

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL



Profesor Guía: Patricio Álvarez Mendoza MSc. PhD.

**“APLICACIÓN DE UN MODELO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN BASE
A REGISTROS GPS DEL TRANSPORTE PÚBLICO DEL GRAN CONCEPCIÓN”**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero Civil**

LEANDRO MIGUEL GAYOZO SALGADO

Concepción, Enero 2015

APLICACIÓN DE UN MODELO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN BASE A REGISTROS GPS DEL TRANSPORTE PÚBLICO DEL GRAN CONCEPCIÓN

Autor: Leandro Gayozo Salgado

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

lgayozo@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Patricio Álvarez Mendoza

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Palvarez@ubiobio.cl

Resumen:

El sector transporte en Chile es uno de los más importantes en cuanto a consumo de energía se refiere, en particular el subsector transporte terrestre (vehículos livianos, taxis, furgones, camionetas, buses y camiones) que crece anualmente a tasas importantes. Esto implica un aumento en el uso de los combustibles, y asimismo las emisiones asociadas. Dado este fenómeno, resulta interesante conocer de manera precisa los consumos de combustibles y emisiones derivados de la operación de distintos sistemas de transporte a nivel micro, esto con el fin de gestionar, planificar y modelar diversos escenarios incluyendo de manera directa los costos asociados a los consumos y los impactos a la calidad del aire debido a las emisiones. Para estimar dichos indicadores se desarrolló una herramienta en base a un modelo matemático que estima los consumos de combustible y emisiones a partir de variables explicativas como la velocidad y la aceleración instantánea de un vehículo. Se estudiaron las ventajas y limitaciones del modelo con el fin de aplicarlo a un registro de velocidad del transporte público del Gran Concepción (buses). Por otra parte se sensibilizó el modelo para comprender mejor su estructura y recomendar mejoras respecto a casos especiales.

Palabras claves: Transporte, Consumo, Combustible.

8958 Palabras Texto + 45 Figuras/Tablas*250 + 4 Figuras/Tablas*500 = 22208 Palabras totales

APPLICATION OF A FUEL CONSUMPTION MODEL BASED A GPS DATA OF GRAN CONCEPCIÓN TRANSPORT PUBLIC

Author: Leandro Gayozo Salgado

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

lgayozo@alumnos.ubiobio.cl

Sponsor profesor: Patricio Álvarez Mendoza

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Palvarez@ubiobio.cl

Abstract:

The transportation sector in Chile is one of the most important in terms of energy consumption is concerned. Particular road transport subsector (light duty vehicle, taxis, vans, buses and heavy duty diesel vehicle) growing annually at significant rates, this implies an increase in fuel usage, and also the associated emissions. Given this fact, it is interesting to know the precise fuel consumption and emissions resulting from the operation of various transport systems at the micro level, this in order to manage, plan and model various scenarios including cost directly associated with the consumption and impacts to air quality due to emissions. To estimate these indicators, was developed a tool based on a mathematical model that estimates fuel consumption and emissions from explanatory variables such as instantaneous speed and acceleration levels of a vehicle. Advantages and limitations of the model are studied in order to apply to a record speed of public transport of the Gran Concepción (buses). Furthermore the model were sensitized to better understand its structure and recommend improvements to special cases.

Keywords: Transport, Consumption, Fuel.

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVOS.....	7
2.1	Objetivo General	7
2.2	Objetivos Específicos	7
2.3	Alcances Del Estudio	7
3	MARCO TEÓRICO.....	8
3.1	Antecedentes Generales	8
3.2	Revisión de modelos microscópicos para la estimación del consumo de combustible	11
3.2.1	Estimación del consumo de combustible y emisiones basados en los niveles de velocidad y aceleración instantánea (Ahn et al., 2002)	11
3.2.2	EMIT (Cappiello et al., 2002)	13
3.2.3	VT-CPFM (Rakha et al., 2011)	16
4	METODOLOGÍA DE TRABAJO	17
4.1	Metodología.....	17
5	EXTENSIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO	19
5.1	VT-CPFM, modelo de consumo de combustible basado en potencia	19
5.2	Dinámica del movimiento de los vehículos.....	25
5.2.1	Resistencia Aerodinámica	26
5.2.2	Resistencia a la rodadura	27
5.2.3	Resistencia debido a la pendiente.....	28
5.2.4	Inercia del vehículo.....	29
5.3	Emisiones de CO ₂	29
6	PROGRAMACIÓN DEL MODELO PARA EL DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE APLICACIÓN	31

6.1	Ciclos de conducción	32
6.1.1	Dinamómetro de chasis	32
6.1.2	Ciclos para vehículos livianos	32
6.1.3	Ciclos para vehículos pesados	32
6.2	Velocidad Óptima De Operación.....	32
6.3	Estimación de emisiones de CO ₂	34
6.4	Extractos del programa en VBA	34
7	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	39
7.1	Contribución de las fuerzas a la estimación de la potencia	39
7.2	Validación del modelo usando el ciclo Orange County Bus Cycle.....	41
8	APLICACIÓN DEL MODELO A REGISTROS DE VELOCIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO (BUSES) DEL GRAN CONCEPCIÓN	44
8.1	Registros GPS del sistema de transporte licitado del Gran Concepción	44
8.2	Depuración de los registros y definición de una zona de estudio	46
8.3	Homologación del vehículo	51
8.4	Resumen de parámetros, resultados y análisis.....	53
8.4.1	Resumen de parámetros.....	53
8.4.2	Resultados.....	54
8.4.3	Análisis de resultados	56
9	CONCLUSIONES	58
10	BIBLIOGRAFÍA.....	60
11	ANEXOS.....	62

1 INTRODUCCIÓN

La movilidad se considera un factor importante en la economía y el desarrollo humano. En Chile, particularmente en el Gran Concepción, de acuerdo a los indicadores de movilidad puestos a disposición por la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA), se generan cerca de 3 millones de viajes por día (SECTRA, 1999), los cuales se reparten en los distintos modos de transporte disponibles, estos son vehículos particulares, taxis, buses, camiones, entre otros.

El crecimiento del parque vehicular es otro indicador importante que ha tenido alzas significativas, se ha triplicado en los últimos 20 años en Concepción de acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas, (INE 2014). Esto implica grandes beneficios para el desarrollo y la economía de la Región, pero también genera grandes costos asociados a la operación, principalmente demoras, costos de consumo de combustible, impactos en el medio ambiente, entre otros.

En términos de consumo de energía el sector transporte es el responsable del 32% del consumo nacional (Ministerio de Energía, 2011). De este porcentaje el 79% corresponde al subsector del transporte terrestre que incluye a todos los modos rodoviarios. Cabe destacar que el 99.3% de la energía que utiliza este sector corresponde a derivados del petróleo.

Con respecto a las proyecciones del sector, se espera un incremento promedio anual de un 7.3% del consumo total de energía (combustible principalmente) del sector transporte entre los años 2006 y 2030 (Comisión Nacional de Energía, 2009).

Por lo tanto, debido a la importancia del sector transporte terrestre y a las tasas de crecimiento que se esperan, es necesario contar con información que sirva para la toma de decisiones en términos de eficiencia energética, en particular la relacionada al consumo eficiente del combustible y a las emisiones de CO₂.

Una de las estrategias claves para mejorar la eficiencia en el uso del combustible, es potenciar el transporte público. En la actualidad, la Provincia de Concepción cuenta con más de 5000 buses de transporte urbano y con más de 1800 taxicolectivos, por lo que resultaría interesante conocer el consumo de combustible y emisiones a nivel operacional de dichas flotas, para evaluar de manera más precisa los impactos que se generan a partir de ellos.

En función de todos estos antecedentes, el presente estudio busca entregar una herramienta para la estimación del consumo de combustible y emisión de contaminantes instantáneas, en específico el CO₂, a través de la programación de un modelo matemático cuyas variables explicativas correspondan a la velocidad y aceleración instantánea. Las estimaciones desprendidas de la aplicación de la herramienta buscan poner a disposición información relevante para la evaluación de proyectos a nivel operacional.

El modelo estudiado y utilizado corresponde al Virginia-Tech Comprehensive Power Based Fuel Consumption Model (VT-CPFM, por sus siglas en inglés), desarrollado por Hesham Rakha y publicado originalmente en (Rakha et al., 2011) y extendido en (Rakha et al., 2014).

Una de las principales ventajas del modelo usado, corresponde a la facilidad para su calibración debido a que usa información pública de fácil acceso para ello.

Por otra parte se busca entender el modelo con el fin proponer mejoras para casos donde no se cuente con información para su calibración.

Finalmente se aplica la herramienta basada en el modelo propuesto para estimar consumo y emisiones de CO₂ de un extracto del recorrido del transporte público del Gran Concepción (buses)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Desarrollar un sistema que permita estimar el consumo de combustible en base a registros de velocidad versus tiempo.

2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las variables operacionales mínimas necesarias para estimar el consumo de combustible en base a registros de velocidad.
2. Proponer un modelo matemático que permita convertir las variables operacionales en consumo de combustible.
3. Desarrollar un sistema de reporte/informe que cuantifique el consumo de combustible en base a registros de velocidad.
4. Aplicar dicho sistema a registros de velocidad obtenidos de la operación del transporte público.

2.3 Alcances Del Estudio

El presente estudio se limita a un análisis teórico sobre la aplicación de un modelo matemático que estima los consumos de combustibles y emisiones instantáneas considerando variables explicativas cinemáticas como la velocidad y la aceleración. Para estimar consumos de combustible del transporte público del Gran Concepción, se contará con los perfiles de velocidades de los recorridos de éstos, por otra parte se homologarán las características mecánicas de los buses locales en función de la base de datos del Centro de Investigación y prueba de buses de Altoona (ABRTC, por sus siglas en ingles).

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes Generales

El consumo de combustible de un vehículo depende de muchos factores, estos se pueden clasificar en seis grandes categorías (Ahn et al., 2002), que tienen relación principalmente con: el viaje, el clima, el vehículo, la calzada, el tráfico y el conductor. El principal factor debido al viaje es la distancia recorrida. En el caso del clima, se consideran factores como la temperatura, la humedad y los efectos del viento. En tanto para los factores debido al vehículo, destacan las características físicas y mecánicas, en particular las del motor. Por otra parte, respecto a la calzada, los principales factores son la pendiente longitudinal y la rugosidad. En relación al tráfico, los factores más importantes son la interacción vehículo – vehículo y la interacción entre el vehículo y el sistema de control de la ruta (señales, semáforos, entre otros). Finalmente, respecto al conductor los factores relevantes corresponden a la agresividad y al comportamiento al conducir.

Los modelos que actualmente se hacen cargo del problema emplean con mayor o menor profundidad los factores antes descritos, generándose una relación en muchos casos inversamente proporcional entre la simplicidad de un modelo con la precisión del mismo.

Por otra parte, los modelos se pueden clasificar en macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos (Ribeiro et al., 2012) donde, como el nombre sugiere, se refieren a la escala de aplicación.

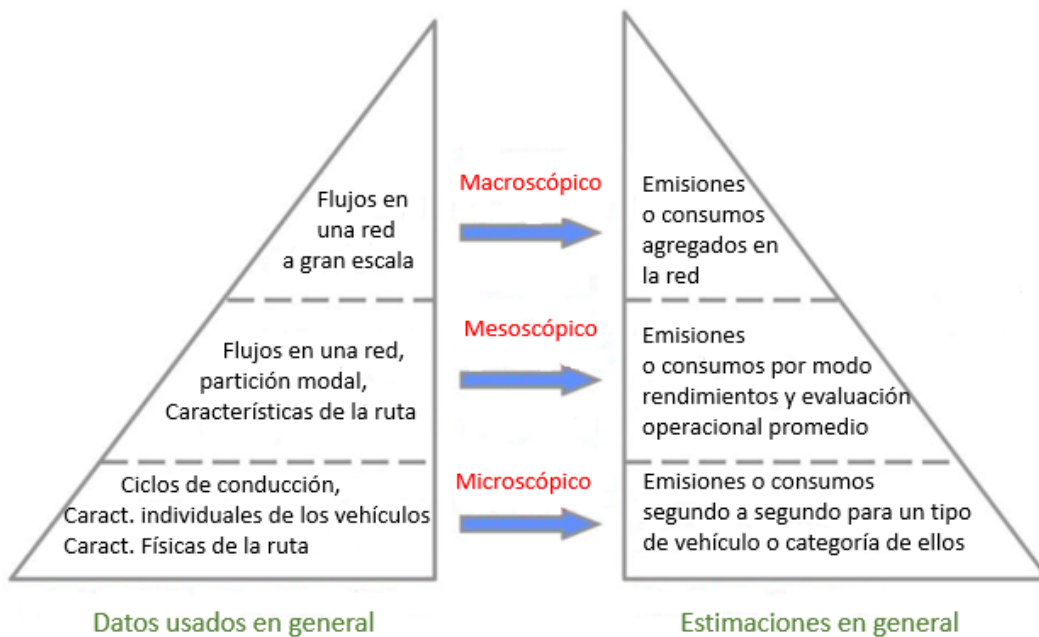
Los modelos macroscópicos están relacionados a menudo con grandes escalas de emisiones o consumos de combustible, como en una ciudad por ejemplo. Estos modelos no consideran condiciones de operación individual, si no que se basan en velocidades promedio de flujos promedio. En general estos modelos tienen a simplificar los cálculos relacionados al consumo de combustible y emisiones de contaminantes, lo cual reduce la precisión. Sin embargo son muy útiles para tareas como evaluación o planificación a gran escala.

Los modelos mesoscópicos se asocian a escalas medias de operación, usan velocidades promedio del flujo o incluso en algunos casos velocidades y aceleraciones instantáneas. Estos modelos están orientados a caracterizar la relación entre el flujo y las características de la ruta. Uno de los módulos más reconocidos en ingeniería de transporte a nivel mesoscópico corresponde al integrado en SATURN (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks, en sus siglas en inglés).

Los modelos microscópicos son los más precisos entre las tres categorías, se basan en variables instantáneas como la velocidad y aceleración, además de las características particulares de los vehículos modelados. Sin embargo el esfuerzo de calibración y el costo computacional asociado a la simulación de flujos es alto.

La siguiente figura, puede resumir la clasificación antes descrita

Figura 1 Categorías de modelos de acuerdo a su enfoque de aplicación



Fuente: Ribeiro et al., 2013

En función de los objetivos del proyecto y la clasificación de los modelos descritos hasta el momento, se estudiará la aplicación de un modelo microscópico para la estimación de los consumos y emisiones.

Existen varios tipos de modelos microscópicos, estos se diferencian por lo niveles de precisión y particularmente por la forma en que se construyen. Una clasificación respecto a esto último se presenta en (Cappiello et al., 2002), los subtipos característicos son:

- Mapas de emisiones: Son matrices que contienen las emisiones promedios para una serie de combinaciones de velocidad y aceleración. Aunque son fáciles de generar y usar, no son sensibles a las condiciones del tráfico o a los parámetros de la calzada entre otros.
- Modelos basados en regresiones estadísticas: típicamente predicen el consumo de combustible y las emisiones usando métodos de regresión. Para la construcción de estos modelos es necesario contar con una base de datos que contengan mediciones empíricas de velocidad, aceleración, consumo y emisiones.
- Modelos basados en carga: son modelos que se basan en la relación que existe entre consumo de combustible y la potencia emitida por el motor. Estos modelos tratan de simular los fenómenos físicos que generan potencia, y esta a su vez consumo. Por lo general son más detallados y flexibles. Esto también significa que estos modelos pueden ser más complejos y en consecuencia, consumir una gran cantidad de potencia computacional en el cálculo

Con el fin de atender los objetivos del presente estudio, se evaluó la aplicación de distintos modelos microscópicos de consumo de combustible al caso regional, principalmente los basados en regresiones estadísticas y los modelos basados en carga.

En la siguiente sección se presenta la revisión bibliográfica consultada, además de un breve análisis respecto a la aplicabilidad de los modelos.

3.2 Revisión de modelos microscópicos para la estimación del consumo de combustible

Dados los objetivos del presente proyecto, resulta adecuada la implementación de un modelo microscópico. Las siguientes líneas dan cuenta de la bibliografía consultada respecto a los modelos que permiten estimar los consumos de combustible, por otra parte se presenta un análisis respecto a la aplicabilidad de dichos modelos dado los recursos disponibles para este proyecto.

3.2.1 Estimación del consumo de combustible y emisiones basados en los niveles de velocidad y aceleración instantánea (Ahn et al., 2002)

Uno de los modelos consultados corresponde a la propuesta desarrollada por (Ahn et al., 2002). Este es un modelo microscópico construido experimentalmente usando la base de datos del Oak Ridge National Laboratory (ORNL, por sus siglas en inglés) que contiene las mediciones de combustible y emisiones obtenidas de las pruebas realizadas en laboratorio sobre un dinamómetro de chasis, con el cual además se registraron los niveles de velocidad y aceleración instantáneas. Con este conjunto de datos se generaron relaciones entre los niveles de combustible consumidos y emisiones de contaminantes con los niveles de velocidad y aceleración instantánea del vehículo.

Para generar una función que relacionara las mediciones cinemáticas instantáneas con los consumos y emisiones, se experimentó con numerosas combinaciones polinómicas de las variables cinemáticas.

El modelo final construido corresponde a un polinomio de tercer grado como se puede observar en la ecuación (1). El modelo propuesto se ajusta razonablemente con los datos de la ORNL excepto en algunos casos donde se producen dependencias negativas. Para resolver este problema, se aplicó al modelo una técnica de transformación usando el logaritmo natural, el resultado se presenta en la ecuación (2). Los coeficientes de determinación del modelo varían entre 0.72 a 0.99 dependiendo de la estimación realizada, en el caso del consumo de combustible su coeficiente de determinación (R^2) corresponde a 0.996, en el caso de las

emisiones de NO_x su R² fue de 0.805 y finalmente para las emisiones de HC y CO se estimaron R² de 0.72 y 0.75 respectivamente.

El modelo se expresa como sigue:

$$MOEe = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (K_{ij}^e x s^i x a^j) \quad \text{Ec. 1}$$

$$\ln(MOEe) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (K_{ij}^e x s^i x a^j) \quad \text{Ec. 2}$$

$$\ln(MOEe) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (L_{ij}^e x s^i x a^j) \text{ para } a \geq 0 \quad \text{Ec. 3}$$

$$\ln(MOEe) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (M_{ij}^e x s^i x a^j) \text{ para } a < 0 \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

- MOEe* Consumo instantáneo de combustible o emisiones (l/s o mg/s)
- K_{ij}^e* Coeficiente de regresión del modelo MOE "e" en velocidad "i" y aceleración "j"
- L_{ij}^e* Coeficiente de regresión del modelo MOE "e" en velocidad "i" y aceleración "j" para una aceleración positiva
- M_{ij}^e* Coeficiente de regresión del modelo MOE "e" en velocidad "i" y aceleración "j" para una aceleración negativa
- s* Velocidad instantánea (km/h)
- a* Aceleración instantánea (m/s²)

Debido a que el modelo presentado se desarrolla a partir de regresiones sobre una base de datos, su aplicación se limita a dicho universo, por lo que es necesaria la calibración si el contexto de la base de datos cambia.

Por lo tanto, debido a que no existe o no es accesible una base de datos que contenga las mediciones de las variables cinemáticas, consumos de combustible y emisiones en concepción, no es posible una calibración para el modelo en la realidad regional.

Por otra parte, tampoco se pueden realizar mediciones pues no se cuenta con un dinamómetro de chasis ni condiciones de laboratorio adecuadas.

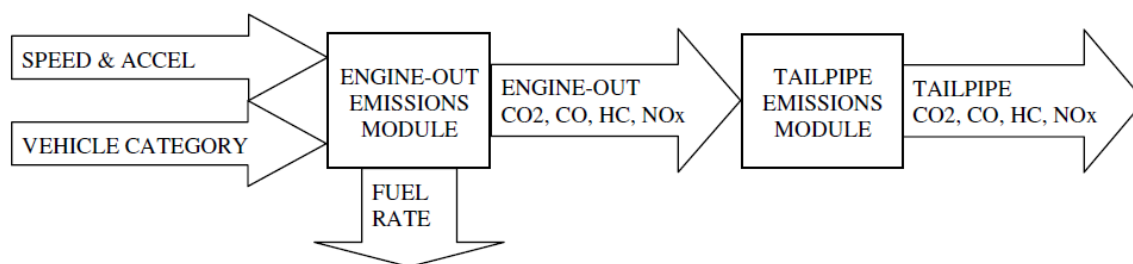
Por estas razones no se ha usado el modelo descrito.

3.2.2 EMIT (Cappiello et al., 2002)

EMIT (Emissions from Traffic, de sus siglas en inglés) es un modelo estadístico (con base en un sistema físico) para emisiones instantáneas y consumo de combustible de vehículos livianos. Las variables explicativas en EMIT se han derivado a partir de enfoques basados en carga con algunas simplificaciones. El modelo, debido a su estructura simple, es relativamente fácil de calibrar y se espera que requiera un costo computacional menor en comparación a modelos basados en carga.

Un diagrama de la estructura del modelo se presenta a continuación

Figura 2 Estructura de EMIT



Fuente: Cappiello et al., 2002

Este modelo depende de un registro segundo a segundo de velocidad y aceleración además de la categoría del vehículo para estimar los consumos de combustible segundo a segundo. Por otra parte, el modelo permite estimar los índices de emisiones una vez calculado el consumo de combustible.

Este modelo ha sido referenciado en diversos artículos debido a la precisión de los resultados, en particular al módulo que estima el consumo de combustible. Por otra parte, EMIT presenta buenos resultados para emisiones de CO₂, razonables para CO y NO_x, y baja precisión para los hidrocarburos (HC) (Cappiello et al., 2002).

El modelo se expresa como sigue:

$$EO_i = EI_i * FR \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

EO_i Emisiones del motor donde $i=CO_2, CO, HC, NO_x$ en g/s

EI_i Índice de emisión por cada especie i , el cual es la masa de la emisión por unidad de masa de combustible consumida.

FR Consumo de combustible en g/s

Cuando la potencia del motor es cero, el consumo de combustible se modela como un valor constante. En otro caso, el consumo de combustible depende principalmente de la velocidad del motor y de la potencia ejercida. El modelo de consumo se presenta a continuación.

$$FR = \begin{cases} \phi \left(K * N * V + \frac{P}{\eta} \right), & \text{si } P > 0 \\ K_{idle} * N_{idle} * V, & \text{si } P = 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

ϕ Corresponde a la relación entre la masa de aire y masa de combustible presente en un proceso de combustión.

K Factor de fricción del motor (kJ/rev/litros).

N Velocidad del motor (rev/s)

V Volumen del motor (litros)

η Eficiencia del motor

K_{idle} Factor de fricción constante en ralentí del motor (kJ/rev/litros)

N_{idle} Velocidad constante en ralentí del motor (rev/s)

P Potencia ejercida por el motor (kW)

La potencia ejercida por el motor se modela como se presenta en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{P_{tract}}{\varepsilon} + P_{acc} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

P Potencia total requerida por el motor (kW)

- P_{tract} Potencia total requerida por los neumáticos (kW)
 ε Eficiencia de transmisión mecánica del vehículo
 P_{acc} Potencia requerida por los accesorios del vehículo, como por ejemplo el aire acondicionado.

El modelo de potencia requerida por los neumáticos (P_{tract}) se estima mediante la siguiente ecuación:

$$P_{tract} = A * v + B * v^2 + C * v^3 + M * a * v + M * g * \sin\vartheta * v \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

- v Velocidad del vehículo (m/s)
 a Aceleración del vehículo (m/s²)
 A Coeficiente de resistencia a la rodadura (kW/m/s)
 B Coeficiente de corrección de la velocidad a la resistencia a la rodadura (kW/(m/s)²)
 C Coeficiente de resistencia aerodinámica (kW/(m/s)³)
 M Masa del vehículo (kg)
 g Constante gravitacional (9,81 m/s²)
 ϑ Grado longitudinal (grados)

Finalmente bajo una serie de supuestos discutidos en el documento original (Cappiello et al., 2002) y combinando las ecuaciones (6), (7) y (8). Se presenta el módulo de consumo de combustible y emisiones de contaminantes

$$FR = \begin{cases} \alpha_{FR} + \beta_{FR}v + \gamma_{FR}v^2 + \delta_{FR}v^3 + \xi_{FR}av & , \quad \text{si } P_{tract} > 0 \\ \alpha'_{FR} & , \quad \text{si } P_{tract} = 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 9}$$

$$EO_i = \begin{cases} \alpha_i + \beta_iv + \gamma_iv^2 + \delta_iv^3 + \xi_ia v & , \quad \text{si } P_{tract} > 0 \\ \alpha'_i & , \quad \text{si } P_{tract} = 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 10}$$

La gran desventaja del modelo es que además de requerir para su calibración una gran base de datos (que para el caso particular de Concepción no se cuenta), se limita solo a los vehículos livianos y solo es adecuado para las condiciones estabilizadas en caliente y con pendiente longitudinal cero.

A pesar de que la precisión del modelo es alta, debido a las limitantes antes mencionadas, se desestima el uso de EMIT para el presente proyecto.

3.2.3 VT-CPFM (Rakha et al., 2011)

Virginia Tech – Comprehensive Power Based Fuel Consumption Model (VT-CPFM, de sus siglas en inglés) es un modelo basado en la potencia instantánea que permite estimar consumo de combustible instantáneo en función de variables explicativas como la velocidad y la aceleración. Una de las ventajas del modelo es que no requiere para su calibración parámetros específicos de laboratorio o de operación en terreno, toda la información que se usa para calibrar es de acceso público, además no oscila abruptamente en estados de estimación de consumo de combustible como la mayoría de los modelos basados en carga, esto debido a que el modelo tiene una estructura polinomial de segundo orden respecto a la potencia específica del vehículo, lo que implica que la derivada parcial respecto al torque, es una función del torque.

El modelo original se aplica a vehículos livianos, sin embargo se extiende la aplicación de éste para buses en (Rakha et al., 2014).

La estructura del modelo se presenta a continuación:

$$FC(t) = \begin{cases} \alpha_0 + \alpha_1 P(t) + \alpha_2 P(t)^2 & \forall P(t) \geq 0 \\ \alpha_0 & \forall P(t) < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde α_0 , α_1 y α_2 son parámetros que se calibran en específico para cada vehículo a simular, $P(t)$ corresponde a la potencia requerida por el motor (kW), su modelo se expresa como sigue:

$$P(t) = \left(\frac{R(t) + (1 + \gamma)ma(t)}{3600\eta_d} \right) v(t) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

- γ Factor rotacional de masa, 0.04 para vehículos livianos y 0.1 para vehículos pesados
- m Masa del vehículo (kg)
- η_d Eficiencia de transmisión mecánica
- $a(t)$ Aceleración instantánea (m/s^2)
- $v(t)$ Velocidad instantánea (m/s)
- $R(t)$ Fuerzas resistentes (N)

La expresión general de las fuerzas resistentes se presenta a continuación:

$$R(t) = R_a + R_{rl} + R_g \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

- R_a Resistencia aerodinámica
- R_{rl} Resistencia a la rodadura
- R_g Resistencia debido a la inercia.

Dadas las características del modelo, principalmente las relacionadas con la calibración (uso de información pública para calibrar) se usará el modelo para los fines del presente estudio.

El análisis y descripción detallada del modelo se presenta en el capítulo 5.

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En esta sección se presentará la forma de abordar el problema planteado, las principales etapas de la metodología y una breve descripción respecto a ellas.

4.1 Metodología

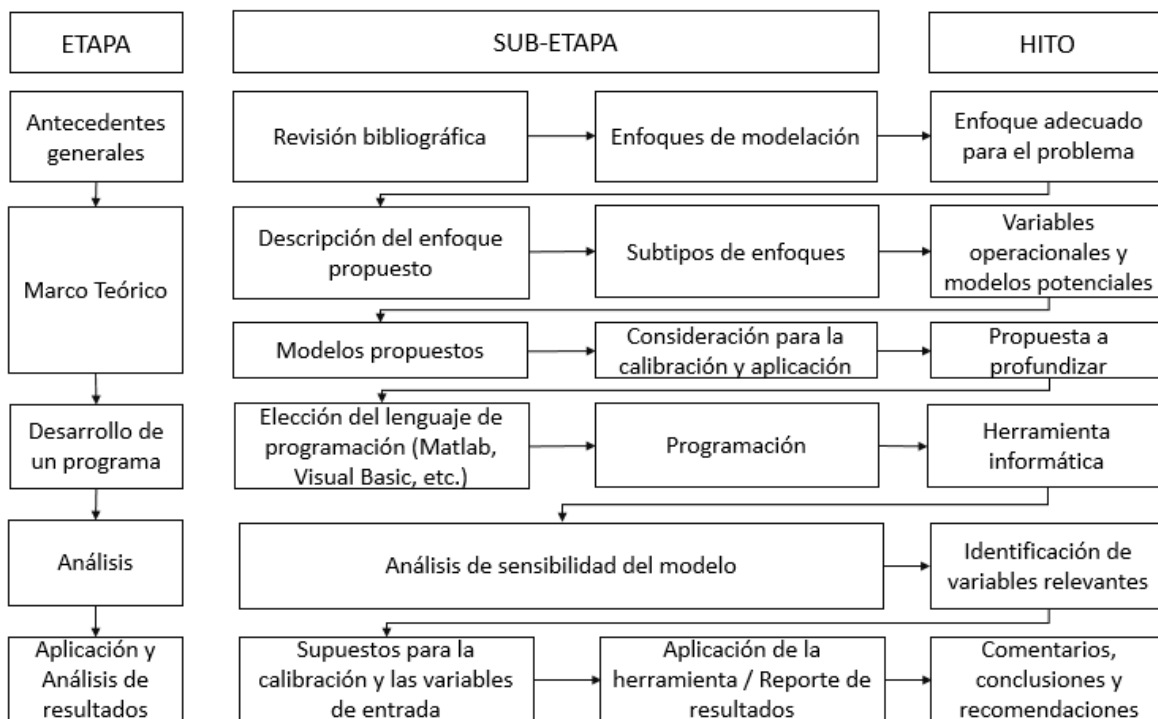
En función de los objetivos planteados, se ha diseñado una metodología que se estructura en cinco etapas principalmente. Ésta permite identificar las etapas sustanciales del proceso de resolución del problema, así como los principales logros al finalizar cada una de las etapas planteadas.

Por otra parte, se desagrega cada una de las etapas principales con el fin de parcializar la carga de trabajo.

Además durante la ejecución del proyecto, la metodología propuesta se utilizó como carta de navegación.

La metodología planteada se presenta en la siguiente figura.

Figura 3 Metodología para la resolución del problema



Fuente: Elaboración propia

En general como se mencionó en el párrafo anterior, la metodología propuesta consiste en cinco etapas fundamentalmente.

En los antecedentes generales se busca identificar las herramientas existentes para abordar el problema planteado desde un enfoque adecuado. Esta etapa se resumió en el acápite 3.1 de la presente memoria.

En el marco teórico se plantearon las alternativas preliminares para resolver el problema. En esta etapa se identificaron las variables operacionales que usualmente se usan para modelar el consumo de combustible, el detalle de esta etapa se resume en el acápite 3.2 de la presente memoria.

El desarrollo de la herramienta informática se presenta en el capítulo 6 de la presente memoria. En dicha sección se plantean las consideraciones generales para la elección del lenguaje de programación usado. Por otra parte se presentan ejemplos de la aplicación de la herramienta.

En la sección de análisis se desarrolla básicamente el análisis de sensibilidad del modelo, esto con el fin de identificar los parámetros más relevantes que explican la potencia requerida del motor del vehículo. Se realiza desde dos enfoques distintos, los detalles se pueden consultar en el capítulo 7.

Finalmente en la etapa de aplicación y análisis de resultados se discute acerca de la base de datos disponible para la aplicación del modelo, además se proponen supuestos respecto a las variables de entrada, los detalles se pueden apreciar en el capítulo 8.

