPM
Combustible	Natural Gas	Diesel
Peso del Bus	11160 Kg	11620 Kg

ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron ensayos de emisiones con los vehículos en condición estática, una con un vehículo operado con LNG y otra con un vehículo con combustible Diesel. Además, se realizó un ensayo con un vehículo en movimiento operado con LNG en la calzada de Amador.

Prueba de emisiones con motores LNG y DIESEL

Se preparó el siguiente protocolo de pruebas para el autobús Diesel

Las mediciones se realizarán de acuerdo con el procedimiento descrito a continuación:

Preparación del Vehículo

1. Obtener y registrar los datos del vehículo.
2. Poner en marcha el motor y mantenerlo en condición de ralentí y verificar cuando la temperatura alcanza las condiciones de operación continua.
3. Verificar que el control manual de choque, las luces y accesorios, así como el sistema de acondicionamiento de aire estén inactivos.
4. En el caso de transmisión manual, colocar en neutral y en el caso de transmisión automática colocarlo en modo Estacionado (Parking) o Neutral.
5. Realizar una inspección para asegurar que no existen fugas en el tubo de escape, silenciador, tapa de llenado del tanque, tapa del aceite del motor y en las uniones del múltiple de escape o en alguna junta producto de una condición de rediseño del escape.

Medición de las Emisiones del Vehículo

1. Se instalan los medidores.
2. Las mediciones se realizan con la palanca en condición neutral y con la temperatura del motor estabilizada y operando en ralentí.

3. Se presionará el acelerador hasta máxima potencia, manteniendo la velocidad de giro del motor en 3500 RPM no más de diez segundos.
4. Se libera el acelerador y se permite al motor volver a la condición de ralentí.
5. Se repite el procedimiento una segunda vez.
6. Luego se pasa a la etapa de la medición, en donde se repite el procedimiento hasta cinco veces para culminar la prueba.
7. Se establece el valor promedio obtenido y se compara con la normativa.

Se contrató a la empresa EnviroLAB para realizar pruebas de emisiones de los vehículos. El vehículo HYUNDAI Placa EH3934 que opera con combustible LNG y el vehículo VOLVO Marcopolo Placa MB2171 que opera con DIESEL, fueron sometidos a ensayos de emisiones.

El ensayo consiste en medir las emisiones en el tubo de escape con el vehículo estático y operando a diferentes condiciones de giro del motor. Iniciando con la condición en ralentí y se va variando la velocidad de giro del motor (RPM's) con y sin el sistema de Aire Acondicionado funcionando. EnviroLAB presentó un reporte con los resultados.

Prueba de recorridos en la Calzada de Amador

Se realizaron pruebas con el bus en la Calzada de Amador y durante las pruebas se recolectó información adicional relacionada con el desempeño del motor, que es útil para generar un primer modelo básico para el estilo de conducción.

Objetivo del Ensayo

Explorar la plausibilidad de establecer un modelo de conducción con los datos captados en esta prueba para aplicar este modelo a la determinación del consumo de combustible de los vehículos. Además, generar la relación entre la velocidad de traslación del vehículo con la velocidad de giro del motor (RPM's).

Análisis

En adición a las características propias el vehículo y el tipo de combustible, otras variables que inciden en el consumo son el tráfico real, las condiciones de la vía y estilo de conducción.

Utilizando la data experimental del ensayo, se analiza la posibilidad de determinar un estilo de conducción para el cual el consumo de combustible varía, lo que depende exclusivamente del conductor.

De la data recolectada se ha tomado como variable el porcentaje de posición del pedal de aceleración, las RPM del motor y se realiza el análisis para hacer coincidir en tiempo la velocidad lineal del vehículo proporcionada por el GPS.

Se utiliza la Figura 4 y la Tabla 2 mostrada a continuación para ilustrar el procedimiento.

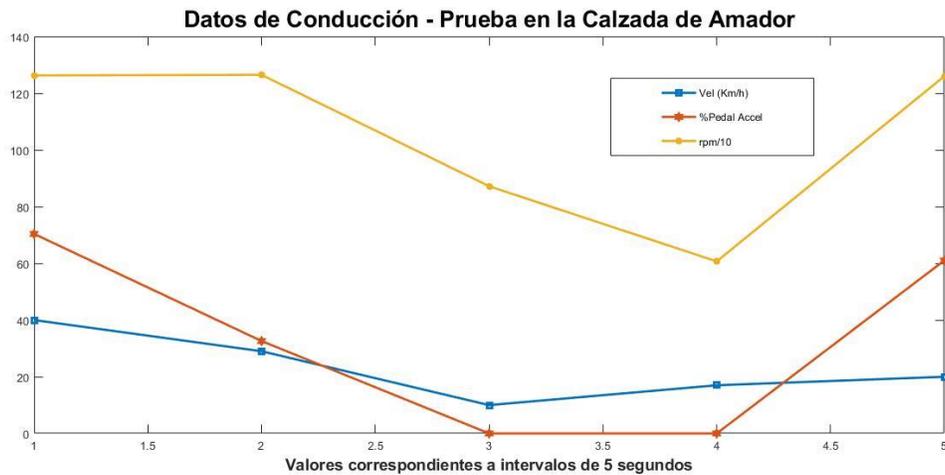


Figura 4. Comparación de la evolución de la Velocidad Lineal, los rpm y la posición del pedal de aceleración en porcentaje.

Tabla 2. Puntos correspondientes de la Figura 4. (Data prueba de la Calzada de Amador)

Punto	Velocidad (Km/h)	% de Posición del Pedal de Aceleración	rpm
1	40.00	70.40	1263
2	29.00	32.60	1265
3	10.00	0.00	872
4	17.00	0.00	607
5	20.00	61.00	1260

Se deduce de la Figura 4 que el vehículo viene desacelerando, que suelta el pedal de aceleración, para luego acelerar con más de la mitad de pedal de aceleración accionado (punto 3, 4 y 5 de la Tabla 1). Lo anterior sucede dentro de un rango de 10 segundos y se puede asumir que el cambio de marcha puede ser mucho más rápido. Según los RPM, la velocidad del punto 1 y los datos de la transmisión del vehículo el autobús se está conduciendo en la quinta marcha determinado según la ecuación 4. Para el punto 3 la velocidad disminuye, lo que sugiere que ocurre cambio de marcha de quinta a cuarta (punto 5).

Debido a la frecuencia variable con la que el GPS almacena la velocidad, no es posible realizar el análisis anterior para todo el trayecto. Para ilustrar este hecho se han agregado los datos siguientes, posteriores a los datos del punto 5 de la Tabla 2, los cuales se muestran en la Figura 5 y en la Tabla 3.

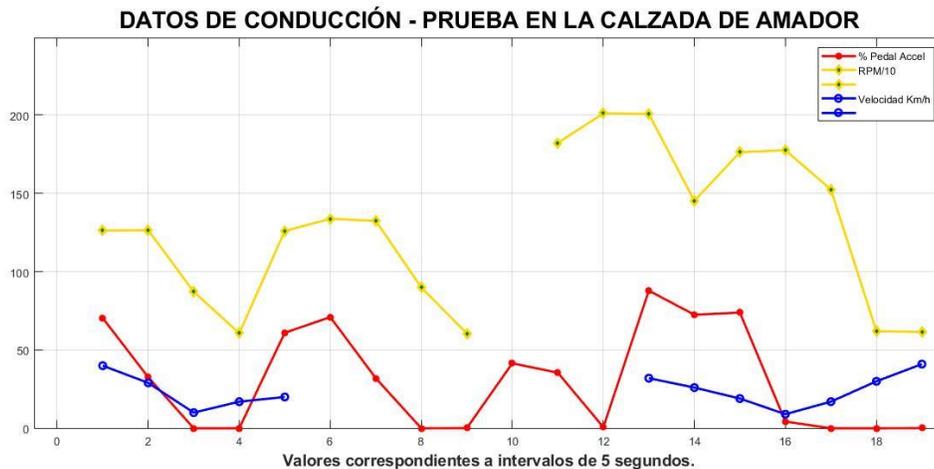


Figura 5. Comparación de la evolución de la Velocidad Lineal, las RPM y la posición del pedal de aceleración en porcentaje. (19 puntos)

Tabla 3. Puntos correspondientes de la Figura 5. (Data prueba de la calzada de amador)

Punto	Velocidad (Km/h)	% de Posición del Pedal de Aceleración	RPM
1	40.00	70.40	1263

2	29.00	32.60	1265
3	10.00	0.00	872
4	17.00	0.00	607
5	20.00	61.00	1260
6	No dato	71	1338
7	No dato	32	1325
8	No dato	0	900
9	No dato	0.1	606
10	No dato	41.5	No dato
11	No dato	35.5	1823
12	No dato	0.7	2011
13	32.00	87.9	2007
14	26.00	72.5	1452
15	19.00	73.9	1763
16	9.00	4.3	1776
17	17.00	0	1525
18	30.00	0	620
19	41.00	0.1	615

Se muestra en la Figura 5 y en la Tabla 3 que a partir del punto 5 no se tiene data de velocidad por un período de 35 segundos. Según la posición del pedal se puede asumir cambio de marcha en dos ocasiones, sobre el punto 8 y el punto 12. Sin información de la velocidad antes o después del punto 8, la determinación de la marcha tiene una elevada incertidumbre. Para el punto 12, se podría asumir que el cambio de marcha fue a 3ra o 4ta, debido a los valores del punto 13 y el punto 14 y de allí va disminuyendo hasta primera para luego soltar nuevamente el pedal de aceleración, sin embargo, la velocidad lineal de los puntos 17, 18 y 19 son de aceleración, lo que podría significar que el vehículo tiene suficiente energía debido a una pendiente, por ejemplo.

Conclusión sobre los Resultados del Ensayo

Aunque se puede analizar la data completa, si la velocidad lineal del vehículo se mide a una tasa constante, lo que aporta la prueba no es muy relevante para comparar las emisiones entre los dos tipos de combustible objeto de este estudio. No obstante, este ensayo permite asumir un modelo de cambios de marcha en el resto de la data obtenida de las trayectorias usuales de los autobuses. El modelo de cambios de marcha o modelo de conducción permite un ajuste del modelo de consumo de combustibles de los autobuses, que mejora la precisión en función de la sensibilidad al modelo de conducción.

METODOLOGÍA

El objetivo general de este estudio es desarrollar un modelo matemático basado en información obtenida de ensayos de campo y con data generada con monitoreo por medio de GPS durante los recorridos de los buses en las diferentes rutas, además establecer una relación de las variables consideradas con el consumo del combustible en la ruta y con base en estos resultados, estimar las emisiones de vehículos que operan a Gas Natural Licuado (LNG) y compararlas con las emitidas por vehículos con idénticas características en dimensiones, número de pasajeros y que operan con combustible Diesel al ser utilizados en el transporte público colectivo de rutas operadas por la empresa MiBus. El modelo matemático considera las relaciones Emisiones/Régimen del Motor/Consumo Específico, la naturaleza, características y condiciones operativas del motor, las características químicas de los combustibles y variables ambientales como temperatura y humedad relativa, si se dispone de la data.

Para poder alcanzar este objetivo, se utilizará el enfoque de desarrollo en etapas, se iniciará con un submodelo base que se basará en un análisis de la dinámica inversa de los vehículos tomando en consideración un conjunto de variables obtenidas y extraídas de la data del GPS y se irán incorporando otros submodelos, principalmente para determinar potencias asociadas a diferentes aspectos de la dinámica del vehículo. Primero, se realizó una evaluación y preprocesamiento del conjunto de variables monitoreadas por el GPS del vehículo, de la etapa

de preprocesamiento se extrajo información que se encuentra implícita en la data y se procesa esta información para generar variables como la aceleración y la pendiente del terreno.

Se logró establecer un modelo básico de conducción con los datos captados para aplicar este modelo a la determinación del consumo de combustible de los vehículos. Considerando diferentes marchas y la relación con la velocidad de giro del motor y las curvas de eficiencia efectiva del motor. Además, se utilizará la data obtenida en el ensayo estático realizado a los vehículos para validar el cumplimiento con las normas vigentes.

La composición y características del combustible fue analizada y se consideró que las variaciones en la composición no tienen un impacto significativo en el modelo propuesto. En el caso del combustible Diesel se toma como base las especificaciones establecidas por las normas nacionales. Para el gas se utiliza la data suministrada por los análisis reportados.

Además, se conoce que hay un impacto de las condiciones ambientales, como temperatura y humedad relativa del medio ambiente en las emisiones del motor, sin embargo, es necesario disponer de la data requerida confiable y pertinente. Lo que implica un sistema de monitoreo de dichas variables, en este caso, los buses no contaban con sistema de registro de las variables temperatura y humedad relativa.

Una vez desarrollado y validado el modelo se generan los estimados del consumo de combustible y a partir de este resultado, se estiman las emisiones por ruta y se realiza una comparación con las emisiones de vehículos de idénticas características, que operan en la misma ruta, pero con combustible Diesel.

La información obtenida con el GPS de los vehículos es robusta en que las rutas se recorren varias veces por día y operan en ella durante dos semanas, por lo que los resultados serán muy confiables al considerar la repetitividad, pero es relevante mencionar que la captura de datos del GPS, en particular la tasa de captura de datos no es uniforme y no es ajustable.

Se estructura un modelo de vehículo con las mismas características físicas que el que opera con LNG, pero con un motor Diesel, para obtener igualmente, estimados del consumo de combustible en las rutas.

SUPUESTOS

El desarrollo del modelo matemático está basado en las siguientes suposiciones:

1. La tasa de muestreo de datos de los sistemas GPS de los buses, permite que la data pueda ser utilizada para realizar cálculos de variables cinemáticas con un margen de incertidumbre y de error aceptables.
2. La data capturada por el GPS puede ser utilizada para realizar análisis de Dinámica Inversa.
3. El modelo del estilo de conducción de los conductores no es incluido en el modelo matemático de estimación de emisiones.
4. Se supone un sólo tipo de pavimento en el análisis, a pesar de que en las rutas puedan existir pavimentos de diferentes tipos y en diferentes condiciones físicas.
5. Se puede describir el efecto de rodadura de las llantas con un coeficiente que depende del tipo de cubierta del pavimento.
6. Se supone que las composiciones de los combustibles cumplen con las normas nacionales establecidas por las entidades reguladoras.
7. Se consideran como confiables los factores de emisión de los gases de efecto invernadero del reporte más reciente de IPCC.
8. El análisis de la dinámica del vehículo se realiza basado en trayectorias en línea recta.

ESTUDIO DE LAS RUTAS

Los datos obtenidos del GPS de los buses se sometieron a una etapa de preproceso para generar nuevas variables, tales como, tiempos en paradas, tiempos en semáforos, aceleraciones, distancias recorridas y pendientes a lo largo del recorrido de la ruta. Una vez establecidas las nuevas variables, se aplicó una técnica de análisis de dinámica inversa para calcular el

consumo de combustible y estimar las emisiones utilizando las variables directas del GPS y las variables nuevas establecidas.

La información obtenida con el GPS de los vehículos es robusta en que las rutas se recorren varias veces por día y los vehículos operan en ella por dos semanas, de manera que los resultados tendrán una alta confiabilidad.

Al finalizar el monitoreo de cada ruta se tendrá una base de datos completa incluyendo datos generales, características de la ruta en cuanto a velocidades, aceleraciones, número de paradas, número de segmentos de la ruta, número de semáforos, pendientes de las calles.

Además de la información genérica, la descripción de la ruta incluye data como longitud de la ruta, tiempo promedio, recorridos segmentados de acuerdo con horas de recarga, las variantes en los recorridos para algunos días (recorrido de retorno por trayectorias diferentes).

FUNDAMENTOS DEL DESARROLLO DEL MODELO

El modelo de análisis que se plantea consiste en una combinación de formulación de dinámica inversa del vehículo y del análisis termo-mecánico de los motores de combustión interna, uno para el operado con LNG y otro vehículo idéntico con un motor que funciona con combustible Diesel.

