



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Informe del proyecto técnico para obtener el título de:**  
**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN PARA DETERMINAR  
PARAMETROS DE MANEJO EN CONDICIONES REALES DE  
OPERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA MICRO – TRIP**

**Autor**

DAVID DANIEL ESPIMBERA MORALES

**Director**

ING. ARTURO FALCONI BORJA, MsC.

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Enero – 2018

**ESTUDIO DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN PARA DETERMINAR  
PARAMETROS DE MANEJO EN CONDICIONES REALES DE  
OPERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA MICRO – TRIP**

Ing. Arturo Falconí Borja, MsC.  
**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

**APROBADO**

Ing. Mirian Recalde Quiroz, MsC.  
**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Gabriel Obregón Veloz , MsC.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Jorge Vega Peñafiel, MsC.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Santo Domingo.....de ..... de 2018

Autor	<b>David Daniel Espimbera Morales</b>
Institución:	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL</b>
Título:	<b>ESTUDIO DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN PARA DETERMINAR PARAMETROS DE MANEJO EN CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA MICRO – TRIP</b>
Fecha:	<b>ENERO, 2018</b>

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado



David Daniel Espimbera Morales  
C.I: 1722478201

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR**

Santo Domingo, 22 de enero de 2018

Señora Ingeniera  
Miriam Recalde Quiroz, MsC.  
**COORDINADORA DE FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

Presente.

De mis consideraciones.-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por el señor: *DAVID DANIEL ESPIMBERA MORALES*, cuyo título es: *“ESTUDIO DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN PARA DETERMINAR PARAMETROS DE MANEJO EN CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA MICRO – TRIP”*, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



Ing. Arturo Falconí Borja, MsC.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

# *Dedicatoria*

Dedicado a Dios por darme la vida, por bendecirme inmensamente todos los días, a mis padres porque gracias a ellos, a sus sabios consejos y su apoyo incondicional he podido cumplir una meta más en mi vida, porque siempre me han inculcado la importancia de buscar el éxito, a no rendirme ante las adversidades que se me presentaron a lo largo de este arduo camino, incentivar me a ser mejor cada día.

# *Agradecimiento*

Agradezco a Dios por darme la bendición y la ayuda para culminar este proyecto. Gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad.

A mi amado padre, por ser un gran hombre y guerrero que supo criarme con buenos valores y principios, gracias por todo el apoyo y los sabios consejos para seguir adelante y llegar al éxito. Por siempre darme de tu amor y tu cariño. Te amo papá.

A mi amada y hermosa madre, una mujer luchadora que siempre ha estado a mi lado en las buenas y malas, por ser una madre amorosa y dedicada a sus hijos en todo momento, quien no me ha desamparado en ningún instante de mi vida, quien me ha dado buenos consejos para ser un hombre de bien y siempre salir adelante. Te amo mamita.

A mis hermanos Lucia, Liliana, Danilo y Santiago, por su apoyo contante en este arduo camino. Los quiero mucho.

A mi amada esposa Karen, mi reina, por su apoyo incondicional para poder culminar mis metas profesionales. Te amo mi amor.

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1722478201
APELLIDO Y NOMBRES:	Espimbera Morales David Daniel
DIRECCIÓN:	Vía Quevedo Km 3 ½ # 1720
EMAIL:	danielespimbera@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	(02)3709124
TELÉFONO MOVIL:	0994822405

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Estudio de los ciclos de conducción para determinar parámetros de manejo en condiciones reales de operación mediante la metodología Micro – Trip
AUTOR O AUTORES:	Espimbera Morales David Daniel
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO TÉCNICO:	Enero 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO TÉCNICO:	Ing. Arturo Falconí Borja, <i>MSc</i>
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero automotriz
RESUMEN:	Un ciclo de conducción es un conjunto de datos de velocidades y tiempos registrados que se relacionan entre sí. En la actualidad existen varios tipos de ciclos de conducción debido a las diferentes condiciones operativas del lugar donde se desarrollan. Los ciclos de conducción se usan para evaluar el consumo de combustible y los índices de las emisiones contaminantes.

	<p>Entre las condiciones que pueden hacer que un ciclo de conducción pueda variar tenemos la topología, la estructuras de las vías, la calidad de las vías y carreteras del lugar en donde se desarrolla el ciclo de conducción.</p> <p>Mediante la presente investigación se busca establecer parámetros de manejo en condiciones reales mediante la metodología Micro-Trip y determinar un ciclo de conducción estándar en donde se reduzca el consumo de combustible y la emisión de dióxido de carbono. Se realizarán viajes de ida y de vuelta en una ruta de aproximadamente 70 km.</p>
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	<p>Metodología Micro – Trip, Ciclos de conducción, Emisión de contaminantes, Consumo de combustible</p>
<b>ABSTRACT:</b>	<p>A driving cycle is a set of data of recorded speeds and times that are related to each other. At present there are several types of driving cycles due to the different operating conditions of the place where they are developed. Driving cycles are used to evaluate fuel consumption and the rates of polluting emissions. Among the conditions that can make a driving cycle vary, we have the topology, the structures of the roads, the quality of the roads and roads of the place where the driving cycle takes place. The present investigation seeks to establish management parameters in real conditions using the Micro - Trip methodology and to determine a standard driving cycle in which</p>

	fuel consumption and carbon dioxide emission are reduced. Round trips will be made on a route of approximately 70 km.
<b>KEYWORDS</b>	Micro - Trip Methodology, Driving cycles, Emission of pollutants, Fuel consumption

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



DAVID DANIEL ESPIMBERA MORALES  
C.I: 1722478201

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **DAVID DANIEL ESPIMBERA MORALES** CI: **1722478201** autor del proyecto titulado **“Estudio de los ciclos de conducción para determinar parámetros de manejo en condiciones reales de operación mediante la metodología Micro – Trip”** previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 23 de enero de 2018



DAVID DANIEL ESPIMBERA MORALES  
C.I: 1722478201

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal .....	II
Responsabilidad del autor .....	III
Informe del director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento .....	VI
Formulario de registro bibliográfico .....	VII
Declaración y autorización.....	X
Índice de contenidos.....	XI
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras.....	XIV
Índice de anexos.....	XV
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO REFERENCIAL .....	3
2.1. Modo de conducción.....	3
2.2. Impacto de la velocidad del vehículo en el consumo de combustible y emisiones de contaminantes.....	4
2.3. Ciclos de conducción .....	6
2.4. Ciclos de conducción para determinar el desempeño energético.....	8
2.5. Ciclos de conducción de homologación.....	9
2.6. New European Driving Cycle (NEDC).....	10
2.7. Ciclo ECE-15 .....	11
2.8. Ciclo de conducción extra urbano (EUDC) .....	11
2.9. FTP-75 (Federal Test Procedure).....	13
2.10. Ciclos de conducción para representar condiciones operativas reales....	15
2.11. Metodología general para la obtención de ciclos de conducción.....	18
III. METODOLOGÍA .....	23
3.1. Metodología Micro - Trip .....	23
3.2. World wide Harmonized Light Duty Test Cycle – UNECE, Caso de aplicación de metodología Micro - Trip.....	25

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	28
4.1. Aplicación de metodología Micro - Trip en un caso real.....	28
4.2. Inconvenientes encontrados .....	37
CONCLUSIONES .....	39
RECOMENDACIONES .....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXOS... ..	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ciclos de conducción .....	10
Tabla 2.	Parámetros seleccionados para los ciclos ECE 15, EUDC y NEDC .....	13
Tabla 3.	Características técnicas del vehículo.....	20
Tabla 4.	Equipos.....	21
Tabla 5.	Vehículos usados.....	29
Tabla 6.	Contaminante .....	30
Tabla 7.	Microsegmentos seleccionados .....	32
Tabla 8.	Parámetros seleccionados.....	33
Tabla 9.	Parámetro de aceleración del RDC .....	33
Tabla 10.	Velocidad de aceleración RDC .....	34
Tabla 11.	RDC.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Consumo de combustible .....	4
Figura 2.	Impacto de la velocidad de desplazamiento en diversos contaminantes para diesel y gasolina (Euro 4, capacidad del motor 1.4-2.0 litros).....	5
Figura 3.	Ciclos de conducción .....	6
Figura 4.	ECE 15 .....	7
Figura 5.	FTP 75 .....	8
Figura 6.	ECE 15 Cycle .....	11
Figura 7.	Ciclo EUDC .....	12
Figura 8.	Ciclo EUDC para vehículos de baja potencia .....	12
Figura 9.	Programa de conducción del dinamómetro urbano de la EPA de EE.UU. (FTP-75) .....	14
Figura 10.	Comparación del promedio del mundo real y los resultados de las pruebas oficiales para Alemania (derived from Mock et al, 2012).....	16
Figura 11.	Ruta Santo Domingo – Los Bancos .....	17
Figura 12.	Análisis de datos: ciclo representativo.....	19
Figura 13.	Mapa GPS .....	20
Figura 14.	Velocidad vs. Tiempo .....	23
Figura 15.	Ciclo de conducción representativo diseñado .....	25
Figura 16.	Descripción general del desarrollo de WLTC.....	26
Figura 17.	Ruta Santo Domingo a los Bancos.....	28
Figura 18.	LectorELM 327 vía OBD II.....	30
Figura 19.	DCR Diseñado.....	31
Figura 20.	Ciclo de conducción representativo (RDC) .....	34
Figura 21.	Variación de la velocidad es directamente proporcional a las RPM.....	35
Figura 22.	RPM vs. Inclinación.....	36
Figura 23.	Variación de potencia en función a las RPM del motor.....	36
Figura 24.	Dos ciclos de conducción.....	38

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Viajes Muestreados .....	45
Anexo B. RDC.....	56

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas actuales sobre el cambio climático es sobre minimización de emisiones de carbono y su impacto en el consumo energético mundial. Uno de los sectores que más aporta a la cantidad de emisiones a nivel país y a nivel mundial es el sector transporte, cada vez esta cifra va en aumento por fenómenos como crecimiento demográfico. El consumo de las emisiones de contaminantes está teniendo una influencia cada vez mayor en las decisiones de movilidad urbana.

Una forma usual para la evaluación del consumo de combustible e índices de emisiones de contaminantes son los ciclos de conducción. Los patrones de manejo que tiene una ciudad o región tienen una influencia muy grande en el desempeño de un vehículo, para determinar estos patrones de manejo se usan los ciclos de conducción.

Los recientes desarrollos en este campo se han centrado en establecer un ciclo de conducción para comprender las características de manejo de una ciudad. Sin embargo, un problema importante con esta característica del ciclo de conducción es que varía de una ciudad a otra debido al tipo de actividades económicas principales presentes en dicha ciudad, la topología de la ciudad, infraestructura vial (calidad de vías y caminos), no todas las ciudades tienen sistemas de movilidad iguales.

Es esencial que estos ciclos se ajusten a comportamientos reales de los vehículos con condiciones reales operativas y de manejo. Por lo tanto, es necesario realizar pruebas individuales para cada región a estudiar con el fin de establecer una herramienta representativa para que las autoridades locales identifiquen las características de manejo y en base a esto puedan determinar soluciones para minimizar la cantidad de emisiones de contaminantes que generan, además se puede detectar problemas anexos como el tráfico, consumo de combustible y maneras de manejo.

Los ciclos de conducción también son usados por fabricantes de vehículos para determinar consumo de combustible e índice de emisiones de sus vehículos para poder homologarlos antes de su venta. Hasta la fecha, ha habido poca discusión

sobre los desarrollos de ciclos de conducción en condiciones reales, por lo que en este trabajo estudia la metodología para obtener ciclos de conducción representativos para una población.

Este estudio se realiza para determinar un ciclo de conducción que represente los patrones de manejo en condiciones operativas reales de un vehículo para luego calcular la cantidad de emisiones de contaminantes como CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> al ambiente. Para esto se realizara una campaña de medición de parámetros como velocidad, tiempo, inclinación de la vía, con un vehículo para demostrar de manera real el proceso de obtención de un ciclo de conducción representativo.

## II. MARCO REFERENCIAL

Existen varios ciclos de conducción, casi que cada ciudad tienen la tendencia de establecer su propio ciclo de conducción en función a sus propias condiciones de operación, esto porque las características sociales, económicas y geográficas varían drásticamente en dentro de un país y entre países, cada vehículo tiene características operativas diferentes (diferente tecnología), las habilidades de conducción varían de un conductor a otro, la topología y condiciones ambientales de las regiones donde transitan los vehículos son muy diferentes, por ejemplo un ciclo de conducción obtenido en la ciudad de New York no será el mismo que el de la ciudad de Quito o Bogotá. La variación en los patrones de conducción en diferentes ciudades podría ser significativa por lo que es necesario determinar patrones de conducción para una zona específica.

### 2.1. Modo de conducción.

Según (Rojas E., 2003) la forma en que se conduce un vehículo es un factor a considerar en los ciclos de conducción. Existen tres tipos de conductores: agresivo, normal y eficiente.

- Un conductor agresivo mientras conduce realiza mayor número de aceleraciones y desaceleraciones en un viaje, además estos cambios de velocidad y aceleración son muy drásticos.
- Un conductor normal conducirá con aceleraciones moderadas y manteniendo velocidades medias conforme se presente el flujo vehicular en una vía.
- Un conductor ecológico trata de preservar la inercia del vehículo, disminuyendo las aceleraciones y desaceleraciones bruscas para tratar de mantener un régimen de trabajo constante del motor, entre otras prácticas que impactan al patrón de conducción.

Los patrones de conducción, como se ha señalado, son la base para establecer los factores de emisión de los vehículos. El inconveniente es que cada vehículo tiene su propio patrón de conducción por lo que es necesario realizar un análisis para estimar

patrones de conducción que representen las condiciones de manejo reales a las cuales están sometidos los vehículos en las diferentes ciudades donde transitan.

## 2.2. Impacto de la velocidad del vehículo en el consumo de combustible y emisiones de contaminantes.

Existen varios estudios que concluyen en que a altas velocidades el consumo de combustible y la cantidad de emisiones al ambiente son mayores, esto se debe por las fuerzas aerodinámicas y la resistencia a la rodadura que aumentan proporcionalmente con la velocidad de viaje.

En el consumo de combustible: En la revista Auto Bild alemana hicieron una prueba con varios automóviles y obtuvieron la siguiente figura.

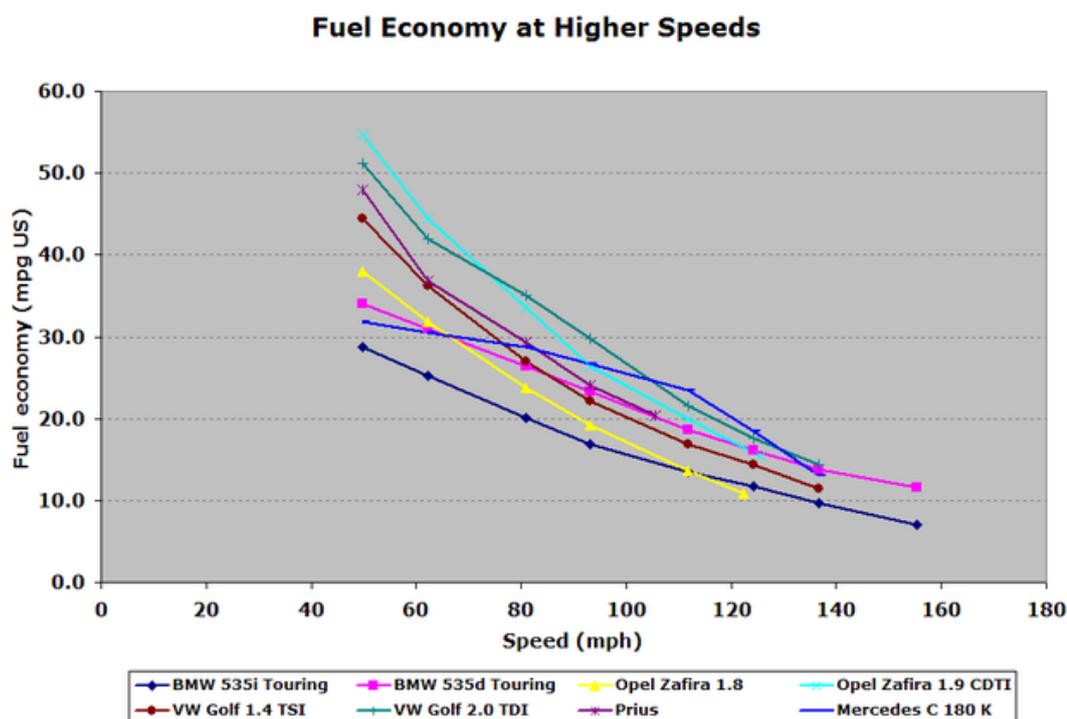


Figura 1. Consumo de combustible

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&tbn=isch&source=hp&biw=831&bih](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&tbn=isch&source=hp&biw=831&bih)

El eje horizontal tenemos la velocidad en millas por hora, y en el eje vertical la cantidad de millas que el vehículo puede recorrer a dicha velocidad por cada galón de combustible consumido. Este gráfico es muy útil para ver la eficiencia del

combustible en varios modelos de automóviles y ver como a mayor velocidad tenemos que nuestro vehículo recorre menos kilómetros con la misma cantidad de combustible.

Según el reporte de la European Environment Agency llamado “Do lower speed limits on motorways reduce fuel consumption and pollutant emissions?” publicado en 2011, esperan que el establecer límites de velocidad más bajos en las autopistas reduzca tanto el consumo de combustible como las emisiones contaminantes, según el estudio “Reducir los límites de velocidad de la autopista de 120 a 110 km/h podría generar ahorros de combustible para los vehículos de pasajeros de tecnología actual del 12-18%, suponiendo una conducción suave y un cumplimiento del 100% de los límites de velocidad. Sin embargo, llevando estas suposiciones a un entorno más realista implica un ahorro de apenas el 2-3%.”

En la cantidad de emisiones: Según el reporte de la European Environment Agency, muestran que reducir la velocidad en el rango anterior tiene un efecto beneficioso para todos los contaminantes, excepto para el CO (en el caso de los vehículos diesel) y NOx (en el caso de los vehículos a gasolina). Los beneficios de reducir la velocidad promedio de 100 km/h a 90 km/h van del 25% (gasolina CO) al 5% (diesel Material particulado o PM). Fundamentalmente, la disminución de la velocidad reduce los dos contaminantes actualmente más importantes en Europa: diesel NO x y PM.

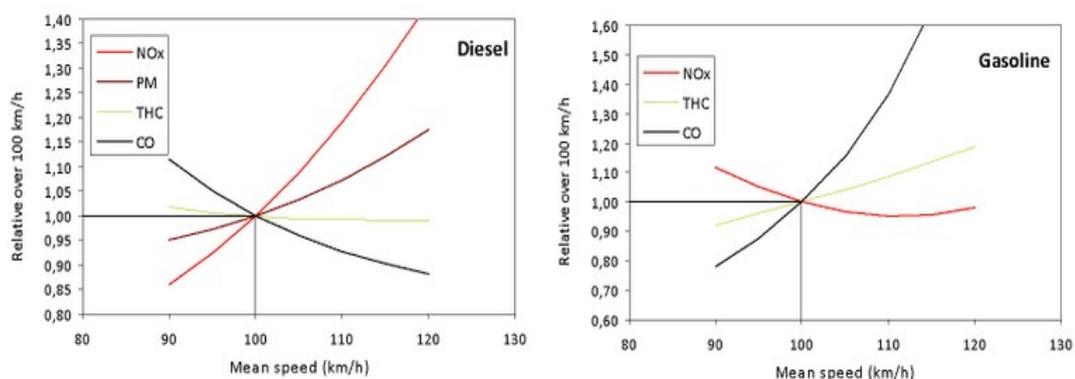


Figura 2. Impacto de la velocidad de desplazamiento en diversos contaminantes para diesel y gasolina (Euro 4, capacidad del motor 1.4-2.0 litros)

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa=1&ei=](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa=1&ei=)

Con esto se trata de motivar a los conductores a mantener una velocidad constante y restringir su velocidad (conducción ecológica) para lograr un ahorro significativo de combustible. La reducción de velocidad también puede reducir significativamente las emisiones de contaminantes, particularmente de NOx y la salida de material particulado (MP) de los vehículos diesel. Las ganancias de seguridad de una conducción más lenta también son indiscutibles concluye el estudio.