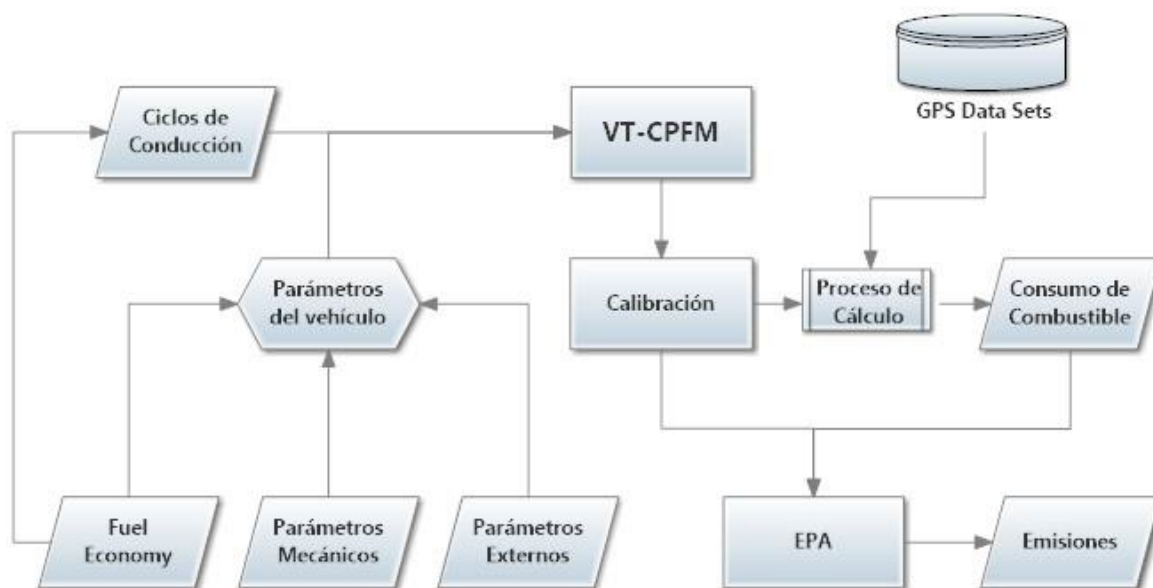
5 EXTENSIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO

5.1 VT-CPFM, modelo de consumo de combustible basado en potencia

El modelo utilizado para los fines de este estudio corresponde al desarrollado por Hesham A. Rakha, presentado en su publicación (Rakha et al., 2011) para vehículos livianos y extendido a vehículos pesados en su publicación (Rakha et al., 2014) denominado originalmente como “Virginia Tech – Comprehensive Power Based Fuel Consumption Model” y abreviado como VT-CPFM.

Para entender el funcionamiento del modelo a usar (VT-CPFM), se ha planteado el siguiente esquema explicativo.

Figura 4 Diagrama de flujo del modelo de consumo y emisiones



Fuente: Elaboración propia

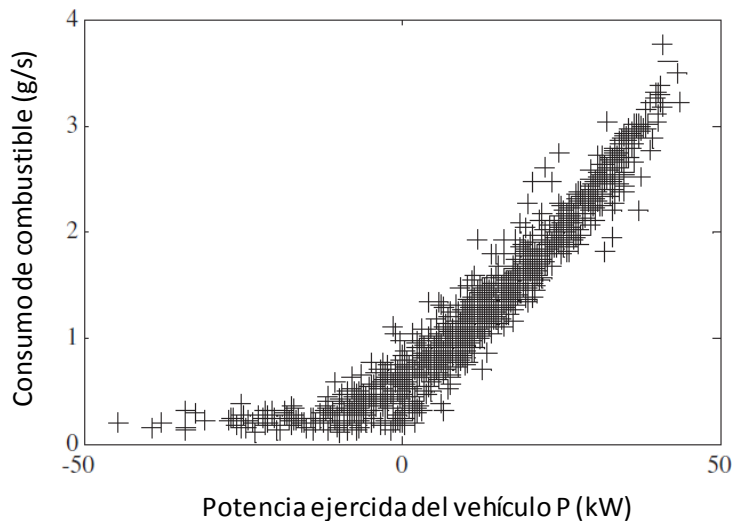
Las principales ventajas de este modelo radican en superar dos deficiencias que la mayoría de los modelos basados en carga poseen. Específicamente el modelo no oscila abruptamente entre dos estados de consumo. Este tipo de fenómeno se produce debido a que la derivada parcial del nivel de consumo de combustible (F) con respecto al torque (T) del motor no es función del torque (Saerens et al., 2010) o $\partial F / \partial T \neq \int T dT$ (generalmente en modelos lineales). Un modelo que produce este tipo de fenómeno indica que el nivel óptimo de eficiencia en el consumo de combustible se produce al realizar lo más rápido posible los cambios para reducir el tiempo de aceleración. Esta situación, la cual es obviamente incorrecta, recomienda que el conductor conduzca lo más agresivo posible para minimizar su consumo de combustible (Rakha, H., et al 2011).

La segunda limitante que supera es con respecto a la calibración, debido principalmente a que utiliza parámetros y datos de uso público para llevarla a cabo. Entre las fuentes más importantes se encuentran las bases de datos publicadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y el Centro de Investigación y Pruebas de Buses de Altoona (ABRTC, por sus siglas en inglés). Ambas instituciones Norteamericanas, realizan pruebas de rendimiento y emisiones a distintos tipos de vehículos, por otra parte la información mecánica de los vehículos es puesta a disposición por los distintos fabricantes.

El modelo basado en carga propuesto tiene una estructura polinomial de segundo orden, esto es para asegurar la forma convexa que existe entre la relación del consumo instantáneo de combustible y la potencia ejercida del vehículo. Además para asegurar que la derivada del consumo (F) respecto al torque (T) sea función del torque.

Una gráfica característica de la relación entre consumo y poder ejercido se muestra en la siguiente figura.

Figura 5 Curva característica de la relación entre consumo instantáneo y potencia



Fuente: Rakha et al., 2011

El modelo se expresa como sigue

$$FC(t) = \begin{cases} \alpha_0 + \alpha_1 P(t) + \alpha_2 P(t)^2 & \forall P(t) \geq 0 \\ \alpha_0 & \forall P(t) < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde α_0 , α_1 y α_2 son constantes que se calibran en específico para cada vehículo a evaluar. $P(t)$ Corresponde a la potencia ejercida para cualquier instante de tiempo t , según la siguiente ecuación.

$$P(t) = \left(\frac{R(t) + (1 + \gamma)ma(t)}{3600\eta_d} \right) v(t) \quad \text{Ec. 15}$$

La siguiente tabla resume las componentes de la Ec. 15 presentada

Tabla 1 Componentes para la Estimación de la Potencia.

Descripción	Abreviación y unidades	Descripción	Abreviación y unidades
Fuerzas Resistivas	R(t) (N)	Factor rotacional de masa	γ
Masa del vehículo	m (kg)	Eficiencia de transmisión mecánica	η_d %
Aceleración instantánea	a(t) (m/s ²)	Velocidad instantánea	v(t) (km/h)

Fuente: Rakha et al., 2011

Cabe destacar que la velocidad y aceleración instantáneas se pueden obtener mediante un sistema de diagnóstico a bordo (On Board Diagnostics) o simplemente de un sistema de posicionamiento global (GPS).

El término de masa rotacional para vehículos livianos se estima en 0.04, en tanto para vehículos pesados el valor usado es 0.1 (Rakha et al., 2014)

Con respecto a $R(t)$, este se compone principalmente por la resistencia aerodinámica, la resistencia a la rodadura y la resistencia debido a la componente gravitacional, su expresión general se define como sigue:

$$R(t) = R_a + R_{rl} + R_g \tag{Ec. 16}$$

Desarrollando cada uno de los términos de la ecuación, se tiene la siguiente expresión:

$$R(t) = \frac{\rho}{25.92} C_D C_h A_f V^2 + 9.8066m \frac{C_r}{1000} (c_1 v(t) + c_2) + 9.8066mG \tag{Ec. 17}$$

La definición y descripción tanto de $R(t)$, como de cada una de las variables y parámetros que la componen, se presentan en el acápite 5.2 denominado “Dinámica del movimiento de los vehículos”.

En relación a los parámetros α_0 , α_1 y α_2 , éstos se explican a continuación.

El consumo de combustible en ralentí es modelado por la ecuación (18) y acotado por la ecuación (19), esto para asegurar la forma convexa del modelo. La expresión de la ecuación (18) es un punto medio de operación del método planteado por (Guzzella et al., 2007). En realidad el consumo de ralentí fluctúa constantemente, sin embargo el modelo asume por simplicidad, que la tasa de consumo permanece constante (Rakha et al., 2011).

$$\alpha_0 = \frac{P_{mfo} w_{idle} d}{22164QN} \tag{Ec. 18}$$

$$\alpha_0 = \text{Max} \left(\frac{P_{mfo} w_{idle} d}{22164QN}, \frac{\left(F_{city} - F_{hwy} \frac{P_{city}}{P_{hwy}} \right) - \varepsilon \left(P_{city}^2 - P_{hwy}^2 \frac{P_{city}}{P_{hwy}} \right)}{T_{city} - T_{hwy} \frac{P_{city}}{P_{hwy}}} \right) \tag{Ec. 19}$$

Los parámetros que forman parte de las ecuaciones expuestas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2 Parámetros para la calibración de α

Presión efectiva media P_{mfo}	400.000 (Pa)
Velocidad del motor en ralentí w_{idle}	(rpm)
Tamaño del motor d	(L)
Poder calorífico del combustible Q	43 MJ/kg para Gasolina y 43,4 MJ/kg para diésel
Número de cilindros del motor N	Sin unidades
Combustible consumido en los ciclos de conducción usados para la calibración F_{city} Ec (20) y F_{hwy} Ec (21)	(L)
Duraciones de los ciclos de conducción usados para la calibración T_{city} y T_{hwy}	(s)
Potencia ejercida total del ciclo de conducción P_{city} y P_{hwy} Ec (22)	(KW)
Potencia al cuadrado ejercida total del ciclo de conducción P_{city}^2 y P_{hwy}^2 Ec (23)	(KW ²)

Fuente: Rakha et al., 2011

Con respecto al término ε , este asegura que el parámetro de segundo orden (α_2) sea mayor que cero. Experimentaciones con el modelo revelaron que un valor mínimo de 1E-06 asegura un rendimiento óptimo en el consumo de combustible para velocidades que oscilan entre los 60 y 80 km/h, el cual es un rango típico para vehículos livianos. Para vehículos pesados este valor se reduce a 1E-08 para asegurar un rendimiento óptimo en el consumo de combustible para velocidades dentro de los 40 y 60 km/h.

Las ecuaciones para el cálculo de F_{city} , F_{hwy} , P_{city} , P_{hwy} , P_{city}^2 y P_{hwy}^2 se presentan a continuación.

$$F_{city} = \frac{3.7854 (l) * (\text{distancia recorrida del ciclo en km})}{1.6093 (km) * FE_{city}(mpg)} \quad \text{Ec. 20}$$

$$F_{hwy} = \frac{3.7854 (l) * (\text{distancia recorrida del ciclo en km})}{1.6093 (km) * FE_{hwy}(mpg)} \quad \text{Ec. 21}$$

$$P_{city} = \sum_{t=0}^{T_{city}} P(t) \quad \text{y} \quad P_{hwy} = \sum_{t=0}^{T_{hwy}} P(t) \quad \text{Ec. 22}$$

$$P_{city}^2 = \sum_{t=0}^{T_{city}} P(t)^2 \quad y \quad P_{hwy}^2 = \sum_{t=0}^{T_{hwy}} P(t)^2 \quad \text{Ec. 23}$$

Para el caso de vehículo livianos cuyos modelos sean a partir del año 2008, la eficiencia de combustible reportada por la EPA se corrige usando las siguientes ecuaciones ((24) y (25)). Debido a que las pruebas realizadas sobre los ciclos de conducción se hacen con modificaciones en el uso de accesorios de los vehículos, esto en general disminuye la eficiencia del combustible.

$$FE_{city} = \frac{1.18053}{\frac{1}{FE'_{city}} - 0.003259} \quad \text{Ec. 24}$$

$$FE_{hwy} = \frac{1.3466}{\frac{1}{FE'_{hwy}} - 0.001376} \quad \text{Ec. 25}$$

Con respecto a α_2 , éste debe ser mayor que cero para asegurar la estructura cuadrática del modelo y limitar que se produzcan las oscilaciones abruptas en los niveles de consumo. El parámetro α_2 se puede estimar como lo indica la siguiente ecuación.

$$\alpha_2 = \frac{\left(F_{city} - F_{hwy} \frac{P_{city}}{P_{hwy}}\right) - \left(T_{city} - T_{hwy} \frac{P_{city}}{P_{hwy}}\right) \alpha_0}{P_{city}^2 - P_{hwy}^2 \frac{P_{city}}{P_{hwy}}} \geq \varepsilon \quad \text{Ec. 26}$$

Cabe recordar que ε cambia entre vehículos livianos y pesados, siendo 1E-06 y 1E-08 respectivamente.

El parámetro α_1 se estima de acuerdo a la siguiente ecuación

$$\alpha_1 = \frac{F_{hwy} - T_{hwy} \alpha_0 - P_{hwy}^2 \alpha_0}{P_{hwy}} \quad \text{Ec. 27}$$

Adicionalmente se pueden estimar los parámetros α_2 y α_1 con un sistema de ecuaciones lineales como se presenta a continuación y considerando que α_2 debe ser mayor o igual a ε .

$$F_{city} = T_{city} \alpha_0 + P_{city} \alpha_1 + P_{city}^2 \alpha_2 \quad \text{Ec. 28}$$

$$F_{hwy} = T_{hwy} \alpha_0 + P_{hwy} \alpha_1 + P_{hwy}^2 \alpha_2 \quad \text{Ec. 29}$$

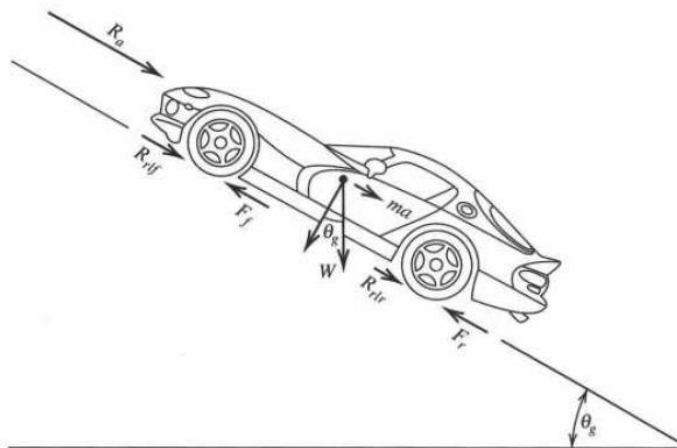
El acápite siguiente se centra en las fuerzas resistivas, sus expresiones de cálculo y los parámetros usados para su estimación.

5.2 Dinámica del movimiento de los vehículos

El factor que explica la potencia requerida es la fuerza de tracción, que es la fuerza disponible por el motor del vehículo (N). Esta fuerza debe compensar la suma de las fuerzas resistivas y la inercia del vehículo que se definen como aquellas que impiden el movimiento.

Existen tres principales fuentes de resistencias sobre el movimiento del vehículo, estas son: (1) la resistencia aerodinámica, (2) resistencia al rodamiento y (3) la resistencia gravitacional. Para ilustrar estas fuerzas, se considera el siguiente diagrama mostrado en la figura 6.

Figura 6. Diagrama de fuerzas sobre un vehículo



Fuente: Mannering et al., 2009

En la figura anterior se pueden observar las siguientes fuerzas y componentes cinemáticas.

R_a = Resistencia aerodinámica (N).

R_{rlf} = Resistencia a la rodadura de los neumáticos delanteros (N).

R_{rlr} = Resistencia a la rodadura de los neumáticos traseros (N).

F_f = Fuerza tractiva disponible en los neumáticos delanteros (N).

F_f = Fuerza tractiva disponible en los neumáticos traseros (N).

W = Peso total del vehículo (N).

θ_g = Ángulo de la pendiente en grados.

m = masa del vehículo (kg).

a = aceleración (m/s^2).

Al realizar un equilibrio de fuerzas a lo largo del eje longitudinal del vehículo, se encuentra la siguiente ecuación básica del movimiento del vehículo:

$$F_f + F_r = ma + R_a + R_{rlf} + R_{rlr} + R_g \quad \text{Ec. 30}$$

Donde R_g es la resistencia debido a la pendiente con respecto a la horizontal y es igual a $W\sin\theta_g$. Para fines conceptuales es conveniente agrupar las fuerzas tractivas de cada eje como la suma (F) de ellas, lo mismo ocurre con las resistencias a la rodadura, éstas se pueden expresar como la suma (R_{rl}) de ellas. Teniendo en cuenta estas consideraciones, podemos escribir la ecuación como sigue:

$$F = ma + R_a + R_{rl} + R_g \quad \text{Ec. 31}$$

5.2.1 Resistencia Aerodinámica

La resistencia aerodinámica es una fuerza resistiva que puede tener un impacto significativo en el rendimiento del vehículo. A altas velocidades, resultan importantes las componentes del diseño de los vehículos para mitigar su impacto. Más recientemente, la eficiencia del combustible y el rendimiento general de los vehículos han resultado en diseños aerodinámicos más eficientes, principalmente en vehículos livianos. Esto no ocurre para camionetas, vehículos sub-urbanos (SUVS), buses o camiones.

La expresión usada (Rakha et al., 2011) para el modelo propuesto se expresa a continuación:

$$R_a = \frac{\rho}{25.92} C_D C_h A_f V^2 \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

ρ = Densidad del aire al nivel del mar y a 15°C, (1.2256 kg/m^3).

C_D = Coeficiente de arrastre (sin unidades).

C_h = Factor de corrección en función de la altitud, se calcula como:

$$C_h = 1 - 0.085H, \text{ Donde } H \text{ corresponde a la altitud en Km.}$$

A_f = Área frontal (m^2)

V = Velocidad del vehículo (km/h).

El valor de C_d varía de vehículo en vehículo, este valor generalmente se reporta por el fabricante del vehículo, no obstante los rangos típicos del coeficiente de arrastre de los vehículos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3 rangos típicos de C_d

Categoría	C_d
Camiones y buses (vehículos pesados)	0.6 - 1.2
Camionetas y SUVs	0.4 - 0.6
Vehículos livianos	0.2 - 0.4

Fuente: Rakha et al., 2001

5.2.2 Resistencia a la rodadura

Esta resistencia se refiere principalmente a la generada por la deformación de los neumáticos cuando pasa sobre la calzada. Depende principalmente del peso del vehículo, de la composición de la calzada, de los tipos de neumáticos y de la velocidad. La expresión que se usa para describir el fenómeno en el modelo (Rakha et al., 2011) corresponde a:

$$R_{rf} = 9.8066m \frac{C_r}{1000} (c_1 v(t) + c_2) \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

m = Masa del vehículo

C_r = Coeficiente de fricción de rodadura

c_1 = Parámetro que varía en función del tipo de neumático

c_2 = Parámetro que varía en función del tipo de neumático

$v(t)$ = Velocidad del vehículo (km/h).

Los valores propuestos para los parámetros C_1 , C_2 y C_r , se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 4 Constantes C_1 y C_2 para la resistencia a la rodadura

Tipo de neumático	C_1	C_2
Cubierta diagonal (plegada)	0,00438	6,1
Cubierta radial	0,0328	4,575

Fuente: Rakha et al., 2001

Tabla 5 Coeficientes de la superficie de rodado

Tipo de pavimento	Condición del pavimento	Cr
Concreto	Excelente	1,00
	Bueno	1,50
	Malo	2,00
Asfalto	Excelente	1,25
	Bueno	1,75
	Malo	2,25
Gravilla compactada	Excelente	1,50
	Bueno	2,25
	Malo	3,75
Adoquines	Común	5,50
	Malos	8,5.
Arena	suave	6,0 – 15,0
	Duna (suelta)	16,0 – 30,0

Fuente: Rakha et al., 2001

5.2.3 Resistencia debido a la pendiente

Esta resistencia corresponde simplemente a la fuerza gravitacional, en particular se refiere a la componente de fuerza paralela a la calzada que actúa sobre el vehículo cuando existe algún grado de inclinación. La expresión usada por el modelo (Rakha et al., 2011) corresponde a la siguiente:

$$R_g = W \sin \theta_g \quad \text{Ec. 34}$$

Sin embargo, debido a que usualmente las pendientes en carreteras y vías urbanas son pequeñas, se puede aproximar la expresión como sigue: $\sin \theta_g \approx \tan \theta_g$, reescribiendo la ecuación queda como:

$$R_g = W \tan \theta_g = WG \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

G = el grado, se define como la elevación vertical dado una distancia horizontal,
Típicamente se expresa en porcentajes m/m.

W = Peso del vehículo (N)

5.2.4 Inercia del vehículo

Respecto a la inercia, fuerza que se experimenta cuando acelera o desacelera el vehículo, la expresión usada por el modelo se deriva del análisis del movimiento de un cuerpo.

$$F_i = \gamma_m m a \quad \text{Ec. 36}$$

Donde para vehículos livianos:

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025\epsilon^2 \quad \text{Ec. 37}$$

Y para vehículos pesados:

$$\gamma_m = 1.1 + 0.0025\epsilon^2 \quad \text{Ec. 38}$$

El modelo propuesto elimina $0.0025\epsilon^2$ de la expresión, debido a que el término ϵ depende del tipo de marcha del vehículo (caja de cambios), lo cual no es un dato conocido al momento de evaluar el modelo. Aun así, de acuerdo a las experimentaciones, eliminar ese término no significa una pérdida importante en la precisión de la estimación.

Para efectos de evaluar el porcentaje de potencia requerida del motor a causa de cada una de las fuerzas resistivas mencionadas, se considera tanto la fuerza de inercia como la fuerza de gravitación como una sola fuente de resistencia.

5.3 Emisiones de CO₂

Para estimar las emisiones de CO₂ el modelo original, utiliza una regresión lineal en base a mediciones empíricas donde calibra un parámetro de proporción respecto al consumo de combustible, mayores detalles se pueden encontrar en (Rakha et al., 2011).

Para efectos de este estudio, se utilizarán las relaciones propuestas por la EPA en su publicación (EPA, 2005).

De acuerdo a los valores provistos por el Código de Regulaciones Federales de Estados Unidos (40 CFR 600.113), el contenido de carbono en gasolina y diésel por galón (medida inglesa) corresponde a:

Carbono en un galón de gasolina: 2.421 gramos

Carbono en un galón de diésel: 2.778 gramos

Nota: 1 galón = 3,7854 litros

Para calcular las emisiones de CO₂, el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, en sus siglas en inglés) sugiere aplicar un factor de oxidación al contenido de carbono, esto para dar cuenta de la pequeña parte del combustible que no se oxida en CO₂. Para todos los productos derivados del petróleo el factor de oxidación usado es 0.99 (esto quiere decir que el 1% del carbono no se oxida en CO₂)

Finalmente para calcular las emisiones de CO₂ por galón de combustible, el carbono contenido es multiplicado por la relación entre el peso molecular del CO₂ (44 g/mol) y el peso molecular del carbono (12 g/mol): 44/12

CO₂ emitidos de 1 galón de gasolina = 2.421 gramos x 0,99 x (44/12) = 8.788 gramos = 8,8 kg/galón = 2.325 gramos/litro

CO₂ emitidos de 1 galón de diésel = 2.788 gramos x 0,99 x (44/12) = 10.084 gramos =10,1 kg/galón = 2.668 gramos/litro

Por lo tanto los valores usados para la estimación de CO₂ en el modelo, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 6 Factores de emisión de CO₂ según tipo de combustible

Emisiones de CO ₂ para gasolina	2325 g/l
Emisiones de CO ₂ para diésel	2668 g/l

Fuente: EPA, 2005

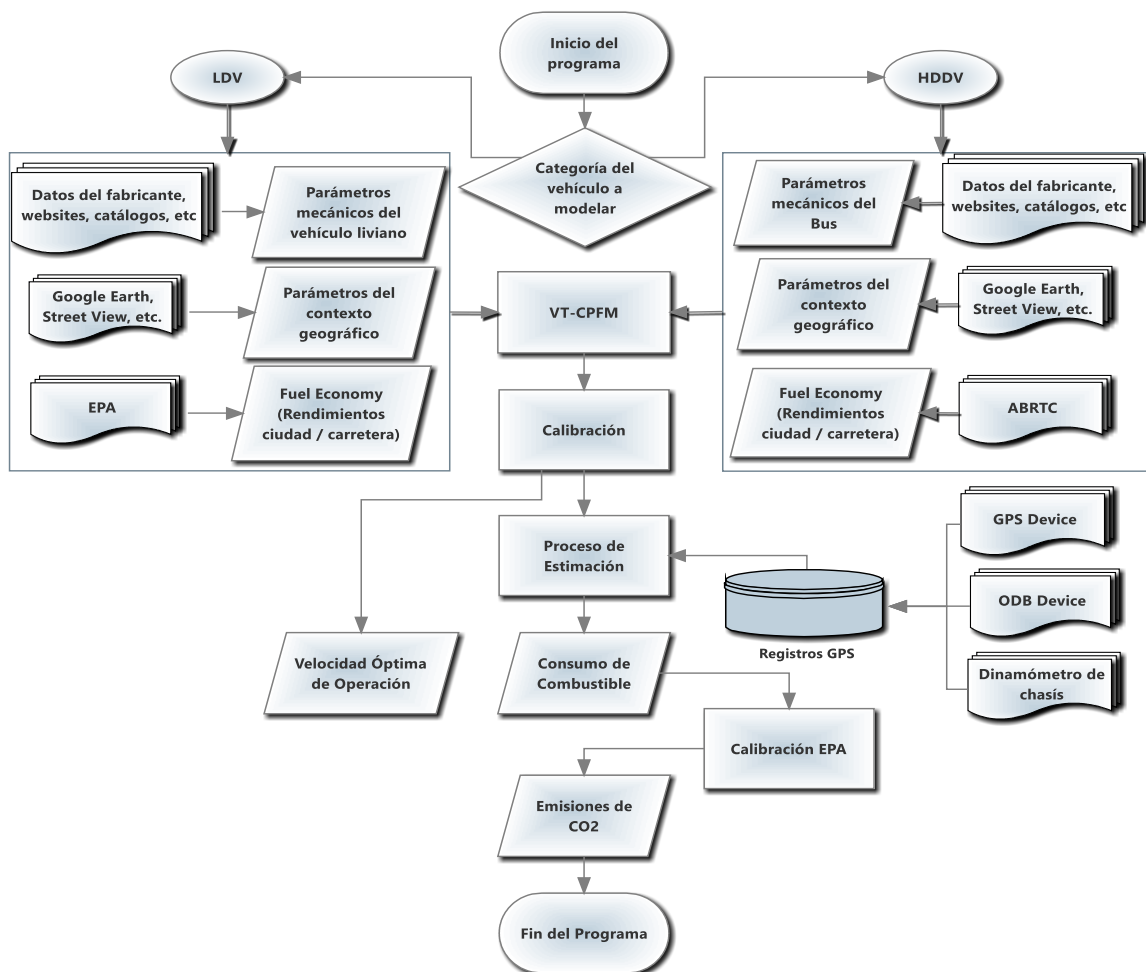
6 PROGRAMACIÓN DEL MODELO PARA EL DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE APLICACIÓN

Se ha codificado el modelo en Visual Basic para aplicaciones (VBA), debido a que su entorno (Excel) es popular, lo que permite que se pueda ejecutar en la mayoría de los computadores.

La aplicación desarrollada permite la calibración para un vehículo liviano o pesado (bus), además permite que el usuario importe los perfiles de velocidad y elevación para luego estimar los consumos de combustible y emisiones de CO_2 asociados al perfil importado. Por otra parte, dada una calibración, el programa estima la velocidad óptima de operación desde el punto de vista de eficiencia en el consumo de combustible.

Un diagrama de flujo del programa es presentado a continuación:

Figura 7 Diagrama de flujo de la herramienta de aplicación



Fuente: Elaboración Propia

6.1 Ciclos de conducción

6.1.1 Dinamómetro de chasis

Cabe destacar que todos los ciclos de conducción estándar presentados son obtenidos mediante la programación de un dinamómetro de chasis, éstos ciclos se estiman en condiciones controladas de laboratorio y simulan diversas conductas de conducción. Éstos son usados principalmente para estimar eficiencias del consumo de combustible, emisiones de CO_2 entre otros.

6.1.2 Ciclos para vehículos livianos

Para el caso de los vehículos livianos, los ciclos de conducción seleccionados para la calibración del modelo corresponden a los que usa la EPA para estimar la eficiencia del uso del combustible. La EPA publica cada año información oficial respecto a la eficiencia del combustible en ambientes urbanos e interurbanos para una gran gama de vehículos livianos comerciales.

La base de datos de los perfiles, los gráficos y la información asociada a ellos se presenta en los anexos adjuntos a la presente memoria.

6.1.3 Ciclos para vehículos pesados

Debido a que uno de los objetivos de esta memoria es estimar los consumos de combustibles en el transporte público del Gran Concepción (buses), se han usado para la calibración ciclos que representan el comportamiento en particular de esta categoría de vehículos. Además, considerando que la EPA no realiza pruebas de rendimiento para buses, se ha usado la base de datos proporcionada por ABRTC, según lo señala la publicación (Rakha et al., 2014)

La base de datos de los perfiles, los gráficos y la información asociada a ellos se presenta en los anexos adjuntos a la presente memoria.

6.2 Velocidad Óptima De Operación

Para estimar la velocidad óptima de operación se utilizó un perfil de velocidad tipo, que parte del ralentí hasta una velocidad máxima (en general se evalúa hasta 120 km/h), y una aceleración constante de 0.7 m/s^2 , luego se calcula el consumo de combustible para la combinación de velocidad y aceleración descrita y se busca la velocidad que presentó el menor consumo de combustible.

De los vehículos analizados, se pudo observar que para vehículos livianos, el rango de velocidad óptima se comprende entre los 60 km/h y 80 km/h.

Para el caso de los vehículos pesados, su rango de velocidad óptima se encuentra entre los 30 km/h y 60 km/h.

Estas estimaciones son consistentes con la literatura revisada (Rakha et al., 2011, 2014)

A continuación se presentan dos gráficos que dan cuenta de los rangos mencionados.

Figura 8 Velocidad óptima de operación (vehículo liviano 75.46 km/h)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9 Velocidad óptima de operación (vehículo pesado 45.63 km/h)



Fuente: Elaboración Propia

6.3 Estimación de emisiones de CO₂

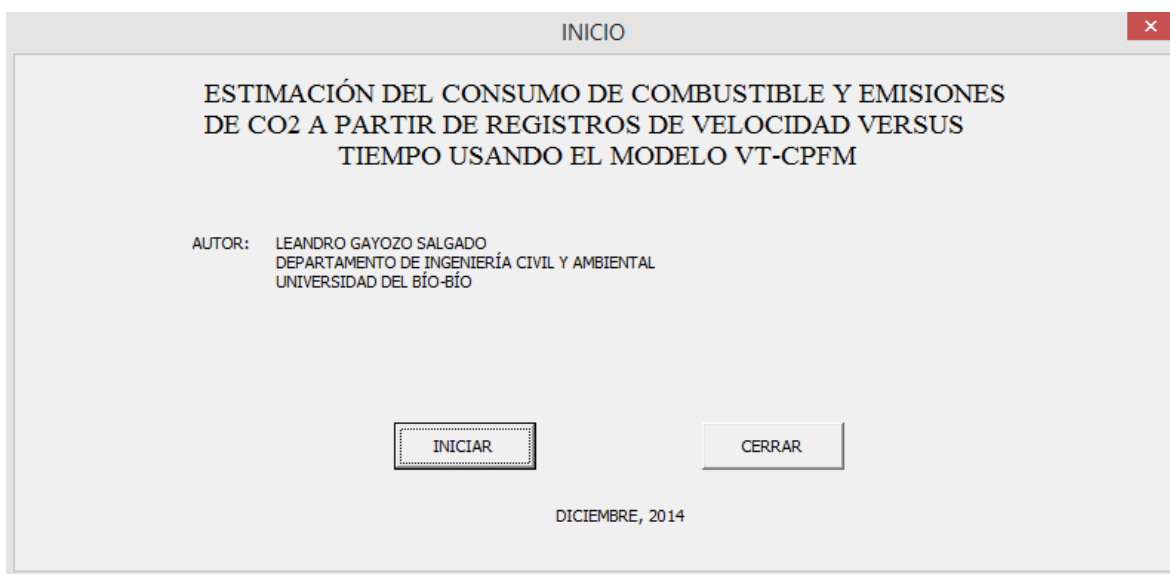
Como se mencionó en el acápite 5.3, la estimación de CO₂ se realizó usando la propuesta de la EPA, que depende principalmente del tipo de combustible usado por el vehículo modelado.

El programa permite indicar el tipo de combustible a usar. Los resultados se pueden consultar tanto de forma numérica como gráfica.

6.4 Extractos del programa en VBA

A continuación se presentan extractos del programa con datos de la calibración y los resultados para un vehículo liviano (Honda Accord 2010). La codificación del programa se presenta en los anexos digitales adjuntos a la memoria.

