



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE TESIS EN INGENIERÍA

“ACTUALIZACIÓN DE LOS CICLOS DE MANEJO EN EL VALLE DE  
MÉXICO PARA VEHÍCULOS LIGEROS”

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

MECÁNICA - TERMOFLUIDOS

PRESENTAN

**HERNÁNDEZ ALCOCER PEDRO JAIR  
SÁNCHEZ CORTÉS EVER ISMAEL  
SANDOVAL MÁRQUEZ JUAN CARLOS**

TUTOR:

**DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA**

---

---

2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR. ROGELIO SOTO AYALA  
Vocal: DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA  
Secretario: M.I. PEDRO IGNACIO RINCÓN GÓMEZ  
1er. suplente: M.I. FRANCISCO GONZÁLEZ PINEDA  
2do. suplente: M.I. JOSE FERNANDO GARCÍA PUERTOS

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

**C.U. UNAM MEXICO, D.F.**

TUTOR DE TESIS:

DR. GONZALEZ OROPEZA ROGELIO

---

FIRMA

# ACTUALIZACIÓN DE LOS CICLOS DE MANEJO EN EL VALLE DE MÉXICO PARA VEHÍCULOS LIGEROS

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>Capítulo 1. Ciclos de Manejo en el Mundo</b> .....	12
1.1 <i>Ciclos de manejo representativos a nivel mundial</i> .....	12
1.2 <i>Algunas normas de emisiones contaminantes relacionadas con los ciclos de manejo</i> .....	18
<b>Capítulo 2. Metodología para el Desarrollo de los Ciclos de Manejo</b> .....	27
2.1 <i>Muestra representativa del parque vehicular del Valle de México</i> .....	27
2.2 <i>Sistema de Adquisición de Datos (CYCLE-DAQ)</i> .....	33
2.3 <i>Depuración de datos mediante el uso de MATLAB</i> .....	40
2.4 <i>Selección de rutas y muestreos en campo</i> .....	50
<b>Capítulo 3. Manejo Estadístico de Datos</b> .....	53
3.1 <i>Sistematización de la información</i> .....	53
3.2 <i>Secuencias cinemáticas típicas más representativas</i> .....	55
3.3 <i>Obtención de los preciclos</i> .....	59
3.4 <i>Obtención de los ciclos de manejo para vehículos ligeros</i> .....	62

<b>Capítulo 4. Uso del Ciclo de Manejo mediante un simulador de vehículos .</b>	<b>65</b>
4.1 <i>Comparación entre los ciclos de los años 1999 y 2013, a través del modelador <b>GT Power</b>.</i> .....	65
4.2. <i>Simulador de vehículos <b>Advisor</b>.</i> .....	69
4.3. <i>Introducción del nuevo ciclo de manejo.</i> .....	72
<b>Resultados</b> .....	<b>76</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>87</b>
<b>Bibliografía y referencias</b> .....	<b>89</b>

## **OBJETIVO GENERAL**

Actualizar los ciclos de manejo en el Valle de México, para vehículos ligeros utilizando condiciones reales de conducción en vías primarias, secundarias y autopistas.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Obtener una muestra representativa de los vehículos ligeros que transitan dentro del Valle de México.
2. Reseñar las normativas nacionales e internacionales sobre vehículos ligeros.
3. Monitorear las condiciones reales de conducción de los vehículos de prueba con el apoyo de un sistema de adquisición de datos.
4. Evaluar los parámetros monitoreados, para establecer relaciones promedio congruentes, que permitan una visión clara de las trayectorias, su duración, las condiciones de la puesta en marcha del vehículo, la distancia recorrida, el tiempo en que el vehículo se encuentra detenido, entre otros.
5. Simular, mediante un software especializado, un vehículo que cumpla las condiciones del ciclo de manejo obtenido.

## INTRODUCCIÓN

El uso del automóvil en la actualidad, genera problemas viales y de contaminación ambiental. En el caso particular de la Zona Metropolitana del Valle de México (**ZMVM**), el alto consumo de combustibles, las condiciones geográficas y meteorológicas que impiden la dispersión de los contaminantes, la falta de organización de asentamientos urbanos y de sistemas de transporte, así como el crecimiento del parque vehicular en los últimos años, ha provocado que los vehículos sean una de las fuentes principales de contaminantes.

En el sector transporte, se considera que existen factores que afectan las emisiones de los contaminantes. Dichos factores están relacionados con el flujo vehicular de alguna zona o población. Dentro de estos factores podemos enunciar los siguientes:

1. Crecimiento de la población.
2. Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad.  
Vehículos de diferentes dimensiones, tecnología, velocidades y características de aceleración.
3. Falta de planificación en el tránsito.  
Calles, puentes y carreteras que son construidas con especificaciones anticuadas.  
Poca previsión para estacionamientos.  
Calles angostas, con múltiples desviaciones y pendientes pronunciadas.
4. El automóvil no considerado como una necesidad pública.  
Legislación y reglamentos de tránsito enfocados a mejorar la vialidad y no a las necesidades del usuario.  
Falta de educación vial de conductores y peatones.

Con esto, podemos afirmar que, en función de la vialidad que se tenga en la ciudad, se generan mayor o menor cantidad de emisiones a la atmósfera. Entonces, cabe hacer la siguiente pregunta, ¿cuál es la forma particular de conducir en la ciudad? Respondiendo a ésta, se puede determinar de manera más cercana, la cantidad de emisiones contaminantes que el sector transporte arroja a la atmósfera.

## ¿Qué es un ciclo de manejo?

Para ser más puntuales al momento de contestar la pregunta anterior, debemos considerar una clasificación de los diversos tipos de vehículos que circulan en la ciudad, con base a su peso bruto vehicular y a su uso. Para este trabajo hemos enfocado nuestro análisis en los **vehículos ligeros** puesto que representan la categoría más numerosa en toda la **ZMVM**.

Diversas organizaciones, en colaboración con empresas automotrices, han establecido procedimientos y pruebas para determinar estas emisiones. Las pruebas se realizan en un dinamómetro de chasis, donde se le aplica una cierta carga de camino a un vehículo, el cual debe de seguir un ciclo de manejo.

El ciclo de manejo es un perfil de velocidades trazado en un plano velocidad-tiempo que simula el desplazamiento habitual del vehículo en la ciudad y/o autopista. Estas pruebas toman en cuenta la tecnología del vehículo, condiciones climáticas y geográficas (altitud, latitud y longitud), características del tráfico y de las carreteras, así como las características de manejo propias del conductor entre otras.

El dinamómetro de chasis y el dinamómetro de banco, son dispositivos que pueden medir la potencia que el vehículo o el motor, según sea el caso, puede desarrollar bajo diferentes condiciones de trabajo. Para el funcionamiento del dinamómetro de chasis, se colocan las ruedas del vehículo sobre rodillos que pueden, o no, tener cargas regulables, o se puede acoplar solamente el motor a un dinamómetro de banco.

Así que, si se sigue un ciclo de manejo en un dinamómetro de chasis, se pueden cuantificar las emisiones contaminantes sin necesidad de tener instrumentación portátil y con esto, establecer estrategias para reducir o controlar dichas emisiones.

Las emisiones del motor del vehículo son una mezcla de nitrógeno (**N<sub>2</sub>**), dióxido de carbono (**CO<sub>2</sub>**), monóxido de carbono (**CO**), oxígeno (**O<sub>2</sub>**), hidrocarburos (**HC**), óxidos de nitrógeno (**NO<sub>x</sub>**) y otros gases.

Otras funciones de un ciclo de manejo son planear adecuadamente el desarrollo de ciudades, desarrollar tecnología para los nuevos automóviles y validar nuevos modelos que puedan predecir el comportamiento de los vehículos en la vía pública.



## **Vehículos ligeros.**

Como ya se mencionó, en este estudio se trabajó con vehículos ligeros, por lo tanto, vale la pena definir qué se quiere decir con vehículo ligero. Se considera un vehículo ligero a cualquier automóvil o camioneta que cumpla con las siguientes características:

- Vehículo con 4 llantas.
- Motor de 4, 6, 8 o 12 cilindros.
- Destinado al transporte de personas (de manera particular o para dar algún servicio público) o al transporte de mercancía menor a 2 toneladas.
- El peso bruto va de 820 a 3857 kg.
- Distancia entre ejes de 2475 a 3000 mm.

Cumpliendo estas características tenemos a los automóviles compactos, subcompactos, de lujo y deportivos, además, los denominados camiones ligeros como son las Minivan, Van, Pick Up, SUV y Crossover. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (**INEGI**), hasta el 2012, los vehículos ligeros representaban el 67.44% del total del parque vehicular del país.

## **Ciclos de manejo en México para vehículos ligeros.**

México utiliza como base principalmente ciclos y normas de Estados Unidos (**EE.UU.**), lo cual, no es del todo correcto dado que se hacen a un lado características importantes de nuestra zona y de nuestra forma de conducir.

Como antecedente de un estudio mexicano, existe lo hecho años atrás por el grupo de trabajo del Laboratorio de Control de Emisiones (**LCE**) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma México (**UNAM**), el cual, desarrolló 5 ciclos de manejo que corresponden a 5 zonas (Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste y Sureste) del área Metropolitana del Valle de México.

Sabiendo la importancia de contar con un ciclo de manejo para el área Metropolitana del Valle de México, el grupo de trabajo del **LCE**, propuso en 1998 al Gobierno del Distrito Federal, el desarrollo de ciclos de manejo de motocicletas y de vehículos ligeros, dicha propuesta fue aceptada y puesta en marcha instrumentando un vehículo, en el cual, se monitoreaban diversos parámetros. Toda la información fue recolectada mediante un sistema de adquisición de datos a bordo (**SADAB**), desarrollado en el mismo laboratorio.

## Categorización de vialidades.

Cada ciclo de manejo obtiene la categorización de sus vías de acuerdo a las condiciones que se presentan en la ciudad o ciudades en donde se realizan las pruebas. Por ejemplo, en la **Tabla 0.1** se muestra la categorización del proyecto **ARTEMIS** (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory System).

Tipos	Subcategoría	% del kilometraje total	Velocidad máxima [Km/h]	Velocidad promedio [Km/h]	Tiempo en alto total [%]	Aceleración promedio [m/s <sup>2</sup> ]
Urbana congestionada	Tiempo en alto elevado	3.7	25.9	10.2	60.8	0.87
		5.9	23.6	15.9	32.7	0.81
	Tiempo en alto escaso	2.4	16.5	13.2	19.5	0.67
Urbana de flujo libre		5.1	28.0	26.1	6.7	0.65
	Velocidades variables	12.2	35.6	32.2	9.1	0.81
Vías secundarias	Velocidades variables	10.8	52.2	48.8	6.6	0.75
		8.8	45.5	43.8	3.7	0.63
	Velocidades constantes	7.2	65.0	64.0	1.5	0.55
Vías principales	Velocidades variables	11.8	75.0	72.5	3.3	0.67
		6.2	86.1	85.7	0.4	0.48
Autopista	Velocidades variables	10.4	115.6	114.9	0.7	0.53
		15.6	123.8	123.7	0.1	0.40

**Tabla 0.1.- Vías para el proyecto ARTEMIS.**

Para este trabajo se tomó en cuenta una clasificación que sólo cuenta con 3 tipos de vías.

1. **Vías primarias:** Son las vías que por sus características geométricas y su capacidad para mover grandes volúmenes de tránsito, enlazan y articulan gran cantidad de viajes-persona-día. Estas vialidades complementan la estructura de la red vial primaria y se caracterizan por su continuidad y sección transversal constante. El flujo puede o no estar controlado por semáforos y puede tener carriles confinados. Ejemplos de estas son Periférico, Insurgentes, Circuito Interior, Tlalpan, Viaducto y los denominados Ejes.
2. **Vías secundarias:** Espacio físico cuya función es facilitar el flujo del tránsito vehicular no continuo, generalmente sin señalizaciones y con uno o doble sentido. Entran en esta categoría las calles, callejones y avenidas con flujo vehicular moderado.
3. **Autopistas:** Carreteras a las afueras de la ciudad con calzadas separadas para los dos sentidos de la circulación, cada una de ellas con dos o más carriles, sin cruces a nivel.

Al inicio del trabajo se optó por considerar una clasificación de vía urbana, semiurbana y autopista, a tal grado que los nombres de los muestreos mantuvieron una acotación referente a dicha clasificación. Sin embargo, el equipo de trabajo se percató de que las zonas semiurbanas dentro del Valle de México son muy escasas dada la urbanización generada en las últimas décadas, por lo que no resultaba nada representativo dicha categoría. De este modo, se determinó por utilizar la categorización primaria, secundaria y autopista.

### **Velocidad media en distintas ciudades del mundo.**

En la **Tabla 0.2** se muestra un comparativo de las ciudades con su velocidad media. Cabe mencionar que gran parte de la información difiere en la metodología que se usó para obtener la velocidad; unos realizaron lecturas por varios días, otros se enfocaron a un lugar clave y un par de datos se basaron sólo en encuestas. A pesar de todas estas diferencias en la obtención de las velocidades, lo cual, sucede también con la forma de adquirir datos en los ciclos de manejo existentes, es posible darnos cuenta de cómo está ubicado nuestro país con respecto a otras grandes urbes.

<b>Ciudad, País</b>	<b>Velocidad media [km/h]</b>	<b>Año</b>
Santiago, Chile	41	2006
Bogotá, Colombia	24	2010
Nueva York, Estados Unidos	15	2009
Ciudad de México, México	13	2012
Sao Paulo, Brasil	12	2012
Barcelona, España	35	2008
Ámsterdam, Holanda	34	2008
París, Francia	31	2008
Roma, Italia	30	2008
Berlín, Alemania	24	2008
Londres, Inglaterra	19	2008
Beijing, China	27	2011
Nueva Delhi, India	15	2007
Tokio, Japón	15	2005
Sídney, Australia	35	2010

***Tabla 0.2.- Velocidad media por año en principales ciudades donde utilizan los ciclos de manejo.***

Con base en todo lo descrito con anterioridad, la finalidad de este proyecto consistió en la obtención de un ciclo de manejo que caracterizara las condiciones actuales de manejo que se presentan regularmente dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Para ello, se tomaron como objeto de estudio sólo los vehículos denominados como ligeros que transitan en vías categorizadas como primarias, secundarias y autopistas.

# CAPÍTULO 1

## CICLOS DE MANEJO EN EL MUNDO

### 1.1 Ciclos de manejo representativos a nivel mundial.

El crecimiento de la población se manifiesta primeramente en las grandes urbes, por lo tanto la demanda de servicios, entre ellos, el que nos ocupa, el autotransporte y, en particular, el uso de vehículos automotores ligeros. Para ello es necesario que el desarrollo de los ciclos de manejo considere como factores importantes el crecimiento de la ciudad y sus vías, así como el parque vehicular. <sup>[1]</sup>

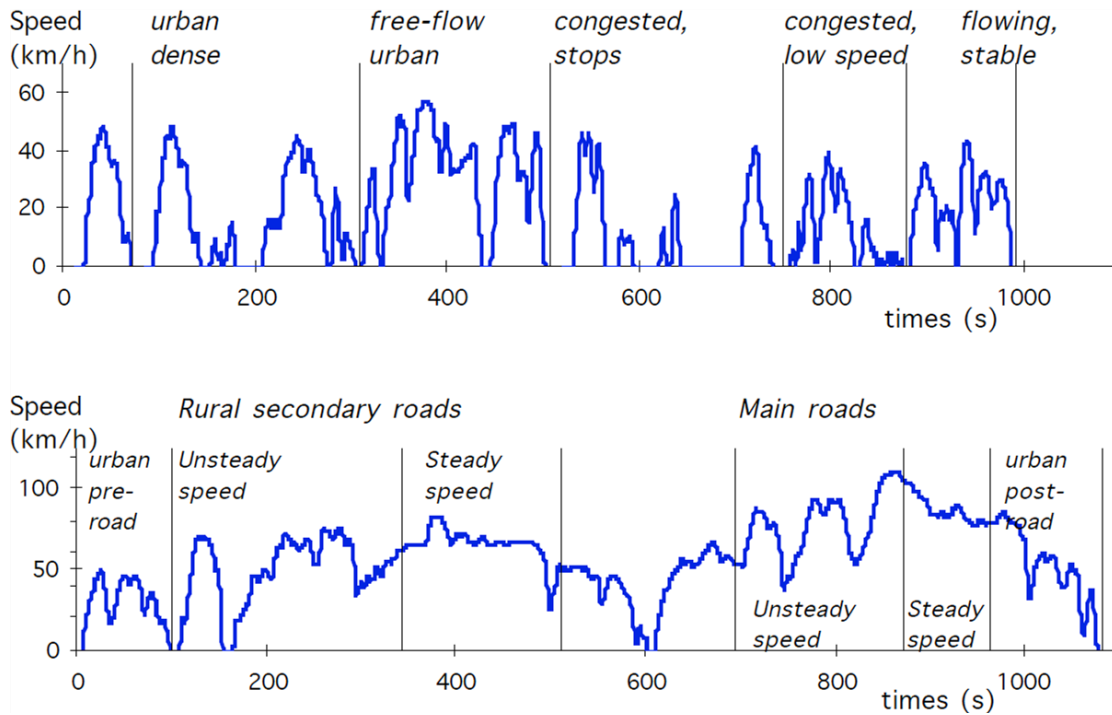
A continuación, se mencionan algunos ciclos de manejo, importantes y representativos a nivel mundial:

- a) Proyecto **ARTEMIS** (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory System) de Michel André, 2005. Este proyecto se basó en la información de los patrones de conducción en Europa, principalmente en los países de Francia, Suiza e Italia.

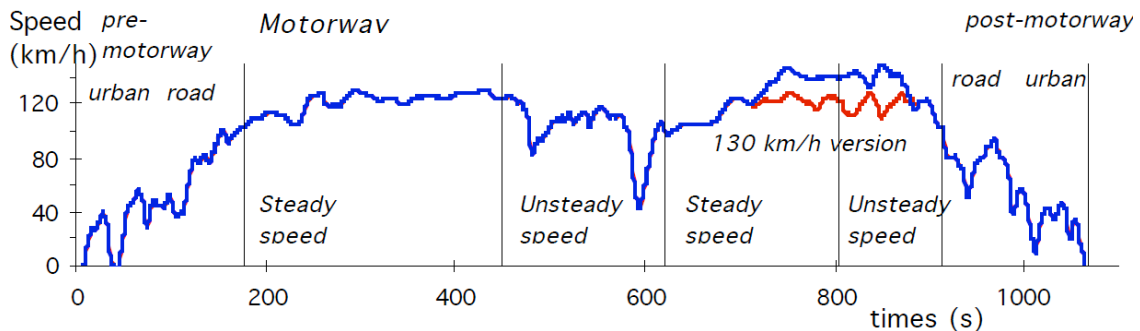
El sistema con el cual se monitorearon los datos y se recabó la información fue el modem-Hyzem, que toma en cuenta una clasificación de las condiciones de manejo (velocidad, aceleración, tiempo de permanencia en alto total), la clasificación del lugar de uso del vehículo (carretera, vía urbana y vía rural, con subtipos) y datos de ciclos de manejo obtenidos con anterioridad y de manera regional.

Al final del proyecto se obtuvieron tres ciclos de manejo relacionados a los tipos de vías: urbana, rural y autopista. El ciclo de autopista tiene dos variantes de acuerdo a sus velocidades máximas de 130 y 150 km/h.

En la **Gráfica 1.1.1** se muestran los ciclos de vías urbanas y semiurbanas, mientras que en la **Gráfica 1.1.2** se encuentra el ciclo representativo de la vía autopista. <sup>[2]</sup>



**Gráfica 1.1.1.- Ciclos de manejo del Proyecto ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior).**



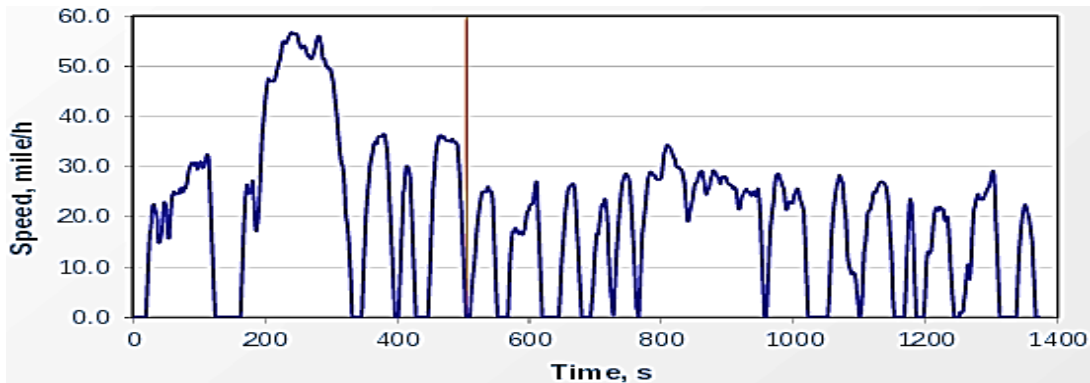
**Gráfica 1.1.2.- Ciclo de manejo del Proyecto ARTEMIS en Autopista.**

b) **FTP-72 y FTP-75** (Federal Test Procedure).

Estos ciclos, también llamados **UDDS** (Urban Dynamometer Driving Schedule) o simplemente **FTP**, se obtuvieron desde 1978 por medio de un dinamómetro de chasis, simulando una vía urbana en los Estados Unidos.

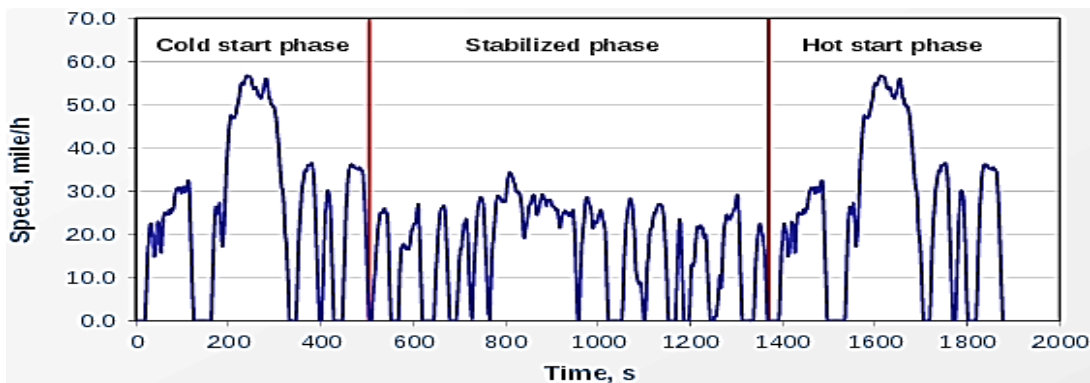
El **FTP-72**, considera un recorrido de 7.5 millas (12.07 km) con paradas frecuentes, una velocidad máxima de 56.7 mph (91.25 km/h) y un promedio

de velocidad de 19.6 mph (31.5 km/h). Además consiste en dos fases, la primera de ellas comienza “en frío”, mientras que la segunda inicia después de un tiempo de 10 minutos donde el motor ha estado detenido. [3]



**Gráfica 1.1.3.- Ciclo de manejo FTP-72.**

El **FTP-75**, varía del **FTP-72**, al agregarle una fase más, un inicio en “caliente”, que iniciará después de los 10 minutos en que el motor se encuentre detenido. Esto modifica la duración a 1877 segundos. También cambia la distancia a 11.04 mi (17.77 km) y la velocidad promedio a 21.2 mph (34.12 km/h) como se muestra en la **Gráfica 1.1.4**.

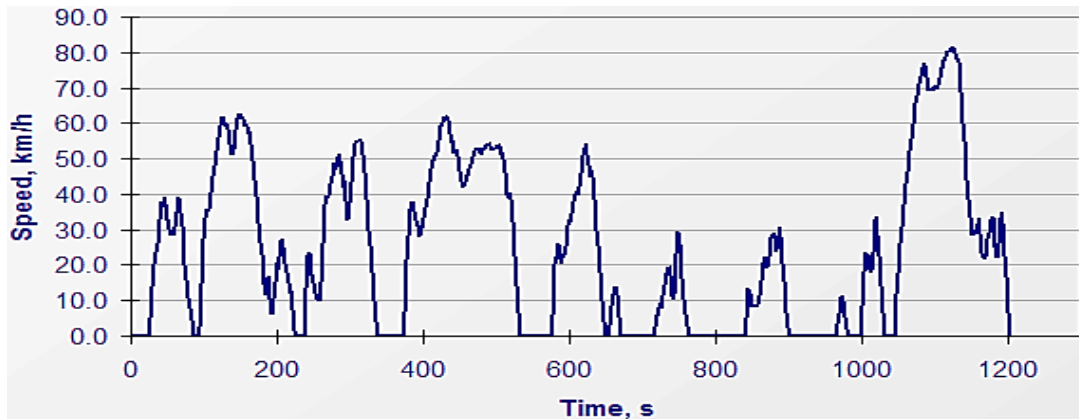


**Gráfica 1.1.4.- Ciclo de manejo FTP-75.**

c) **JC08.**

El **JC08**, es un ciclo desarrollado gracias a un dinamómetro de chasis. Se ha utilizado en Japón, desde 2005 y hasta la fecha aún se utilizan ciertos parámetros de esta prueba.

Las condiciones que se toman en cuenta para este ciclo son: duración de 1204 segundos, distancia de 8.171 km, velocidad promedio de 24.4 km/h y velocidad máxima de 81.6 km/h. <sup>[4]</sup>



**Gráfica 1.1.5.- Ciclo de manejo JC08.**

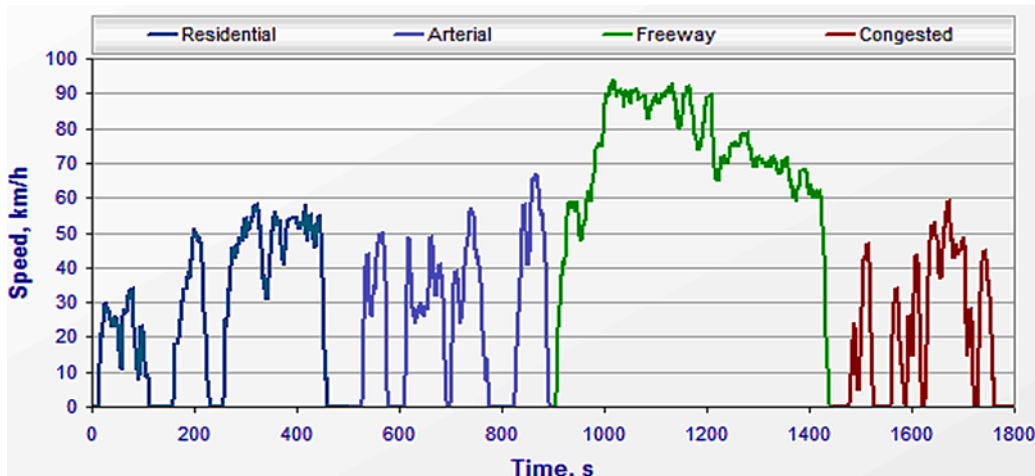
d) Ciclos **CUEDC** (Composite Urban Emissions Drive Cycles).

Los ciclos **CUEDC**, fueron desarrollados en 1998 inicialmente para la regulación de los vehículos diésel en Australia. Se utilizan en las pruebas de dinamómetro de chasis basados tanto en vehículos ligeros como pesados.

Se componen de cuatro segmentos de acuerdo a la vía de circulación: congestionado, vías secundarias, vías principales (arterias) y autopistas. El tiempo es de alrededor de 30 minutos si se toma en consideración el conjunto de los cuatro segmentos.