### 2.3. Ciclos de conducción

Un ciclo de conducción es una serie de datos de velocidad vs tiempo registrados instantáneamente con intervalos de tiempo de un segundo o menores tal como se muestra en la figura 3.

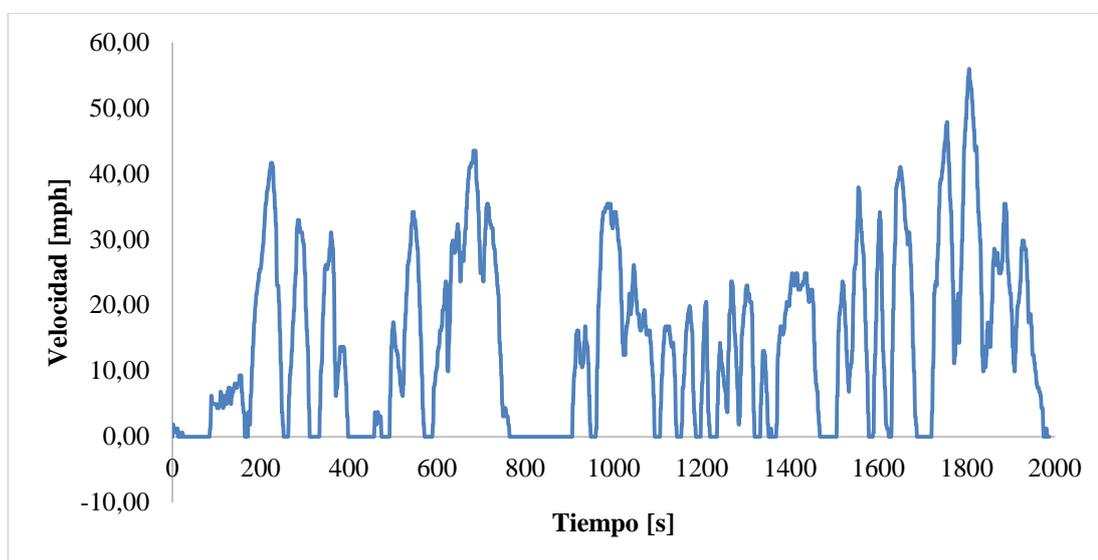


Figura 3. Ciclos de conducción

**Fuente:** [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm=isch&sa)

La comunidad de expertos e investigadores en este tema se reservan el término “ciclo de conducción” cuando esta serie de velocidad vs tiempo representa “algo”, la representatividad es la clave en un ciclo de conducción pero en la actualidad no hay un acuerdo de qué tipo de representatividad se busca con un ciclo de conducción.

Algunos autores utilizan ciclos de conducción para representar los patrones de conducción en una región determinada de interés es decir las características de manejo de habitantes de una ciudad. También se usan con el enfoque de estimar consumo de combustible e índice de emisiones de contaminantes, Otros autores basándose en diseño de motores pretenden mejorar el tren motriz de los vehículos

para ello utilizan ciclos de conducción para representar las cargas al motor en condiciones operativas reales en cada región. Este documento se centrará en el uso de la metodología de ciclos de conducción para determinar patrones de conducción en condiciones reales.

Generalmente se puede clasificar a los ciclos de conducción en dos grupos los cuales son:

- Los ciclos de conducción de estado estable: Estos ciclos de conducción poseen períodos prolongados a velocidades constantes, son rampas a aceleración constante y tramos a velocidad constante un ejemplo de este ciclo de conducción es el ECE 15 mostrado en la figura.

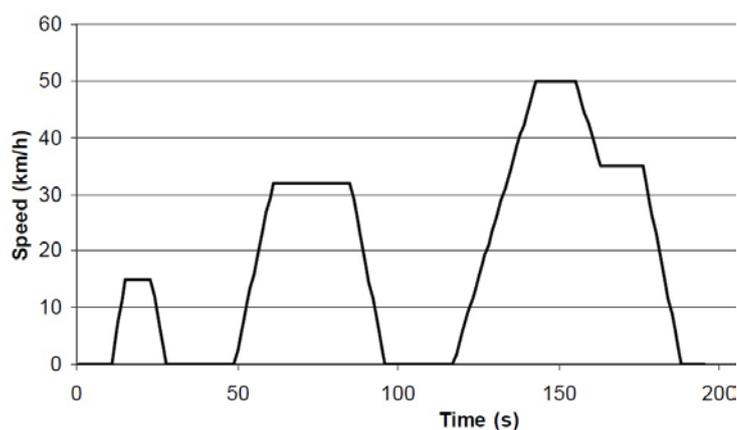


Figura 4. ECE 15

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm)

- Los ciclos de conducción transitorios implican muchos cambios en el perfil de velocidad, es decir son series de tiempo de la velocidad del vehículo las cuales se obtienen de mediciones de velocidad cuando el vehículo se moviliza de un lugar a otro, representan los cambios constantes de velocidad típicos de la conducción en carretera. Uno de los ciclos de conducción representativos de este tipo es el ciclo FTP 75.

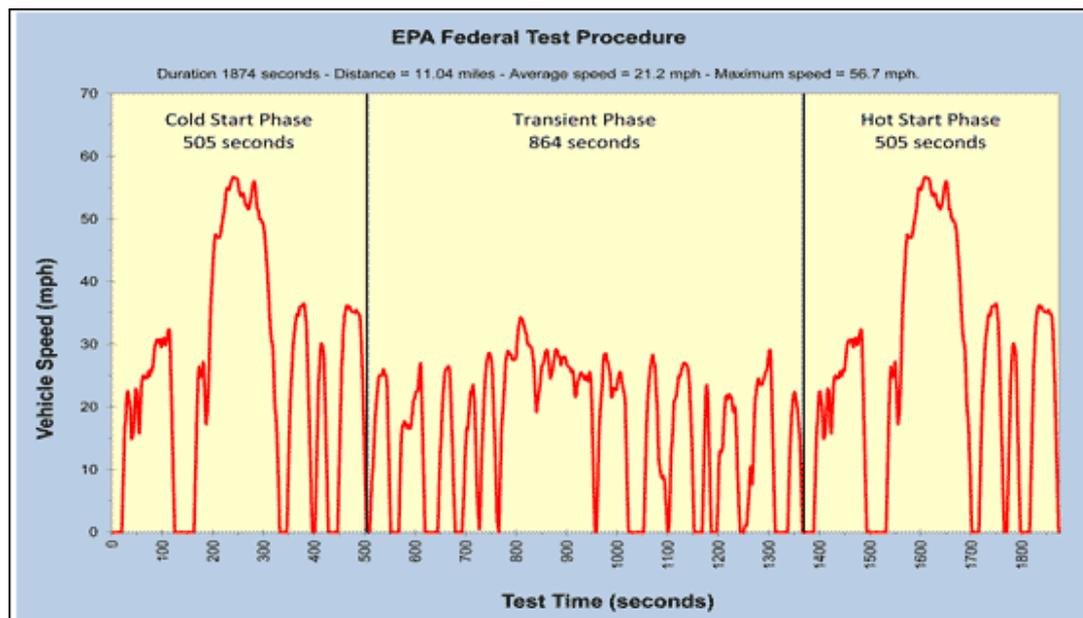


Figura 5. FTP 75

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih)

Como ya se dijo anteriormente existen muchas aplicaciones de los ciclos de conducción por lo que existe diferentes criterios al tratar de clasificarlos de manera general, pero podemos clasificar a los ciclos de conducción en base a su propósito de estudio, en primera instancia tenemos dos grupos principales:

- Ciclos de conducción para determinar el desempeño energético de los vehículos entre ellos los ciclos de conducción de homologación, y
- La metodología de ciclos de conducción para representar condiciones operativas reales de vehículos.

#### **2.4. Ciclos de conducción para determinar el desempeño energético.**

Son ciclos de conducción usados principalmente para estimar ciertos parámetros de desempeño de los vehículos, entre estos parámetros los más importantes son el consumo específico de combustible (SFC) y el índice de emisiones (IE) de contaminantes al ambiente entre los más importantes está el CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, en esta clasificación están los ciclos de conducción que se usan para la homologación de vehículos en diferentes regiones del mundo.

## 2.5. Ciclos de conducción de homologación

Estos ciclos de conducción intentan emular mediante pruebas en laboratorio el comportamiento al volante de los usuarios, tanto en tramos urbanos como en interurbanos a través de una combinación de distintas velocidades en una escala temporal. Los fabricantes de vehículos usan estos ciclos de conducción para estimar el consumo de combustible y emisiones mediante pruebas de laboratorio realizadas en dinamómetros de chasis.

Entidades gubernamentales de cada región usan los ciclos de conducción principalmente para regular las emisiones de contaminantes de sus ciudades mediante el establecimiento de valores límite de emisiones de contaminantes que deben cumplir fabricantes de vehículos en sus productos y puedan ser homologados para su posterior venta.

Para la realización de estos ciclos de conducción se necesitan de laboratorios, equipos y tecnología especializada además de personal altamente capacitado por lo que resultan muy costosos ejecutarlos en la práctica.

En la actualidad existen muchos ciclos de conducción de homologación estos varían de la región donde se aplican, Estado Unidos, La Unión Europea y Japón son grandes productores de vehículos mundiales y cada uno de ellos ha desarrollado sus propios ciclos de conducción, los cuales son usados para estimar desempeño energético y ambiental de los vehículos que producen y para homologar los vehículos que transitan en su región, estos ciclos de homologación también son usados en varios países latinoamericanos, la tabla siguiente muestra varios ciclos de homologación de estos tres países.

Tabla 1. Ciclos de conducción

Location	Name	Distance (km)	Time (sec)	Avg Speed (km/h)	Max Speed (km/h)
EU, cycles used for light and heavy duty vehicles and buses	ECE 15	0.995	195	18.4	50.07
	Extra Urban Driving Cycle (EUDC)	6.955	400	62.6	120.09
	EUDC for low power vehicles	6.609	400	59.5	90.09
	ECE 15 + EUDC	11.017	1,220	32.5	120.09
	New European Driving Cycle (NEDC)	11.017	1,180	33.6	120.09
USA, cycles used for approval of light and heavy duty vehicles and buses	FTP-72 or UDDS	11.997	1,369	31.6	91.15
	FTP-75	17.787	1,874	34.2	91.15
	EPA New York City Cycle (NYCC)	1.903	598	11.5	44.45
	EPA Highway Fuel Economy Test (HWFET)	16.503	765	77.7	96.32
	IM240	3.154	240	47.3	91.18
	California LA92 Dynamometer Driving Schedule	15.802	1,435	39.6	107.35
	UDDS heavy duty cycle	8.932	1,060	30.3	93.36
	US06 Supplemental FTP	12.894	596	77.9	128.91
	SC03 Supplemental FTP	5.766	596	34.8	88.07
Japan, cycles used only for approval of light duty vehicles	JP 10 Mode	0.663	135	17.7	40.09
	JP 10-15 Mode (3x10-mode +1x15 mode)	4.165	660	22.7	70.09
	Japanese New Transient Mode (JE05)	13.897	1,829	27.4	87.49

Los ciclos de conducción más usados para la homologación de vehículos por empresas fabricantes son el New European Driving Cycle (NEDC), y el FTP-75 los cuales se describe a continuación:

## 2.6. New European Driving Cycle (NEDC)

El ciclo de conducción europeo (NEDC) es un ciclo de conducción, diseñado para evaluar los niveles de emisión de los motores de los automóviles y el ahorro de combustible en los turismos, no incluye los camiones ligeros ni los vehículos comerciales. El NEDC, que se supone que representa el uso típico de un automóvil en Europa, es criticado en repetidas ocasiones por entregar cifras poco realistas.

El ciclo NEDC consta de cuatro ciclos de conducción urbana ECE-15 repetidos (UDC) y un ciclo de conducción extraurbano (EUDC).

## 2.7. Ciclo ECE-15

La prueba completa comienza con cuatro repeticiones del ciclo ECE (Figura 2). El ECE es un ciclo de conducción urbano, también conocido como UDC. Fue ideado para representar las condiciones de conducción de la ciudad, por ejemplo, en París o Roma. Se caracteriza por baja velocidad del vehículo, baja carga del motor y baja temperatura del gas de escape.

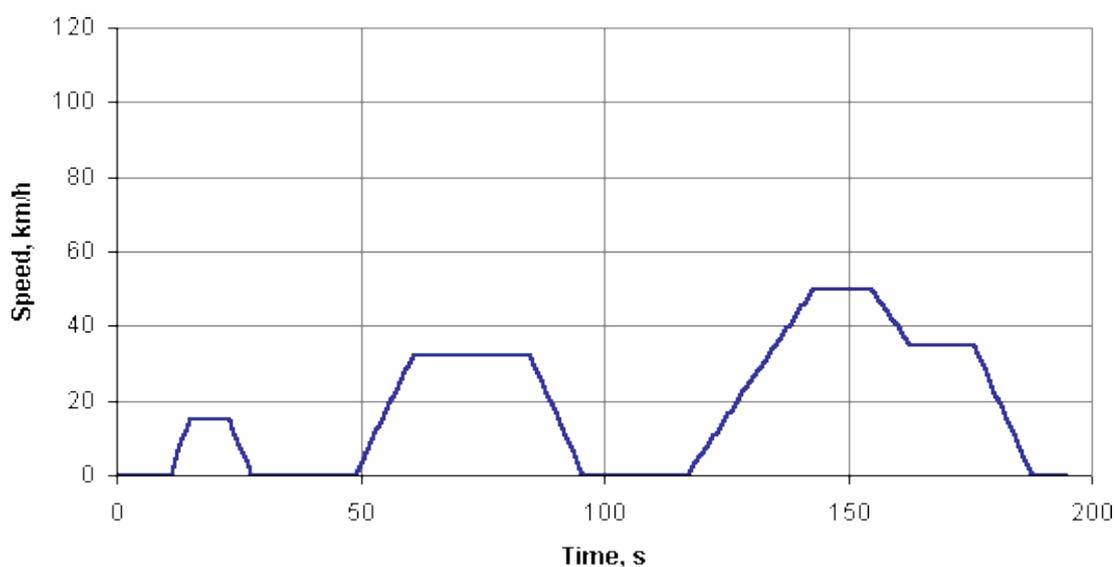


Figura 6. ECE 15 Cycle

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa)

## 2.8. Ciclo de conducción extra urbano (EUDC)

El segmento EUDC se agregó después del cuarto ciclo de ECE para tener en cuenta modos de conducción más agresivos y de alta velocidad. La velocidad máxima del ciclo EUDC es de 120 km/h. También se definió un ciclo alternativo de EUDC para vehículos de baja potencia con una velocidad máxima limitada a 90 km/h, Figura 4.

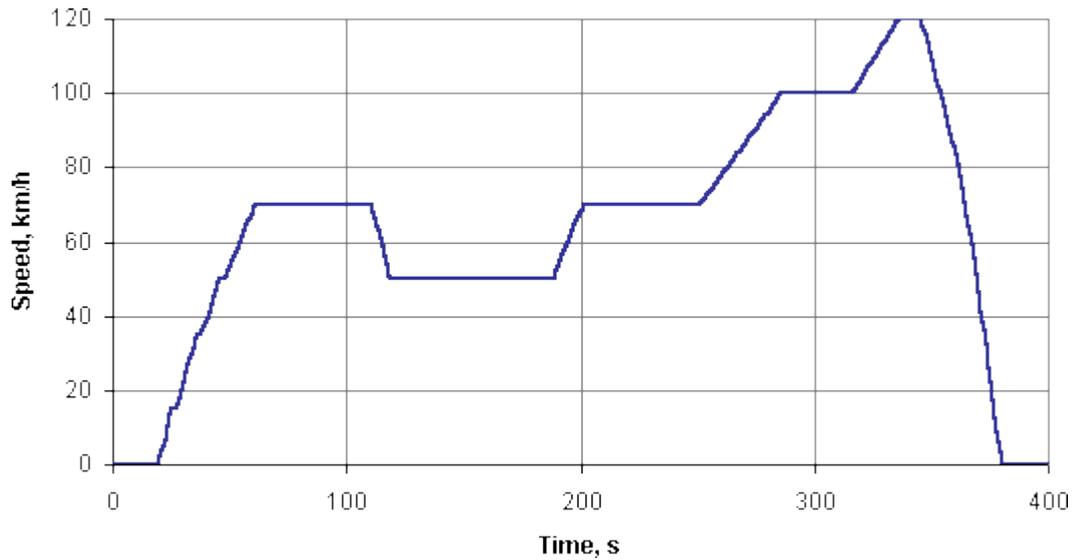


Figura 7. Ciclo EUDC

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm=isch&sa)

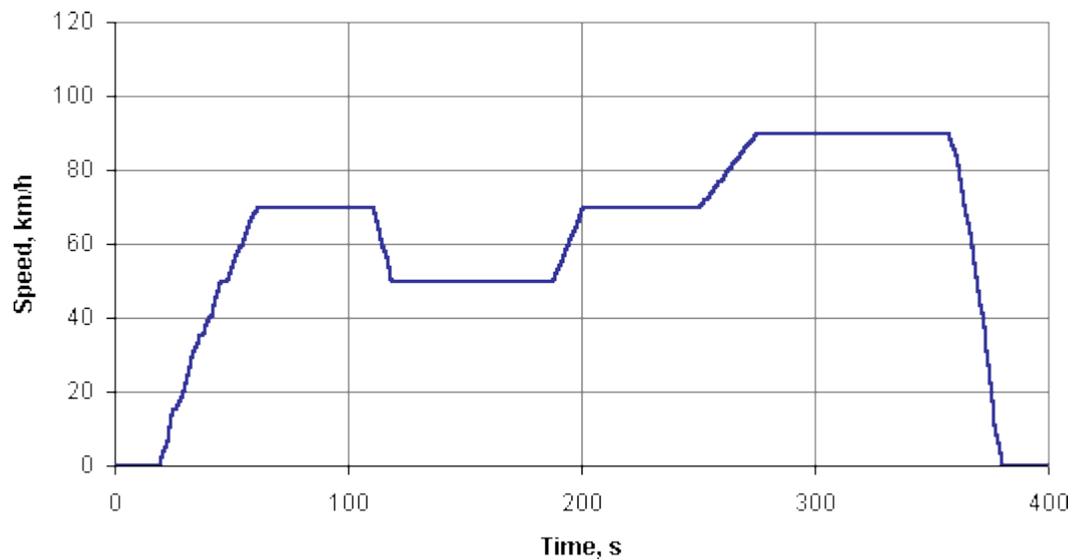


Figura 8. Ciclo EUDC para vehículos de baja potencia

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm=isch&sa)

Las emisiones se muestrean durante el ciclo de acuerdo con la técnica de muestreo de volumen constante (CVS), se analizan y se expresan en g / km para cada uno de los contaminantes.