Figura 10 Pantalla de inicio del programa



Fuente: Elaboración propia

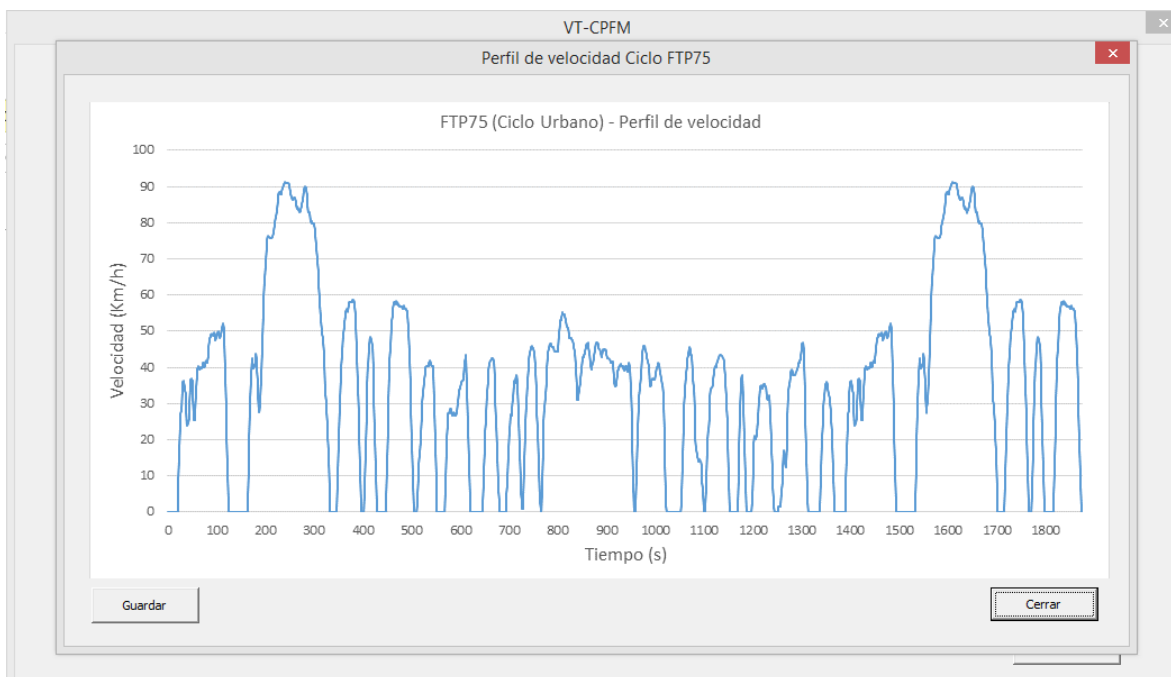
Figura 11 Pantalla de ingreso de parámetros para la calibración

Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Pantalla de calibración y muestra de perfiles

Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Perfiles de calibración



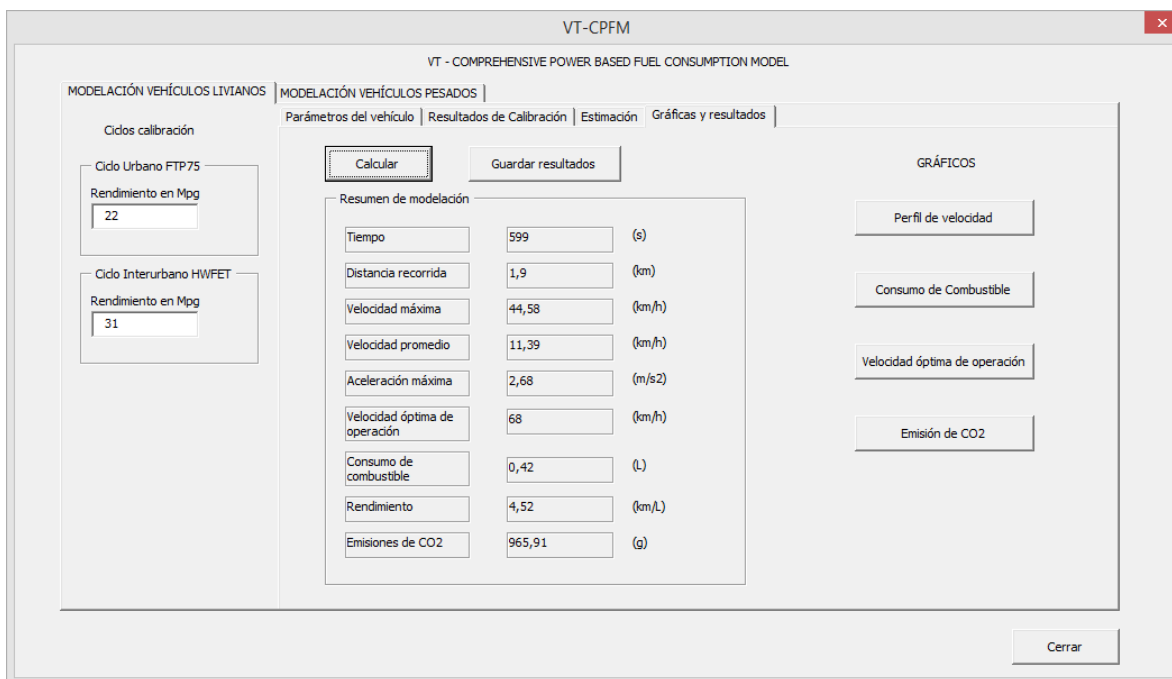
Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Pantalla de ingreso de perfiles para la estimación de consumo y emisiones

Tiempo(s)	Velocidad(km/h)	Aceleración(m/s ²)
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0,48	0,13
8	0	-0,13
9	0,32	0,09

Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Pantalla de cálculo de estimaciones



Fuente: Elaboración propia

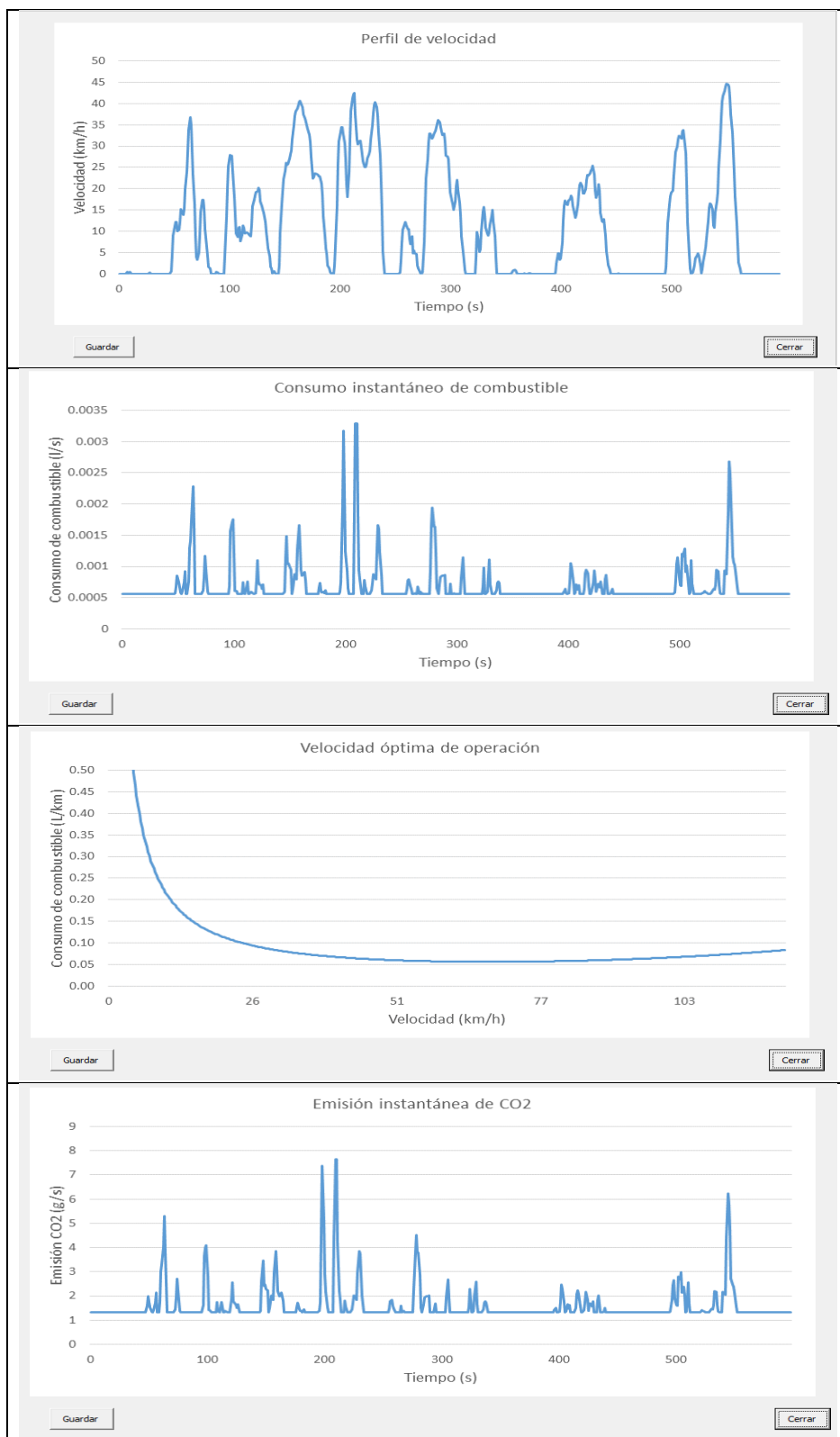
Figura 16 Reporte generado a partir de la modelación

	A	B	C	D	E	F
1	Lgajozo:	lgajozo@alumnos.ubiobio.cl				
2	Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental					
3	Universidad del Bío-Bío					
4	ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y					
5	EMSIÓN DE CO ₂					
6	fecha de modelación	03-01-2015 18:20				
7	PARAMETROS DEL VEHÍCULO					
8	Año del modelo	2010				
9	Masa del vehículo	1453 kg				
10	Área frontal (A _f)	2.32 m ²				
11	Eficiencia de transmisión	0.92				
12	Tamaño del motor	2.4 L				
13	Número de cilindros	4				
14	Velocidad ralenti	700 rpm				
15	Rendimiento en ciudad	22 mpg				
16	Rendimiento en carretera	31 mpg				
17	RESULTADOS					
18	Tiempo	599 s				
19	Distancia recorrida	1.9 km				
20	Velocidad máxima	44.58 km/h				
21	Velocidad promedio	11.39 km/h				
22	Aceleración máxima	2.68 m/s ²				
23	Velocidad óptima de operación	68 km/h				
24	Consumo de combustible	0.42 L				
25	Rendimiento	4.52 km/L				
26	Emisiones de CO ₂	965.91 g				
27						

RESUMEN_LDV

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17 Resultados gráficos de la modelación



Fuente: Elaboración propia

7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se ha propuesto realizar un análisis de sensibilidad desde dos enfoques, uno de ellos analiza la contribución de cada una de las fuerzas como variables explicativas para la estimación de la potencia, y la otra analiza los resultados del modelo en comparación con las mediciones realizadas por ABRTC mediante un dinamómetro de chasis.

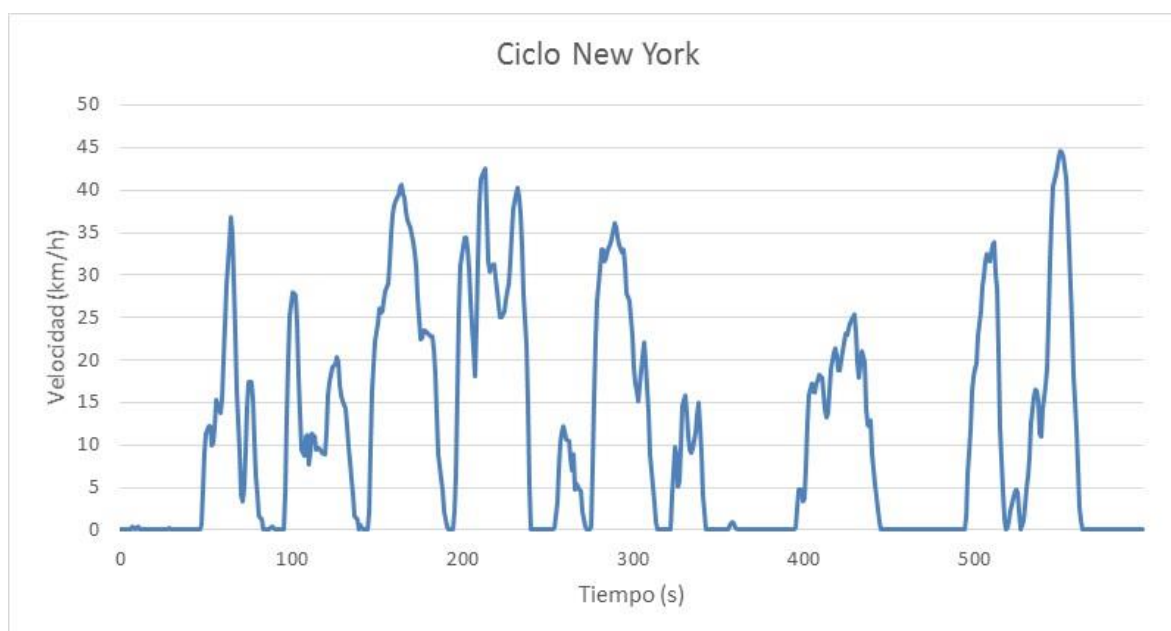
7.1 Contribución de las fuerzas a la estimación de la potencia

Como ya se explicó en el acápite 5.1 el modelo se basa en el cálculo de la potencia para la estimación del consumo, y esta a su vez en el cálculo de las fuerzas resistivas como variables explicativas de la potencia.

Para este análisis se ha usado un ciclo estandarizado denominado New York City Cycle. Con él se estima la potencia total y la potencia generada por cada una de las fuerzas resistivas. Dado que los ciclos estandarizados son programados en un dinamómetro de chasis, estos no presentan un perfil de pendientes, para efectos del análisis se han introducido distintos perfiles de pendientes con el fin de observar el efecto de la inercia en la potencia requerida.

Tanto el perfil de velocidad como las características principales se presentan a continuación.

Figura 18 Perfil de velocidad New York City Cycle.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7 Características New York City Cycle

Distancia total	1902,76 m	Velocidad promedio	11,5 km/h
Tiempo total	598 s	Velocidad máxima	44,45 km/h
Tiempo conducción	412 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	176 s	Máxima aceleración	2.68 m/s ²
Tiempo de desaceleración	175 s	Número de detenciones	7
Tiempo detenido	186 s	Promedio tiempo parada	26.57 s

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados se presentan a continuación

Tabla 8 Sensibilidad de la potencia

Pendiente	Potencia debido a (KW)						Total
	Aerodinámica		Rodadura		Inercia		
-1%	299.44	20%	1216.90	80%	-301.1	-	1215.25+301.1
-0.5%	299.44	15.3%	1216.90	62.0%	446.53	22.7%	1962.88
0%	299.44	11.0%	1216.90	44.9%	1194.16	44.1%	2710,51
0.5%	299.44	8.7%	1216.90	35.2%	1941.79	56.2%	3458.14
1%	299.44	7.1%	1216.90	28.9%	2689.42	63.9%	4205.77
2%	299.44	5.3%	1216.90	21.3%	4184.69	73.4%	5701.03
3%	299.44	4.2%	1216.90	16.9%	5679.95	78.9%	7196.29
4%	299.44	3.4%	1216.90	14.0%	7175.21	82.6%	8691.55

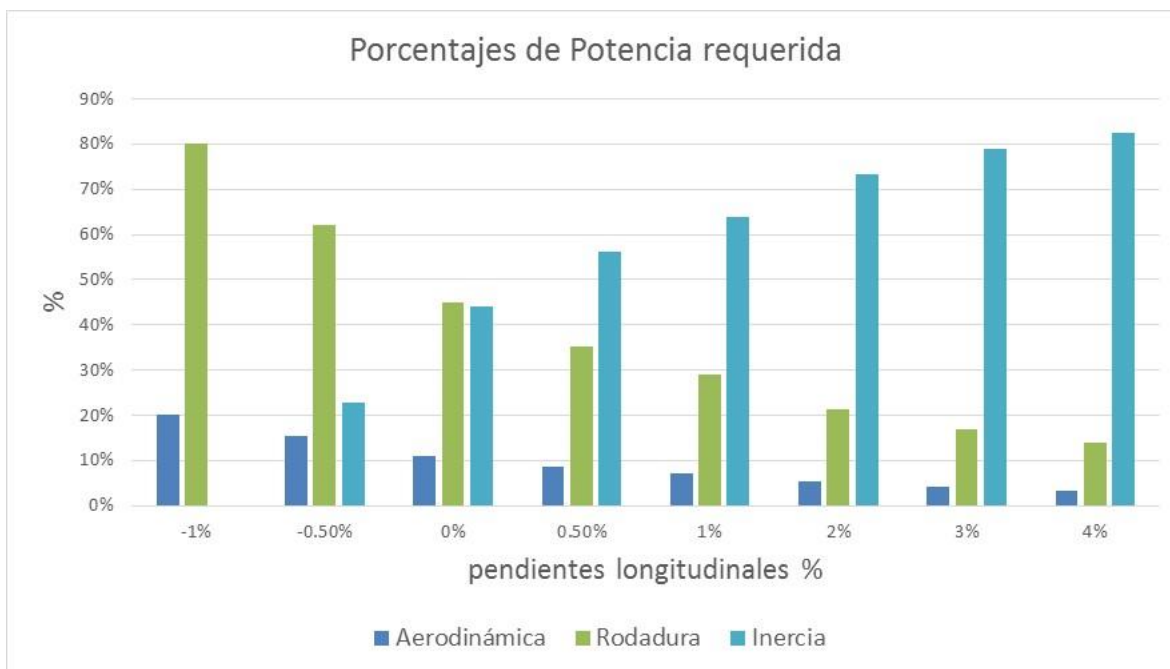
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, para pendientes cercanas e inferiores a 0% [-1%, 0.5%], la potencia debido a la rodadura es importante, alcanzando en -1% de pendiente, un 80% de la potencia requerida y para un 0.5% de pendiente un 35.2% de la potencia requerida.

Para pendientes superiores a 0%, la inercia pasa a ser más importante alcanzando para pendientes del 4%, potencias debido a la inercia superiores al 80%.

Es debido a esto la importancia de los parámetros usados para la estimación en relación a la superficie de rodado y las características topográficas de la calzada (pendiente).

Los resultados también se presentan de forma gráfica, como se muestran a continuación.

Figura 19 Gráfica de sensibilidad de la potencia

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, existe una clara tendencia con respecto a que a mayores pendientes longitudinales, la inercia como variable explicativa adquiere mayor importancia, esta relación es inversamente proporcional a lo que ocurre con el efecto de la rodadura, que es más importante para bajas pendientes.

7.2 Validación del modelo usando el ciclo Orange County Bus Cycle

Otro enfoque importante, es poder verificar la precisión de las estimaciones del modelo mediante una comparación con datos medidos en terreno, en particular se usarán las mediciones realizadas en los laboratorios del Centro de Investigación y Prueba de Buses de Altoona mediante un dinamómetro de chasis.

Se señala que esta validación fue realizada por el autor del modelo usando la misma base de datos (ABRTC), los detalles y conclusiones pueden encontrarse en (Rakha et al., 2014). No obstante lo anterior, para la aplicación del modelo en este estudio se ha realizado una serie de aproximaciones, en particular con las referidas a los perfiles de aceleración, que se presentan como una aproximación del perfil de velocidad, debido a que no se contaba con ellos.

Para las pruebas de emisiones se midieron los rendimientos registrados para el ciclo Manhattan y el HD-UDDS. Además de éstos, se midieron las emisiones y el rendimiento para el ciclo Orange County.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de la prueba de emisiones realizada por ABRC.

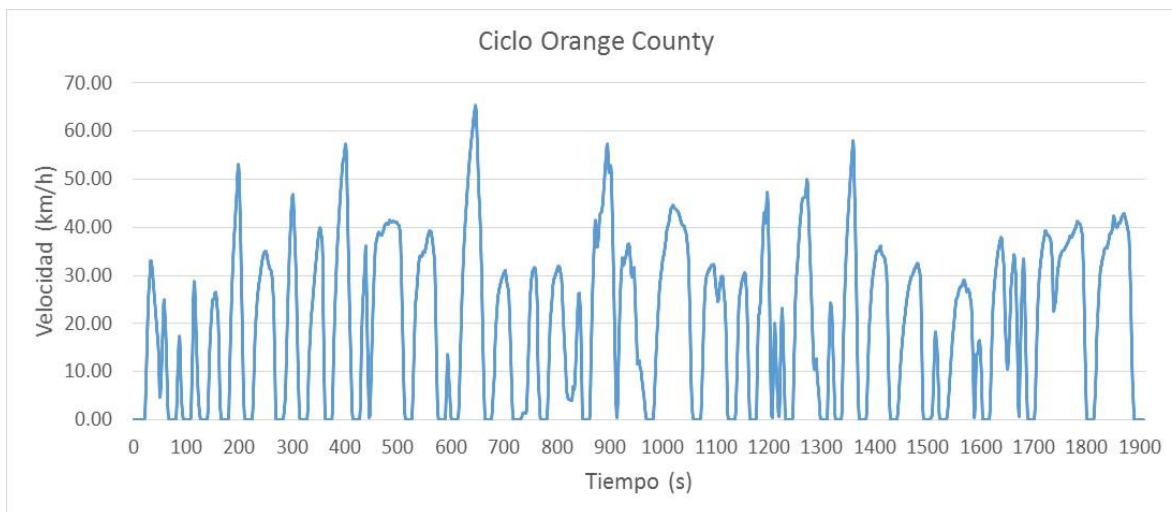
Tabla 9 Mediciones de ABRTC sobre los ciclos estándar

	Manhattan	Orange County	HD-UDDS
Emisiones CO ₂ g/km	1377	984	698
Rendimiento de combustible mpg	4.59	6.42	9.05
Rendimiento de combustible km/l	1.95	2.73	3.84

Fuente: www.Altoonabustest.com

La gráfica del ciclo Orange County se presenta a continuación.

Figura 20 Perfil de velocidad Orange County Cycle



Fuente: Elaboración Propia

Las principales características del ciclo se presentan a continuación:

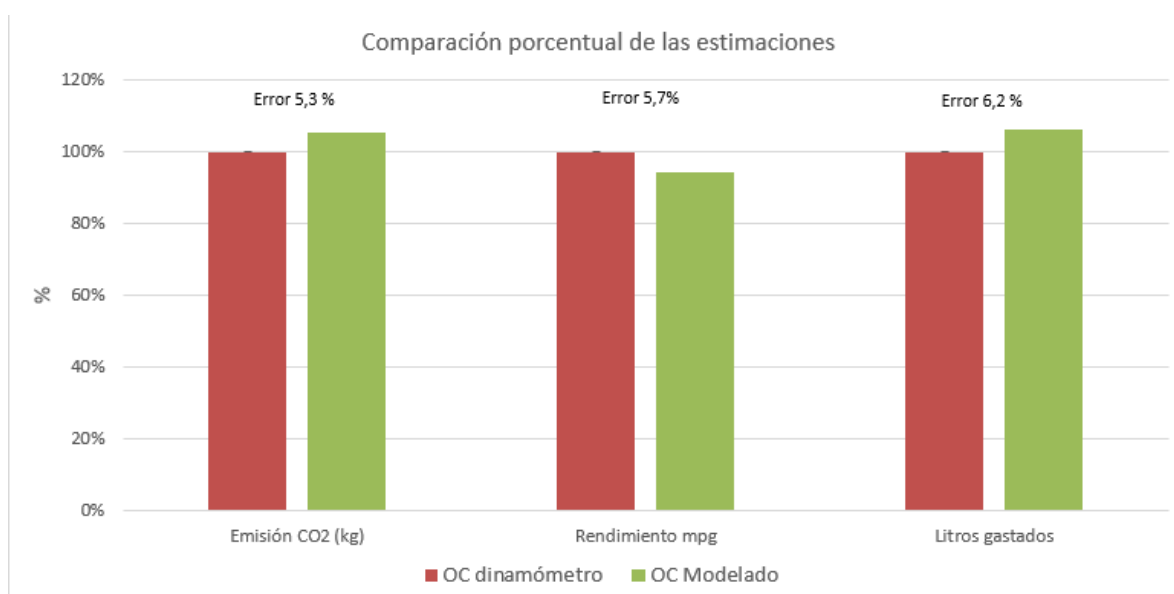
Tabla 10 Características de Orange County Cycle

Distancia total	10529,75 m	Velocidad promedio	19,9 km/h
Tiempo total	1909 s	Velocidad máxima	64,79 km/h
Tiempo conducción	1592 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	794 s	Máxima aceleración	1.81 m/s ²
Tiempo de desaceleración	546 s	Número de detenciones	32
Tiempo detenido	317 s	Promedio tiempo parada	9,91 s

Fuente: Elaboración Propia

Evaluando éste ciclo en el modelo, sus resultados se resumen en el siguiente gráfico

Figura 21 Gráfica comparativa entre OC medido y modelado



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar del gráfico presentado, los resultados son bastante precisos siendo un error promedio de 5.74 % para las estimaciones presentadas.

Por otra parte, es preciso señalar que se presenta la comparación para un caso particular por lo cual no constituye una validación estadística del modelo.

Además, cabe destacar que el modelo original fue desarrollado para vehículos livianos, y que su aplicación en buses es una extensión de dicho modelo, por lo cual se esperan que los resultados en general posean mayores porcentajes de error de acuerdo a lo que advierte su autor.

8 APLICACIÓN DEL MODELO A REGISTROS DE VELOCIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO (BUSES) DEL GRAN CONCEPCIÓN

8.1 Registros GPS del sistema de transporte licitado del Gran Concepción

La base de datos usada para el análisis corresponde a los registros GPS del Sistema de Transporte Público del Gran Concepción. Éstos se enmarcan dentro del contrato de licitación del servicio que actualmente opera.

En particular para realizar el análisis se contará con el registro GPS del recorrido de un bus urbano de la línea Nueva Sol Yet S.A. cuyo servicio es el N° 143

Una vista del recorrido, además de la forma en que se encuentran los datos se presenta a continuación.

Figura 22 Recorrido bus urbano del sistema de transporte público de Concepción

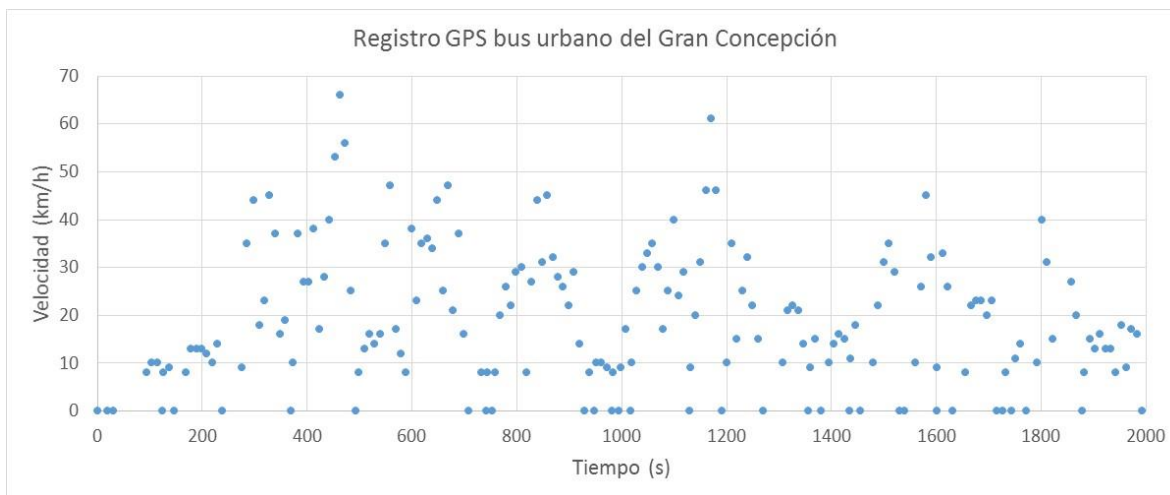


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, los registros se presentan como datos discretos. Los archivos Keyhole Markup Language (kml, para Google Earth) asociados solo indican la hora, posición (Latitud y Longitud) y la velocidad registrada en Km/h.

La siguiente figura muestra un extracto de la estructura de datos de un recorrido.

Figura 23 Gráfica extracto del recorrido de un bus urbano del Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

La forma en que presentan los datos originalmente no es adecuada para input en el modelo (VT-CPFM). Las principales limitaciones se mencionan a continuación.

- Los datos de velocidad se presentan como puntos discretos cada 10 segundos aproximadamente. De acuerdo a la estructura del modelo, esto implica una limitación debido a que se necesitan registros continuos segundo a segundo de velocidad y aceleración para la estimación tanto del consumo de combustible como de la emisión de CO₂.
- Debido a la estructura discreta presentada en los perfiles de velocidad, los perfiles de aceleración que puedan obtenerse son insuficientes en precisión para el fin de su aplicación.
- Los registros solo indican coordenadas geográficas de latitud y longitud, considerando la altitud como 0 m para todos los puntos, esto imposibilita obtener un perfil de elevación que es necesario para obtener los perfiles de pendientes que se usan para el cálculo de la fuerza resistiva de gravitación.

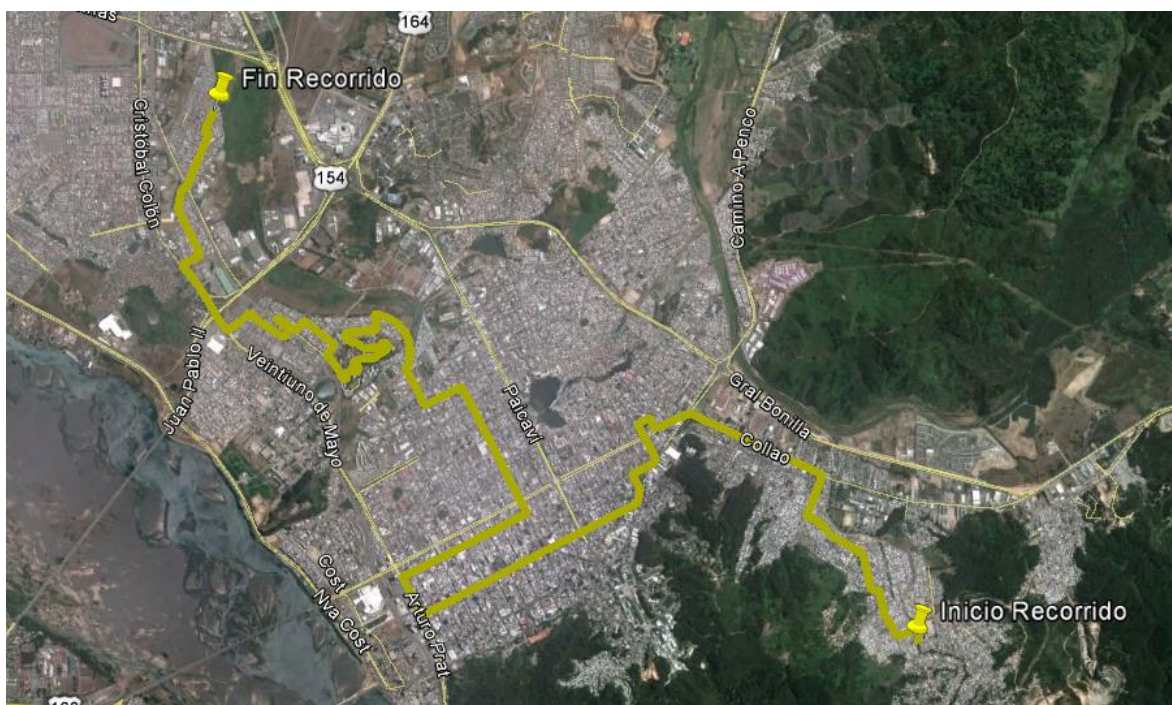
8.2 Depuración de los registros y definición de una zona de estudio

Debido a las limitaciones expuestas en el acápite anterior, se ha procedido a una depuración de los registros disponibles con el fin de que estos sean aplicables para los fines del estudio.