En 2005, se desarrolló un ciclo para vehículos de gasolina (**Petrol CUEDC**), que se basa en las consideraciones de 1998. Dicho ciclo se encuentra representado en la **Gráfica 1.1.6.** <sup>[5]</sup>





**Gráfica 1.1.6.- Ciclos CUEDC.**

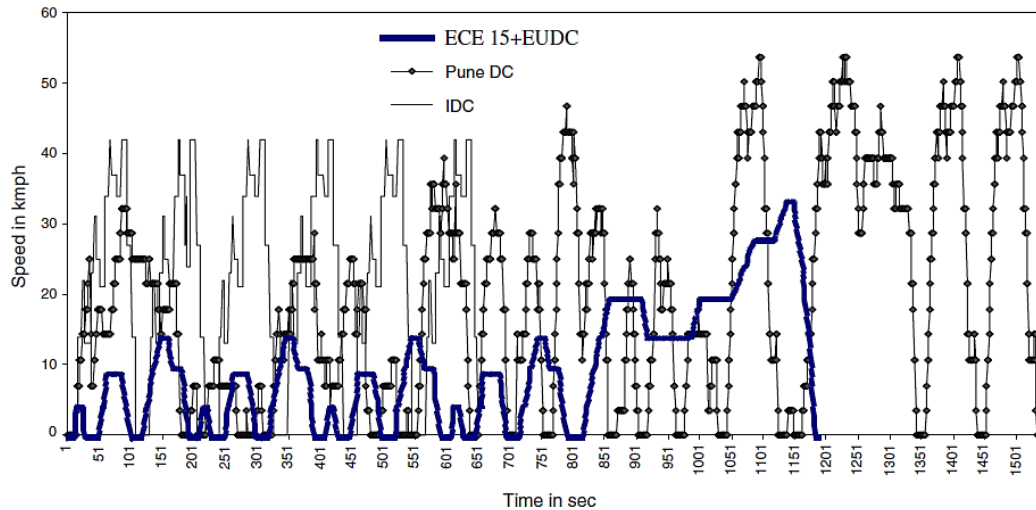
e) Desarrollo del ciclo de manejo en Pune, India.

Realizado por los investigadores Sanghpriya H. Kamble, Tom V. Mathew y G.K. Sharma. Es un intento por desarrollar un ciclo de conducción urbano que estime las emisiones de vehículos y el consumo de combustible.

Antes de este estudio, el ciclo de manejo que existía en India era el **IDC** (The Indian Driving Cycle), el cual, fue puesto en operación a finales de 1985. Aunque se efectuaron algunas modificaciones, se asume una homogeneidad independiente de la variación en el tráfico y las características de conducción, por lo que hubo la necesidad de estudiar cómo los ciclos de manejo de la ciudad Pune varían con respecto a las características de un ciclo estándar en un ciclo de manejo real.

La metodología en el desarrollo de estos ciclos tuvo como base los **micro-trips** (micro-viajes), extraídos de datos del mundo real. El ciclo de manejo se construye tomando en cuenta cinco parámetros importantes del perfil tiempo-espacio: el porcentaje de aceleración, desaceleración, cruce, inactivo y la velocidad media, por lo que este enfoque se espera que sea representativo del comportamiento del tráfico heterogéneo. <sup>[6]</sup>

En la **Gráfica 1.1.7** se observa el ciclo europeo, el característico de la India y el ciclo Pune a manera de comparativo.



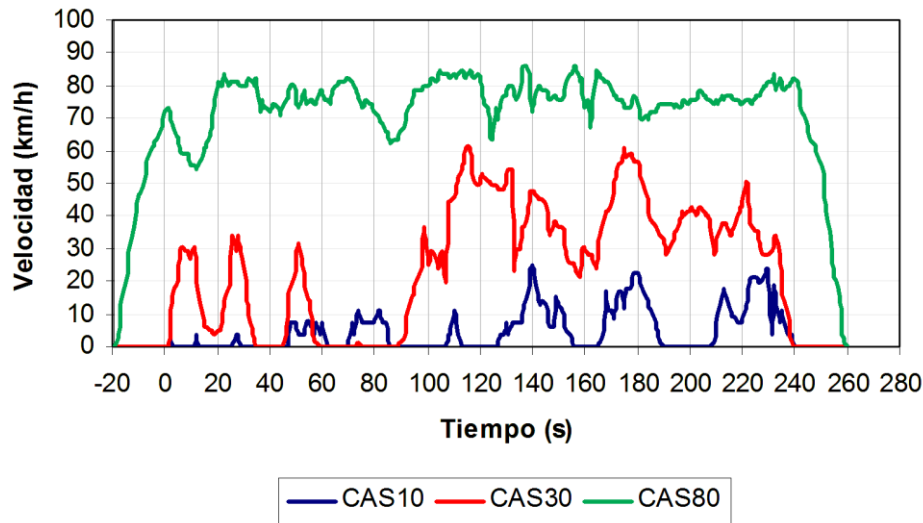
**Gráfica 1.1.7.- Comparación de los ciclos de Pune, IDC y ciclo europeo.**

- f) Determinación experimental de ciclos de conducción de vehículos livianos para la ciudad de Santiago, Chile.

Llevado a cabo por el ingeniero en transportes Mauricio Osses, en el año de 2003, en la ciudad de Santiago de Chile, tuvo como objetivo primordial la obtención de ciclos de manejos que dependieran de la velocidad media del recorrido.

La metodología consta de tres etapas, en específico, selección de arcos viales, medición de trazas velocidad-tiempo y procesamiento (agrupación de micro ciclos).

Se obtuvieron 10 ciclos para la ciudad, teniendo una velocidad promedio de 26.60 [km/h], una aceleración de 1 [m/s<sup>2</sup>] y un tiempo detenido de 22.14%. [7]



**Gráfica 1.1.8.- Ciclos de manejo chilenos utilizando distintas rutas.**

## 1.2 Algunas normas de emisiones contaminantes relacionadas con los ciclos de manejo. <sup>[8]</sup>

Dentro de la gama de finalidades, para las que se desarrolla un ciclo de manejo, se encuentran las siguientes:

- Desarrollo de nuevos motores.
- Calibración de los Diagnósticos a Bordo (**OBD's**).
- Economizar el uso de combustible.
- Reducción de gases de efecto invernadero.
- Apoyo para los simuladores de vehículos.
- Creación de nuevas regulaciones en materia de motores y vehículos.

Comentando sobre este último punto, una vez que se obtiene un ciclo de manejo de cierta región, se pasa a la creación de estándares que rijan a los vehículos de dicha zona. Estos datos, obtenidos de los ciclos, se quedan plasmados en normativas nacionales y hasta continentales (en el caso de Europa). A continuación, se mencionan algunas de estas normas:

### **Europa.**

La Unión Europea (**U.E.**), está regida por las normas **Euro 5/6** (2009/ 2014), que sustituyó a la **Euro 3/4** (2000/ 2005), estas normas fueron creadas para la regulación de emisiones en vehículos ligeros nuevos.

La norma **Euro 3/4**, fue acompañada de una regulación de combustible, la cual, debía de ser implementada a partir de 2005 para, posteriormente, ser obligatoria para 2009.

La legislación **Euro 5/6**, presenta la aplicación de un nuevo método de medición de emisión de partículas suspendidas (**PM**) (similar a la de Estados Unidos, 2007), ajusta los límites de emisiones de masa e introduce un número de partículas (**PN**), límite de emisiones, además de los límites basados en la masa. Las normas de emisión de la **U.E.**, se resumen en la **Tabla 1.2.1**. Todas las fechas que figuran en los cuadros se refieren a las nuevas homologaciones.

Categoría †	Etapa	Fecha AAAA/MM	CO	HC	HC + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	PN
			g / km					
Encendido por chispa (gasolina)								
N <sub>1</sub> , clase I ≤1305 kg	Euro 1	1994/10	2.72	-	0.97	-	-	-
	Euro 2	1998/01	2.2	-	0.5	-	-	-
	Euro 3	2000/01	2.3	0.20	-	0.15	-	-
	Euro 4	2005/01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
	Euro 5	2009/09 <sup>b</sup>	1.0	0.10 <sup>g</sup>	-	0.06	0.005 <sup>e, f</sup>	-
	Euro 6	2014/09	1.0	0.10 <sup>g</sup>	-	0.06	0.005 <sup>e, f</sup>	6.0 × 10 <sup>11 e, j</sup>
N <sub>1</sub> , Clase II 1305-1760 kg	Euro 1	1994/10	5.17	-	1.40	-	-	-
	Euro 2	1998/01	4.0	-	0.65	-	-	-
	Euro 3	2001/01	4.17	0.25	-	0.18	-	-
	Euro 4	2006/01	1.81	0.13	-	0.10	-	-
	Euro 5	2010/09 <sup>c</sup>	1.81	0.13 <sup>h</sup>	-	0.075	0.005 <sup>e, f</sup>	-
	Euro 6	2015/09	1.81	0.13 <sup>h</sup>	-	0.075	0.005 <sup>e, f</sup>	6.0 × 10 <sup>11 e, j</sup>
N <sub>1</sub> , Clase III > 1760 kg	Euro 1	1994/10	6.9	-	1.7	-	-	-
	Euro 2	1998/01	5.0	-	0.8	-	-	-
	Euro 3	2001/01	5.22	0.29	-	0.21	-	-
	Euro 4	2006/01	2.27	0.16	-	0.11	-	-
	Euro 5	2010/09 <sup>c</sup>	2.27	0.16 <sup>i</sup>	-	0.082	0.005 <sup>e, f</sup>	-
	Euro 6	2015/09	2.27	0.16 <sup>i</sup>	-	0.082	0.005 <sup>e, f</sup>	6.0 × 10 <sup>11 e, j</sup>
N <sub>2</sub>	Euro 5	2010/09 <sup>c</sup>	2.27	0.16 <sup>i</sup>	-	0.082	0.005 <sup>e, f</sup>	-
	Euro 6	2015/09	2.27	0.16 <sup>i</sup>	-	0.082	0.005 <sup>e, f</sup>	6.0 × 10 <sup>11 e, j</sup>

† Para Euro 1/2 la categoría N<sub>1</sub> las clases de masas de referencia fueron la Clase I ≤ 1250 kg, Clase II 1250-1700 kg, Clase III > 1700 kg.  
a.- hasta el 30/09/1999 (después de esa fecha los motores DI deben cumplir con los límites de la IDI).  
b.- 2011/01 para todos los modelos.  
c.- 2012/01 para todos los modelos.  
d.- 2013/01 para todos los modelos.  
e.- aplicable únicamente a los vehículos que utilizan motores de inyección directa.  
f.- 0.0045 g / km usando el procedimiento de medición PMP.  
g.- y NMHC = 0.068 g / km.  
h.- y NMHC = 0.090 g / km.  
i.- y NMHC = 0.108 g / km.  
j.- 6.0 × 10<sup>12</sup> 1 / km dentro de los tres primeros años a partir de Euro 6 fechas de vigencia.

**Tabla 1.2.1.- Normas de emisiones de la U.E., para los vehículos comerciales ligeros.**

## Estados Unidos.

Las normas de emisiones de California son más estrictas que los requisitos de la Environmental Protection Agency (**EPA**), pero su estructura es similar a la de la legislación federal. Dentro de las principales medidas regulatorias en la evolución de las normas en California están incluidas:

- **Tier I/Low Emission Vehicle (LEV)**, las normas de emisiones en California se extendieron hasta 2003.
- **LEV II**, las regulaciones en California, fueron introducidas gradualmente a través de modelos de los años 2004 - 2010.
- **LEV III**, las regulaciones en California se irán introduciendo gradualmente a través de los modelos de los años 2015 a 2025.

Muchos estados de Estados Unidos han adoptado la norma de emisiones de California **LEV II**, dado que ya incluye la regulación de camiones ligeros y semipesados.

Categoría	50,000 millas / 5 años					100,000 millas / 10 años				
	NMOG <sup>a</sup>	CO	NO <sub>x</sub>	PM	HCHO	NMOG <sup>a</sup>	CO	NO <sub>x</sub>	PM	HCHO
Vehículos de pasajeros										
Tier I	0.25	3.4	0.4	0.08	-	0.31	4.2	0.6	-	-
TLEV	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.09	4.2	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.04	1.7	0.2	-	0.008	0.055	2.1	0.3	0.04	0.011
LDT1, LVW < 3,750 libras										
Tier I	0.25	3.4	0.4	0.08	-	0.31	4.2	0.6	-	-
TLEV	0.125	3.4	0.4	-	0.015	0.156	4.2	0.6	0.08	0.018
LEV	0.075	3.4	0.2	-	0.015	0.09	4.2	0.3	0.08	0.018
ULEV	0.04	1.7	0.2	-	0.008	0.055	2.1	0.3	0.04	0.011
LDT2, LVW > 3,750 libras										
Tier I	0.32	4.4	0.7	0.08	-	0.4	5.5	0.97	-	-
TLEV	0.16	4.4	0.7	-	0.018	0.2	5.5	0.9	0.1	0.023
LEV	0.100	4.4	0.4	-	0.018	0.13	5.5	0.5	0.1	0.023
ULEV	0.050	2.2	0.4	-	0.009	0.07	2.8	0.5	0.05	0.013
a – NMHC para todos los estándares de Tier 1. <b>Abreviaturas:</b> LVW – peso del vehículo cargado (peso en vacío + 300 libras). LDT – camión ligero. NMOG – gases orgánicos distintos del metano. HCHO – formaldehído.										

**Tabla 1.2.2.- Normas de emisión para los vehículos ligeros LEV, FTP-75, [g/km].**

## **Australia.**

Las normas australianas de emisiones están basadas en las normas europeas para vehículos ligeros y pesados, con la aceptación de determinadas normas de Estados Unidos (**EE.UU.**) y Japón. El objetivo es que, a largo plazo, se armonicen completamente las regulaciones australianas con las normas de la **CEPE**, de las Naciones Unidas. El desarrollo de normas está coordinado por la Comisión Nacional del Transporte (**CNT**), mientras que las reglas de Diseño y Regulaciones Australianas (**ADR**) son administrados por el Departamento de Infraestructura y Transporte.

La evolución de las normas australianas se produjo a través de un número de acciones de regulación, aquí se mencionan algunos pasos importantes:

- Las normas de emisiones para vehículos ligeros con motor de gasolina se iniciaron en la década de los 70's.
- Uno de los requisitos de emisión de humo (**ADR30/00**) se introdujo en 1976 para los vehículos con cuatro o más ruedas propulsados por un motor diésel. Las normas de humo alternativas fueron de la **EPA** de **EE.UU. '74**. o posterior, o los estándares británicos "Rendimiento de los motores diésel para vehículos de carretera" **BS AU 141a: 1971** o **ECE R 24/00, 24/01, 24/02** o **24/03** "Diésel y Contaminantes " o, en el caso de un sólo motor, **ECE R 24/03**.
- Una segunda ronda de normas de emisión más estrictas, aplicadas a partir del año modelo 2002/2003 (para los modelos nuevos). Los estándares - inicialmente equivalían a la **Euro 2/3-**, se han reforzado gradualmente para adoptar la **Euro 4** para vehículos ligeros y camiones (diésel y gasolina), y la **Euro 5** para los motores diésel de servicio pesado.
- Una tercera ronda de regulaciones de emisiones, aprobada en 2011, obliga a la **Euro 5/6** un calendario de ejecución de 2013 a 2018.

A continuación se observan las normas australianas para vehículos ligeros en las primeras filas (vehículos de pasajeros) y pesados en las siguientes filas.

ADR Categorías			ECE Cat	ADR	02/03	03/04	05/06	06/07	07/08	08/10 <sup>a</sup>	10/11	10/11	13/16 <sup>b</sup>	17/18 <sup>c</sup>
Desc	GVM †	Cat ‡			Diésel	Gasolina	Gasolina	Diésel	Diésel	Gasolina	Gasolina	Diésel	Todos	Todos
<b>Vehículos de pasajeros</b>														
	≤ 3.5 t	MA, MB, MC	M1	ADR 79 /...	Euro 2	Euro 2	Euro 3	Euro 4		Euro 4			Euro 5 <sup>d</sup>	Euro 6
	> 3.5 t			ADR 80 /...	Euro 3	US96	US98		Euro 4		Euro 4			
<b>Autobuses</b>														
Ligero	≤ 3.5 t	MD	M2	ADR 79 /...	Euro 2	Euro 2	Euro 3	Euro 4		Euro 4			Euro 5 <sup>d</sup>	Euro 6
	3.5 ≤ 5 t			ADR 80 /...	Euro 3	US96	US98		Euro 4 o US04, JE05		Euro 4 o US08	Euro 5 o US07, JE05		
Pesado	> 5 t	ME	M3	ADR 80 /...	Euro 3 o US98 <sup>e</sup>	US96	US98		Euro 4 o US04, JE05		Euro 4 o US08	Euro 5 o US07, JE05		
<b>Vehículos de Transporte (Camiones)</b>														
Ligero	≤ 3.5 t	NA	N1	ADR 79 /...	Euro 2	Euro 2	Euro 3	Euro 4		Euro 4			Euro 5 <sup>d</sup>	Euro 6
Medio	3.5 ≤ 12 t	NB	N2	ADR 80 /...	Euro 3 o US98 <sup>e</sup>	US96	US98		Euro 4 o US04, JE05		Euro 4 o US08	Euro 5 o US07, JE05		
Pesado	> 12 t	NC	N3	ADR 80 /...	Euro 3 o US98 <sup>e</sup>	US96	US98		Euro 4 o US04, JE05		Euro 4 o US08	Euro 5 o US07, JE05		
† Masa bruta del vehículo. ‡ Las categorías de los vehículos son: MA – vehículos de pasajeros; MB - vehículos de mandos avanzados, MC - vehículos de pasajeros todo terreno. a - 1 de julio 2008/1 julio de 2010 para los nuevos/ modelos existentes. b - 1 de noviembre 2013/1 noviembre 2016 para los nuevos/ modelos existentes. c - 1 de julio 2017/1 julio 2018 para los nuevos/ modelos existentes. d - 'núcleo' Euro 5 es aplicable a los nuevos modelos del 1 de noviembre de 2013, completo Euro 5 aplicable del 1 de noviembre de 2016. e - US EPA año modelo 2000 o certificado de plazo o prueba equivalente requerido (para asegurarse de que no hay emisiones "dispositivos de desactivación").														

**Tabla 1.2.3.- Normas de emisión australianas: 2002/03 y posteriores.**

### India.

Las primeras normas para la regulación en India, eran los límites de inactividad, las cuales entraron en vigor en 1989. Estas normas pronto fueron sustituidas por los límites de emisiones de masa para vehículos de gasolina (1991) y diésel (1992).

Desde el año 2000, India comenzó a adoptar las normas de emisiones europeas y las normas de combustible para vehículos ligeros de cuatro ruedas. Además, se regulan las emisiones de los vehículos de dos y tres ruedas.

El 6 de octubre de 2003, se anunció que la National Auto Fuel Policy contempla un programa gradual para la introducción de la **Euro 2-4** para emisiones y reglamentos de combustible, todo esto a partir de 2010.

Las normas de emisiones para vehículos ligeros se resumen en la siguiente tabla. Los rangos de los límites de emisiones se refieren a las diferentes categorías y clases de vehículos.

Año	Referencia	CO	HC	HC + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
<b>Diésel</b>						
1992	-	17.3 - 32.6	2.7 - 3.7	-	-	-
1996	-	5.0 - 9.0	-	2.0 - 4.0	-	-
2000	Euro 1	2.72 - 6.90	-	0.97 - 1.70	-	0.14 - 0.25
2005 †	Euro 2	1.0 - 1.5	-	0.7 - 1.2	-	0.08 - 0.17
2010 †	Euro 3	0.64	-	0.56	0.50	0.05
		0.80	-	0.72	0.65	0.07
		0.95	-	0.86	0.78	0.1
2010 ‡	Euro 4	0.50	-	0.30	0.25	0.025
		0.63	-	0.39	0.33	0.04
		0.74	-	0.46	0.39	0.06
<b>Gasolina</b>						
199 1	-	14.3 - 27.1	2.0 - 2.9	-	-	-
1996	-	8.68 - 12.4	-	3.00 - 4.36	-	-
1998*	-	4.34 - 6.20	-	1.50 - 2.18	-	-
2000	Euro 1	2.72 - 6.90	-	0.97 - 1.70	-	-
2005 †	Euro 2	2.2 - 5.0	-	0.5 - 0.7	-	-
2010 †	Euro 3	2.3	0.20	-	0.15	-
		4.17	0.25	-	0.18	-
		5.22	0.29	-	0.21	-
2010 ‡	Euro 4	1.0	0.1	-	0.08	-
		1.81	0.13	-	0.10	-
		2.27	0.16	-	0.11	-
* Para los vehículos equipados convertidor catalítico.						
† Introducción más temprana en regiones seleccionadas.						
‡ Sólo en regiones seleccionadas.						

**Tabla 1.2.4.- Normas de emisión para vehículos ligeros, [g/km].**

### **Chile.**

Las normas chilenas de emisiones para vehículos y motores son adoptadas por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (**MTT**), en cooperación con el Ministerio del Medio Ambiente (**MMA**).

Las normas de emisiones para vehículos ligeros y pesados han estado en vigor desde 1990. Mientras que las normas están basadas en las de **EE.UU.** y la **U.E.**



las cuales no son necesariamente equivalentes, algunos requerimientos para el **OBD** (diagnóstico a bordo) fueron introducidos a partir de 2011.

Para operar legalmente un vehículo en carretera en Chile, una calcomanía de color debe ser pegada en el automóvil, la cual, determinará en que región del país puede operar el vehículo mediante dichas normas.

Debido a los problemas graves de contaminación en la ciudad, muchas de las normas para vehículos dentro de la Región Metropolitana de Santiago (**RM**) son más estrictas, por ello, se introdujo una norma en 2011 para la adopción de vehículos más limpios, lo que incluye la implementación de una zona de bajas emisiones para vehículos pesados.

Los estándares de emisiones para vehículos ligeros (peso bruto < 2700 kg), que se basaban en las regulaciones Estado Unidos, se muestran en las **Tabla 1.2.5**

Categoría	Fecha	CO	HCHO*	HC	NMHC†	NOx	Durabilidad	Referencia
<b>Vehículos ligeros GVWR &lt; 2700 kg</b>								
Vehículo de pasajeros ≤ 12 pasajeros	2005/01 (RM)	2.11		0.25	0.16	0.25	-	EPA Tier 1, vida intermedia
LDT Tipo 1, LVW ≤ 1700	2006/09 Nacional	2.11		0.25	0.16	0.25		
LDT Tipo 2, LVW > 1700		2.74		0.25	0.20	0.44		
Vehículo de pasajeros ≤ 12 pasajeros LDT Tipo 1, LVW ≤ 1700 LDT Tipo 2, LVW > 1700	2011/04 (RM)	2.11	9.32		0.062	0.08 7	-	EPA Tier 2 Bin 8, vida intermedia
Vehículo de pasajeros ≤ 12 pasajeros LDT Tipo 1, LVW ≤ 1700 LDT Tipo 2, LVW > 1700	2013/03 Nacional	2.11	9.32		0.062	0.08 7	50,000 mi	EPA Tier 2 Bin 8, vida intermedia
		2.61	11.19		0.078	0.12 4	120,000 mi	EPA Tier 2 Bin 8, vida útil completa
Vehículo de pasajeros ≤ 12 pasajeros LDT Tipo 1, LVW ≤ 1700 LDT Tipo 2, LVW > 1700	2014/09 Nacional	2.11	9.32		0.047	0.03 1	50,000 mi	EPA Tier 2 Bin 5, vida intermedia
		2.61	11.19		0.056	0.04 4	120,000 mi	EPA Tier 2 Bin 5, vida útil completa
* mg/km								
† NMOG de 2011/2012 y normas posteriores								

**Tabla 1.2.5.- Normas de emisión chilenas para los vehículos ligeros (gasolina), [g/km].**

### **México.**

Los requisitos para las emisiones en vehículos nuevos y motores se adoptan de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**), tales requerimientos de emisiones cumplen con los de Estados Unidos y con las normas de emisiones de la Unión Europea.

Las primeras normas de emisiones para vehículos ligeros y pesados se establecieron el 6 de junio de 1988 y entraron en vigor en el año de 1993. Más tarde se forzaron a ser equivalentes a las de **EE.UU. (Tier 1)** y para 2001, se establece una mezcla entre la **Tier 1/2** y **Euro 3/4**, normas más utilizadas desde 2004. Los estándares se basaron en las regulaciones de **EE.UU.** y métodos de prueba (**FTP-75**). Los requerimientos de 1993 se basan en las normas de emisión de Estados Unidos de 1981.

Actualmente, la norma reguladora en México referente a las emisiones permitidas en vehículos ligeros nuevos es la **NOM-042-SEMARNAT-2003**. La NOM-042, establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto no exceda los 3857 kg, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.

Estos límites se presentan en las **Tablas 1.2.6 y 1.2.7**, diferenciándose una de la otra por el estándar de durabilidad. El estándar de durabilidad se refiere al kilometraje al cual un vehículo debe mantener emisiones iguales o inferiores a los límites establecidos cuando es nuevo.

Estándar	Clase	CO g/Km		HCNM g/Km		NO <sub>x</sub> g/Km		Part (1) g/Km		HCev (2) g/prueba	
		Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP	Diésel
A	VP	2.11		0.156		0.25	0.62	-	0.050	2.0	-
	CL1 y VU										
	CL2 y VU	2.74	0.200	0.44	0.62	-	0.062				
	CL3 y VU										
CL4 y VU	3.11	0.240	0.68	0.95	-	0.075					
B	VP	2.11		0.099		0.249		-	0.050	2.0	-
	CL1 y VU										
	CL2 y VU	2.74	0.121			-	0.062				
	CL3 y VU										
CL4 y VU	-	0.075									
C	VP	2.11		0.047		0.068		-	0.050	2.0	-
	CL1 y VU										
	CL2 y VU			0.087	0.124		-	0.062			
	CL3 y VU										
CL4 y VU	-	0.075									

**Tabla 1.2.6.- Límites máximos permisibles para vehículos nuevos con estándar de durabilidad a 80,000 km.**

Estándar	Clase	CO g/Km		HC g/Km	HC +NO <sub>x</sub> g/Km	NO <sub>x</sub> g/Km		Part (1) g/ Km		HCev (2) g/prueba	
		Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP y gas natural	Diésel	Gasolina, gas LP	Diésel
B	VP	1.25	0.64	0.125	0.56	0.100	0.50	-	0.050	2.0	-
	CL y VU Clase 1	1.25	0.64	0.125	0.56	0.100	0.50	-	0.050		
	CL y VU Clase 2	2.26	0.80	0.162	0.72	0.125	0.65	-	0.070		
	CL y VU Clase 3	2.83	0.95	0.200	0.86	0.137	0.78	-	0.100		
C	VP	1.00	0.50	0.10	0.30	0.08	0.25	-	0.025	2.0	-
	CL y VU Clase 1	1.00	0.50	0.10	0.30	0.08	0.25	-	0.025		
	CL y VU Clase 2	1.81	0.63	0.13	0.39	0.10	0.33	-	0.040		
	CL y VU Clase 3	2.27	0.74	0.16	0.46	0.11	0.39	-	0.060		

VP- vehículos de pasajeros.  
CL- camiones ligeros.  
VU- vehículos utilitarios nuevos  
(1) Aplica sólo para vehículos a diésel.  
(2) Aplica sólo para vehículos a gasolina y gas LP.  
Estándar **A**. Límites máximos permisibles para vehículos año modelo 2004 y hasta 2009.  
Estándar **B**. Límites máximos permisibles para vehículos año modelo 2007 y hasta "Año 3".  
Estándar **C**. Límites máximos permisibles aplicables a partir del "Año 1" y posteriores.