La siguiente tabla incluye un resumen de los parámetros seleccionados para los ciclos ECE 15, EUDC y NEDC.

Tabla 2. Parámetros seleccionados para los ciclos ECE 15, EUDC y NEDC

Características	Unidad	ECE 15	EUDC	Consejo económico y social <sup>†</sup>
Distancia	km	0.9941	6.9549	10.9314
Tiempo Total	s	195	400	1180
Tiempo de inactividad (de pie)	s	57	39	267
Velocidad promedio (incluye paradas)	km / h	18.35	62.59	33.35
Velocidad de conducción promedio (sin paradas)	km / h	25.93	69.36	43.10
Velocidad máxima	km / h	50	120	120
Aceleración promedio <sup>1</sup>	m / s <sup>2</sup>	0.599	0.354	0.506
Máxima aceleración <sup>1</sup>	m / s <sup>2</sup>	1.042	0.833	1.042
<sup>†</sup> Cuatro repeticiones de ECE 15 seguidas por un EUDC <sup>1</sup> Calculado usando el método de diferencia central				

Aunque originalmente se diseñó para vehículos de carretera basados en gasolina, el ciclo de conducción ahora también se usa para vehículos diésel y para estimar el consumo de energía eléctrica y el rango de conducción de vehículos eléctricos híbridos y de batería.

## 2.9. FTP-75 (Federal Test Procedure).

El ciclo de conducción FTP-75 se ha utilizado para la certificación de emisiones y pruebas de economía de combustible de vehículos ligeros en los Estados Unidos. El FTP-75 y el FTP-72 son dos variantes del Programa de conducción del dinamómetro urbano de la EPA (UDDS). El ciclo FTP-75 se deriva del FTP-72 al agregar una tercera fase de 505 s, idéntica a la primera fase de FTP-72 pero con un arranque en caliente. La tercera fase comienza después de que el motor se detiene durante 10 minutos. Por lo tanto, todo el ciclo de FTP-75 consta de los siguientes segmentos:

1. Fase transitoria de arranque en frío (temperatura ambiente 20-30 ° C), 0-505 s,
2. Fase estabilizada, 506-1372 s,
3. Remojo en caliente (mínimo 540 s, máximo 660 s),
4. Fase transitoria de arranque en caliente, 0-505 s.

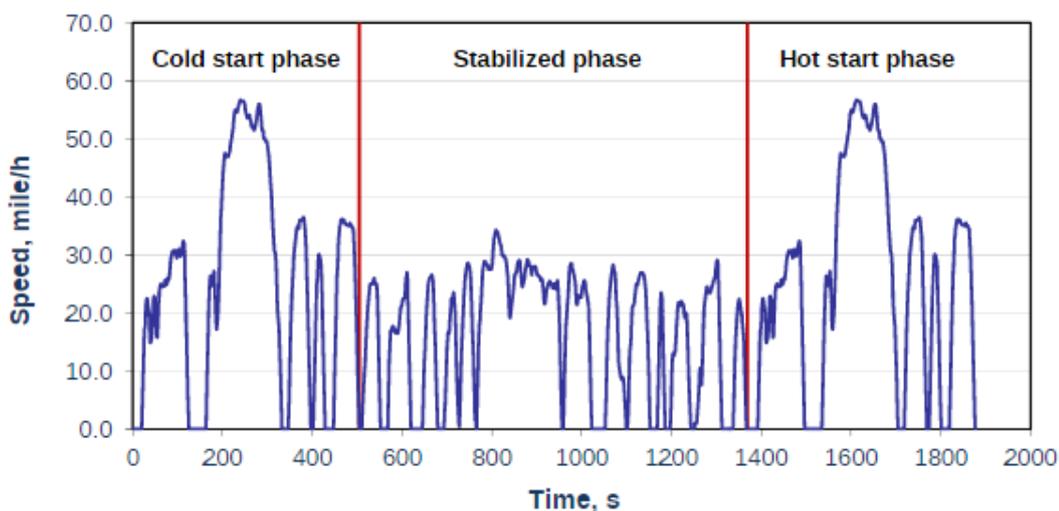


Figura 9. Programa de conducción del dinamómetro urbano de la EPA de EE. UU. (FTP-75)

**Fuente:** [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa)

Las emisiones de cada fase se recogen en una bolsa de teflón separada, se analizan y se expresan en g/milla (g/km). Los factores de ponderación son 0.43 para la fase de arranque en frío, 1.0 para la fase "estabilizada" y 0.57 para la fase de arranque en caliente.

Los siguientes son algunos parámetros básicos del ciclo:

- Duración: 1877 s
- Distancia recorrida: 11.04 millas (17.77 km)
- Velocidad promedio: 21.2 mph (34.12 km / h).
- Velocidad máxima: 56.7 mph (91.25 km / h).

Para la certificación de emisiones, los vehículos deben cumplir con los estándares de emisión de FTP aplicables. Desde el año 2000 modelo, los vehículos deben probarse adicionalmente en dos Procedimientos suplementarios de prueba federales (SFTP) diseñados para abordar las deficiencias con el FTP-75 en la representación de (1) conducción agresiva a alta velocidad (US06) y (2) uso de aire acondicionado (SC03). Los valores CAFE de economía de combustible se calculan sobre la base de las pruebas FTP y HWFET. Hasta el año modelo 2007, los valores de economía de combustible en ruta de la EPA que se muestran en las etiquetas de los vehículos

nuevos se calcularon sobre la base de las pruebas de FTP para la clasificación de la ciudad, mientras que la prueba HWFET se utilizó para la calificación de la carretera. Desde el año modelo 2008, el FTP se utiliza para determinar las clasificaciones de economía de combustible en carretera de la EPA utilizando el método de 5 ciclos de la EPA. Los resultados de 5 ciclos se calculan en función de los resultados de dos pruebas de FTP: una prueba de temperatura normal y otra de temperatura fría, a una temperatura de laboratorio de 20 ° F (-6,7 ° C), así como HWFET, US06 y SC03.

El ciclo FTP-75 es conocido en Australia como el ADR 37 (Reglas de diseño australianas) y en Brasil como el estándar de prueba NBR6601.

Una variante de cuatro segmentos del ciclo FTP-75, donde la fase estabilizada se ejecuta nuevamente después de la finalización de la fase de arranque en caliente, a veces se utiliza en ciertas aplicaciones, por ejemplo, en algunas pruebas de vehículos híbridos.

## **2.10. Ciclos de conducción para representar condiciones operativas reales**

Según el artículo Consumption calculation of vehicles using OBD data, El procedimiento de homologación europeo, basado en un ciclo de conducción fijo para todos los vehículos, no es representativo de su uso real en carretera: el estilo de conducción y su influencia en el consumo y las emisiones no pueden descuidarse y su impacto medioambiental en el mundo real no es simple para medir. Las pruebas realizadas con sistemas de medición de emisiones portátiles (PEMS) han demostrado que los automóviles emiten mayor cantidad de contaminantes en la carretera con condiciones operativas reales que durante la certificación en el nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC) en el laboratorio.

Según el estudio del International Council on Clean Transportation (ICCT) resumido en la publicación *“Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don’t match up to reality”*, laboratorios independientes han calculado un 12% de mayor consumo y emisiones que las prometidas por el fabricante, cuando el test se hace con vehículos nuevos. Y con tests independientes diferentes al NEDC, han obtenido valores de

entre 19-28% superiores al fabricante. El informe ha comparado los consumos y emisiones declaradas por los vehículos alemanes que suponen un 50% de las ventas de ese mercado, y los han comparado con los datos arrojados por la web Spiritmonitor, y estos han sido sus resultados:

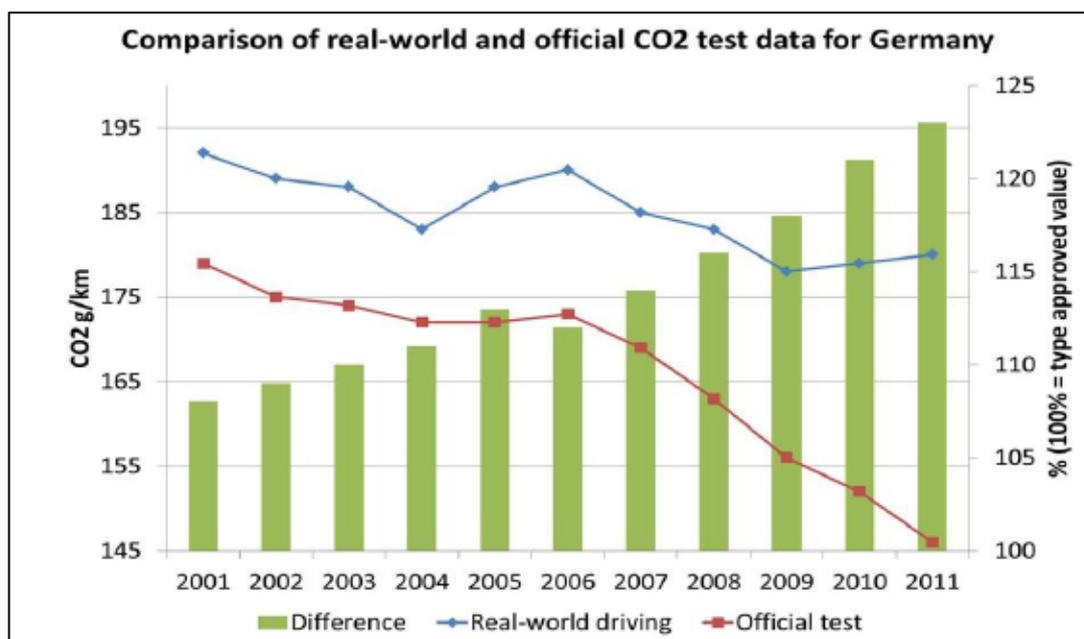


Figura 10. Comparación del promedio del mundo real y los resultados de las pruebas oficiales para Alemania (derived from Mock et al, 2012)

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa)

Los ciclos de conducción de homologación vistos anteriormente no describen los patrones reales de conducción locales ya que son realizados en bancos de pruebas en condiciones estándar, además estos ciclos son muy difíciles de reproducir en condiciones reales, Por esta razón es necesario determinar un ciclo de conducción que permitan simular la operación de una “flota” de vehículos considerando condiciones operativas reales para una zona en específico mediante una metodología diferente a los ciclos de conducción de homologación la cual muestre un ciclo representativo desde el punto de vista de desempeño energético.

Un ciclo de conducción es representativo cuando muestra las condiciones de manejos principales o comunes de una población. En la gráfica siguiente se muestra ciclos de conducción de tres viajes de una ruta específica en este caso es muy difícil de

reconocer el ciclo de conducción representativo a simple vista para ello se necesita realizar un análisis matemático para determinarlo de manera confiable.

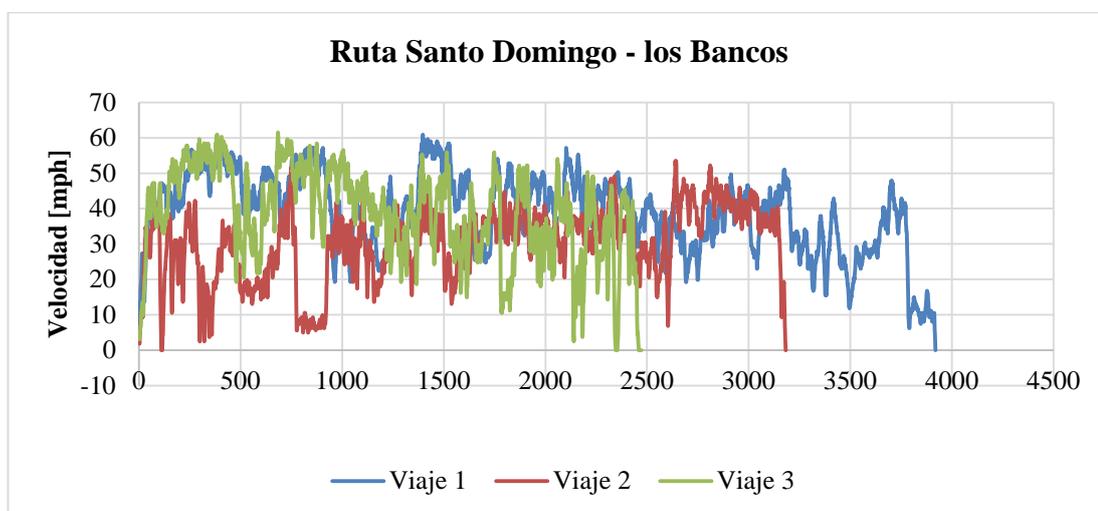


Figura 11. Ruta Santo Domingo – Los Bancos

Fuente: Autor

Investigadores y desarrolladores de ciclos de conducción han considerado varios parámetros que influyan fuertemente en el desempeño de un vehículo para determinar el ciclo de conducción representativo, dichos parámetros son conocidos como parámetros característicos, los ciclos de homologación también usan parámetros característicos el problema es que cada ciclo de conducción utiliza parámetros característicos diferentes y no existe un consenso para usar estos parámetros de forma general.

Para el caso de ciclos de conducción en condiciones reales se tratan de determinar los parámetros característicos comúnmente usados en ciclos de homologación y en diferentes investigaciones, entre ellos están:

- Velocidad promedio
- Velocidad de carrera promedio
- Aceleración promedio
- Desaceleración promedio
- Longitud media de Micro - Trip
- Promedio número Aceleración / desaceleración
- Número promedio de paradas

- %ralentí
- %aceleración
- %desaceleración
- velocidad RMS
- Aceleración RMS
- Positive Kinetic energy (KPE)
- Distribución velocidad/aceleración
- Potencia específica del motor
- Máxima velocidad
- Mínima velocidad

No existe una metodología única bien aceptada por la comunidad de expertos en este tema. Aunque el proceso de obtención de datos (velocidad vs tiempo) en campañas de medición es muy similar, algunos autores difieren en el método para construir ciclos de conducción y analizar los datos obtenidos. Para entender cómo se realizan los análisis de ciclos de conducción en condiciones reales es necesario conocer el procedimiento de una metodología general para este propósito.

### **2.11. Metodología general para la obtención de ciclos de conducción**

Independientemente de cómo se analice los datos para obtener un ciclo de conducción representativo la metodología general para la obtención de ciclos de conducción es la siguiente:

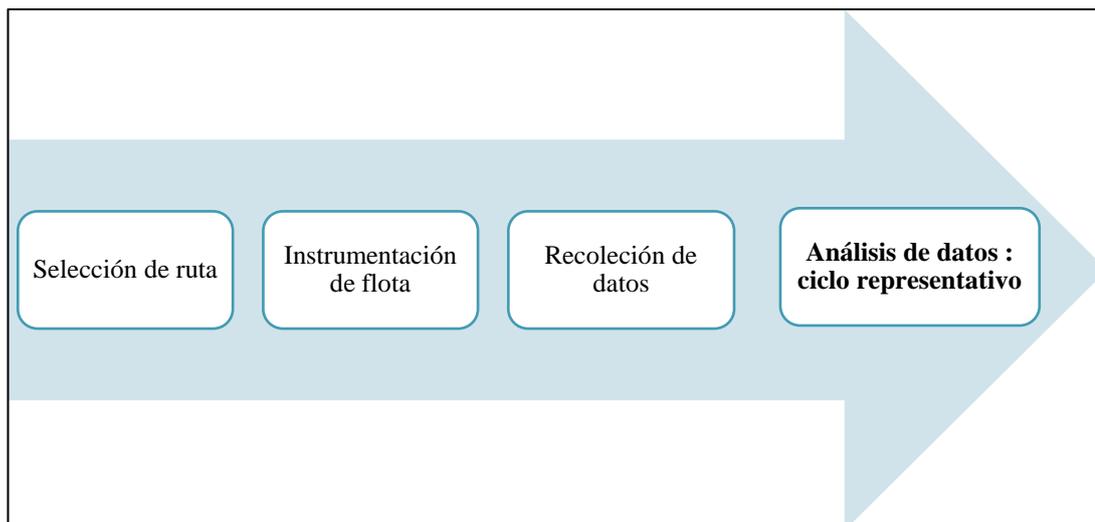


Figura 12. Análisis de datos: ciclo representativo

Fuente: Autor

### 1. Selección de ruta

En este paso la idea principal es determinar la ruta o las rutas más representativas para nuestro análisis, para determinar la representatividad de una ruta principalmente se lo hace con el criterio de flujo vehicular, de esta manera se seleccionan las vías con mayor flujo vehicular de la región o ciudad y se determinaran los ciclos de conducción para estas vías, de esta manera estaremos analizando el impacto del tráfico en el desempeño de los vehículos.

Para determinar las características de manejo se pueden usar rutas que los conductores usan con frecuencia diariamente o en las que transitan los vehículos de una compañía comúnmente. También se puede seleccionar vías con variaciones de altitud, con topología de la vía sinuosas depende del propósito de estudio.

Se puede ayudar con tecnologías GPS para esto como se muestra en la gráfica siguiente, a más de determinar la ruta también se debe especificar las características de cada vehículo la flota a analizar las principales características la muestra la tabla siguiente.

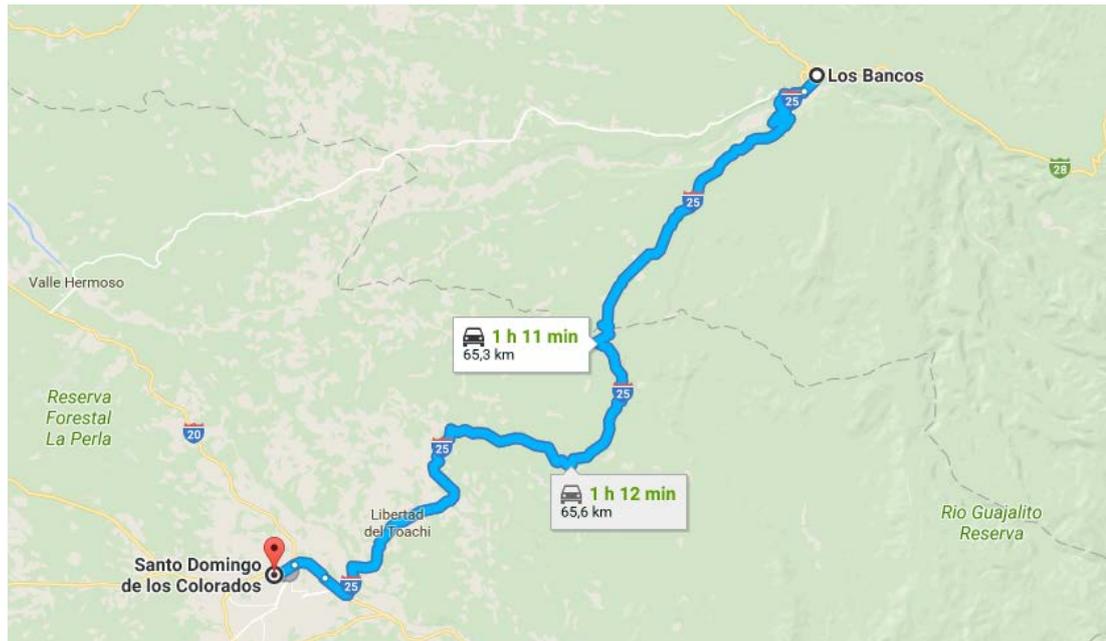


Figura 13. Mapa GPS

Fuente: Autor

Tabla 3. Características técnicas del vehículo

Marca	Hyundai
Línea	Getz
Año de modelo	2009
Tipo de combustible	Gasolina
Cilindrada [L]	1,6
Tipo de transmisión	Manual - 5 velocidades
Consumo de combustible[L/100km]	7.3
Relación de compresión	10:1
# cilindros	4

## 2. Instrumentación

La instrumentación usada en campañas de medición en los vehículos de la flota comprende equipos que permitan medir variables como velocidad instantánea [km/h], tiempo [seg], Distancia recorrida [km], altitud [m], consumo específico de combustible [L].