El enfoque de Dinámica Inversa implica utilizar la data del GPS correspondiente a las rutas, particularmente las variables cinemáticas, para determinar los requerimientos de potencia “instantánea”, y proceder a realizar la integral de la Potencia instantánea requerida con respecto al tiempo de forma tal que se obtenga el consumo total de energía del recorrido. Esto implica a su vez, la utilización de modelos para determinar los requerimientos de potencia requerida para mantener la dinámica del vehículo y del motor, por lo tanto, se utilizan modelos para obtener las potencias necesarias para vencer la resistencia a la rodadura, la fricción en el sistema de transmisión, el arrastre producido por el aire al desplazarse el vehículo, el proceso de frenado y otras pérdidas de energía relacionadas con la operación del vehículo. La formulación de Dinámica Inversa requiere plantear la ecuación de balance correspondiente a la Segunda Ley de Newton, así:

$$F = (m_b + m_p)a$$

Donde m_b y m_p son la masa del bus y la masa de los pasajeros, respectivamente y a es la aceleración y F es la fuerza.

Al multiplicar ambos términos de la ecuación por la velocidad se obtiene la potencia instantánea,

$$P = Fv = [(m_b + m_p)a]v$$

Donde P es la potencia instantánea y v es la velocidad instantánea.

Esta es la potencia neta requerida para provocar la aceleración del vehículo. El motor, sin embargo, debe aportar la potencia neta más la potencia para vencer las pérdidas en la transmisión, la destinada a accesorios del vehículo como bombas, sistema de aire acondicionado, alternador, la requerida para vencer el arrastre del provocado por el aire, la requerida para vencer la componente del peso del vehículo, la requerida para vencer la resistencia por rodadura y la resistencia por frenado, la potencia aportada por el pistón se conoce como la potencia indicada, está dada por la expresión:

$$P_i - P_t - P_a - P_d - P_w - P_r - P_f = P_n = Fv = [(m_b + m_p)a]v$$

Por lo tanto, la potencia indicada sería:

$$P_i = P_t + P_a + P_d + P_w + P_r + P_f + [(m_b + m_p)a]v$$

El análisis de Dinámica Inversa consiste en utilizar la data del GPS para obtener las aceleraciones y calcular las potencias requeridas para mover el vehículo de acuerdo con la data del GPS.

Para el cálculo de la potencia demandada se considerará lo siguiente:

1. Pérdida de Potencia en la transmisión: Del orden de 5 al 6 % [15] de pérdida nominal en los vehículos de carga ligera.
2. Las pérdidas de potencia en la transmisión son pérdidas en los cojinetes, pérdidas de par de arrastre en el engranaje en bruto sumergido en el aceite y pérdidas en el engranaje por la fuerza de fricción por deslizamiento en el flanco del engranaje. Según algunos experimentos de la literatura [16] más reciente, no se pueden despreciar las pérdidas de potencia de los sincronizadores cuando su manguito de cambio está en posición neutral. Las pérdidas de

potencia de los sincronizadores en posición neutral provienen del par de arrastre, independiente de la carga. El par de arrastre se genera por el par de corte de la lubricación en el espacio (o espacios) entre el anillo y el cono sincronizadores, que giran a diferentes velocidades. [16]

- Las pérdidas de potencia por arrastre (drag) producidas por la acción del aire sobre el vehículo, están dadas por la siguiente expresión;

$$P_d = \frac{1}{2} \rho C_d A v^3$$

Donde ρ es la densidad del aire, C_d es el coeficiente de arrastre y A representa área del frente del bus.

- La potencia para vencer la componente del peso se obtiene de la siguiente forma:

$$P_w = [(m_b + m_p)g \sin \theta] v$$

Donde g es la aceleración de la gravedad y θ el ángulo de la cubierta pavimentada y la horizontal.

- La potencia para vencer la resistencia por rodadura se obtiene con la expresión:

$$P_r = \mu N v = [\mu(m_b + m_p)g \cos \theta] v$$

Donde μ es el coeficiente de rodadura y N es la componente normal del peso.

- La potencia de frenado se calcula como una fracción q ($0 < q < 1$), de la potencia asociada a la fuerza de inercia, así:

$$P_f = F v = q [(m_b + m_p) a] v$$

Las potencias obtenidas del análisis basado en la dinámica inversa permiten obtener la potencia indicada (potencia entregada al cigüeñal), al relacionar las curvas de respuesta de los motores, estableciendo una relación de la velocidad de traslación del vehículo, la velocidad de giro del motor (RPM's) y la eficiencia efectiva del motor, que relaciona la potencia de salida del cigüeñal y la potencia entregada por el combustible (potencia indicada). Finalmente, la potencia indicada se relaciona con la tasa de aporte de energía del combustible.

Se dispone de las curvas de operación de los motores, estas permiten relacionar la velocidad de traslación del vehículo en las diferentes marchas con la velocidad de giro de los motores en revoluciones por minuto (RPM), determinadas las velocidades de giro se calculan las eficiencias efectivas de los mismos. Establecida las eficiencias se establece la potencia indicada instantánea de cada motor para las condiciones obtenidas del GPS. La energía requerida durante recorrido del circuito de la ruta se obtiene al calcular la integral de la potencia con respecto al tiempo. A partir del cálculo de la energía se puede obtener la masa de combustible utilizado durante el recorrido de la ruta para los vehículos que utilizan LNG y simultáneamente el de Diesel. Las emisiones se calculan con base en energía requerida estimada y la masa estimada de combustible consumido en la ruta.

MODELO MATEMÁTICO

El Modelo Matemático es el conjunto de ecuaciones que se obtienen al aplicar principios fundamentales al modelo físico propuesto. En este caso al imponer los supuestos planteados el Modelo Matemático resultante es el siguiente:

$$F = (m_b + m_p)a$$

$$P = Fv = [(m_b + m_p)a]v$$

$$P_i - P_t - P_a - P_d - P_w - P_r - P_f = P_n = Fv = [(m_b + m_p)a]v$$

$$P_i = P_t + P_a + P_d + P_w + P_r + P_f + [(m_b + m_p)a]v$$

$$P_d = \frac{1}{2}\rho C_d A v^3$$

$$P_w = [(m_b + m_p)g \sin\theta]v$$

$$P_r = \mu N v = [\mu(m_b + m_p)g \cos\theta]v$$

$$P_f = Fv = q[(m_b + m_p)a]v$$

$$\eta_{LNG} = 39.653 + \left(\frac{5.96}{10000}\right)\omega - \left(\frac{1.508}{1000000}\right)\omega^2$$

$$\eta_{DIE} = 39.698 + \left(\frac{5.01}{10000}\right)\omega - \left(\frac{1.408}{1000000}\right)\omega^2$$

$$E = \int_{t_0}^{t_f} P_i dt$$

$$M_{LNG} = E/LHV_{LNG}$$

$$M_{DIE} = E/LHV_{DIE}$$

Las ecuaciones del Modelo Matemático se deben resolver usando Dinámica Inversa para cada instante del recorrido, los instantes en que se dispone de datos del GPS durante el recorrido de la ruta. En el recorrido de las rutas se capturan miles de datos, por lo que la solución en cada instante debe obtenerse con un código computacional.

DESARROLLO DEL CÓDIGO COMPUTACIONAL

El desarrollo del código computacional está basado en el enfoque de Dinámica Inversa.

Bajo este enfoque, la información del GPS se utiliza para establecer la trayectoria, las variables geométricas y cinemáticas correspondientes a la evolución del movimiento durante el recorrido. Una vez determinada la cinemática del movimiento se analiza la cinética, y se calcula la demanda de potencia, la de energía y la de cantidad de combustible. Obtenidas la masa de combustible y el consumo de energía, es posible calcular las emisiones en toneladas de CO_{2e} de los gases de efecto invernadero.

La estructura del código se describe en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 6.

Los bloques en el diagrama están identificados con números y corresponden a diferentes procesos.

El bloque No.1 se refiere al proceso de importar la data del GPS previamente preparada para el código. Se importan datos de tiempo, pendiente, posición y velocidad instantánea.

En el bloque No.2 se trata del cálculo de las aceleraciones instantáneas, basadas en los datos de velocidad instantánea y de los instantes de tiempo correspondientes, con este cálculo se dispone de las dos variables cinemáticas de relevancia para el modelo.

Las potencias correspondientes requeridas para vencer el trabajo en contra hecho por las fuerzas de inercia, las fuerzas de arrastre del aire por el movimiento del bus, las fuerzas de rodadura de las llantas y las fuerzas por la componente del peso en las pendientes se calculan en el bloque No.3.

En el bloque No.4 se evalúa la magnitud de la velocidad para determinar si el bus está detenido o si se desplaza para establecer si el motor opera en ralentí.

Si opera en ralentí (bloque No.5), se establecen las revoluciones por minuto (RPM) como las correspondientes a los motores en girando en ralentí. Si no, se obtienen las RPM del motor según la magnitud de la velocidad del vehículo. Esto se realiza para ambos tipos de motores, el que opera con LNG y el que opera con Diesel en proceso representado en el bloque No.6.

En el bloque No.7 se evalúan las eficiencias efectivas de ambos tipos de motores utilizando las RPM obtenidas en el bloque previo.

Con las eficiencias efectivas se determinan las potencias indicadas de ambos tipos de motores, este proceso corresponde al bloque No.8.

El proceso del bloque No.9 corresponde al cálculo de la energía que debe aportar el motor para realizar el recorrido de las rutas según lo reflejado en la data obtenida por GPS.

En el bloque No.10 está representado el proceso de cálculo del estimado de las masas en Kg de ambos combustibles.

Según el bloque No.11 corresponde obtener los kilogramos de CO_{2e} de cada gas de efecto invernadero, CO₂, CH₄ y N₂O y el total de las toneladas de CO_{2e} de todos al realizar el recorrido de la ruta.

Las primeras pruebas del código se realizaron con una ruta ficticia de 10 Km y con un perfil topográfico con pendientes, varias paradas y un patrón de variación de velocidad y aceleración, cuyas magnitudes se mantuvieron en rangos típicos observados en la data obtenida por GPS, con resultados satisfactorios de la ejecución del código, Se procedió

entonces a la utilización de data de campo del GPS e igualmente la ejecución resultó exitosa, con casos de rutas donde se encontraron coincidencias y otros donde se presentaron discrepancias en la estimaciones del consumo de combustible, dichos resultados implican que es necesario determinar a partir de la data que aspectos inciden en las diferencias y realizar ajustes al código.

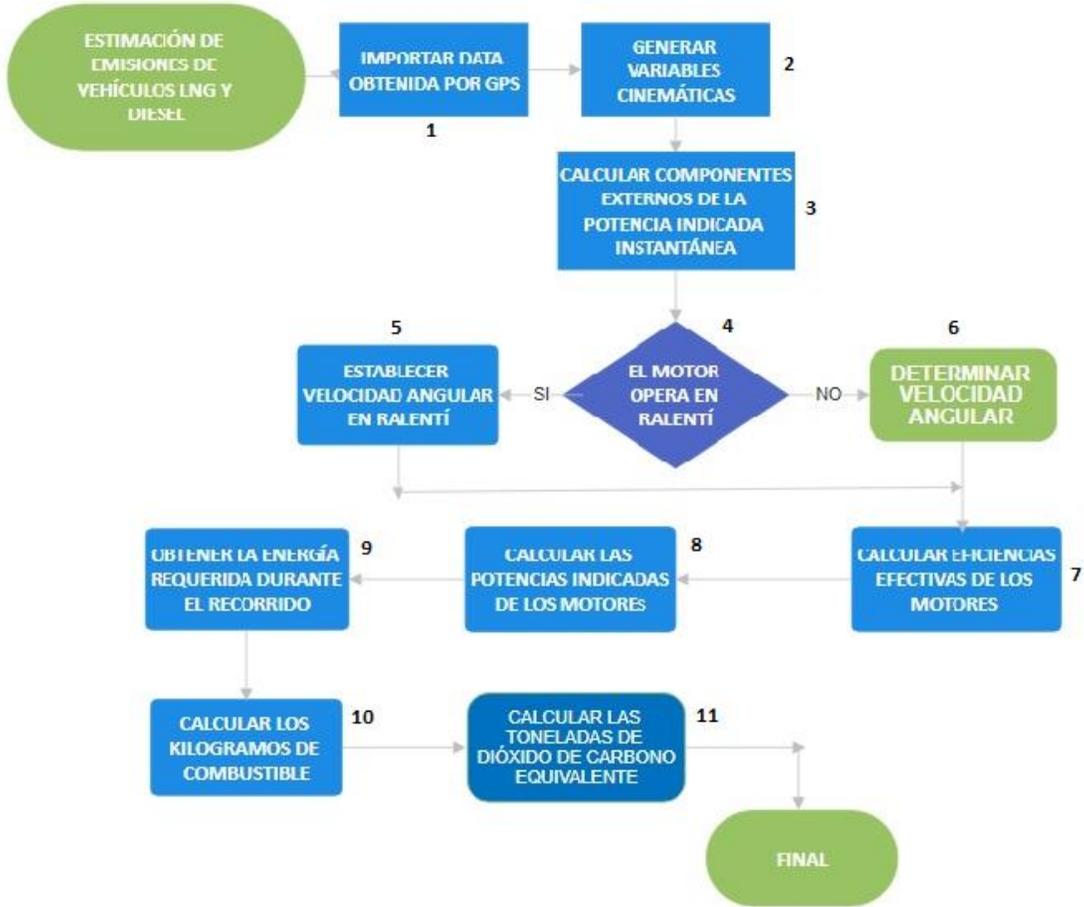


Figura 6. Diagrama de flujo utilizado para el desarrollo del código en SCILAB.

APLICACIÓN DEL MODELO A CADA UNA DE LAS RUTAS

Los datos de GPS de cada recorrido (230 + archivos) se utilizaron para analizar demanda de potencia, energía y combustible. Los resultados obtenidos, especialmente los correspondientes

a los kilogramos de LNG por recorrido, se comparan con los registrados en la Bitácora de Recargas.

La comparación revela que el modelo matemático estima resultados sobre la masa de combustible requerida, que tiende a ser ligeramente mayor para algunos recorridos que la registrada al momento de la recarga. Es importante señalar que el modelo tiene un grado de incertidumbre ya que hay aspectos que no se conocen, y no están incluidos en el modelo, entre ellos, por ejemplo, el estilo de conducción. Por lo tanto, es natural que los resultados tengan un margen de error. Se esperan estos resultados porque en el modelo se supone que el bus circula completamente cargado, es decir con el número máximo de pasajeros, por lo que se necesita más combustible que cuando los pasajeros suben y bajan del bus, circulando con carga parcial requiriendo menos combustible para recorrer la ruta. El supuesto de utilizar plena carga es necesario porque se dispone de información sobre la operación de los motores a plena carga y de esta manera se evita realizar extrapolaciones. En cualquier caso, bajo este supuesto se estarían realizando estimados máximos de consumo, para los vehículos operando con los dos tipos de combustible. No se dispone de patrones de número de personas que suben y bajan del bus, pero es de esperar que, en promedio, el número de personas sea inferior al máximo, en función del comportamiento del número promedio de pasajeros en el bus durante sus recorridos, será el del consumo real, que debe corresponder a la recarga de combustible requerida al finalizar del recorrido.

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES POR RUTAS

La formación sobre los factores de emisión apropiados para el transporte por carretera en los países en desarrollo puede necesitar un mayor fortalecimiento, donde la edad de la flota, el mantenimiento, el contenido de azufre y los patrones de uso son diferentes de los países industrializados, es por esto, que en este caso se tomaron factores y directrices emitidos por la IPCC por sus siglas en inglés (Intergovernmental Panel on Climate Change). En donde las últimas actualizaciones asumen la oxidación completa del combustible.

Las emisiones se estimaron a partir de la energía requerida para cumplir con las distancias recorridas por los vehículos. Haciendo uso de los siguientes valores:

Tabla 4. Factores de emisión

Variable	Factor de emisión	Unidad
Gas natural		
CO₂	56 100	Kg/TJ
CH₄	92	Kg/TJ
N₂O	3	Kg/TJ
Diesel		
CO₂	74 100	Kg/TJ
CH₄	3.9	Kg/TJ
N₂O	3.9	Kg/TJ

Tabla 5. Potenciales de calentamiento global

Carga Ambiental	Potencial
CO₂	1
CH₄ – origen fósil	29.8
CH₄ – origen no fósil	27
N₂O	273

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para la ruta, identificada como E618 correspondiente a la operación del Bus 5221. Se presentan los *datos reportados* en la **Bitácora de Recargas** y los *valores estimados* al aplicar el **Modelo** a los datos del GPS de la fecha. Al leer las tablas y en especial realizar una comparación de consumo, se debe considerar que la fecha del dato reportado en la bitácora de Kg de combustible, el que por procedimiento,

corresponde a la recarga en la fecha señalada, y en consecuencia corresponde al consumo de combustible del día anterior en la Tabla. Por lo tanto, se debe comparar el dato de consumo estimado (por código) de combustible de una fecha específica con el valor de consumo reportado en bitácora, del día siguiente. Por ejemplo, en una fecha en particular, el 1 de agosto, el dato de Kg consumidos de LNG (72.937 Kg) de la Bitácora corresponde a la recarga realizada en esa fecha, sin embargo, corresponde al consumo del recorrido del día previo. En cambio, el estimado de kilogramos de combustible (88.774 Kg) corresponde a consumo del 1 de agosto y es lo que debe recargarse al día siguiente a primera hora, en este caso el registrado el día 2 de agosto, (91.01 Kg).