**Tabla 1.2.7.- Límites máximos permisibles para vehículos nuevos con estándar de durabilidad a 100,000 km.**

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS CICLOS DE MANEJO

#### 2.1 Muestra representativa del parque vehicular del Valle de México.

Dentro de la metodología para desarrollar el ciclo de manejo, fue primordial obtener información del parque vehicular de la zona de estudio, es decir, la Zona Metropolitana del Valle de México. Esto con el objeto de observar que vehículos podrían ser los más representativos de esta zona, considerando algunas de sus características y así obtener un tamaño de muestra. Esta información está desglosada dentro de un documento en Excel conocido como Tabla Maestra.

La Tabla Maestra (véase **Tabla 2.1.1**) se obtuvo gracias a la colaboración de la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, cuenta con datos como: *marca, submarca, combustible, carrocería, número de cilindros, cilindrada y año*, entre otros.

MARCA	MARCA. PANTALLA	submarca. PANTALLA	COMBUSTIBLE	CARROCERIA	CILINDROS	CILINDRADA	Obd	AÑO_DES
101	CHRYSLER / DODGE	300M	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	6	3500	No tiene	1999
101	CHRYSLER / DODGE	PHANTOM	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	4	2500	No tiene	1985
101	CHRYSLER / DODGE	ATOS_BY_D ODGE	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	4	1000	No tiene	2001
101	CHRYSLER / DODGE	ATOS_BY_D ODGE	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	4	1086	No tiene	2005
101	CHRYSLER / DODGE	PROWLER	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	4	2500	No tiene	1993
101	CHRYSLER / DODGE	PROWLER	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	6	3500	OBD I	2001
101	CHRYSLER / DODGE	AVENGER	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	6	2500	No tiene	1900
101	CHRYSLER / DODGE	PT_CRUISE R	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	4	2400	No tiene	2000
101	CHRYSLER / DODGE	BARRACUD A	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	8	5200	No tiene	1900
101	CHRYSLER / DODGE	QUAD_CAB_2500_R/T	GASOLINA	PICKUP	8	5900	No tiene	1999
101	CHRYSLER / DODGE	BREEZE	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	4	2000	No tiene	1900
101	CHRYSLER / DODGE	QUAD_CAB_1500	GASOLINA	PICKUP	8	5900	No tiene	1993

**Tabla 2.1.1.- Parte de la Tabla Maestra.**

La categoría “*marca*” hace referencia a qué fabricante automotriz pertenece el vehículo, la “*submarca*” se refiere al nombre particular que lleva el automóvil, la “*carrocería*” al tipo al que pertenece de acuerdo a su tamaño y forma, “*cilindros*” nos indica el número de cilindros que posee el motor, “*cilindrada*” es la capacidad que tienen dichos cilindros y el “*año*” hace referencia al modelo.

La Tabla Maestra contiene información de **3242 vehículos ligeros**. Dado que la cantidad de vehículos es muy grande para realizar las pruebas, fue necesario realizar un análisis estadístico para disminuir el número de vehículos a estudiar. A continuación se da una explicación de los pasos que se efectuaron para obtener la muestra representativa.

En primer lugar se identificaron tres categorías relevantes dentro de la Tabla Maestra:

- Cilindros.
- Cilindrada.
- Año.

Se tomó en cuenta “*cilindros*” y “*cilindrada*” ya que son fundamentales para la potencia, velocidad y consumo de combustible del vehículo. El “*año*” juega un papel importante, ya que el comportamiento de un automóvil de los años 90’s no es el mismo que uno de 2011, aunque se trate de la misma “*submarca*”.

Las tres categorías se trabajaron, en un primer plano, de manera independiente, contabilizando los registros que tienen cada una de ellas. Por ejemplo, en la categoría de cilindros, se tienen vehículos de 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 y 12 cilindros, así que se anotó cuantos vehículos cuentan con estos números de cilindros dentro de la Tabla Maestra.

Como se muestra en la **Tabla 2.1.2**, también se obtuvo el porcentaje que representa dicho valor con respecto al registro total, que es de 3242.

Con esta información, se marcaron los rubros más representativos, es decir, aquellos que tenían un porcentaje alto. En el caso de los “*cilindros*”, fueron los que poseen 4, 6 y 8 cilindros y que en la **Tabla 2.1.2**, se marcaron de color azul.

<b>Cilindros</b>	<b>Registros</b>	<b>Porcentaje</b>
2	2	0.06
3	14	0.43
4	1131	34.89
5	88	2.71
6	984	30.35
8	936	28.87
10	32	0.99
12	55	1.70
	3242	100

**Tabla 2.1.2.- Porcentaje y registro de los vehículos según los cilindros.**

A continuación se muestran los resultados obtenidos con las categorías “cilindrada” (**Tabla 2.1.3**) y “año” (**Tabla 2.1.4**) siguiendo la misma metodología; se colocaron sólo los diez valores que tuvieron más registros:

<b>Cilindrada</b>	<b>Registros</b>	<b>Porcentaje</b>
1600	107	3.30
1800	77	2.38
2000	113	3.49
2500	107	3.30
3000	94	2.90
3498	66	2.04
4200	71	2.19
5000	79	2.44
5700	77	2.38
5900	95	2.93

**Tabla 2.1.3.- Porcentaje y registro según la cilindrada;  
(Cilindrada en cm<sup>3</sup>).**

<b>Año</b>	<b>Registros</b>	<b>Porcentaje</b>
1900	382	11.7828501
1993	133	4.1024059
2003	140	4.3183220
2005	136	4.1949413
2006	195	6.0148056
2007	328	10.1172116
2008	150	4.6267736
2009	162	4.9969154
2010	155	4.7809993
2011	485	14.9599013

**Tabla 2.1.4.- Porcentaje y registro del año.**

Al igual que en la categoría de cilindros, se identificaron los tres valores más representativos de cada categoría y se marcaron de color azul. Cabe aclarar que, en el caso de la **Tabla 2.1.4**, se presenta un valor de 1900 que hace referencia a aquellos automóviles cuyo modelo entra dentro de la década de los 90's.

El siguiente paso fue obtener las distintas combinaciones que se podían realizar entre cada uno de los valores de las distintas categorías, representadas en la **Tabla 2.1.5**.

<b>Cilindros</b>	<b>Cilindrada</b>	<b>Año</b>	<b>Vehículos</b>	<b>Ejemplos</b>
4	1600	1900	24	Tsuru, Golf, Sedan
4	1600	2007	6	Peugeot 206
4	1600	2011	15	Fiesta, Peugeot 207
4	2000	1900	8	Stratus, Neon, Passat
4	2000	2007	7	Leon, Bora, Audi
4	2000	2011	13	Jetta, Tiguan (VW)
4	2500	1900	6	Spirit
4	2500	2011	7	Mazda 6, 3, Fusion
6	2000	1999	1	BMW Z3
6	2500	1900	3	Avenger, Cirrus, Mystique

**Tabla 2.1.5.- Combinaciones entre cilindros, cilindrada y año.**

Se puede observar que ningún vehículo de 8 cilindros se encuentra dentro de la **Tabla 2.1.5**, debido a que una cilindrada de 1.6 a 2.5 litros es muy baja para un motor de 8 cilindros, lo mismo sucede con 6 cilindros y cilindrada de 1.6 litros.

Posteriormente, se utilizó una expresión para estimar la proporción de una población infinita, con el fin de obtener el número de vehículos a utilizar. Esta fórmula, indica el tamaño de muestra para una población infinita, sin embargo, y para efectos prácticos, se considera población infinita cuando la muestra supone menos del 5% de la población total, lo cual se busca en este análisis. [9], [10]

La expresión es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{d^2} \quad (1)$$

Donde

- n*: tamaño de muestra.
- Z*: nivel de confianza.
- p*: proporción esperada.
- q*:  $1 - p$ .
- d*: precisión.

El nivel de confianza *Z*, generalmente se establece en un 95%, pero el valor que se requiere para la fórmula es el valor crítico, que corresponde al área acumulativa en una curva de distribución normal estándar. Para obtener dicho valor hay que recordar que el nivel de confianza que tomamos en cuenta se representa como:

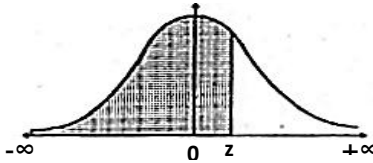
$$1 - \alpha = 0.95 \quad (2)$$

$$\alpha = 0.05 \quad (3)$$

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025 \quad (4)$$

Por lo tanto, el área acumulativa es 0.975 dado que hay 0.025 en la cola superior de la distribución, es decir, se restó a la unidad el valor de  $\frac{\alpha}{2}$ . Con esta área, se busca en tablas de la curva de distribución estándar (**Tabla 2.1.6**), siendo su correspondiente el valor 1.96.





z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6405	0.6113	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6763	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7321	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817

**Tabla 2.1.6.- Tabla de la curva de distribución estándar.** <sup>[11]</sup>

En la proporción esperada  $p$ , se tomó un 3.5%, que es el porcentaje más alto dentro de la **Tabla 2.1.3**; población de vehículos con cilindrada de 2 litros. La precisión  $d$ , puede oscilar entre el 1% al 9%, así que se realizó la **Tabla 2.1.7** donde se consideró la variación de dicho valor y el tamaño de muestra  $n$  resultante.

$d$	$n$
0.01	1297.5004
0.02	324.3751
0.03	144.1667
0.04	81.0937
0.05	51.9000
0.06	36.0416
0.07	26.4796
0.08	20.2734
0.09	16.0185

**Tabla 2.1.7.- Variación de la Precisión  $d$ .**

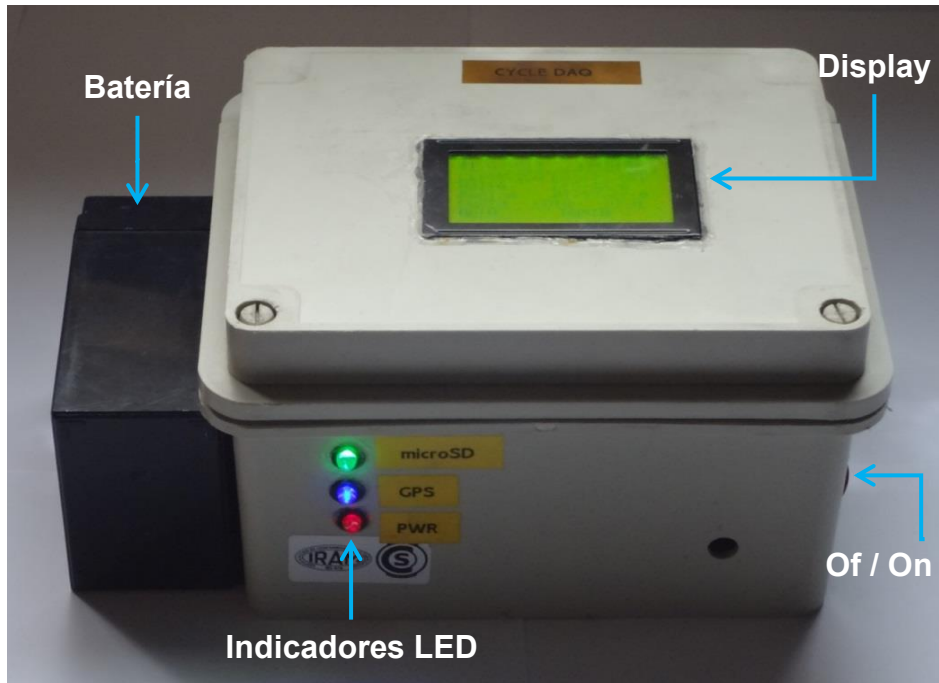
Como se observa en la **Tabla 2.1.7**, se optó que el tamaño de muestra se encontrara entre 20 y 36, siendo **20**, el número que al final se utilizó por cuestiones prácticas. Esta cantidad de vehículos se pensó tomar exclusivamente de la **Tabla 2.1.5**, sin embargo, se presentaron dificultades para conseguir exactamente los mismos vehículos. Con este inconveniente, se optó por muestrear automóviles que cumplieran con sólo algunos de los requisitos, tales como cilindrada, cilindros y/o marca.

## **2.2 Sistema de Adquisición de Datos (CYCLE-DAQ).**

Para llevar a cabo el desarrollo y actualización de los ciclo de manejo de la **ZMVM** fue indispensable contar con instrumentos confiables que permitieran medir y registrar variables, como la velocidad, distancia recorrida, inclinación del vehículo, latitud, longitud y emisiones de gases contaminantes.

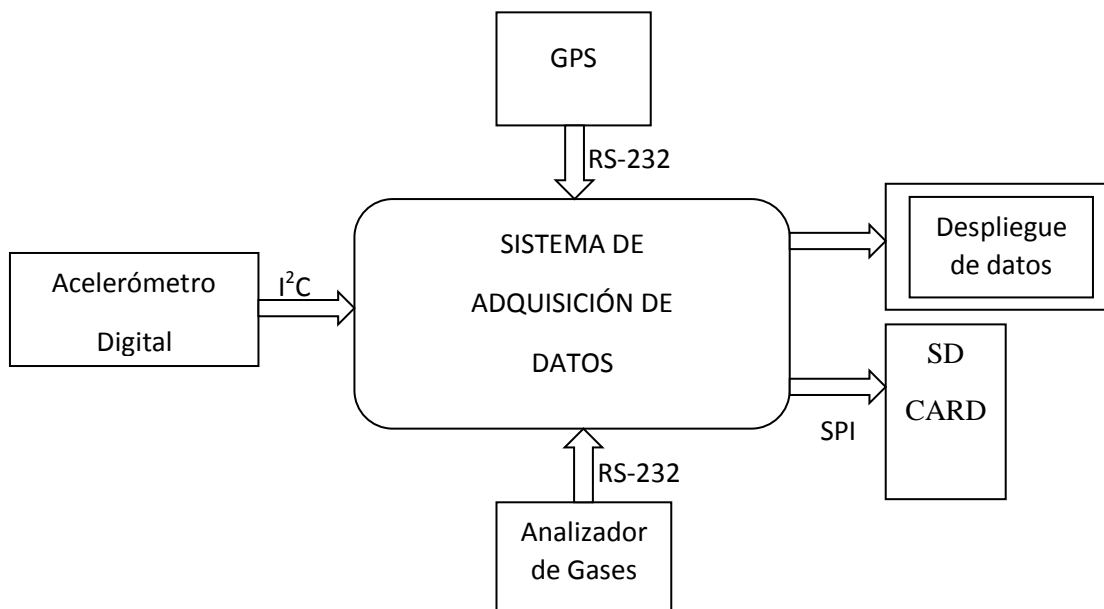
Es por eso que el Laboratorio de Control de Emisiones (**LCE**), en conjunto con la Coordinación de Instrumentación (**CI**) del Instituto de Ingeniería (**II**) de la **UNAM**, se dieron a la tarea de desarrollar un dispositivo que registrara segundo a segundo de manera sencilla los parámetros antes mencionados, los cuales fueron representativos de las condiciones reales de operación de un automóvil en un recorrido a través de la ciudad.

El resultado de este trabajo fue la construcción de un sistema de adquisición de datos llamado **CYCLE-DAQ** (**Fotografía 2.2.1**), este dispositivo es un sistema eléctrico-electrónico que está compuesto por sensores y transductores que se encargan de adquirir el valor de la variable de interés (señal analógica) en el proceso de medición; un módulo acondicionador de la señal proveniente del sensor, para que posteriormente, pueda ser muestreada y convertida a su equivalente digital mediante el convertidor analógico-digital; y una unidad de registro para poder almacenar los datos que posteriormente podrán ser procesados y analizados.



**Fotografía 2.2.1.- CYCLE-DAQ.**

En la **Figura 2.2.1** se muestra un diagrama simple que visualiza las entradas y salidas de información del **CYCLE-DAQ**.



**Figura 2.2.1.- Diagrama de bloques simple del CYCLE-DAQ.**

El **CYCLE-DAQ** fue desarrollado alrededor de un microcontralador Arduino de 8 bits. Los sensores y sus dispositivos incorporados así como sus funciones principales se muestran en la **Tabla 2.2.1**.

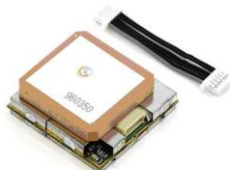
Dispositivo	Función
Sistema de Posicionamiento Global (GPS).	Posición (latitud y longitud), velocidad (Km/h).
Acelerómetro digital de tres ejes.	Inclinación (°).
Banca analizadora de gases.	Concentraciones de <b>CO</b> , <b>CO<sub>2</sub></b> , <b>HC</b> , <b>NO<sub>x</sub></b> , y <b>O<sub>2</sub></b> .
Micro SD CARD.	Almacenamiento de datos.
LCD.	Despliegue de la información.

**Tabla 2.2.1.- Dispositivos y funciones principales del CYCLE-DAQ.**

A continuación se describe someramente cada uno de los dispositivos integrados dentro del **CYCLE-DAQ**.

#### **Sistema de posicionamiento global (GPS).**

Como se ha mencionado con anterioridad, uno de los parámetros de suma importancia por conocer, es la posición y velocidad instantánea del vehículo. Una forma de realizar esto, sin ser invasivos en la parte mecánica del automóvil, es implementado un receptor **GPS**. El modelo que fue usado es un **EM-406A** como el mostrado en la **Figura 2.2.2**.



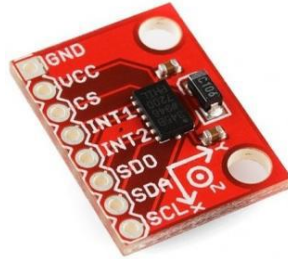
**Figura 2.2.2.- Receptor GPSEM-406A.**

El principio funcional del **GPS**, se basa en medir el tiempo empleado por la señal transmitida por los satélites en llegar al receptor y este intervalo de tiempo es multiplicado por la velocidad de la luz para obtener la distancia satélite-receptor. [12]

Este receptor **GPS**, cuenta con 20 canales para establecer la comunicación con los satélites y una frecuencia de 1575.42 MHz. El receptor es compatible con el protocolo **NMEA 0183**, este protocolo permite conocer la posición (latitud y longitud) y la velocidad del vehículo con un periodo de muestreo de 1[s], fundamental para el desarrollo de los ciclos de manejo. La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante el protocolo **RS-232** en niveles TTL a una tasa de transferencia de 4800 Bauds. <sup>[13]</sup>

### **Acelerómetro digital de 3 ejes.**

El **ADXL345**, *Figura 2.2.3*, mide la aceleración dinámica resultante de movimientos o caídas, así como la aceleración estática de la gravedad para aplicaciones en donde es utilizado como sensor de inclinación, debido a su alta resolución permite medir cambios de inclinación menores a 1.0°. <sup>[14]</sup>



**Figura 2.2.3.- Acelerómetro de tres ejes ADXL345.**

Es un dispositivo pequeño, ligero y de bajo consumo. Para la comunicación con el microprocesador utiliza la interfaz **I<sup>2</sup>C**. Los datos obtenidos directamente del acelerómetro son en unidades de [g]. Por lo que es necesario realizar algunas conversiones para que el dispositivo funja como un sensor de inclinación.

Para convertir la aceleración media a un ángulo de inclinación, es necesario calcular el seno inverso del eje *x* y el coseno inverso del eje *y*. <sup>[15]</sup>

Las ecuaciones para la conversión de aceleración en ángulos de inclinación son:

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{A_{xOUT}[g]}{1[g]} \right) \quad (5)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{A_{yOUT}[g]}{1[g]} \right) \quad (6)$$

Una manera más sencilla y eficaz de calcular el ángulo de inclinación la proporciona la siguiente ecuación.

$$\frac{A_{xOUT}}{A_{yOUT}} = \frac{1g * \sin(\theta)}{1g * \cos(\theta)} = \tan(\theta) \quad (7)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_{xOUT}}{A_{yOUT}}\right) \quad (8)$$

En donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación resultante en radianes [rad]. <sup>[15]</sup>

### **Banca analizadora de gases.**

Para conocer las concentraciones de los 5 principales gases contaminantes que un motor de combustión interna emite bajo distintas circunstancias, como arranque en frío, aceleración súbita, frenado, velocidad constante y cuando el vehículo se ha detenido <sup>[16]</sup>, se ha utilizado un analizador de gases **ANDROS 6600**.

El proceso de adquisición de datos inicia cuando una muestra de gas proveniente del escape del vehículo es conducido al analizador mediante una sonda. El sistema neumático de transporte se encarga de la distribución de la muestra desde la entrada hasta la salida de la banca, en este proceso es cuando la adquisición de los datos se realiza por parte del sistema de control de la banca, ya que los gases son censados y la información está lista para ser transmitida.

El **CYCLE-DAQ** hace la petición de los datos y es cuando la transmisión inicia. Ésta se realiza a través de la interfaz serial asincrónica **RS-232** a una tasa de transferencia de 19200 Bauds/s. <sup>[17]</sup>

El analizador de gases es un dispositivo que funciona con 127 VAC, **Figura 2.2.4**, por tal motivo, para poder utilizarlo en conjunto con el **CYCLE-DAQ** es necesario adaptar dicho voltaje con un inversor CD-CA, alimentado desde el encendedor o la batería del automóvil.



**Figura 2.2.4.- Banca analizadora de gases ANDROS 6600.**

### **SD CARD.**

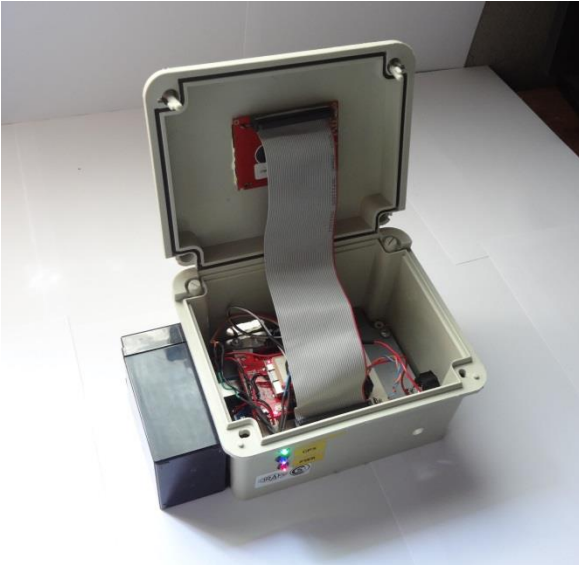
Para llevar a cabo la recolección y el almacenamiento de los parámetros, se utiliza una memoria **Micro SD CARD**, compatible con los formatos **FAT16** y **FAT32**, lo cual facilita el acceso a los datos desde cualquier computadora personal siendo la capacidad de almacenamiento de **2GB** para **FAT16** y **4GB** para **FAT32**.

Los datos referentes a la hora en que son efectuados los recorridos, posición, velocidad e inclinación del automóvil, así como las emisiones de los gases contaminantes son registrados segundo a segundo en la **SD CARD** (**Figura 2.2.5**).



**Figura 2.2.5 SD CARD de 2GB**

Para el registro de datos, se utiliza la interfaz **SPI** (Serial Peripheral Interface) entre el microcontrolador Arduino y la memoria **Micro SD**. Todo el Sistema de Adquisición de Datos, está montado en un gabinete portátil, que cuenta con un display de cristal líquido, el cual muestra los datos que son de mayor relevancia para el usuario (**Fotografía 2.2.2 y 2.2.3**).



**Fotografía 2.2.2- Vista interna del CYCLE-DAQ**



**Fotografía 2.2.3.- Vista del Display**

Los datos se registran en un archivo **.txt** segundo a segundo, como se aprecia en la **Figura 2.2.6**. El orden en que son guardados los valores, es el siguiente: *hora, latitud, longitud, velocidad, eje x, eje y, CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>*

```

LOGGER: Bloc de notas
Archivo  Edición  Formato  Ver  Ayuda
15:28:37,19199285,99113780,0,3,86
15:28:38,19199182,99113834,0,2,83
15:28:39,19199268,99113784,0,3,87
15:28:40,19199149,99113879,0,-2,83
15:28:41,19199390,99113753,0,0,86
15:28:42,19199344,99113784,0,0,83
15:28:43,19199094,99113970,0,3,78
15:28:44,19199346,99113820,0,0,81
15:28:45,19199435,99113767,0,5,80
15:28:46,19198973,99114080,0,6,80
15:28:47,19199515,99113718,0,5,78
15:28:48,19199149,99113968,0,7,93
15:28:49,19199027,99114063,0,7,83
15:28:50,19199367,99113844,0,7,87
15:28:51,19199257,99113932,0,3,84
15:28:52,19199332,99113898,0,4,81
15:28:53,19199375,99113895,0,1,80
15:28:54,19199255,99113968,0,-4,82
15:28:55,19199083,99114088,0,2,78
15:28:56,19198987,99114147,0,-3,81
15:28:57,19199321,99113917,0,-1,89
15:28:58,19198939,99114173,0,-3,86
15:28:59,19198942,99114170,0,8,84
15:29:0,19198996,99114133,0,2,83

```

**Figura 2.2.6.- Archivo .txt contenido en la SD CARD.**



## 2.3 Depuración de datos mediante el uso de MATLAB.

Los parámetros recolectados mediante el Sistema de Adquisición de Datos (**CYCLE-DAQ**) fueron guardados en un formato de archivo **.txt**, lo cual es una forma simple y sencilla de almacenar una gran cantidad de información, sin embargo, fue necesario cambiar dicho formato para su posterior análisis estadístico.

El primer paso que se realizó, fue abrir y guardar los archivos **.txt** en una hoja de cálculo con extensión **.xls**, con esto se obtuvo separar los parámetros mediante columnas y no por comas como se tenía originalmente.

Posteriormente, mediante las coordenadas de latitud y longitud obtenidas y con la ayuda de la aplicación de Google Maps, se trazaron las rutas, esto con el fin de saber exactamente las vías por las cuales transitaron los vehículos y así hacer una separación de los datos que pertenecieran a vías primarias, secundarias y autopista.

Cabe destacar que debido a la gran cantidad de archivos que resultaron de esta clasificación, se creó una hoja de cálculo llamada **Key-LDAQ** donde se especifican todos los archivos generados, así como algunos datos que no pueden ser obtenidos por el **CYCLE-DAQ**, como la edad, sexo del conductor y el tipo de vehículo, entre otros. **Tabla 2.3.1**

Archivo	Brigada	Vía	Sexo	Vehículo	Modelo	Cilindrada	Edad	Sección
MAZDA03	L	U	F	MAZDA_3	2013	2.5	26	1
MAZDA03	L	S	F	MAZDA_3	2013	2.5	26	2
MAZDA03	L	U	F	MAZDA_3	2013	2.5	26	3

The diagram shows two dashed boxes. The left box contains the text 'Archivo original' with an upward-pointing arrow directed at the 'Archivo' column of the table above. The right box contains the text 'Diferente sección del archivo original' with an upward-pointing arrow directed at the 'Sección' column of the table above.

**Tabla 2.3.1.- Datos contenidos en el KEY-LDAQ.**

En “**Archivo**” se hace la referencia a los datos originales obtenidos con el CYCLE-DAQ, la “**Brigada**” indica la clasificación del vehículo, en este caso hablamos de vehículos ligeros, en “**Vía**” existen tres categorías, primaria (**U**), secundaria (**S**) y autopista (**A**).

Esto no solo sirvió para tener un control específico de todos los datos con los que se trabajaron, sino también para hacer una depuración de ellos, esto debido a que el **CYCLE-DAQ** llegaba en ocasiones a registrar valores erróneos a causa de la desincronización con los satélites.

Para esta depuración se creó una rutina utilizando el programa **MATLAB** (Matrix Laboratory), la cual sirvió para eliminar todos los valores erróneos y tener una organización más detallada de los parámetros, lo cual, además, representará una gran utilidad para futuras consultas.