Para ello se emplean equipos como GPS de precisión, OBD la tabla siguiente resume los parámetros a medir, los equipos utilizados y las ventajas y desventajas entre ellos.

Tabla 4. Equipos

Parámetro	Equipo	Ventaja	Desventajas
Velocidad	Quinta rueda	Exactitud en mediciones	Alto costo
	GPS	Mediciones instantáneas, Disponibilidad, no requiere instrumentación adicional	Perdida de señal, Mayor resolución = Mayor costo
	OBD	Precisión en mediciones	Altos costos
Altitud	GPS	Mediciones instantáneas, Disponibilidad, no requiere instrumentación adicional	Perdida de señal, Mayor resolución = Mayor costo
Consumo de combustible	OBD	Consumo instantáneo	Costos mayores
	Tanque aforado	Bajos costos	Alta precisión

### 3. Recolección de datos

En esta etapa se procede a recolectar datos de ciclos de conducción (datos de velocidad vs tiempo) para cada desplazamiento de un vehículo de un lugar a otro a lo que llamaremos viaje, al conjunto de ciclos de conducción de todos los viajes de todos los vehículos los llamaremos población. La forma más adecuada de recolectar datos es instrumentar un gran grupo de vehículos a los que conoceremos como flota y que los maneje el dueño o la persona que normalmente los utiliza.

El conductor debe realizar el manejo de la o las rutas establecidas de manera normal, es decir con sus habilidades propias de manejo. Para minimizar posibles errores de medición por causas externas a los instrumentos y asegurar la confiabilidad de los datos es necesario realizar varias veces las mediciones de los parámetros de cada ruta. La frecuencia con que se realicen estas mediciones deben ser por lo general todos los días de la semana y en diferentes meses del año.

### 4. Análisis de datos

Luego de haber realizado la campaña de medición se procede a consolidar esta información y analizarla en base a una metodología para determinar el ciclo más representativo de la población. Como ya se va venido mencionando al momento de construir un ciclo de conducción es muy importante tener en cuenta el concepto de

representatividad de los resultados, en base a esto la representatividad se puede abordar desde dos puntos de vista:

- Un ciclo de conducción cuya representatividad este basado en los patrones de manejo
- Un ciclo de conducción cuya representatividad este basado en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

La metodología Micro - Trip es utilizada para construir un ciclo de conducción representativo en condiciones operativas reales basado en los patrones de manejo de los viajes muestreados la cual describiremos en el capítulo siguiente.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Metodología Micro - Trip

Esta metodología es muy utilizada para construir ciclos de conducción representativos basados en patrones de conducción muy útil para analizar en condiciones reales de operación de vehículos, como su nombre lo indica utiliza el concepto de un Micro-Trip o micro segmento, un micro segmento es una actividad de manejo entre dos paradas adyacentes, es decir es un segmento del perfil de velocidad de un viaje que inicia y termina con velocidad cero (parada), la gráfica siguiente muestra de manera didáctica los micro segmentos contenidos en un ciclo de conducción o perfil de velocidad.

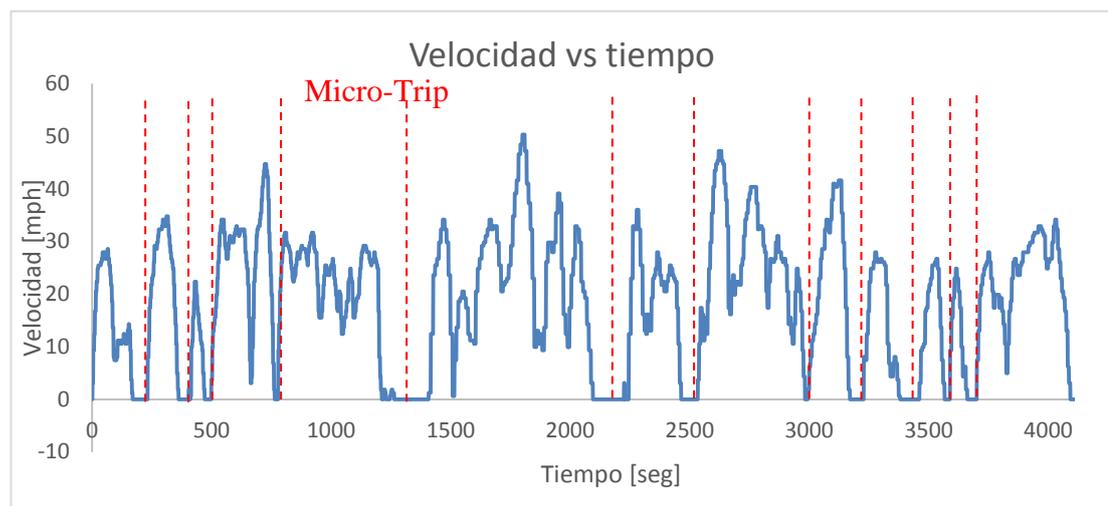


Figura 14. Velocidad vs. Tiempo

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbm)

De la gráfica podemos observar cómo se distinguen los micro segmentos contenidos en un ciclo de conducción en este caso tenemos trece micro segmentos que conforman el ciclo de conducción ilustrado, cabe destacar que cada micro segmento tiene características únicas (longitud y forma), es decir cada micro segmento tiene intervalos de tiempo y perfil de velocidad diferentes los cuales describen una parte del total de las características de manejo de un ciclo completo.

El procedimiento a seguir para la construcción de ciclos de conducción representativos con la metodología Micro - Trip es el siguiente:

1. Previamente se debe obtener los perfiles de velocidad en las campañas de medición, posteriormente se segmenta el perfil de velocidad en micro segmentos como lo vimos anteriormente, esto se lo hace para cada uno de los viajes.
2. De manera opcional se realiza una categorización de los Micro - Trip que se encontraron, basados en parámetros como velocidad promedio o aceleración promedio.
3. Luego de esto se realiza una selección aleatoria de un grupo de micro segmentos que van a conformar un ciclo de conducción candidato, cabe recalcar que aquí participan todos los micro segmentos de todos los viajes, para esta selección aleatoria se puede utilizar herramientas computacionales para mayor facilidad.
4. Se realiza con un proceso de empalme de cada uno de los micro segmentos seleccionados aleatoriamente y se construye un ciclo llamado “ciclo de conducción candidato” (CDC por sus siglas en inglés), cabe recalcar que este CDC aún no es un ciclo de conducción representativo de la población.
5. A este CDC se lo evalúa en base a un requisito de longitud establecido, no solo se pueden establecer requisitos de longitud para el ciclo de conducción candidato, también se pueden establecer requisitos de un intervalo de tiempo, pero se deben establecerse los criterios de aceptación antes de la construcción del ciclo representativo, un requisito de aceptación es por ejemplo (tiempo = 20 min), si no cumple se vuelve a realizar un nuevo proceso de selección aleatoria (paso 3).
6. Si el CDC cumple con el requisito anterior se procede a evaluar los parámetros característicos del ciclo candidato (CDCCP por sus siglas en inglés) frente a los parámetros característicos promedio de la población (ACP por sus siglas en inglés) para validar si es que es un ciclo representativo de la población o no, aquí también se debe establecer un nuevo requisito de aceptación como por ejemplo generalmente se usa la diferencia entre el ACP y el CDCCP debe ser del 5%, si cumple se puede decir que el CDC es un ciclo que representa las características de manejo de la población muestreada.

El proceso para la construcción de un ciclo de conducción mediante la metodología Micro - Trip es un proceso iterativo y sistemático el cual sigue una serie de pasos, este proceso se lo describe en el siguiente diagrama de flujo:

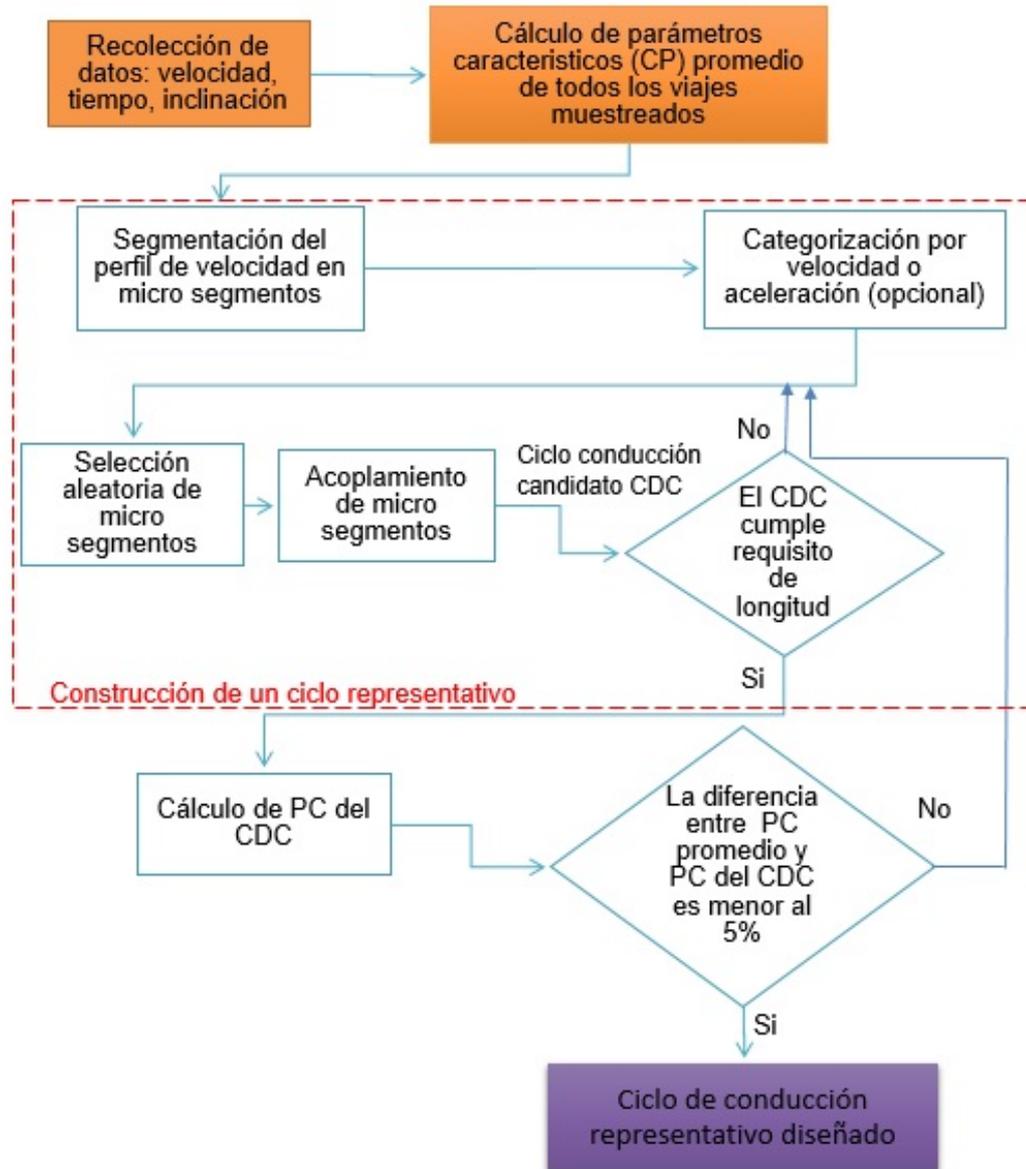


Figura 15. Ciclo de conducción representativo diseñado

Fuente: Autor

### 3.2. World wide Harmonized Light Duty Test Cycle – UNECE, Caso de aplicación de metodología Micro - Trip.

Los ciclos de prueba de vehículos ligeros armonizados en todo el mundo (WLTC) son pruebas de dinamómetro de chasis para la determinación de las emisiones y el consumo de combustible de los vehículos ligeros. Las pruebas han sido desarrolladas por el grupo ECE GRPE (Grupo de Trabajo sobre Contaminación y Energía) de la ONU.

Esta investigación se usó la metodología Micro - Trip para determinar el ciclo WLTC, el diagrama de flujo usado es el siguiente:

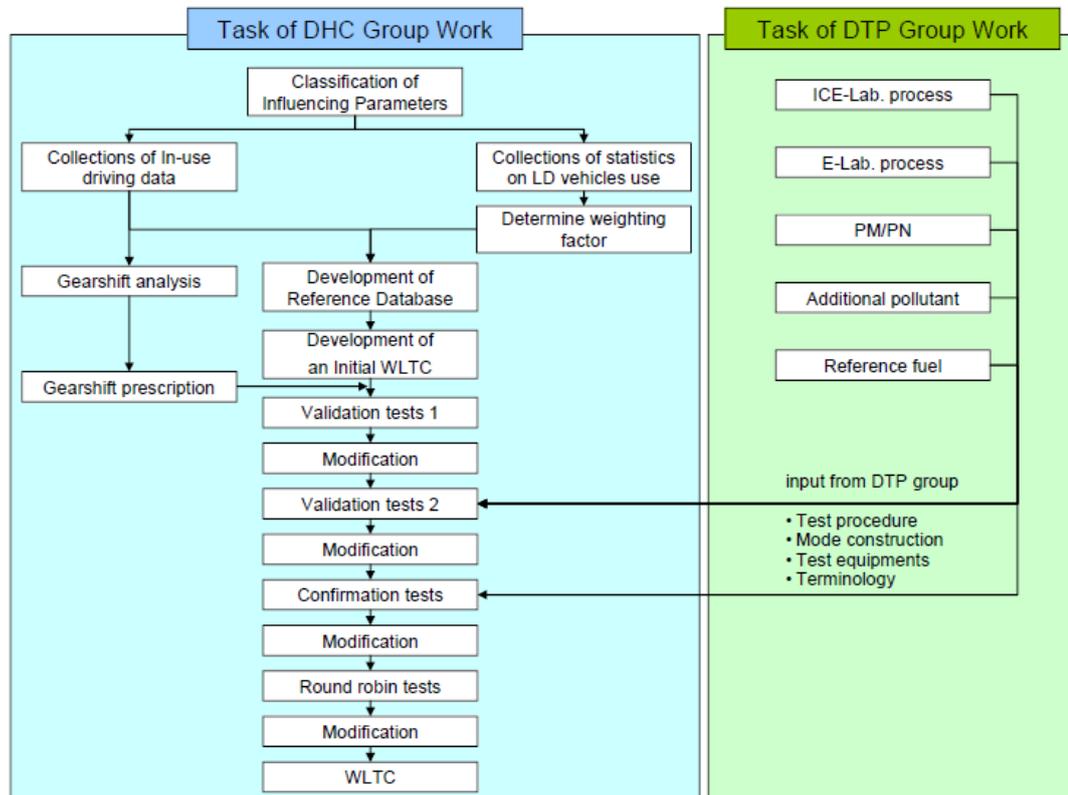


Figura 16. Descripción general del desarrollo de WLTC

Fuente: [www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=831&bih=767&tbn=isch&sa)

Existieron tres motivaciones para el desarrollo del ciclo WLTC

- La existencia de una brecha entre los resultados de emisiones que se generan mediante pruebas de homologación (type approval o TA) y las emisiones del mundo real (real world o RW).
- "Detección de ciclo", es un algoritmo o mapa de inyección específico que se carga durante las pruebas de homologación que hace que se generen menores emisiones dentro de las condiciones del laboratorio con respecto a las condiciones del mundo real, y los vehículos deben cumplir el límite de emisión únicamente en las condiciones de prueba de laboratorio.
- Necesidad de establecer un nuevo parámetro o procedimiento de emisión que tomen en cuenta tanto parámetros de homologación como condiciones del mundo real.

El procedimiento de prueba proporciona una guía estricta sobre las condiciones de pruebas de dinamómetro y carga de carretera (resistencia al movimiento), cambio de marchas, peso total del vehículo (incluyendo equipo opcional, carga y pasajeros), calidad del combustible, temperatura ambiente y selección y presión de neumáticos. Se aplican tres diferentes ciclos de prueba WLTC, dependiendo de la clase de vehículo definida por la relación potencia-peso  $PWr$  en kW / tonelada (potencia nominal del motor / peso en vacío):

- Clase 1 - vehículos de baja potencia con  $PWr \leq 22$ ;
- Clase 2: vehículos con  $22 < PWr \leq 34$ ;
- Clase 3: vehículos de alta potencia con  $PWr > 34$ ;

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Aplicación de metodología Micro - Trip en un caso real.

En esta sección se usará la metodología Micro - Trip para determinar un ciclo de conducción característico de una muestra de viajes realizados por un vehículo en una vía de la localidad de Santo Domingo, luego en base al ciclo de conducción representativo (RDC) se procederá a calcular la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en gramos y la cantidad de emisiones anuales producidas por el uso de este vehículo en esta ruta, y luego compararemos estos valores con los reportados por los fabricantes cuando el vehículo es nuevo.

En la campaña de mediciones se realizaron una muestra de nueve viajes en la vía las mercedes ruta de Santo Domingo a los Bancos, con una distancia de aproximadamente 70 km, los viajes se realizaron de ida y vuelta. De las características de la vía podemos decir que es una vía sinuosa con tráfico moderado la cual tiene variación de altitud consideradas. La gráfica siguiente muestra de manera ilustrativa la ruta que se usó.

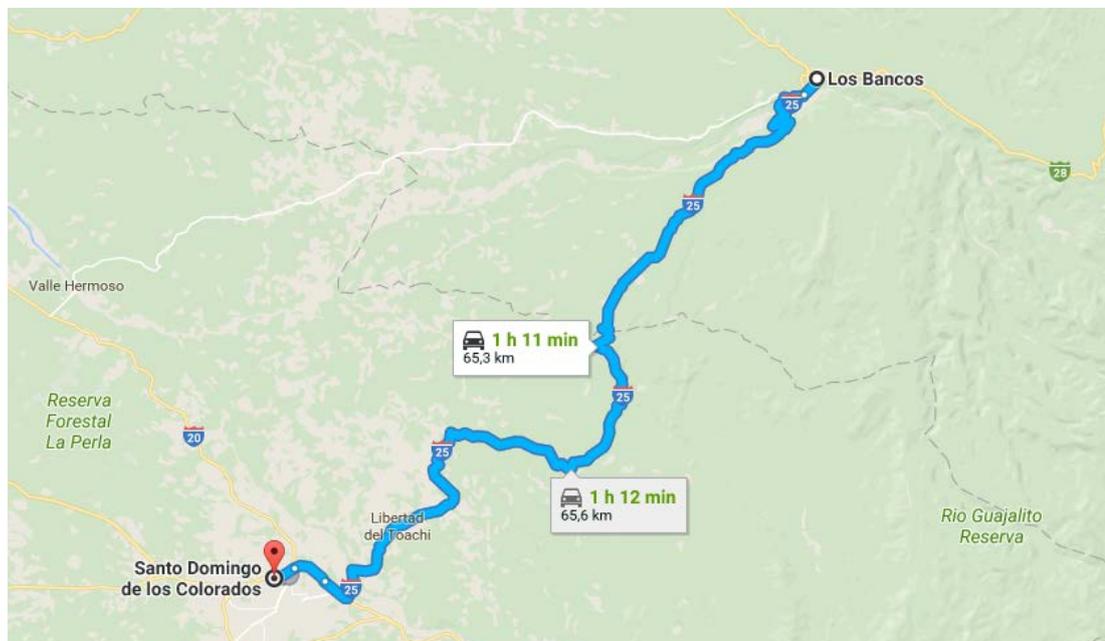


Figura 17. Ruta Santo Domingo a los Bancos

Fuente: Autor

El vehículo usado en las campañas de medición es un Hyundai Getz cuyas características se describen en la tabla siguiente:

Tabla 5. Vehículos usados

Marca	Hyundai
Línea	Getz
Año de modelo	2009
Tipo de combustible	Gasolina
Cilindrada [L]	1,6
Tipo de transmisión	Manual – 5 velocidades
Consumo de combustible[L/100km]	7.3
Relación de compresión	10:1
# cilindros	4

Durante todos los viajes realizados el conductor del vehículo fue el dueño el cual utilizo sus habilidades de manejo cotidianas transitando por la vía antes seleccionada. Con esto se trata de estudiar los patrones de conducción del dueño del vehículo cuando transita por una carretera, se realizaron dos mediciones diarias durante 4 días y el último día se realizó una medición valida la segunda presento inconsistencias en sus datos por lo que se decidió eliminarla. Los datos de los nueve viajes en las campañas de medición se detallan de mejor manera en el anexo 1.