Es importante señalar que se encuentran inconsistencias en la data sobre la recarga de combustible registrada en algunas fechas. En la Tabla 6 al observar los datos correspondientes a los kilogramos de LNG recargados el 7 de agosto (80.62 Kg), sin embargo, el recorrido previo es de 321.7 Km, mayor que en dos días previos y es con un consumo inferior, esto es contradictorio, algo similar ocurre en los días 7 y 8 de agosto, recargas significativamente inferiores en casos donde el recorrido es mayor. En fechas 1,2, 3, 9, 10 y 11 de agosto, la data en la Bitácora es consistente en la relación de consumo y distancia recorrida. En la Figura 7 se observa el comportamiento de los datos sobre Kg de LNG registrados en la Bitácora de las recargas (puntos azules) y los Kg de LNG (puntos rojos) estimados con el modelo codificado en SCILAB para la ruta versus el recorrido en kilómetros.

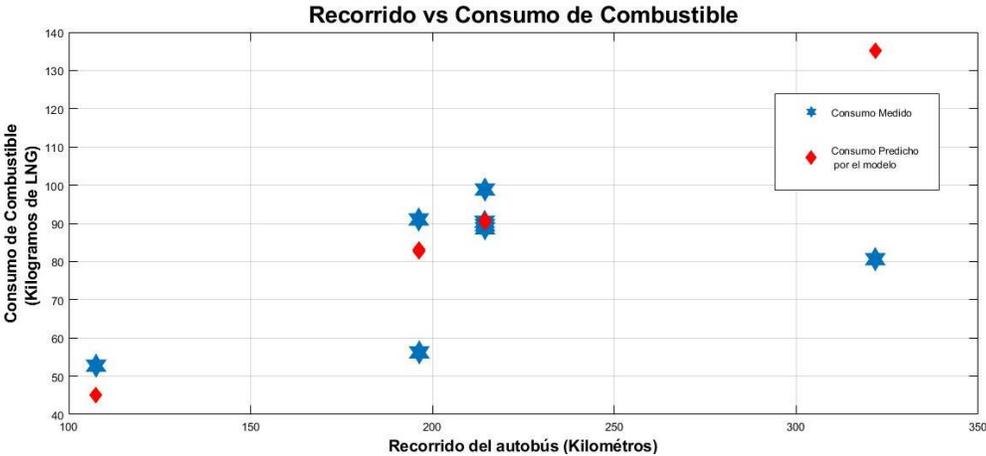


Figura 7. Kilogramos registrados en Bitácora (Azul) y estimados por modelo (Rojo)

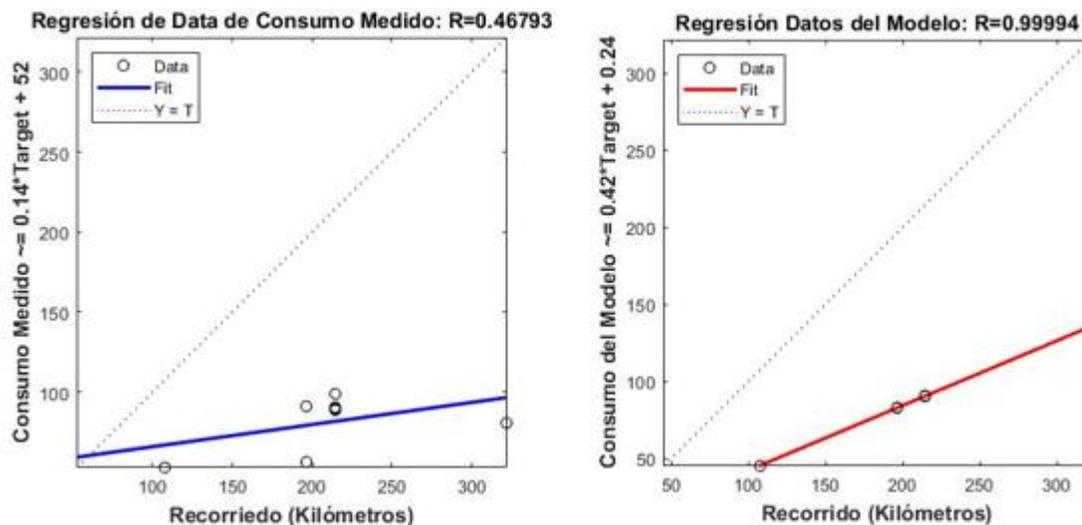


Figura 8. Se muestra la regresión de los datos del consumo registrado por bitácora (azul) y la regresión de consumo determinado mediante el modelo (rojo).

La regresión de los datos de consumo de LNG medidos (azul) muestra una elevada dispersión de la data sobre un comportamiento que se espera fuese lineal y que representa la autonomía, relación entre kilogramos consumidos y kilómetros recorridos. De otra manera, el comportamiento del modelo es aceptable en cuanto a una constante autonomía del autobús en el recorrido de la ruta E1618 cuyos datos se muestran en la Tabla 6. Estos análisis permiten inferir los comportamientos atípicos y las posibles causas.

Tabla 6. Recorridos de la ruta identificada como E618 correspondiente al bus 5221

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo													Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomía kg/km	Info de la ruta		LNG					DIESEL					% CO2	% TCO2eq	
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL			
31-jul	106,12	0,624	0,39	232,26	267,04	0,438	0,014	0,284	97,94	338,61	0,018	0,018	0,344	107,27	26,80	21,13	
01-ago	94,28	0,405	0,34	232,38	265,46	0,435	0,014	0,282	97,37	337,19	0,018	0,018	0,343	106,82	27,02	21,36	
02-ago	90,53	0,390	0,33	268,57	306,37	0,502	0,016	0,326	112,37	389,90	0,021	0,021	0,396	123,52	27,27	21,58	
03-ago	76,47	0,284	0,41	214,17	247,07	0,405	0,013	0,263	90,62	315,03	0,017	0,017	0,320	99,80	27,50	21,80	
04-ago	86,95	0,404	0,34	238,29	272,06	0,446	0,015	0,289	99,78	346,98	0,018	0,018	0,353	109,92	27,54	21,85	
07-ago	67,52	0,185	0,32	250,37	285,12	0,468	0,015	0,303	104,57	362,86	0,019	0,369	0,369	114,95	27,27	21,57	
08-ago	51,57	0,413	0,33	250,54	285,63	0,468	0,015	0,304	104,76	361,60	0,019	0,019	0,367	114,55	26,60	20,93	
09-ago	85,83	0,342	0,34	250,51	285,93	0,469	0,015	0,304	104,87	366,08	0,019	0,019	0,372	115,97	28,03	22,30	
10-ago	92,44	0,368	0,38	232,33	266,83	0,438	0,014	0,284	97,87	340,76	0,018	0,018	0,346	107,95	27,71	21,99	
11-ago	95,67	0,411	0,28	130,92	148,31	0,243	0,008	0,158	54,40	189,32	0,010	0,010	0,192	59,97	27,65	21,94	
31-jul	-	-	0,40	197,51	227,25	0,373	0,012	0,242	83,35	288,19	0,015	0,015	0,293	91,30	26,82	21,14	
01-ago	72,94	0,367	0,39	196,22	225,68	0,370	0,012	0,240	82,77	284,17	0,015	0,015	0,289	90,02	25,92	20,29	
02-ago	91,01	0,462	0,40	214,44	246,71	0,405	0,013	0,262	90,49	312,87	0,017	0,017	0,318	99,11	26,81	21,15	
03-ago	98,85	0,462	0,40	214,36	246,76	0,405	0,013	0,262	90,51	311,45	0,016	0,016	0,316	98,67	26,21	20,58	
04-ago	90,38	0,420	0,36	214,85	246,06	0,404	0,013	0,262	90,25	311,22	0,016	0,016	0,316	98,59	26,48	20,83	
07-ago	80,62	0,251	0,35	107,53	122,97	0,202	0,007	0,131	45,10	155,57	0,008	0,008	0,158	49,28	26,51	20,87	
08-ago	52,76	0,488	0,42	196,38	226,67	0,372	0,012	0,241	83,14	283,75	0,015	0,015	0,288	89,89	25,18	19,58	
09-ago	56,23	0,287	0,42	214,47	247,61	0,406	0,013	0,263	90,82	310,01	0,016	0,016	0,315	98,21	25,20	19,60	
10-ago	88,70	0,413	0,39	214,45	246,40	0,404	0,013	0,262	90,37	310,00	0,016	0,016	0,315	98,21	25,81	20,19	
11-ago	89,52	0,416	0,40	106,70	122,80	0,201	0,007	0,131	45,04	154,64	0,008	0,008	0,157	48,99	25,92	20,29	

Se comparten a continuación, los resultados obtenidos del procesamiento de la data de campo, capturada durante los recorridos ilustrados con un respectivo mapa y nomenclatura propia de la empresa. Los resultados presentados corresponden a las emisiones estimadas para dos vehículos que operan con combustible LNG y las emisiones de un vehículo idéntico en capacidad de pasajeros, al igual que en sus características físicas, que opera con combustible Diesel.

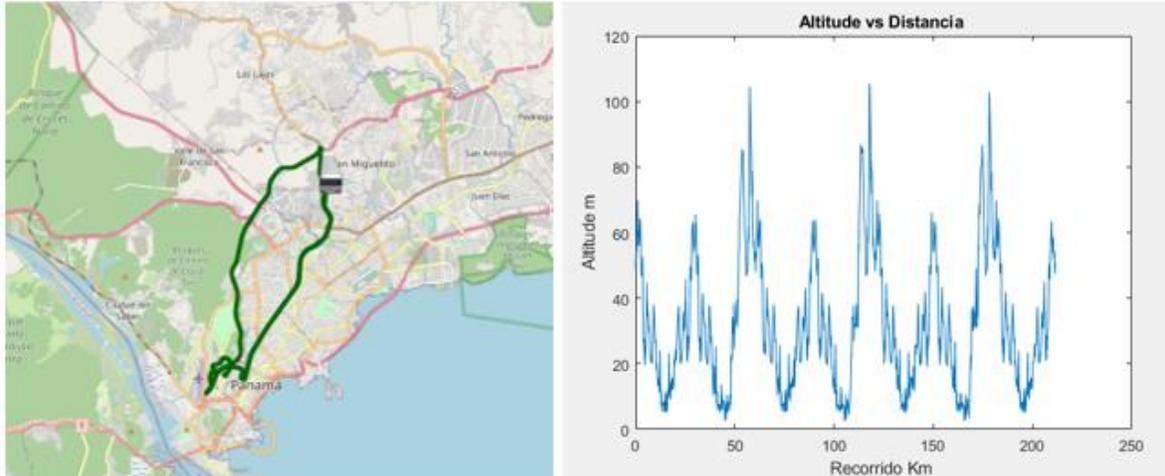


Figura 9. Ruta K181-I / Transistmica – Directo – Albrook / K181-R / Directo – Transistmica – Metro Los Andes. a) Mapa, b) Topografía

Tabla 7. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	24.57	19.00

La gráfica del perfil del recorrido de la ruta K181 muestra cambios en altitud significativos en diferentes partes del recorrido, diferencias en altitud del orden de 100 metros, ya que hay puntos en donde la altitud es de 5 m y otros donde es 104 m. Esto tiene influencia en la forma que se transita la ruta y en el consumo de combustible. Se observa que en el caso del promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 24.57 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 19.00 %

Tabla 8. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta K181

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL					% CO2	% TCO2eq	
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq			kg DIESEL
22-may	81.1	-	0.37	212.0	243.1	0.40	0.013	0.26	89.2	304.1	0.016	0.016	0.309	96.3	25.1	19.5
23-may	89.3	-	0.38	182.4	209.7	0.34	0.011	0.22	76.9	262.7	0.209	1.859	0.267	83.2	25.3	19.7
24-may	82.5	-	0.42	211.4	243.6	0.40	0.013	0.26	89.4	303.8	0.016	0.016	0.309	96.2	24.7	19.1
25-may	87.0	-	0.36	211.3	241.9	0.40	0.013	0.26	88.7	300.3	0.016	0.016	0.305	95.1	24.1	18.6
26-may	87.4	0.414	0.57	61.1	72.2	0.12	0.004	0.08	26.5	92.5	0.005	0.005	0.094	29.3	28.1	22.4
29-may	57.1	0.460	0.38	184.2	211.3	0.35	0.011	0.22	77.5	264.5	0.014	0.014	0.269	83.8	25.2	19.6
30-may	72.7	0.395	0.39	181.2	209.8	0.34	0.011	0.22	78.0	262.5	0.014	0.014	0.267	83.2	25.1	19.5
31-may	83.1	0.459	0.37	180.1	207.6	0.34	0.011	0.22	76.1	258.1	0.014	0.014	0.262	81.8	24.3	18.8
01-jun	82.2	0.457	0.38	210.3	241.1	0.40	0.013	0.26	88.4	302.0	0.016	0.016	0.307	95.7	25.2	19.6
02-jun	89.1	0.426	0.51	89.8	105.2	0.17	0.006	0.11	38.6	131.1	0.007	0.007	0.133	41.5	24.7	19.0
22-may	69.7	-	0.44	97.0	112.3	0.18	0.006	0.12	41.2	141.4	0.007	0.007	0.144	44.8	25.9	20.3
23-may	-	-	0.56	100.4	118.4	0.19	0.006	0.13	43.4	146.6	0.008	0.008	0.149	46.4	23.8	18.3
24-may	76.2	-	0.39	184.0	211.6	0.35	0.011	0.23	77.6	258.6	0.014	0.014	0.263	81.9	22.3	16.8
25-may	81.7	-	0.45	190.6	221.1	0.36	0.012	0.24	81.1	271.4	0.014	0.014	0.276	86.0	22.8	17.3
26-may	74.0	0.611	0.58	120.7	142.8	0.23	0.008	0.15	52.4	174.8	0.009	0.009	0.178	55.4	22.4	16.9
29-may	-	-	0.30	60.0	68.2	0.11	0.004	0.07	25.0	84.7	0.005	0.005	0.086	26.8	24.2	18.6
30-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

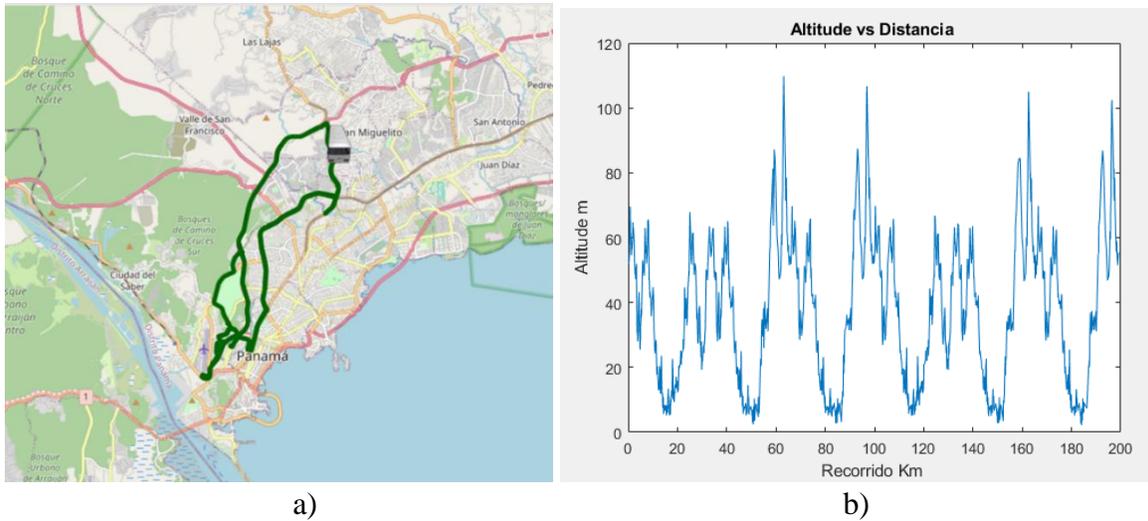


Figura 10. Ruta M181-I / Av. Ricardo J Alfaro – Directo – Albrook / M181-R / Directo - Av. Ricardo J Alfaro – Metro Los Andes. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 9. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	24.85	19.26

La topografía de la ruta M181 ruta es muy similar a la de la K181 en términos de las diferencias de altitud. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 24.85 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 19.26 %.