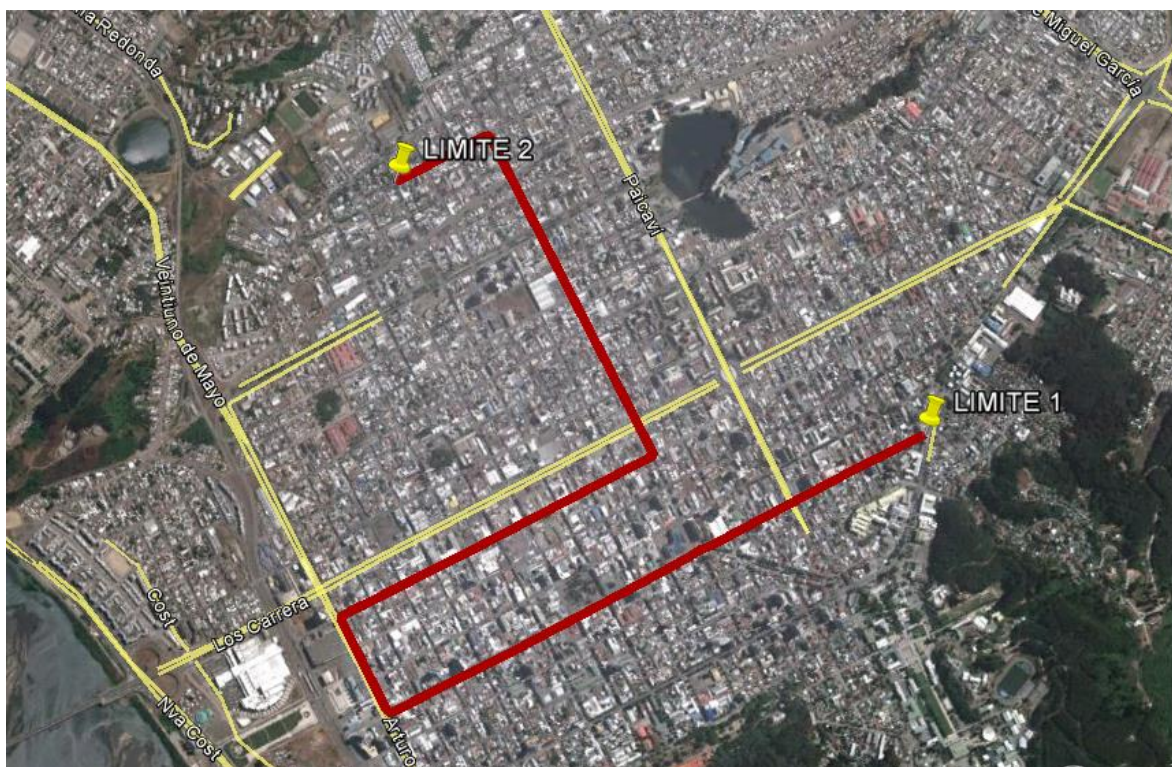
En relación a las limitantes antes expuestas y debido a que se procede a la aproximación en los datos, principalmente en los relacionados con los perfiles de elevación, se ha definido una zona de estudio en el centro de la ciudad con el fin de disminuir el error total en la estimación del modelo.

Se ha seleccionado parte de la ruta de regreso del recorrido del bus urbano. Las siguientes figuras muestran el recorrido de regreso y la zona de estudio seleccionada, respectivamente.

Figura 24 Recorrido de regreso de un bus urbano del Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

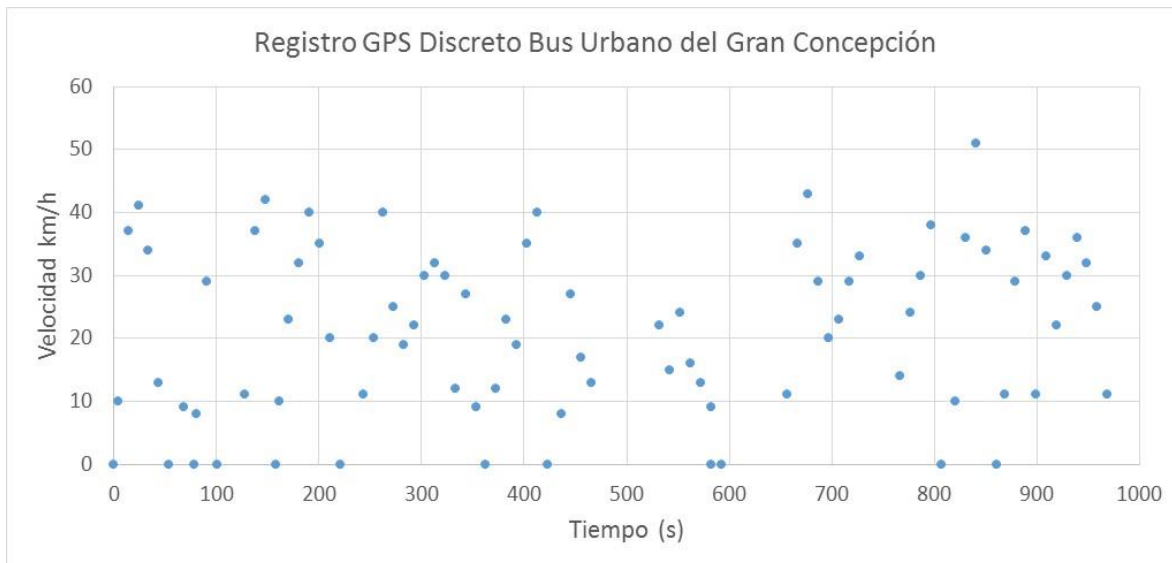
Figura 25 Recorrido de estudio bus urbano del Gran Concepción

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los perfiles de velocidad, se ha desarrollado un código en visual basic para aplicaciones (VBA) que se adjunta en los anexos de la memoria y que permite interpolar las velocidades discretas con el fin de obtener un registro continuo segundo a segundo de velocidad (Se desagrega el registro original). Además se tiene en cuenta que, como se trata de un registro de transporte público, los puntos cuya velocidad son cero se extienden hasta los cercanos manteniendo la velocidad cero, éstos puntos se entienden como los tiempos de parada del bus urbano.

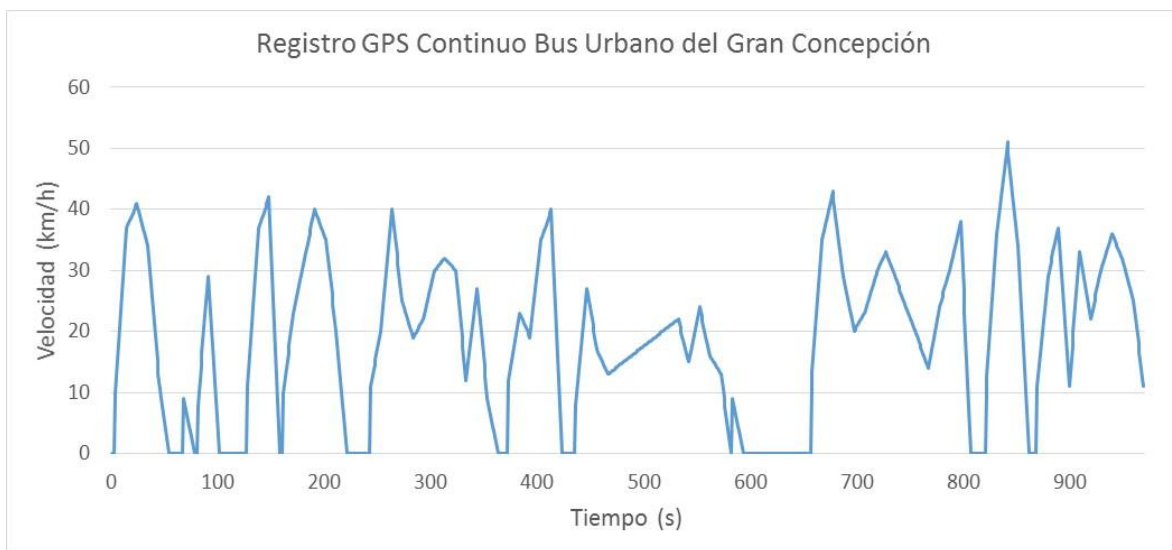
El perfil de velocidad discreto y continuo depurado para la zona de estudio seleccionada se presenta a continuación respectivamente.

Figura 26 Registro discreto de velocidad en el recorrido de estudio bus urbano del Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27 Registro continuo de velocidad en el recorrido de estudio bus urbano del Gran Concepción

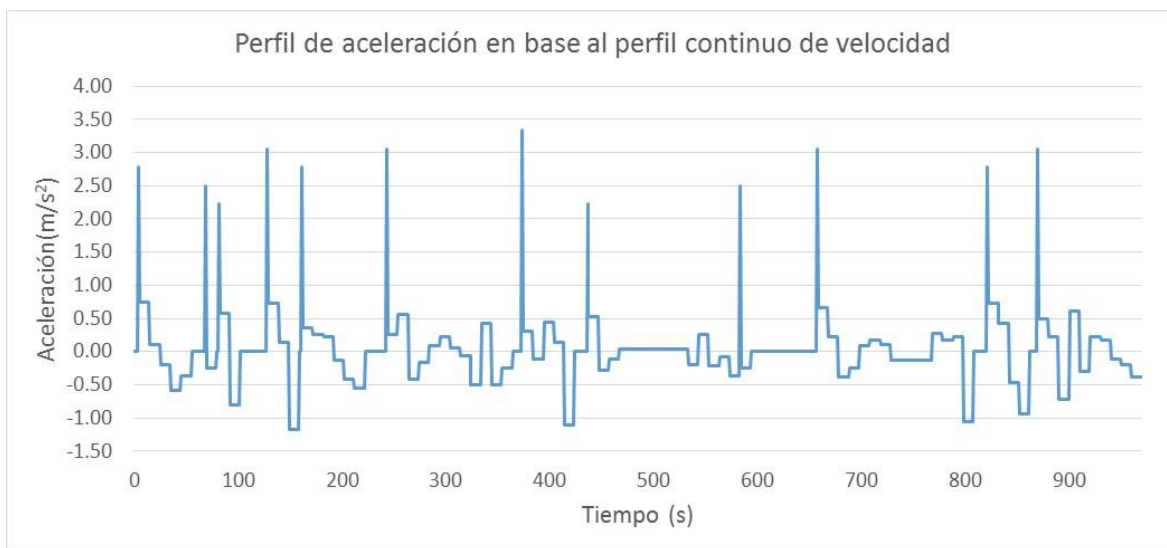


Fuente: Elaboración Propia

La base de datos tanto del perfil discreto como del perfil continuo, se presentan en los anexos de la presente memoria.

En función del perfil continuo de velocidad, se calcula el perfil de aceleración como la variación entre dos datos de velocidad consecutivos.

Figura 28 Perfil de aceleración en el recorrido de estudio bus urbano del Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los perfiles de elevación, éstos se han obtenido mediante la aplicación de los datos georreferenciados de velocidad en el software 3D Route Builder. Éste software asigna la elevación a un par de referencia (Latitud y Longitud) de acuerdo a la base de datos de Google Earth. Dado que los datos originales son discretos, también se procede a la interpolación de ellos aplicando el código de VBA desarrollado. Se reconoce de que para la finalidad del estudio, la precisión obtenida de los perfiles de elevación es insuficiente, aun así, el perfil de pendientes obtenido depurado posee una media de 3.3% y una desviación estándar de 1.7% para los 5 km evaluados aproximadamente, esto es consistente con el análisis previo a la selección de la zona de estudio.

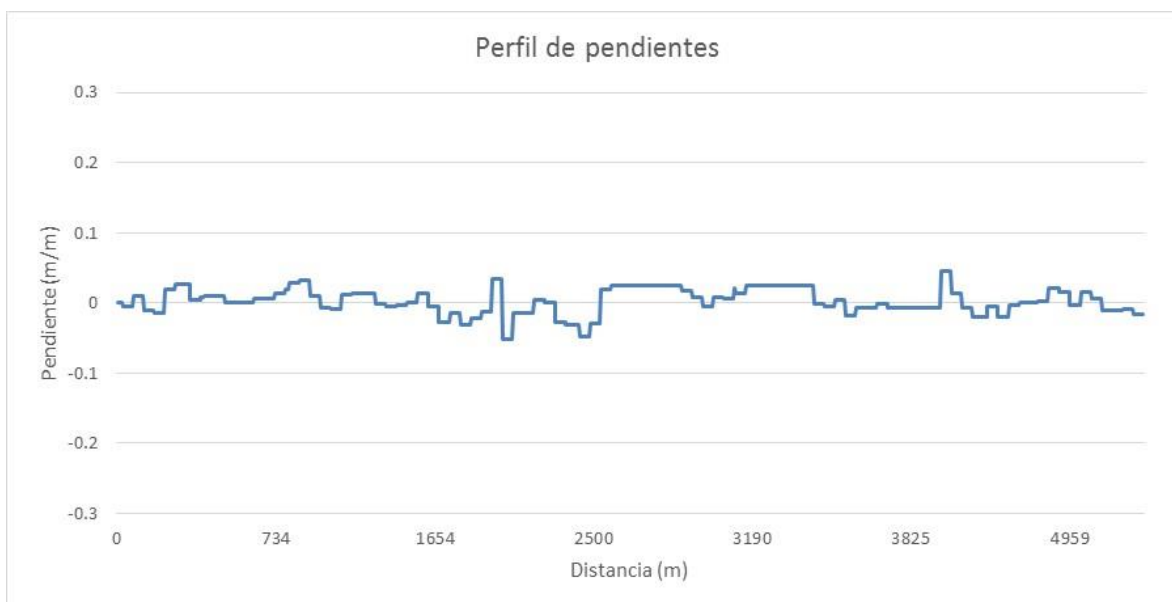
Las siguientes figuras muestran los perfiles obtenidos mediante la depuración explicada anteriormente.

Figura 29 Perfil de elevación en el recorrido de estudio bus urbano del Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30 Perfil de Pendientes en el recorrido de estudio bus urbano del Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

Para obtener la base de datos que contenga la velocidad, aceleración y pendiente segundo a segundo se procede a superponer los perfiles, en particular el de velocidad y el de pendiente.

8.3 Homologación del vehículo

Uno de los supuestos que se harán en este estudio es la homologación del vehículo a calibrar, debido a que no hay datos de los rendimientos en combustible y emisiones de los buses del transporte público del Gran Concepción sobre los ciclos estándar presentados.

En general, no existen pruebas oficiales de rendimiento y emisiones para buses, esto debido a que la EPA no realiza pruebas para certificar rendimiento del combustible ni emisiones para buses ni vehículos pesados en general.

La homologación se hará usando la base de datos publicada por el Centro de Investigación y Pruebas para Buses de Altoona, institución que publica resultados de distintas pruebas para buses, entre ellas las de rendimiento del combustible y emisiones.

Las pruebas de rendimiento se realizan bajo condiciones controladas de laboratorio similares a las usadas por la EPA, esto quiere decir que se rigen bajo los protocolos EPA 1065 y la SAE J2711, sin embargo, los resultados reportados no constituyen un estándar ni una certificación debido a su carácter no oficial. Aun así, esta información sirve para comparar distintos buses bajo diferentes condiciones de operación.

El procedimiento que se usará para homologar el vehículo, consiste en buscar dentro de la base de datos de Altoona un bus con características mecánicas y físicas similares a las de un bus del transporte público del Gran Concepción. Luego se usaran los datos de consumo de combustible registrados en las pruebas de emisiones para los ciclos urbanos (Manhattan Bus Drive cycle) e interurbano (Heavy Duty Urban Dynaometer Driving Schedule), estos se asumirán iguales para los buses del transporte público del Gran Concepción.

El vehículo usado para la homologación de las características físicas y mecánicas corresponde a un Legacy, manufacturado por Glaval Bus, A div of Forest River, Inc.

Sus principales características se obtienen de la base de datos de Altoona Bus Research center.

Figura 31 Vehículos a homologar



Legacy, Glaval Bus, A div of Forest River, Inc.	Mercedes Benz LO-812/42.5, Pucará evolution IV Euro III, Metalpar
	
Fuente: www.Altoonabustest.com	Fuente: www.biooctavasbuses.cl

Tabla 11 Características mecánicas y físicas de los vehículos a homologar

Características	Legacy, Glaval Bus, A div of Forest River, Inc.	Mercedes Benz LO-812/42.5, Pucará evolution IV Euro III, Metalpar
Motor	Cummins/ISB 6.7 L240 HP	OM 364 LA-Proconve Euro III
Torque	760 Nm. @ 1600 rpm	460 Nm @ 1400 rpm
N° de cilindros	6	4
Cilindrada	6700 cc	3972 cc
Peso del vehículo	7630 kg	7700 kg
Peso del vehículo cargado	10691 kg	10789 kg
Coeficiente de arrastre	0.6	0.6
Área frontal	6.77 m ²	6.50 m ²
Largo del vehículo	12 m	8.22 m

Fuente: Elaboración Propia

Los consumos y emisiones del bus usado para homologar (Legacy) para los ciclos usados en la calibración se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 12 Rendimientos y emisiones bajo pruebas de ABRTC

Ciclo de conducción	Manhattan	HD-UDDS
CO ₂ , g/km	1377	698
Rendimiento combustible mpg	4.59	9.05
Rendimiento combustible km/l	1.95	3.85

Fuente: Elaboración Propia

8.4 Resumen de parámetros, resultados y análisis

8.4.1 Resumen de parámetros

De acuerdo a los parámetros presentados en el marco teórico más los datos del acápite anterior, se presenta una tabla resumen con los datos usados para la calibración.

Tabla 13 Datos y parámetros para la calibración

Parámetro	Valor
Masa bruta del vehículo (m)	7.630 kg
Masa del vehículo cargado (m_1)	10.691 kg
Área frontal (A_f)	6,77 m ²
Eficiencia del sistema de transmisión mecánica (η_d)	95%
Velocidad del motor en ralentí (w_{idle})	900 rpm
Número de cilindros (N)	6
Tamaño del motor (d)	6700 cc
Coefficiente Aerodinámico (C_d)	0,6
Coefficiente de superficie (C_r)	1.5
C1 (depende del tipo de neumático)	0,0328
C2 (depende del tipo de neumático)	4,575
Presión efectiva del combustible en ralentí (P_{mfo})	400.000 Pa
Poder calorífico inferior del combustible (Q)	43.400.000 J/kg
Densidad del aire (ρ)	1,2256 kg/m ³
Altitud	25 m
Ciclo urbano para buses (Manhattan)	Anexo A
Ciclo interurbano para buses (HD-UDDS)	Anexo A
Rendimiento para Manhattan drive cycle	4.59 mpg
Rendimiento para HD-UDDS	9.05 mpg

Fuente: Elaboración Propia

Los perfiles de velocidad, aceleración y pendiente usados para cálculo se pueden visualizar en el Anexo A de la presente memoria

8.4.2 Resultados

La velocidad óptima se estimó en 56.43 km/h obtenida mediante el modelo, la gráfica que representa esta situación se muestra a continuación.

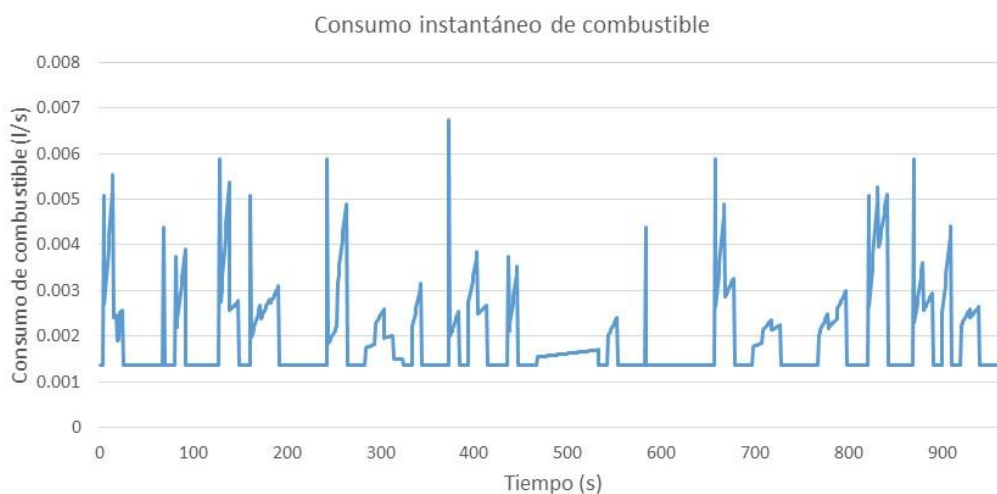
Figura 32 Gráfica de velocidad óptima de operación



Fuente: Elaboración Propia

El consumo total de combustible para el tramo analizado se estimó en 1.87 litros, una gráfica del consumo instantáneo se presenta a continuación.

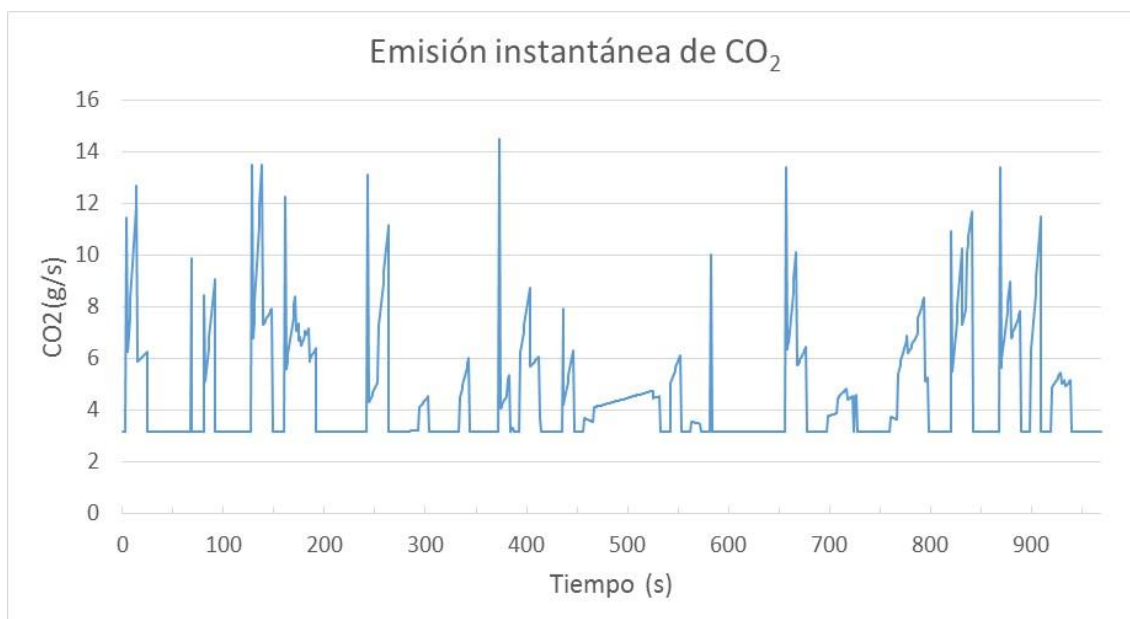
Figura 33 Gráfica del consumo instantáneo de combustible



Fuente: Elaboración Propia

Las emisiones de CO₂ para el recorrido analizado se estimaron en 4342.19 gramos, el gráfico que representa esta situación se presenta a continuación.

Figura 34 Gráfica de emisiones instantáneas de CO₂



Fuente: Elaboración Propia

Como resumen, se presenta a continuación una tabla con los datos relevantes de la evaluación.

Tabla 14 Resumen de resultados recorrido Gran Concepción

Tiempo analizado	970 s
Distancia recorrida	5.13 km
Velocidad máxima del recorrido	51 km/h
Velocidad promedio del recorrido	19.03 km/h
Aceleración máxima del recorrido	3.33 m/s ²
Velocidad óptima de operación	56.43 km/h
Consumo de combustible	1.87 L
Emisiones de CO ₂	4981.64 g
Rendimiento para el recorrido	2.74 km/l

Fuente: Elaboración Propia

8.4.3 Análisis de resultados

Los parámetros usados para la calibración y que hacen referencia a las características mecánicas del vehículo son de fácil acceso, la mayoría se puede encontrar en fuentes como las páginas web de los fabricantes, vendedores o en manuales.

El otro set de parámetros, referidos principalmente a las características externas, como la superficie de rodado, la altura del sector, densidad del aire o las características del poder calorífico del combustible entre otras, se puede encontrar en la literatura especializada o en servicios de internet como Google Earth, la obtención de estos datos tampoco representa una limitación.

Con respecto a la velocidad óptima de operación para el bus analizado, esta se estimó en 56.43 km/h, lo cual es consistente con los rangos de velocidad óptima para esta categoría de vehículos según la literatura.

Los gráficos de consumo de combustible y emisiones presentan la misma forma y comportamiento, esto se entiende porque las emisiones se calcularon como una proporción del consumo como se explica en el acápite 5.3.

Teniendo en consideración las similitudes que existen entre el ciclo que se usó para la calibración en ambiente urbano (Manhattan) y el recorrido analizado del Gran Concepción, se presenta el siguiente cuadro comparativo.

Tabla 15 Comparación entre ciclo Manhattan y Gran Concepción

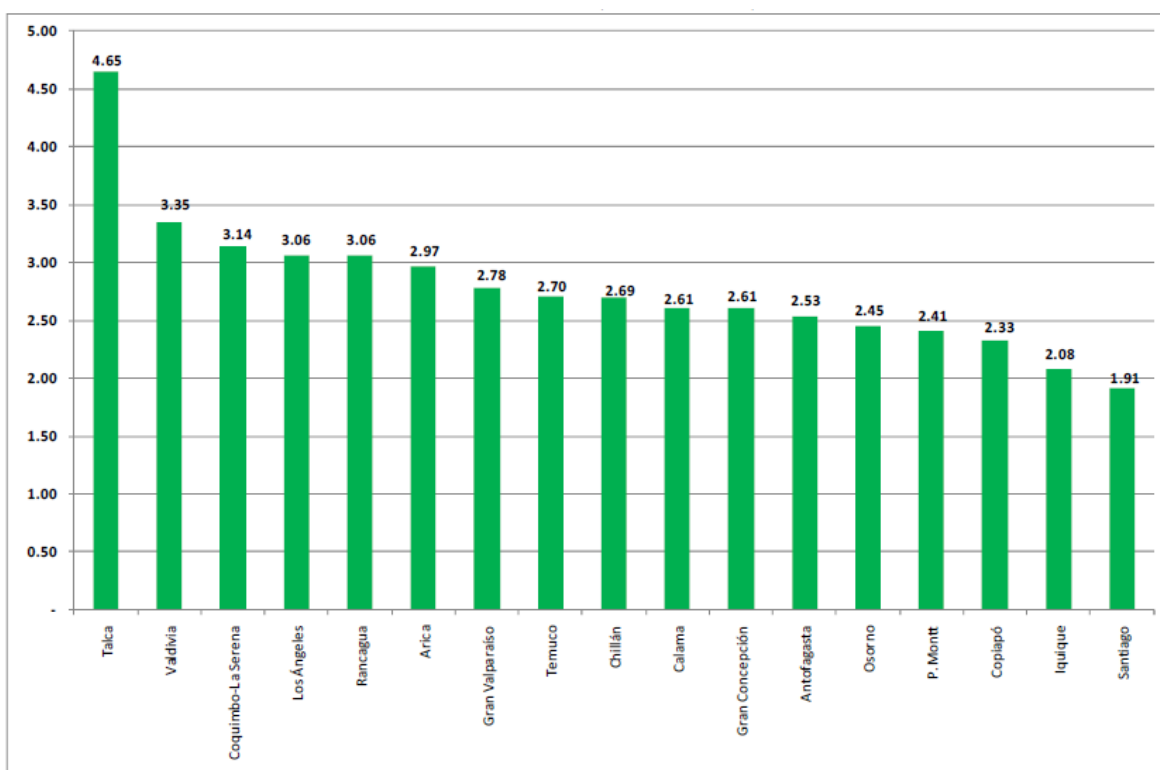
	Manhattan bus Drive cycle	Recorrido Gran Concepción
tiempo	1089 s	970 s
Distancia recorrida	3.32 km	5.13 km
Velocidad promedio	10.99 km/h	19.03 km/h
Emisión de CO ₂	4573 g	4981 g
Consumo de combustible	1.7 L	1.87 L
Rendimientos	1.95 km/l	2.74 km/l

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que los datos registrados por el ciclo Manhattan fueron obtenidos mediante un dinamómetro de Chasis, y aunque la comparación aquí realizada no tiene una validez estadística, se puede observar la consistencia de los resultados en términos de sus rangos.

Por otra parte cabe destacar un estudio realizado por la Universidad Diego portales respecto al diagnóstico del Transporte Urbano en Chile, en dicho estudio se presentan los actuales rendimientos de buses urbanos para distintas ciudades de Chile. En particular el estudio indica que el rendimiento promedio para los buses urbanos en el Gran Concepción es de 2.61 km/litro, lo cual es consistentes con los resultados obtenidos en la presente memoria, que indica un rendimiento de 2.74 km/litro para la zona de estudio propuesta, lo que equivale a un 4.9 % de error respecto al estudio de la UDP.

Figura 35 Rendimientos de buses urbanos (km/litro) en ciudades de Chile



Fuente: UDP, 2012

9 CONCLUSIONES

En general se han identificado las variables que explican el consumo de combustible, estas se han relacionado con variables explicativas instantáneas como la velocidad y la aceleración. Para este caso en particular, se ha usado un modelo microscópico basado en carga que permite estimar el consumo de combustible mediante la estimación de la potencia del motor, y esta a su vez mediante la estimación de las fuerzas resistivas, las cuales se derivan de un análisis de la dinámica del movimiento de un vehículo.

Con respecto al modelo usado, este presenta grandes ventajas en relación al esfuerzo de calibración y a la precisión de los resultados para vehículos livianos, esto debido principalmente a que utiliza información pública puesta a disposición por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, en sus siglas en inglés) que certifica rendimientos y emisiones bajo pruebas estándar para una gran cantidad de vehículos comerciales.

Para el caso de los vehículos pesados, particularmente buses, existe información pública aunque más limitada y no de carácter oficial, puesta a disposición por el Centro de Investigación y Pruebas de Buses de Altoona (Altoona Bus Research and Testing Center, su nombre original en inglés), aun así el modelo fue capaz de replicar de manera precisa los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el centro de investigación, aunque como se mencionó en el análisis de sensibilidad, estos resultados deben tratarse con cautela pues el modelo original se diseñó para vehículos livianos, su aplicación en buses corresponde a una extensión del modelo original con algunas modificaciones.

Por otra parte se señala el potencial de adaptación del modelo para su calibración cuando no se tenga información pública, en específico, la estructura del modelo permite identificar claramente que parámetros explican el consumo de combustible. Un ejemplo de ello es el consumo en ralentí, que es representado por α_0 el cual puede medirse directamente utilizando un On Board Diagnostics (OBD), el resto de los parámetros de calibración pueden obtenerse mediante la aplicación de ciclos cortos, utilizando el mismo instrumento (OBD).

En relación a la sistematización del modelo, se puede señalar que es de baja dificultad y con mucho potencial en aplicación. Entre los potenciales destacan:

- La incorporación en un micro-simulador para la evaluación de proyectos a nivel operacional.
- Estimar en tiempo real los consumos y emisiones de una flota con características conocidas.

Con respecto a la aplicación del modelo para el recorrido del transporte público del Gran Concepción, se puede indicar que los parámetros tanto mecánicos como externos usados son de fácil acceso, los primeros fueron obtenidos directamente de la página web de los fabricantes, mientras que en los segundos se usaron las recomendaciones del autor del modelo principalmente.

Por otro lado, a pesar de que la base de datos disponibles no presentara la estructura adecuada para el input en el modelo, se lograron buenos resultados debido a las aproximaciones realizadas, en particular se desagregaron los datos de velocidad interpolando segundo a segundo para obtener un perfil continuo. Para el caso del perfil de elevaciones, su obtención implicó trabajo adicional y se estima que la precisión de ellos es baja, aun así luego de una depuración de los datos, se obtuvo un perfil de pendientes longitudinales con un promedio de 3.3% y una desviación estándar de 1.7%, lo que es consistente respecto al análisis previo de la zona de estudio.

Considerando todas las aproximaciones realizadas, los resultados obtenidos son consistentes respecto a la literatura y estudios adicionales respecto al tema.

Por último dentro de las principales limitaciones y dificultades del modelo destacan que:

- La calibración resulta simple, siempre y cuando existan datos de pruebas oficiales respecto al consumo y emisiones evaluadas en ciclos estándar, de no ser así es necesario homologar las características del vehículo (lo que se hizo en esta memoria), usar un ODB o si es posible un dinamómetro de chasis
- Dentro de las variables instantáneas explicativas se debe contar con el perfil de pendientes, el cual resulta insuficiente si se registra con una unidad de posicionamiento global (GPS) convencional, lo que se recomienda es medir la pendiente mediante algún dispositivo mecánico-electrónico.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Ahn K., Rakha H., Trani A., Van Aerde M., (2002) Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels
- Barlow J., Latham S., McCrae S., Boulter G., (2009) A reference Book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions
- Bio Octavas Buses <http://www.biooctavabuses.cl/> [Acceso 12 de Diciembre 2014]
- Cappiello A., Chabini I., Nam E., Luè A., Zeid M., (2002) A Statistical Model of Vehicle Emissions and Fuel Consumption.
- Comisión Nacional de Energía (2009), Modelo de Proyección, Demanda Energética Nacional de largo plazo.
- Edwardes W. and Rakha H. (2014), “Virginia Tech Comprehensive Power-Based Fuel Consumption Model: Modeling Diesel and Hybrid Buses,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- EPA (2005), Average Carbon Dioxide Emissions Resulting From Gasoline and Diesel Fuel.
- Guzzella L., Sciarretta A. (2007) Vehicle Propulsion Systems, Second Edition, USA.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2014) Anuarios parque de vehículos en circulación http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/transporte_y_comunicaciones/parquevehiculos.php, [Acceso el 01 Diciembre 2014.]
- J2711 (2010), Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy-Duty Vehicles.