Para el análisis de este proyecto se utilizaron los datos del computador del vehículo, la obtención de los datos se la realizo mediante el lector ELM 327 vía OBD II (on-board diagnostics) el cual es una herramienta de diagnóstico portátil conectado mediante USB , RS-232 , Bluetooth o Wi-Fi, el usado para el proyecto es con conexión Bluetooth que trabaja en conjunto con la aplicación Torque que es una aplicación disponible en el Play Store de Google, la cual utiliza la tecnología Bluetooth para conectarse al ordenador de a bordo del vehículo y transmitirnos un montón de datos útiles al celular.



Figura 18. Lector ELM 327 vía OBD II

Fuente: [/www.google.com.ec/search?q=LectorELM+327+vía+OBD](http://www.google.com.ec/search?q=LectorELM+327+vía+OBD)

Los datos que se obtuvieron en cada viaje fueron: velocidad instantánea [km/h], Tiempo [seg], distancia recorrida [m], las RPM del motor. Todas estas variables fueron obtenidas cada segundo durante todo el trayecto.

Para el establecimiento de los índices de emisiones (IE) del vehículo se investiga los factores de emisión reportados por cada vehículo cuando eran nuevos. Dicha información ha sido obtenida de la Agencia de Certificación Vehicular del Reino Unido y contempla los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en g/km, los cuales han sido medidos bajo normativa europea de emisiones Euro 4.

Es así, que con cada uno de estos valores se los multiplica por la distancia recorrida (en km) en cada segundo del viaje por el vehículo para obtener los gramos de contaminante, para después sumarlos y así se obtiene la masa total de contaminante para cada viaje. Los valores de IE reportados por la Agencia de Certificación Vehicular del Reino Unido para el Hyundai Getz son los siguientes:

Tabla 6. Contaminante

Contaminante	IE [g/km]
CO <sub>2</sub>	143

El procedimiento a seguir para construir nuestro ciclo de conducción representativo mediante metodología Micro - Trip es el que se describe en la gráfica siguiente:

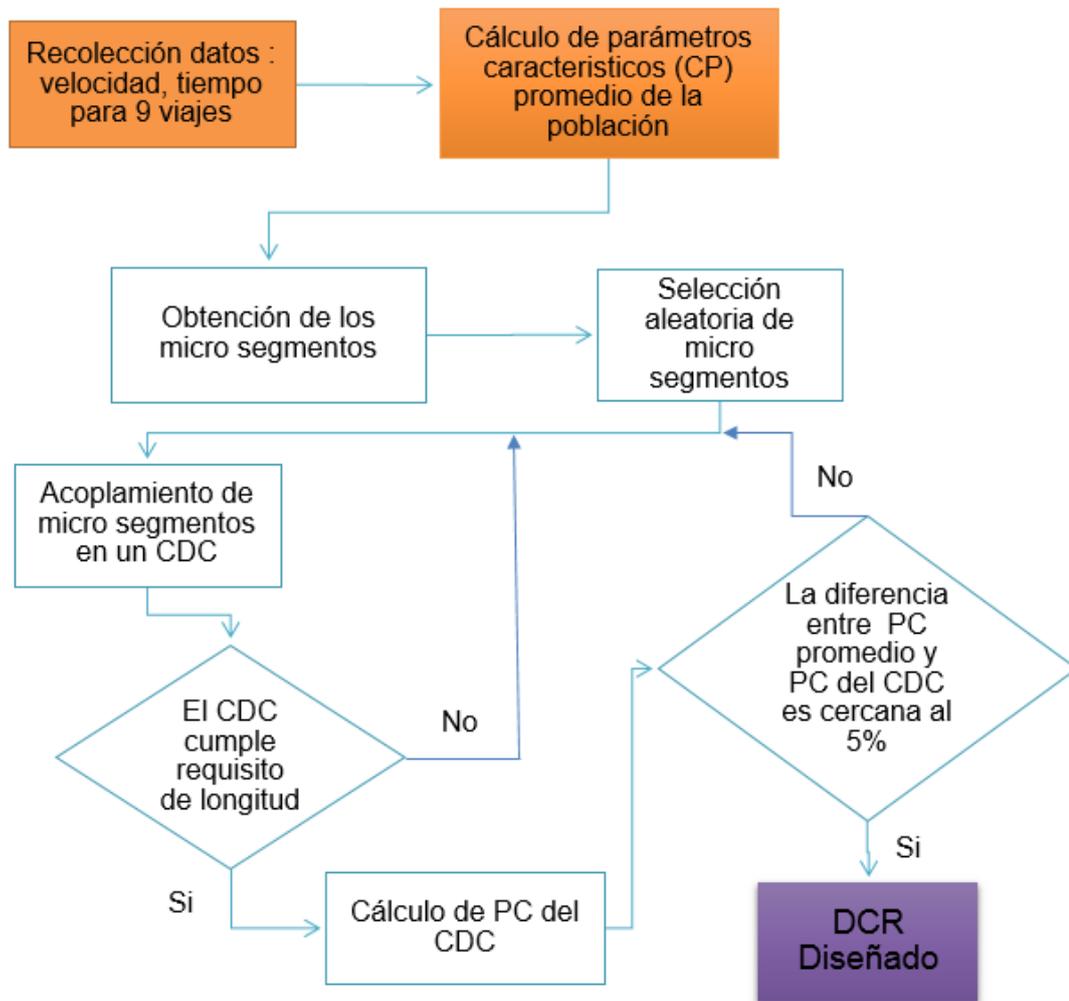


Figura 19. DCR Diseñado

Fuente: Autor

Para este caso se usará como parámetro característico la velocidad del vehículo en cada viaje en m/s, es así que se calculará la velocidad para la población y para cada uno de los ciclos de conducción candidatos (CDC). Para el primer requisito de aceptación se estableció una longitud requerida, para nuestro caso se estableció que el CDC necesitaría una longitud igual o cercana a 1200 segundos. Para el segundo requisito de aceptación se estableció que la diferencia mínima entre el parámetro característico de la población y el CDC sea del 5% o lo más cercano a este valor. Al CDC que cumpla con estos requisitos se nombrará como ciclo de conducción representativo RDC.

Todos los micro segmentos se numerarán, para ello se ordenarán los viajes de forma ascendente desde el viaje 1 al viaje 9, luego se procederá a hallar los micro segmentos

de cada viaje y a numerarlos en ese mismo orden. Se obtuvo un total de 196 micro segmentos de la población, cada uno con características únicas como longitudes de tiempo y perfiles de velocidad.

## Resultados

Se realizó la selección aleatoria de los 196 micro segmentos de la población y entre varios intentos fallidos nos dio como resultado tres micro segmentos, los micro segmentos 75 y 79 del viaje 4 y el micro segmento 171 del viaje 8, los cuales junto conforman nuestro ciclo de conducción candidato que cumple con los dos requisitos de aceptación. Para el primer requisito (tiempo aproximado a 1200 segundos), entre los tres micro segmentos candidatos se alcanzó una longitud de 1205 segundos, intervalo de tiempo muy cercano a nuestro requisito planteado por lo que el CDC diseñado cumple con el primer requisito. Las tablas siguientes muestran de forma resumida lo antes mencionado.

Tabla 7. Microsegmentos seleccionados

<b>Micro segmentos seleccionados</b>	<b>Viaje al que pertenece</b>	<b>Longitud [seg]</b>
75	4	105
79	4	770
171	8	330
CDC	-	1205

<b>Requisito de tiempo del CDC:</b>	Aproximado a 1200 seg
<b>Tiempo del ciclo propuesto</b>	<b>1205 seg</b>

Avanzando con el proceso de diseño de un ciclo de conducción representativo (RDC), a nuestro CDC se le aplicó un segundo requisito de aceptación el cual es el tener una variación relativa entre los parámetros característicos del CDC y los parámetros característicos de la población cercano al 5%. Utilizamos dos parámetros característicos para esta evaluación la velocidad [m/s] y las RPM. En este caso nos dio como resultado una diferencia relativa del 6% entre la velocidad del CDC y la velocidad de promedio, lo cual es muy cercano a nuestro requisito de alrededor del 5%, para el parámetro de RPM obtuvimos una diferencia del 3% estos resultados los podemos ver en la tabla siguiente. Cumpliendo con estos dos requisitos de aceptación

se concluye que este ciclo de conducción diseñado con la metodología Micro - Trip es un ciclo de conducción representativo.

Tabla 8. Parámetros seleccionados

<b>Parámetros seleccionados</b>	<b>Viajes muestreados</b>	<b>Ciclo de manejo Candidato</b>	<b>Diferencia relativa</b>
Velocidad [m/s]	11.85096203	12.61685777	6%
RPM	1152.732091704	1181.652951	3%

Además de analizar los dos parámetros característicos antes mencionados también se analizó de forma separada el parámetro de aceleración del RDC, el cual tuvo una variación mucho mayor respecto al valor de aceleración promedio de la población, con un valor de 104% de diferencia como lo muestra la tabla siguiente, allí podemos ver que existe mucha variabilidad en valores de la aceleración con este método, esto se podría adjudicar a la influencia de la topología de la vía (altitud) en las RPM lo cual ocasiona variaciones bruscas de aceleración de manera espontánea. Reproducir los mismos patrones de aceleración entre viajes es muy difícil por factores externos como el tráfico y condiciones climáticas (que también son variables) lo que agrava más la dispersión de los valores de aceleración, esto no ocurre con la velocidad ni las RPM por eso tienen variaciones más pequeñas.

Tabla 9. Parámetro de aceleración del RDC

<b>Parámetros seleccionados</b>	<b>Viajes muestreados</b>	<b>Ciclo de manejo Candidato</b>	<b>Diferencia relativa</b>
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	0.000135454	-5.76302E-06	104%

Con este antecedente de variabilidad de aceleración se trató de buscar un parámetro que caracterice un patrón de manejo y que tenga menos variabilidad que la aceleración, algo indispensable es que la aceleración esté inmersa o que influya fuertemente en este nuevo parámetro. Luego este parámetro se lo usara para comparar valores del RDC y de la población. Se propuso realizar un análisis con el parámetro de número de aceleraciones que el vehículo realiza por kilómetro recorrido [# acel/km] en cada viaje, tanto para la población como para el RDC. Se realizó los cálculos respectivos y se obtuvo una variabilidad del 25% entre el valor de la población y del RDC, esto es mucho menor a los 104% que nos resultaba al analizar solo la aceleración, estos resultados se los muestra la tabla siguiente:

Tabla 10. Velocidad de aceleración RDC

Parámetros seleccionados	Viajes muestreados	Ciclo de manejo Candidato	Diferencia relativa
# acel/ km	7.31	5.46	25%

Aunque se obtuvo una menor variación con el parámetro de # de aceleraciones aún sigue siendo alto para considerarlo como parámetro característico aceptable (alrededor del 5%), en este estudio, por lo que nuestro Ciclo de conducción representativo (RDC) su representatividad de los patrones de manejo se basa en perfil de velocidad y a las RPM de la población.

El perfil de velocidad característico de nuestro RDC el cual representa los patrones de manejo de la población de viajes se muestran en la gráfica siguiente, además en el gráfico se diferencian los tres micro segmentos que lo conforman los cuales están separados por las líneas punteadas:

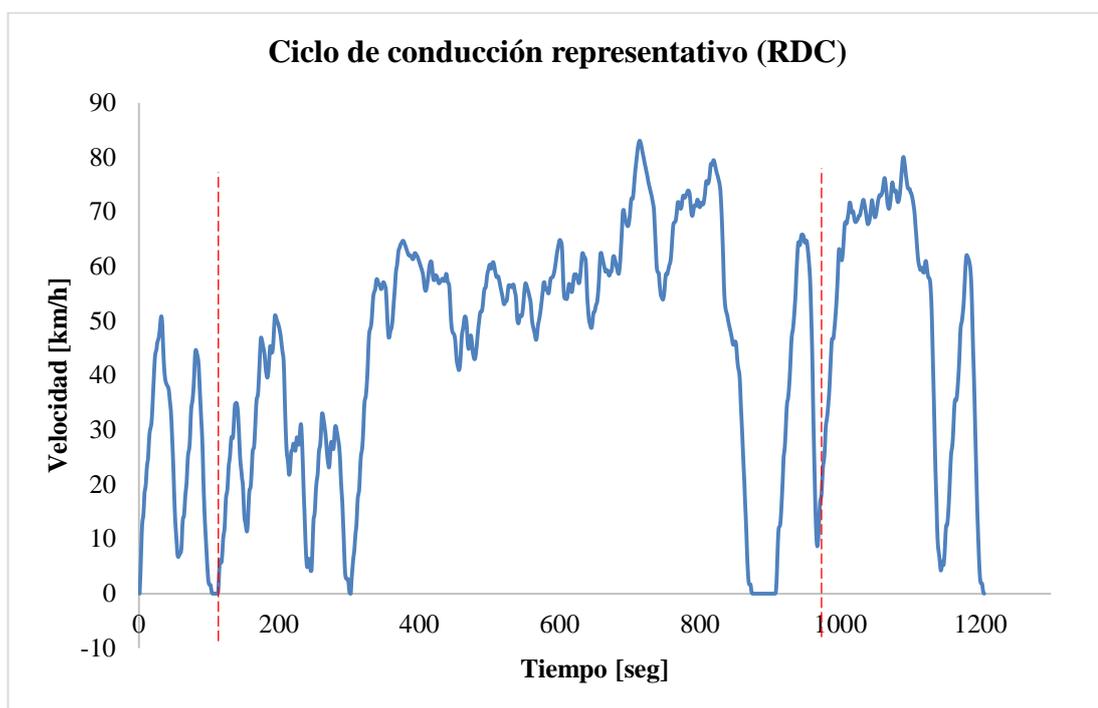


Figura 20. Ciclo de conducción representativo (RDC)

Fuente: [www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&sa=1&ei](http://www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&sa=1&ei)

Se puede observar que existen tramos con variaciones de velocidad muy pronunciados lo cual se debe a la topología de la ruta, existen tramos donde la vía es sinuosa y con pendientes considerables lo que provoca que la velocidad cambie

bruscamente, también se puede notar que hay tramos donde la velocidad varía dentro de un intervalo más corto lo que podría representar tramos donde hay rectas y variaciones de altitud mínimas. Así podemos decir que este ciclo RDC es el que representaría los patrones de manejo del conductor en carretera.

En la figura siguiente se contrastó la curva de velocidad vs la curva de RPM del motor del RDC, con lo que podemos observar que el perfil de ambas curvas es muy similar, lo que nos dice que la variación de la velocidad es directamente proporcional a las RPM.

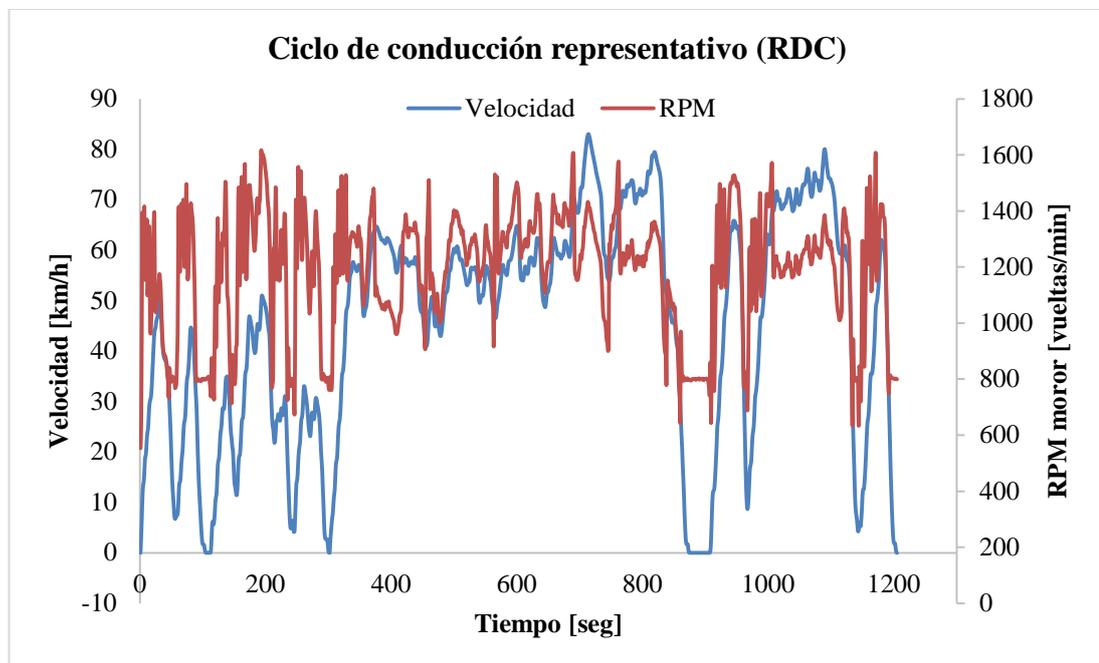


Figura 21. Variación de la velocidad es directamente proporcional a las RPM

Fuente: [www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&sa=1&ei](http://www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&sa=1&ei)

Apoyándonos en la gráfica siguiente (de RPM vs inclinación) podemos observar que la topología de la vía influye en la variación de RPM del motor del RDC, los valores de RPM se “ajustan” por así decirlo a los valores de inclinación (en radianes) de la vía, se puede apreciar que en las variaciones de inclinación se obtienen picos de RPM, este patrón se repite durante todo el periodo del RDC.