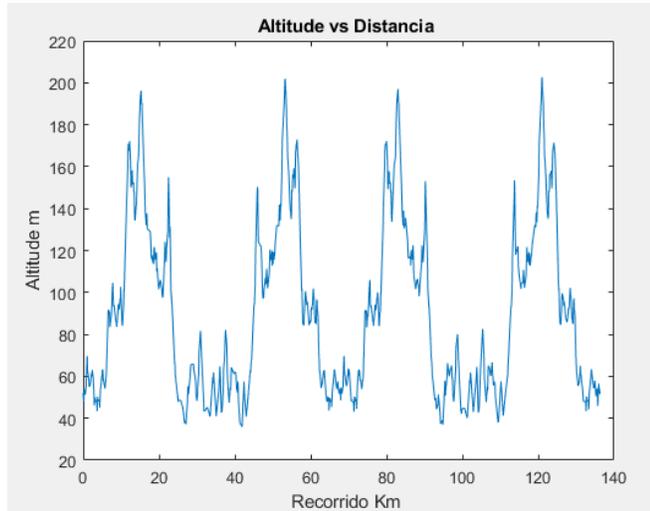
Tabla 10. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta M181

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo											Prom calculados		
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL					% CO2	% TCO2eq	
			quo - ralenú	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq			kg DIESEL
05-jun	86.65	-	0.69	199.37	228.06	0.374	0.012	0.243	83.65	285.45	0.015	0.015	0.290	90.43	25.17	19.54
06-jun	88.10	-	0.66	201.23	229.59	0.376	0.012	0.244	84.21	285.80	0.015	0.015	0.290	90.54	24.48	18.88
07-jun	88.65	0.441	0.66	204.47	233.35	0.383	0.013	0.248	85.59	290.33	0.015	0.015	0.295	91.97	24.42	18.82
08-jun	94.62	0.462	0.67	200.17	228.54	0.375	0.012	0.243	83.82	284.86	0.015	0.015	0.289	90.24	24.64	19.05
09-jun	86.96	0.435	0.4	105.58	121.62	0.200	0.007	0.129	44.61	149.02	0.008	0.008	0.151	47.21	22.53	17.09
12-jun	97.89	0.569	0.69	195.86	223.81	0.367	0.012	0.238	82.09	275.88	0.015	0.015	0.280	87.39	23.27	17.73
13-jun	89.01	0.454	0.53	68.95	81.05	0.133	0.004	0.086	29.73	101.07	0.005	0.005	0.103	32.02	24.70	19.14
14-jun	-	-	0.4	167.07	192.49	0.316	0.010	0.205	70.60	242.60	0.013	0.013	0.247	76.85	26.03	20.42
15-jun	-	-	0.3978	40.73	46.88	0.077	0.003	0.050	17.19	59.34	0.003	0.003	0.060	18.80	26.58	20.84
16-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13-jun	63.71	0.758	0.365	100.56	115.20	0.189	0.006	0.123	42.25	142.64	0.008	0.008	0.145	45.19	23.81	18.29
14-jun	73.43	-	0.5379	197.88	224.16	0.368	0.012	0.238	82.22	284.88	0.015	0.015	0.289	90.25	27.09	21.39
15-jun	79.99	0.515	0.7864	100543.28	195.11	0.320	0.011	0.208	71.56	244.22	0.013	0.013	0.248	77.37	25.17	19.61
16-jun	82.13	0.483	0.4439	94.26	109.23	0.179	0.006	0.116	40.06	136.69	0.007	0.007	0.139	43.30	25.14	19.54



a)



b)

Figura 11. Ruta N025-R / Chilibre. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 11. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

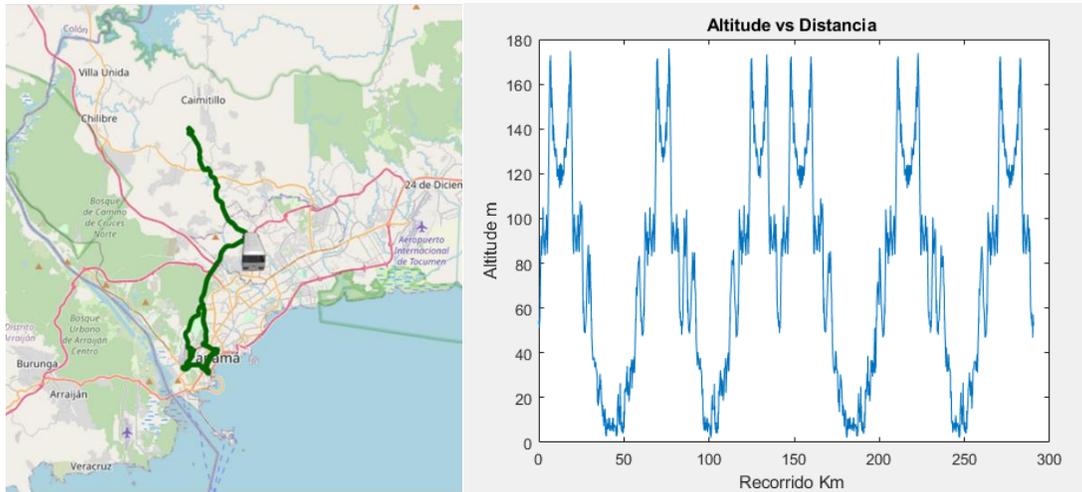
Prom	% CO ₂	% TCO ₂ eq
	24.32	18.76

En la ruta N025 las diferencias en altitud entre los puntos más bajos y los más altos rondan los 155 m, imponiendo una carga por efectos de la gravedad que exige más del motor. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 24.32 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 18.76 %.

Tabla 11. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta N025

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG					DIESEL					% CO2	% TCO2eq
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
19-jun	86,63	0,31	0,37	136,27	156,20	0,26	0,008	0,166	57,29	194,12	0,010	0,010	0,20	61,49	24,28	18,72
20-jun	82,37	-	0,44	203,63	235,80	0,39	0,013	0,251	86,49	293,78	0,016	0,016	0,30	93,07	24,59	19,02
21-jun	85,41	0,41	0,42	203,79	235,34	0,39	0,013	0,250	86,32	294,00	0,016	0,016	0,30	93,14	24,93	19,34
22-jun	102,16	0,38	0,33	271,54	309,73	0,51	0,017	0,329	113,60	387,19	0,020	0,020	0,39	122,66	25,01	19,43
23-jun	102,40	0,38	0,36	271,64	311,16	0,51	0,017	0,331	114,13	387,11	0,020	0,020	0,39	122,63	24,41	18,86
26-jun	98,79	0,43	0,40	211,26	243,1	0,40	0,013	0,259	89,16	301,71	0,016	0,016	0,31	95,58	24,11	18,57
27-jun	103,93	0,39	0,33	269,89	307,76	0,50	0,017	0,327	112,88	381,53	0,020	0,020	0,39	120,86	23,97	18,42
28-jun	111,04	0,41	0,45	263,60	305,78	0,50	0,016	0,325	112,15	376,53	0,020	0,020	0,38	119,28	23,14	17,62
29-jun	95,39	0,47	0,42	204,03	235,7	0,39	0,013	0,251	86,45	294,03	0,016	0,016	0,30	93,15	24,75	19,15
30-jun	112,06	0,42	0,47	265,10	308,43	0,51	0,017	0,328	113,12	383,94	0,020	0,020	0,39	121,63	24,48	18,93
19-jun	64,45	0,37	0,44	203,72	235,61	0,39	0,013	0,251	86,42	294,33	0,016	0,016	0,30	93,24	24,92	19,31
20-jun	86,31	-	0,45	204,34	236,47	0,39	0,013	0,252	86,73	294,65	0,016	0,016	0,30	93,34	24,61	19,01
21-jun	83,04	0,42	0,47	199,86	232,16	0,38	0,012	0,247	85,15	290,02	0,015	0,015	0,29	91,88	24,92	19,36
22-jun	101,53	0,51	0,34	270,05	307,95	0,51	0,017	0,328	112,95	382,97	0,020	0,020	0,39	121,32	24,36	18,81
23-jun	108,21	0,40	0,41	136,48	157,30	0,26	0,008	0,167	57,69	194,91	0,010	0,010	0,20	61,75	23,91	18,35
26-jun	-	-	0,37	272,56	312,26	0,512	0,017	0,332	114,53	380,48	0,020	0,020	0,39	120,53	21,85	16,38
27-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29-jun	78,95	0,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-jun	-	-	0,31	269,64	306,47	0,503	0,016	0,326	112,41	383,87	0,020	0,020	0,39	121,60	25,25	19,67



a) b)
 Figura 12. Ruta T060-R / Corredor Norte – Ciudad Bolívar. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 12. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	21.18	15.76

En la ruta T060, la altitud entre los puntos más bajos y los más altos es de 175 m, igual que las anteriores impone una carga importante por efectos de la gravedad que demanda más potencia del motor. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 21.18 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 15.76 %.

Tabla 13. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta T060

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo											Diferencia porcentual		
	kg de combustible	Autonomía kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL					% CO2	% TCO2eq	
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq			kg DIESEL
03-jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04-jul	71,71	0,469	0,606	72,29	86,02	0,141	0,005	0,092	31,55	104,26	0,006	0,006	0,106	33,03	21,20	15,74
05-jul	90,36	0,428	0,366	235,69	270,04	0,443	0,014	0,287	99,05	330,40	0,017	0,017	0,336	104,67	22,35	16,89
06-jul	69,23	0,302	0,288	290,53	329,46	0,540	0,018	0,350	120,84	400,86	0,021	0,021	0,407	126,99	21,67	16,24
07-jul	-	-	0,451	175,31	203,38	0,334	0,011	0,216	74,59	247,57	0,013	0,013	0,252	78,43	21,73	16,27
10-jul	87,42	0,295	0,367	236,18	270,63	0,444	0,015	0,288	99,26	329,21	0,017	0,017	0,335	104,29	21,64	16,23
11-jul	48,49	0,321	0,434	226,88	262,49	0,431	0,014	0,279	96,27	317,43	0,017	0,017	0,323	100,56	20,93	15,55
12-jul	74,23	0,327	0,416	232,77	268,59	0,441	0,014	0,286	98,51	324,75	0,017	0,017	0,330	102,88	20,91	15,51
13-jul	68,77	0,295	0,337	229,28	261,65	0,429	0,014	0,278	95,97	316,17	0,017	0,017	0,321	100,16	20,84	15,42
14-jul	90,74	0,393	0,363	230,91	264,45	0,434	0,014	0,281	96,99	321,09	0,017	0,017	0,326	101,72	21,42	16,00
03-jul	105,73	0,254	0,320	231,21	263,17	0,432	0,014	0,280	96,52	321,01	0,017	0,017	0,326	101,69	21,98	16,51
04-jul	91,58	0,402	0,528	87,39	102,62	0,168	0,006	0,109	37,64	124,70	0,007	0,007	0,127	39,50	21,52	16,13
05-jul	-	-	0,363	100,05	114,58	0,188	0,006	0,122	42,02	139,82	0,007	0,007	0,142	44,29	22,03	16,49
06-jul	97,72	0,389	0,343	291,69	333,15	0,546	0,018	0,354	122,19	400,35	0,021	0,021	0,407	126,83	20,17	14,79
07-jul	76,26	0,383	0,335	87,58	99,92	0,164	0,005	0,106	36,65	121,68	0,006	0,006	0,124	38,55	21,78	16,27
10-jul	92,34	0,343	0,327	203,69	232,14	0,381	0,012	0,247	85,14	278,75	0,015	0,015	0,283	88,31	20,08	14,70
11-jul	71,00	0,348	0,205	86,45	97,06	0,159	0,005	0,103	35,60	116,79	0,006	0,006	0,119	37,00	20,32	14,92
12-jul	44,54	0,506	0,362	230,03	263,41	0,432	0,014	0,280	96,61	319,25	0,017	0,017	0,324	101,14	21,20	15,78
13-jul	78,45	0,343	0,369	229,57	263,15	0,432	0,014	0,280	96,52	316,35	0,017	0,017	0,321	100,22	20,21	14,83
14-jul	90,67	0,394	0,279	230,70	261,29	0,429	0,014	0,278	95,84	314,87	0,017	0,017	0,320	99,75	20,51	15,11

Ruta N045

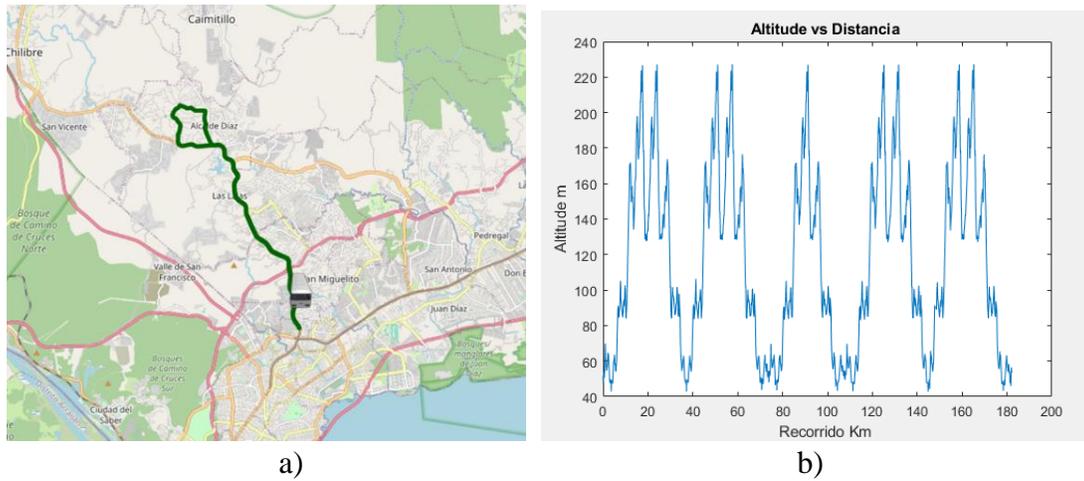


Figura 13. Ruta N045-R / Alcalde Díaz. a) Mapa, b) Topografía.

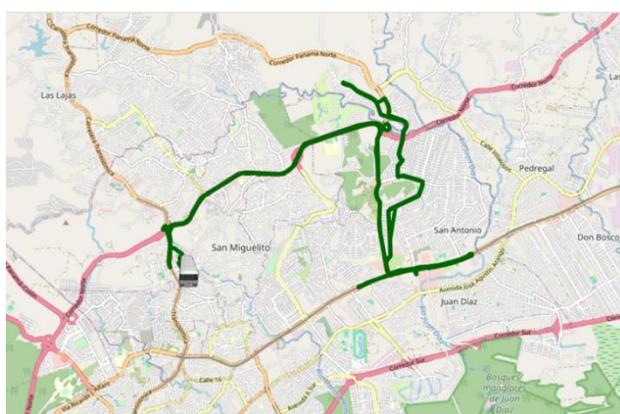
Tabla 14. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO ₂	% TCO ₂ eq
	25.89	20.29

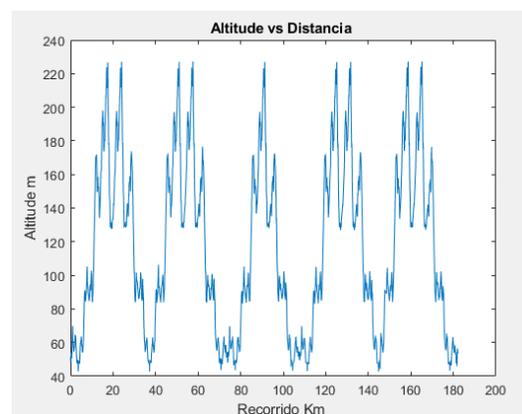
En la ruta N045 se presentan diferencias en altitud del orden de los 190 m, al igual que en las rutas anteriores, se impone una carga importante por efectos de la gravedad, que demanda más potencia del motor. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 25.89 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 20.29 %.