- Ministerio de Energía (2011), Plan de acción de eficiencia energética 2020.
- Rakha H., Lucic I., Demarchi S., Setti J., and Van Aerde M. (2001), Vehicle Dynamics Model for Predicting Maximum Truck Accelerations, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127(5), Oct., pp. 418-425.
- Rakha, H., Ahn, K., Moran, K., Saerens, B., and Van den Bulck, E. (2011), " Virginia Tech Comprehensive Power-based Fuel Consumption Model: Model Development and Testing," *Transportation Research Part D: Transport and Environment* pp492-503.
- Ribeiro V., Costa A., Rodrigues J. (2013) Mining Geographic Data for Fuel Consumption Estimation
- Route Builder, (2009), http://www.hybridgertools.com/html/3d_route_builder.html
- Saerens, B., Rakha, H., Ahn, K., and Van den Bulck, E. (2013), "Assessment of Alternative Polynomial Fuel Consumption Models for use in ITS Applications," *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*.
- Secretaría de Planificación de Transporte Sectra (1999), Indicadores de movilidad http://www.sectra.gob.cl/Indicadores_de_Movilidad/Indicadores/tasa_viajes.html [Acceso 01 de Diciembre 2014].
- The Altoona Bus Research and Testing Center (2014), Altoonabustest.org. [Acceso 13 de Septiembre 2014].
- Universidad Diego Portales, (2012), Diagnóstico Del Transporte Urbano en Chile.

11 ANEXOS

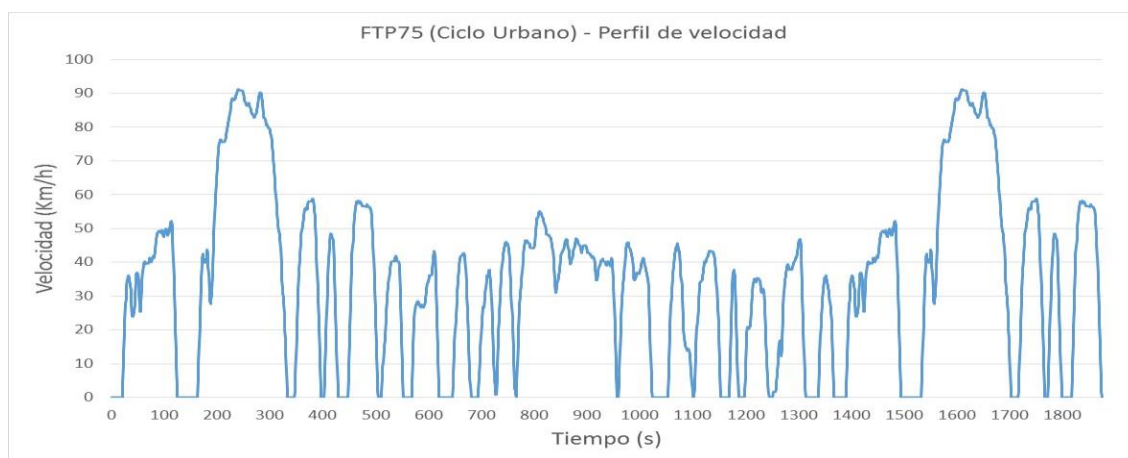
11 ANEXOS.....	62
11.1 Anexos A	63
11.1.1 Ciclos de conducción para vehículos livianos	63
11.1.2 Ciclos de conducción para vehículos pesados (Buses).....	78
11.1.3 Perfiles usados en la sensibilidad del modelo	90
11.2 Anexos B.....	104
11.2.1 Registro GPS Del Transporte Público del Gran Concepción en la zona de estudio	104
11.2.2 Perfil de elevación obtenido para la zona de estudio.....	106

11.1 Anexos A

11.1.1 Ciclos de conducción para vehículos livianos

Ciclo Urbano: Federal Test Procedure (FTP), conocido como EPA-75, que representa el perfil de conducción en un ambiente urbano. Éste es un ciclo estándar de 1874 segundos programado en un dinamómetro de chasis, su perfil de velocidad, además de las principales características se presentan a continuación.

Figura A1 - Perfil de velocidad ciclo urbano



Fuente: Barlow et al., 2009

Tabla A1 - Características FTP-75 Ciclo urbano

Distancia total	17786.59 m	Velocidad promedio	34.2 km/h
Tiempo total	1874 s	Velocidad máxima	91.09 km/h
Tiempo conducción	1633 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	683 s	Máxima aceleración	1.475 m/s ²
Tiempo de desaceleración	574 s	Número de detenciones	16
Tiempo detenido	241 s	Promedio tiempo parada	15.06 s

Fuente: Barlow et al., 2009

La nube de puntos del perfil de velocidad se presenta a continuación

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
0	0	56	17.7	112	32.2	168	16.5
1	0	57	19.8	113	32.4	169	19.8
2	0	58	21.6	114	32.2	170	22.2
3	0	59	23.2	115	31.7	171	24.3
4	0	60	24.2	116	28.6	172	25.8
5	0	61	24.6	117	25.3	173	26.4
6	0	62	24.9	118	22	174	25.7
7	0	63	25	119	18.7	175	25.1
8	0	64	24.6	120	15.4	176	24.7
9	0	65	24.5	121	12.1	177	25
10	0	66	24.7	122	8.8	178	25.2
11	0	67	24.8	123	5.5	179	25.4
12	0	68	24.7	124	2.2	180	25.8
13	0	69	24.6	125	0	181	27.2
14	0	70	24.6	126	0	182	26.5
15	0	71	25.1	127	0	183	24
16	0	72	25.6	128	0	184	22.7
17	0	73	25.7	129	0	185	19.4
18	0	74	25.4	130	0	186	17.7
19	0	75	24.9	131	0	187	17.2
20	0	76	25	132	0	188	18.1
21	3	77	25.4	133	0	189	18.6
22	5.9	78	26	134	0	190	20
23	8.6	79	26	135	0	191	22.2
24	11.5	80	25.7	136	0	192	24.5
25	14.3	81	26.1	137	0	193	27.3
26	16.9	82	26.7	138	0	194	30.5
27	17.3	83	27.5	139	0	195	33.5
28	18.1	84	28.6	140	0	196	36.2
29	20.7	85	29.3	141	0	197	37.3
30	21.7	86	29.8	142	0	198	39.3
31	22.4	87	30.1	143	0	199	40.5
32	22.5	88	30.4	144	0	200	42.1
33	22.1	89	30.7	145	0	201	43.5
34	21.5	90	30.7	146	0	202	45.1
35	20.9	91	30.5	147	0	203	46
36	20.4	92	30.4	148	0	204	46.8
37	19.8	93	30.3	149	0	205	47.5
38	17	94	30.4	150	0	206	47.5
39	14.9	95	30.8	151	0	207	47.3
40	14.9	96	30.4	152	0	208	47.2
41	15.2	97	29.9	153	0	209	47
42	15.5	98	29.5	154	0	210	47
43	16	99	29.8	155	0	211	47
44	17.1	100	30.3	156	0	212	47
45	19.1	101	30.7	157	0	213	47
46	21.1	102	30.9	158	0	214	47.2
47	22.7	103	31	159	0	215	47.4
48	22.9	104	30.9	160	0	216	47.9
49	22.7	105	30.4	161	0	217	48.5
50	22.6	106	29.8	162	0	218	49.1
51	21.3	107	29.9	163	0	219	49.5
52	19	108	30.2	164	3.3	220	50
53	17.1	109	30.7	165	6.6	221	50.6
54	15.8	110	31.2	166	9.9	222	51
55	15.8	111	31.8	167	13.2	223	51.5

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
224	52.2	280	55.6	336	0	392	14.5
225	53.2	281	56	337	0	393	12
226	54.1	282	56	338	0	394	8.7
227	54.6	283	55.8	339	0	395	5.4
228	54.9	284	55.2	340	0	396	2.1
229	55	285	54.5	341	0	397	0
230	54.9	286	53.6	342	0	398	0
231	54.6	287	52.5	343	0	399	0
232	54.6	288	51.5	344	0	400	0
233	54.8	289	51.5	345	0	401	0
234	55.1	290	51.5	346	0	402	0
235	55.5	291	51.1	347	1	403	2.6
236	55.7	292	50.1	348	4.3	404	5.9
237	56.1	293	50	349	7.6	405	9.2
238	56.3	294	50.1	350	10.9	406	12.5
239	56.6	295	50	351	14.2	407	15.8
240	56.7	296	49.6	352	17.3	408	19.1
241	56.7	297	49.5	353	20	409	22.4
242	56.5	298	49.5	354	22.5	410	25
243	56.5	299	49.5	355	23.7	411	25.6
244	56.5	300	49.1	356	25.2	412	27.5
245	56.5	301	48.6	357	26.6	413	29
246	56.5	302	48.1	358	28.1	414	30
247	56.5	303	47.2	359	30	415	30.1
248	56.4	304	46.1	360	30.8	416	30
249	56.1	305	45	361	31.6	417	29.7
250	55.8	306	43.8	362	32.1	418	29.3
251	55.1	307	42.6	363	32.8	419	28.8
252	54.6	308	41.5	364	33.6	420	28
253	54.2	309	40.3	365	34.5	421	25
254	54	310	38.5	366	34.6	422	21.7
255	53.7	311	37	367	34.9	423	18.4
256	53.6	312	35.2	368	34.8	424	15.1
257	53.9	313	33.8	369	34.5	425	11.8
258	54	314	32.5	370	34.7	426	8.5
259	54.1	315	31.5	371	35.5	427	5.2
260	54.1	316	30.6	372	36	428	1.9
261	53.8	317	30.5	373	36	429	0
262	53.4	318	30	374	36	430	0
263	53	319	29	375	36	431	0
264	52.6	320	27.5	376	36	432	0
265	52.1	321	24.8	377	36	433	0
266	52.4	322	21.5	378	36.1	434	0
267	52	323	20.1	379	36.4	435	0
268	51.9	324	19.1	380	36.5	436	0
269	51.7	325	18.5	381	36.4	437	0
270	51.5	326	17	382	36	438	0
271	51.6	327	15.5	383	35.1	439	0
272	51.8	328	12.5	384	34.1	440	0
273	52.1	329	10.8	385	33.5	441	0
274	52.5	330	8	386	31.4	442	0
275	53	331	4.7	387	29	443	0
276	53.5	332	1.4	388	25.7	444	0
277	54	333	0	389	23	445	0
278	54.9	334	0	390	20.3	446	0
279	55.4	335	0	391	17.5	447	0

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
448	3.3	504	1	560	0	616	12.9
449	6.6	505	0	561	0	617	9.6
450	9.9	506	0	562	0	618	6.3
451	13.2	507	0	563	0	619	3
452	16.5	508	0	564	0	620	0
453	19.8	509	0	565	0	621	0
454	23.1	510	0	566	0	622	0
455	26.4	511	1.2	567	0	623	0
456	27.8	512	3.5	568	0	624	0
457	29.1	513	5.5	569	3.3	625	0
458	31.5	514	6.5	570	6.6	626	0
459	33	515	8.5	571	9.9	627	0
460	33.6	516	9.6	572	13	628	0
461	34.8	517	10.5	573	14.6	629	0
462	35.1	518	11.9	574	16	630	0
463	35.6	519	14	575	17	631	0
464	36.1	520	16	576	17	632	0
465	36	521	17.7	577	17	633	0
466	36.1	522	19	578	17.5	634	0
467	36.2	523	20.1	579	17.7	635	0
468	36	524	21	580	17.7	636	0
469	35.7	525	22	581	17.5	637	0
470	36	526	23	582	17	638	0
471	36	527	23.8	583	16.9	639	0
472	35.6	528	24.5	584	16.6	640	0
473	35.5	529	24.9	585	17	641	0
474	35.4	530	25	586	17.1	642	0
475	35.2	531	25	587	17	643	0
476	35.2	532	25	588	16.6	644	0
477	35.2	533	25	589	16.5	645	0
478	35.2	534	25	590	16.5	646	2
479	35.2	535	25	591	16.6	647	4.5
480	35.2	536	25.6	592	17	648	7.8
481	35	537	25.8	593	17.6	649	10.2
482	35.1	538	26	594	18.5	650	12.5
483	35.2	539	25.6	595	19.2	651	14
484	35.5	540	25.2	596	20.2	652	15.3
485	35.2	541	25	597	21	653	17.5
486	35	542	25	598	21.1	654	19.6
487	35	543	25	599	21.2	655	21
488	35	544	24.4	600	21.6	656	22.2
489	34.8	545	23.1	601	22	657	23.3
490	34.6	546	19.8	602	22.4	658	24.5
491	34.5	547	16.5	603	22.5	659	25.3
492	33.5	548	13.2	604	22.5	660	25.6
493	32	549	9.9	605	22.5	661	26
494	30.1	550	6.6	606	22.7	662	26.1
495	28	551	3.3	607	23.7	663	26.2
496	25.5	552	0	608	25.1	664	26.2
497	22.5	553	0	609	26	665	26.4
498	19.8	554	0	610	26.5	666	26.5
499	16.5	555	0	611	27	667	26.5
500	13.2	556	0	612	26.1	668	26
501	10.3	557	0	613	22.8	669	25.5
502	7.2	558	0	614	19.5	670	23.6
503	4	559	0	615	16.2	671	21.4

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
672	18.5	728	0.5	784	28.9	840	19.2
673	16.4	729	3.2	785	28.9	841	19.2
674	14.5	730	6.5	786	28.8	842	20.1
675	11.6	731	9.6	787	28.5	843	20.9
676	8.7	732	12.5	788	28.3	844	21.4
677	5.8	733	14	789	28.3	845	22
678	3.5	734	16	790	28.3	846	22.6
679	2	735	18	791	28.2	847	23.2
680	0	736	19.6	792	27.6	848	24
681	0	737	21.5	793	27.5	849	25
682	0	738	23.1	794	27.5	850	26
683	0	739	24.5	795	27.5	851	26.6
684	0	740	25.5	796	27.5	852	26.6
685	0	741	26.5	797	27.5	853	26.8
686	0	742	27.1	798	27.5	854	27
687	0	743	27.6	799	27.6	855	27.2
688	0	744	27.9	800	28	856	27.8
689	0	745	28.3	801	28.5	857	28.1
690	0	746	28.6	802	30	858	28.8
691	0	747	28.6	803	31	859	28.9
692	0	748	28.3	804	32	860	29
693	0	749	28.2	805	33	861	29.1
694	1.4	750	28	806	33	862	29
695	3.3	751	27.5	807	33.6	863	28.1
696	4.4	752	26.8	808	34	864	27.5
697	6.5	753	25.5	809	34.3	865	27
698	9.2	754	23.5	810	34.2	866	25.8
699	11.3	755	21.5	811	34	867	25
700	13.5	756	19	812	34	868	24.5
701	14.6	757	16.5	813	33.9	869	24.8
702	16.4	758	14.9	814	33.6	870	25.1
703	16.7	759	12.5	815	33.1	871	25.5
704	16.5	760	9.4	816	33	872	25.7
705	16.5	761	6.2	817	32.5	873	26.2
706	18.2	762	3	818	32	874	26.9
707	19.2	763	1.5	819	31.9	875	27.5
708	20.1	764	1.5	820	31.6	876	27.8
709	21.5	765	0.5	821	31.5	877	28.4
710	22.5	766	0	822	30.6	878	29
711	22.5	767	3	823	30	879	29.2
712	22.1	768	6.3	824	29.9	880	29.1
713	22.7	769	9.6	825	29.9	881	29
714	23.3	770	12.9	826	29.9	882	28.9
715	23.5	771	15.8	827	29.9	883	28.5
716	22.5	772	17.5	828	29.6	884	28.1
717	21.6	773	18.4	829	29.5	885	28
718	20.5	774	19.5	830	29.5	886	28
719	18	775	20.7	831	29.3	887	27.6
720	15	776	22	832	28.9	888	27.2
721	12	777	23.2	833	28.2	889	26.6
722	9	778	25	834	27.7	890	27
723	6.2	779	26.5	835	27	891	27.5
724	4.5	780	27.5	836	25.5	892	27.8
725	3	781	28	837	23.7	893	28
726	2.1	782	28.3	838	22	894	27.8
727	0.5	783	28.9	839	20.5	895	28

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
896	28	952	13.6	1008	25	1064	24.8
897	28	953	10.3	1009	24.1	1065	25.6
898	27.7	954	7	1010	23.7	1066	26.5
899	27.4	955	3.7	1011	23.2	1067	26.8
900	26.9	956	0.4	1012	22.9	1068	27.4
901	26.6	957	0	1013	22.5	1069	27.9
902	26.5	958	0	1014	22	1070	28.3
903	26.5	959	0	1015	21.6	1071	28
904	26.5	960	2	1016	20.5	1072	27.5
905	26.3	961	5.3	1017	17.5	1073	27
906	26.2	962	8.6	1018	14.2	1074	27
907	26.2	963	11.9	1019	10.9	1075	26.3
908	25.9	964	15.2	1020	7.6	1076	24.5
909	25.6	965	17.5	1021	4.3	1077	22.5
910	25.6	966	18.6	1022	1	1078	21.5
911	25.9	967	20	1023	0	1079	20.6
912	25.8	968	21.1	1024	0	1080	18
913	25.5	969	22	1025	0	1081	15
914	24.6	970	23	1026	0	1082	12.3
915	23.5	971	24.5	1027	0	1083	11.1
916	22.2	972	26.3	1028	0	1084	10.6
917	21.6	973	27.5	1029	0	1085	10
918	21.6	974	28.1	1030	0	1086	9.5
919	21.7	975	28.4	1031	0	1087	9.1
920	22.6	976	28.5	1032	0	1088	8.7
921	23.4	977	28.5	1033	0	1089	8.6
922	24	978	28.5	1034	0	1090	8.8
923	24.2	979	27.7	1035	0	1091	9
924	24.4	980	27.5	1036	0	1092	8.7
925	24.9	981	27.2	1037	0	1093	8.6
926	25.1	982	26.8	1038	0	1094	8
927	25.2	983	26.5	1039	0	1095	7
928	25.3	984	26	1040	0	1096	5
929	25.5	985	25.7	1041	0	1097	4.2
930	25.2	986	25.2	1042	0	1098	2.6
931	25	987	24	1043	0	1099	1
932	25	988	22	1044	0	1100	0
933	25	989	21.5	1045	0	1101	0.1
934	24.7	990	21.5	1046	0	1102	0.6
935	24.5	991	21.8	1047	0	1103	1.6
936	24.3	992	22.5	1048	0	1104	3.6
937	24.3	993	23	1049	0	1105	6.9
938	24.5	994	22.8	1050	0	1106	10
939	25	995	22.8	1051	0	1107	12.8
940	25	996	23	1052	0	1108	14
941	24.6	997	22.7	1053	1.2	1109	14.5
942	24.6	998	22.7	1054	4	1110	16
943	24.1	999	22.7	1055	7.3	1111	18.1
944	24.5	1000	23.5	1056	10.6	1112	20
945	25.1	1001	24	1057	13.9	1113	21
946	25.6	1002	24.6	1058	17	1114	21.2
947	25.1	1003	24.8	1059	18.5	1115	21.3
948	24	1004	25.1	1060	20	1116	21.4
949	22	1005	25.5	1061	21.8	1117	21.7
950	20.1	1006	25.6	1062	23	1118	22.5
951	16.9	1007	25.5	1063	24	1119	23

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1120	23.8	1176	23	1232	19.8	1288	24
1121	24.5	1177	23.5	1233	20	1289	24.1
1122	25	1178	23	1234	19.5	1290	24.5
1123	24.9	1179	22.5	1235	17.5	1291	24.7
1124	24.8	1180	20	1236	15.5	1292	25
1125	25	1181	16.7	1237	13	1293	25.4
1126	25.4	1182	13.4	1238	10	1294	25.6
1127	25.8	1183	10.1	1239	8	1295	25.7
1128	26	1184	6.8	1240	6	1296	26
1129	26.4	1185	3.5	1241	4	1297	26.2
1130	26.6	1186	0.2	1242	2.5	1298	27
1131	26.9	1187	0	1243	0.7	1299	27.8
1132	27	1188	0	1244	0	1300	28.3
1133	27	1189	0	1245	0	1301	29
1134	27	1190	0	1246	0	1302	29.1
1135	26.9	1191	0	1247	0	1303	29
1136	26.8	1192	0	1248	0	1304	28
1137	26.8	1193	0	1249	0	1305	24.7
1138	26.5	1194	0	1250	0	1306	21.4
1139	26.4	1195	0	1251	0	1307	18.1
1140	26	1196	0	1252	1	1308	14.8
1141	25.5	1197	0.2	1253	1	1309	11.5
1142	24.6	1198	1.5	1254	1	1310	8.2
1143	23.5	1199	3.5	1255	1	1311	4.9
1144	21.5	1200	6.5	1256	1	1312	1.6
1145	20	1201	9.8	1257	1.6	1313	0
1146	17.5	1202	12	1258	3	1314	0
1147	16	1203	12.9	1259	4	1315	0
1148	14	1204	13	1260	5	1316	0
1149	10.7	1205	12.6	1261	6.3	1317	0
1150	7.4	1206	12.8	1262	8	1318	0
1151	4.1	1207	13.1	1263	10	1319	0
1152	0.8	1208	13.1	1264	10.5	1320	0
1153	0	1209	14	1265	9.5	1321	0
1154	0	1210	15.5	1266	8.5	1322	0
1155	0	1211	17	1267	7.6	1323	0
1156	0	1212	18.6	1268	8.8	1324	0
1157	0	1213	19.7	1269	11	1325	0
1158	0	1214	21	1270	14	1326	0
1159	0	1215	21.5	1271	17	1327	0
1160	0	1216	21.8	1272	19.5	1328	0
1161	0	1217	21.8	1273	21	1329	0
1162	0	1218	21.5	1274	21.8	1330	0
1163	0	1219	21.2	1275	22.2	1331	0
1164	0	1220	21.5	1276	23	1332	0
1165	0	1221	21.8	1277	23.6	1333	0
1166	0	1222	22	1278	24.1	1334	0
1167	0	1223	21.9	1279	24.5	1335	0
1168	0	1224	21.7	1280	24.5	1336	0
1169	2.1	1225	21.5	1281	24	1337	0
1170	5.4	1226	21.5	1282	23.5	1338	1.5
1171	8.7	1227	21.4	1283	23.5	1339	4.8
1172	12	1228	20.1	1284	23.5	1340	8.1
1173	15.3	1229	19.5	1285	23.5	1341	11.4
1174	18.6	1230	19.2	1286	23.5	1342	13.2
1175	21.1	1231	19.6	1287	23.5	1343	15.1

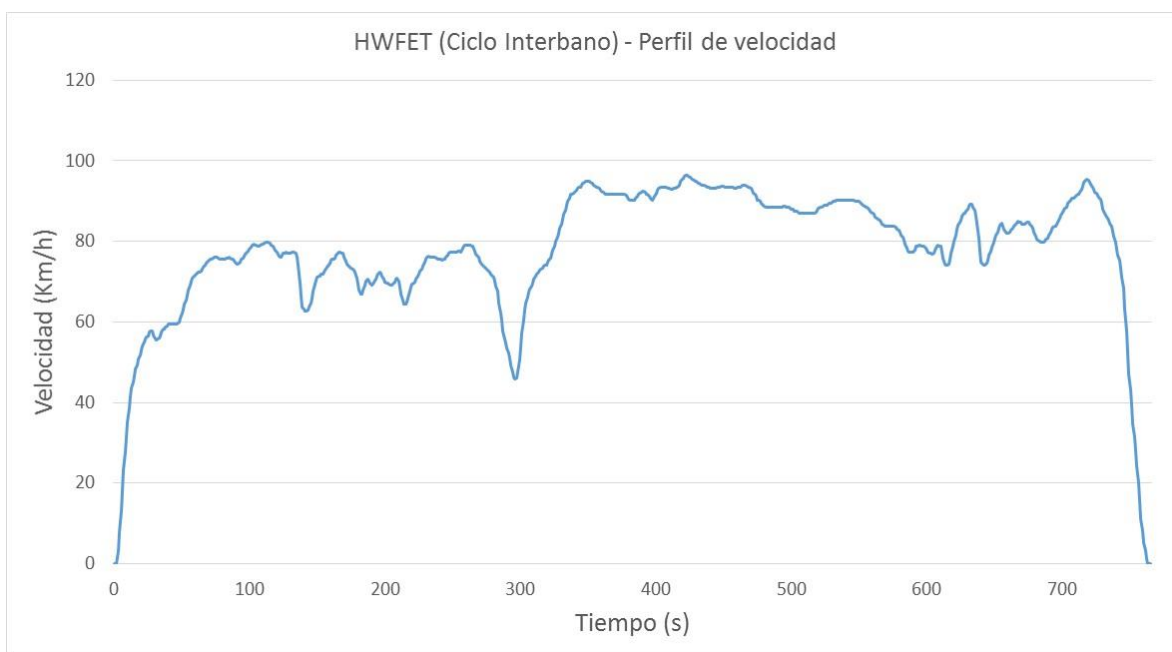
Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1344	16.8	1400	22.4	1456	30.1	1512	0
1345	18.3	1401	22.5	1457	30.4	1513	0
1346	19.5	1402	22.1	1458	30.7	1514	0
1347	20.3	1403	21.5	1459	30.7	1515	0
1348	21.3	1404	20.9	1460	30.5	1516	0
1349	21.9	1405	20.4	1461	30.4	1517	0
1350	22.1	1406	19.8	1462	30.3	1518	0
1351	22.4	1407	17	1463	30.4	1519	0
1352	22	1408	14.9	1464	30.8	1520	0
1353	21.6	1409	14.9	1465	30.4	1521	0
1354	21.1	1410	15.2	1466	29.9	1522	0
1355	20.5	1411	15.5	1467	29.5	1523	0
1356	20	1412	16	1468	29.8	1524	0
1357	19.6	1413	17.1	1469	30.3	1525	0
1358	18.5	1414	19.1	1470	30.7	1526	0
1359	17.5	1415	21.1	1471	30.9	1527	0
1360	16.5	1416	22.7	1472	31	1528	0
1361	15.5	1417	22.9	1473	30.9	1529	0
1362	14	1418	22.7	1474	30.4	1530	0
1363	11	1419	22.6	1475	29.8	1531	0
1364	8	1420	21.3	1476	29.9	1532	0
1365	5.2	1421	19	1477	30.2	1533	3.3
1366	2.5	1422	17.1	1478	30.7	1534	6.6
1367	0	1423	15.8	1479	31.2	1535	9.9
1368	0	1424	15.8	1480	31.8	1536	13.2
1369	0	1425	17.7	1481	32.2	1537	16.5
1370	0	1426	19.8	1482	32.4	1538	19.8
1371	0	1427	21.6	1483	32.2	1539	22.2
1372	0	1428	23.2	1484	31.7	1540	24.3
1373	0	1429	24.2	1485	28.6	1541	25.8
1374	0	1430	24.6	1486	25.3	1542	26.4
1375	0	1431	24.9	1487	22	1543	25.7
1376	0	1432	25	1488	18.7	1544	25.1
1377	0	1433	24.6	1489	15.4	1545	24.7
1378	0	1434	24.5	1490	12.1	1546	25
1379	0	1435	24.7	1491	8.8	1547	25.2
1380	0	1436	24.8	1492	5.5	1548	25.4
1381	0	1437	24.7	1493	2.2	1549	25.8
1382	0	1438	24.6	1494	0	1550	27.2
1383	0	1439	24.6	1495	0	1551	26.5
1384	0	1440	25.1	1496	0	1552	24
1385	0	1441	25.6	1497	0	1553	22.7
1386	0	1442	25.7	1498	0	1554	19.4
1387	0	1443	25.4	1499	0	1555	17.7
1388	0	1444	24.9	1500	0	1556	17.2
1389	0	1445	25	1501	0	1557	18.1
1390	3	1446	25.4	1502	0	1558	18.6
1391	5.9	1447	26	1503	0	1559	20
1392	8.6	1448	26	1504	0	1560	22.2
1393	11.5	1449	25.7	1505	0	1561	24.5
1394	14.3	1450	26.1	1506	0	1562	27.3
1395	16.9	1451	26.7	1507	0	1563	30.5
1396	17.3	1452	27.5	1508	0	1564	33.5
1397	18.1	1453	28.6	1509	0	1565	36.2
1398	20.7	1454	29.3	1510	0	1566	37.3
1399	21.7	1455	29.8	1511	0	1567	39.3

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1568	40.5	1624	53.7	1680	37	1736	34.9
1569	42.1	1625	53.6	1681	35.2	1737	34.8
1570	43.5	1626	53.9	1682	33.8	1738	34.5
1571	45.1	1627	54	1683	32.5	1739	34.7
1572	46	1628	54.1	1684	31.5	1740	35.5
1573	46.8	1629	54.1	1685	30.6	1741	36
1574	47.5	1630	53.8	1686	30.5	1742	36
1575	47.5	1631	53.4	1687	30	1743	36
1576	47.3	1632	53	1688	29	1744	36
1577	47.2	1633	52.6	1689	27.5	1745	36
1578	47	1634	52.1	1690	24.8	1746	36
1579	47	1635	52.4	1691	21.5	1747	36.1
1580	47	1636	52	1692	20.1	1748	36.4
1581	47	1637	51.9	1693	19.1	1749	36.5
1582	47	1638	51.7	1694	18.5	1750	36.4
1583	47.2	1639	51.5	1695	17	1751	36
1584	47.4	1640	51.6	1696	15.5	1752	35.1
1585	47.9	1641	51.8	1697	12.5	1753	34.1
1586	48.5	1642	52.1	1698	10.8	1754	33.5
1587	49.1	1643	52.5	1699	8	1755	31.4
1588	49.5	1644	53	1700	4.7	1756	29
1589	50	1645	53.5	1701	1.4	1757	25.7
1590	50.6	1646	54	1702	0	1758	23
1591	51	1647	54.9	1703	0	1759	20.3
1592	51.5	1648	55.4	1704	0	1760	17.5
1593	52.2	1649	55.6	1705	0	1761	14.5
1594	53.2	1650	56	1706	0	1762	12
1595	54.1	1651	56	1707	0	1763	8.7
1596	54.6	1652	55.8	1708	0	1764	5.4
1597	54.9	1653	55.2	1709	0	1765	2.1
1598	55	1654	54.5	1710	0	1766	0
1599	54.9	1655	53.6	1711	0	1767	0
1600	54.6	1656	52.5	1712	0	1768	0
1601	54.6	1657	51.5	1713	0	1769	0
1602	54.8	1658	51.5	1714	0	1770	0
1603	55.1	1659	51.5	1715	0	1771	0
1604	55.5	1660	51.1	1716	1	1772	2.6
1605	55.7	1661	50.1	1717	4.3	1773	5.9
1606	56.1	1662	50	1718	7.6	1774	9.2
1607	56.3	1663	50.1	1719	10.9	1775	12.5
1608	56.6	1664	50	1720	14.2	1776	15.8
1609	56.7	1665	49.6	1721	17.3	1777	19.1
1610	56.7	1666	49.5	1722	20	1778	22.4
1611	56.5	1667	49.5	1723	22.5	1779	25
1612	56.5	1668	49.5	1724	23.7	1780	25.6
1613	56.5	1669	49.1	1725	25.2	1781	27.5
1614	56.5	1670	48.6	1726	26.6	1782	29
1615	56.5	1671	48.1	1727	28.1	1783	30
1616	56.5	1672	47.2	1728	30	1784	30.1
1617	56.4	1673	46.1	1729	30.8	1785	30
1618	56.1	1674	45	1730	31.6	1786	29.7
1619	55.8	1675	43.8	1731	32.1	1787	29.3
1620	55.1	1676	42.6	1732	32.8	1788	28.8
1621	54.6	1677	41.5	1733	33.6	1789	28
1622	54.2	1678	40.3	1734	34.5	1790	25
1623	54	1679	38.5	1735	34.6	1791	21.7

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1792	18.4	1848	35.2				
1793	15.1	1849	35.2				
1794	11.8	1850	35				
1795	8.5	1851	35.1				
1796	5.2	1852	35.2				
1797	1.9	1853	35.5				
1798	0	1854	35.2				
1799	0	1855	35				
1800	0	1856	35				
1801	0	1857	35				
1802	0	1858	34.8				
1803	0	1859	34.6				
1804	0	1860	34.5				
1805	0	1861	33.5				
1806	0	1862	32				
1807	0	1863	30.1				
1808	0	1864	28				
1809	0	1865	25.5				
1810	0	1866	22.5				
1811	0	1867	19.8				
1812	0	1868	16.5				
1813	0	1869	13.2				
1814	0	1870	10.3				
1815	0	1871	7.2				
1816	0	1872	4				
1817	3.3	1873	1				
1818	6.6	1874	0				
1819	9.9						
1820	13.2						
1821	16.5						
1822	19.8						
1823	23.1						
1824	26.4						
1825	27.8						
1826	29.1						
1827	31.5						
1828	33						
1829	33.6						
1830	34.8						
1831	35.1						
1832	35.6						
1833	36.1						
1834	36						
1835	36.1						
1836	36.2						
1837	36						
1838	35.7						
1839	36						
1840	36						
1841	35.6						
1842	35.5						
1843	35.4						
1844	35.2						
1845	35.2						
1846	35.2						
1847	35.2						

Ciclo Interurbano: Highway Fuel Economy Test (HWFET), representa el perfil de conducción en un ambiente interurbano. Éste es un ciclo estándar de 765 segundos programado en un dinamómetro de chasis su perfil de velocidad, además de las principales características se presentan a continuación.