**MATLAB**, utiliza las siguientes ventanas de despliegue: *command window*, *workspace*, *command history* y *editor*, entre otras que se abren automáticamente cuando es necesario (*document*, *graphics* y *editing*). Contiene un poderoso lenguaje de programación, como programador, puede crear y guardar código en archivos llamados archivos *.m*. Un archivo *.m* es un archivo de texto **ASCII** similar a los archivos de código fuente de **C** o **FORTRAN**.

La siguiente rutina se creó en el depurador (*editor/debugger*) de archivos *.m*:

```
%En esta parte de las instrucciones, se comienza borrando todas las variables y valores que se tengan almacenados en la memoria de MATLAB%  
clearall, closeall
```

```
%Se crea una variable de valor unitario que será usada al momento de crear las gráficas%  
i=1;
```

```
%A continuación se lee la hoja de cálculo Key-LDAQ, que contiene el nombre de los archivos que serán leídos%
```

```
%El comando xlsread, sirve para leer los datos contenidos en una hoja de cálculo, estos valores son guardados en dos variables que creamos y llamamos "A" y "B", en "B", se guardan todos aquellos valores que son letras (archivo, brigada, vía, sexo, vehículo, modelo, cilindrada, edad, sección) mientras que en "A", se guardan todos los valores numéricos%  
[A B]=xlsread('Key-LDAQ.xls');
```

```
%Se crea otra variable nombrada "headings", en la cual se guardan los encabezados (archivo, brigada, sexo, vehículo, modelo, cilindrada, edad y sección) %
```

```
%Los valores de "headings" son tomados de la variable "B", tomando la primera fila y todas las columnas%  
headings=B(1, :);
```

%A "B", se le asignan nuevos valores tomados de "B", pero ahora desde la fila 2 hasta la fila que contenga valores y todas las columnas%

```
B=B(2:end, :);
```

%Se crean dos variables "nf" y "nc", en estas se almacena el tamaño de la variable "A", en "nf" se guarda la cantidad de filas, mientras que en "nc" se guarda la cantidad de columnas. Estas variables serán usadas posteriormente para un ciclo FOR%

```
[nf,nc]=size(A);
```

%A continuación, se crean las siguientes variables que servirán para construir el archivo llamado **Directorio**, el cual contendrá toda la información detallada de los muestreos%

%Archivo de precedencia%

```
KFile=['ene01-1'; 'ene01-2'];
```

%Fecha en la que se realizó la prueba%

```
KFecha=['F13-02-04'; 'F13-02-04'];
```

%Hora en que inicio la prueba%

```
KHora_inic=[0; 0];
```

%Hora en que termino la prueba%

```
KHora_fin=[0; 0];
```

%Horario (matutino, vespertino, nocturno) según sea el caso%

```
KHorario=['M'; 'M'];
```

%Distancia recorrida%

```
KDisrec=[0; 0];
```

%Archivo filtrado%

```
KArcF=['F'; 'F'];
```

%Tiempo total del recorrido%

```
KTTime=[0; 0];
```

%Velocidad máxima. %

```
KVM=[0; 0];
```

%Velocidad media sin el tiempo de inactividad%

```
KASWIT=[0; 0];
```

%Velocidad media considerando el tiempo de inactividad%

```
KAS=[0; 0];
```

%Tiempo de inactividad del recorrido%

```
KIT=[0; 0];
```

%Estas variables serán sobrescritas con los valores obtenidos de los muestreos%

%En este paso se usó el comando **cellstr** para crear una matriz celular de cadenas de una matriz de caracteres, es decir, se cambia el tipo de variable de carácter a celda%

```
KFile=cellstr(KFile) ;  
KFecha=cellstr(KFecha) ;  
KArcF=cellstr(KArcF) ;
```

%Se toman los valores del **Key-LDAQ** de las primeras 5 columnas para convertirlos en variables de tipo carácter (nombre del archivo de procedencia, L, U, M y vehículo) %

%Por lo tanto se crean las variables “*archivo*”, “*brigada*”, “*vía*”, “*sexo*” y “*vehículo*” y se les asigna su valor correspondiente según los valores que se contenga en el **Key-LDAQ** de tipo carácter%

%El siguiente ciclo **FOR**, es para que sean leídos todos y cada uno de los archivos contenidos dentro del **Key-LDAQ**%

```
for sample=1:nf  
    for m=1:5
```

%Para crear los vectores a usar con los números, se toman los valores de “*headings*” del primer renglón primera columna hasta la columna 5 y se les asigna el valor de “*B*” desde 1 hasta el valor de “*nf*” %

```
        eval ( [char (headings (m)) , '=char (B (sample ,m)) ; ' ] )  
    end
```

%Índice de la columna “*A*”, es decir archivo que será leído%

```
    k=1 ;  
    for m=6:9
```

%Posteriormente se crean las variables de “*modelo*”, “*cilindrada*”, “*edad*” y “*sección*”, pero debido a que estas contienen valores numéricos, serán variables de tipo numérico (double) %

```
        eval ( [char (headings (m)) , '=A (sample ,k) ; ' ] )
```

%La siguiente variable representa un incremento para posteriores archivos a leer%

```
    k=k+1 ;  
end
```

%Ya que se han creado todas estas variables, será fácil leer cada uno de los archivos que se tienen registrados en el **Key-LDAQ** y cargar los valores que contienen para poder así realizar la depuración de todos aquellos valores erróneos proporcionados por el **CYCLE-DAQ**%

%En los siguientes renglones del código, se comienza leyendo el primer archivo que se tiene en el **Key-LDAQ** ya que la variable “*archivo*” recordemos que irá tomando cada uno de los valores que contenga el **Key-LDAQ**%

%A la variable “*C*” se le asignan los valores de longitud, latitud, altitud y velocidad por ejemplo, mientras que a la variable “*D*” se le asigna la fecha la muestra%

```
[C D]=xlsread ([Archivo, '.xls'] ) ;
```

%Indica en pantalla que el archivo en cuestión ha sido cargado%

```
disp([Archivo, '.xls loaded'])
```

%Se crea la siguiente variable de tipo carácter, a la cual se le asigna el nombre del archivo previamente cargado con su extensión original%

```
Filek=[Archivo, '.xls'];
```

%A continuación se comienza a organizar todos los valores obtenidos por el **CYCLE-DAQ** en diferentes variables%

%Se indica que serán tomados todos los valores de todas las filas pero sólo de la primera columna de la variable "D" %

```
Date=D(:,1);
```

%Se indica que sean tomados todos los valores de todas las filas pero sólo de la primera columna de la variable "C" %

```
Hour=C(:,1);
```

%Se indica que sean tomados todos los valores de todas las filas ahora de la segunda columna y así sucesivamente de la variable "C" %

```
Lat=C(:,2);
```

%Valores de latitud%

```
Long=C(:,3);
```

%Valores de altitud%

```
Alt=C(:,4);
```

%Distancia recorrida%

```
Dist=C(:,5);
```

%Velocidad segundo a segundo%

```
V=C(:,6);
```

%Pendiente%

```
Pend=C(:,7);
```

%Se comienza a filtrar los valores erróneos%

%Se crea una variable llamada "ind1" en la cual se guarda el número de la fila donde si exista un valor registrado, es decir se omiten todas aquellas filas donde exista un cero%

```
ind1=find(Hour);
```

%En las siguientes líneas se guardan los valores del primer filtro%

```
Date=Date(ind1);
```

```
Hour=Hour(ind1);
```

```
Long=Long(ind1);
```

```
Lat=Lat(ind1);
```

```
Alt=Alt(ind1);
```

```
Dist=Dist(ind1);
```

```
V=V(ind1);  
Pend=Pend(ind1);
```

%Se crea una variable llamada "ind2" en la cual se guarda el número de la fila donde sí exista un valor de la longitud, es decir se omiten todos aquellos valores de longitud donde exista un cero%

%Ahora se sobre escriben los valores de la variable "date", "hour", "long", con los valores de las líneas que si contienen datos%

```
ind2=find(Long);  
Date=Date(ind2);  
Hour=Hour(ind2);  
Long=Long(ind2);  
Lat=Lat(ind2);  
Alt=Alt(ind2);  
Dist=Dist(ind2);  
V=V(ind2);  
Pend=Pend(ind2);
```

%Se aplica un filtro considerando la latitud y se sigue el procedimiento anteriormente descrito%

```
ind3=find(Lat);  
Date=Date(ind3);  
Hour=Hour(ind3);  
Long=Long(ind3);  
Lat=Lat(ind3);  
Alt=Alt(ind3);  
Dist=Dist(ind3);  
V=V(ind3);  
Pend=Pend(ind3);
```

%Filtro para la altitud%

```
ind4=find(Alt);  
Date=Date(ind4);  
Hour=Hour(ind4);  
Long=Long(ind4);  
Lat=Lat(ind4);  
Alt=Alt(ind4);  
Dist=Dist(ind4);  
V=V(ind4);  
Pend=Pend(ind4);
```

%Se grafica la velocidad contra tiempo ya con los valores filtrados. Recordemos que se creó una variable de valor unitario para después agregar un incremento y así evitar que las gráficas fuesen sobrescritas%

```
figure(i)  
plot(Hour,V)  
xlabel('Hora')  
ylabel('V [km/h]')  
i=i+1;
```

%Se grafica la ruta del recorrido pero en tres dimensiones, considerando la longitud, latitud y altitud%

```
figure(i)
stem3(Long,Lat,Alt, '-.ro')
xlabel('Longitude')
ylabel('Latitude')
```

%Como la anterior grafica muestra tres dimensiones y sólo es de nuestro interés visualizar la longitud y altitud, se escribe el siguiente comando para tener una vista de planta%

```
az = 0;
el = 90;
view(az, el);
```

%Se agrega nuevamente un incremento para futuras gráficas, procedentes de distintos archivos%

```
i=i+1;
```

%Después de los valores filtrados, se toma la fecha en la que se realizó la prueba, la hora de inicio y termino de la prueba y la distancia total recorrida%

```
Fecha=Date(1);
Hora_inic=Hour(1);
Hora_fin=Hour(end);
Disrec=(Dist(end)-Dist(1));
```

%En esta línea, lo que se hace es tomar la variable "Fecha" y se convierte de un vector a un carácter, además de cambiar el formato de la fecha para posteriormente ser usado en el nuevo nombre del archivo depurado que se generará%

```
Fecprueb=datestr(datenum(Fecha, 'dd/mm/yyyy'), 'mm-dd');
```

%Según el horario en el que se hizo la prueba, se discrimina si se trata de un horario matutino, vespertino, o nocturno usando un ciclo IF%

```
if Hora_inic<=0.5
    Hor='M';
else
    if Hora_inic>=0.75
        Hor='N';
    else
        Hor='V';
    end
end
```

%Se crea una variable con la longitud de la variable "Date" %

```
tt=length(Date);
```

%Se obtiene la velocidad máxima de los valores registrados%

```
vm=max(V);
```

%Se encuentra los índices donde la V>0%

```
indta=find(V);
```

```

%Esta variable representara el tiempo de actividad, cada índice representa un segundo%
    ta=length(indta) ;

%Se calcula el tiempo de inactividad%
    ti=tt-ta;

%Se obtiene la velocidad promedio con el tiempo de inactividad, V>0%
    vwta=V(indta) ;
    itav=sum(vwta)/ta;

%Se obtiene la velocidad promedio sin el tiempo de inactividad%
    av=sum(V)/tt;

%En esta parte se crea el nombre del archivo con una nomenclatura fácil de leer, dicho
nombre contiene: %

%Brigada, fecha en que se realizó la prueba, horario antecedido por el prefijo 'H', tipo de
vía y el número de la sección, por ejemplo%
%L05-27HMOVUS1%

%Se usa la función num2str para convertir el número en carácter%
    file_name=[Brigada,Fecprueb,'H',Hor,'V',Via,'S',num2str(Secci
on),'.xls'];

%Se empieza a escribir el archivo con los datos filtrados, se comienza poniendo los
encabezados%
    headers={'Fecha','Hora','Latitud','Longitud','Altitud','Distancia','Velocidad','Pendiente'};

%Se escribe el archivo de Excel, con el nombre previamente establecido y con los
encabezados%
    xlswrite(char(file_name),headers,1,'A1:H1');
    il=length(Date)+1;

%Se establece el rango de los datos%
    Range2=['A2:A',num2str(il)];

%Se escriben los valores de la fecha en el archivo%
    xlswrite(char(file_name),Date,1,Range2);

%Se organizan los datos de hora, latitud, longitud, altitud, distancia, velocidad de la
muestra, utilizando el comando horzcat%
    values=horzcat(Hour,Lat,Long,Alt,Dist,V,Pend);

%Se establece el rango para escribir los números%
    Range3=['B2:H',num2str(il)];

%Se escriben los datos de hora, latitud, longitud, altitud, distancia, velocidad depurados%
    xlswrite(char(file_name),values,1,Range3);

```



```

%Se prepara el directorio%
    Fecpruebr=horzcat('F13-',Fecprueb);

%Se prepara el nombre del archivo leído para integrarlo al directorio%
    f_name=cellstr(file_name);

%Se guardan los datos para el directorio%
    KFile=vertcat(KFile,Filek);
    KFecha=vertcat(KFecha,Fecpruebr);
    KHora_inic=vertcat(KHora_inic,Hora_inic);
    KHora_fin=vertcat(KHora_fin,Hora_fin);
    KHorario=vertcat(KHorario,Hor);
    KDisrec=vertcat(KDisrec,Disrec);
    KArcF=vertcat(KArcF,f_name);

%Tiempo total%
    KTime=vertcat(KTime,tt);

%Velocidad máxima%
    KVM=vertcat(KVM,vm);

%Velocidad promedio sin tiempo de inactividad%
    KAS=vertcat(KAS,av);

%Velocidad promedio con tiempo de inactividad%
    KASWIT=vertcat(KASWIT,itav);

%Tiempo de inactividad%
    KIT=vertcat(KIT,ti);
end

%Se borran valores auxiliares de algunas variables%
KFile(1,:)=[]; KFile(1,:)=[];
KFecha(1,:)=[]; KFecha(1,:)=[];
KHora_inic(1,:)=[]; KHora_inic(1,:)=[];
KHora_fin(1,:)=[]; KHora_fin(1,:)=[];
KHorario(1,:)=[]; KHorario(1,:)=[];
KDisrec(1,:)=[]; KDisrec(1,:)=[];
KArcF(1,:)=[]; KArcF(1,:)=[];

%Tiempo total%
KTime(1,:)=[]; KTime(1,:)=[];

%Velocidad máxima%
KVM(1,:)=[]; KVM(1,:)=[];

%Velocidad promedio sin tiempo de inactividad%
KAS(1,:)=[]; KAS(1,:)=[];

%Velocidad promedio con tiempo de inactividad%
KASWIT(1,:)=[]; KASWIT(1,:)=[];

```

```

%Tiempo de inactividad%
KIT(1,:)=[]; KIT(1,:)=[];

%En seguida se empieza a preparar las variables para crear el directorio%

%Se crean los encabezados%
headir={'ArchOrig','Fecha','Horainicio','Horatermino','Horario','Distrec','Tiempototal','Velmax','VelpromcTI','Tiempo inact','VelpromsTI','ArchFilt'};

%Se crea el directorio%
xlswrite('LDirectorio',headir,1,'A1:L1');

%Se escribe el archivo y fecha dentro del directorio%

%Se especifica el límite inferior de los datos%
il=length(KFile)+1;

%Rango para escribir los datos%
Range4=['A2:B',num2str(il)];

%Datos para salvar; archivo y día%
FD=horzcat(KFile,KFecha);

%Día de la prueba%
xlswrite('LDirectorio',FD,1,Range4);

%Se escriben la hora de inicio y la hora de término dentro del directorio%

%Se organizan los datos de la muestra%
Dirv1=horzcat(KHora_inic,KHora_fin);

%Rango para escribir los datos%
Range5=['C2:D',num2str(il)];

%Día de la prueba%
xlswrite('LDirectorio',Dirv1,1,Range5);

%Se escribe si pertenece a matutino, vespertino o nocturno el archivo%

%Rango para escribir los datos%
Range6=['E2:E',num2str(il)];

%Fecha de la muestra%
xlswrite('LDirectorio',KHorario,1,Range6);

%Se escribe la distancia recorrida, los tiempos de interés y las velocidades dentro del directorio%

```

*%Se organizan los datos de la muestras%*

```
Dirv2=horzcat(KDisrec,KTime,KVM,KAS,KIT,KASWIT);
```

*%Se especifica el rango para escribir lo datos%*

```
Range7=['F2:K',num2str(il)];
```

*%Día de la muestra%*

```
xlswrite('LDirectorio',Dirv2,1,Range7);
```

*%Y se escribe el nombre del archivo filtrado dentro del directorio%*

```
Range8=['L2:L',num2str(il)];
```

```
xlswrite('LDirectorio',KArcF,1,Range8);
```

## 2.4 Selección de rutas y muestreos en campo.

Pese a las dificultades presentadas al conseguir los automóviles exactos para llevar a cabo la selección de las rutas de muestreo, se optó por conseguir vehículos que cumplieran con algunos de los requisitos de las características deseadas como la cilindrada, el número de cilindros y/o la marca, esto con el fin de solucionar este inconveniente.

Dada esta situación, se decidió que las rutas a muestrear serian tomadas de acuerdo a los recorridos de las personas que hicieran favor de prestar sus autos para colocar en su interior el **CYCLE-DAQ** (*Fotografía 2.4.1*) y así, ser partícipes en los muestreos y puesto que ya contaban con una ruta específica, la cual, podía ser de su casa a su trabajo o escuela, esta ruta podría ser recorrida en varias ocasiones por lo que resulto una buena forma de seleccionar las rutas, además de que se contó con la posibilidad de llevar a cabo los recorridos en tres diferentes zonas del Valle de México; Norte, Oriente y Sur, en las cuales la mayor parte de los muestreos se efectuaron.



***Fotografía 2.4.1.- Vista parcial un vehículo con el CYCLE-DAQ.***

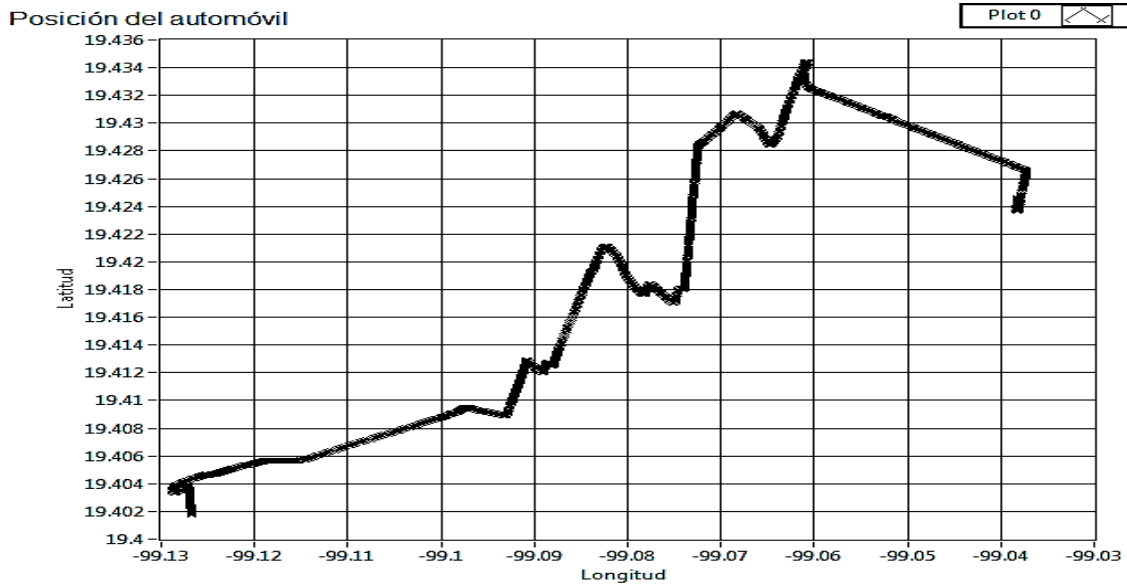
Como se mencionó anteriormente, debido a que las rutas de los recorridos ya estaban determinadas, implícitamente también los horarios de los mismos, razón más por la que se consideró adecuada la decisión de que las rutas seleccionadas fueran las de los dueños de los automóviles.

Con lo que se refiere a los muestreos en campo, se procedió a la localización de la mayor cantidad de vehículos de personas conocidas, que contaran con los requerimientos que se necesitaban, para después hacerles saber sobre el proyecto y solicitar su ayuda, explicando en qué consistiría el proyecto y la forma de utilizar el dispositivo de adquisición de datos (**CYCLE-DAQ**), para que supieran operarlo durante los días que lo tendrían para así recabar la información sobre sus recorridos.

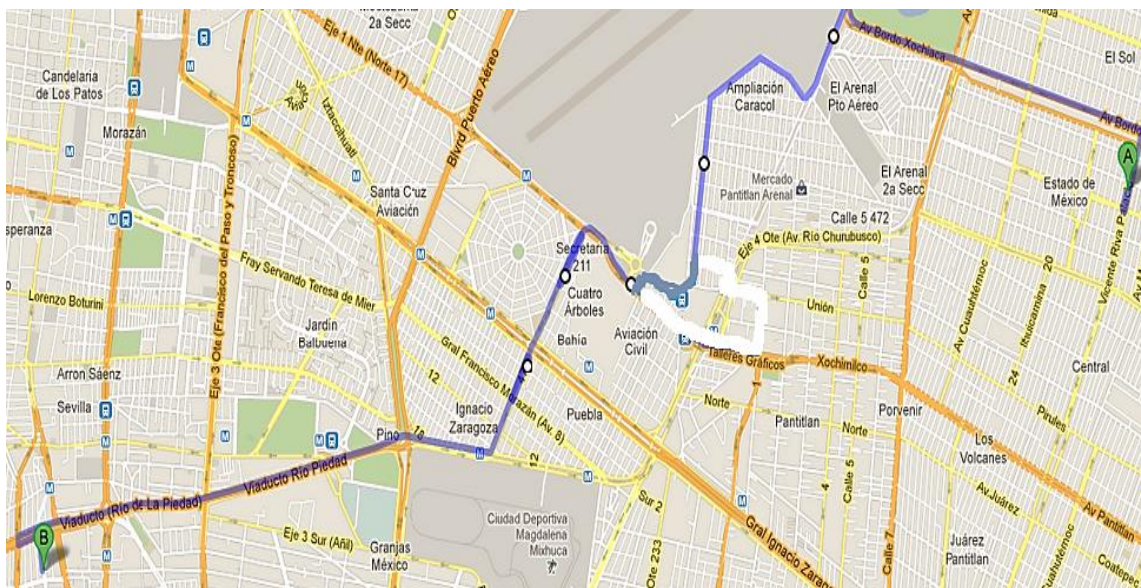


**Fotografía 2.4.2.- Monitoreo de trayectos mediante el CYCLE-DAQ.**

Para que los recorridos fueran confiables, se trazaron las trayectorias recorridas con el uso de la aplicación de **Google Maps**, mediante los datos de longitud y latitud obtenidos por el **CYCLE-DAQ** (**Figura 2.4.1**) y, gracias a la colaboración del equipo de instrumentación, se pudieron corroborar mediante un software que trazaba los valores de longitud contra latitud, como se muestra en la **Gráfica 2.4.1**.



**Gráfica 2.4.1.- Trayecto del muestreo tomando en cuenta la posición del automóvil, según el CYCLE-DAQ.**



**Figura 2.4.1.- Trayecto del muestreo de acuerdo a Google Maps <sup>[18]</sup>.**

Puesto que ambos trayectos son similares, se pudo garantizar que los recorridos eran confiables y con ello podían ser tomados en cuenta.

## CAPÍTULO 3 MANEJO ESTADÍSTICO DE DATOS

### 3.1 Sistematización de la información.

Una vez que se obtuvieron archivos depurados, se prosiguió a agrupar dichos archivos en **7 categorías** considerando las combinaciones entre vías y horarios de recorrido. De esta manera, se tuvo un mejor manejo de la información dado que se trabajaba con grupos de archivos más pequeños. Las categorías fueron:

- Matutino-Primaria (M-P).
- Vespertino-Primaria (V-P).
- Nocturno-Primaria (N-P).
- Matutino-Secundaria (M-S).
- Vespertino-Secundaria (V-S).
- Nocturno-Secundaria (N-S).
- Autopista (A).

La categoría autopista no se dividió en matutino, vespertino y nocturno ya que se contaban con pocos muestreos, insuficientes para hacer una división horaria útil. Para dicha categoría, se pasó directamente a la obtención del ciclo total. Con la nueva agrupación, los archivos quedaron como se muestra en la **Tabla 3.1.1**.

CATEGORÍA	NÚMERO DE ARCHIVOS
M-P	57
V-P	22
N-P	32
M-S	40
V-S	16
N-S	24
A	16

**Tabla 3.1.1.- Número de muestras por categoría.**

Al tener los muestreos agrupados, se utilizó nuevamente el software **MATLAB** para crear directorios por categorías, en la **Tabla 3.3.2** se muestra parte el directorio **M-P**. Posteriormente, en cada archivo de Excel que contenía un directorio, se vació, en una hoja diferente, la información de velocidades de cada

una de los muestreos pertenecientes a la categoría en cuestión, para comenzar el análisis estadístico correspondiente.