Tabla 15. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS
Ruta N045.

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL					% CO2	% TCO2eq	
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq			kg DIESEL
17-jul	88,93	0,383	0,318	143,21	163,034	0,267	0,009	0,173	59,80	204,50	0,011	0,011	0,208	64,78	25,43	19,84
18-jul	78,51	0,549	0,343	97,10	110,894	0,182	0,006	0,118	40,67	139,59	0,007	0,007	0,142	44,22	25,87	20,27
19-jul	72,97	0,745	0,305	181,44	206,198	0,338	0,011	0,219	75,63	259,38	0,014	0,014	0,264	82,17	25,79	20,16
20-jul	73,93	0,406	0,417	175,39	202,413	0,332	0,011	0,215	74,24	254,48	0,013	0,013	0,259	80,62	25,72	20,07
21-jul	90,52	0,517	0,396	139,86	160,920	0,264	0,009	0,171	59,02	202,95	0,011	0,011	0,206	64,29	26,12	20,51
24-jul	81,60	0,579	0,351	168,31	192,440	0,316	0,010	0,205	70,58	241,14	0,013	0,013	0,245	76,39	25,31	19,69
25-jul	79,12	0,471	0,467	135,12	157,134	0,258	0,008	0,167	57,63	197,48	0,010	0,010	0,201	62,56	25,67	20,05
26-jul	90,98	0,669	0,383	168,64	193,687	0,318	0,010	0,206	71,04	243,95	0,013	0,013	0,248	77,28	25,95	20,29
27-jul	92,99	0,554	0,352	168,06	192,180	0,315	0,010	0,204	70,49	241,62	0,013	0,013	0,246	76,54	25,72	20,11
28-jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17-jul	90,74	0,391	0,317	174,67	198,804	0,326	0,011	0,211	72,92	250,44	0,013	0,013	0,254	79,34	25,97	20,34
18-jul	87,87	0,502	0,478	146,81	171,004	0,280	0,009	0,182	62,72	216,41	0,011	0,011	0,220	68,56	26,55	20,89
19-jul	78,48	0,534	0,389	182,05	209,248	0,343	0,011	0,223	76,75	263,64	0,014	0,014	0,268	83,52	25,99	20,36
20-jul	86,61	0,453	0,451	169,48	196,587	0,322	0,011	0,209	72,10	247,93	0,013	0,013	0,252	78,54	26,12	20,47
21-jul	87,30	0,546	0,423	167,28	193,223	0,317	0,010	0,206	70,87	242,75	0,013	0,013	0,247	76,90	25,63	20,00
24-jul	82,73	0,495	0,457	150,22	174,409	0,286	0,009	0,186	63,97	220,66	0,012	0,012	0,224	69,90	26,52	20,86
25-jul	51,15	0,341	0,310	204,54	232,603	0,382	0,012	0,247	85,31	292,77	0,015	0,015	0,297	92,75	25,87	20,21
26-jul	61,80	0,827	0,372	175,70	201,483	0,330	0,011	0,213	73,90	253,90	0,013	0,013	0,258	80,43	26,02	20,85
27-jul	73,58	0,451	0,399	168,81	194,303	0,319	0,010	0,207	71,27	244,45	0,013	0,013	0,248	77,44	25,81	20,18
28-jul	72,63	0,418	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



a)



b)

Figura 14. Ruta E618 / Brisas Del Golf – Metro Cerro Viento. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 16. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	26,71	21,05

En la ruta E618 se presentan diferencias en altitud del orden de los 190 m, al igual que las rutas anteriores impone una carga importante por efectos de la gravedad, que demanda más potencia del motor. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 26.71 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 21.05 %.

Tabla 17. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Fecha	Registro de Bitacora				Valores del Modelo										Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomía kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL						% CO2	% TCO2eq
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
31-jul	106.1	0.624	0.39	232.3	267.0	0.438	0.014	0.284	97.9	338.6	0.018	0.018	0.344	107.3	26.8	21.1
01-ago	94.3	0.405	0.34	232.4	265.5	0.435	0.014	0.282	97.4	337.2	0.018	0.018	0.343	106.8	27.0	21.4
02-ago	90.5	0.390	0.33	268.6	306.4	0.502	0.016	0.326	112.4	389.9	0.021	0.021	0.396	123.5	27.3	21.6
03-ago	76.5	0.284	0.41	214.2	247.1	0.405	0.013	0.263	90.6	315.0	0.017	0.017	0.320	99.8	27.5	21.8
04-ago	87.0	0.404	0.34	238.3	272.1	0.446	0.015	0.289	99.8	347.0	0.018	0.018	0.353	109.9	27.5	21.8
07-ago	67.5	0.185	0.32	250.4	285.1	0.468	0.015	0.303	104.6	362.9	0.019	0.019	0.369	114.9	27.3	21.6
08-ago	51.6	0.413	0.33	250.5	285.6	0.468	0.015	0.304	104.8	361.6	0.019	0.019	0.367	114.6	26.6	20.9
09-ago	85.8	0.342	0.34	250.5	285.9	0.469	0.015	0.304	104.9	366.1	0.019	0.019	0.372	116.0	28.0	22.3
10-ago	92.4	0.368	0.38	232.3	266.8	0.438	0.014	0.284	97.9	340.8	0.018	0.018	0.346	108.0	27.7	22.0
11-ago	95.7	0.411	0.28	130.9	148.3	0.243	0.008	0.158	54.4	189.3	0.010	0.010	0.192	60.0	27.6	21.9
31-jul	-	-	0.40	197.5	227.2	0.373	0.012	0.242	83.3	288.2	0.015	0.015	0.293	91.3	26.8	21.1
01-ago	72.9	0.367	0.39	196.2	225.7	0.370	0.012	0.240	82.8	284.2	0.015	0.015	0.289	90.0	25.9	20.3
02-ago	91.0	0.462	0.40	214.4	246.7	0.405	0.013	0.262	90.5	312.9	0.017	0.017	0.318	99.1	26.8	21.2
03-ago	98.8	0.462	0.40	214.4	246.8	0.405	0.013	0.262	90.5	311.5	0.016	0.016	0.316	98.7	26.2	20.6
04-ago	90.4	0.420	0.36	214.8	246.1	0.404	0.013	0.262	90.2	311.2	0.016	0.016	0.316	98.6	26.5	20.8
07-ago	80.6	0.251	0.35	107.5	123.0	0.202	0.007	0.131	45.1	155.6	0.008	0.008	0.158	49.3	26.5	20.9
08-ago	52.8	0.488	0.42	196.4	226.7	0.372	0.012	0.241	83.1	283.7	0.015	0.015	0.288	89.9	25.2	19.6
09-ago	56.2	0.287	0.42	214.5	247.6	0.406	0.013	0.263	90.8	310.0	0.016	0.016	0.315	98.2	25.2	19.6
10-ago	88.7	0.413	0.39	214.4	246.4	0.404	0.013	0.262	90.4	310.0	0.016	0.016	0.315	98.2	25.8	20.2
11-ago	89.5	0.416	0.40	106.7	122.8	0.201	0.007	0.131	45.0	154.6	0.008	0.008	0.157	49.0	25.9	20.3

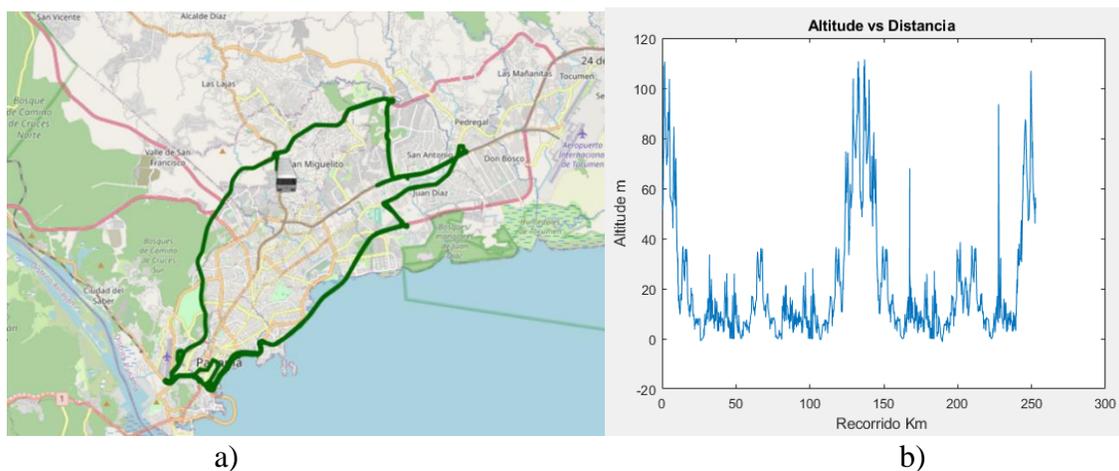


Figura 15. Ruta S530-I / Llano Bonito – Corredor Sur – ZP 5 de Mayo – Albroom / S530-R / Corredor Sur – Llano Bonito – Metro Pedregal. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 18. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	22.42	16.94

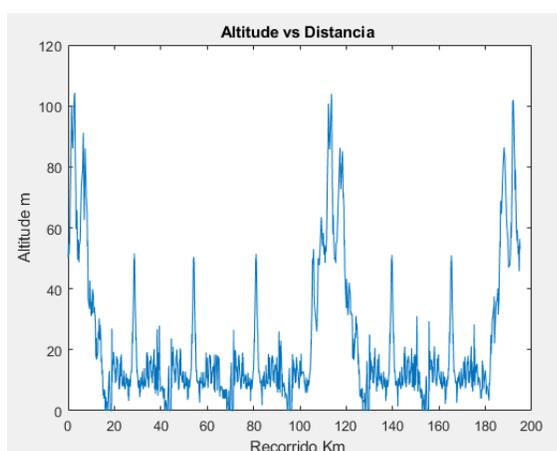
En la ruta S530 se presentan diferencias en altitud del orden de los 110 m, al igual que las rutas anteriores impone una carga importante por efectos de la gravedad, que demanda más potencia del motor. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 22.42 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 16.94 %.

Tabla 19. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomía kg/km	Info de la ruta		LNG					DIESEL					% CO2	% TCO2eq
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
14-ago	66.2	0.466	0.395	249.3	286.9	0.471	0.015	0.305	105.2	349.1	0.018	0.018	0.355	110.6	21.7	16.2
15-ago	82.8	0.331	0.345	274.0	313.0	0.513	0.017	0.333	114.8	387.4	0.020	0.020	0.394	122.7	23.7	18.2
16-ago	83.8	0.305	0.343	255.7	292.1	0.479	0.016	0.311	107.1	357.6	0.019	0.019	0.363	113.3	22.4	17.0
17-ago	82.1	0.321	0.366	252.8	289.7	0.475	0.016	0.308	106.2	353.3	0.019	0.019	0.359	111.9	22.0	16.5
18-ago	88.6	0.349	0.351	223.7	255.7	0.419	0.014	0.272	93.8	309.9	0.016	0.016	0.315	98.2	21.2	15.7
21-ago	83.3	0.370	0.373	252.9	290.1	0.476	0.016	0.309	106.4	355.9	0.019	0.019	0.362	112.7	22.7	17.2
22-ago	91.4	0.360	0.360	249.5	285.6	0.468	0.015	0.304	104.8	352.0	0.019	0.019	0.358	111.5	23.2	17.7
23-ago	101.9	0.406	0.594	133.1	158.0	0.259	0.009	0.168	58.0	191.7	0.010	0.010	0.195	60.7	21.3	15.9
24-ago	60.0	0.448	0.350	275.2	314.7	0.516	0.017	0.335	115.4	383.6	0.020	0.020	0.390	121.5	21.9	16.5
25-ago	89.2	0.323	0.372	277.9	318.7	0.523	0.017	0.339	116.9	388.6	0.021	0.021	0.395	123.1	21.9	16.5
14-ago	71.2	0.665	0.352	237.7	271.8	0.446	0.015	0.289	99.7	335.0	0.018	0.018	0.340	106.1	23.2	17.7
15-ago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-ago	76.7	0.320	0.341	271.3	309.7	0.508	0.017	0.329	113.6	377.7	0.020	0.020	0.384	119.6	21.9	16.5
17-ago	90.2	0.332	0.376	276.8	317.5	0.521	0.017	0.338	116.5	389.0	0.021	0.021	0.395	123.2	22.5	17.0
18-ago	90.9	0.327	0.362	198.0	226.7	0.372	0.012	0.241	83.2	279.3	0.015	0.015	0.284	88.5	23.2	17.7
21-ago	79.8	0.378	0.390	252.1	289.8	0.475	0.016	0.308	106.3	355.1	0.019	0.019	0.361	112.5	22.5	17.1
22-ago	85.2	0.337	0.398	251.1	289.0	0.474	0.016	0.307	106.0	356.9	0.019	0.019	0.363	113.1	23.5	18.0
23-ago	66.9	0.266	0.564	142.4	168.2	0.276	0.009	0.179	61.7	206.3	0.011	0.011	0.210	65.4	22.7	17.2
24-ago	67.6	0.473	0.369	274.6	314.8	0.516	0.017	0.335	115.5	384.8	0.020	0.020	0.391	121.9	22.3	16.8
25-ago	81.3	0.294	0.328	275.4	313.9	0.515	0.017	0.334	115.1	383.4	0.020	0.020	0.390	121.5	22.2	16.7



a)



b)

Figura 16. Ruta I672 / ZP 5 de Mayo – Vía Israel – Panamá Viejo – Metro Cincuentenario. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 20. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	24.43	18.86

En la ruta I672 se presentan diferencias en altitud del orden de los 100 m, al igual que las rutas anteriores, sin embargo, tiene recorridos en donde los cambios en elevación no son tan altos, en algunos de 20 m, en otras zonas, de 50 m. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 22.42 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 16.94 %.