Figura A2 - Perfil de velocidad ciclo interurbano



Fuente: Barlow et al., 2009

Tabla A2 - Características HWFET Ciclo Interurbano

Distancia total	16503.13 m	Velocidad promedio	77.7 km/h
Tiempo total	765 s	Velocidad máxima	96.32 km/h
Tiempo conducción	764 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	264 s	Máxima aceleración	1.43 m/s ²
Tiempo de desaceleración	210 s	Número de detenciones	1
Tiempo detenido	1 s	Promedio tiempo parada	1 s

Fuente: Barlow et al., 2009

La nube de puntos del perfil de velocidad se presenta a continuación.

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
0	0	56	42.9	112	49.5	168	47.9
1	0	57	43.5	113	49.5	169	47.8
2	0	58	44	114	49.5	170	47.3
3	2	59	44.3	115	49.4	171	46.7
4	4.9	60	44.5	116	49.1	172	46.2
5	8.1	61	44.8	117	48.9	173	45.9
6	11.3	62	44.9	118	48.6	174	45.7
7	14.5	63	45	119	48.4	175	45.5
8	17.3	64	45.1	120	48.1	176	45.4
9	19.6	65	45.4	121	47.7	177	45.3
10	21.8	66	45.7	122	47.4	178	45
11	24	67	46	123	47.3	179	44
12	25.8	68	46.3	124	47.5	180	43.1
13	27.1	69	46.5	125	47.8	181	42.2
14	28	70	46.8	126	47.9	182	41.5
15	29	71	46.9	127	48	183	41.5
16	30	72	47	128	47.9	184	42.1
17	30.7	73	47.1	129	47.9	185	42.9
18	31.5	74	47.2	130	47.9	186	43.5
19	32.2	75	47.3	131	48	187	43.9
20	32.9	76	47.2	132	48	188	43.6
21	33.5	77	47.1	133	48	189	43.3
22	34.1	78	47	134	47.9	190	43
23	34.6	79	46.9	135	47.3	191	43.1
24	34.9	80	46.9	136	46	192	43.4
25	35.1	81	46.9	137	43.3	193	43.9
26	35.7	82	47	138	41.2	194	44.3
27	35.9	83	47.1	139	39.5	195	44.6
28	35.8	84	47.1	140	39.2	196	44.9
29	35.3	85	47.2	141	39	197	44.8
30	34.9	86	47.1	142	39	198	44.4
31	34.5	87	47	143	39.1	199	43.9
32	34.6	88	46.9	144	39.5	200	43.4
33	34.8	89	46.5	145	40.1	201	43.2
34	35.1	90	46.3	146	41	202	43.2
35	35.7	91	46.2	147	42	203	43.1
36	36.1	92	46.3	148	43.1	204	43
37	36.2	93	46.5	149	43.7	205	43
38	36.5	94	46.9	150	44.1	206	43.1
39	36.7	95	47.1	151	44.3	207	43.4
40	36.9	96	47.4	152	44.4	208	43.9
41	37	97	47.7	153	44.6	209	44
42	37	98	48	154	44.7	210	43.5
43	37	99	48.2	155	44.9	211	42.6
44	37	100	48.5	156	45.2	212	41.5
45	37	101	48.8	157	45.7	213	40.7
46	37	102	49.1	158	45.9	214	40
47	37.1	103	49.2	159	46.3	215	40
48	37.3	104	49.1	160	46.8	216	40.3
49	37.8	105	49.1	161	46.9	217	41
50	38.6	106	49	162	47	218	42
51	39.3	107	49	163	47.1	219	42.7
52	40	108	49.1	164	47.6	220	43.1
53	40.7	109	49.2	165	47.9	221	43.2
54	41.4	110	49.3	166	48	222	43.4
55	42.2	111	49.4	167	48	223	43.9

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
224	44.3	280	44.2	336	56.4	392	57.2
225	44.7	281	43.5	337	56.9	393	57
226	45.1	282	42.8	338	57	394	56.9
227	45.4	283	42	339	57.1	395	56.6
228	45.8	284	40.1	340	57.3	396	56.3
229	46.5	285	38.6	341	57.6	397	56.1
230	46.9	286	37.5	342	57.8	398	56.4
231	47.2	287	35.8	343	58	399	56.7
232	47.4	288	34.7	344	58.1	400	57.1
233	47.3	289	34	345	58.4	401	57.5
234	47.3	290	33.3	346	58.7	402	57.8
235	47.2	291	32.5	347	58.8	403	58
236	47.2	292	31.7	348	58.9	404	58
237	47.2	293	30.6	349	59	405	58
238	47.1	294	29.6	350	59	406	58
239	47	295	28.8	351	58.9	407	58
240	47	296	28.4	352	58.8	408	58
241	46.9	297	28.6	353	58.6	409	57.9
242	46.8	298	29.5	354	58.4	410	57.8
243	46.9	299	31.4	355	58.2	411	57.7
244	47	300	33.4	356	58.1	412	57.7
245	47.2	301	35.6	357	58	413	57.8
246	47.5	302	37.5	358	57.9	414	57.9
247	47.9	303	39.1	359	57.6	415	58
248	48	304	40.2	360	57.4	416	58.1
249	48	305	41.1	361	57.2	417	58.4
250	48	306	41.8	362	57.1	418	58.9
251	48	307	42.4	363	57	419	59.1
252	48	308	42.8	364	57	420	59.4
253	48.1	309	43.3	365	56.9	421	59.8
254	48.2	310	43.8	366	56.9	422	59.9
255	48.2	311	44.3	367	56.9	423	59.9
256	48.1	312	44.7	368	57	424	59.8
257	48.6	313	45	369	57	425	59.6
258	48.9	314	45.2	370	57	426	59.4
259	49.1	315	45.4	371	57	427	59.2
260	49.1	316	45.5	372	57	428	59.1
261	49.1	317	45.8	373	57	429	59
262	49.1	318	46	374	57	430	58.9
263	49.1	319	46.1	375	57	431	58.7
264	49	320	46.5	376	57	432	58.6
265	48.9	321	46.8	377	56.9	433	58.5
266	48.2	322	47.1	378	56.8	434	58.4
267	47.7	323	47.7	379	56.5	435	58.4
268	47.5	324	48.3	380	56.2	436	58.3
269	47.2	325	49	381	56	437	58.2
270	46.7	326	49.7	382	56	438	58.1
271	46.2	327	50.3	383	56	439	58
272	46	328	51	384	56.1	440	57.9
273	45.8	329	51.7	385	56.4	441	57.9
274	45.6	330	52.4	386	56.7	442	57.9
275	45.4	331	53.1	387	56.9	443	57.9
276	45.2	332	53.8	388	57.1	444	57.9
277	45	333	54.5	389	57.3	445	58
278	44.7	334	55.2	390	57.4	446	58.1
279	44.5	335	55.8	391	57.4	447	58.1

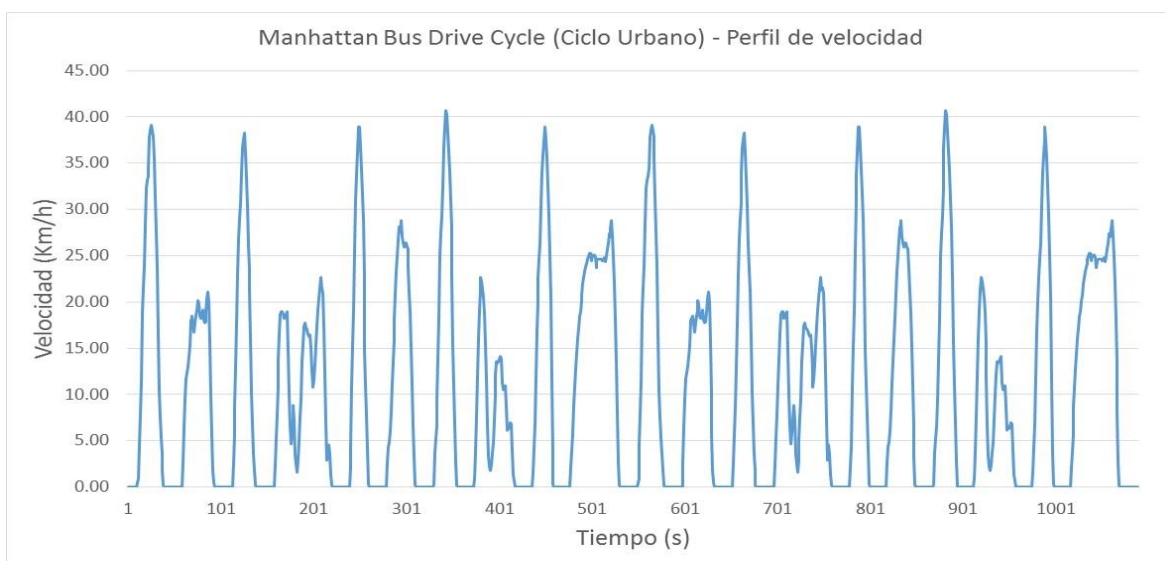
Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
448	58.2	504	54.3	560	54.1	616	46.2
449	58.2	505	54.2	561	53.8	617	46.9
450	58.2	506	54.1	562	53.4	618	47.8
451	58.1	507	54.1	563	53.3	619	49
452	58	508	54.1	564	53.1	620	49.7
453	58	509	54	565	52.9	621	50.6
454	58	510	54	566	52.6	622	51.5
455	58	511	54	567	52.4	623	52.2
456	58	512	54	568	52.2	624	52.7
457	58	513	54	569	52.1	625	53
458	57.9	514	54	570	52	626	53.6
459	57.9	515	54	571	52	627	54
460	58	516	54	572	52	628	54.1
461	58.1	517	54.1	573	52	629	54.4
462	58.1	518	54.2	574	52.1	630	54.7
463	58.2	519	54.5	575	52	631	55.1
464	58.3	520	54.8	576	52	632	55.4
465	58.3	521	54.9	577	51.9	633	55.4
466	58.3	522	55	578	51.6	634	55
467	58.2	523	55.1	579	51.4	635	54.5
468	58.1	524	55.2	580	51.1	636	53.6
469	58	525	55.2	581	50.7	637	52.5
470	57.8	526	55.3	582	50.3	638	50.2
471	57.5	527	55.4	583	49.8	639	48.2
472	57.1	528	55.5	584	49.3	640	46.5
473	57	529	55.6	585	48.7	641	46.2
474	56.6	530	55.7	586	48.2	642	46
475	56.1	531	55.8	587	48.1	643	46
476	56	532	55.9	588	48	644	46.3
477	55.8	533	56	589	48	645	46.8
478	55.5	534	56	590	48.1	646	47.5
479	55.2	535	56	591	48.4	647	48.2
480	55.1	536	56	592	48.9	648	48.8
481	55	537	56	593	49	649	49.5
482	54.9	538	56	594	49.1	650	50.2
483	54.9	539	56	595	49.1	651	50.7
484	54.9	540	56	596	49	652	51.1
485	54.9	541	56	597	49	653	51.7
486	54.9	542	56	598	48.9	654	52.2
487	54.9	543	56	599	48.6	655	52.5
488	55	544	56	600	48.3	656	52.1
489	55	545	56	601	48	657	51.6
490	55	546	56	602	47.9	658	51.1
491	55	547	55.9	603	47.8	659	51
492	55	548	55.9	604	47.7	660	51
493	55	549	55.9	605	47.9	661	51.1
494	55.1	550	55.8	606	48.3	662	51.4
495	55.1	551	55.6	607	49	663	51.7
496	55	552	55.4	608	49.1	664	52
497	54.9	553	55.2	609	49	665	52.2
498	54.9	554	55.1	610	48.9	666	52.5
499	54.8	555	55	611	48	667	52.8
500	54.7	556	54.9	612	47.1	668	52.7
501	54.6	557	54.6	613	46.2	669	52.6
502	54.4	558	54.4	614	46.1	670	52.3
503	54.3	559	54.2	615	46.1	671	52.3

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
672	52.4	728	56.2				
673	52.5	729	55.5				
674	52.7	730	54.6				
675	52.7	731	54.1				
676	52.4	732	53.7				
677	52.1	733	53.2				
678	51.7	734	52.9				
679	51.1	735	52.5				
680	50.5	736	52				
681	50.1	737	51.3				
682	49.8	738	50.5				
683	49.7	739	49.5				
684	49.6	740	48.5				
685	49.5	741	47.6				
686	49.5	742	46.8				
687	49.7	743	45.6				
688	50	744	44.2				
689	50.2	745	42.5				
690	50.6	746	39.2				
691	51.1	747	35.9				
692	51.6	748	32.6				
693	51.9	749	29.3				
694	52	750	26.8				
695	52.1	751	24.5				
696	52.4	752	21.5				
697	52.9	753	19.5				
698	53.3	754	17.4				
699	53.7	755	15.1				
700	54.2	756	12.4				
701	54.5	757	9.7				
702	54.8	758	7				
703	55	759	5				
704	55.5	760	3.3				
705	55.9	761	2				
706	56.1	762	0.7				
707	56.3	763	0				
708	56.4	764	0				
709	56.5	765	0				
710	56.7						
711	56.9						
712	57						
713	57.3						
714	57.7						
715	58.2						
716	58.8						
717	59.1						
718	59.2						
719	59.1						
720	58.8						
721	58.5						
722	58.1						
723	57.7						
724	57.3						
725	57.1						
726	56.8						
727	56.5						

11.1.2 Ciclos de conducción para vehículos pesados (Buses)

Ciclo Urbano: Manhattan Bus Drive Cycle, que representa el perfil de conducción de buses en un ambiente urbano, específicamente en el núcleo de la ciudad de New York. Éste es un ciclo estándar de 1089 segundos programado en un dinamómetro de chasis su perfil de velocidad y aceleración, además de las principales características se presentan a continuación.

Figura A3 - Perfil de velocidad ciclo urbano



Fuente: Barlow et al., 2009

El perfil de aceleración se obtuvo en función del perfil de velocidad mediante una aproximación.

Tabla A3 - Características Manhattan Bus Cycle - Ciclo Urbano

Distancia total	3332.81 m	Velocidad promedio	11 km/h
Tiempo total	1089 s	Velocidad máxima	40.71 km/h
Tiempo conducción	794 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	352 s	Máxima aceleración	2.056 m/s ²
Tiempo de desaceleración	302 s	Número de detenciones	21
Tiempo detenido	295 s	Promedio tiempo parada	14.05 s

Fuente: Barlow et al., 2009

La nube de puntos del perfil de velocidad se presenta a continuación

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1	0	57	0	113	0	169	11.3
2	0	58	0	114	1.6	170	11.5
3	0	59	0	115	3.5	171	11.6
4	0	60	1.7	116	5.4	172	11.8
5	0	61	4	117	8.1	173	9.1
6	0	62	5.9	118	11	174	6.2
7	0	63	7.3	119	14.3	175	4.1
8	0	64	7.7	120	16.7	176	2.9
9	0	65	8.1	121	18	177	3.6
10	0	66	8.8	122	19.1	178	4.6
11	0.3	67	9.5	123	21.1	179	5.5
12	0.6	68	11.2	124	22.8	180	4.5
13	2.8	69	11.3	125	23.4	181	2.2
14	4.9	70	11.5	126	23.8	182	1.5
15	7.1	71	10.9	127	22.4	183	1
16	11.7	72	10.4	128	20.7	184	1.8
17	13.4	73	11	129	18.9	185	3.1
18	14.9	74	11.5	130	16.2	186	4.7
19	17.7	75	11.9	131	14.6	187	5.9
20	20.1	76	12.5	132	13.1	188	8.4
21	20.6	77	12.3	133	9.9	189	9.6
22	20.9	78	11.5	134	6.3	190	10.8
23	21.4	79	11.3	135	4.2	191	11
24	23.5	80	11.5	136	2.2	192	10.7
25	24	81	11.9	137	1.1	193	10.6
26	24.3	82	11.2	138	0.1	194	10.5
27	23.9	83	11	139	0	195	10.3
28	23.5	84	11.1	140	0	196	10.1
29	22	85	11.8	141	0	197	10.2
30	19.4	86	12.7	142	0	198	9.3
31	17.1	87	13.1	143	0	199	7.8
32	14.7	88	12.4	144	0	200	6.7
33	10.1	89	9.7	145	0	201	7.2
34	6.4	90	6.2	146	0	202	8.2
35	4.7	91	3.5	147	0	203	9.5
36	3.3	92	1.1	148	0	204	10.8
37	2.2	93	0.3	149	0	205	11.9
38	1.1	94	0	150	0	206	12.7
39	0.1	95	0	151	0	207	13.4
40	0	96	0	152	0	208	14.1
41	0	97	0	153	0	209	13.2
42	0	98	0	154	0	210	13.4
43	0	99	0	155	0	211	13
44	0	100	0	156	0	212	10.8
45	0	101	0	157	0	213	7.7
46	0	102	0	158	0	214	4.4
47	0	103	0	159	1.5	215	1.8
48	0	104	0	160	3.3	216	2.1
49	0	105	0	161	4.9	217	2.8
50	0	106	0	162	6.8	218	2.2
51	0	107	0	163	8.6	219	0.8
52	0	108	0	164	10.3	220	0.1
53	0	109	0	165	11.6	221	0
54	0	110	0	166	11.8	222	0
55	0	111	0	167	11.8	223	0
56	0	112	0	168	11.6	224	0

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
225	0	281	2.7	337	15.5	393	2.3
226	0	282	3	338	17	394	3
227	0	283	3.8	339	18.2	395	4.5
228	0	284	5.1	340	20.1	396	6.2
229	0	285	7	341	22.8	397	7.5
230	0	286	8.4	342	24.1	398	8.4
231	0	287	9.9	343	25.3	399	8.3
232	0	288	11.3	344	25	400	8.4
233	0	289	13	345	23.8	401	8.6
234	0	290	14.5	346	22.5	402	8.8
235	0	291	15.5	347	21.2	403	8.6
236	0	292	16.6	348	19.3	404	7
237	0	293	17.5	349	17.4	405	6.5
238	0	294	17.1	350	14	406	6.5
239	0	295	17.9	351	9.6	407	6.8
240	1.3	296	16.8	352	6.8	408	5.4
241	2.7	297	16.4	353	4.2	409	3.8
242	6.8	298	16.1	354	1.7	410	4.1
243	9.5	299	16.4	355	0.1	411	3.9
244	11.9	300	16.4	356	0	412	4
245	15.9	301	16.1	357	0	413	4.3
246	19.3	302	16	358	0	414	4.2
247	21	303	14.7	359	0	415	2.4
248	22.5	304	13.1	360	0	416	0.8
249	24.2	305	11.7	361	0	417	0.4
250	24.2	306	9.4	362	0	418	0
251	22.8	307	6.8	363	0	419	0
252	21.3	308	4.1	364	0	420	0
253	19.6	309	2	365	0	421	0
254	17.9	310	0.2	366	0	422	0
255	14.1	311	0	367	0	423	0
256	9.1	312	0	368	0	424	0
257	6.8	313	0	369	0	425	0
258	4.8	314	0	370	0	426	0
259	2.5	315	0	371	0	427	0
260	0.2	316	0	372	0	428	0
261	0	317	0	373	0	429	0
262	0	318	0	374	0.6	430	0
263	0	319	0	375	2.4	431	0
264	0	320	0	376	4.8	432	0
265	0	321	0	377	7.5	433	0
266	0	322	0	378	10	434	0
267	0	323	0	379	11.9	435	0
268	0	324	0	380	13.2	436	0
269	0	325	0	381	14.1	437	1
270	0	326	0	382	13.8	438	2.6
271	0	327	0	383	13.3	439	4.2
272	0	328	0	384	12.7	440	7.4
273	0	329	0	385	11.6	441	10.5
274	0	330	0.2	386	9.5	442	12.4
275	0	331	2.3	387	7.2	443	14.1
276	0	332	3.3	388	4.1	444	15.3
277	0	333	4.1	389	2.1	445	16.4
278	0	334	5.9	390	1.3	446	18.9
279	0	335	8.6	391	1.1	447	21.1
280	1.6	336	11.3	392	1.5	448	22.3

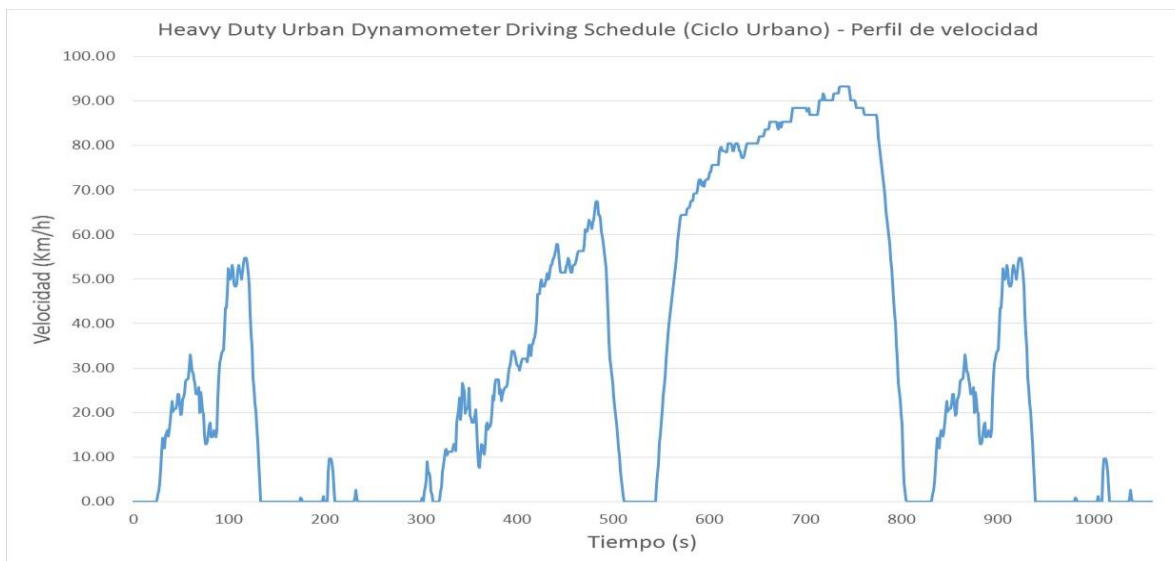
Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
449	23.3	505	14.7	561	20.9	617	11.5
450	24.2	506	15.2	562	21.4	618	11.3
451	23.3	507	15.3	563	23.5	619	11.5
452	22.1	508	15.3	564	24	620	11.9
453	20.2	509	15.3	565	24.3	621	11.2
454	18.2	510	15.3	566	23.9	622	11
455	15.5	511	15.3	567	23.5	623	11.1
456	12.7	512	15.2	568	22	624	11.8
457	7.1	513	15.3	569	19.4	625	12.7
458	2.2	514	15.4	570	17.1	626	13.1
459	0.2	515	15.1	571	14.7	627	12.4
460	0	516	15.5	572	10.1	628	9.7
461	0	517	16	573	6.4	629	6.2
462	0	518	16.4	574	4.7	630	3.5
463	0	519	17	575	3.3	631	1.1
464	0	520	16.8	576	2.2	632	0.3
465	0	521	17.4	577	1.1	633	0
466	0	522	17.9	578	0.1	634	0
467	0	523	16.8	579	0	635	0
468	0	524	15.4	580	0	636	0
469	0	525	13.6	581	0	637	0
470	0	526	11.2	582	0	638	0
471	0	527	8.3	583	0	639	0
472	0	528	4.9	584	0	640	0
473	0	529	1.6	585	0	641	0
474	0	530	0.1	586	0	642	0
475	0	531	0	587	0	643	0
476	0	532	0	588	0	644	0
477	0	533	0	589	0	645	0
478	1.3	534	0	590	0	646	0
479	2.4	535	0	591	0	647	0
480	3.6	536	0	592	0	648	0
481	5.4	537	0	593	0	649	0
482	6.7	538	0	594	0	650	0
483	7.9	539	0	595	0	651	0
484	9	540	0	596	0	652	0
485	10	541	0	597	0	653	1.6
486	10.7	542	0	598	0	654	3.5
487	11.5	543	0	599	1.7	655	5.4
488	11.8	544	0	600	4	656	8.1
489	12.5	545	0	601	5.9	657	11
490	12.9	546	0	602	7.3	658	14.3
491	13.7	547	0	603	7.7	659	16.7
492	14.1	548	0	604	8.1	660	18
493	14.5	549	0	605	8.8	661	19.1
494	14.8	550	0.3	606	9.5	662	21.1
495	15	551	0.6	607	11.2	663	22.8
496	15.3	552	2.8	608	11.3	664	23.4
497	15.5	553	4.9	609	11.5	665	23.8
498	15.7	554	7.1	610	10.9	666	22.4
499	15.7	555	11.7	611	10.4	667	20.7
500	15.2	556	13.4	612	11	668	18.9
501	15.6	557	14.9	613	11.5	669	16.2
502	15.5	558	17.7	614	11.9	670	14.6
503	15.6	559	20.1	615	12.5	671	13.1
504	15.4	560	20.6	616	12.3	672	9.9

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
673	6.3	729	10.8	785	19.3	841	16
674	4.2	730	11	786	21	842	14.7
675	2.2	731	10.7	787	22.5	843	13.1
676	1.1	732	10.6	788	24.2	844	11.7
677	0.1	733	10.5	789	24.2	845	9.4
678	0	734	10.3	790	22.8	846	6.8
679	0	735	10.1	791	21.3	847	4.1
680	0	736	10.2	792	19.6	848	2
681	0	737	9.3	793	17.9	849	0.2
682	0	738	7.8	794	14.1	850	0
683	0	739	6.7	795	9.1	851	0
684	0	740	7.2	796	6.8	852	0
685	0	741	8.2	797	4.8	853	0
686	0	742	9.5	798	2.5	854	0
687	0	743	10.8	799	0.2	855	0
688	0	744	11.9	800	0	856	0
689	0	745	12.7	801	0	857	0
690	0	746	13.4	802	0	858	0
691	0	747	14.1	803	0	859	0
692	0	748	13.2	804	0	860	0
693	0	749	13.4	805	0	861	0
694	0	750	13	806	0	862	0
695	0	751	10.8	807	0	863	0
696	0	752	7.7	808	0	864	0
697	0	753	4.4	809	0	865	0
698	1.5	754	1.8	810	0	866	0
699	3.3	755	2.1	811	0	867	0
700	4.9	756	2.8	812	0	868	0
701	6.8	757	2.2	813	0	869	0.2
702	8.6	758	0.8	814	0	870	2.3
703	10.3	759	0.1	815	0	871	3.3
704	11.6	760	0	816	0	872	4.1
705	11.8	761	0	817	0	873	5.9
706	11.8	762	0	818	0	874	8.6
707	11.6	763	0	819	1.6	875	11.3
708	11.3	764	0	820	2.7	876	15.5
709	11.5	765	0	821	3	877	17
710	11.6	766	0	822	3.8	878	18.2
711	11.8	767	0	823	5.1	879	20.1
712	9.1	768	0	824	7	880	22.8
713	6.2	769	0	825	8.4	881	24.1
714	4.1	770	0	826	9.9	882	25.3
715	2.9	771	0	827	11.3	883	25
716	3.6	772	0	828	13	884	23.8
717	4.6	773	0	829	14.5	885	22.5
718	5.5	774	0	830	15.5	886	21.2
719	4.5	775	0	831	16.6	887	19.3
720	2.2	776	0	832	17.5	888	17.4
721	1.5	777	0	833	17.1	889	14
722	1	778	0	834	17.9	890	9.6
723	1.8	779	1.3	835	16.8	891	6.8
724	3.1	780	2.7	836	16.4	892	4.2
725	4.7	781	6.8	837	16.1	893	1.7
726	5.9	782	9.5	838	16.4	894	0.1
727	8.4	783	11.9	839	16.4	895	0
728	9.6	784	15.9	840	16.1	896	0

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
897	0	953	4.2	1009	0	1065	11.2
898	0	954	2.4	1010	0	1066	8.3
899	0	955	0.8	1011	0	1067	4.9
900	0	956	0.4	1012	0	1068	1.6
901	0	957	0	1013	0	1069	0.1
902	0	958	0	1014	0	1070	0
903	0	959	0	1015	0	1071	0
904	0	960	0	1016	0	1072	0
905	0	961	0	1017	1.3	1073	0
906	0	962	0	1018	2.4	1074	0
907	0	963	0	1019	3.6	1075	0
908	0	964	0	1020	5.4	1076	0
909	0	965	0	1021	6.7	1077	0
910	0	966	0	1022	7.9	1078	0
911	0	967	0	1023	9	1079	0
912	0	968	0	1024	10	1080	0
913	0.6	969	0	1025	10.7	1081	0
914	2.4	970	0	1026	11.5	1082	0
915	4.8	971	0	1027	11.8	1083	0
916	7.5	972	0	1028	12.5	1084	0
917	10	973	0	1029	12.9	1085	0
918	11.9	974	0	1030	13.7	1086	0
919	13.2	975	0	1031	14.1	1087	0
920	14.1	976	1	1032	14.5	1088	0
921	13.8	977	2.6	1033	14.8	1089	0
922	13.3	978	4.2	1034	15		
923	12.7	979	7.4	1035	15.3		
924	11.6	980	10.5	1036	15.5		
925	9.5	981	12.4	1037	15.7		
926	7.2	982	14.1	1038	15.7		
927	4.1	983	15.3	1039	15.2		
928	2.1	984	16.4	1040	15.6		
929	1.3	985	18.9	1041	15.5		
930	1.1	986	21.1	1042	15.6		
931	1.5	987	22.3	1043	15.4		
932	2.3	988	23.3	1044	14.7		
933	3	989	24.2	1045	15.2		
934	4.5	990	23.3	1046	15.3		
935	6.2	991	22.1	1047	15.3		
936	7.5	992	20.2	1048	15.3		
937	8.4	993	18.2	1049	15.3		
938	8.3	994	15.5	1050	15.3		
939	8.4	995	12.7	1051	15.2		
940	8.6	996	7.1	1052	15.3		
941	8.8	997	2.2	1053	15.4		
942	8.6	998	0.2	1054	15.1		
943	7	999	0	1055	15.5		
944	6.5	1000	0	1056	16		
945	6.5	1001	0	1057	16.4		
946	6.8	1002	0	1058	17		
947	5.4	1003	0	1059	16.8		
948	3.8	1004	0	1060	17.4		
949	4.1	1005	0	1061	17.9		
950	3.9	1006	0	1062	16.8		
951	4	1007	0	1063	15.4		
952	4.3	1008	0	1064	13.6		

Ciclo Interurbano: Heavy Duty Urban Dynamometer Driving Schedule (HD-UDDS), representa el perfil de conducción en un ambiente interurbano para vehículos pesados. Éste es un ciclo estándar de 1060 segundos programado en un dinamómetro de chasis, su perfil de velocidad y aceleración, además de las principales características se presentan a continuación.

Figura A4 - Perfil de velocidad ciclo Interurbano



Fuente: Barlow et al., 2009

El perfil de aceleración se obtuvo en función del perfil de velocidad mediante una aproximación.