Arch Orig	Fecha	Hora inicio	Hora termino	Horario	Dist rec	Tiempo total	Vel max	Vel prom cTI	Tiempo inact	Vel prom sTI	Arch Filtr
0502p.xls	F13-02-05	08:47:49 a. m.	08:56:49 a. m.	M	4071.191	542	86	24.62915129	118	31.48349057	L02-05HMOVUS1.xls
0502p2.xls	F13-02-05	09:16:58 a. m.	09:47:02 a. m.	M	4372.047	1805	57	7.017728532	839	13.11283644	L02-05HMOVUS2.xls
060213_1.xls	F13-02-06	08:45:26 a. m.	09:53:02 a. m.	M	25289.083	4045	101	20.42645241	966	26.83501137	L02-06HMOVUS1.xls
26021p.xls	F13-02-26	09:18:02 a. m.	09:28:28 a. m.	M	5523.966	544	81	29.18566176	64	33.07708333	L02-26HMOVUS1.xls
26021p2.xls	F13-02-26	09:40:58 a. m.	09:53:46 a. m.	M	4542.06	703	77	18.92887624	138	23.55221239	L02-26HMOVUS2.xls
280213_1.xls	F13-02-28	06:40:33 a. m.	07:30:41 a. m.	M	21232.873	2999	94	23.1573858	1017	35.03985873	L02-28HMOVUS1.xls
08031p.xls	F13-03-08	09:45:12 a. m.	09:51:58 a. m.	M	4141.321	407	75	34.73710074	27	37.20526316	L03-08HMOVUS1.xls
08031p2.xls	F13-03-08	10:09:10 a. m.	10:18:08 a. m.	M	4360.597	537	86	27.15083799	127	35.56097561	L03-08HMOVUS2.xls
12031p.xls	F13-03-12	09:53:54 a. m.	10:10:18 a. m.	M	3629.97	804	59	12.51243781	194	16.49180328	L03-12HMOVUS1.xls
130313_1.xls	F13-03-13	10:37:50 a. m.	11:15:06 a. m.	M	19889.673	2232	101	29.82526882	672	42.67307692	L03-13HMOVUS1.xls
L0320M.xls	F13-03-20	08:54:35 a. m.	10:03:28 a. m.	M	25449.74	4120	96	19.77208738	1044	26.48276983	L03-20HMOVUS1.xls
wagoneta1.xls	F13-04-09	06:36:31 a. m.	07:12:54 a. m.	M	15836.278	2140	92	23.90700935	484	30.89432367	L04-09HMOVUS1.xls
wagoneta3.xls	F13-04-10	06:30:02 a. m.	07:18:46 a. m.	M	18112.562	2848	88	20.56671348	751	27.93228422	L04-10HMOVUS1.xls
wagoneta4.xls	F13-04-11	06:34:26 a. m.	07:23:21 a. m.	M	18206.349	2824	88	20.17882436	468	24.18718166	L04-11HMOVUS1.xls
optra1.xls	F13-04-16	07:59:34 a. m.	09:50:24 a. m.	M	29692.559	6584	88	13.6222661	2036	19.7205365	L04-16HMOVUS1.xls
optra3.xls	F13-04-17	06:02:32 a. m.	06:57:19 a. m.	M	23298.63	3228	85	20.95415118	814	28.01988401	L04-17HMOVUS1.xls
wagoneta6.xls	F13-04-18	07:36:32 a. m.	08:17:50 a. m.	M	18424.447	2438	83	23.53937654	296	26.79225023	L04-18HMOVUS1.xls
optra5.xls	F13-04-19	08:36:32 a. m.	09:54:03 a. m.	M	22457.169	4634	96	15.30599914	1676	23.97836376	L04-19HMOVUS1.xls
optra7.xls	F13-04-23	06:06:32 a. m.	07:07:14 a. m.	M	22989.902	3612	77	20.25055371	980	27.7906535	L04-23HMOVUS1.xls
optra9.xls	F13-04-24	09:53:56 a. m.	10:47:32 a. m.	M	23452.476	3207	92	23.52697225	976	33.81936351	L04-24HMOVUS1.xls
pointer1.xls	F13-05-01	11:06:07 a. m.	11:18:54 a. m.	M	4049.917	748	62	15.95187166	257	24.30142566	L05-01HMOVUS1.xls
pointer3.xls	F13-05-02	10:33:32 a. m.	10:55:09 a. m.	M	8009.798	1256	70	20.28901274	360	28.44084821	L05-02HMOVUS1.xls
pointer4.xls	F13-05-03	04:00:50 a. m.	04:13:59 a. m.	M	8092.914	785	81	33.91592357	108	39.32644018	L05-03HMOVUS1.xls
pointer5.xls	F13-05-04	09:33:04 a. m.	09:50:12 a. m.	M	8023.798	974	81	25.15092402	244	33.55753425	L05-04HMOVUS1.xls
pointer8.xls	F13-05-06	12:39:20 a. m.	12:58:39 a. m.	M	12123.518	1141	88	35.21998247	262	45.71786121	L05-06HMOVUS1.xls
ibiza1.xls	F13-05-08	07:34:07 a. m.	07:40:40 a. m.	M	3593.169	377	59	23.55172414	101	32.17028986	L05-08HMOVUS1.xls
ibiza1_3.xls	F13-05-08	07:50:29 a. m.	08:36:12 a. m.	M	10376.637	2745	68	11.3701275	1062	18.54486037	L05-08HMOVUS2.xls
ibiza3.xls	F13-05-09	07:31:20 a. m.	07:39:24 a. m.	M	3623.406	467	70	21.13490364	79	25.43814433	L05-09HMOVUS1.xls
ibiza3_3.xls	F13-05-09	07:50:22 a. m.	08:45:32 a. m.	M	10442.734	3311	66	9.231048022	1369	15.73841401	L05-09HMOVUS2.xls
JETA05-4U.xls	F13-05-16	07:36:16 a. m.	08:32:15 a. m.	M	14763.648	3322	74	13.50301023	1222	21.36047619	L05-16HMOVUS4.xls

**Tabla 3.2.- Fragmento del directorio de la categoría Matutino-Primaria.**

### 3.2 Secuencias cinemáticas típicas más representativas.

Una vez que se reorganizó la información de velocidades de acuerdo a la categoría a la que pertenecía, se prosiguió a graficar cada uno de los muestreos por medio de Excel. El tipo de gráfico que se utilizó fue el de dispersión con líneas rectas.

Posteriormente, se ajustaron las gráficas de tal manera que cada una tuviera la misma escala y que fueran adecuadas para su visualización. En la **Gráfica 3.2.1** y **3.2.2** se observan ejemplos de la categoría **M-P**.

Al estar definido lo anterior, se imprimieron cada uno de los gráficos con el fin de obtener una mejor perspectiva de las secuencias cinemáticas que forman cada uno de los muestreos y así tener un mejor punto de comparación entre ellos.

A continuación, se detectaron las secuencias cinemáticas más representativas, es decir, los patrones que más se repetían en una categoría. Dichas secuencias se agruparon en pequeños bloques de acuerdo a su similitud. Véase **Gráfica 3.2.3**.

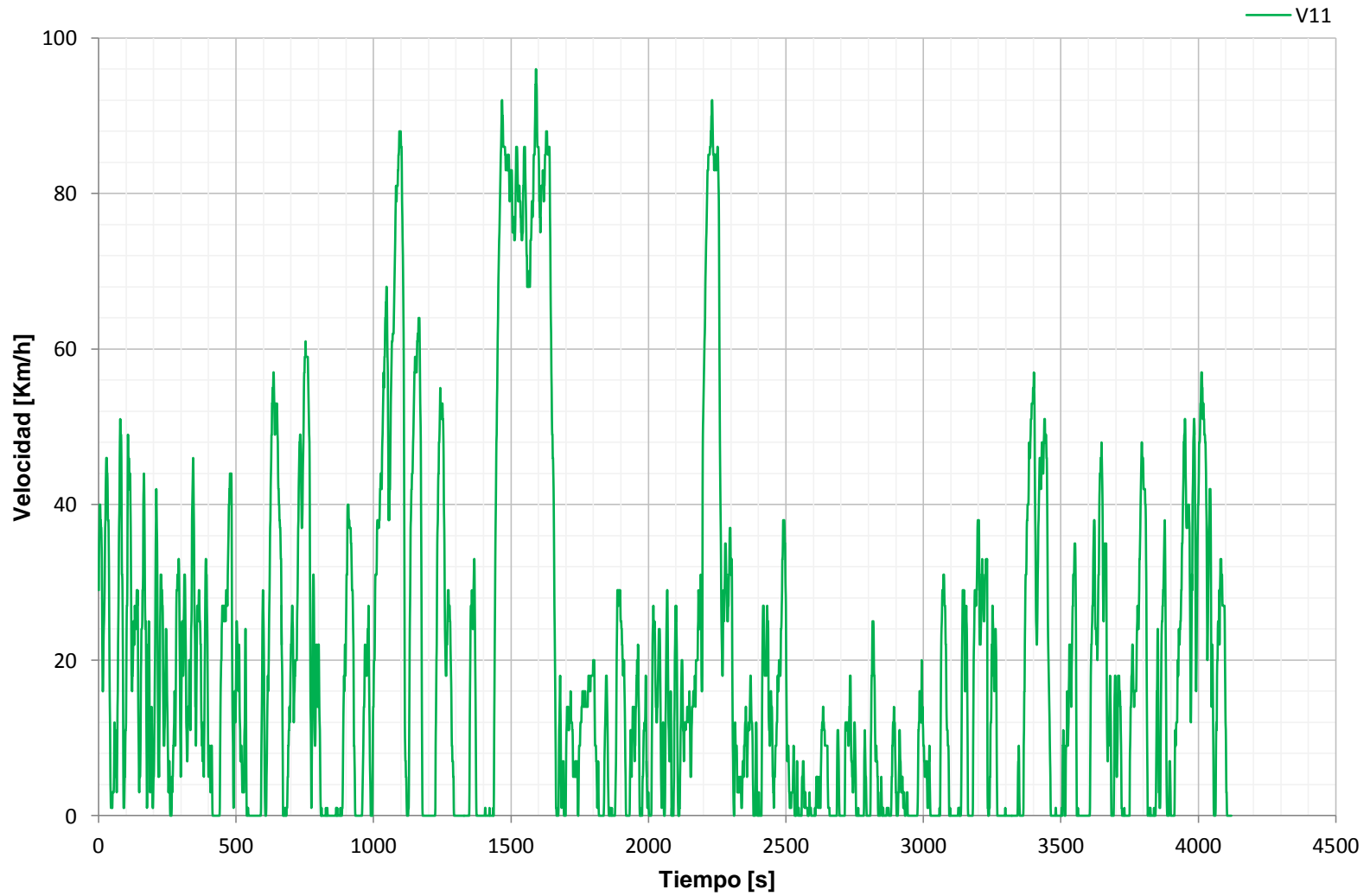
Con las secuencias similares organizadas, se sacaron los datos de velocidad máxima, promedio de velocidad y promedio de duración (tiempo), tanto de cada una de las secuencias, como por bloque. Se buscó aquel patrón que sus datos resultantes fueran los más parecidos a los promedios por conjunto, seleccionando dicho patrón como la secuencia cinemática típica más representativa de dicho bloque. Por ejemplo, para el bloque representado por la **Gráfica 3.2.3**, los valores promedio que se obtuvieron están contenidos en la siguiente tabla.

	<b>Por bloque</b>	<b>Secuencia 1</b>	<b>Secuencia 2</b>	<b>Secuencia 3</b>	<b>Secuencia 4</b>
<i>Promedio velocidad [Km/h]</i>	63.60	60.84	67.87	58.73	58.05
<i>Promedio duración [s]</i>	292.2	310	307	306	306
<i>Velocidad máxima [Km/h]</i>	88.4	92	92	85	77

**Tabla 3.2.1.- Velocidad máxima, promedio de velocidad y tiempo de un bloque y de las secuencias cinemáticas típicas que lo conforman.**

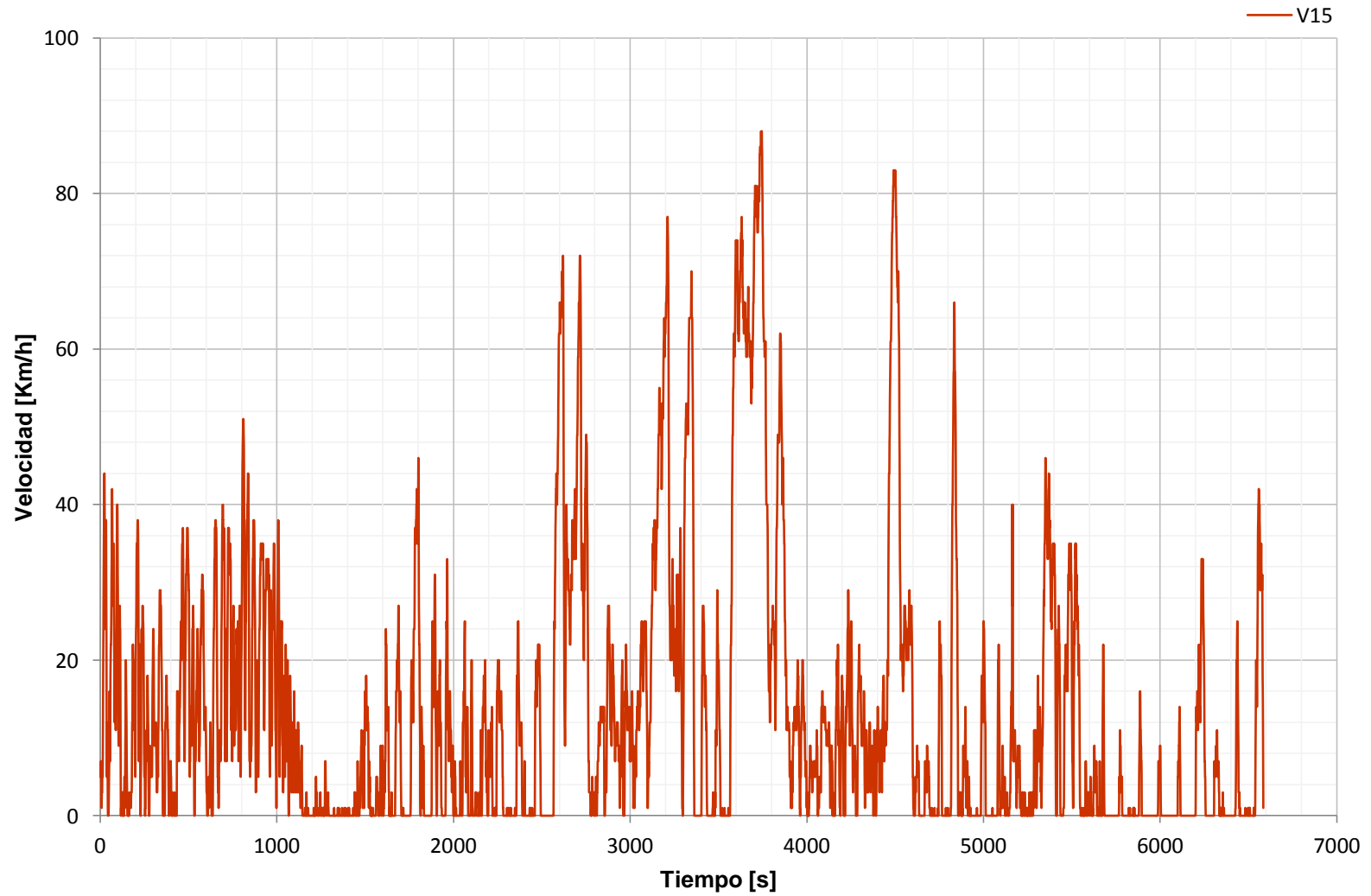


## Matutino-Primaria.

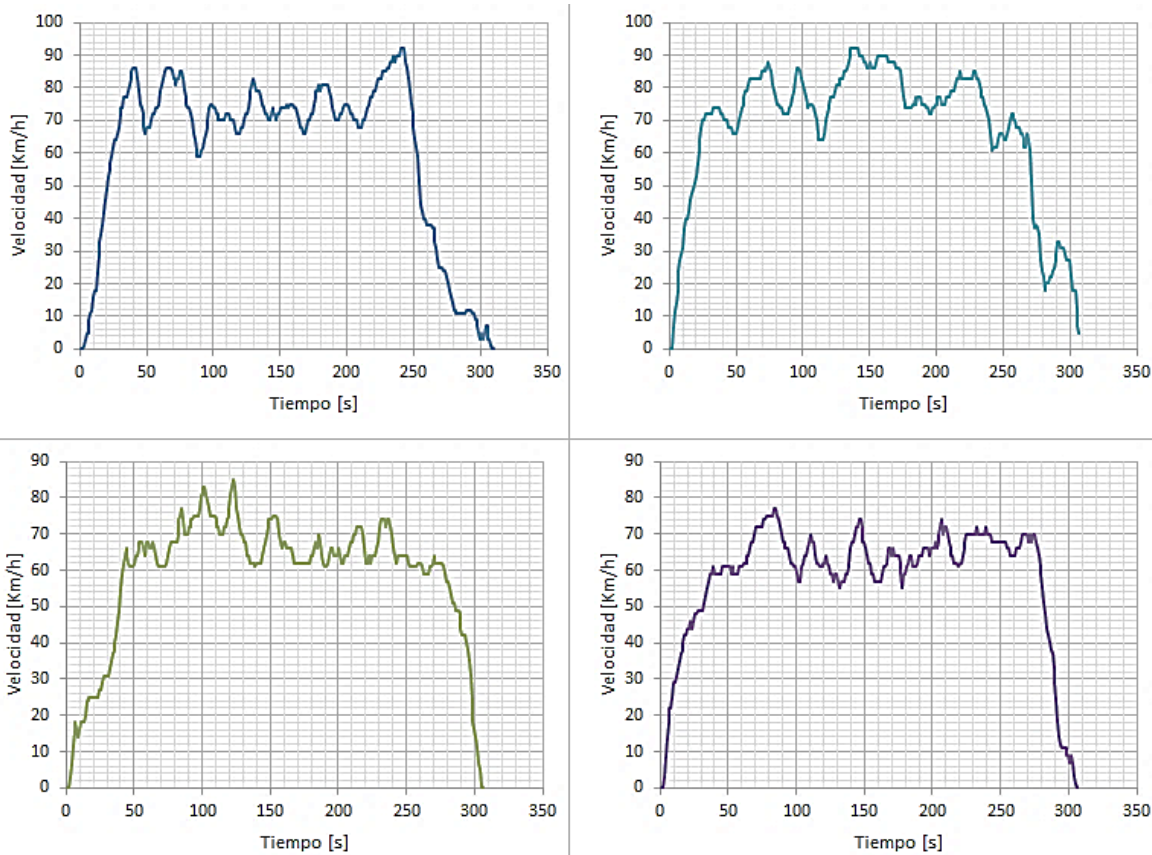


**Gráfica 3.2.1.- Muestreo 11 de la categoría Matutino-Primaria con ajuste de escala.**

## Matutino-Primaria.



**Gráfica 3.2.2.- Muestreo 15 de la categoría Matutino-Primaria con ajuste de escala.**



**Gráfica 3.2.3.- Secuencias cinemáticas típicas de un bloque.**

Para el caso mostrado en la **Tabla 3.2.1**, se tomó como la secuencia cinemática típica representativa la número 3 ya que es la que aporta valores de duración y velocidad máxima más cercanas a la obtenida por bloque. El apartado de velocidad promedio es el único que no es el más cercano, sin embargo, tampoco se dispara mucho del general.

Cabe aclarar que los datos obtenidos por bloque del ejemplo anterior están basados no sólo en las cuatro secuencias observadas, sino también en otras secuencias que no se tomaron en cuenta para mostrarlas en la **Gráfica 3.2.3**. Es por eso que el valor del promedio por duración resulta por debajo de cualquier otro número resultante en las secuencias.

### 3.3 Obtención de los preciclos.

Identificadas las secuencias cinemáticas más representativas por bloque, se prosiguió a la unificación de las mismas por cada categoría. A estos conjuntos de secuencias previas a un ciclo, se les optó por llamar preciclos.

Para la formación de estos preciclos, que son representaciones de comportamiento velocidad-tiempo de acuerdo a vías, pero con subconjuntos de horarios, se observó el orden de aparición de cada una de los patrones típicos dentro de los muestreos a los que pertenecen. Es decir, cada muestreo que presentaba alguna de las secuencias cinemáticas representativas, se dividía en un número “*n*” de sectores con misma duración, donde “*n*” era el número de secuencias distintas que se encontraban en cada categoría. Por ejemplo, para la categoría **V-P** se encontraron cuatro patrones típicos, por ende, cada uno de los muestreos que presentaban alguno de esos patrones se dividieron en cuartos.

Después de fraccionar las gráficas, se contabilizó en qué sección se encontraban cada una de las secuencias cinemáticas típicas. Al finalizar el conteo se observaba en qué sector, en general, era más frecuente localizar dichas secuencias. Este proceso se realizó con el fin de darles un orden de ensamble al momento de formar los preciclos.

Al graficar las secuencias cinemáticas con el orden establecido, se obtuvo un primer preciclo, que podía ser, o no, el definitivo. Para saber si este preciclo nos podía representar un comportamiento ya característico de la categoría, se tuvieron que realizar ciertas validaciones. Los parámetros que se tomaron en consideración para justificar el preciclo fueron su tiempo de duración, su velocidad máxima alcanzada, su promedio de velocidad y los tiempos de ralenti presentes.

#### **Justificación 1: Comparación del preciclo con muestreos de la misma duración.**

Se buscaron muestreos en el directorio que se asemejaran al resultante del preciclo en tiempo de duración. Una vez identificados dichos archivos, se resaltaron sus promedios de velocidad con y sin tiempos inactivos. Sí el promedio resultante del preciclo se encontraba dentro de esos rangos, se cumplía esta justificación.

En algunas ocasiones, valores como la velocidad máxima y tiempo de ralenti también coincidieron.

**Justificación 2: Comparación del preciclo con los promedios generales de velocidad.**

Se obtuvieron los promedios de velocidad y velocidad máxima de todo el bloque, junto con su desviación estándar. Los promedios de velocidad del preciclo debían estar dentro de los rangos que resultaron de los datos generales para entrar en esta justificación. Sí el valor no se encontraba dentro de los promedios, se utilizaban los valores dados por la desviación estándar para seguir validando.

**Justificación 3: Comparación con la relación Tiempo Inactivo-Tiempo Total.**

En la hoja que contenía el directorio, se creó una columna donde se calculó la razón entre el tiempo inactivo y el tiempo total de cada muestreo (**TI/TT**). Al final de dicha columna se extrajo el promedio general **TI/TT**, la desviación estándar y el límite inferior resultante de la resta de ambos conceptos estadísticos.

La relación **TI/TT**, obtenida del preciclo debía tener un valor igual al límite inferior, como mínimo.

Para mostrar de una manera más clara la valoración de las justificaciones, tomaremos los datos del preciclo **V-P** contenidos en la **Tabla 3.3.1** y los valores de su directorio en la **Tabla 3.3.2**.

Duración [s]	949
Velocidad Máxima [Km/h]	81
Velocidad Promedio [Km/h]	27.76
Ralentí [s]	115
TI/TT	0.1212

**Tabla 3.3.1.- Datos característicos del preciclo Vespertino-Primaria.**

Dist rec	Tiempo total	Vel max	Vel prom cTI	Tiempo inact	Vel prom sTI	Arch Filt	Razón TI/TT
21719.218	2499	98	28.6406563	290	32.4006338	L03-14HVVUS1.xls	0.11604642
28385.259	3793	99	24.9483259	1054	34.5487404	L01-31HVVUS1.xls	0.27788031
23533.133	2444	79	32.2545008	157	34.4687363	L07-13HVVUS2.xls	0.06423895
6467.031	338	88	67.8727811	0	67.8727811	L07-07HVVUS2.xls	0
7720.783	902	59	14.5354767	191	18.440225	L12-05HVVUS1.xls	0.21175166
13595.55	2487	62	17.1564133	516	21.6478945	L12-06HVVUS2.xls	0.20747889
27898.604	2987	101	31.6491463	586	39.3735943	L03-20HVVUS1.xls	0.19618346
10926.163	1712	77	18.9509346	567	28.3353712	L05-28HVVUS1.xls	0.33119159
1316.453	239	61	16.1882845	82	24.6433121	L05-28HVVUS3.xls	0.34309623
15271.012	3757	70	12.5645462	1490	20.8226731	L05-29HVVUS1.xls	0.39659303
7088.602	1079	77	21.3271548	445	36.29653	L06-03HVVUS1.xls	0.41241891
36408	4730	107	24.5099366	996	31.0476701	L04-24HVVUS1.xls	0.21057082
40305.207	5269	99	24.9851964	1298	33.1521027	L04-16HVVUS1.xls	0.24634656
24260.753	1638	92	48.7875458	70	50.9655612	L04-17HVVUS1.xls	0.04273504
30964.32	5590	99	16.5554562	1550	22.9071782	L04-19HVVUS1.xls	0.27728086
35347.832	3460	105	34.0104046	554	40.49415	L04-23HVVUS1.xls	0.16011561
30102.618	2459	94	34.3790159	94	35.7454545	L06-15HVVUS2.xls	0.03822692
4465.324	631	62	17.5309033	165	23.7381974	L08-30HVVUS1.xls	0.2614897
7723.613	2729	74	6.60828142	1865	20.8726852	L08-30HVVUS3.xls	0.68340051
9284.623	1256	81	23.3359873	363	32.8219485	L05-05HVVUS1.xls	0.28901274
18415.517	2500	77	23.9716	348	27.8480483	L04-09HVVUS1.xls	0.1392
6556.37	1831	66	11.0961223	858	20.8807811	L09-09HVVUS1.xls	0.4685964
Promedio	2469.54545	83.0454545	25.084485	615.409091	31.7874668		0.24426612
Des. Est.	1509.45445	15.7555048	13.4503473	542.242755	11.3795381		0.15917188
Límite inferior							0.08509424

**Tabla 3.3.2.- Sección del directorio de la categoría Vespertino-Primaria donde se muestran velocidades promedio, velocidades máximas y TI/TT.**

En la **Tabla 3.3.2** se observa con **verde** los valores necesarios para la **justificación 1**, para la **justificación 2** con **azul** y de **naranja** los requeridos para la **justificación 3**.

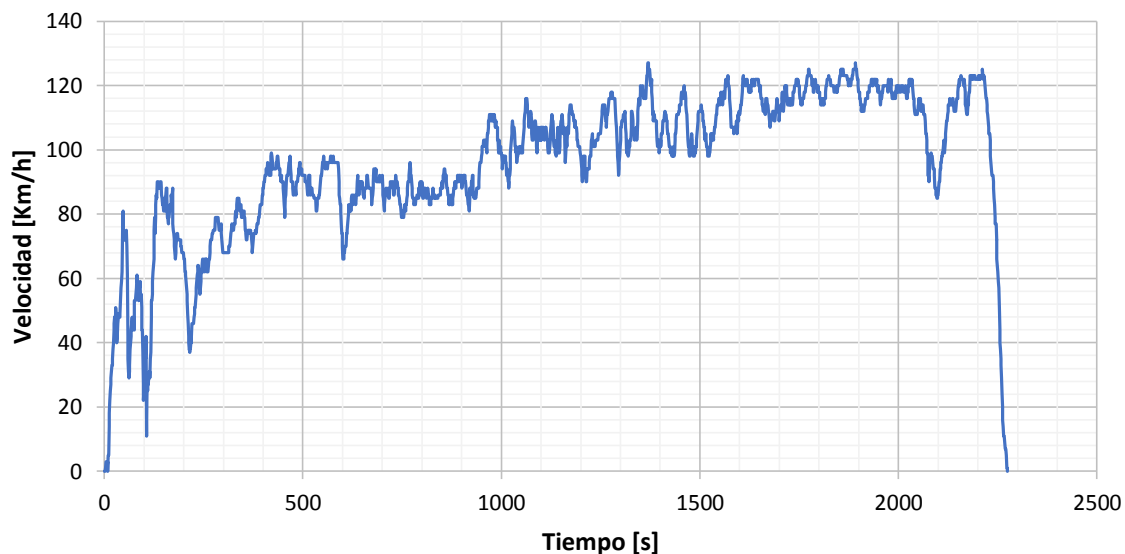
Con ayuda de las **Tablas 3.3.1 y 3.3.2** se corrobora que los valores del preciclo **V-P** se encuentran dentro de los rangos estipulados por el directorio, por lo que no es necesario realizarle corrección alguna.

Algunos preciclos no cumplían con la **justificación 3**; se quedaban cortos en los tiempos de ralentí. En estos casos, se obtuvo, por medio de la razón **TI/TT** y la duración, el número de ceros que requería el ciclo, mismos que eran agregados a dicho preciclo. Se decidió tomar el límite inferior como base ya que se deseaba modificar lo menos posible las secuencias cinemáticas previamente establecidas.