Tabla 21. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta I672

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG					DIESEL					% CO2	% TCO2eq
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
28-ago	92,51	0,33	0,407	198,41	228,66	0,375	0,012	0,243	83,87	286,27	0,015	0,015	0,291	90,69	25,20	19,57
29-ago	90,31	0,46	0,413	195,07	225,02	0,369	0,012	0,239	82,53	284,07	0,015	0,015	0,289	89,99	26,24	20,60
30-ago	87,46	0,44	0,392	84,33	96,97	0,159	0,005	0,103	35,57	120,77	0,006	0,006	0,123	38,26	24,55	19,01
31-ago	53,71	0,63	0,471	175,05	203,68	0,334	0,011	0,217	74,71	251,92	0,013	0,013	0,256	79,81	23,68	18,14
01-sep	67,55	0,39	0,297	194,98	221,34	0,363	0,012	0,235	81,18	276,34	0,015	0,015	0,281	87,54	24,85	19,24
04-sep	83,68	0,43	0,495	167,93	196,15	0,322	0,011	0,209	71,94	242,69	0,013	0,013	0,247	76,88	23,72	18,22
05-sep	71,18	0,42	0,431	193,82	224,16	0,368	0,012	0,238	82,22	279,99	0,015	0,015	0,285	88,70	24,91	19,34
06-sep	74,95	0,36	0,468	170,87	198,72	0,326	0,011	0,211	72,89	250,30	0,013	0,013	0,254	79,29	25,95	20,35
07-sep	89,46	0,52	0,446	169,98	197,02	0,323	0,011	0,210	72,26	247,26	0,013	0,013	0,251	78,33	25,50	19,90
08-sep	76,19	0,45	0,472	170,54	198,47	0,326	0,011	0,211	72,79	247,92	0,013	0,013	0,252	78,54	24,92	19,33
28-ago	100,51	0,55	0,407	198,40	228,63	0,375	0,012	0,243	83,86	286,23	0,015	0,015	0,291	90,68	25,20	19,62
29-ago	96,88	0,32	0,152	195,07	217,79	0,357	0,012	0,232	79,88	274,61	0,015	0,015	0,279	86,99	26,09	20,47
30-ago	90,50	0,47	0,556	108,33	127,81	0,210	0,007	0,136	46,88	158,30	0,008	0,008	0,161	50,15	23,86	18,32
31-ago	61,78	0,57	0,414	175,05	201,93	0,331	0,011	0,215	74,06	249,76	0,013	0,013	0,254	79,12	23,68	18,16
01-sep	80,27	0,41	0,291	199,21	225,97	0,371	0,012	0,240	82,88	278,71	0,015	0,015	0,283	88,29	23,34	17,85
04-sep	95,11	0,48	0,446	195,42	226,52	0,372	0,012	0,241	83,08	280,44	0,015	0,015	0,285	88,84	23,81	18,26
05-sep	89,48	0,46	0,438	197,73	228,94	0,375	0,012	0,244	83,97	283,27	0,015	0,015	0,288	89,74	23,73	18,19
06-sep	91,38	0,46	0,623	98,21	117,21	0,192	0,006	0,125	42,99	145,99	0,008	0,008	0,148	46,25	24,55	18,93
07-sep	62,23	0,64	0,421	196,17	226,52	0,372	0,012	0,241	83,08	276,42	0,015	0,015	0,281	87,57	22,03	16,56
08-sep	86,22	0,44	0,441	194,75	225,56	0,370	0,012	0,240	82,73	276,77	0,015	0,015	0,281	87,68	22,70	17,22

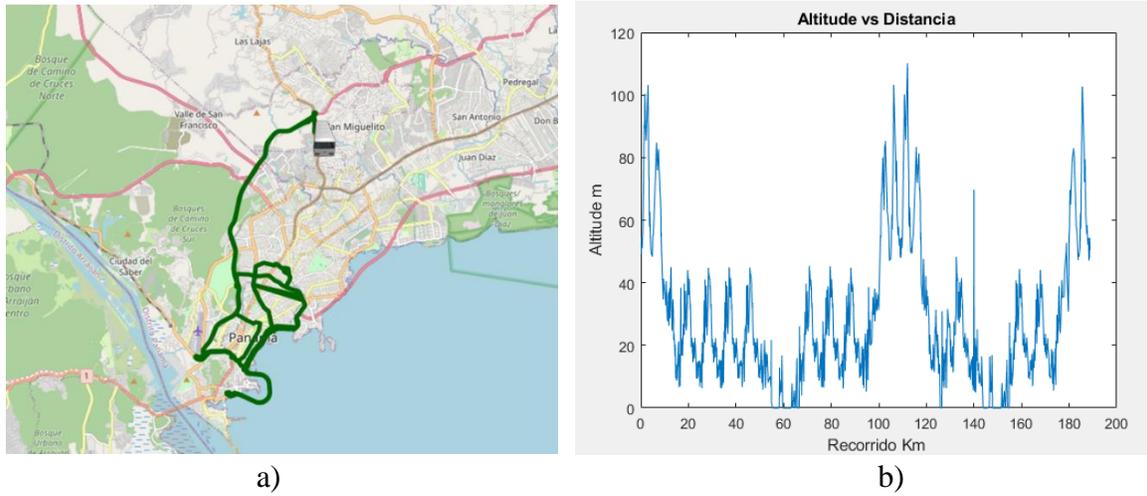


Figura 17. Ruta C898 / Paitilla – Plaza Edison – Vía Brasil. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 22. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	21.72	16.19

En ciertos sectores, la ruta C898 presenta diferencias en altitud del orden de los 110 m, pero los cambios en elevación no son tan marcados, en algunos de 10 m, en otras zonas, de 35 m. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO2 es de 21.72 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO2e es de 16.19 %.

Tabla 23. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS
Ruta C898.

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL					% CO2	% TCO2eq	
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq			kg DIESEL
11-sep	76,19	0,443	0,394	207,31	238,46	0,391	0,013	0,254	87,46	293,99	0,016	0,016	0,299	93,13	23,29	17,78
12-sep	80,95	0,391	0,423	198,05	228,79	0,375	0,012	0,243	83,91	281,20	0,015	0,015	0,286	89,08	22,91	17,43
13-sep	88,90	0,447	0,412	197,42	227,68	0,373	0,012	0,242	83,51	281,41	0,015	0,015	0,286	89,15	23,60	18,09
14-sep	86,61	0,440	0,439	188,80	218,64	0,359	0,012	0,233	80,19	268,21	0,014	0,014	0,273	84,97	22,67	17,20
15-sep	84,30	0,444	0,461	179,81	208,90	0,343	0,011	0,222	76,62	257,39	0,014	0,014	0,262	81,54	23,21	17,69
18-sep	78,45	0,436	0,454	187,03	217,07	0,356	0,012	0,231	79,62	265,28	0,014	0,014	0,270	84,04	22,21	16,77
19-sep	71,81	0,368	0,446	185,91	215,50	0,353	0,012	0,229	79,04	264,05	0,014	0,014	0,268	83,65	22,53	17,06
20-sep	85,96	0,460	0,441	185,63	215,02	0,353	0,012	0,229	78,86	262,29	0,014	0,014	0,267	83,09	21,99	16,53
21-sep	87,82	0,472	0,448	185,71	215,35	0,353	0,012	0,229	78,98	262,99	0,014	0,014	0,267	83,31	22,13	16,68
22-sep	75,74	0,407	0,453	176,56	204,87	0,336	0,011	0,218	75,14	251,63	0,013	0,013	0,256	79,71	22,82	17,30
11-sep	95,66	0,491	0,460	206,12	239,45	0,393	0,013	0,255	87,83	291,73	0,015	0,015	0,296	92,42	21,83	16,37
12-sep	92,58	0,449	0,433	195,45	226,12	0,371	0,012	0,241	82,93	279,71	0,015	0,015	0,284	88,61	23,70	18,17
13-sep	101,29	0,519	0,420	200,33	231,30	0,379	0,012	0,246	84,84	281,68	0,015	0,015	0,286	89,23	21,78	16,34
14-sep	100,19	0,501	0,467	178,98	208,13	0,341	0,011	0,221	76,34	248,21	0,013	0,013	0,252	78,63	19,26	13,96
15-sep	96,34	0,538	0,439	195,08	225,88	0,370	0,012	0,240	82,85	276,80	0,015	0,015	0,281	87,69	22,54	17,07
18-sep	95,59	0,490	0,495	176,47	206,12	0,338	0,011	0,219	75,60	248,74	0,013	0,013	0,253	78,80	20,68	15,28
19-sep	97,64	0,511	0,449	188,82	218,98	0,359	0,012	0,233	80,32	265,21	0,014	0,014	0,265	84,02	21,11	13,74
20-sep	100,98	0,534	0,475	174,20	202,83	0,333	0,011	0,216	74,39	238,84	0,013	0,013	0,243	75,66	17,75	12,47
21-sep	95,44	0,545	0,437	189,46	219,32	0,360	0,012	0,233	80,44	261,78	0,014	0,014	0,266	82,93	19,36	14,07
22-sep	97,43	0,516	0,468	171,80	199,82	0,328	0,011	0,213	73,29	237,93	0,013	0,013	0,242	73,37	19,07	13,74

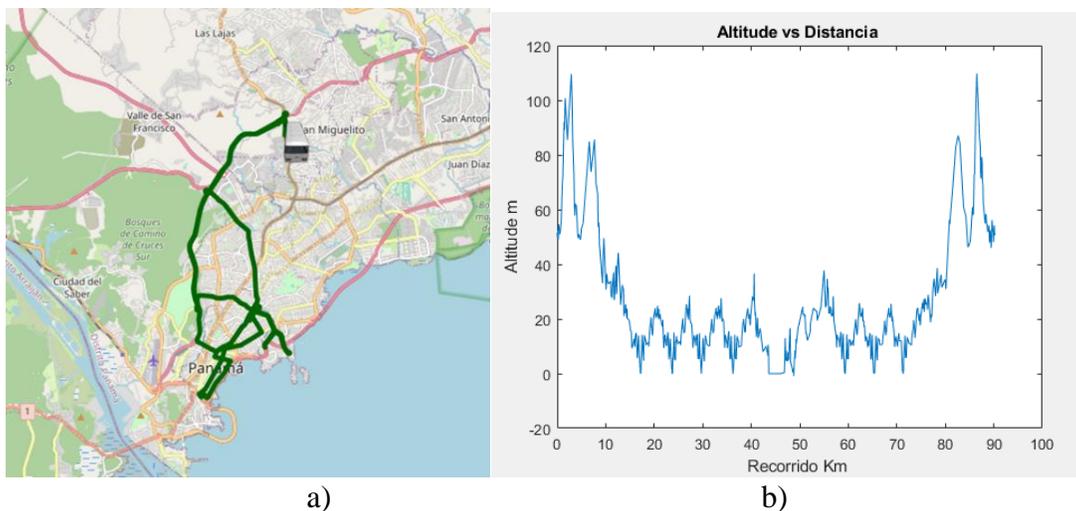


Figura 18. Ruta C968 / Vía Brasil – Punta Pacífica – Vía Brasil -Metro Vía Argentina. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 24. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	22.08	16.63

En la ruta C968 se observan diferencias en altitud del orden de los 110 m, sin embargo, en segmentos importantes de recorridos, por las distancias, en donde los cambios en elevación no son tan altos, en algunos de 30 m. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 22.08 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 16.63 %.

Tabla 25. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta C968.

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG					DIESEL					% CO2	% TCO2eq
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
25-sep	-	-	0,378	88,19	101,21	0,160	0,005	0,108	37,12	125,30	0,007	0,007	0,127	22,90	23,80	18,31
26-sep	56,40	0,623	0,358	88,98	101,83	0,167	0,005	0,108	37,35	126,21	0,007	0,007	0,128	39,98	23,93	18,37
27-sep	47,21	0,522	0,354	88,36	101,07	0,166	0,005	0,108	37,07	125,11	0,007	0,007	0,127	39,63	23,78	18,23
28-sep	41,51	0,466	0,466	158,72	184,54	0,303	0,010	0,196	67,68	225,08	0,012	0,012	0,229	41,75	21,97	16,56
29-sep	56,47	0,355	0,465	166,60	193,66	0,318	0,010	0,206	71,03	238,32	0,013	0,013	0,242	43,82	23,06	17,52
02-oct	74,06	0,441	0,465	166,18	193,18	0,317	0,010	0,205	70,85	236,43	0,012	0,012	0,240	74,90	22,38	16,94
03-oct	71,24	0,427	0,384	163,02	187,25	0,307	0,010	0,199	68,68	228,85	0,012	0,012	0,233	72,50	22,22	16,78
04-oct	78,97	0,459	0,454	166,20	192,87	0,316	0,010	0,205	70,74	236,22	0,012	0,012	0,240	74,83	22,47	17,02
05-oct	69,35	0,415	0,487	148,45	173,19	0,284	0,009	0,184	63,52	212,93	0,011	0,011	0,216	67,45	22,95	17,43
06-oct	76,31	0,512	0,475	159,44	185,63	0,304	0,010	0,197	68,09	227,86	0,012	0,012	0,232	72,19	22,75	17,27
25-sep	94,46	-	0,526	139,91	164,25	0,269	0,009	0,175	60,24	199,29	0,011	0,011	0,203	19,72	21,33	15,91
26-sep	69,83	0,333	0,462	182,75	212,36	0,348	0,011	0,226	77,89	255,33	0,013	0,013	0,259	80,89	20,24	14,88
27-sep	81,33	0,387	0,498	155,19	181,34	0,297	0,010	0,193	66,51	220,22	0,012	0,012	0,224	69,76	21,44	15,97
28-sep	80,82	0,521	0,502	151,98	177,70	0,291	0,010	0,189	65,12	214,72	0,011	0,011	0,218	68,02	20,83	15,40
29-sep	83,65	0,547	0,494	155,69	181,83	0,298	0,010	0,193	66,69	221,60	0,012	0,117	0,225	70,20	21,87	16,39
02-oct	75,28	0,486	0,490	157,77	184,15	0,302	0,010	0,196	67,54	226,79	0,012	0,012	0,230	71,84	23,15	17,67
03-oct	82,57	0,758	0,476	167,56	195,12	0,320	0,010	0,208	71,57	236,55	0,013	0,013	0,240	74,94	21,23	15,81
04-oct	75,96	0,348	0,490	156,81	183,00	0,300	0,010	0,195	67,12	226,67	0,012	0,012	0,230	71,81	23,86	18,35
05-oct	79,50	0,506	0,559	126,27	149,04	0,244	0,008	0,159	54,66	176,34	0,009	0,009	0,179	55,86	18,32	13,06
06-oct	65,51	0,520	0,557	122,82	144,93	0,238	0,008	0,154	53,16	173,98	0,009	0,009	0,177	55,12	20,05	14,73

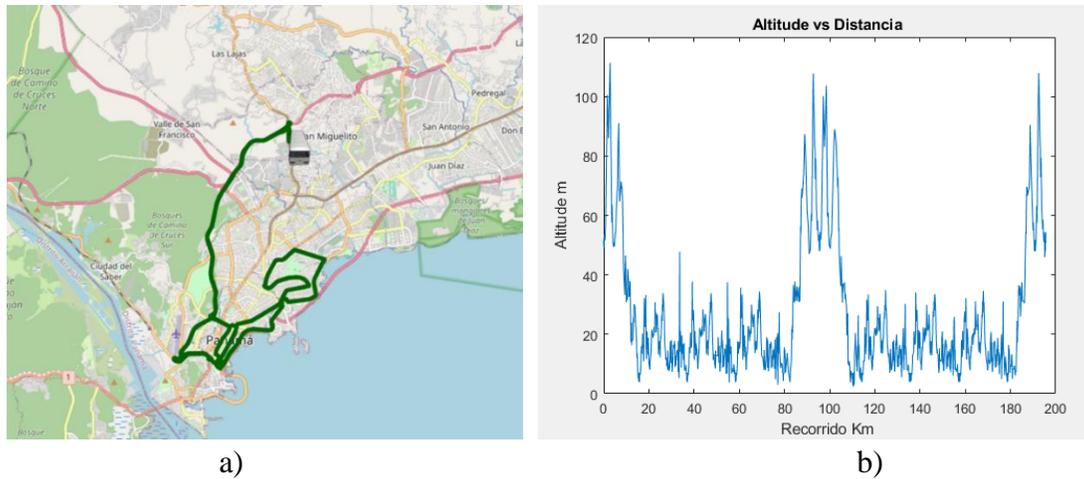


Figura 19. Ruta C938 / Vía España – Ernesto T Lefevre – Av Balboa – ZP 5 de Mayo. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 26. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

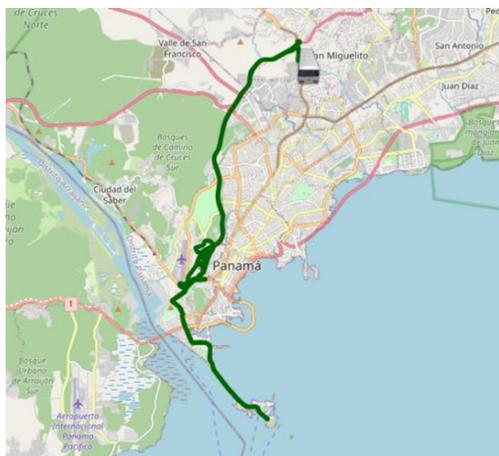
Prom	% CO ₂	% TCO ₂ eq
	21.43	16.00

En la ruta C938 se observan diferencias en altitud del orden de los 110 m, sin embargo, en segmentos importantes de recorridos, por las distancias, en donde los cambios en elevación no son tan altos, en algunos de 40 m. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 21.43 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 16.00 %.

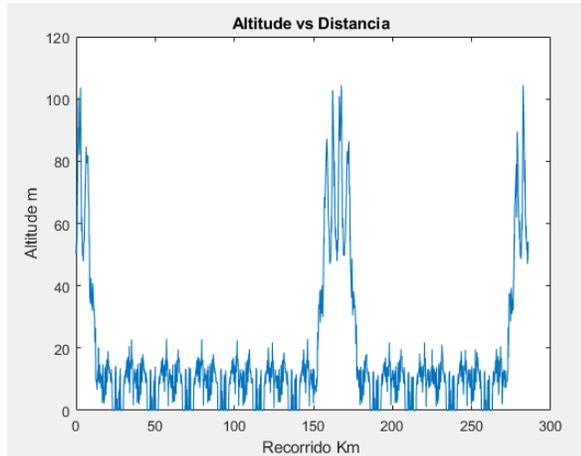
Tabla 27. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta C938.