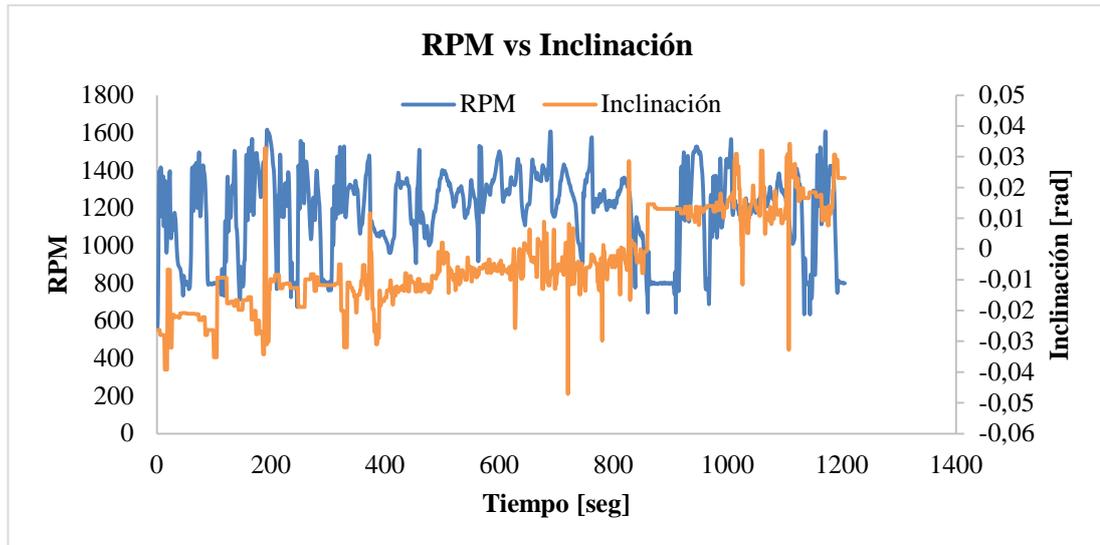


Figura 22. RPM vs. Inclinación

Fuente: [www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&s](http://www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&s)

Sabiendo que a mayor valor de RPM se requiere mayor valor de Potencia del motor como se puede apreciar en la figura siguiente, esto ocasionara que se demande mayor combustible para satisfacer la potencia requerida, por ende las variaciones de RPM de motor que se alcanza mientras se conduce en vías con alta variación de altitud tiene un fuerte impacto en el consumo de combustible.

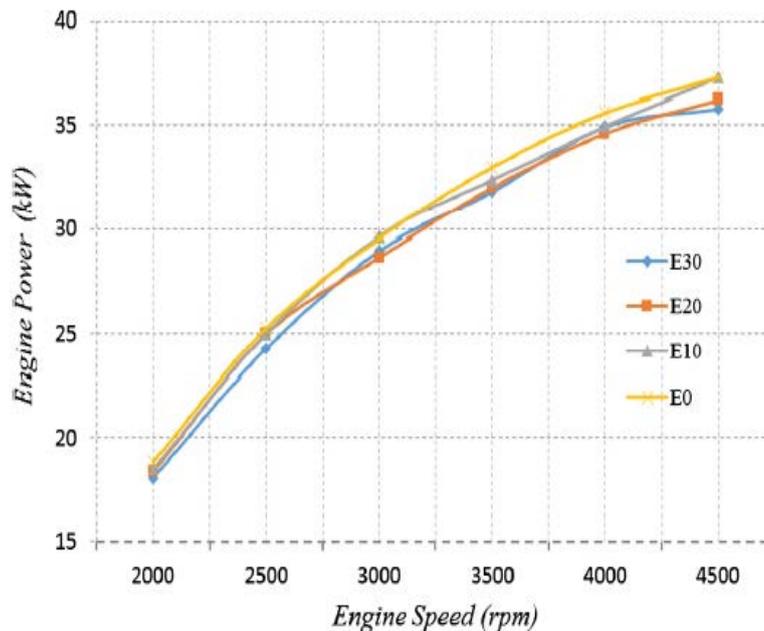


Figura 23. Variación de potencia en función a las RPM del motor

Fuente: B. Dogan et al., "Turquía, 2017.

En base a este perfil de velocidad de nuestro RDC procederemos a realizar el cálculo de la cantidad de contaminantes a la atmosfera del RDC, debemos saber que para determinar los contaminantes emitidos se debe montar el vehículo en un dinamómetro de chasis y simular el RDC y usar equipos de medición de emisiones y realizar mediciones de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en el escape, este procedimiento es muy costoso ya que se necesita equipo especializado por lo que proponemos usar el valor del índice de emisiones del vehículo (IE en g/km) cuando esta nuevo reportado por el fabricante, este factor lo multiplicamos por la distancia recorrida cada segundo y encontramos la masa de contaminante en gramos que se emite cada segundo y sumamos todos esos valores y obtenemos la masa total del contaminante. Los índices de emisión los encontramos en la Agencia de Certificación Vehicular del Reino Unido y contempla los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en g/km descrito en tabla anterior. Realizando este procedimiento se estima una cantidad de 2.17 kg de CO<sub>2</sub> y 0.18 g de NO<sub>x</sub> que se produciría durante el ciclo RDC.

Tabla 11. RDC

	<b>RDC</b>
<b>CO<sub>2</sub> [gramos]</b>	2174.07
<b>NO<sub>x</sub> [gramos]</b>	0.18

#### **4.2. Inconvenientes encontrados**

La selección aleatoria de los micro segmentos aplicada durante la construcción del ciclo de conducción es un proceso iterativo, el cual cada vez que realice una nueva selección aleatoria muy probablemente tendré micro segmentos diferentes con el mismo conjunto de datos de todos los viajes (población), lo cual me resultaría en perfiles de velocidad distinto de los ciclos de conducción candidatos que cumplan los requisitos de aceptación, el de longitud y la diferencia de parámetros característicos entre el RDC y la población.

En base a lo dicho anteriormente tendré varios ciclos candidatos que validándolos con el segundo requerimiento de aceptación de resultar en más de uno ciclos de conducción representativos cuyas características globales, como la velocidad promedio, son similares o iguales pero, Las características locales en pequeños

intervalos de tiempo no son las mismas, lo cual ocasiona variaciones en el consumo de combustible y los resultados de emisiones entre posibles ciclos representativos. Lo antes mencionado lo podemos comprobar con ayuda de la gráfica siguiente:

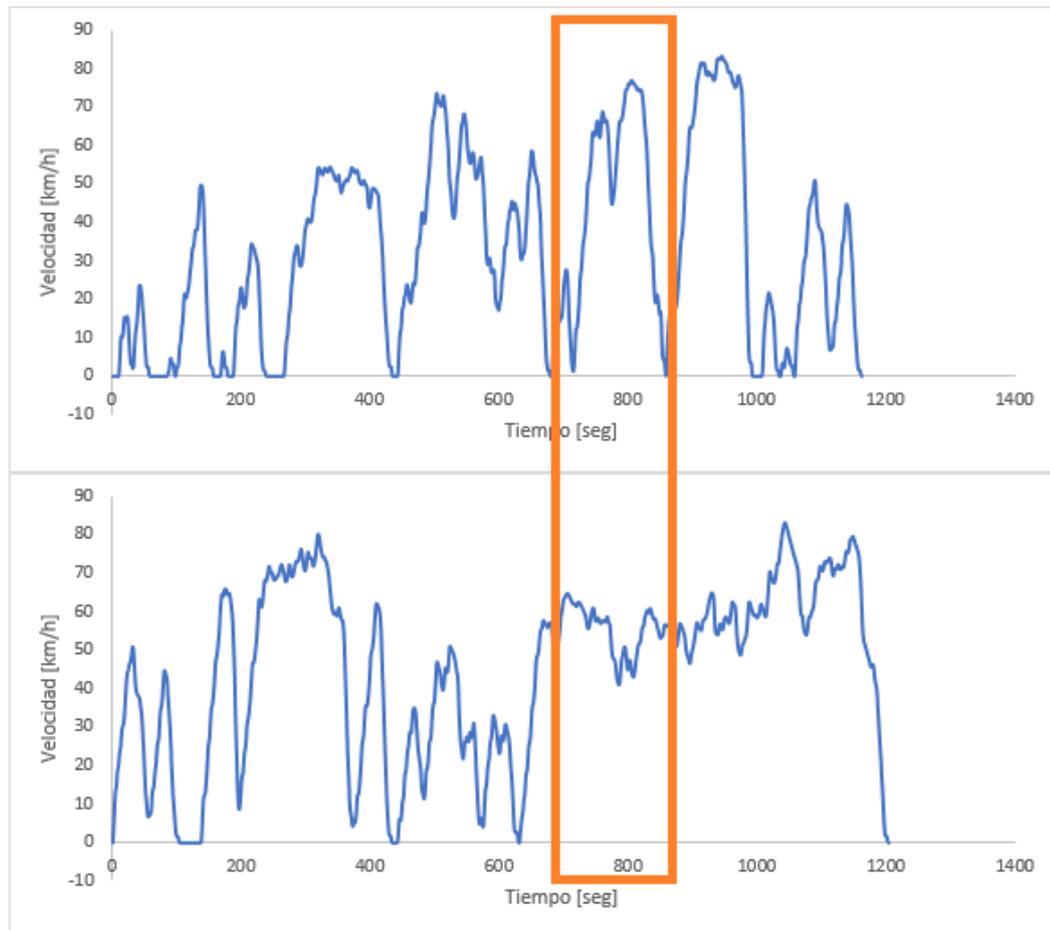


Figura 24. Dos ciclos de conducción

**Fuente:** [www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&s](http://www.google.com.ec/search?biw=831&bih=767&tbm=isch&s)

La grafica muestra de manera ilustrativa dos ciclos de conducción cuyos parámetros de velocidad y aceleración global tienen valores iguales, vemos que en el área encerrada en el recuadro nos muestra que el perfil de velocidad es diferente en esa pequeña sección del ciclo, porque fueron construidos con Micro - Trip diferentes y en diferentes procesos de selección aleatoria, al tener perfiles de velocidad diferentes tendremos valores de consumo de combustible e índice de emisiones diferentes, esto se debe porque el perfil de velocidad (valores instantáneos) influye mucho en el consumo de combustible y emisiones de contaminantes.

## CONCLUSIONES

- Los ciclos de conducción son metodologías con un uso muy amplio no existe un único fin la característica principal es determinar la representatividad de algo y ese algo depende del enfoque que se le dé a la investigación, generalmente se usan para determinar el desempeño de un vehículo como es su consumo de combustible y sus emisiones de contaminantes, también se usan para determinar las condiciones de operación en condiciones reales de los vehículos como son los patrones de manejo de los conductores al volante .
- Los ciclos de homologación establecen valores de desempeño energético de un vehículo en condiciones ideales de laboratorio las cuales no se ajustan a la realidad, ya que las condiciones de operación en un dinamómetro de chasis no son las mismas que en una carretera, además estas pruebas no toman en cuenta factores como condiciones meteorológicas, condiciones de la vía, topología de la vía, el tráfico, la variación de las habilidades de manejo entre personas, entre otras, las cuales son muy comunes durante un viaje en la vida real, es por esto que se debe realizar diagnósticos a bordo de parámetros que influyen en el desempeño de un vehículo para establecer nuevos parámetros que muestren realmente que tan eficiente son los vehículos que se comercializan en la actualidad.
- Se determina que la topología de la ruta que se siga, específicamente las variaciones de altitud en tramos de la vía influye mucho en la curva de RPM del motor provocando en ocasiones sobre revoluciones, también ocasiona cambios en repentinos y bruscos de valores instantáneos de aceleración y desaceleración durante el viaje.
- Podemos concluir que la metodología Micro - Trip es reproducible pero no repetible, que cada vez que repitamos el proceso de construcción de ciclos representativo nos dará un ciclo de conducción con perfil de velocidad diferente y, con valores globales promedio de parámetros como velocidad y aceleración iguales pero con valores de consumos de combustible y emisiones diferentes.
- Esta metodología es muy útil para estimar los patrones de conducción de una zona lo cual nos sirve para determinar posibles malas prácticas de conducción de un grupo de conductores, estos valores sirven como una línea base para toma de

decisiones de directivos de flotas vehiculares o municipios para mejorar hábitos de manejo.

- Se debe realizar nuevos estudios para mejorar el inconveniente de respetabilidad de la metodología Micro - Trip para poder contrastar resultados que se pudieran realizar en diferentes regiones de mejor manera, además este método se enfoca en determinar los patrones de manejo de una zona para lo cual es necesario usar una muestra mucho más grande para tener mayor confiabilidad en los datos, en nuestro caso realizamos el análisis de una única ruta con un solo vehículo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de los ciclos de conducción para poder evaluar el desempeño de un vehículo y los patrones de manejo, de esta manera podemos analizar y controlar el consumo de combustible y las emisiones de contaminantes en el entorno donde se desarrollan.
- Es recomendable realizar las pruebas de un vehículo en condiciones reales. debido a que no es lo mismo los estudios realizados en un laboratorio que los realizados en condiciones reales, clima, estado de la vía tráfico, topología y todos los factores que puedan influir en las condiciones en las que un vehículo es conducido.
- El uso de la metodología Micro - Trip en las compañías de transporte debido a que con su uso podemos establecer la conducta de manejo de un chofer en una determinada ruta y así reducir accidentes y consumos innecesarios de combustible así como la emisión de contaminantes.
- Se debe aplicar la Metodología Micro - Trip en diversas rutas y con diversos vehículos y choferes para tener más valores que comparar y más datos para establecer parámetros de únicos de conducción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alessandrini A., Filippi F., F Orteni F., Consumption calculation of vehicles using OBD data, CTL, Centre For Transport and Logistics, University of Rome “La Sapienza”.
- B. Dogan et al., “The effect of ethanol – gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis”, Turquía, 2017.
- Dieselnet. (2013). Emission Test Cycles. ECE 15 + EUDC / NEDC. Recuperado de: [https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)
- Dieselnet. (2013). Emission Test Cycles. FTP-75. Recuperado de: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>
- Dieselnet. (2017). Emission Test Cycles. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). Recuperado de: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- EPA (2017). Vehicle and Fuel Emissions Testing. Dynamometer Drive Schedules. Recuperado de: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- European environment Agency. (2011). Do lower speed limits on motorways reduce fuel consumption and pollutant emissions? Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/speed-limits>
- Grupo de Trabajo sobre Contaminación y Energía de la ONU (ECE GRPE). (2013). “Development of a world-wide harmonized light duty driving test cycle (WLTC)”. Recuperado de: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grpe/GRPE-68-03e.pdf>
- Idea secundaria blogspod. (2013)¿Qué son y qué demuestran los ciclos de conducción? (Parte II). Recuperado de: [https://ideasecundaria.blogspot.com/2013/08/que-son-y-que-demuestran-los-ciclos-de\\_19.html](https://ideasecundaria.blogspot.com/2013/08/que-son-y-que-demuestran-los-ciclos-de_19.html)
- Idea Secundaria. (2013)¿Qué son y qué demuestran los ciclos de conducción? (Parte I). Recuperado de: <https://ideasecundaria.blogspot.com/2013/08/que-son-y-que-demuestran-los-ciclos-de.html>

- Jos Dings, Director (2013). Transport and Environment (T&E). Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality. Recuperado de: [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Real%20World%20Fuel%20Consumption%20v15\\_final.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Real%20World%20Fuel%20Consumption%20v15_final.pdf)
- Rojas E., Diego Agustín. 2003. Determinación experimental de ciclos de conducción. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Chile, 2003.
- Wikipedia (2017). Driving cycle. Recuperado de: [https://en.wikipedia.org/wiki/Driving\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Driving_cycle)
- Wikipedia. (2017). Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure. Recuperado de: [https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide\\_harmonized\\_Light\\_vehicles\\_Test\\_Procedure](https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide_harmonized_Light_vehicles_Test_Procedure)
- WORDP La revista de relatividad. (2011). Economía y eficiencia de combustible en automóviles. Recuperado de: <http://wordp.relatividade.org/ciencia/economia-y-eficiencia-de-combustible-en-automoviles/>

# ANEXOS

## Anexo A. Viajes Muestreados

Tiempo total [s]	No. de viaje	Tiempo [s]	RPM	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	Distancia [m]	Distancia acum. [m]	Altitud [msnm]	Pendiente [rad]	Micro-Trip [-]	#acel
1	1	0	818,4222	7,887	2,191	0,00000	2,191	2,191	1663,7	0,017	1	
2	1	1	790,7913	7,403	2,056	-0,13444	2,056	4,247	1663,7	0,017	1	
3	1	2	798,0978	7,243	2,012	-0,04444	2,012	6,259	1663,7	0,017	1	
4	1	3	806,5231	7,330	2,036	0,02417	2,036	8,295	1663,7	0,017	1	1
5	1	4	778,3211	7,311	2,031	-0,00528	2,031	10,326	1663,7	0,017	1	
6	1	5	800,9275	6,985	1,940	-0,09056	1,940	12,266	1663,7	0,017	1	
7	1	6	883,8217	7,385	2,051	0,11111	2,051	14,318	1663,7	0,017	1	1
8	1	7	872,8680	7,780	2,161	0,10972	2,161	16,479	1663,7	0,017	1	
9	1	8	889,5385	8,072	2,242	0,08111	2,242	18,721	1663,7	0,017	1	
10	1	9	1110,9894	9,261	2,573	0,33028	2,573	21,294	1663,7	0,017	1	
11	1	10	1159,1597	10,610	2,947	0,37472	2,947	24,241	1663,7	0,017	1	
12	1	11	1188,2199	10,650	2,958	0,01111	2,958	27,199	1663,7	0,017	1	
13	1	12	1249,9729	11,074	3,076	0,11778	3,076	30,275	1663,7	0,017	1	
14	1	13	1277,3073	11,618	3,227	0,15111	3,227	33,503	1663,7	0,017	1	
15	1	14	1303,8382	11,847	3,291	0,06361	3,291	36,793	1663,7	0,017	1	
16	1	15	1405,0507	12,211	3,392	0,10111	3,392	40,185	1663,7	0,017	1	
17	1	16	1273,0974	13,040	3,622	0,23028	3,622	43,808	1663,7	0,017	1	
18	1	17	953,0778	12,236	3,399	-0,22333	3,399	47,206	1663,7	0,017	1	
19	1	18	807,3975	10,955	3,043	-0,35583	3,043	50,249	1663,7	0,017	1	
20	1	19	716,3406	9,891	2,748	-0,29556	2,748	52,997	1663,7	0,017	1	
21	1	20	741,1331	9,351	2,598	-0,15000	2,598	55,594	1663,7	0,017	1	
22	1	21	779,1553	9,460	2,628	0,03028	2,628	58,222	1663,7	0,017	1	1
23	1	22	939,5783	10,376	2,882	0,25444	2,882	61,104	1663,7	0,017	1	
24	1	23	1122,5728	12,965	3,601	0,71917	3,601	64,706	1663,7	0,017	1	