### 3.4 Obtención de los ciclos de manejo para vehículos ligeros.

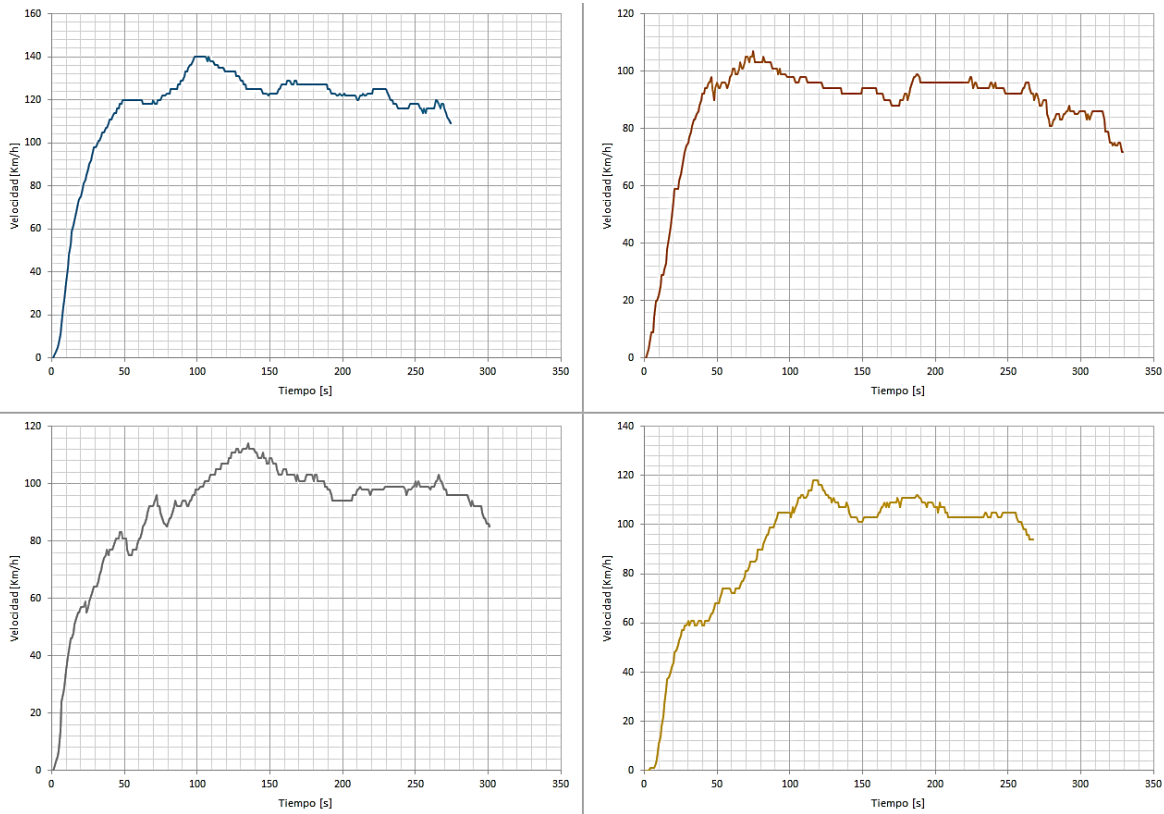
Para la creación de los ciclos de manejo por categoría se siguieron los mismos pasos que en la obtención de los preciclos: se detectaron secuencias cinemáticas similares, se obtuvo una típica y se reunieron en una sola gráfica. De este modo, los ciclos de vías primarias y secundarias se formaron al comparar sus preciclos de matutino, vespertino y nocturno; mientras que para el ciclo de autopista se tomaron en cuenta todos los muestreos de dicha categoría.

Para el caso del ciclo de autopista, era muy complicado obtener secuencias cinemáticas típicas completas, es decir, aquellas que empezaran y terminaran en cero ya que, en su mayoría, eran muy extensas y sobrepasaban los tiempos que se manejan en los ciclo ya existentes y descritos en el **Capítulo 1**. En la **Gráfica 3.4.1** se puede observar el tamaño de dichas secuencias.



**Gráfica 3.4.1.- Secuencia cinemática extraída del muestreo 11 de la categoría autopista.**

Dada esta problemática se optó por encontrar patrones típicos que consideraran sólo ciertas secciones de las secuencias cinemáticas completas; de inicio, en la parte media y al final de cada secuencia (como se muestra en la **Gráfica 3.4.2**) y, sólo así, formar el ciclo siguiendo el procedimiento usado para los preciclos.



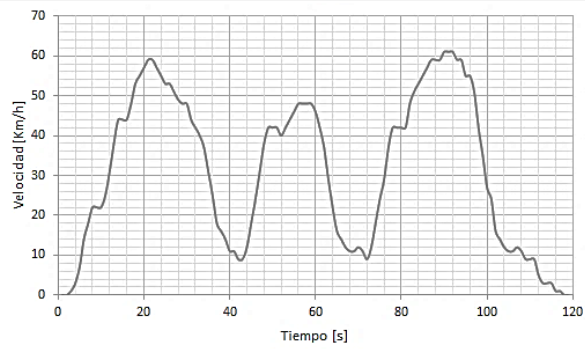
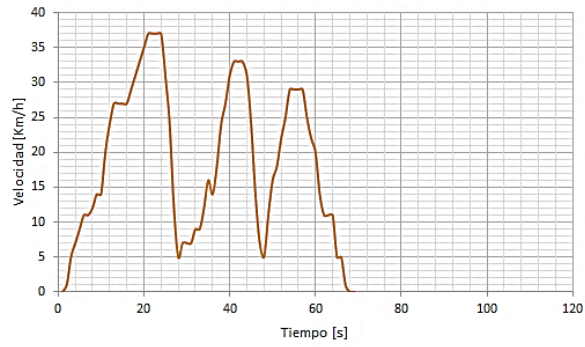
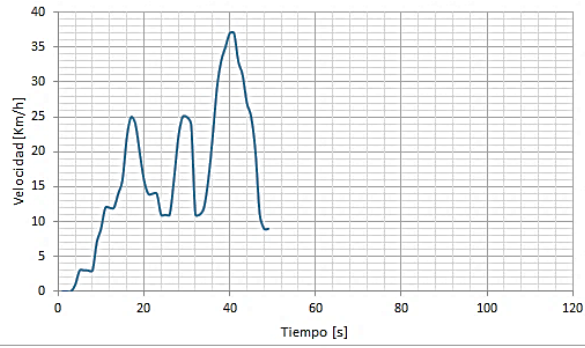
**Gráfica 3.4.2.- Patrones típicos al inicio de secuencias cinemáticas en muestreos de la categoría autopista.**

Con los tres ciclos, por vía obtenidos, el paso siguiente fue reunirlos en uno sólo general. Para esto, se decidió darles una cantidad similar de intervalo de tiempo a cada vía, alrededor de nueve minutos. Posteriormente se trabajó por separado cada uno de los ciclos para reducirlos aún más prescindiendo de patrones o zonas que se consideraban repetitivas.

En la **Gráfica 3.4.3** se muestran algunas de estas zonas, de las cuales sólo se tomó en cuenta una para armar el ciclo general.

De esta manera, el **Ciclo General** quedó compuesto por los ciclos reducidos secundario, primario y autopista; en ese orden, ya que en un recorrido normal dentro del Valle de México, esta es la forma más común de pasar por las tres vías de comunicación.





**Gráfica 3.4.3.- Secciones del Ciclo Secundario con similitudes.**

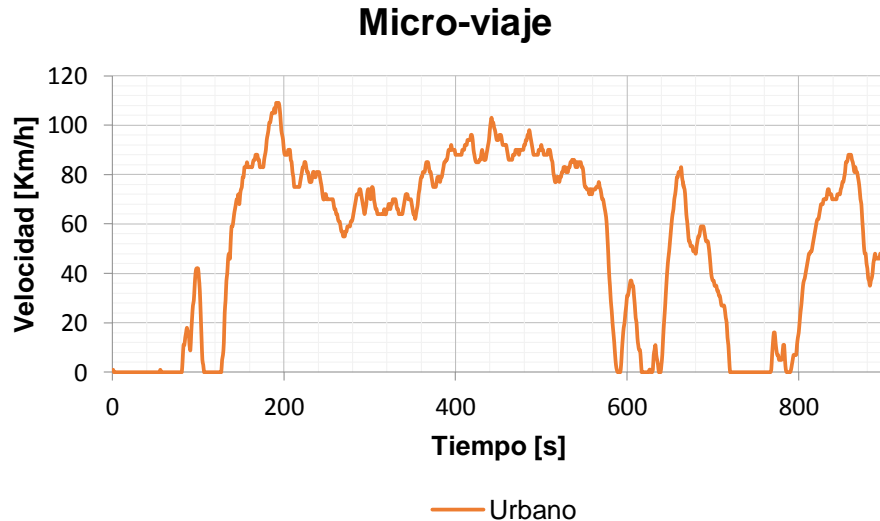
## CAPÍTULO 4

### USO DEL CICLO DE MANEJO MEDIANTE UN SIMULADOR DE VEHÍCULOS

#### 4.1 Comparación entre los ciclos de los años 1999 y 2013, a través del modelador GT Power.

Hoy en día, gracias al desarrollo y avance tecnológico que se ha logrado, ya se cuenta con programas computacionales que hacen posible realizar una simulación del comportamiento del vehículo, esto, con ayuda de un ciclo de manejo y definiendo algunos parámetros propios del automóvil, tal es el caso del modelador **GT Power** y el simulador de vehículos **ADVISOR**, los cuales han sido empleados en este trabajo.

El **GT Power**, fue utilizado en la Universidad de Brooks, en Inglaterra, con un ciclo de manejo de 1999 y con un micro-viaje del Valle de México (**Grafica 4.1.1**), simulando recorridos sólo con un pasajero (conductor, **70 kg**), así como con cinco personas a bordo (**350 kg**).

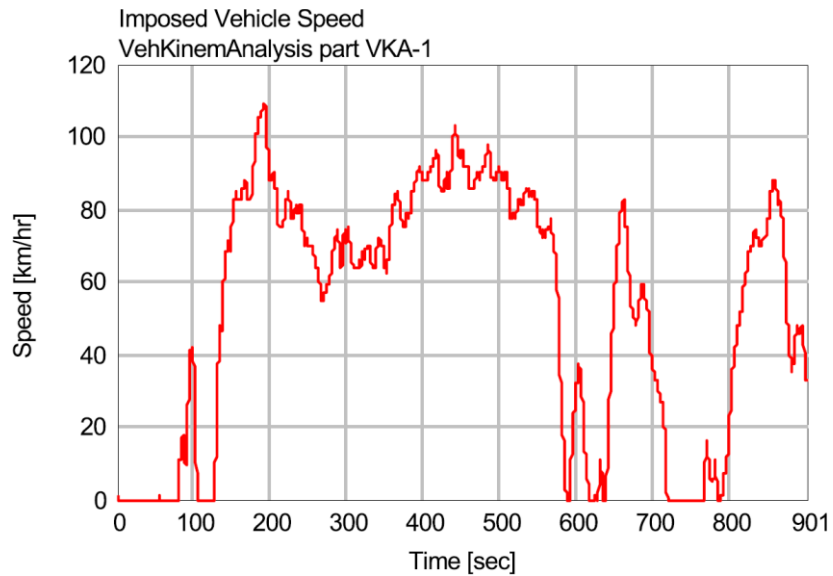


**Gráfica 4.1.1.- Micro-viaje urbano previo a los preciclos.**

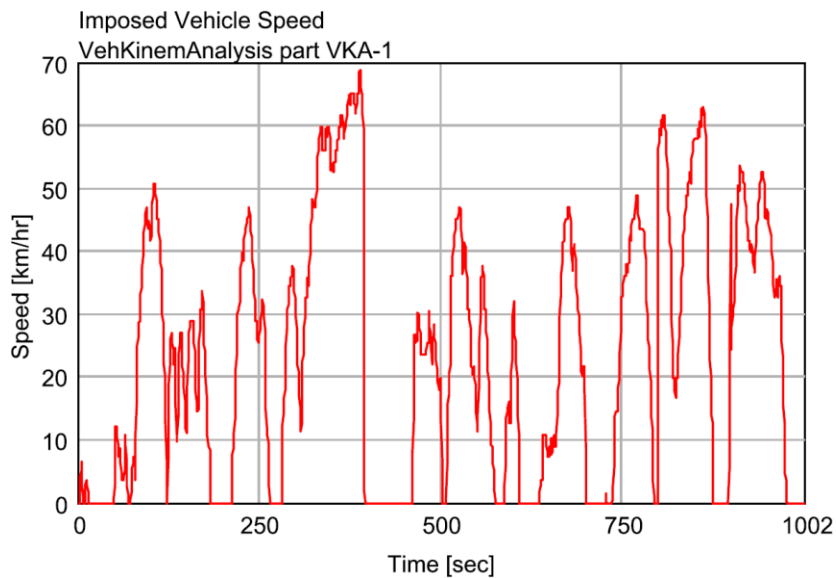
A continuación, se muestran las comparaciones hechas entre los resultados obtenidos mediante el modelador de vehículos **GT Power**.

### Comparación con 70 kg.

La comparación que se aborda es entre los archivos **México-SE-1999-70 kg** y **México-urbano-70 kg 2013**. El ciclo de manejo del año 1999, fue obtenido en la zona sur-este de la Ciudad de México, mientras que el de 2013, corresponde a un muestreo hecho por la misma zona (**micro-viaje**).



**Gráfica 4.1.2.- Muestreo México-urbano-70 kg perteneciente al año 2013.**



**Gráfica 4.1.3.- Ciclo México-SE-1999-70 kg.**

Como primer punto de comparación y con ayuda de las gráficas presentadas (**Gráfica 4.1.2 y 4.1.3**), se puede apreciar que la duración de ambos recorridos es muy cercana, sólo existe diferencia de un minuto y medio. Ahora bien, en la **Tabla 4.1.1** se pueden ver algunas de las características más importantes a considerar, desglosándolas de una manera más detallada.

<b>Movimiento del vehículo</b>		
	<b>México-urbano-70 kg</b>	<b>México-SE-1999-70 kg</b>
Distancia total recorrida [m]	13074	6416
Velocidad promedio del vehículo [km/h]	52.2	23.1
Velocidad máxima del vehículo [km/h]	109	68.7
Aceleración media [m/s <sup>2</sup> ]	0.74	0.94
Aceleración máxima [m/s <sup>2</sup> ]	3.33	15.58
Desaceleración media [m/s <sup>2</sup> ]	-0.75	-0.9
Desaceleración máxima [m/s <sup>2</sup> ]	-2.78	-16.08
<b>Economía del combustible del vehículo</b>		
	<b>México-urbano-70 kg</b>	<b>México-SE-1999-70 kg</b>
Consumo promedio de combustible [g/km]	45	58.6
Rendimiento promedio de la gasolina [L/100km]	6	7.8
Rendimiento promedio de la gasolina [km/L]	16.8	12.9

**Tabla 4.1.1.- Características del ciclo de 1999 con el muestreo de 2013 a 70 kg.**

En la distancia total recorrida, se nota la diferencia entre ambos ciclos, pues mientras que en el recorrido de 2013 es de 13074 metros, en el de 1999 fue de 6416 metros, además, se puede observar que en el recorrido de 2013, existen una cantidad de paradas menores en comparación con las registradas en la prueba de 1999.

En cuanto a las velocidades, tanto promedio como máxima de ambos análisis, se nota un aumento de prácticamente más del doble en sus valores, esto debido quizá a diversos factores como cambios en la infraestructura de las vías de circulación (para la reducción del tiempo en los trayectos) así como la diferente tecnología en los vehículos utilizados en la obtención de cada ciclo de manejo. Prueba de ello, es que existen periodos de tiempo, en los que la velocidad fue más constante en los muestreos hechos en 2013 en relación a los realizados en 1999.

Caso contrario se observa en la aceleración máxima, pues la aceleración de 2013 sólo representa una quinta parte de la de 1999 esto debido al incremento del parque vehicular en los últimos años. En cuanto al consumo de combustible, no es tan variable entre ambos análisis al igual que el rendimiento de la gasolina.

Con todo lo mencionado anteriormente, es de suma importancia señalar que dados los cambios en la infraestructura, así como en el incremento del parque vehicular, entre otros factores, las variaciones que se presentan entre una y otra prueba en distintos años, en la misma zona, se puede percibir que quizás no se han hecho los arreglos o mejoras suficientes y/o necesarias para que el tránsito en la Ciudad de México sea el adecuado.

### **Comparación con 350 kg.**

Esta comparación se realizó entre los datos de los archivos **México-SE-1999-350kg** y **México-urbano-350 kg**, donde se realizó un sola modificación a la simulación; cinco personas a bordo (350 kg).

En la **Tabla 4.1.2**, los datos de *Movimiento del vehículo*, fueron los mismos que se registraron en la comparación de 70 kg (**Tabla 4.1.1**) esto debido a que en un simulador de vehículos, el automóvil debe de cumplir con el perfil de velocidades establecido a medida de que sus característica lo permitan, ahora bien, donde es posible ver cambios significativos es en la *Economía del combustible*, ya que al incrementar la carga de un vehículo, éste demandará una mayor potencia al motor, lo cual se traduce como un mayor consumo de combustible.

<b>Economía del combustible del vehículo</b>		
	<b>México-urbano-350 kg</b>	<b>México-SE-1999-350 kg</b>
Consumo promedio de combustible [g/km]	47.9	62.9
Rendimiento promedio de la gasolina [L/100km]	6.3	8.3
Rendimiento promedio de la gasolina [km/L]	15.8	12

**Tabla 4.1.2.- Características del ciclo de 1999 con el muestreo de 2013 a 350 kg.**

Con estas dos comparaciones, se pretende dar un panorama de la importancia que se tiene al utilizar un simulador de vehículos con dos ciclos de manejo similares en cuanto a la región, pero diferentes a la fecha de su creación, así como, al momento de variar su carga. Claro está, que los simuladores representan una enorme herramienta a la hora de someter a un análisis un vehículo sin que se

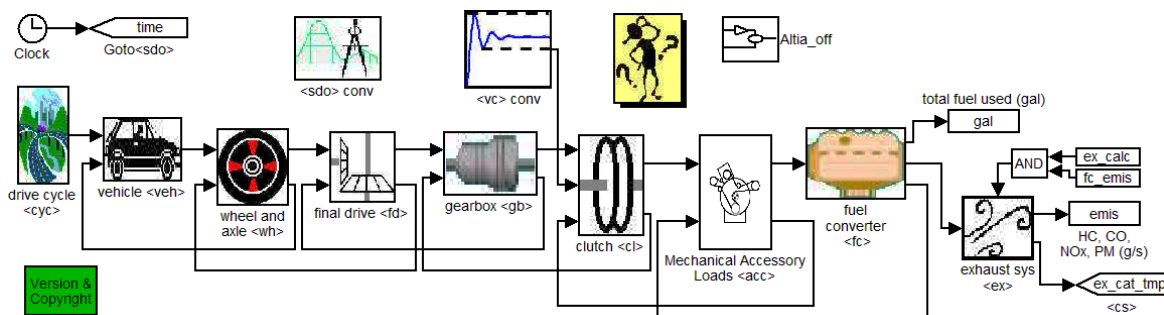
cuenta físicamente con este, por ello en el próximo apartado, se abordará un software empleado por el **LCE**.

## 4.2. Simulador de vehículos Advisor.

El laboratorio de control de emisiones (**LCE**), ha llevado a cabo varias tareas no sólo en el ámbito de la docencia, sino también en el área de investigación, muestra de ello es el trabajo presente, en el cual, ha sido posible obtener ciclos de manejo representativos para vehículos ligeros de las vías primarias y secundarias del Valle de México, así como un ciclo para el caso de autopista. Estos ciclos harán posible estimar las emisiones contaminantes de un vehículo ligero, ya sea en pruebas realizadas dentro de un laboratorio con ayuda de un dinamómetro de chasis o mediante un simulador de vehículos como lo es **ADVISOR**.

A continuación, se hará una descripción sucinta de dicho programa, esto con el objetivo de comprender someramente su funcionamiento y denotar que este software, representa una herramienta útil y de fácil operación, a la cual, es posible incorporar los nuevos ciclos de manejo obtenidos, tal y como se explicará posteriormente.

**ADVISOR**, consiste en un conjunto de modelos de física básica, escritos en lenguaje de **MATLAB** y **SIMULINK**, lo cual, permite estimar la energía requerida por cada uno de los componentes en cualquier tipo de vehículo ya sea ligero, pesado, eléctrico o híbrido.



**Figura 4.2.1.- Simulación de un vehículo en ADVISOR.**

Como se puede observar en la **Figura 4.2.1**, para realizar una simulación en **ADVISOR**, se deben de considerar dos aspectos importantes, que a saber, son los siguientes:

1. **Ciclo de manejo.** Es el perfil de velocidad contra tiempo que el vehículo deberá seguir durante la simulación.
2. **Definición del vehículo.** Esto se logra usando las dimensiones geométricas de los componentes, así como los datos generales del vehículo: tipo de vehículo, peso, motor, potencia, coeficiente de arrastre, dimensiones de la llanta, relaciones de transmisión en la caja de velocidades, entre otros.

Una vez requisitado los parámetros anteriores, el proceso de simulación parte del ciclo de manejo y toma la velocidad del ciclo como una entrada, posteriormente, se determina que fuerza debe de vencer el vehículo para seguir el ciclo y con ello, determinar que pares del tren motriz cumplen con la velocidad deseada, sin embargo, como se aprecia en la **Figura 4.2.1**, **ADVISOR** utiliza un enfoque **híbrido**, es decir, a la vez que el proceso de análisis inicia desde los neumáticos hacia el motor, también lo hace del motor hacia atrás, a éste proceso de simulación en vehículos que “*mira hacia atrás*” se le conoce como **backward-facing**

Este programa fue creado en el año de 1994 por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (**LNRE**) y ha tenido una serie de modificaciones a lo largo del tiempo, esto debido a las necesidades que han surgido por parte de cada uno de los usuarios, tal es el caso de la versión (**ADVISOR 2002**) con la que cuenta hoy en día el **LCE**, la cual fue modificada primeramente por el Centro de Ciencias de la Atmosfera de la **UNAM** y posteriormente por integrantes del **LCE** y que es con la cual se realizó una simulación para este capítulo. Haciendo a un lado datos históricos del programa -ya que no es fin el abarcar extensivamente sus orígenes- se procederá a explicar cómo comenzar a trabajar con el programa de **ADVISOR**.

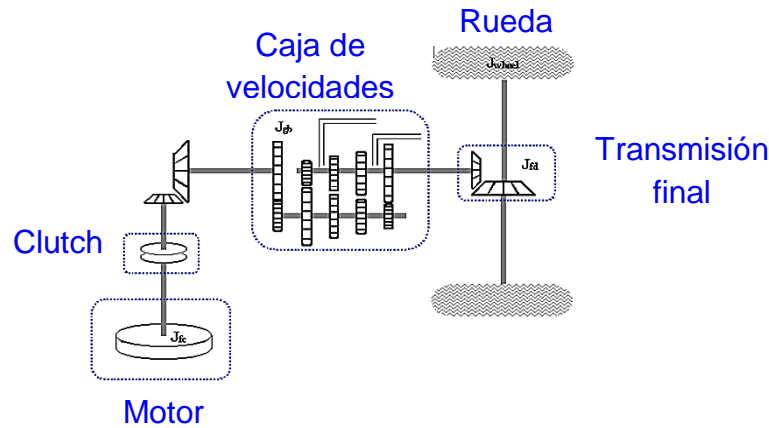
Como primer paso, se debe de iniciar **MATLAB**, escribir ‘*advisor*’ dentro de la ventana de comandos y dar clic en “*Entrar*” para iniciar el programa, subsiguientemente, aparecerá una interfaz gráfica, en la cual, se debe hacer clic en “*inicio*” para pasar a la siguiente interfaz gráfica, tal como se muestra en la **Figura 4.2.2**.



**Figura 4.2.2.- Interfaz gráfica de ADVISOR.**

**ADVISOR** tiene nueve tipos de vehículos, cada uno de estos posee una configuración diferente. Por ejemplo, un vehículo convencional representa un típico coche de pasajeros, con un motor de combustión interna alternativo para la fuerza motriz, la caja de cambios por defecto es de cinco velocidades y los accesorios convencionales son una carga de potencia mecánica constante. El esquema de esta configuración se muestra a continuación en la **Figura 4.2.3.** [20]





**Figura 4.2.3.- Configuración convencional de un vehículo en ADVISOR.**

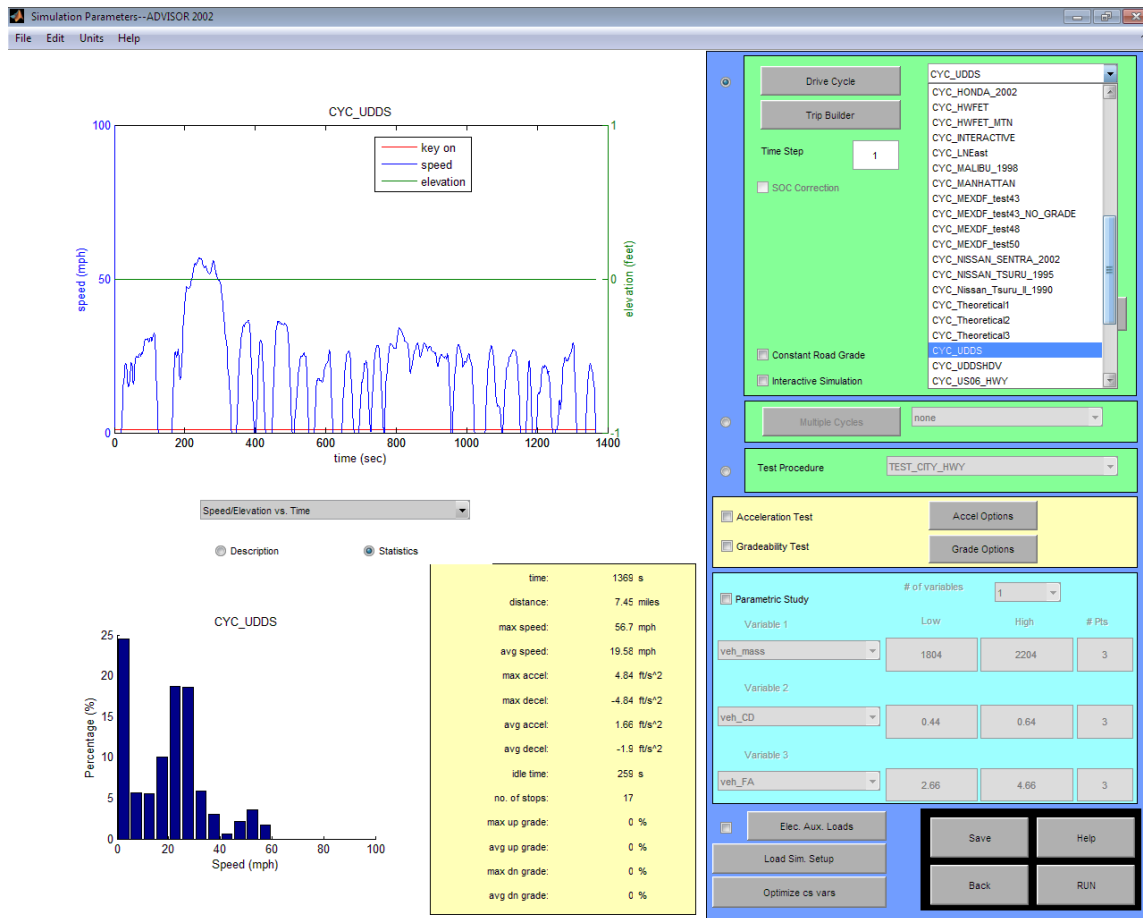
Este tipo de configuración es la que posee casi en su totalidad el parque vehicular del Valle de México, por lo que es importante aclarar que toda la información mostrada en este apartado, hace referencia a un vehículo del tipo convencional.

Definir un vehículo consiste en definir las características de sus componentes, por ejemplo si hablamos de un motor de combustión interna, se debe de elegir si será encendido por chispa (**si**) o mediante compresión (**ci**), mientras que si nos referimos a la transmisión, ésta puede ser manual (**man**) o automática (**auto**). Estas y otras características pueden ser seleccionadas fácilmente dentro de **ADVISOR**, sin embargo, para editar los valores de los componentes, se debe de acceder al archivo **.m** específico.

Lo mencionado anteriormente es importante, ya que esto determinará si el vehículo es capaz de seguir el nuevo ciclo de manejo, así como las emisiones que se tendrán por parte de éste, entre otros análisis.

### 4.3. Introducción del nuevo ciclo de manejo.

Después de definir los parámetros del vehículo, el siguiente paso es seleccionar el ciclo de manejo. Al dar clic en el botón de *continuar*, se llega a la siguiente interfaz (**Figura 4.3.1**), en ella existe un menú desplegable que contiene una lista de los ciclos de manejo disponibles. Como el objetivo es el incluir los nuevos ciclos en **ADVISOR**, se utilizó la siguiente metodología.