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomía a kg/km	Info de la ruta		LNG				DIESEL						% CO2	% TCO2eq
			quor - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
09-oct	77.05	0.482	0.500	173.82	203.19	0.333	0.011	0.216	74.52	238.38	0.013	0.013	0.242	75.52	17.32	12.08
10-oct	82.92	0.477	0.417	195.67	225.85	0.370	0.012	0.240	82.84	271.54	0.014	0.014	0.276	86.02	20.23	14.86
11-oct	84.52	0.429	0.471	174.62	203.19	0.333	0.011	0.216	74.52	236.76	0.013	0.013	0.241	75.00	16.52	11.29
12-oct	98.02	0.560	0.431	184.96	213.91	0.351	0.011	0.228	78.46	252.85	0.013	0.013	0.257	80.10	18.20	12.92
13-oct	96.55	0.522	0.477	161.26	187.81	0.308	0.010	0.200	69.88	224.91	0.012	0.012	0.229	71.25	19.76	14.42
16-oct	70.81	0.437	0.477	172.96	201.44	0.330	0.011	0.214	73.88	240.62	0.013	0.013	0.245	76.23	19.45	14.15
17-oct	100.70	0.579	0.391	183.36	210.84	0.346	0.011	0.224	77.33	256.51	0.014	0.014	0.261	81.26	21.66	16.24
18-oct	94.38	0.486	0.442	197.54	228.84	0.375	0.012	0.243	83.93	273.10	0.014	0.014	0.278	86.52	19.34	14.01
19-oct	106.74	0.536	0.447	205.77	238.55	0.391	0.013	0.254	87.50	285.39	0.015	0.015	0.290	90.41	19.63	14.27
20-oct	105.05	0.510	0.549	52.69	63.82	0.105	0.003	0.068	23.41	77.80	0.004	0.004	0.079	24.65	21.91	16.35
09-oct	68.56	0.553	0.468	180.01	209.36	0.343	0.011	0.223	76.79	255.97	0.014	0.014	0.260	81.09	22.27	16.85
10-oct	80.74	0.449	0.451	181.51	210.57	0.345	0.011	0.224	77.23	261.30	0.014	0.014	0.266	82.78	24.09	18.58
11-oct	85.66	0.471	0.464	171.38	199.22	0.327	0.011	0.212	73.07	248.65	0.013	0.013	0.253	78.77	24.82	19.21
12-oct	86.34	0.505	0.470	171.01	198.98	0.326	0.011	0.212	72.98	248.01	0.013	0.013	0.252	78.57	24.64	19.09
13-oct	84.97	0.494	0.475	171.27	199.45	0.327	0.011	0.212	73.15	248.62	0.013	0.013	0.253	78.76	24.65	19.09
16-oct	83.75	0.490	0.418	194.26	224.24	0.368	0.012	0.239	82.24	277.54	0.015	0.015	0.282	87.92	23.77	18.24
17-oct	89.05	0.459	0.436	185.22	214.36	0.352	0.012	0.228	78.62	264.77	0.014	0.014	0.269	83.88	23.52	17.98
18-oct	88.46	0.476	0.425	192.12	221.99	0.364	0.012	0.236	81.42	269.92	0.014	0.014	0.274	85.51	21.59	16.14
19-oct	97.01	0.505	0.501	147.08	171.95	0.282	0.009	0.183	63.07	214.17	0.011	0.011	0.218	67.85	24.55	18.97
20-oct	80.80	0.546	0.549	82.78	97.54	0.160	0.005	0.104	35.77	117.67	0.006	0.006	0.120	37.28	20.64	15.24



a)



b)

Figura 20. Ruta C850 / Amador – Metro Albrook. a) Mapa, b) Topografía.

Tabla 28. Promedio de la diferencia porcentual para la ruta.

Prom	% CO2	% TCO2eq
	23,85	18,31

La ruta C850 presenta diferencias en altitud del orden de los 110 m, sin embargo, se observa recorridos significativos en segmentos importantes, por las distancias recorridas, en donde los

cambios en elevación no son tan altos, en algunos de 40 m. El promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂ es de 23.85 % y el promedio de la diferencia porcentual de las toneladas de CO₂e es de 18.31 %.

Tabla 29. Estimado de las emisiones obtenidas con la aplicación del modelo a la data obtenida por el GPS.

Ruta C850

Fecha	Registro de Bitacora		Valores del Modelo												Diferencia porcentual	
	kg de combustible	Autonomia kg/km	Info de la ruta		LNG					DIESEL					% CO2	% TCO2eq
			quo - ralenti	elrec - recorrido km	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg LNG	kg CO2	kg CH4	kg N2O	TCO2eq	kg DIESEL		
13-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-nov	-	-	0,327	246,10	314,65	0,516	0,017	0,335	115,41	397,89	0,021	0,021	0,404	126,05	26,46	20,80
15-nov	104,64	0,363	0,348	243,94	278,80	0,457	0,015	0,297	102,26	354,21	0,019	0,019	0,360	112,21	27,05	21,38
16-nov	78,31	0,318	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17-nov	-	-	0,281	245,92	278,60	0,457	0,015	0,296	102,18	352,44	0,019	0,019	0,358	111,65	26,51	20,86
20-nov	47,57	0,453	0,362	292,75	335,21	0,550	0,018	0,357	122,95	419,36	0,022	0,022	0,426	132,85	25,10	19,50
21-nov	95,08	0,322	0,326	286,80	326,83	0,536	0,018	0,348	119,87	411,43	0,022	0,022	0,418	130,34	25,88	20,25
22-nov	97,03	0,337	0,334	272,72	311,10	0,510	0,017	0,331	114,10	391,05	0,021	0,021	0,397	123,88	25,70	20,10
23-nov	113,77	0,415	0,333	285,79	325,99	0,535	0,017	0,347	119,56	410,37	0,022	0,022	0,417	130,00	25,88	20,25
24-nov	104,64	0,365	0,332	285,62	325,73	0,534	0,017	0,346	119,47	411,12	0,022	0,022	0,418	130,24	26,22	20,58
27-nov	63,29	0,433	0,283	142,49	161,47	0,265	0,009	0,172	59,22	191,94	0,010	0,010	0,195	60,80	18,87	13,57
28-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29-nov	25,08	0,184	0,341	270,39	308,76	0,506	0,017	0,328	113,24	374,67	0,020	0,020	0,381	118,69	21,35	15,90
30-nov	82,50	0,607	0,329	273,74	312,08	0,512	0,017	0,332	114,46	374,92	0,020	0,020	0,381	118,77	20,14	14,76
01-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-nov	-	-	0,318	293,48	334,08	0,548	0,018	0,355	122,53	420,87	0,022	0,022	0,428	133,33	25,98	20,35
15-nov	111,58	0,365	0,317	274,81	312,78	0,513	0,017	0,333	114,72	394,78	0,021	0,021	0,401	125,06	26,22	20,60
16-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17-nov	-	-	0,320	293,33	334,00	0,548	0,018	0,355	122,50	421,07	0,022	0,022	0,428	133,39	26,07	20,44
20-nov	70,90	0,432	0,310	295,13	335,59	0,550	0,018	0,357	123,09	425,05	0,022	0,022	0,432	134,65	26,66	20,99
21-nov	95,90	0,324	0,310	294,60	334,99	0,549	0,018	0,356	122,87	424,30	0,022	0,022	0,431	134,41	26,66	20,99
22-nov	107,52	0,363	0,579	130,42	154,47	0,253	0,008	0,164	56,66	194,20	0,010	0,010	0,197	61,52	25,72	20,09
23-nov	63,23	0,483	0,300	296,26	336,48	0,552	0,018	0,358	123,41	426,49	0,022	0,022	0,433	135,11	26,75	21,10
24-nov	96,75	0,325	0,334	276,59	315,51	0,517	0,017	0,336	115,72	398,51	0,021	0,021	0,405	126,24	26,31	20,69
27-nov	70,12	0,256	0,431	111,37	128,80	0,211	0,007	0,137	47,24	159,19	0,008	0,008	0,162	50,43	23,59	18,03
28-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29-nov	25,29	0,224	0,389	224,50	258,06	0,423	0,014	0,274	94,65	316,70	0,017	0,017	0,322	100,33	22,73	17,27
30-nov	66,95	0,592	0,315	271,36	308,80	0,506	0,017	0,328	113,26	376,25	0,020	0,020	0,382	119,19	21,85	16,41
01-dic	87,48	0,322	0,400	213,16	245,40	0,402	0,013	0,261	90,01	291,54	0,015	0,015	0,296	92,36	18,80	13,49

PROMEDIOS DE LAS DIFERENCIAS PROCENTUALES

Promedio de la Diferencia Porcentual DIESEL-LNG CO ₂	Promedio de la Diferencia Porcentual DIESEL-LNG CO ₂ e
23.62	18.09

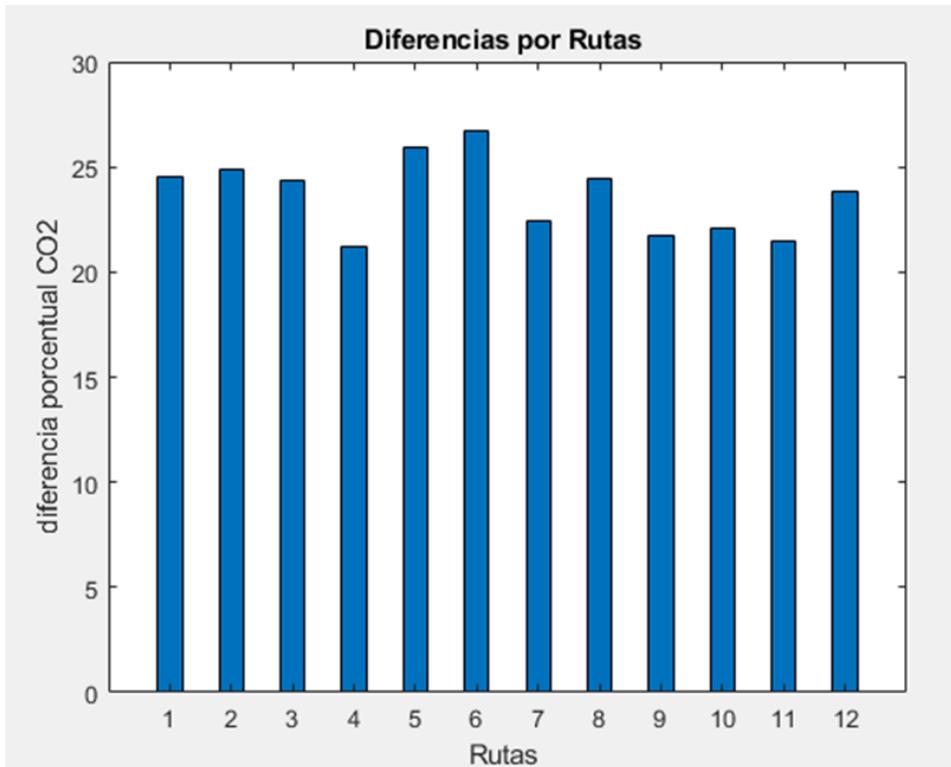


Figura 21. Promedio de diferencias porcentuales de CO₂

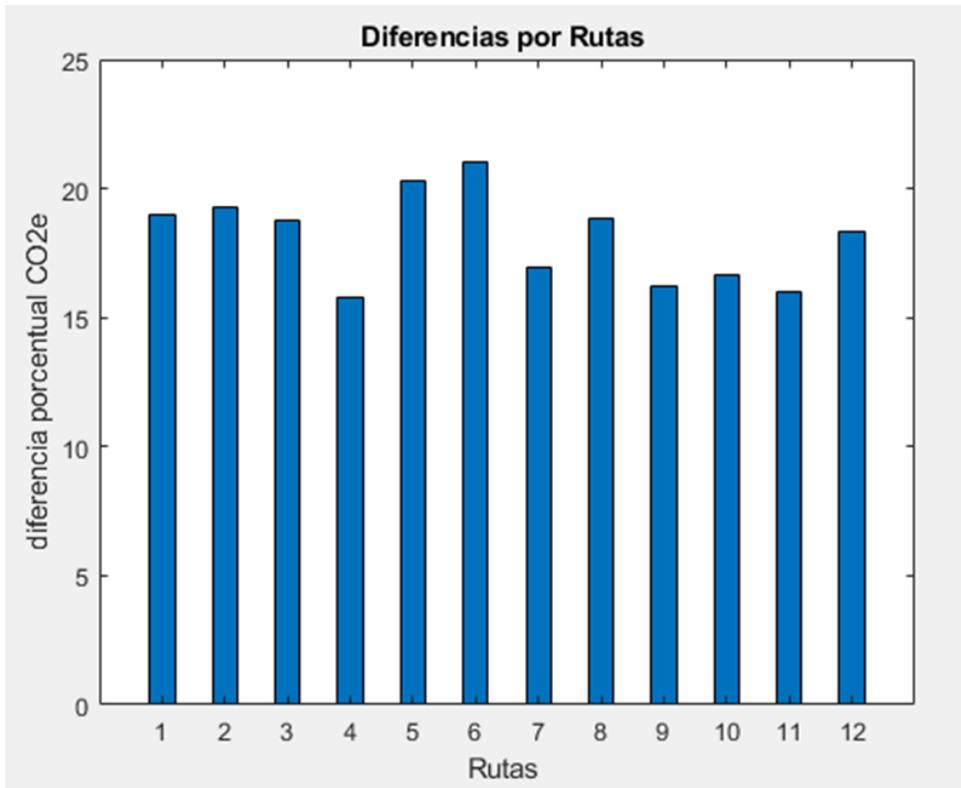


Figura 22. Promedio de diferencias porcentual CO_{2e}

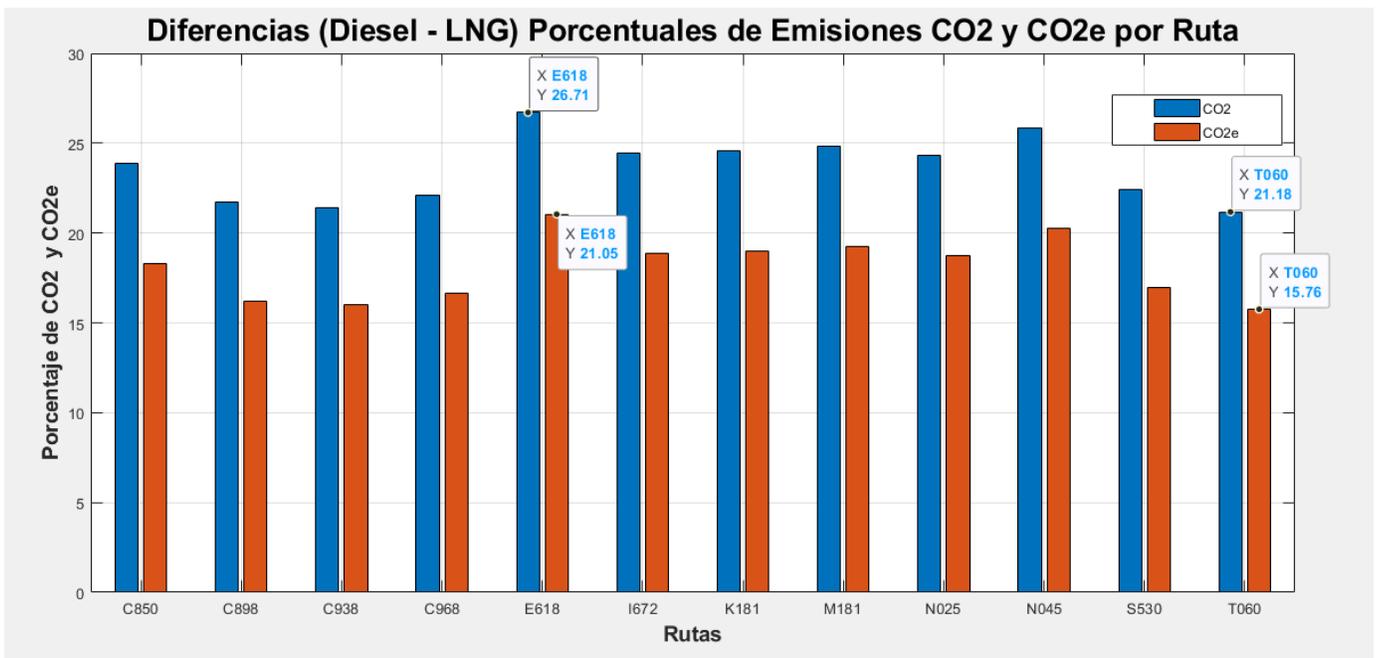


Figura 23. Diferencias porcentual CO₂ y CO_{2e} por Ruta

CONCLUSIONES

Realizado este proyecto piloto y habiendo generado el modelo matemático para la estimación de emisiones, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

1. Se logró demostrar por medio de un modelo matemático que vehículos de capacidades y características geométricas idénticas y recorriendo las mismas rutas, que al operar con combustible LNG las emisiones en toneladas de CO_2 son inferiores a las del vehículo que opera con Diesel en un rango de 21.18 % hasta 26.71 % con un promedio de las rutas de 23.62 %. En el caso de CO_2 **equivalente** son inferiores que las correspondientes al vehículo que opera con combustible Diesel en un porcentaje en un rango que va de 15.76 % hasta 21.05 % y con un promedio de 18.08 %.
2. Se utilizó el conjunto de datos de campo, obtenido por GPS a lo largo del recorrido de las rutas establecidas para generar las variables topográficas y cinemáticas requeridas con un grado de incertidumbre manejable.
3. Las variables topográficas y cinemáticas se utilizaron para realizar el análisis de Dinámica Inversa. Es decir, a partir de la evolución de la cinemática del vehículo (obtenida del GPS) se determinaron las variables de la cinética, las fuerzas requeridas para provocar el movimiento, para dos vehículos operados con combustible LNG y un vehículo con idénticas características físicas.
4. Se determinaron los requerimientos de potencia y energía para realizar el recorrido de las rutas de acuerdo con la data obtenida del GPS.
5. Con base en el poder calorífico de los combustibles LNG y Diesel se establecieron los kilogramos de combustibles requeridos en las rutas.
6. Se dispone de una herramienta de análisis que podría utilizarse para analizar nuevas rutas y realizar estudios de optimización de rutas.
7. Con una captura de datos vía GPS ajustada según los requerimientos de este tipo de estudios, donde la tasa de muestreo por ejemplo sea de al menos 1 dato por segundo la exactitud del modelo aumentaría significativamente.
8. Con disponibilidad de data además de la del GPS que incluya velocidad lineal de traslación del vehículo, las RPM del motor, variables ambientales sería posible incrementar la exactitud del modelo.