## Anexo A-1. (Cont)

25	1	24	1252,2973	15,283	4,245	0,64389	4,245	68,951	1663,7	0,017	1	
26	1	25	1201,7920	15,679	4,355	0,11000	4,355	73,306	1663,7	0,017	1	
27	1	26	1157,1490	14,733	4,093	-0,26278	4,093	77,399	1663,7	0,017	1	
28	1	27	1202,7952	14,699	4,083	-0,00944	4,083	81,482	1663,7	0,017	1	
29	1	28	1377,6451	16,322	4,534	0,45083	4,534	86,016	1663,7	0,017	1	1
30	1	29	1338,6472	17,392	4,831	0,29722	4,831	90,847	1663,7	0,017	1	
31	1	30	1283,4222	16,322	4,534	-0,29722	4,534	95,381	1663,7	0,017	1	
32	1	31	1275,2557	16,009	4,447	-0,08694	4,447	99,828	1663,7	0,017	1	
33	1	32	1101,6231	16,351	4,542	0,09500	4,542	104,370	1663,7	0,017	1	1
34	1	33	925,9764	15,878	4,411	-0,13139	4,411	108,780	1663,7	0,017	1	
35	1	34	837,9248	14,907	4,141	-0,26972	4,141	112,921	1663,7	0,017	1	
36	1	35	928,4361	15,255	4,238	0,09667	4,238	117,159	1663,7	0,017	1	1
37	1	36	1062,0999	16,914	4,698	0,46083	4,698	121,857	1663,7	0,017	1	
38	1	37	1118,8740	18,482	5,134	0,43556	5,134	126,991	1663,7	0,017	1	
39	1	38	1080,7514	18,847	5,235	0,10139	5,235	132,226	1663,7	0,017	1	
40	1	39	1115,4312	18,711	5,198	-0,03778	5,198	137,424	1663,7	0,017	1	
41	1	40	1194,9567	19,470	5,408	0,21083	5,408	142,832	1663,7	0,017	1	1
42	1	41	1242,8293	20,705	5,751	0,34306	5,751	148,583	1663,7	0,017	1	
43	1	42	1232,9955	21,023	5,840	0,08833	5,840	154,423	1663,7	0,017	1	
44	1	43	1201,9936	20,510	5,697	-0,14250	5,697	160,120	1663,7	0,017	1	
45	1	44	1211,7088	20,398	5,666	-0,03111	5,666	165,786	1663,7	0,017	1	
46	1	45	1265,7291	20,984	5,829	0,16278	5,829	171,615	1663,7	0,017	1	1
47	1	46	1291,5589	21,841	6,067	0,23806	6,067	177,682	1663,7	0,017	1	
48	1	47	1258,0797	21,633	6,009	-0,05778	6,009	183,691	1663,7	0,017	1	
49	1	48	1265,4833	21,331	5,925	-0,08389	5,925	189,617	1663,7	0,017	1	
50	1	49	1288,8254	21,695	6,026	0,10111	6,026	195,643	1663,7	0,017	1	1
51	1	50	1313,7600	22,234	6,176	0,14972	6,176	201,819	1663,7	0,017	1	

## Anexo A-2. (Cont.)

52	1	51	1315,7886	22,339	6,205	0,02917	6,205	208,024	1663,7	0,017	1
53	1	52	1323,5156	22,347	6,208	0,00222	6,208	214,232	1663,7	0,017	1
54	1	53	1339,1250	22,585	6,274	0,06611	6,274	220,506	1663,7	0,017	1
55	1	54	1349,2197	22,854	6,348	0,07472	6,348	226,854	1663,7	0,017	1
56	1	55	1356,4566	22,843	6,345	-0,00306	6,345	233,199	1663,7	0,017	1
57	1	56	1340,5960	22,711	6,309	-0,03667	6,309	239,508	1663,7	0,017	1
58	1	57	1318,5735	22,536	6,260	-0,04861	6,260	245,768	1663,7	0,017	1
59	1	58	1295,2566	22,260	6,183	-0,07667	6,183	251,951	1663,7	0,017	1
60	1	59	1282,2666	21,631	6,009	-0,17472	6,009	257,960	1663,7	0,017	1
61	1	60	1263,3528	21,462	5,962	-0,04694	5,962	263,921	1663,7	0,017	1
62	1	61	1264,8471	21,368	5,936	-0,02611	5,936	269,857	1663,7	0,017	1
63	1	62	1243,9650	21,217	5,894	-0,04194	5,894	275,751	1663,7	0,017	1
64	1	63	1232,9560	20,820	5,783	-0,11028	5,783	281,534	1663,7	0,017	1
65	1	64	1242,3052	20,758	5,766	-0,01722	5,766	287,300	1663,7	0,017	1
66	1	65	1256,5314	21,215	5,893	0,12694	5,893	293,193	1663,7	0,017	1
67	1	66	1264,0802	21,467	5,963	0,07000	5,963	299,156	1663,7	0,017	1
68	1	67	1278,4959	21,662	6,017	0,05417	6,017	305,173	1663,7	0,017	1
69	1	68	1298,2967	22,077	6,133	0,11528	6,133	311,306	1663,7	0,017	1
70	1	69	1336,7895	22,570	6,269	0,13694	6,269	317,575	1663,7	0,017	1
71	1	70	1384,0106	23,155	6,432	0,16250	6,432	324,007	1663,7	0,017	1
72	1	71	1380,6940	23,405	6,501	0,06944	6,501	330,509	1663,7	0,017	1
73	1	72	1339,8555	22,857	6,349	-0,15222	6,349	336,858	1663,7	0,017	1
74	1	73	1291,0648	22,486	6,246	-0,10306	6,246	343,104	1663,7	0,017	1
75	1	74	1323,8653	22,424	6,229	-0,01722	6,229	349,333	1663,7	0,017	1
76	1	75	1373,9449	22,904	6,362	0,13333	6,362	355,695	1663,7	0,017	1
77	1	76	1376,7207	23,387	6,496	0,13417	6,496	362,191	1663,7	0,017	1
78	1	77	1376,0353	23,343	6,484	-0,01222	6,484	368,676	1663,7	0,017	1

## Anexo A-3. (Cont.)

79	1	78	1402,7763	23,544	6,540	0,05583	6,540	375,216	1663,7	0,017	1	1
80	1	79	1419,8889	23,850	6,625	0,08500	6,625	381,841	1663,7	0,017	1	
81	1	80	1384,8804	23,807	6,613	-0,01194	6,613	388,454	1663,7	0,017	1	
82	1	81	1372,9513	23,335	6,482	-0,13111	6,482	394,936	1663,7	0,017	1	
83	1	82	1365,1909	23,058	6,405	-0,07694	6,405	401,341	1663,7	0,017	1	
84	1	83	1362,2797	23,274	6,465	0,06000	6,465	407,806	1663,7	0,017	1	1
85	1	84	1306,8342	22,687	6,302	-0,16306	6,302	414,108	1663,7	0,017	1	
86	1	85	1216,3620	21,571	5,992	-0,31000	5,992	420,099	1663,7	0,017	1	
87	1	86	1169,3595	20,575	5,715	-0,27667	5,715	425,815	1663,7	0,017	1	
88	1	87	1185,1441	20,143	5,595	-0,12000	5,595	431,410	1663,7	0,017	1	
89	1	88	1139,7367	19,741	5,484	-0,11167	5,484	436,894	1663,7	0,017	1	
90	1	89	1060,0217	18,361	5,100	-0,38333	5,100	441,994	1663,7	0,017	1	
91	1	90	973,1912	16,889	4,691	-0,40889	4,691	446,685	1663,7	0,017	1	
92	1	91	886,9899	15,616	4,338	-0,35361	4,338	451,023	1663,7	0,017	1	
93	1	92	680,5796	13,751	3,820	-0,51806	3,820	454,843	1663,7	0,017	1	
94	1	93	885,8335	10,527	2,924	-0,89556	2,924	457,767	1663,7	0,017	1	
95	1	94	810,8577	7,666	2,129	-0,79472	2,129	459,896	1663,7	0,017	1	
96	1	95	771,2299	4,610	1,281	-0,84889	1,281	461,177	1663,7	0,017	1	
97	1	96	785,7398	3,058	0,849	-0,43111	0,849	462,026	1663,7	0,017	1	
98	1	97	795,6479	2,485	0,690	-0,15917	0,690	462,717	1663,7	0,017	1	
99	1	98	803,7283	1,454	0,404	-0,28639	0,404	463,121	1663,7	0,017	1	
100	1	99	756,7970	1,188	0,330	-0,07389	0,330	463,451	1663,7	0,017	1	
101	1	100	735,3234	1,161	0,323	-0,00750	0,323	463,773	1663,7	0,017	1	
102	1	101	777,6302	1,024	0,284	-0,03806	0,284	464,058	1663,7	0,017	1	
103	1	102	727,8113	1,321	0,367	0,08250	0,367	464,424	1663,7	0,017	1	1
104	1	103	791,7738	2,798	0,777	0,41028	0,777	465,202	1663,7	0,017	1	
105	1	104	854,4763	5,522	1,534	0,75667	1,534	466,736	1663,7	0,017	1	

## Anexo A-4. (Cont.)

106	1	105	922,3241	7,934	2,204	0,67000	2,204	468,939	1663,7	0,017	1
107	1	106	896,1155	8,127	2,258	0,05361	2,258	471,197	1663,7	0,017	1
108	1	107	991,5474	8,365	2,324	0,06611	2,324	473,521	1663,7	0,017	1
109	1	108	952,2343	9,473	2,631	0,30778	2,631	476,152	1663,7	0,017	1
110	1	109	783,7582	9,720	2,700	0,06861	2,700	478,852	1663,7	0,017	1
111	1	110	861,9772	9,822	2,728	0,02833	2,728	481,580	1663,7	0,017	1
112	1	111	997,1251	11,493	3,193	0,46417	3,193	484,773	1663,7	0,017	1
113	1	112	1297,1707	14,159	3,933	0,74056	3,933	488,706	1663,7	0,017	1
114	1	113	1361,2176	17,268	4,797	0,86361	4,797	493,503	1663,7	0,017	1
115	1	114	1025,3164	17,870	4,964	0,16722	4,964	498,466	1663,7	0,017	1
116	1	115	1029,3174	17,359	4,822	-0,14194	4,822	503,288	1663,7	0,017	1
117	1	116	1116,9538	18,128	5,036	0,21361	5,036	508,324	1663,7	0,017	1
118	1	117	1254,1841	20,284	5,634	0,59889	5,634	513,958	1663,7	0,017	1
119	1	118	1241,2351	22,143	6,151	0,51639	6,151	520,109	1663,7	0,017	1
120	1	119	1015,0566	22,530	6,258	0,10750	6,258	526,368	1663,7	0,017	1
121	1	120	1046,3766	23,044	6,401	0,14278	6,401	532,769	1663,7	0,017	1
122	1	121	1116,0765	24,349	6,764	0,36250	6,764	539,532	1663,7	0,017	1
123	1	122	1189,6808	25,963	7,212	0,44833	7,212	546,744	1663,7	0,017	1
124	1	123	1293,9713	28,159	7,822	0,61000	7,822	554,566	1663,7	0,017	1
125	1	124	1420,6780	30,687	8,524	0,70222	8,524	563,090	1663,7	0,017	1
126	1	125	1431,0121	32,439	9,011	0,48667	9,011	572,101	1663,7	0,017	1
127	1	126	1377,2186	31,888	8,858	-0,15306	8,858	580,959	1663,7	0,017	1
128	1	127	1373,9589	30,842	8,567	-0,29056	8,567	589,526	1663,7	0,017	1
129	1	128	1363,6849	30,500	8,472	-0,09500	8,472	597,998	1663,7	0,017	1
130	1	129	1388,2893	30,945	8,596	0,12361	8,596	606,594	1663,7	0,017	1
131	1	130	1414,2715	31,572	8,770	0,17417	8,770	615,364	1663,7	0,017	1
132	1	131	1382,7363	31,513	8,754	-0,01639	8,754	624,118	1663,7	0,017	1

## Anexo A-5. (Cont.)

133	1	132	1329,0328	30,494	8,471	-0,28306	8,471	632,588	1663,7	0,017	1
134	1	133	1268,1918	29,076	8,077	-0,39389	8,077	640,665	1663,7	0,017	1
135	1	134	1194,4757	27,581	7,661	-0,41528	7,661	648,326	1663,7	0,017	1
136	1	135	1104,2644	25,697	7,138	-0,52333	7,138	655,464	1663,7	0,017	1
137	1	136	960,3292	23,317	6,477	-0,66111	6,477	661,941	1663,7	0,017	1
138	1	137	795,9198	19,404	5,390	-1,08694	5,390	667,331	1663,7	0,017	1
139	1	138	776,1396	15,572	4,326	-1,06444	4,326	671,657	1663,7	0,017	1
140	1	139	784,2974	12,552	3,487	-0,83889	3,487	675,144	1663,7	0,017	1
141	1	140	783,5225	9,380	2,606	-0,88111	2,606	677,749	1663,7	0,017	1
142	1	141	787,7367	5,801	1,611	-0,99417	1,611	679,361	1663,7	0,017	1
143	1	142	792,9112	4,580	1,272	-0,33917	1,272	680,633	1663,7	0,017	1
144	1	143	798,4478	4,392	1,220	-0,05222	1,220	681,853	1663,7	0,017	1
145	1	144	800,3134	4,379	1,216	-0,00361	1,216	683,069	1663,7	0,017	1
146	1	145	798,4233	1,663	0,462	-0,75444	0,462	683,531	1663,7	0,017	1
147	1	146	802,4613	0,276	0,077	-0,38528	0,077	683,608	1663,7	0,017	1
148	1	147	797,8542	0,021	0,006	-0,07083	0,006	683,614	1663,7	0,017	1
149	1	148	797,8922	0,001	0,000	-0,00556	0,000	683,614	1663,7	0,017	1
150	1	149	801,7346	0,000	0,000	-0,00028	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
151	1	150	799,2007	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
152	1	151	795,5124	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
153	1	152	798,9909	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
154	1	153	799,2602	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
155	1	154	797,6932	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
156	1	155	803,1974	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
157	1	156	800,6193	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
158	1	157	755,4009	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2
159	1	158	681,5569	0,000	0,000	0,00000	0,000	683,614	1663,7	0,017	2

## Anexo A-6. (Cont.)

160	1	159	666,1418	1,866	0,518	0,51833	0,518	684,132	1663,7	0,017	2	1
161	1	160	861,7760	5,112	1,420	0,90167	1,420	685,552	1663,7	0,017	2	
162	1	161	1118,6929	8,666	2,407	0,98722	2,407	687,959	1663,7	0,017	2	
163	1	162	1056,3093	10,367	2,880	0,47250	2,880	690,839	1663,7	0,017	2	
164	1	163	859,5677	10,101	2,806	-0,07389	2,806	693,645	1663,7	0,017	2	
165	1	164	832,3356	10,220	2,839	0,03306	2,839	696,484	1663,7	0,017	2	1
166	1	165	1005,0599	11,536	3,204	0,36556	3,204	699,688	1663,7	0,017	2	
167	1	166	1195,0611	13,502	3,751	0,54611	3,751	703,439	1663,7	0,017	2	
168	1	167	1047,4538	15,290	4,247	0,49667	4,247	707,686	1663,7	0,017	2	
169	1	168	878,2423	14,931	4,148	-0,09972	4,148	711,834	1663,7	0,017	2	
170	1	169	838,2400	14,263	3,962	-0,18556	3,962	715,796	1663,7	0,017	2	
171	1	170	912,9137	14,820	4,117	0,15472	4,117	719,912	1663,7	0,017	2	1
172	1	171	918,3091	15,513	4,309	0,19250	4,309	724,221	1663,7	0,017	2	
173	1	172	855,0737	15,242	4,234	-0,07528	4,234	728,455	1663,7	0,017	2	
174	1	173	739,5102	13,301	3,695	-0,53917	3,695	732,150	1663,7	0,017	2	
175	1	174	805,9596	10,058	2,794	-0,90083	2,794	734,944	1663,7	0,017	2	
176	1	175	800,6574	6,801	1,889	-0,90472	1,889	736,833	1663,7	0,017	2	
177	1	176	788,3701	4,418	1,227	-0,66194	1,227	738,060	1663,7	0,017	2	
178	1	177	795,0412	3,151	0,875	-0,35194	0,875	738,936	1663,7	0,017	2	
179	1	178	798,0199	2,868	0,797	-0,07861	0,797	739,732	1663,7	0,017	2	
180	1	179	754,6093	2,848	0,791	-0,00556	0,791	740,523	1663,7	0,017	2	
181	1	180	737,8545	2,017	0,560	-0,23083	0,560	741,084	1663,7	0,017	2	
182	1	181	757,1652	2,505	0,696	0,13556	0,696	741,779	1663,7	0,017	2	1
183	1	182	891,4862	5,234	1,454	0,75806	1,454	743,233	1663,7	0,017	2	
184	1	183	1148,8116	8,641	2,400	0,94639	2,400	745,634	1663,7	0,017	2	
185	1	184	1100,0603	11,111	3,086	0,68611	3,086	748,720	1663,7	0,017	2	
186	1	185	845,6789	12,191	3,386	0,30000	3,386	752,106	1663,7	0,017	2	

## Anexo A-7. (Cont.)

187	1	186	856,2868	13,396	3,721	0,33472	3,721	755,828	1663,7	0,017	2
188	1	187	1012,5935	15,611	4,336	0,61528	4,336	760,164	1663,7	0,017	2
189	1	188	1177,2338	18,265	5,074	0,73722	5,074	765,238	1663,7	0,017	2
190	1	189	1343,3131	21,431	5,953	0,87944	5,953	771,191	1663,7	0,017	2
191	1	190	1103,6561	23,461	6,517	0,56389	6,517	777,708	1663,7	0,017	2
192	1	191	1023,8418	23,664	6,573	0,05639	6,573	784,281	1663,7	0,017	2
193	1	192	994,4382	23,034	6,398	-0,17500	6,398	790,679	1663,7	0,017	2
194	1	193	952,8350	21,974	6,104	-0,29444	6,104	796,783	1663,7	0,017	2
195	1	194	852,3184	20,404	5,668	-0,43611	5,668	802,451	1663,7	0,017	2
196	1	195	758,4042	17,668	4,908	-0,76000	4,908	807,359	1663,7	0,017	2
197	1	196	749,5712	15,781	4,384	-0,52417	4,384	811,742	1663,7	0,017	2
198	1	197	824,2786	13,258	3,683	-0,70083	3,683	815,425	1663,7	0,017	2
199	1	198	796,3697	10,462	2,906	-0,77667	2,906	818,331	1663,7	0,017	2
200	1	199	782,6185	7,242	2,012	-0,89444	2,012	820,343	1663,7	0,017	2
201	1	200	789,5223	5,075	1,410	-0,60194	1,410	821,753	1663,7	0,017	2
202	1	201	791,0998	3,094	0,859	-0,55028	0,859	822,612	1663,7	0,017	2
203	1	202	794,1164	2,391	0,664	-0,19528	0,664	823,276	1663,7	0,017	2
204	1	203	796,6203	2,327	0,646	-0,01778	0,646	823,923	1663,7	0,017	2
205	1	204	800,9537	2,324	0,646	-0,00083	0,646	824,568	1663,7	0,017	2
206	1	205	798,5592	0,757	0,210	-0,43528	0,210	824,778	1663,7	0,017	2
207	1	206	803,0120	0,058	0,016	-0,19417	0,016	824,794	1663,7	0,017	2
208	1	207	799,5485	0,004	0,001	-0,01500	0,001	824,796	1663,7	0,017	2
209	1	208	796,9239	0,000	0,000	-0,00111	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
210	1	209	801,0631	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
211	1	210	801,7637	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
212	1	211	799,2261	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
213	1	212	801,4826	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3

## Anexo A-8. (Cont.)

214	1	213	798,3117	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
215	1	214	797,5654	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
216	1	215	799,2400	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
217	1	216	800,7216	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
218	1	217	799,0112	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
219	1	218	801,1989	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
220	1	219	797,8585	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
221	1	220	795,7877	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
222	1	221	797,5804	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
223	1	222	797,6822	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
224	1	223	798,2379	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
225	1	224	800,7727	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
226	1	225	799,4371	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
227	1	226	798,0325	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
228	1	227	801,9727	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
229	1	228	795,4939	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
230	1	229	798,4535	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
231	1	230	802,4273	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
232	1	231	799,5358	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
233	1	232	798,2531	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
234	1	233	801,4019	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
235	1	234	798,8551	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
236	1	235	799,5564	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
237	1	236	803,3837	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
238	1	237	808,0383	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
239	1	238	808,9204	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
240	1	239	805,7706	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3