Tabla A4 - Características HD-UDDS - Ciclo Interurbano

Distancia total	8932.03 m	Velocidad promedio	30.3 km/h
Tiempo total	1060 s	Velocidad máxima	93.34 km/h
Tiempo conducción	796 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	329 s	Máxima aceleración	1.95 m/s ²
Tiempo de desaceleración	206 s	Número de detenciones	12
Tiempo detenido	264 s	Promedio tiempo parada	22 s

Fuente: Barlow et al., 2009

La nube de puntos del perfil de velocidad se presenta a continuación

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
0	0	56	17	112	32	168	0
1	0	57	17.23	113	31.04	169	0
2	0	58	18.77	114	32.2	170	0
3	0	59	20.54	115	33.36	171	0
4	0	60	19.6	116	34	172	0
5	0	61	18.14	117	34	173	0
6	0	62	17.98	118	34	174	0.51
7	0	63	17	119	33.01	175	0.33
8	0	64	16.34	120	31.86	176	0
9	0	65	15	121	30.1	177	0
10	0	66	15	122	26.17	178	0
11	0	67	15	123	23.39	179	0
12	0	68	15.96	124	21.46	180	0
13	0	69	12.35	125	17.28	181	0
14	0	70	15.28	126	15.83	182	0
15	0	71	14.27	127	13.76	183	0
16	0	72	12.59	128	12.6	184	0
17	0	73	12.25	129	10.33	185	0
18	0	74	9.28	130	8.28	186	0
19	0	75	8	131	5.38	187	0
20	0	76	8	132	2.91	188	0
21	0	77	8.38	133	0	189	0
22	0	78	9.53	134	0	190	0
23	0	79	10.69	135	0	191	0
24	0	80	11	136	0	192	0
25	0.19	81	9	137	0	193	0
26	1	82	9	138	0	194	0
27	1.51	83	9.32	139	0	195	0
28	2.66	84	10	140	0	196	0
29	4.64	85	9.36	141	0	197	0.13
30	6.96	86	9	142	0	198	0.71
31	8.86	87	9.95	143	0	199	0
32	7.71	88	14.33	144	0	200	0
33	7.45	89	17.53	145	0	201	0
34	9.22	90	19.42	146	0	202	0
35	10	91	20	147	0	203	4.15
36	9.08	92	20.74	148	0	204	6
37	10.08	93	21	149	0	205	6
38	11.24	94	21.11	150	0	206	6
39	12.79	95	23.84	151	0	207	5.3
40	14	96	27	152	0	208	4.14
41	12.58	97	27	153	0	209	1.96
42	12.87	98	29.05	154	0	210	0
43	13	99	32.52	155	0	211	0
44	13	100	31.01	156	0	212	0
45	13.68	101	31	157	0	213	0
46	15	102	31.62	158	0	214	0
47	15	103	33	159	0	215	0
48	13.37	104	32.37	160	0	216	0
49	12.08	105	30.43	161	0	217	0
50	12.26	106	30	162	0	218	0
51	14.29	107	30	163	0	219	0
52	14.56	108	30.51	164	0	220	0
53	15.2	109	32.41	165	0	221	0
54	16.76	110	33	166	0	222	0
55	17	111	32.27	167	0	223	0

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
224	0	280	0	336	7.09	392	19
225	0	281	0	337	11.06	393	19.88
226	0	282	0	338	12.89	394	21
227	0	283	0	339	14.49	395	21
228	0	284	0	340	11.46	396	21
229	0	285	0	341	13.08	397	20.49
230	0	286	0	342	16.55	398	20
231	0.48	287	0	343	16	399	19.18
232	1.64	288	0	344	15.34	400	19
233	0.41	289	0	345	12.32	401	18.86
234	0	290	0	346	13	402	18.29
235	0	291	0	347	13	403	19
236	0	292	0	348	13	404	19.61
237	0	293	0	349	15.86	405	20
238	0	294	0	350	12	406	20
239	0	295	0	351	11.73	407	20
240	0	296	0	352	11	408	20
241	0	297	0	353	11	409	20
242	0	298	0	354	11	410	19.45
243	0	299	0	355	11.9	411	20.42
244	0	300	0.24	356	12.89	412	21.87
245	0	301	0.6	357	10.36	413	20.97
246	0	302	0	358	7.26	414	20.37
247	0	303	1.42	359	4.95	415	22
248	0	304	2	360	4.68	416	22
249	0	305	3.08	361	6.68	417	22.66
250	0	306	5.63	362	8	418	23
251	0	307	4	363	7.84	419	23.97
252	0	308	4	364	7	420	25.51
253	0	309	3.34	365	6.53	421	29
254	0	310	1.37	366	7.89	422	29
255	0	311	1	367	10.57	423	29
256	0	312	0	368	11	424	30.51
257	0	313	0	369	10.1	425	31
258	0	314	0	370	10.74	426	30
259	0	315	0	371	10.42	427	30
260	0	316	0	372	11	428	30
261	0	317	0	373	12.46	429	30.54
262	0	318	0	374	14.77	430	31
263	0	319	0.23	375	14.09	431	31.86
264	0	320	1.39	376	16.2	432	31
265	0	321	2	377	17	433	31.17
266	0	322	4.11	378	17	434	32.33
267	0	323	5	379	17	435	33
268	0	324	6.02	380	17	436	33
269	0	325	7.18	381	15.02	437	33.8
270	0	326	7.33	382	15.71	438	34
271	0	327	6.49	383	14	439	35.12
272	0	328	7	384	14.92	440	36
273	0	329	7	385	15.38	441	36
274	0	330	7	386	15.78	442	34.82
275	0	331	7	387	16	443	33.25
276	0	332	7	388	16	444	32.09
277	0	333	7.43	389	16.25	445	32
278	0	334	8	390	17.41	446	32
279	0	335	8	391	18.56	447	32

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
448	32	504	9.31	560	28.31	616	49
449	32	505	7.5	561	29.46	617	48.72
450	32.85	506	6.34	562	30.62	618	48.87
451	33.01	507	4.37	563	31.78	619	50
452	34	508	3.03	564	32.94	620	50
453	33.68	509	1.87	565	34.18	621	50
454	32.52	510	0.71	566	36.25	622	50
455	32	511	0	567	37.41	623	49.78
456	32	512	0	568	38.56	624	49
457	32.95	513	0	569	39.72	625	49
458	33	514	0	570	40	626	49.69
459	33	515	0	571	40	627	50
460	33.42	516	0	572	40	628	50
461	34	517	0	573	40	629	50
462	34.74	518	0	574	40	630	49.68
463	35	519	0	575	40	631	49
464	35	520	0	576	40.82	632	49
465	35	521	0	577	41	633	48.2
466	35	522	0	578	41	634	48
467	35	523	0	579	41.3	635	48
468	35	524	0	580	42	636	48.27
469	35.84	525	0	581	42	637	49
470	37.99	526	0	582	42	638	49.58
471	38	527	0	583	42.93	639	50
472	37.69	528	0	584	43	640	50
473	38.41	529	0	585	43	641	50
474	39.37	530	0	586	43	642	50
475	39	531	0	587	43.56	643	50
476	39	532	0	588	44.71	644	50
477	38.1	533	0	589	45	645	50
478	39	534	0	590	44.97	646	50
479	39.41	535	0	591	44.18	647	50
480	40.57	536	0	592	44.66	648	50
481	41.73	537	0	593	44	649	50
482	42	538	0	594	44	650	50.47
483	41.92	539	0	595	44.81	651	51
484	40	540	0	596	45	652	51
485	40	541	0	597	45	653	51
486	39.49	542	0	598	45	654	51
487	37.66	543	0	599	45.44	655	51
488	37	544	2.36	600	46	656	51.42
489	36.01	545	3.94	601	46	657	52
490	34.86	546	5.31	602	46.92	658	52
491	33.7	547	8.26	603	47	659	52
492	32.54	548	9.42	604	47	660	52
493	29.54	549	11.15	605	47	661	52.2
494	26.46	550	12.73	606	47	662	53
495	22.28	551	14.78	607	47	663	53
496	19.91	552	16.05	608	47	664	53
497	18.76	553	17.41	609	47.04	665	53
498	17.6	554	19.72	610	49	666	53
499	16.44	555	21.52	611	49.33	667	53
500	14.57	556	23.35	612	49.51	668	53
501	13.13	557	24.83	613	49	669	53
502	11.97	558	25.99	614	49	670	52.38
503	10.81	559	27.15	615	49	671	52

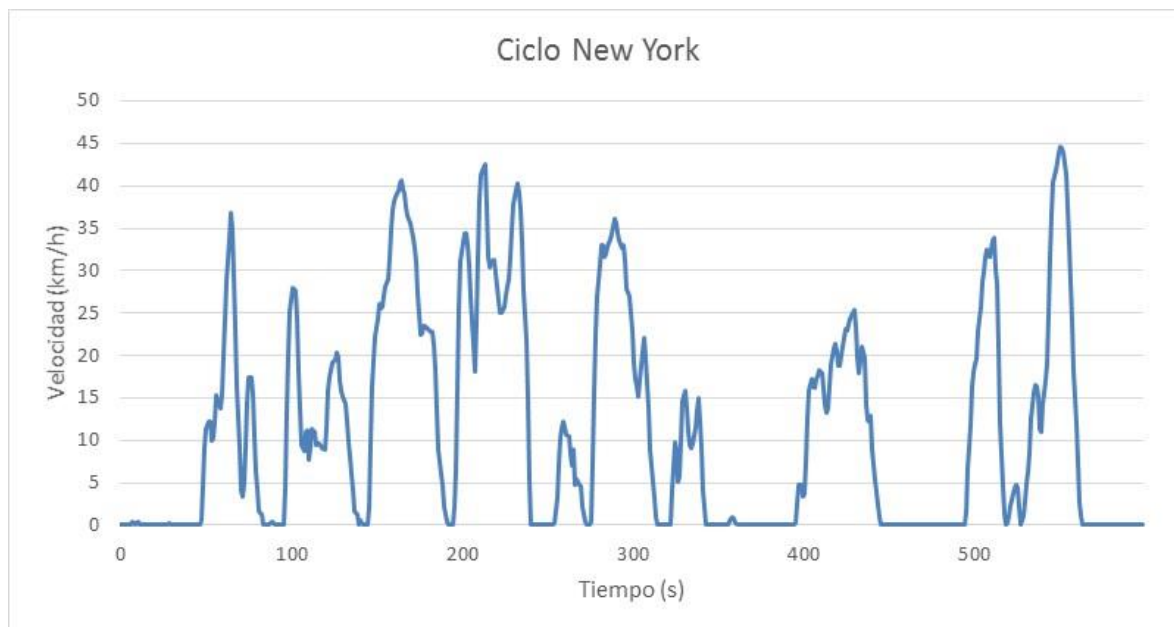
Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
672	52.93	728	56	784	39.44	840	9.22
673	52.91	729	56.91	785	38.28	841	10
674	52.25	730	57	786	37.13	842	9.08
675	53	731	57	787	35.94	843	10.08
676	53	732	57	788	33.81	844	11.24
677	53	733	57	789	32.66	845	12.79
678	53	734	57	790	30.5	846	14
679	53	735	57.85	791	28.34	847	12.58
680	53	736	58	792	26.37	848	12.87
681	53	737	58	793	25.03	849	13
682	53	738	58	794	21.87	850	13
683	53	739	58	795	19.85	851	13.68
684	53	740	58	796	16.56	852	15
685	53.98	741	58	797	15.4	853	15
686	55	742	58	798	14.24	854	13.37
687	55	743	58	799	12.17	855	12.03
688	55	744	58	800	10.71	856	12.26
689	55	745	57.15	801	6.08	857	14.29
690	55	746	56	802	2.61	858	14.56
691	55	747	56	803	1.45	859	15.2
692	55	748	56	804	0.3	860	16.76
693	55	749	56	805	0	861	17
694	55	750	56	806	0	862	17
695	55	751	55.63	807	0	863	17.23
696	55	752	55	808	0	864	18.77
697	55	753	55	809	0	865	20.54
698	55	754	55	810	0	866	19.6
699	55	755	55	811	0	867	18.14
700	55	756	55	812	0	868	17.98
701	54.5	757	55	813	0	869	17
702	54.66	758	55	814	0	870	16.34
703	55	759	55	815	0	871	15
704	54.03	760	54.22	816	0	872	15
705	54	761	54	817	0	873	15
706	54	762	54	818	0	874	15.96
707	54	763	54	819	0	875	12.35
708	54	764	54	820	0	876	15.28
709	54	765	54	821	0	877	14.27
710	54	766	54	822	0	878	12.59
711	54	767	54	823	0	879	12.25
712	54	768	54	824	0	880	9.28
713	54.77	769	54	825	0	881	8
714	56	770	54	826	0	882	8
715	56	771	54	827	0	883	8.38
716	56	772	54	828	0	884	9.53
717	56.02	773	54	829	0	885	10.69
718	57	774	53.01	830	0	886	11
719	56.67	775	50.86	831	0.19	887	9
720	56	776	49.7	832	1	888	9
721	56	777	48.54	833	1.51	889	9.32
722	56	778	47.39	834	2.66	890	10
723	56	779	46.23	835	4.64	891	9.36
724	56	780	45.07	836	6.96	892	9
725	56	781	43.91	837	8.86	893	9.95
726	56	782	42.51	838	7.71	894	14.33
727	56	783	40.6	839	7.45	895	17.53

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
896	19.42	952	0	1008	0		
897	20	953	0	1009	4.15		
898	20.74	954	0	1010	6		
899	21	955	0	1011	6		
900	21.11	956	0	1012	6		
901	23.84	957	0	1013	5.3		
902	27	958	0	1014	4.14		
903	27	959	0	1015	1.96		
904	29.05	960	0	1016	0		
905	32.52	961	0	1017	0		
906	31.01	962	0	1018	0		
907	31	963	0	1019	0		
908	31.62	964	0	1020	0		
909	33	965	0	1021	0		
910	32.37	966	0	1022	0		
911	30.43	967	0	1023	0		
912	30	968	0	1024	0		
913	30	969	0	1025	0		
914	30.51	970	0	1026	0		
915	32.41	971	0	1027	0		
916	33	972	0	1028	0		
917	32.27	973	0	1029	0		
918	32	974	0	1030	0		
919	31.04	975	0	1031	0		
920	32.2	976	0	1032	0		
921	33.36	977	0	1033	0		
922	34	978	0	1034	0		
923	34	979	0	1035	0		
924	34	980	0.51	1036	0		
925	33.01	981	0.33	1037	0.48		
926	31.86	982	0	1038	1.64		
927	30.1	983	0	1039	0.41		
928	26.17	984	0	1040	0		
929	23.39	985	0	1041	0		
930	21.46	986	0	1042	0		
931	17.28	987	0	1043	0		
932	15.83	988	0	1044	0		
933	13.76	989	0	1045	0		
934	12.6	990	0	1046	0		
935	10.33	991	0	1047	0		
936	8.28	992	0	1048	0		
937	5.38	993	0	1049	0		
938	2.91	994	0	1050	0		
939	0	995	0	1051	0		
940	0	996	0	1052	0		
941	0	997	0	1053	0		
942	0	998	0	1054	0		
943	0	999	0	1055	0		
944	0	1000	0	1056	0		
945	0	1001	0	1057	0		
946	0	1002	0	1058	0		
947	0	1003	0.13	1059	0		
948	0	1004	0.71	1060	0		
949	0	1005	0				
950	0	1006	0				
951	0	1007	0				

11.1.3 Perfiles usados en la sensibilidad del modelo

El ciclo usado para el análisis de la explicación de la potencia corresponde al ciclo New York City Cycle, corresponde a un perfil de baja velocidad y representa las condiciones de conducción para la ciudad que lleva su nombre, el perfil de velocidad, además de las características más relevantes se presentan a continuación.

Figura A 5 - Perfil de velocidad New York City Cycle.



Fuente: Barlow et al., 2009

Tabla A 5 - Características New York City Cycle

Distancia total	1902,76 m	Velocidad promedio	11,5 km/h
Tiempo total	598 s	Velocidad máxima	44,45 km/h
Tiempo conducción	412 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	176 s	Máxima aceleración	2.68 m/s ²
Tiempo de desaceleración	175 s	Número de detenciones	7
Tiempo detenido	186 s	Promedio tiempo parada	26.57 s

Fuente: Barlow et al., 2009

La nube de puntos del perfil de velocidad se presenta a continuación.

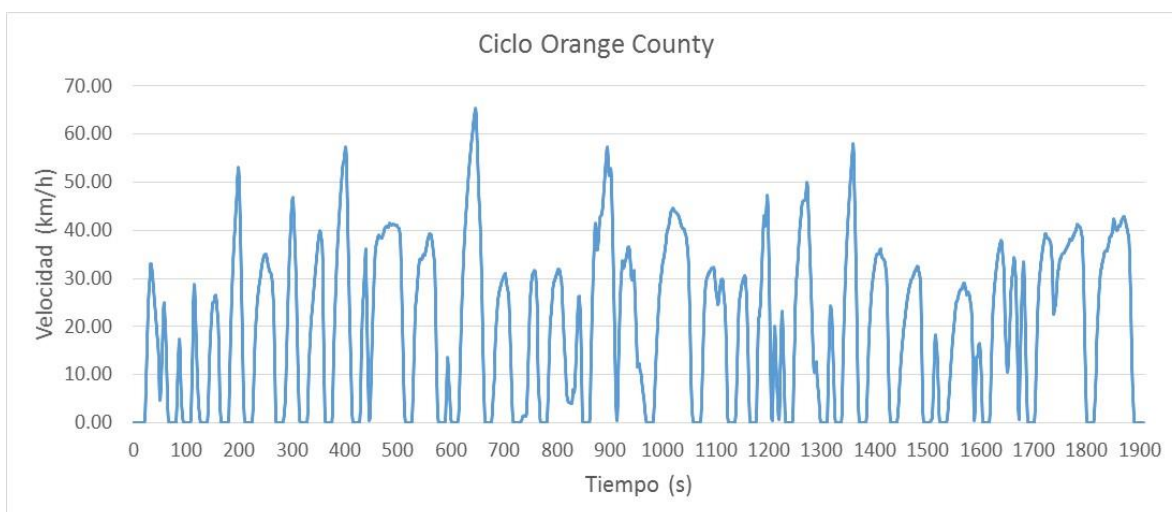
Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
0	0	56	9.5	112	7.1	168	22.7
1	0	57	8.9	113	6.8	169	22.1
2	0	58	8.6	114	5.9	170	21.6
3	0	59	9.6	115	6	171	21.1
4	0	60	12.4	116	6	172	20.3
5	0	61	15	117	5.9	173	19.2
6	0	62	17.8	118	5.6	174	17
7	0.3	63	21	119	5.5	175	13.9
8	0	64	22.9	120	7.2	176	14.1
9	0.2	65	21.7	121	9.9	177	14.6
10	0.3	66	18.2	122	10.8	178	14.6
11	0	67	14.5	123	11.4	179	14.5
12	0	68	10.2	124	11.9	180	14.4
13	0	69	5.6	125	12.1	181	14.2
14	0	70	2.5	126	12.6	182	14.2
15	0	71	2.1	127	12.3	183	13.2
16	0	72	3.1	128	10.6	184	11.5
17	0	73	5.7	129	9.9	185	8.4
18	0	74	9	130	9.4	186	5.5
19	0	75	10.8	131	8.9	187	3.7
20	0	76	10.8	132	7.6	188	2.9
21	0	77	9.5	133	6.1	189	1.3
22	0	78	6.5	134	5	190	0.8
23	0	79	3.9	135	3.7	191	0.3
24	0	80	2.6	136	2.6	192	0.1
25	0	81	1	137	1	193	0.1
26	0	82	0.8	138	0.8	194	0
27	0.1	83	0.1	139	0.1	195	1.3
28	0.2	84	0	140	0.4	196	3.9
29	0	85	0	141	0.2	197	9.9
30	0	86	0	142	0	198	15.9
31	0	87	0	143	0	199	19.3
32	0	88	0.3	144	0	200	20.7
33	0	89	0.2	145	1.3	201	21.4
34	0	90	0	146	6	202	21.4
35	0	91	0	147	10.2	203	20.5
36	0	92	0	148	12.1	204	19
37	0	93	0	149	13.8	205	16.7
38	0	94	0	150	15.1	206	13.1
39	0	95	0	151	16.2	207	11.2
40	0	96	2.7	152	15.9	208	14.9
41	0	97	8.3	153	16	209	19.8
42	0	98	12.4	154	16.8	210	23.8
43	0	99	15.7	155	17.5	211	25.7
44	0	100	17.4	156	18	212	26.2
45	0	101	17.3	157	19.6	213	26.4
46	0	102	17.2	158	21.7	214	23.3
47	0.4	103	15.1	159	23.1	215	19.6
48	2.8	104	11.2	160	23.7	216	18.9
49	5.6	105	8.6	161	24.1	217	19.3
50	7	106	5.9	162	24.5	218	19.4
51	7.6	107	5.4	163	25	219	18.5
52	7.6	108	6.8	164	25.2	220	17.5
53	6.2	109	6.9	165	24.6	221	16.4
54	6.4	110	4.8	166	24.3	222	15.6
55	7.6	111	5.7	167	23.3	223	15.6

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
224	16	280	19.1	336	7.2	392	0
225	16.8	281	20.5	337	8.4	393	0
226	17.5	282	20.5	338	9.3	394	0
227	18	283	19.7	339	7.6	395	0.2
228	19.6	284	19.9	340	5.5	396	1.6
229	21.7	285	20.4	341	2.5	397	3
230	23.5	286	20.9	342	0.1	398	3
231	24.6	287	21.4	343	0	399	2.1
232	25	288	21.9	344	0	400	2.3
233	24.3	289	22.4	345	0	401	4.6
234	23.1	290	22.1	346	0	402	7.8
235	20.7	291	21.4	347	0	403	9.9
236	17.2	292	20.8	348	0	404	10.7
237	13.5	293	20.3	349	0	405	10.2
238	9.2	294	20.5	350	0	406	10.1
239	3.3	295	19.3	351	0	407	10.7
240	0	296	17.3	352	0	408	10.9
241	0	297	17.1	353	0	409	11.4
242	0	298	16.7	354	0	410	11.1
243	0	299	14.3	355	0.1	411	10
244	0	300	11.9	356	0.3	412	8.8
245	0	301	10.7	357	0.5	413	8.2
246	0	302	10.2	358	0.6	414	8.6
247	0	303	9.4	359	0.5	415	10.2
248	0	304	10.6	360	0.2	416	11.8
249	0	305	12.8	361	0	417	13
250	0	306	13.7	362	0	418	13.3
251	0	307	12.3	363	0	419	12.8
252	0	308	10.4	364	0	420	11.7
253	0	309	8.6	365	0	421	11.7
254	0.2	310	5.5	366	0	422	12.4
255	2	311	3.2	367	0.1	423	13.7
256	4.5	312	2	368	0	424	14.4
257	6.4	313	0.6	369	0	425	14.3
258	7.2	314	0	370	0	426	14.7
259	7.6	315	0	371	0.1	427	15.1
260	7.2	316	0	372	0.1	428	15.3
261	6.6	317	0	373	0	429	15.8
262	6.5	318	0	374	0	430	14.5
263	5.1	319	0	375	0	431	12.2
264	4.4	320	0	376	0	432	11.1
265	5.5	321	0	377	0	433	12
266	3	322	0	378	0	434	13.1
267	3.4	323	2.5	379	0	435	12.2
268	3	324	6.1	380	0	436	8.9
269	2.9	325	5.5	381	0	437	7.7
270	1.3	326	3.2	382	0	438	7.6
271	0.8	327	3.6	383	0	439	8
272	0.3	328	6.1	384	0	440	5.5
273	0	329	9.1	385	0	441	3.3
274	0	330	9.8	386	0	442	2.4
275	0.3	331	8.6	387	0	443	1.4
276	4.7	332	6.8	388	0	444	0.6
277	9.7	333	5.9	389	0	445	0
278	13.9	334	5.6	390	0	446	0
279	16.7	335	6	391	0	447	0

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
448	0	504	17.8	560	4.6		
449	0	505	18.6	561	1.7		
450	0	506	19.6	562	0.7		
451	0	507	20.2	563	0		
452	0.1	508	19.9	564	0		
453	0	509	19.7	565	0		
454	0	510	20.8	566	0		
455	0	511	21	567	0		
456	0	512	18.8	568	0		
457	0	513	17.6	569	0		
458	0	514	13	570	0		
459	0	515	7.5	571	0		
460	0	516	2.9	572	0		
461	0	517	0.8	573	0		
462	0	518	0	574	0		
463	0	519	0.2	575	0		
464	0	520	0.7	576	0		
465	0	521	1.4	577	0		
466	0	522	2.3	578	0		
467	0	523	2.7	579	0		
468	0	524	3	580	0		
469	0	525	2.7	581	0		
470	0	526	1.2	582	0		
471	0	527	0.1	583	0		
472	0	528	0.7	584	0		
473	0	529	1.8	585	0		
474	0	530	3.1	586	0		
475	0	531	3.9	587	0		
476	0	532	5.3	588	0		
477	0	533	7.8	589	0		
478	0	534	9.7	590	0		
479	0	535	10.3	591	0		
480	0	536	10.2	592	0		
481	0	537	9.4	593	0		
482	0	538	7.1	594	0		
483	0	539	6.8	595	0		
484	0	540	8.9	596	0		
485	0	541	10.6	597	0		
486	0	542	11.9	598	0		
487	0	543	15.5				
488	0	544	19.6				
489	0	545	22.8				
490	0	546	25.1				
491	0	547	26				
492	0	548	26.7				
493	0	549	27.3				
494	0	550	27.7				
495	1	551	27.6				
496	4.1	552	27.3				
497	7.4	553	25.7				
498	10.2	554	23.3				
499	11.3	555	20.6				
500	11.8	556	17.8				
501	12.2	557	14.9				
502	14.3	558	11.3				
503	16	559	7.4				

Como se mencionó en el análisis de sensibilidad, el perfil usado corresponde al Orange County Cycle. Este ciclo fue testado en la prueba de emisiones desarrollada por ABRTC, además se midieron los consumos asociados para los buses testados. El perfil de velocidad, además de las características más importantes del ciclo se presenta a continuación.

Figura A6 - Perfil de velocidad Orange County Cycle



Fuente: Barlow et al., 2009

Tabla A 6 - Características de Orange County Cycle

Distancia total	10529,75 m	Velocidad promedio	19,9 km/h
Tiempo total	1909 s	Velocidad máxima	64,79 km/h
Tiempo conducción	1592 s	Aceleración promedio	0 m/s ²
Tiempo de aceleración	794 s	Máxima aceleración	1.81 m/s ²
Tiempo de desaceleración	546 s	Número de detenciones	32
Tiempo detenido	317 s	Promedio tiempo parada	9,91 s

Fuente: Barlow et al., 2009

La nube de puntos del perfil de velocidad asociado se presenta a continuación.

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1	0.00	57	14.65	113	13.52	169	0.00
2	0.00	58	15.54	114	15.81	170	0.00
3	0.00	59	14.56	115	17.83	171	0.00
4	0.00	60	13.20	116	17.84	172	0.00
5	0.00	61	11.98	117	15.86	173	0.00
6	0.00	62	9.60	118	13.43	174	0.00
7	0.00	63	7.10	119	10.92	175	0.00
8	0.00	64	4.64	120	8.66	176	0.00
9	0.00	65	1.77	121	6.70	177	0.00
10	0.00	66	0.46	122	4.61	178	0.00
11	0.00	67	0.12	123	3.01	179	0.10
12	0.00	68	0.00	124	2.02	180	0.97
13	0.00	69	0.00	125	1.29	181	4.10
14	0.00	70	0.00	126	0.56	182	7.67
15	0.00	71	0.00	127	0.00	183	10.50
16	0.00	72	0.00	128	0.00	184	13.15
17	0.00	73	0.00	129	0.00	185	15.57
18	0.00	74	0.00	130	0.00	186	17.64
19	0.00	75	0.00	131	0.00	187	19.46
20	0.00	76	0.00	132	0.00	188	21.048
21	0.24	77	0.00	133	0.00	189	22.45
22	1.25	78	0.00	134	0.00	190	23.82
23	3.56	79	0.00	135	0.00	191	25.03
24	6.20	80	0.00	136	0.00	192	26.23
25	8.81	81	0.59	137	0.00	193	27.47
26	11.40	82	2.37	138	0.00	194	28.58
27	13.74	83	4.85	139	0.00	195	29.64
28	15.89	84	7.09	140	0.19	196	30.61
29	17.26	85	8.88	141	1.25	197	31.62
30	18.15	86	10.35	142	3.29	198	32.59
31	19.06	87	10.77	143	5.97	199	33.03
32	19.94	88	9.25	144	8.57	200	31.78
33	20.59	89	6.14	145	10.25	201	29.22
34	20.59	90	3.74	146	11.70	202	26.44
35	20.08	91	2.24	147	12.95	203	23.16
36	19.44	92	1.28	148	14.05	204	19.30
37	18.70	93	0.53	149	15.04	205	15.80
38	17.82	94	0.13	150	15.50	206	12.55
39	16.92	95	0.00	151	15.55	207	8.14
40	15.99	96	0.00	152	15.57	208	4.51
41	15.15	97	0.00	153	15.98	209	1.95
42	14.27	98	0.00	154	16.32	210	0.42
43	13.39	99	0.00	155	16.47	211	0.14
44	12.46	100	0.00	156	16.23	212	0.00
45	11.58	101	0.00	157	15.70	213	0.00
46	10.72	102	0.00	158	14.69	214	0.00
47	9.87	103	0.00	159	13.89	215	0.00
48	8.63	104	0.00	160	13.04	216	0.00
49	6.00	105	0.00	161	10.81	217	0.00
50	3.19	106	0.00	162	7.43	218	0.00
51	2.91	107	0.00	163	3.53	219	0.00
52	4.25	108	0.30	164	1.59	220	0.00
53	5.96	109	1.95	165	0.54	221	0.00
54	7.92	110	5.05	166	0.00	222	0.00
55	10.06	111	8.07	167	0.00	223	0.00
56	12.32	112	10.95	168	0.00	224	0.00

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
225	0.51	281	0.00	337	14.42	393	31.25
226	1.88	282	0.00	338	15.17	394	32.14
227	4.14	283	0.17	339	16.06	395	32.97
228	6.64	284	0.49	340	16.98	396	33.54
229	9.10	285	1.01	341	17.80	397	33.73
230	11.29	286	1.76	342	18.62	398	34.12
231	12.56	287	2.73	343	19.41	399	34.77
232	13.63	288	4.75	344	20.15	400	35.52
233	14.76	289	7.43	345	20.97	401	35.67
234	15.75	290	10.08	346	21.70	402	34.38
235	16.43	291	12.75	347	22.43	403	31.49
236	17.03	292	15.43	348	23.15	404	28.21
237	17.59	293	17.79	349	23.78	405	24.55
238	18.06	294	19.89	350	24.29	406	21.06
239	18.43	295	21.82	351	24.71	407	17.75
240	18.97	296	23.46	352	24.86	408	14.31
241	19.61	297	25.10	353	24.58	409	11.47
242	20.06	298	26.59	354	24.01	410	8.69
243	20.60	299	27.92	355	23.57	411	6.05
244	20.99	300	28.77	356	23.00	412	3.25
245	21.24	301	29.08	357	20.96	413	1.05
246	21.42	302	28.66	358	17.55	414	0.10
247	21.68	303	26.98	359	13.88	415	0.00
248	21.80	304	25.19	360	9.77	416	0.00
249	21.81	305	23.35	361	4.83	417	0.00
250	21.77	306	21.44	362	1.11	418	0.00
251	21.58	307	19.34	363	0.10	419	0.00
252	21.17	308	16.64	364	0.00	420	0.00
253	20.77	309	13.18	365	0.00	421	0.00
254	20.33	310	9.97	366	0.00	422	0.00
255	20.06	311	6.82	367	0.00	423	0.00
256	19.78	312	4.08	368	0.00	424	0.00
257	19.55	313	1.60	369	0.00	425	0.00
258	19.48	314	0.25	370	0.00	426	0.00
259	19.40	315	0.10	371	0.00	427	0.22
260	19.16	316	0.00	372	0.00	428	1.54
261	18.77	317	0.00	373	0.00	429	5.20
262	18.20	318	0.00	374	0.00	430	8.85
263	17.00	319	0.00	375	0.00	431	11.89
264	15.63	320	0.00	376	0.98	432	14.23
265	13.45	321	0.00	377	4.21	433	15.64
266	9.86	322	0.00	378	7.76	434	16.72
267	6.06	323	0.00	379	10.46	435	18.02
268	1.76	324	0.00	380	12.82	436	19.39
269	0.10	325	0.00	381	14.99	437	21.08
270	0.00	326	0.00	382	16.95	438	22.44
271	0.00	327	0.00	383	18.83	439	21.47
272	0.00	328	0.15	384	20.66	440	19.17
273	0.00	329	1.30	385	22.18	441	15.77
274	0.00	330	4.11	386	23.58	442	11.90
275	0.00	331	6.81	387	24.76	443	7.88
276	0.00	332	8.63	388	25.93	444	4.77
277	0.00	333	10.15	389	27.11	445	1.84
278	0.00	334	11.53	390	28.19	446	0.28
279	0.00	335	12.73	391	29.30	447	0.67
280	0.00	336	13.70	392	30.35	448	2.68