REFERENCIAS

1. DEP. (2020). *What are point, area and mobile sources?*
<https://www.nj.gov/dep/airtoxics/sourceso99.htm>
2. EEA (2016). Explaining road transport emissions: A non-technical guide.
[doi:10.2800/71804](https://doi.org/10.2800/71804)
3. Chigier, N. A. (1975). Pollution formation and destruction in flames-Introduction. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 1, 13. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1285\(75\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0360-1285(75)90003-9)
4. WHO. (2016). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.*
5. Brauer, M., Reynolds, C., & Hystad, P. (2013). Traffic-related air pollution and health in Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 185(18), 1557-1558.
<https://doi.org/10.1503/cmaj.121568>
6. Gehring, U., Wijga, A. H., Brauer, M., Fischer, P., de Jongste, J. C., Kerkhof, M., Oldenwening, M., Smit, H. A., & Brunekreef, B. (2010). Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am J Respir Crit Care Med*, 181(6), 596-603. <https://doi.org/10.1164/rccm.200906-0858OC>
7. Freire, C., Ramos, R., Puertas, R., Lopez-Espinosa, M. J., Julvez, J., Aguilera, I., Cruz, F., Fernandez, M. F., Sunyer, J., & Olea, N. (2010). Association of traffic-related air pollution with cognitive development in children. *J Epidemiol Community Health*, 64(3), 223-228. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.084574>
8. Costa, L. G., Cole, T. B., Coburn, J., Chang, Y. C., Dao, K., & Roque, P. J. (2017). Neurotoxicity of traffic-related air pollution. *Neurotoxicology*, 59, 133-139.
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.11.008>
9. INEC. *Estadísticas Ambientales*
https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=354&ID_CATEGORIA=16&ID_SUBCATEGORIA=49
10. EPA (2023). Learn About Impacts of Diesel Exhaust and the Diesel Emissions Reduction Act (DERA) <https://www.epa.gov/dera/learn-about-impacts-diesel-exhaust-and-diesel-emissions-reduction-act-dera#impact>
11. Kebede, L., Getu Segni Tulu, Robert Tama Lisinge. Diesel-fueled public transport vehicles and air pollution in Addis Ababa, Ethiopia: Effects of vehicle size, age and

- kilometers travelled. *Atmospheric Environment: X*, Volume 13, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100144>.
12. <https://namu.wiki/w/%ED%98%84%EB%8C%80%20Q%20%EC%97%94%EC%A7%84>
 13. https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_Aero_City
 14. Kebede, L., Getu Segni Tulu, Robert Tama Lisinge. Diesel-fueled public transport vehicles and air pollution in Addis Ababa, Ethiopia: Effects of vehicle size, age and kilometers travelled. *Atmospheric Environment: X*, Volume 13, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100144>.
 15. National Research Council. 2015. *Cost, Effectiveness, and Deployment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21744>.
 16. Shen, Y., Liu, Z., and Rinderknecht, S., "Modelling of Power Losses of Transmission Synchronizers in Neutral Position," SAE Technical Paper 2018-01-1228, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1228>.
 17. Hall, D. E.; J. C. Moreland (2001). "Fundamentals of Rolling Resistance". *Rubber Chemistry and Technology*. **74** (3): 525–539. doi:10.5254/1.3547650
 18. Mars, W. V.; J. R. Luchini (1999). "An Analytical Model for the Transient Rolling Resistance Behavior of Tires". *Tire Science and Technology*. **27** (3): 161–175. doi:10.2346/1.2135982
 19. Muñoz, M., Payri, F. (1994) *Motores de Combustión Interna Alternativos*, Servicio Publicaciones E. T. S. Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid.
 20. Pulkrabek, W. W.: *Engineering fundamentals of the Internal Combustion engine*, 2003.
 21. Heywood, J.: *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed, McGraw-Hill, 2018.

ANEXOS

Anexo 1

El código desarrollado en SCILAB denominado ENERGYLNG se lista a continuación

```
clear all
clear variables
clc
// PROYECTO PILOTO COLON LNG-AES
//Este código genera un perfil topográfico de ruta,
//genera un perfil de velocidades para el recorrido de la ruta.
//calcula la potencia instantánea, tomando en consideración la pendiente del
//terreno, la potencia para vencer el arrastre del aire, la potencia
//requerida por la fricción, la potencia por la fricción interna
//en el motor, la potencia por accesorios, la potencia por A/A.
//Se realiza la integral de la potencia en el tiempo, obteniendo la energía total
//requerida para el recorrido. Utilizando el poder calorífico del
//combustible y la eficiencia se obtienen las masas de combustibles de LNG y
//de Diesel. Se obtienen los galones consumidos de LNG y de Diesel. Se
//calculan los kilogramos de emisiones de CO2, CH4, N2O y las toneladas
//equivalentes de CO2e.

global ti x slp acc mass velo pet pdi pind ;

ti = csvRead('21-10-19.csv','S9:S1466');
xin = csvRead('21-10-19.csv','M9:M10');
xfi = csvRead('21-10-19.csv','M1465:M1466');
slp = csvRead('21-10-19.csv','L9:L1466');
numdats = length(slp);
velo = csvRead('21-10-19.csv','R9:R1466');
numdat = length(velo);
numdat1=numdat-1;
vprome=0.0;
ranum=rand;
cont1=0;
tral=0.0;
fc=1.0;
for i=1:numdat;

    vprome=vprome+velo(i);
    acc(i,1)=0.0;

end;

for i=1:numdat1;
if velo(i)<0.01
    delt=abs((ti(i+1) -ti(i))*0.8);
```

```

    tral=tral+delt;
else
end;
end;
ttt=(ti(numdat)-ti(1))/3600
tralh=tral/3600;
tralh
quo=tralh/ttt
elrec=(xfi(2) - xin(1))
re=(0.4+0.03*quo+0.038*quo^2)*elrec;
vprome=vprome*3.6/numdat;
vprome;
dprom=vprome*(ttt -tralh)

for i=1:numdat1;

    acc(i)=(velo(i+1)-velo(i))/(ti(i+1)+2-ti(i));

end;

acc(numdat)=acc(numdat1);
w=0.0;
wd=0.0;

for i=1:numdat;
    pind(i,1)=0.0;
    pinddie(i,1)=0.0;

    pfw(i,1)=0.0;
    pfwdie(i,1)=0.0;

    pfd(i,1)=0.0;
    pfddie(i,1)=0.0;

    pin1(i,1)=0.0;
    pin1die(i,1)=0.0;

    pin2(i,1)=0.0;
    pin2die(i,1)=0.0;

    pff(i,1)=0.0;
    pffdie(i,1)=0.0;

    pfo(i,1)=0.0;
    pfodie(i,1)=0.0;
    ww(i,1)=0.0;
    wdd(i,1)=0.0;
    pef(i,1)=0.0;
    pefdie(i,1)=0.0;
end;

```

```

// Se establecen parámetros del bus
disp('Se Establecen Parámetros Varios');

massv=11160;
mbidy=10730;
engidie=990;
massvdie=mbidy+engidie;
massp=4800;

mass=massv + massp;
massdie=massvdie + massp;
mu=0.0156;
pma=290*746;
rho=1.2;
Cd=0.633;
Area=6.99;
lhvIng=48600000;
lhvdies=42600000;
co2l=56100/1000000000000;
co2d=74100/1000000000000;
noxl=3.0/1000000000000;
noxd=3.9/1000000000000;
ch4l=92.0/1000000000000;
ch4d=3.9/1000000000000;
er=re*lhvIng;

// Se realiza el cálculo de la potencia instantánea
disp('Se realiza el Cálculo de la Potencia Instantánea en la Ruta ');

for j=1:numdat;

//Potencia por Acción de la componente del peso en el plano.

pfw(j,1)=((mass*9.8*(slp(j))/(1 + slp(j)^2)^(1/2))*velo(j));
pfordie(j,1)=((massdie*9.8*(slp(j))/(1 + slp(j)^2)^(1/2))*velo(j));

//Efecto del arrastre

pfd(j,1)=((1/2)*rho*Cd*Area*(velo(j))^3);

//Potencia asociada a Componente de inercia

pin1(j,1)=(mass*(abs(acc(j)))*(velo(j)));
pin1die(j,1)=(massdie*(abs(acc(j)))*(velo(j)));

//Componente de frenado

at=acc(j);

```

```

if at<0;
  at=((at)^2)^(1/2);
elseif at<0.1;
  pin2(j,1)=(mass*(at)*(velo(j)));
  pin2die(j,1)=(massdie*(at)*(velo(j)));
elseif at>0.1;
  pin2(j,1)=(mass*(acc(j))*(velo(j)));
  pin2die(j,1)=(massdie*(acc(j))*(velo(j)));
end
pin(j,1)=(1/2)*(pin1(j,1) + pin2(j,1));
pin1die(j,1)=((1/2)*(pin1die(j,1) + pin2die(j,1)));

pef(j,1)=(mass*(acc(j))*(velo(j)));
pefdie(j,1)=(massdie*(acc(j))*(velo(j)));

//Potencia por Rodadura en las ruedas

pff(j,1)=(mu*mass*9.8*(1/(1 + slp(j)^2)^(1/2))*velo(j));
pffdie(j,1)=(mu*massdie*9.8*(1/(1 + slp(j)^2)^(1/2))*velo(j));

//Cálculo de Eficiencia-Pérdidas en transmisión y aporte a accesorios

vt=velo(j,1);

if vt<1
  w=800;
  wd=600;
elseif vt<3;
  w=700*vt + 100;
  wd=450*vt + 150;
elseif vt<4.4;
  w=1000*vt - 2200;
  wd=800*vt - 1700;
elseif vt<7.43;
  w=466.7*vt - 1253;
  wd=366.7*vt - 924;
elseif vt<12.47;
  w=277.8*vt - 1263;
  wd=210*vt - 630;
elseif vt<24.00;
  w=121.42*vt - 714;
  wd=90.42*vt - 360;
else
  ww(j,1)=w;
  wdd(j,1)=wd;
end

etamlng=39.653 + w*5.96/10000 - (1.508/1000000)*w*w;

etamdie=39.698 + wd*5.01/10000 - (1.408/1000000)*wd*wd;

```

```

etamlng=etamlng/100;
etamlngp(j,1)=etamlng;
etamdie=etamdie/100;
etamdiep(j,1)=etamdie;
pind(j,1)=(pfw(j)+pfd(j)+pff(j)+pin(j))/etamlng;
pinddie(j,1)=(pfwdie(j)+pfdie(j)+pffdie(j)+pindie(j))/etamdie;

```

```
end;
```

```

etamlngpp=0.0;
etamdiepp=0.0;
ppfo=0.0;
ppff=0.0;
pprom=0.0;
ppromdie=0.0;
ppfw=0.0;
ppfd=0.0;
ppin=0.0;

```

```
for j=1:numdat;
```

```

    ppfo=ppfo+ pfo(j,1);
    ppff=ppff+ pff(j,1);
    ppin=ppin+ pin(j,1);
    ppfd=ppfd+ pfd(j,1);
    etamlngpp=etamlngpp+etamlngp(j,1);
    etamdiepp=etamdiepp+etamdiep(j,1);
    j;
    ppfw=ppfw+pfw(j);
    pprom=pprom + pind(j);
    ppromdie=ppromdie + pinddie(j);

```

```
end;
```

```
disp('Promedios');
```

```

etamlngpp=etamlngpp/numdat;
etamdiepp=etamdiepp/numdat;

```

```

pprom=pprom/(numdat*1000);
ppromdie=ppromdie/(numdat*1000);

```

```

disp('Potencia Promedio KW',pprom)
pprom
disp('Potencia Promedio KW',ppromdie)
ppromdie

```

```

phplng=pprom/(0.746);
phpdie=ppromdie/(0.746);

```

```

disp('Potencia Promedio HP',phplng)

phplng
disp('Potencia Promedio HP',phpdie)
phpdie

//Se obtiene la energía utilizada en el recorrido

disp('Se Calcula la Energía Requerida en la Ruta ');

i2lng=pprom*((ti(numdat)-ti(1))-tralh)*1000;
i2die=ppromdie*((ti(numdat)-ti(1))-tralh)*1000;
i2lng=i2lng+pprom*tralh*etamlngpp
i2die=i2die+ppromdie*tralh*etamdiepp
fare=i2lng/(er*fc);
i2die=i2die/fare;
i2lng=i2lng/fare;

//Se obtiene la energía requerida en Joules

disp('Calcula la Energía Demandada en la Ruta ')

disp('Energía Utilizada LNG Joules')
i2lng
mlng=i2lng/(lhvlng);
gallng=mlng/1.621;
mdies=i2die/(lhvdies);
galdies=mdies/3.202;
disp('Emisiones en KG para la ruta Bus LNG')
disp('KG de CO2')
kgco2l=i2lng*co2l
disp('KG de CH4')
kgch4l=i2lng*ch4l
disp('KG de N2O ')
kgno2l=i2lng*noxl

disp('Toneladas Equivalentes de CO2 ')

kgeco2l=kgco2l
kgech4l=kgch4l*29.8
kgen2ol=kgno2l*273

tco2elng=(kgeco2l+kgech4l+kgen2ol)/1000

disp('Energía Utilizada DIESEL Joules ')

i2die

disp('Emisiones en KG para la ruta Bus DIESEL')

```

```

disp('Kg de CO2 ')
kgco2d=i2die*co2d
disp('Kg de CH4')
kgch4d=i2die*ch4d
disp('Kg de N2O ')
kgno2d=i2die*noxd
disp('Toneladas Equivalentes de CO2 ')

kgeco2d=kgco2d
kgech4d=kgch4d*29.8
kgen2od=kgno2d*273
tco2edie=(kgeco2d+kgech4d+kgen2od)/1000
mlng=i2lng/(lhvlng);
disp(' Kilogramos de LNG' )
mlng
gallng=mlng/1.621;
disp(' galones de LNG ')
gallng
mdies=i2die/(lhvdies);
disp(' Kilogramos de Diesel ')
mdies
galdies=mdies/3.202;
disp(' galones de Diesel ')
galdies

```