## Anexo A-9. (Cont.)

241	1	240	803,5512	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
242	1	241	803,1250	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
243	1	242	800,8313	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
244	1	243	803,6249	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
245	1	244	805,5067	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
246	1	245	798,4058	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
247	1	246	798,9160	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
248	1	247	801,2500	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
249	1	248	799,4763	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
250	1	249	801,8728	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
251	1	250	801,9784	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
252	1	251	799,7936	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
253	1	252	801,5325	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
254	1	253	800,4723	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
255	1	254	798,7254	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
256	1	255	800,4132	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
257	1	256	801,6588	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
258	1	257	801,8290	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
259	1	258	801,9535	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
260	1	259	799,5776	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
261	1	260	799,1340	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
262	1	261	800,9917	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
263	1	262	800,7382	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
264	1	263	797,4129	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
265	1	264	799,6009	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
266	1	265	800,2319	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3
267	1	266	801,1198	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3

## Anexo A-10. (Cont.)

268	1	267	801,8402	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
269	1	268	800,9668	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
270	1	269	799,7133	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
271	1	270	802,4535	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
272	1	271	797,3161	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
273	1	272	797,4965	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
274	1	273	800,7500	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
275	1	274	800,5243	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
276	1	275	799,3267	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
277	1	276	800,4925	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
278	1	277	802,1230	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
279	1	278	804,9773	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
280	1	279	789,0397	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
281	1	280	785,6070	0,000	0,000	0,00000	0,000	824,796	1663,7	0,017	3	
282	1	281	728,7028	1,477	0,410	0,41028	0,410	825,206	1663,7	0,017	3	1
283	1	282	835,6427	4,846	1,346	0,93583	1,346	826,552	1663,7	0,017	3	
284	1	283	1149,1346	8,756	2,432	1,08611	2,432	828,984	1663,7	0,017	3	

**Anexo B. RDC**

Microviaje	Tiempo CDC	Viaje	Tiempo trip [s]	RPM	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	Distancia [m]	Distancia acum. [m]	Altitud [msnm]	Pendiente
75	1	4	567	553,352	0,00	0,00	-0,0006	0,000	4113,096	1657,7	-0,02629
75	2	4	568	639,247	3,17	0,88	0,8811	0,881	4113,977	1657,7	-0,02629
75	3	4	569	998,865	6,85	1,90	1,0222	1,903	4115,880	1657,7	-0,02629
75	4	4	570	1395,369	10,91	3,03	1,1283	3,032	4118,912	1657,7	-0,02629
75	5	4	571	1207,992	13,28	3,69	0,6564	3,688	4122,600	1657,7	-0,02629
75	6	4	572	1211,408	14,01	3,89	0,2022	3,890	4126,490	1657,2	-0,02795
75	7	4	573	1416,387	15,84	4,40	0,5083	4,399	4130,889	1657,2	-0,02795
75	8	4	574	1236,305	18,52	5,14	0,7458	5,144	4136,033	1657,2	-0,02795
75	9	4	575	1153,518	19,21	5,34	0,1922	5,337	4141,370	1657,2	-0,02795
75	10	4	576	1239,395	20,30	5,64	0,3022	5,639	4147,009	1657,2	-0,02795
75	11	4	577	1369,535	22,61	6,28	0,6406	6,279	4153,288	1657,2	-0,02795
75	12	4	578	1103,719	23,91	6,64	0,3631	6,643	4159,931	1657,2	-0,02795
75	13	4	579	1142,403	24,72	6,87	0,2253	6,868	4166,799	1657,2	-0,02795
75	14	4	580	1260,967	27,09	7,53	0,6581	7,526	4174,324	1656,4	-0,03920
75	15	4	581	1335,013	29,17	8,10	0,5764	8,102	4182,427	1656,4	-0,03920
75	16	4	582	1035,678	30,07	8,35	0,2508	8,353	4190,780	1656,4	-0,03920
75	17	4	583	962,059	30,58	8,50	0,1419	8,495	4199,275	1656,4	-0,03920
75	18	4	584	1011,533	31,45	8,74	0,2406	8,736	4208,010	1656,4	-0,03920
75	19	4	585	1112,764	33,49	9,30	0,5669	9,303	4217,313	1655,6	-0,00667
75	20	4	586	1194,920	36,23	10,06	0,7617	10,064	4227,377	1655,6	-0,00667
75	21	4	587	1274,981	38,86	10,79	0,7289	10,793	4238,170	1655,6	-0,00667
75	22	4	588	1357,701	41,57	11,55	0,7547	11,548	4249,718	1655,5	-0,00681
75	23	4	589	1396,230	43,53	12,09	0,5442	12,092	4261,810	1655,5	-0,00681
75	24	4	590	1082,619	44,33	12,31	0,2208	12,313	4274,123	1655,4	-0,03202
75	25	4	591	1038,103	44,75	12,43	0,1178	12,431	4286,553	1655,4	-0,03202

## Anexo B-1. (Cont.)

75	26	4	592	1067,043	45,88	12,74	0,3142	12,745	4299,298	1655,4	-0,03202
75	27	4	593	1087,870	46,37	12,88	0,1364	12,881	4312,179	1654,5	-0,02136
75	28	4	594	1085,329	46,81	13,00	0,1217	13,003	4325,182	1654,5	-0,02136
75	29	4	595	1107,699	47,57	13,21	0,2097	13,213	4338,394	1654,5	-0,02136
75	30	4	596	1137,899	48,74	13,54	0,3261	13,539	4351,933	1654,5	-0,02136
75	31	4	597	1175,121	50,24	13,96	0,4175	13,956	4365,889	1653,9	-0,02214
75	32	4	598	1156,248	50,85	14,13	0,1692	14,125	4380,014	1653,9	-0,02214
75	33	4	599	1127,032	49,93	13,87	-0,2564	13,869	4393,883	1653,9	-0,02214
75	34	4	600	1059,746	47,09	13,08	-0,7878	13,081	4406,964	1653,4	-0,02188
75	35	4	601	986,444	43,78	12,16	-0,9203	12,161	4419,125	1653,4	-0,02188
75	36	4	602	937,315	41,38	11,50	-0,6658	11,495	4430,620	1653,4	-0,02188
75	37	4	603	907,284	39,80	11,05	-0,4403	11,055	4441,675	1653,4	-0,02188
75	38	4	604	894,440	38,95	10,82	-0,2353	10,819	4452,494	1652,9	-0,02235
75	39	4	605	887,769	38,52	10,70	-0,1208	10,699	4463,193	1652,9	-0,02235
75	40	4	606	883,194	38,23	10,62	-0,0800	10,619	4473,811	1652,9	-0,02235
75	41	4	607	876,536	37,98	10,55	-0,0678	10,551	4484,362	1652,4	-0,02091
75	42	4	608	863,665	37,70	10,47	-0,0800	10,471	4494,833	1652,4	-0,02091
75	43	4	609	838,787	36,88	10,25	-0,2256	10,245	4505,078	1652,4	-0,02091
75	44	4	610	806,955	35,46	9,85	-0,3953	9,850	4514,928	1652,4	-0,02091
75	45	4	611	787,713	34,27	9,52	-0,3306	9,519	4524,448	1651,9	-0,02080
75	46	4	612	733,791	32,59	9,05	-0,4661	9,053	4533,501	1651,9	-0,02080
75	47	4	613	840,007	29,62	8,23	-0,8258	8,228	4541,729	1651,9	-0,02080
75	48	4	614	806,939	26,61	7,39	-0,8367	7,391	4549,119	1651,9	-0,02080
75	49	4	615	788,864	23,33	6,48	-0,9114	6,479	4555,599	1651,9	-0,02080
75	50	4	616	795,614	19,33	5,37	-1,1100	5,369	4560,968	1651,9	-0,02080
75	51	4	617	797,893	15,65	4,35	-1,0222	4,347	4565,316	1651,9	-0,02080
75	52	4	618	809,582	12,80	3,56	-0,7911	3,556	4568,872	1651,3	-0,02103

## Anexo B-2. (Cont.)

75	53	4	619	802,400	10,94	3,04	-0,5172	3,039	4571,911	1651,3	-0,02103
75	54	4	620	802,708	8,94	2,48	-0,5569	2,482	4574,393	1651,3	-0,02103
75	55	4	621	801,495	7,14	1,98	-0,4981	1,984	4576,376	1651,3	-0,02103
75	56	4	622	767,916	6,72	1,87	-0,1169	1,867	4578,243	1651,3	-0,02103
75	57	4	623	773,405	6,96	1,93	0,0658	1,933	4580,176	1651,3	-0,02103
75	58	4	624	782,782	7,18	1,99	0,0619	1,995	4582,171	1651,3	-0,02103
75	59	4	625	863,842	7,43	2,06	0,0694	2,064	4584,235	1651,3	-0,02103
75	60	4	626	958,932	7,69	2,14	0,0728	2,137	4586,372	1651,3	-0,02103
75	61	4	627	1275,692	9,35	2,60	0,4600	2,597	4588,969	1651,3	-0,02103
75	62	4	628	1415,628	12,51	3,47	0,8778	3,475	4592,444	1651,3	-0,02103
75	63	4	629	1184,445	13,92	3,87	0,3908	3,866	4596,309	1651,3	-0,02103
75	64	4	630	1183,867	14,10	3,92	0,0519	3,918	4600,227	1651,3	-0,02103
75	65	4	631	1347,824	15,50	4,31	0,3886	4,306	4604,533	1651,3	-0,02103
75	66	4	632	1426,264	17,74	4,93	0,6211	4,927	4609,460	1651,3	-0,02103
75	67	4	633	1243,576	19,08	5,30	0,3736	5,301	4614,761	1650,8	-0,02117
75	68	4	634	1275,784	20,44	5,68	0,3775	5,678	4620,439	1650,8	-0,02117
75	69	4	635	1440,349	23,19	6,44	0,7619	6,440	4626,879	1650,8	-0,02117
75	70	4	636	1335,342	25,38	7,05	0,6100	7,050	4633,930	1650,8	-0,02117
75	71	4	637	1199,709	26,12	7,26	0,2061	7,256	4641,186	1650,8	-0,02117
75	72	4	638	1239,642	26,87	7,47	0,2086	7,465	4648,651	1650,8	-0,02117
75	73	4	639	1376,105	29,09	8,08	0,6147	8,080	4656,731	1650,8	-0,02117
75	74	4	640	1496,337	32,63	9,06	0,9847	9,064	4665,795	1650,2	-0,02307
75	75	4	641	1288,649	34,45	9,57	0,5047	9,569	4675,364	1650,2	-0,02307
75	76	4	642	1157,620	35,08	9,74	0,1739	9,743	4685,108	1650,2	-0,02307
75	77	4	643	1174,184	36,26	10,07	0,3278	10,071	4695,178	1650,2	-0,02307
75	78	4	644	1247,439	38,08	10,58	0,5067	10,578	4705,756	1650,2	-0,02307
75	79	4	645	1350,201	40,68	11,30	0,7214	11,299	4717,055	1650,2	-0,02307

## Anexo B-3. (Cont.)

75	80	4	646	1392,794	43,64	12,12	0,8219	12,121	4729,176	1649,2	-0,02214
75	81	4	647	1427,734	44,65	12,40	0,2822	12,403	4741,579	1649,2	-0,02214
75	82	4	648	1407,191	44,36	12,32	-0,0803	12,323	4753,901	1649,2	-0,02214
75	83	4	649	1387,335	43,81	12,17	-0,1539	12,169	4766,070	1649,2	-0,02214
75	84	4	650	1364,159	43,22	12,00	-0,1642	12,005	4778,075	1649,2	-0,02214
75	85	4	651	1310,779	42,17	11,71	-0,2911	11,714	4789,789	1648,7	-0,02795
75	86	4	652	1223,651	39,66	11,02	-0,6967	11,017	4800,806	1648,7	-0,02795
75	87	4	653	1133,440	36,74	10,21	-0,8119	10,205	4811,011	1648,7	-0,02795
75	88	4	654	984,884	34,12	9,48	-0,7286	9,476	4820,487	1648,7	-0,02795
75	89	4	655	825,732	31,51	8,75	-0,7239	8,753	4829,239	1648	-0,02634
75	90	4	656	791,924	29,06	8,07	-0,6808	8,072	4837,311	1648	-0,02634
75	91	4	657	796,823	25,28	7,02	-1,0508	7,021	4844,332	1648	-0,02634
75	92	4	658	798,499	20,26	5,63	-1,3942	5,627	4849,959	1648	-0,02634
75	93	4	659	799,267	16,58	4,61	-1,0208	4,606	4854,564	1648	-0,02634
75	94	4	660	794,758	13,34	3,70	-0,9011	3,705	4858,269	1648	-0,02634
75	95	4	661	797,551	10,89	3,02	-0,6811	3,024	4861,293	1648	-0,02634
75	96	4	662	795,003	8,54	2,37	-0,6528	2,371	4863,664	1648	-0,02634
75	97	4	663	792,949	6,14	1,71	-0,6647	1,706	4865,370	1648	-0,02634
75	98	4	664	795,152	4,01	1,11	-0,5933	1,113	4866,483	1648	-0,02634
75	99	4	665	801,015	2,36	0,65	-0,4581	0,655	4867,137	1648	-0,02634
75	100	4	666	798,075	1,71	0,48	-0,1794	0,475	4867,613	1647,3	-0,03519
75	101	4	667	800,047	1,61	0,45	-0,0283	0,447	4868,059	1647,3	-0,03519
75	102	4	668	801,961	1,60	0,45	-0,0019	0,445	4868,504	1647,3	-0,03519
75	103	4	669	799,496	0,84	0,23	-0,2114	0,234	4868,738	1647,3	-0,03519
75	104	4	670	797,601	0,17	0,05	-0,1872	0,046	4868,784	1647,3	-0,03519
75	105	4	671	800,068	0,01	0,00	-0,0450	0,001	4868,786	1647,3	-0,03519
171	106	7	5641	797,643	0,00	0,00	-0,0031	0,000	63650,004	1600,9	0,01305

## Anexo B-4. (Cont.)

171	107	7	5642	794,451	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	108	7	5643	798,185	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	109	7	5644	798,484	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	110	7	5645	800,262	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	111	7	5646	801,439	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	112	7	5647	800,736	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	113	7	5648	799,391	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	114	7	5649	801,372	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	115	7	5650	797,430	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	116	7	5651	801,160	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	117	7	5652	800,866	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	118	7	5653	800,939	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	119	7	5654	799,367	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	120	7	5655	803,151	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	121	7	5656	798,039	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	122	7	5657	799,404	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	123	7	5658	799,702	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	124	7	5659	799,940	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	125	7	5660	799,768	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	126	7	5661	802,031	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	127	7	5662	796,336	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	128	7	5663	799,569	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	129	7	5664	799,544	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	130	7	5665	800,480	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	131	7	5666	801,964	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	132	7	5667	802,011	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	133	7	5668	798,537	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305

## Anexo B-5. (Cont.)

171	134	7	5669	797,270	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	135	7	5670	785,190	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	136	7	5671	764,990	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	137	7	5672	740,804	0,00	0,00	0,0000	0,000	63650,004	1600,9	0,01305
171	138	7	5673	859,622	0,36	0,10	0,1011	0,101	63650,106	1600,9	0,01305
171	139	7	5674	643,133	2,49	0,69	0,5897	0,691	63650,796	1600,9	0,01305
171	140	7	5675	906,185	6,11	1,70	1,0061	1,697	63652,493	1600,9	0,01305
171	141	7	5676	1205,188	9,77	2,71	1,0164	2,713	63655,207	1600,9	0,01305
171	142	7	5677	1103,611	11,97	3,33	0,6125	3,326	63658,533	1600,9	0,01305
171	143	7	5678	865,532	12,26	3,41	0,0806	3,406	63661,939	1600,9	0,01305
171	144	7	5679	757,447	12,56	3,49	0,0825	3,489	63665,428	1600,9	0,01305
171	145	7	5680	864,761	13,92	3,87	0,3764	3,865	63669,293	1600,9	0,01305
171	146	7	5681	1012,680	16,15	4,49	0,6219	4,487	63673,780	1600,9	0,01305
171	147	7	5682	1184,922	18,78	5,22	0,7281	5,215	63678,996	1600,9	0,01305
171	148	7	5683	1374,245	21,68	6,02	0,8058	6,021	63685,017	1601,2	0,01159
171	149	7	5684	1415,386	24,99	6,94	0,9192	6,940	63691,957	1601,2	0,01159
171	150	7	5685	1143,313	26,01	7,22	0,2836	7,224	63699,181	1601,2	0,01159
171	151	7	5686	1263,927	27,47	7,63	0,4067	7,631	63706,811	1601,2	0,01159
171	152	7	5687	1394,743	30,00	8,33	0,7039	8,334	63715,146	1601,2	0,01159
171	153	7	5688	1496,877	33,01	9,17	0,8350	9,169	63724,315	1601,2	0,01159
171	154	7	5689	1361,470	35,01	9,73	0,5564	9,726	63734,041	1601,2	0,01159
171	155	7	5690	1132,648	35,54	9,87	0,1461	9,872	63743,913	1601,8	0,01372
171	156	7	5691	1189,664	36,60	10,17	0,2947	10,167	63754,080	1601,8	0,01372
171	157	7	5692	1238,123	38,22	10,62	0,4486	10,615	63764,695	1601,8	0,01372
171	158	7	5693	1315,498	40,40	11,22	0,6078	11,223	63775,918	1601,8	0,01372
171	159	7	5694	1404,961	43,16	11,99	0,7650	11,988	63787,906	1601,8	0,01372
171	160	7	5695	1477,888	46,03	12,79	0,7983	12,786	63800,693	1602	0,00975

## Anexo B-6. (Cont.)

171	161	7	5696	1279,073	47,58	13,22	0,4308	13,217	63813,910	1602	0,00975
171	162	7	5697	1127,337	48,21	13,39	0,1744	13,392	63827,301	1602	0,00975
171	163	7	5698	1151,034	49,35	13,71	0,3156	13,707	63841,009	1602,4	0,01381
171	164	7	5699	1192,734	50,91	14,14	0,4347	14,142	63855,151	1602,4	0,01381
171	165	7	5700	1235,891	52,77	14,66	0,5175	14,659	63869,810	1602,4	0,01381
171	166	7	5701	1294,260	54,91	15,25	0,5939	15,253	63885,063	1602,7	0,01109
171	167	7	5702	1364,548	57,93	16,09	0,8372	16,091	63901,154	1602,7	0,01109
171	168	7	5703	1420,878	60,61	16,84	0,7453	16,836	63917,990	1602,7	0,01109
171	169	7	5704	1478,420	62,94	17,48	0,6475	17,483	63935,473	1603	0,01064
171	170	7	5705	1497,463	64,43	17,90	0,4150	17,898	63953,371	1603	0,01064
171	171	7	5706	1501,357	64,27	17,85	-0,0456	17,853	63971,224	1603	0,01064
171	172	7	5707	1497,045	63,87	17,74	-0,1117	17,741	63988,965	1603,2	0,00882
171	173	7	5708	1504,999	64,47	17,91	0,1681	17,909	64006,874	1603,2	0,00882
171	174	7	5709	1524,769	65,50	18,19	0,2844	18,194	64025,068	1603,6	0,01375