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
449	5.26	505	20.81	561	24.39	617	7.07
450	7.85	506	17.79	562	24.27	618	9.64
451	10.43	507	14.56	563	23.93	619	12.10
452	12.87	508	11.63	564	23.50	620	14.59
453	15.18	509	8.63	565	22.84	621	16.80
454	17.25	510	5.17	566	22.15	622	18.71
455	19.24	511	2.32	567	21.59	623	20.45
456	20.95	512	0.88	568	20.98	624	22.03
457	22.18	513	0.18	569	19.71	625	23.45
458	22.78	514	0.00	570	16.83	626	24.75
459	23.18	515	0.00	571	12.46	627	25.97
460	23.45	516	0.00	572	8.45	628	27.01
461	23.78	517	0.00	573	4.85	629	28.09
462	24.06	518	0.00	574	1.82	630	29.16
463	24.23	519	0.00	575	0.51	631	30.21
464	24.14	520	0.00	576	0.00	632	31.26
465	24.01	521	0.00	577	0.00	633	32.15
466	23.97	522	0.00	578	0.00	634	33.05
467	23.94	523	0.00	579	0.00	635	33.82
468	23.91	524	0.00	580	0.00	636	34.61
469	23.86	525	0.00	581	0.00	637	35.42
470	24.00	526	0.13	582	0.00	638	36.09
471	24.31	527	0.98	583	0.00	639	36.80
472	24.46	528	3.09	584	0.00	640	37.38
473	24.75	529	5.66	585	0.00	641	38.05
474	24.97	530	8.35	586	0.00	642	38.68
475	25.21	531	10.93	587	0.00	643	39.34
476	25.30	532	13.38	588	0.10	644	39.86
477	25.37	533	15.09	589	0.69	645	40.41
478	25.38	534	15.82	590	3.05	646	40.63
479	25.35	535	16.56	591	4.99	647	39.81
480	25.22	536	17.45	592	7.09	648	37.98
481	25.25	537	18.41	593	8.45	649	35.89
482	25.42	538	19.32	594	7.24	650	33.71
483	25.63	539	20.20	595	5.60	651	31.62
484	25.82	540	20.85	596	4.43	652	29.47
485	25.68	541	21.10	597	3.20	653	28.02
486	25.65	542	21.27	598	1.72	654	26.56
487	25.59	543	21.18	599	0.49	655	24.67
488	25.54	544	21.05	600	0.15	656	22.02
489	25.67	545	21.09	601	0.00	657	19.47
490	25.70	546	21.39	602	0.00	658	16.04
491	25.66	547	21.69	603	0.00	659	12.49
492	25.62	548	21.79	604	0.00	660	8.90
493	25.58	549	21.65	605	0.00	661	5.63
494	25.58	550	21.65	606	0.00	662	2.86
495	25.58	551	21.90	607	0.00	663	0.73
496	25.53	552	22.23	608	0.00	664	0.00
497	25.51	553	22.59	609	0.00	665	0.00
498	25.41	554	22.94	610	0.00	666	0.00
499	25.31	555	23.42	611	0.00	667	0.00
500	25.21	556	23.75	612	0.00	668	0.00
501	25.07	557	24.02	613	0.23	669	0.00
502	24.89	558	24.17	614	0.54	670	0.00
503	24.44	559	24.36	615	1.76	671	0.00
504	23.27	560	24.42	616	4.18	672	0.00

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
673	0.00	729	0.00	785	8.18	841	16.43
674	0.00	730	0.00	786	10.53	842	15.75
675	0.00	731	0.12	787	12.74	843	14.64
676	0.23	732	0.25	788	13.65	844	13.99
677	1.15	733	0.35	789	14.22	845	12.32
678	2.40	734	0.64	790	15.16	846	9.35
679	3.70	735	0.84	791	16.25	847	5.15
680	4.77	736	0.90	792	17.30	848	1.08
681	5.87	737	0.90	793	17.78	849	0.15
682	7.47	738	0.97	794	18.13	850	0.00
683	9.14	739	1.00	795	18.28	851	0.00
684	10.76	740	1.00	796	18.60	852	0.00
685	12.15	741	0.90	797	18.76	853	0.00
686	13.41	742	1.25	798	18.97	854	0.00
687	14.41	743	2.75	799	19.18	855	0.00
688	15.42	744	4.99	800	19.41	856	0.00
689	16.09	745	7.46	801	19.59	857	0.00
690	16.48	746	9.89	802	19.82	858	0.00
691	16.89	747	12.32	803	19.90	859	0.00
692	17.21	748	14.63	804	19.78	860	0.00
693	17.51	749	16.26	805	19.55	861	0.00
694	17.79	750	17.26	806	19.16	862	0.54
695	18.00	751	18.12	807	18.69	863	3.28
696	18.26	752	18.65	808	18.43	864	7.30
697	18.47	753	19.08	809	17.38	865	10.56
698	18.66	754	19.41	810	15.50	866	13.49
699	18.86	755	19.40	811	13.80	867	16.27
700	19.03	756	19.45	812	12.31	868	18.74
701	19.16	757	19.72	813	10.67	869	20.88
702	19.29	758	19.58	814	9.42	870	22.68
703	18.98	759	19.16	815	8.09	871	24.44
704	18.40	760	17.98	816	6.60	872	25.78
705	17.91	761	16.57	817	4.86	873	25.65
706	17.48	762	15.00	818	3.61	874	23.71
707	17.14	763	11.56	819	3.14	875	22.31
708	16.77	764	8.14	820	2.88	876	22.38
709	16.13	765	5.22	821	2.68	877	22.83
710	14.16	766	3.80	822	2.69	878	23.59
711	11.96	767	2.48	823	2.63	879	24.69
712	9.78	768	0.75	824	2.60	880	26.00
713	7.44	769	0.00	825	2.53	881	26.52
714	4.90	770	0.00	826	2.50	882	26.83
715	2.52	771	0.00	827	2.50	883	26.76
716	0.89	772	0.00	828	2.68	884	26.94
717	0.13	773	0.00	829	3.56	885	27.28
718	0.10	774	0.00	830	4.35	886	27.91
719	0.00	775	0.00	831	4.18	887	28.83
720	0.00	776	0.00	832	3.90	888	29.94
721	0.00	777	0.00	833	4.78	889	30.98
722	0.00	778	0.00	834	6.24	890	31.95
723	0.00	779	0.00	835	8.05	891	32.94
724	0.00	780	0.00	836	10.04	892	33.94
725	0.00	781	0.20	837	12.05	893	34.88
726	0.00	782	1.17	838	13.79	894	35.68
727	0.00	783	3.18	839	15.31	895	35.46
728	0.00	784	5.67	840	16.28	896	34.15

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
897	32.48	953	7.35	1009	25.00	1065	0.00
898	31.94	954	7.57	1010	25.17	1066	0.00
899	32.13	955	7.59	1011	25.37	1067	0.00
900	32.51	956	7.25	1012	25.84	1068	0.00
901	32.83	957	6.50	1013	26.35	1069	0.00
902	31.85	958	6.48	1014	26.79	1070	0.10
903	29.25	959	6.12	1015	27.14	1071	0.46
904	26.18	960	5.26	1016	27.40	1072	1.91
905	22.75	961	4.55	1017	27.51	1073	4.21
906	19.47	962	4.04	1018	27.61	1074	6.78
907	16.14	963	3.53	1019	27.69	1075	9.43
908	12.37	964	3.12	1020	27.64	1076	11.96
909	8.44	965	2.11	1021	27.50	1077	14.04
910	5.04	966	1.35	1022	27.35	1078	15.82
911	2.12	967	0.73	1023	27.32	1079	17.07
912	0.33	968	0.23	1024	27.23	1080	17.90
913	0.36	969	0.00	1025	27.15	1081	18.36
914	2.46	970	0.00	1026	27.10	1082	18.67
915	6.28	971	0.00	1027	27.10	1083	18.92
916	9.40	972	0.00	1028	26.95	1084	19.07
917	12.00	973	0.00	1029	26.81	1085	19.25
918	14.52	974	0.00	1030	26.66	1086	19.33
919	16.68	975	0.00	1031	26.41	1087	19.46
920	18.36	976	0.00	1032	26.25	1088	19.57
921	19.35	977	0.00	1033	25.86	1089	19.63
922	20.32	978	0.00	1034	25.61	1090	19.68
923	20.96	979	0.00	1035	25.45	1091	19.79
924	20.58	980	0.00	1036	25.22	1092	19.96
925	19.93	981	0.22	1037	25.07	1093	19.98
926	19.97	982	0.96	1038	25.13	1094	19.99
927	20.29	983	2.24	1039	25.14	1095	20.04
928	20.68	984	3.98	1040	24.94	1096	20.05
929	20.95	985	5.95	1041	24.73	1097	19.64
930	21.15	986	7.71	1042	24.49	1098	18.85
931	21.39	987	9.27	1043	24.23	1099	17.94
932	21.81	988	10.78	1044	23.82	1100	17.17
933	22.26	989	12.22	1045	23.19	1101	16.68
934	22.64	990	13.60	1046	22.60	1102	16.23
935	22.71	991	14.91	1047	21.78	1103	15.70
936	22.58	992	16.04	1048	20.49	1104	15.33
937	22.28	993	17.05	1049	17.80	1105	15.64
938	21.41	994	17.84	1050	15.09	1106	16.35
939	20.20	995	18.37	1051	12.18	1107	17.14
940	19.06	996	18.98	1052	8.33	1108	17.68
941	18.39	997	19.61	1053	4.87	1109	18.22
942	18.43	998	20.25	1054	2.48	1110	18.51
943	18.78	999	20.82	1055	1.28	1111	18.58
944	19.36	1000	21.13	1056	0.42	1112	18.54
945	19.65	1001	21.40	1057	0.10	1113	18.31
946	18.80	1002	21.78	1058	0.00	1114	17.29
947	16.84	1003	22.31	1059	0.00	1115	16.24
948	14.77	1004	22.87	1060	0.00	1116	15.67
949	12.63	1005	23.38	1061	0.00	1117	14.99
950	10.51	1006	23.79	1062	0.00	1118	13.38
951	8.47	1007	24.25	1063	0.00	1119	10.91
952	7.22	1008	24.71	1064	0.00	1120	7.84

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1121	3.86	1177	1.65	1233	0.00	1289	7.95
1122	0.75	1178	5.71	1234	0.00	1290	6.80
1123	0.10	1179	9.38	1235	0.00	1291	5.56
1124	0.00	1180	12.42	1236	0.00	1292	4.67
1125	0.00	1181	13.56	1237	0.00	1293	3.98
1126	0.00	1182	13.74	1238	0.00	1294	3.22
1127	0.00	1183	14.51	1239	0.00	1295	2.03
1128	0.00	1184	15.32	1240	0.00	1296	0.72
1129	0.00	1185	16.76	1241	0.00	1297	0.13
1130	0.00	1186	18.72	1242	0.00	1298	0.00
1131	0.00	1187	20.78	1243	0.00	1299	0.00
1132	0.00	1188	22.74	1244	0.22	1300	0.00
1133	0.00	1189	24.52	1245	1.63	1301	0.00
1134	0.00	1190	26.30	1246	5.13	1302	0.00
1135	0.00	1191	26.81	1247	8.45	1303	0.00
1136	0.26	1192	25.48	1248	10.86	1304	0.00
1137	1.18	1193	25.46	1249	13.01	1305	0.00
1138	3.06	1194	26.24	1250	14.99	1306	0.00
1139	5.60	1195	27.37	1251	16.85	1307	0.00
1140	8.23	1196	28.73	1252	18.42	1308	0.00
1141	10.87	1197	29.36	1253	19.17	1309	0.00
1142	13.34	1198	27.82	1254	20.07	1310	0.75
1143	15.30	1199	24.38	1255	21.18	1311	3.89
1144	15.99	1200	20.99	1256	22.52	1312	7.33
1145	16.36	1201	16.35	1257	23.54	1313	10.04
1146	16.85	1202	11.31	1258	24.70	1314	12.59
1147	17.34	1203	6.18	1259	25.50	1315	14.88
1148	17.70	1204	2.52	1260	26.21	1316	15.07
1149	18.01	1205	0.55	1261	27.02	1317	14.56
1150	18.29	1206	0.34	1262	27.93	1318	14.20
1151	18.52	1207	2.28	1263	28.50	1319	12.13
1152	18.70	1208	5.91	1264	28.54	1320	9.67
1153	18.89	1209	8.97	1265	28.75	1321	7.38
1154	19.06	1210	11.59	1266	28.72	1322	5.20
1155	18.77	1211	12.43	1267	28.72	1323	2.79
1156	17.65	1212	10.60	1268	28.78	1324	0.74
1157	16.59	1213	8.23	1269	29.10	1325	0.00
1158	14.68	1214	5.91	1270	29.65	1326	0.00
1159	11.97	1215	4.74	1271	30.51	1327	0.00
1160	9.04	1216	3.22	1272	31.12	1328	0.00
1161	5.88	1217	1.52	1273	30.33	1329	0.00
1162	2.76	1218	0.37	1274	28.31	1330	0.00
1163	0.60	1219	0.45	1275	26.37	1331	0.00
1164	0.00	1220	2.79	1276	24.39	1332	0.00
1165	0.00	1221	6.47	1277	22.38	1333	0.00
1166	0.00	1222	9.47	1278	20.40	1334	0.00
1167	0.00	1223	12.09	1279	18.30	1335	0.00
1168	0.00	1224	14.41	1280	16.19	1336	0.00
1169	0.00	1225	13.91	1281	14.01	1337	0.15
1170	0.00	1226	11.78	1282	11.80	1338	1.13
1171	0.00	1227	8.82	1283	9.63	1339	4.47
1172	0.00	1228	6.23	1284	7.58	1340	8.03
1173	0.00	1229	3.54	1285	6.53	1341	10.88
1174	0.00	1230	1.04	1286	6.79	1342	13.51
1175	0.00	1231	0.10	1287	7.19	1343	15.98
1176	0.18	1232	0.00	1288	7.70	1344	18.10

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1345	19.96	1401	21.28	1457	13.76	1513	10.12
1346	21.69	1402	21.58	1458	14.40	1514	11.35
1347	23.21	1403	21.72	1459	15.05	1515	11.05
1348	24.66	1404	21.78	1460	15.60	1516	10.19
1349	25.97	1405	21.74	1461	16.06	1517	9.59
1350	27.20	1406	21.76	1462	16.53	1518	8.26
1351	28.34	1407	21.98	1463	16.94	1519	5.97
1352	29.44	1408	22.22	1464	17.38	1520	4.03
1353	30.59	1409	22.40	1465	17.66	1521	1.31
1354	31.66	1410	22.51	1466	17.92	1522	0.13
1355	32.66	1411	22.33	1467	18.19	1523	0.00
1356	33.62	1412	21.97	1468	18.39	1524	0.00
1357	34.57	1413	21.56	1469	18.55	1525	0.00
1358	35.45	1414	21.31	1470	18.65	1526	0.00
1359	36.03	1415	21.21	1471	18.82	1527	0.00
1360	34.66	1416	21.17	1472	19.00	1528	0.00
1361	31.01	1417	21.08	1473	19.18	1529	0.00
1362	27.98	1418	20.89	1474	19.36	1530	0.00
1363	24.96	1419	20.81	1475	19.58	1531	0.00
1364	21.03	1420	20.37	1476	19.70	1532	0.00
1365	17.20	1421	19.77	1477	19.88	1533	0.00
1366	13.00	1422	19.38	1478	20.01	1534	0.00
1367	8.36	1423	17.39	1479	20.22	1535	0.17
1368	4.44	1424	14.27	1480	20.24	1536	0.40
1369	1.73	1425	10.34	1481	20.07	1537	1.01
1370	0.33	1426	6.46	1482	19.63	1538	1.89
1371	0.00	1427	3.56	1483	19.38	1539	2.87
1372	0.00	1428	1.75	1484	18.98	1540	3.95
1373	0.00	1429	0.45	1485	18.59	1541	5.15
1374	0.00	1430	0.00	1486	17.09	1542	6.31
1375	0.00	1431	0.00	1487	13.42	1543	7.41
1376	0.00	1432	0.00	1488	9.12	1544	8.53
1377	0.00	1433	0.00	1489	4.98	1545	9.51
1378	0.00	1434	0.00	1490	1.22	1546	10.42
1379	0.00	1435	0.00	1491	0.10	1547	11.22
1380	0.00	1436	0.00	1492	0.00	1548	11.92
1381	0.00	1437	0.00	1493	0.00	1549	12.65
1382	0.00	1438	0.00	1494	0.00	1550	13.50
1383	0.10	1439	0.00	1495	0.00	1551	14.29
1384	0.83	1440	0.00	1496	0.00	1552	14.98
1385	3.01	1441	0.00	1497	0.00	1553	15.50
1386	5.61	1442	0.23	1498	0.00	1554	15.68
1387	8.25	1443	0.88	1499	0.00	1555	15.80
1388	10.47	1444	1.82	1500	0.00	1556	16.06
1389	12.04	1445	2.83	1501	0.00	1557	16.43
1390	13.39	1446	4.25	1502	0.00	1558	16.74
1391	14.60	1447	5.76	1503	0.00	1559	16.90
1392	15.70	1448	6.99	1504	0.13	1560	17.11
1393	16.67	1449	7.92	1505	0.20	1561	17.26
1394	17.56	1450	8.86	1506	0.31	1562	17.23
1395	18.21	1451	9.77	1507	0.43	1563	17.30
1396	18.82	1452	10.57	1508	0.55	1564	17.29
1397	19.35	1453	11.28	1509	1.54	1565	17.57
1398	19.85	1454	12.01	1510	3.46	1566	17.85
1399	20.32	1455	12.61	1511	5.77	1567	18.04
1400	20.83	1456	13.15	1512	7.98	1568	18.01

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1569	17.86	1625	17.14	1681	20.80	1737	13.98
1570	17.48	1626	17.99	1682	18.46	1738	14.01
1571	17.17	1627	18.77	1683	15.56	1739	14.57
1572	16.90	1628	19.43	1684	12.47	1740	15.00
1573	16.58	1629	20.06	1685	8.84	1741	15.06
1574	16.65	1630	20.65	1686	5.57	1742	15.86
1575	16.97	1631	21.22	1687	2.71	1743	16.96
1576	16.99	1632	21.79	1688	0.60	1744	18.20
1577	16.79	1633	22.18	1689	0.00	1745	19.17
1578	16.62	1634	22.54	1690	0.00	1746	19.65
1579	16.35	1635	22.85	1691	0.00	1747	19.86
1580	16.01	1636	23.15	1692	0.00	1748	20.40
1581	15.31	1637	23.40	1693	0.00	1749	21.08
1582	15.05	1638	23.59	1694	0.00	1750	21.28
1583	13.83	1639	23.29	1695	0.00	1751	21.25
1584	10.88	1640	22.34	1696	0.00	1752	21.52
1585	8.28	1641	21.37	1697	0.00	1753	21.75
1586	5.36	1642	20.65	1698	0.00	1754	21.80
1587	1.65	1643	19.82	1699	0.00	1755	21.86
1588	0.25	1644	17.07	1700	0.00	1756	21.99
1589	1.47	1645	13.53	1701	0.24	1757	21.92
1590	4.11	1646	11.36	1702	1.60	1758	22.04
1591	6.94	1647	9.65	1703	3.96	1759	22.24
1592	8.51	1648	7.88	1704	6.67	1760	22.40
1593	8.57	1649	6.46	1705	9.33	1761	22.52
1594	8.54	1650	6.55	1706	12.01	1762	22.63
1595	9.21	1651	7.56	1707	14.38	1763	22.77
1596	9.94	1652	9.01	1708	16.13	1764	22.90
1597	10.31	1653	10.80	1709	17.43	1765	22.99
1598	10.02	1654	12.63	1710	18.54	1766	23.17
1599	9.11	1655	14.25	1711	19.34	1767	23.43
1600	7.69	1656	15.80	1712	20.04	1768	23.69
1601	5.98	1657	16.99	1713	20.64	1769	23.68
1602	2.97	1658	17.77	1714	21.23	1770	23.65
1603	0.60	1659	18.67	1715	21.79	1771	23.62
1604	0.00	1660	19.26	1716	22.34	1772	23.73
1605	0.00	1661	19.97	1717	22.75	1773	23.92
1606	0.00	1662	20.79	1718	23.26	1774	24.08
1607	0.00	1663	21.40	1719	23.65	1775	24.20
1608	0.00	1664	20.87	1720	24.07	1776	24.39
1609	0.00	1665	19.66	1721	24.37	1777	24.57
1610	0.00	1666	18.68	1722	24.37	1778	24.72
1611	0.00	1667	16.35	1723	24.20	1779	24.90
1612	0.00	1668	13.31	1724	24.05	1780	25.17
1613	0.00	1669	10.06	1725	23.91	1781	25.43
1614	0.00	1670	6.34	1726	23.88	1782	25.61
1615	0.00	1671	1.74	1727	23.81	1783	25.60
1616	0.16	1672	0.45	1728	23.74	1784	25.55
1617	1.25	1673	2.93	1729	23.59	1785	25.44
1618	3.46	1674	6.63	1730	23.41	1786	25.38
1619	6.08	1675	9.72	1731	23.32	1787	25.27
1620	8.79	1676	12.47	1732	22.78	1788	25.18
1621	11.36	1677	15.07	1733	21.64	1789	24.67
1622	13.70	1678	17.29	1734	20.73	1790	24.29
1623	15.25	1679	19.06	1735	18.14	1791	23.94
1624	16.23	1680	20.59	1736	14.96	1792	22.08

Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)	Time (s)	Speed (mph)
1793	20.04	1849	25.22	1905	0.00		
1794	17.26	1850	26.08	1906	0.00		
1795	13.73	1851	26.30	1907	0.00		
1796	9.70	1852	25.89	1908	0.00		
1797	6.77	1853	25.56	1909	0.00		
1798	3.46	1854	25.16				
1799	0.66	1855	24.92				
1800	0.10	1856	24.97				
1801	0.00	1857	24.85				
1802	0.00	1858	24.99				
1803	0.00	1859	25.25				
1804	0.00	1860	25.47				
1805	0.00	1861	25.43				
1806	0.00	1862	25.46				
1807	0.00	1863	25.59				
1808	0.00	1864	25.85				
1809	0.00	1865	26.04				
1810	0.00	1866	26.21				
1811	0.00	1867	26.40				
1812	0.00	1868	26.52				
1813	0.42	1869	26.63				
1814	1.70	1870	26.58				
1815	3.20	1871	26.38				
1816	4.84	1872	26.17				
1817	6.78	1873	25.91				
1818	8.67	1874	25.59				
1819	10.52	1875	25.31				
1820	12.18	1876	25.04				
1821	13.62	1877	24.61				
1822	15.04	1878	24.25				
1823	16.42	1879	23.84				
1824	17.57	1880	22.15				
1825	18.59	1881	19.70				
1826	19.44	1882	17.01				
1827	19.78	1883	13.69				
1828	20.05	1884	10.22				
1829	20.49	1885	6.80				
1830	20.86	1886	4.38				
1831	21.05	1887	2.90				
1832	21.51	1888	1.07				
1833	21.92	1889	0.13				
1834	22.03	1890	0.00				
1835	22.16	1891	0.00				
1836	22.16	1892	0.00				
1837	22.16	1893	0.00				
1838	22.24	1894	0.00				
1839	22.44	1895	0.00				
1840	22.81	1896	0.00				
1841	23.03	1897	0.00				
1842	23.42	1898	0.00				
1843	23.81	1899	0.00				
1844	24.10	1900	0.00				
1845	24.03	1901	0.00				
1846	24.09	1902	0.00				
1847	24.37	1903	0.00				
1848	24.62	1904	0.00				

11.2 Anexos B

En el siguiente anexo se presenta el perfil de velocidad del transporte público del Gran Concepción evaluado en el modelo, además del perfil de elevación asociado.

11.2.1 Registro GPS Del Transporte Público del Gran Concepción en la zona de estudio

Perfil de velocidad Original en la zona de estudio, Bus Sol Yet servicio N°143

Tabla B1 – Registro GPS del Transporte Público del Gran Concepción en la zona de estudio

Punto	Hora	Velocidad km/h	LONGITUD	LATITUD
363	08:49:59	00	-73.0364433	-36.8220033
364	08:50:03	10	-73.0364683	-36.82203
365	08:50:13	37	-73.0371767	-36.8223317
366	08:50:23	41	-73.0383717	-36.8227967
367	08:50:33	34	-73.039485	-36.8232633
368	08:50:43	13	-73.0399767	-36.823465
369	08:50:53	00	-73.0400967	-36.8235633
370	08:51:07	09	-73.0400983	-36.8236433
371	08:51:17	00	-73.04028	-36.8236733
372	08:51:20	08	-73.0403233	-36.823685
373	08:51:30	29	-73.0410217	-36.8239333
374	08:51:40	00	-73.04151	-36.82411
375	08:52:07	11	-73.0415983	-36.82418
376	08:52:17	37	-73.0423733	-36.8245
377	08:52:27	42	-73.0436117	-36.8249917
378	08:52:37	00	-73.0439417	-36.8251233
379	08:52:40	10	-73.0439833	-36.8251317
380	08:52:50	23	-73.0445667	-36.8253867
381	08:53:00	32	-73.0454417	-36.8257217
382	08:53:10	40	-73.046375	-36.8261417
383	08:53:20	35	-73.0473533	-36.82655
384	08:53:30	20	-73.0481817	-36.8269317
385	08:53:40	00	-73.04847	-36.8271133
386	08:54:02	11	-73.048575	-36.827175
387	08:54:12	20	-73.04905	-36.827395
388	08:54:22	40	-73.049965	-36.8277083
389	08:54:32	25	-73.050855	-36.8280983
390	08:54:42	19	-73.0515033	-36.8283733

Punto	Hora	Velocidad km/h	LONGITUD	LATITUD
391	08:54:52	22	-73.052155	-36.8286583
392	08:55:02	30	-73.0530183	-36.8290383
393	08:55:12	32	-73.0538867	-36.829395
394	08:55:22	30	-73.0549183	-36.8297867
395	08:55:32	12	-73.0552733	-36.8299567
396	08:55:42	27	-73.0559367	-36.8301933
397	08:55:52	09	-73.0566167	-36.8304617
398	08:56:02	00	-73.0566733	-36.83043
399	08:56:12	12	-73.056755	-36.8304383
400	08:56:22	23	-73.0572883	-36.8307017
401	08:56:32	19	-73.0580217	-36.8310367
402	08:56:42	35	-73.0584567	-36.8304333
403	08:56:52	40	-73.0590833	-36.8294183
404	08:57:02	00	-73.059275	-36.8292233
405	08:57:15	08	-73.0593017	-36.8292133
406	08:57:25	27	-73.0595517	-36.8287267
407	08:57:35	17	-73.05985	-36.8282133
408	08:57:45	13	-73.0600017	-36.8278833
409	08:58:51	22	-73.0597733	-36.8278117
410	08:59:01	15	-73.0560267	-36.82629
411	08:59:11	24	-73.055405	-36.8260217
412	08:59:21	16	-73.054775	-36.82579
413	08:59:31	13	-73.0543583	-36.825615
414	08:59:41	00	-73.0541317	-36.825485
415	08:59:42	09	-73.0540983	-36.8254683
416	08:59:52	00	-73.0539417	-36.8253467
417	09:00:56	11	-73.05371	-36.8252733
418	09:01:06	35	-73.052935	-36.8249717
419	09:01:16	43	-73.0517567	-36.8244717
420	09:01:26	29	-73.050915	-36.8241583
421	09:01:36	20	-73.0501617	-36.8238417
422	09:01:46	23	-73.0495867	-36.8235933
423	09:01:56	29	-73.0488183	-36.8232783
424	09:02:06	33	-73.047865	-36.8228683
425	09:02:46	14	-73.0474083	-36.8225933
426	09:02:56	24	-73.0487467	-36.820545
427	09:03:06	30	-73.0491633	-36.8198917
428	09:03:16	38	-73.04971	-36.8190533
429	09:03:26	00	-73.0499333	-36.8186983
430	09:03:40	10	-73.0499783	-36.818635

Punto	Hora	Velocidad km/h	LONGITUD	LATITUD
431	09:03:50	36	-73.050325	-36.8180933
432	09:04:00	51	-73.0509933	-36.8170683
433	09:04:10	34	-73.0517067	-36.81595
434	09:04:20	00	-73.0518483	-36.81571
435	09:04:28	11	-73.051885	-36.815645
436	09:04:38	29	-73.052225	-36.8151467
437	09:04:48	37	-73.052765	-36.8143183
438	09:04:58	11	-73.053155	-36.81377
439	09:05:08	33	-73.0535333	-36.813195
440	09:05:18	22	-73.0540117	-36.8124367
441	09:05:28	30	-73.05463	-36.8125883
442	09:05:38	36	-73.0556	-36.813005
443	09:05:48	32	-73.05657	-36.8134317
444	09:05:58	25	-73.0574783	-36.813795
445	09:06:08	11	-73.05785	-36.8139267

Fuente: Base de datos GPS del Transporte Público del Gran Concepción

11.2.2 Perfil de elevación obtenido para la zona de estudio

Como se mencionó en el capítulo 8, el perfil de elevación se obtuvo mediante la aplicación Route Builder, que a partir de coordenadas geográficas estima una altura en base al registro de elevaciones de Google Earth.

Tabla B2 – Base de datos de elevación obtenidos mediante la aplicación de Route Builder

Punto	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN (m)
363	-73.0364433	-36.8220033	26.0290854
364	-73.0364683	-36.82203	26.0290854
365	-73.0371767	-36.8223317	25.7194488
366	-73.0383717	-36.8227967	26.9530557
367	-73.039485	-36.8232633	25.8050002
368	-73.0399767	-36.823465	25.1437519
369	-73.0400967	-36.8235633	25.4303909
370	-73.0400983	-36.8236433	25.6636675
371	-73.04028	-36.8236733	25.7511477
372	-73.0403233	-36.823685	25.7852656
373	-73.0410217	-36.8239333	26.5092998
374	-73.04151	-36.82411	27.0273795
375	-73.0415983	-36.82418	27.0302045

Punto	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN (m)
376	-73.0423733	-36.8245	27.5959935
377	-73.0436117	-36.8249917	28.501546
378	-73.0439417	-36.8251233	28.9826828
379	-73.0439833	-36.8251317	29.0542251
380	-73.0445667	-36.8253867	30.7554004
381	-73.0454417	-36.8257217	33.6184518
382	-73.046375	-36.8261417	34.576627
383	-73.0473533	-36.82655	33.890867
384	-73.0481817	-36.8269317	33.1622995
385	-73.04847	-36.8271133	33.5826343
386	-73.048575	-36.827175	33.7357254
387	-73.04905	-36.827395	33.6478043
388	-73.049965	-36.8277083	33.2747641
389	-73.050855	-36.8280983	33.0369163
390	-73.0515033	-36.8283733	33.0369163
391	-73.052155	-36.8286583	33.949717
392	-73.0530183	-36.8290383	33.519338
393	-73.0538867	-36.829395	31.2130958
394	-73.0549183	-36.8297867	29.7687951
395	-73.0552733	-36.8299567	28.6136568
396	-73.0559367	-36.8301933	27.1737415
397	-73.0566167	-36.8304617	26.3723584
398	-73.0566733	-36.83043	26.5823474
399	-73.056755	-36.8304383	26.2048347
400	-73.0572883	-36.8307017	25.4313799
401	-73.0580217	-36.8310367	24.3166462
402	-73.0584567	-36.8304333	24.7321909
403	-73.0590833	-36.8294183	24.752378
404	-73.059275	-36.8292233	23.9789507
405	-73.0593017	-36.8292133	23.4959026
406	-73.0595517	-36.8287267	20.7286092
407	-73.05985	-36.8282133	18.9566646
408	-73.0600017	-36.8278833	19.6977606
409	-73.0597733	-36.8278117	20.239547
410	-73.0560267	-36.82629	26.6514591
411	-73.055405	-36.8260217	27.1667138
412	-73.054775	-36.82579	26.9122784
413	-73.0543583	-36.825615	27.2879087
414	-73.0541317	-36.825485	27.4492225
415	-73.0540983	-36.8254683	27.5222672

Punto	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN (m)
416	-73.0539417	-36.8253467	27.8016174
417	-73.05371	-36.8252733	28.3702315
418	-73.052935	-36.8249717	28.2837229
419	-73.0517567	-36.8244717	27.7471732
420	-73.050915	-36.8241583	28.0604934
421	-73.0501617	-36.8238417	26.6450376
422	-73.0495867	-36.8235933	26.2740363
423	-73.0488183	-36.8232783	25.8147718
424	-73.047865	-36.8228683	25.7423884
425	-73.0474083	-36.8225933	25.3933406
426	-73.0487467	-36.820545	23.5586014
427	-73.0491633	-36.8198917	27.2862583
428	-73.04971	-36.8190533	28.7502936
429	-73.0499333	-36.8186983	28.4714394
430	-73.0499783	-36.818635	28.3135394
431	-73.050325	-36.8180933	28.0193825
432	-73.0509933	-36.8170683	25.5505764
433	-73.0517067	-36.81595	25.0279663
434	-73.0518483	-36.81571	25.0279663
435	-73.051885	-36.815645	25.0279663
436	-73.052225	-36.8151467	25.1549824
437	-73.052765	-36.8143183	27.2935182
438	-73.053155	-36.81377	28.3998711
439	-73.0535333	-36.813195	28.132491
440	-73.0540117	-36.8124367	29.6489257
441	-73.05463	-36.8125883	30.0335619
442	-73.0556	-36.813005	29.1035964
443	-73.05657	-36.8134317	28.1356264
444	-73.0574783	-36.813795	27.3661829
445	-73.05785	-36.8139267	26.7851521

Fuente: Base de datos Google Earth