**Figura 4.3.1.- Interfaz con la descripción del ciclo de manejo.**

En una hoja de cálculo de Excel, se guardaron los parámetros de tiempo y velocidad de cada uno de los ciclos de manejo. Ya que las unidades obtenidas por el **CYCLE-DAQ** fueron en kilómetros por hora y **ADVISOR** las requiere en millas por hora, fue necesario realizar una conversión.

Como se obtuvieron tres ciclos particulares y uno general, se hizo lo mismo con cada uno de ellos, y se nombraron de la siguiente manera:

- VL\_Mex\_A.xls.
- VL\_Mex\_G.xls.
- VL\_VMex\_S.xls.
- VL\_VMex\_P.xls.

VL (vehículos ligeros); Mex (México); VMex (Valle de México); A (autopista), P (vía primaria); S (vía secundaria); G (general). Cabe destacar que fue importante guardar los archivos con extensión **.xls** por cuestiones de compatibilidad.

Posteriormente se editó un archivo **.m** con el uso de **Notepad++** (**Figura 4.5**). Dicho archivo fue previamente modificado por del **LCE**, por lo que sólo fue necesario modificar las líneas 23, 28, 35 y 36, las cuales hacen referencia a los archivos de Excel antes citados.

```

1  % ADVISOR data file:  CYC_UDDS.m
2  %
3  % Data source:  epa website
4  %
5  % Data confirmation:
6  %
7  % Notes:
8  % Represents the Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS), which is
9  % equivalent to the first two bags of the Federal Test Procedure (FTP-75).
10 % In previous versions of ADVISOR, it was called FUDS.  It is commonly called
11 % the "LA4", "FTP 72", "EPA II", or "the city test" and represents
12 % city driving conditions.  It is used for light duty vehicle testing.
13
14 % Created on: 12-Jun-1998
15 % By:  SS of NREL
16 %
17 % Revision history at end of file.
18 %*****
19
20 %*****
21 % FILE ID INFO
22 %*****
23 cyc_description='LCE driving cycle Via Principal Valle de México';
24 cyc_version=2002; % version of ADVISOR for which the file was generated
25 cyc_proprietary=1; % 0=> non-proprietary, 1=> proprietary, do not distribute
26 cyc_validation=0; % 0=> no validation, 1=> data agrees with source data,
27 % 2=> data matches source data and data collection methods have been verified
28 disp(['Data loaded:  CYC VL VMex P - ',cyc_description])
29
30
31
32 %*****
33 % SPEED AND KEY POSITION vs. time
34 %*****
35 % Pedro Jair Hernández Alcocer, Juan Carlos Sandoval Marquez & Ever Ismael Sánchez Cortés, mayo de 2014
36 name='VL_VMex_P.xls'; % Name of file of data of driving cycle
37 [data_test,title_test] = xlsread(name); % Read of file  data_test -> numbers, title_test -> headings
38
39 t_exp=data_test(:,1); % Time, seconds

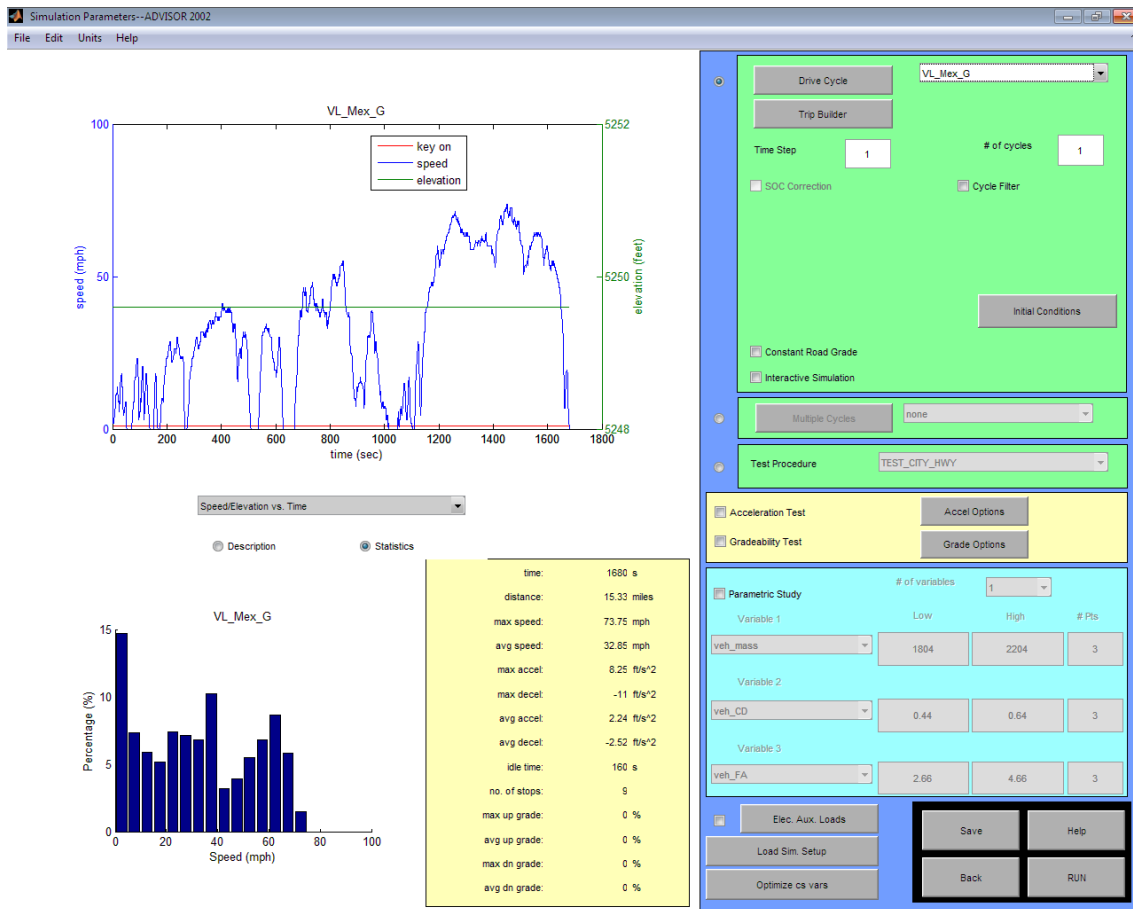
```

**Figura 4.3.2.- Edición del archivo .m.**

El archivo fue guardado con la siguiente estructura, **CYC\_'nombre\_del\_archivo'.m**, ya que es el formato para todos aquellos valores que son considerados como un ciclo de manejo en **ADVISOR**. Es importante recordar que **MATLAB** no acepta espacios en nombres de los archivos, en su defecto, se debe de emplear el guion bajo.

Ya con los archivos **.m** correspondientes a cada ciclo de manejo, se procedió a guardarlos en la carpeta **drive\_cycle** ubicada dentro de la carpeta de **ADVISOR**. Por último, sólo restó cargar desde **ADVISOR** los archivos antes descritos. El procedimiento para tal tarea es el siguiente:

1. Buscar el botón **Ciclo de Manejo** en la parte superior y dar clic en él para desplegar el cuadro de diálogo.
2. Dar clic en **Agregar a la lista** para buscar el archivo **.m** creado con el nuevo ciclo de manejo.

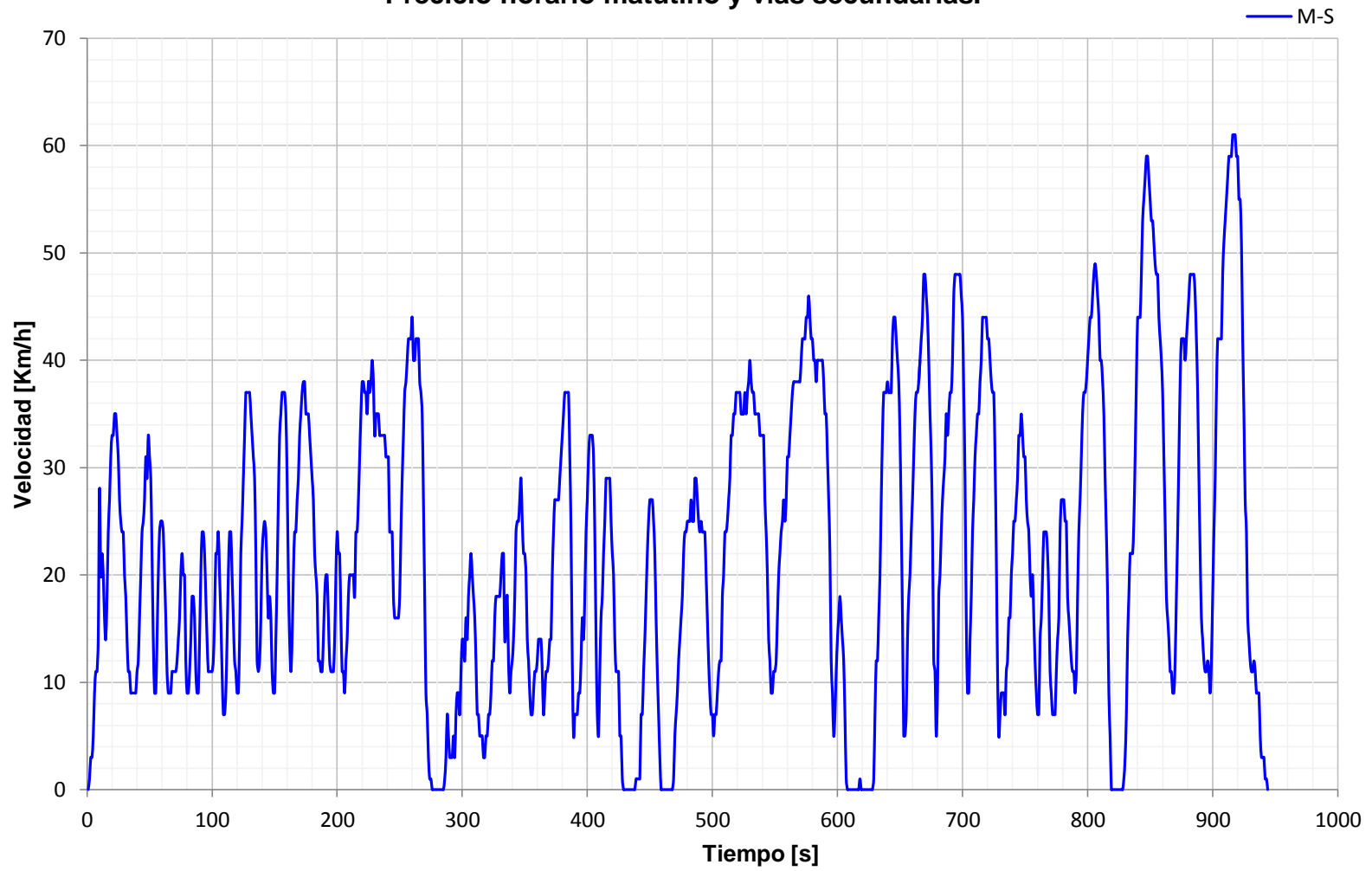


**Figura 4.3.3.- Ciclo de manejo general cargado en ADVISOR.**

Una vez requisitados todos los parámetros anteriores se procedió a realizar una simulación para saber qué tan fácil un vehículo podía seguir el nuevo ciclo de manejo obtenido. Para efectos prácticos, en este trabajo se optó por seleccionar el vehículo **EcoSport 2004 (Ford\_Eco\_Sport\_2004\_in)**, vehículo con el cual, se realizaron recorridos reales. Dichos resultados se puede observar en el apartado de resultados.

# RESULTADOS

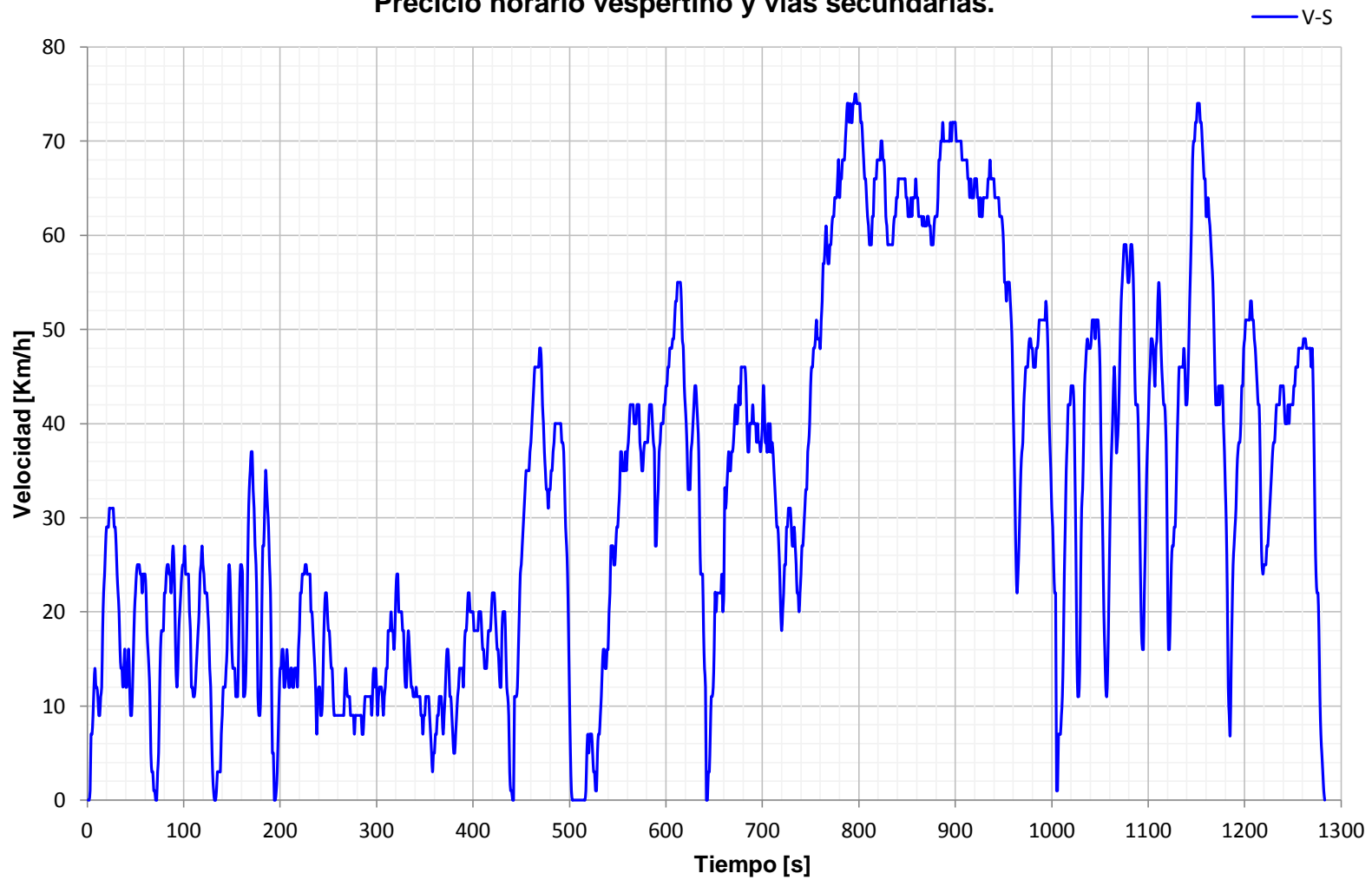
Preciclo horario matutino y vías secundarias.



Velocidad promedio: 22.27 [km/h]  
Velocidad máxima: 61 [km/h]

Duración: 944 [s]  
Ralentí: 62 [s]

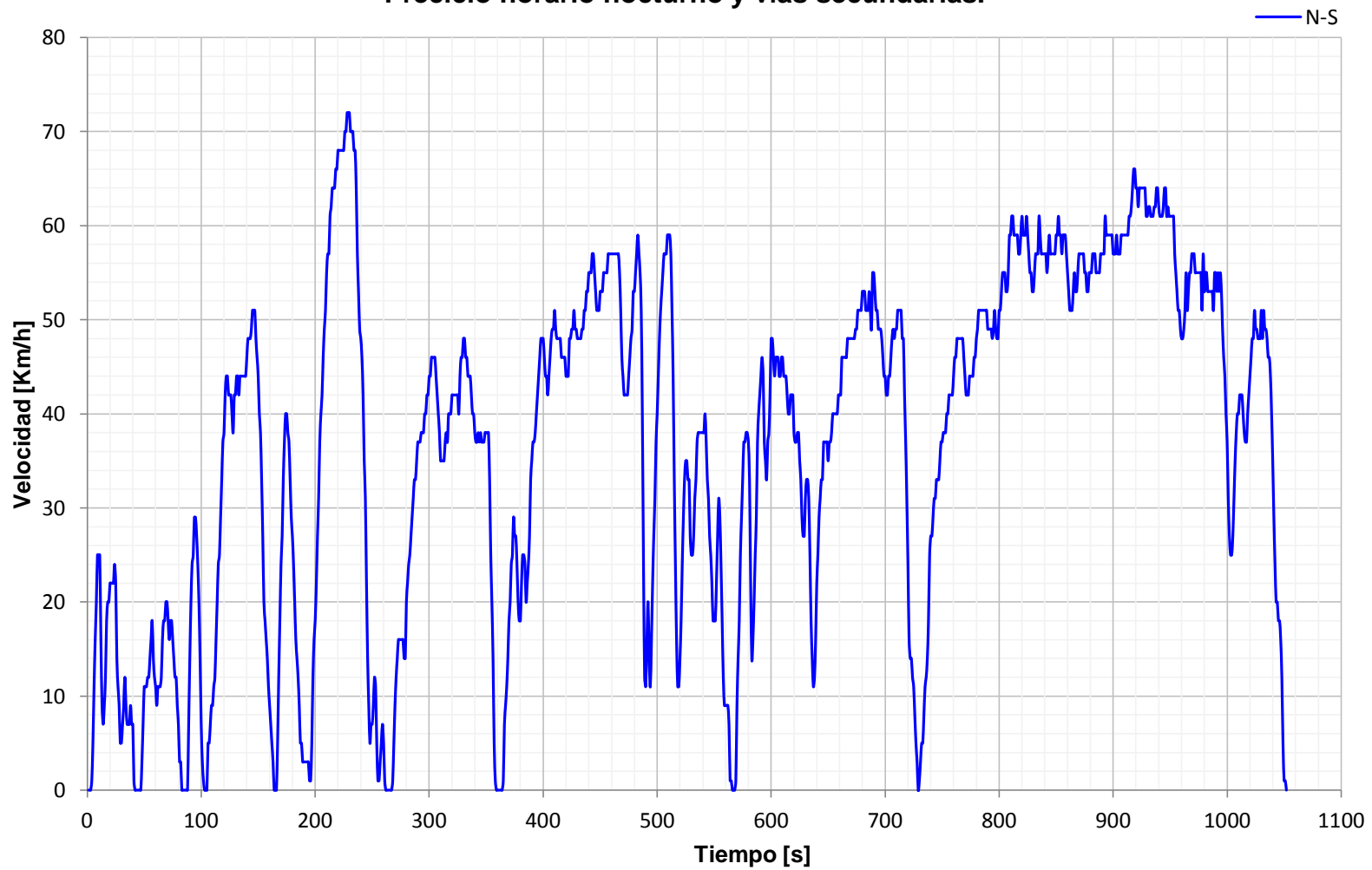
### Preciclo horario vespertino y vías secundarias.



**Velocidad promedio: 33.13 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 75 [km/h]**

**Duración: 1283 [s]**  
**Ralentí: 27 [s]**

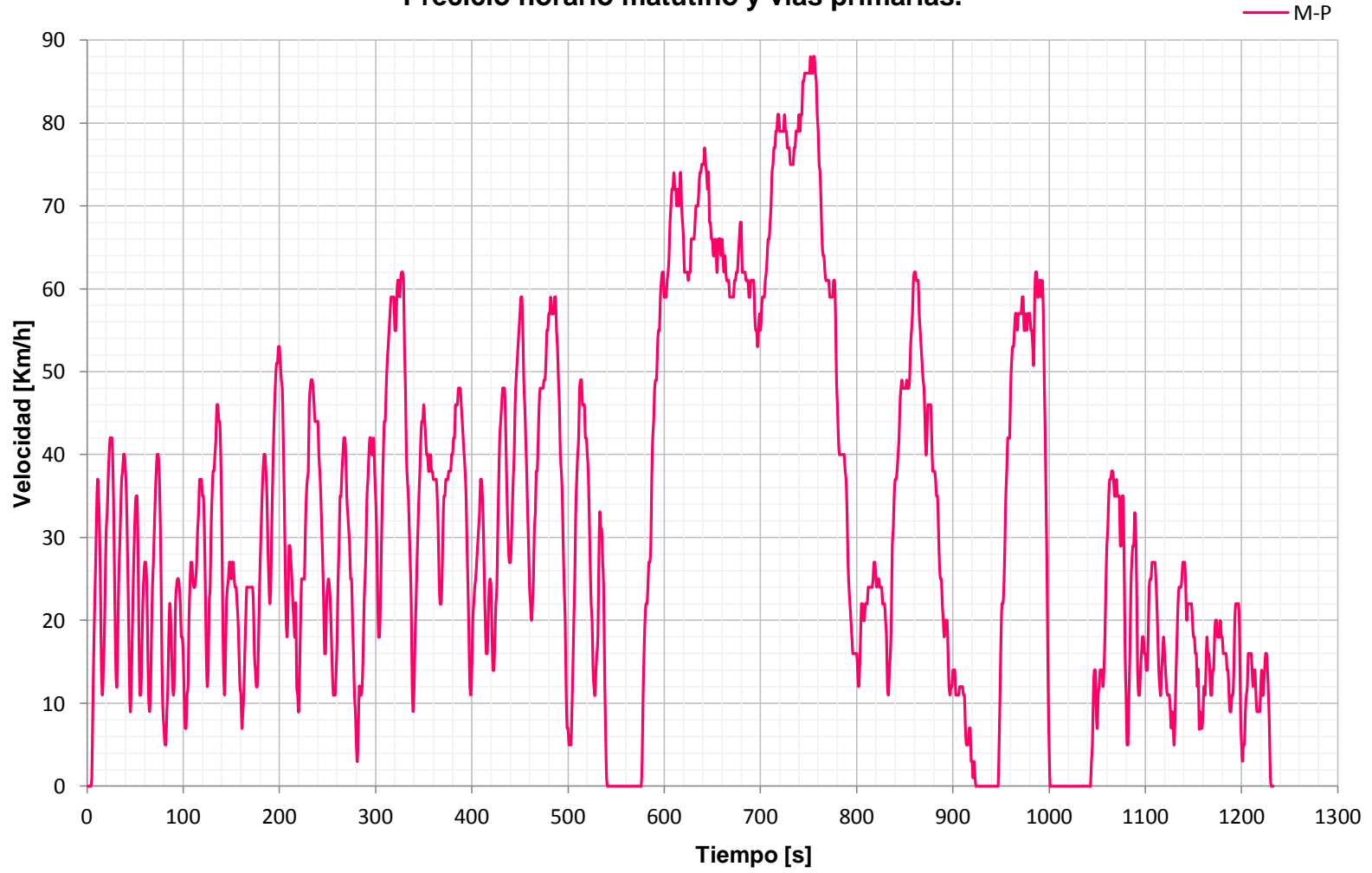
### Preciso horario nocturno y vías secundarias.



**Velocidad promedio:** 37 [km/h]  
**Velocidad máxima:** 72 [km/h]

**Duración:** 1052 [s]  
**Ralentí:** 38 [s]

### Preciclo horario matutino y vías primarias.

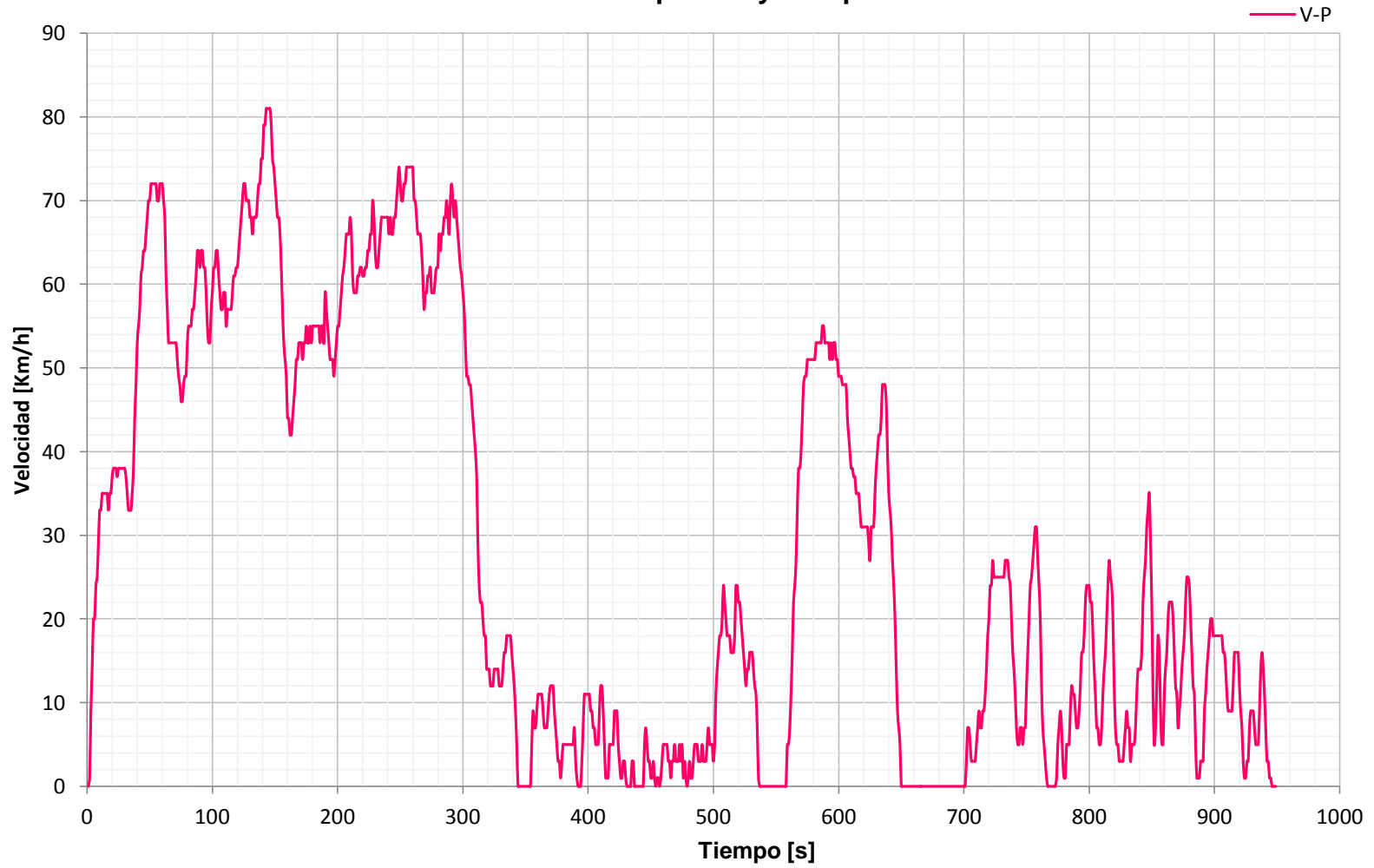


**Velocidad promedio: 30.43 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 88 [km/h]**

**Duración: 1298 [s]**  
**Ralentí: 175 [s]**



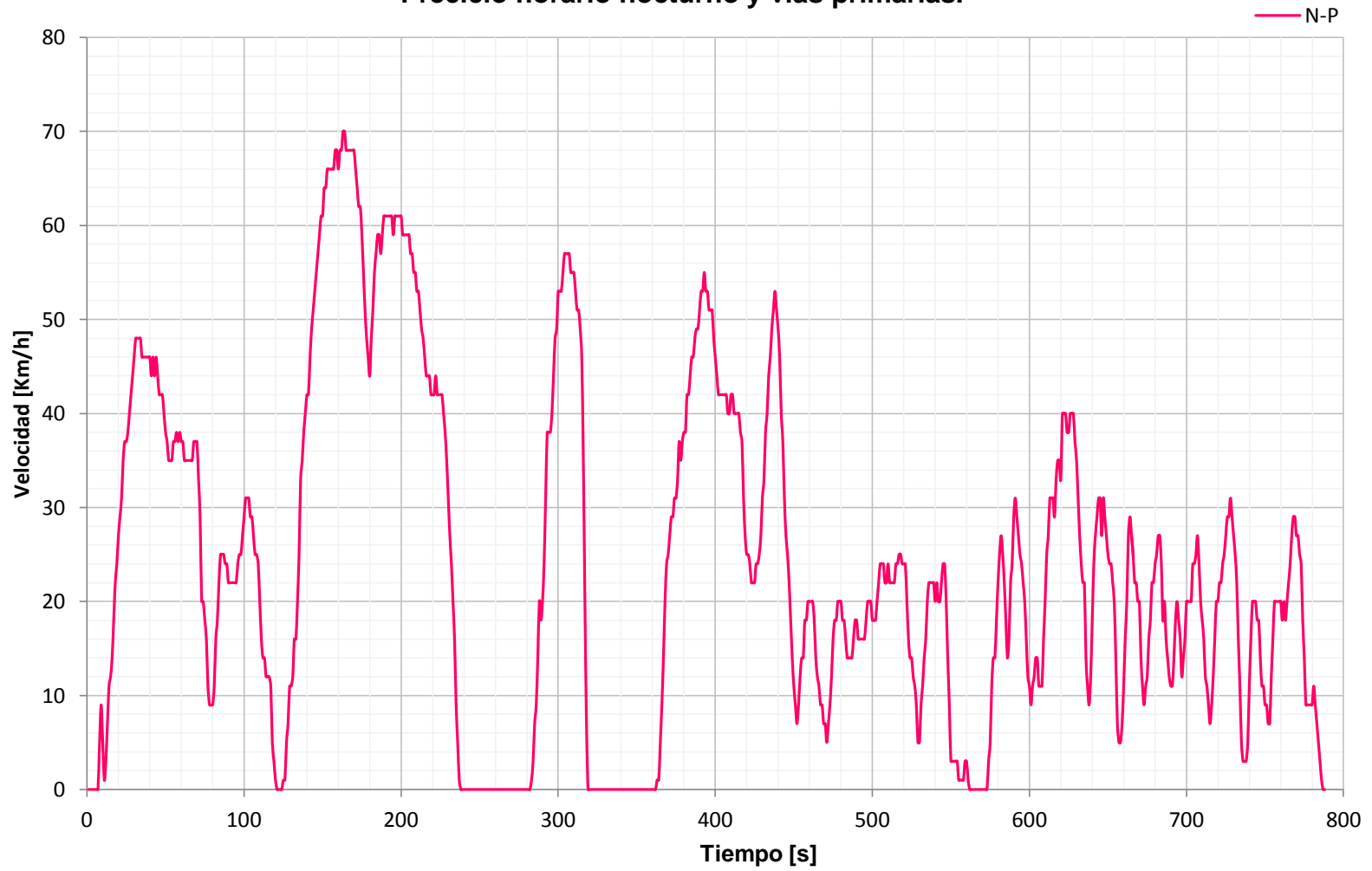
### Preciclo horario vespertino y vías primarias.



**Velocidad promedio: 27.76 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 81 [km/h]**

**Duración: 949 [s]**  
**Ralentí: 115 [s]**

### Preciclo horario nocturno y vías primarias.

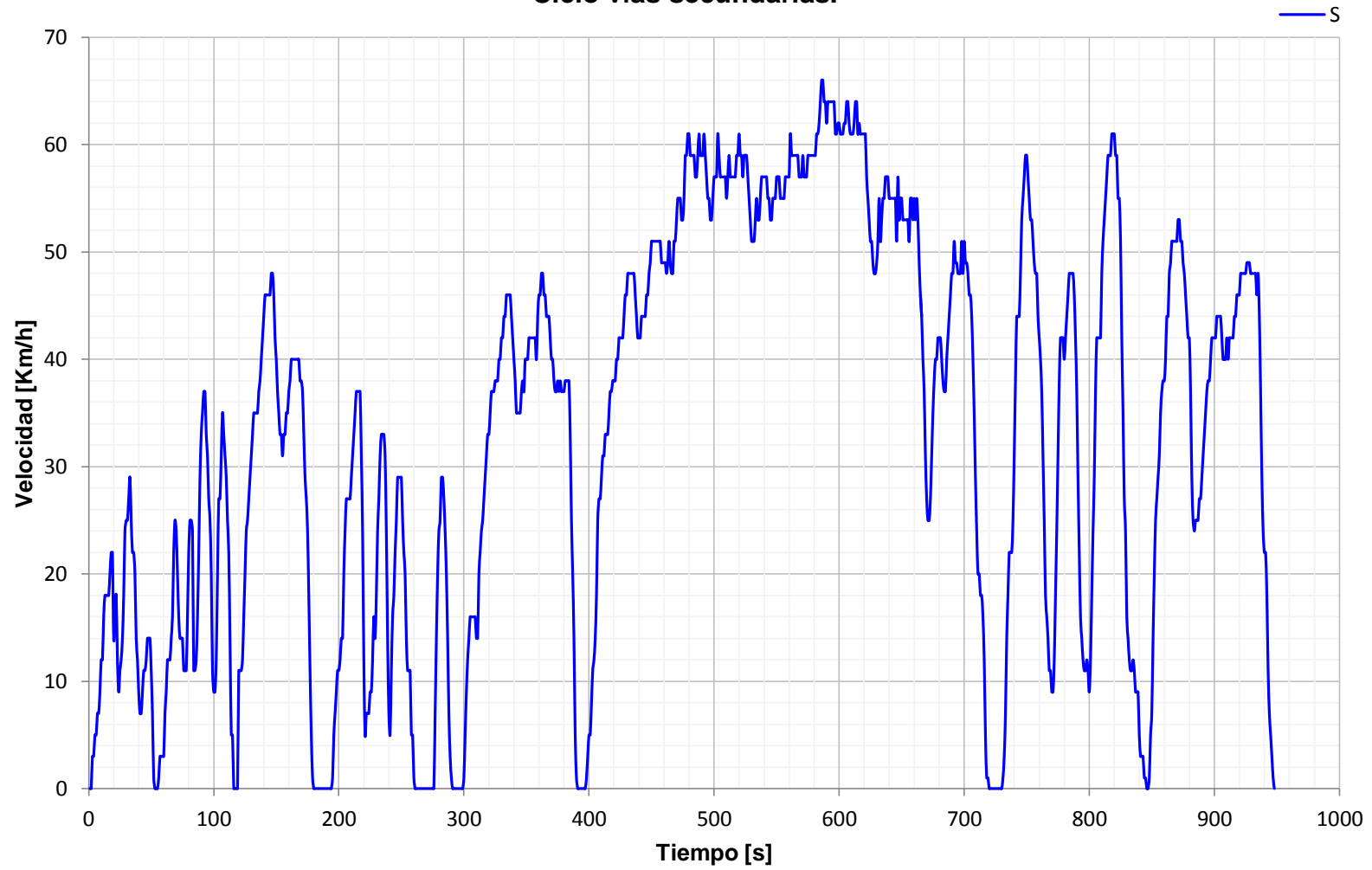


**Velocidad promedio: 24.09 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 70 [km/h]**

**Duración: 788 [s]**  
**Ralentí: 114 [s]**

# CICLOS

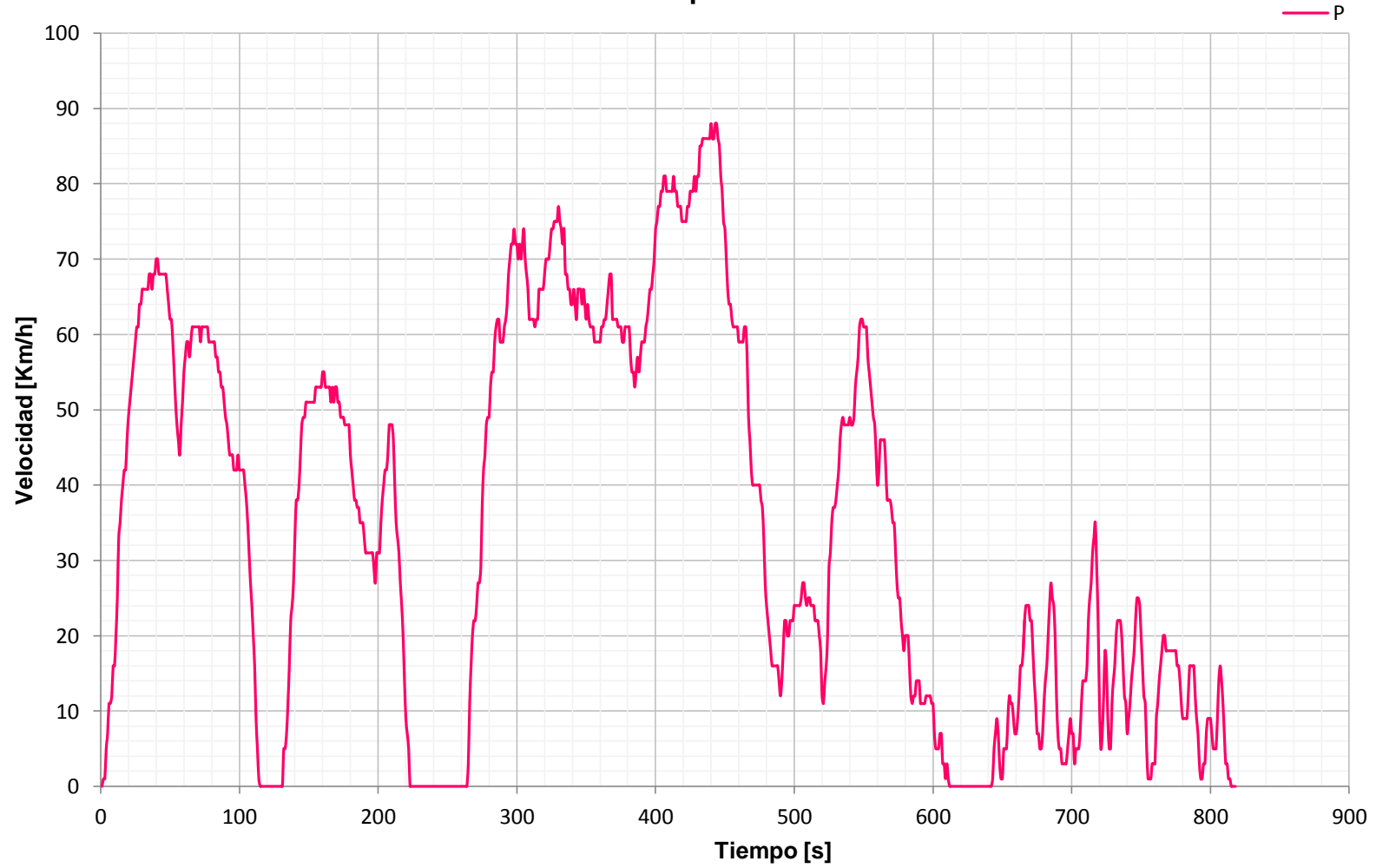
## Ciclo vías secundarias.



**Velocidad promedio: 33.57 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 66 [km/h]**

**Duración: 948 [s]**  
**Ralentí: 70 [s]**

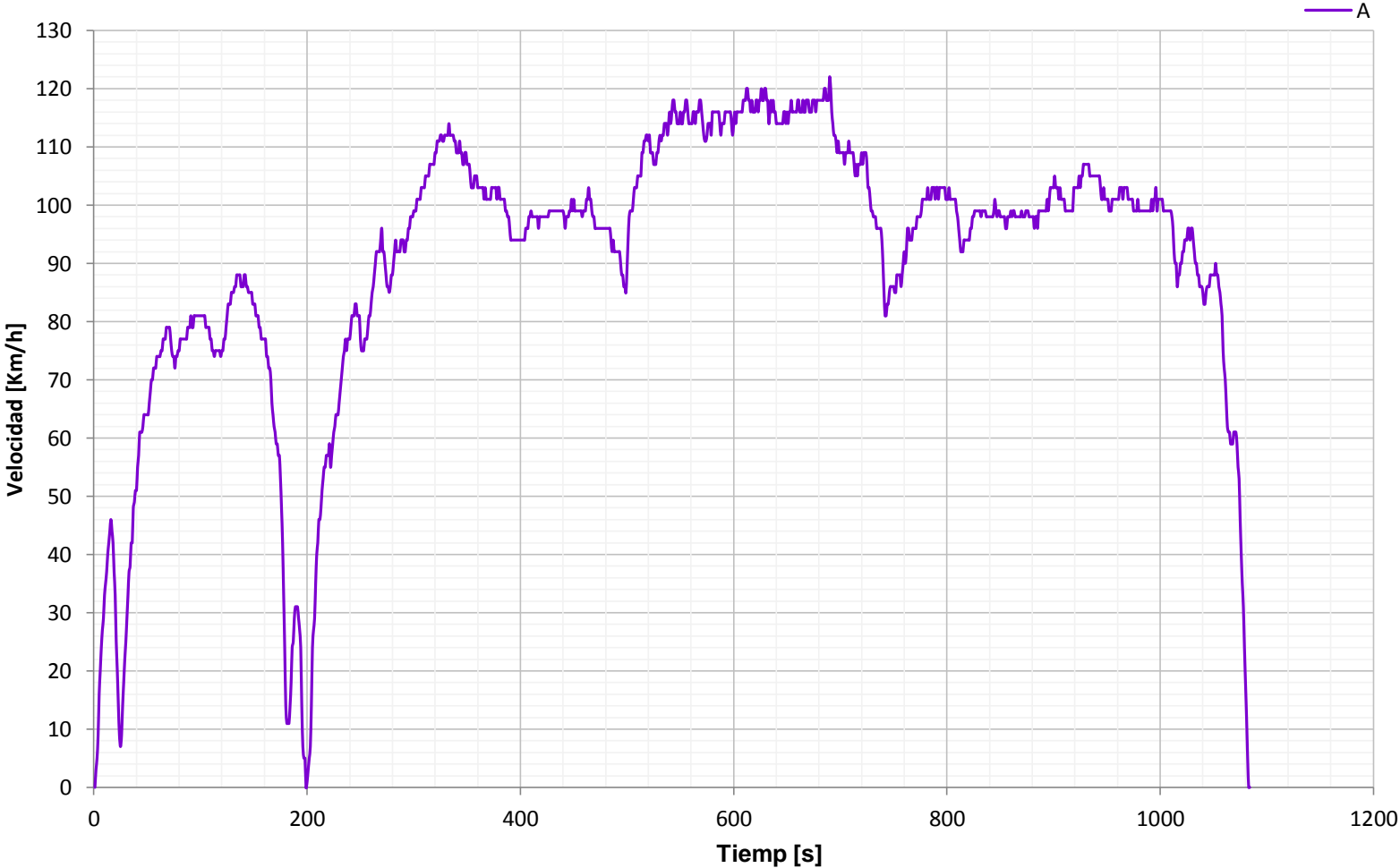
### Ciclo vías primarias.



**Velocidad promedio: 34.78 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 88 [km/h]**

**Duración: 818 [s]**  
**Ralentí: 95 [s]**

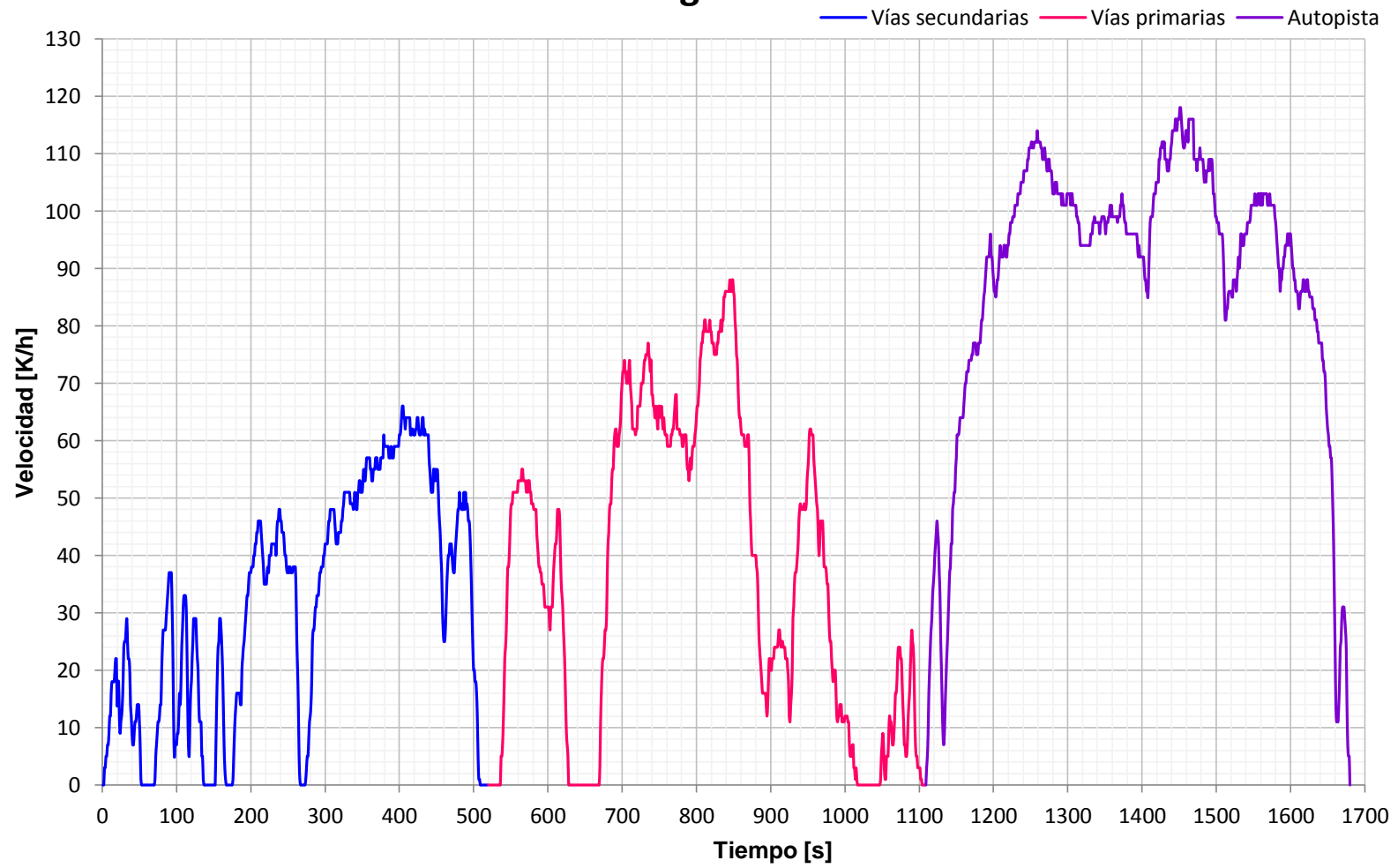
# Ciclo autopistas.



Velocidad promedio: 90.94 [km/h]  
Velocidad máxima: 122 [km/h]

Duración: 1084 [s]

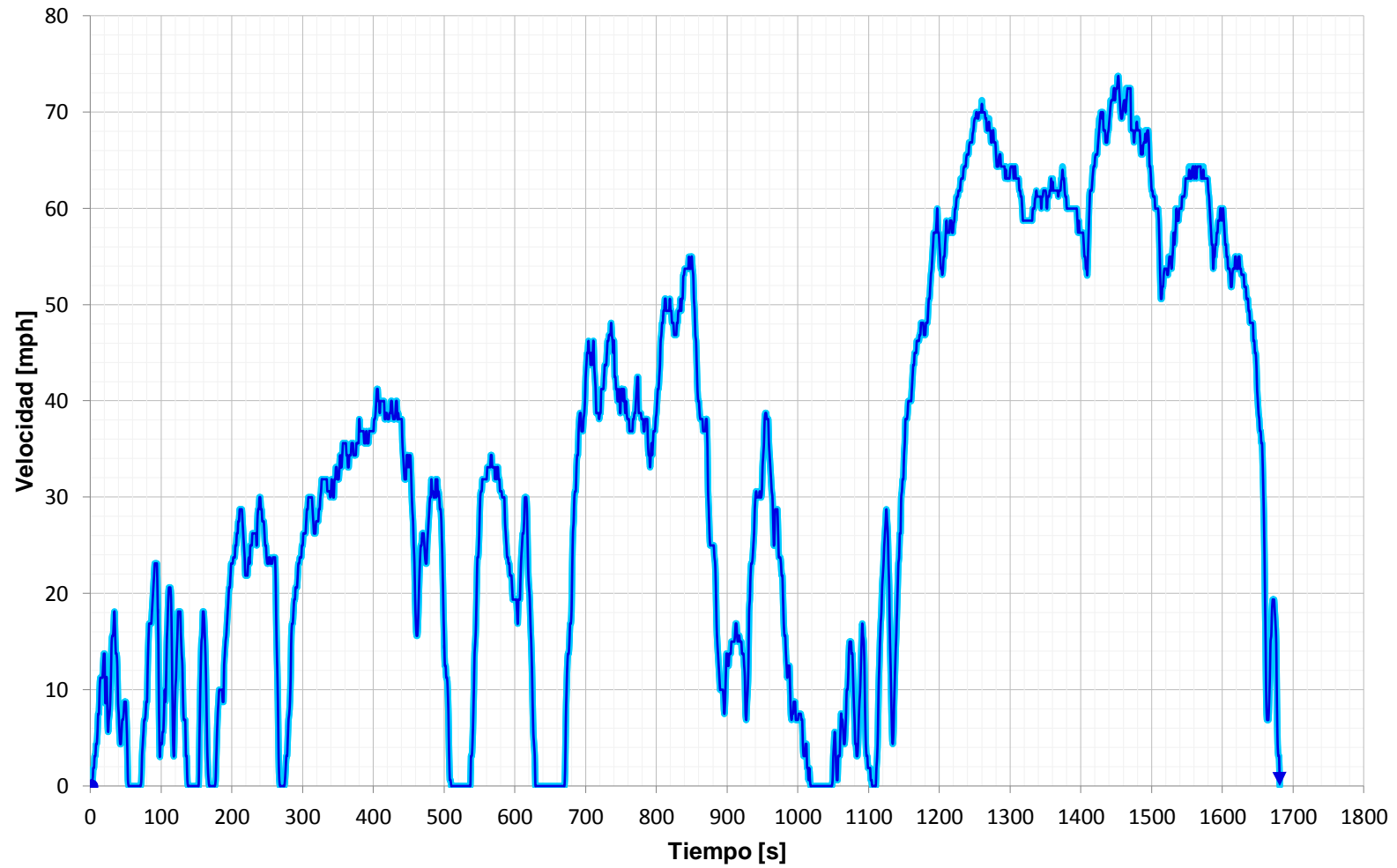
# Ciclo general



**Velocidad promedio: 52.55 [km/h]**  
**Velocidad máxima: 118 [km/h]**

**Duración: 1680 [s]**  
**Ralentí: 160 [s]**

# SIMULACIÓN DEL RECORRIDO



— ciclo de manejo    ● → trayectoria seguida por el vehículo

## CONCLUSIONES

Gracias a las nuevas tecnologías y al trabajo en conjunto por parte de los integrantes del proyecto **PAPIIT**, fue posible contar con dispositivos capaces de recolectar una gran cantidad de información útil de las formas típicas de conducción en el Valle de México. Esto fue un pilar fundamental, no sólo para actualizar los ciclos de manejo existentes realizados hace 14 años por parte del LCE, sino también para implementar las nuevas metodologías empleadas en países avanzados en la materia y así obtener nuevos ciclos de manejo propios de la región.

La obtención de información de los distintos vehículos muestreados tuvo sus complicaciones en la localización y accesibilidad a unidades que cumplieran cabalmente las características que nos había arrojado el análisis del tamaño de muestra, sin embargo, se pudieron hacer uso de vehículos que tuvieran cualidades similares. Con este inconveniente se entendió el por qué muchos ciclos de manejo en otras ciudades son desarrollados de manera aleatoria en cuanto a vehículos se refiere.

Las características visuales dentro de la metodología utilizada para el desarrollo del ciclo permitieron percibir de manera constante las similitudes entre cada recorrido, cada horario y cada vía. Además, el trabajo individual que se realizó por categorías ayudó a delimitar la información para un mejor manejo de la misma.

Los ciclos **P**, **S** y **A**, permiten visualizar un análisis más específico de acuerdo a los tipos de vías más comunes en el Valle de México. En el caso del ciclo de vías secundarias, tenemos una velocidad máxima menor a la presentada en el ciclo de vías primarias lo cual, era previsto, dado que en vías secundarias tenemos más topes, baches, pasos peatonales, calles más estrechas, entre otros factores que limitan el desarrollo de velocidades altas; caso contrario con lo presente en vías primarias.

Para el apartado del ralentí, en donde el tiempo detenido en vías primarias es mayor que en vías secundarias, se esperaba un resultado contrario con base al razonamiento anterior. Sin embargo, analizándolo desde el punto de la carga vehicular, se observa que existe más tráfico en vías primarias, lo que promueve que los automóviles permanezcan detenidos por periodos más largos y frecuentes.

Por otra parte, con lo que respecta al ciclo de autopistas, tenemos datos completamente característicos de este tipo de vías: las altas velocidades y los



escasos ralentíos, derivados exclusivamente por la reducción de velocidad en casetas de cobro.

El ciclo general se realizó con el objetivo de observar el comportamiento de un vehículo en un recorrido que abarcara las tres vías. Los datos de velocidad promedio y máxima pueden parecer poco características a la forma de manejo en el Valle de México, no obstante, hay que recordar que en este ciclo se incluye una parte de la autopista, por lo que es más que normal que dichas velocidades aumenten considerablemente.

Los resultados obtenidos mediante **ADVISOR**, en cuanto al seguimiento del patrón de conducción, demuestran que el perfil de velocidades es fácil de seguir tal y como se puede apreciar en los resultados, lo cual se cree que es un indicativo de que el ciclo obtenido será de gran utilidad en pruebas de laboratorio.

## Bibliografía y referencias

[1] Rogelio González Oropeza. "Los Ciclos de Manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte", Ingeniería. Investigación y Tecnología, Julio - Septiembre, año/vol. VI, número 003, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, pp.147-162. 2005.

[2] Michel André. "Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions Part A: The ARTEMIS European driving cycles; ARTEMIS - Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems." Institut National de Recherche Sur Les Transports et Leur Securite (INRETS), Junio, report INRETS-LTE 0411, Francia. 2004.

[3] Ecopoint Inc. "FTP-72." Emissions Test Cycles. Diciembre 2012.  
<<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp72.php>> (Mayo 2013)

[4] Ecopoint Inc. "Japanese JC08 Cycle." Emissions Test Cycles. Septiembre 2007. <[http://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp\\_jc08.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp_jc08.php)> (Mayo 2013)

[5] Ecopoint Inc. "CUEDC (diesel)." Emissions Test Cycles. Diciembre 2011.  
<<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/cuedc.php>> (Mayo 2013)

[6] Sanghpriya H.Kamble, Tom V. Mathew, G. K. Sharma, "Development of real world real-world driving cycle: case study of Pune, India" Central Intitute of Road Transport, Pune India, Department of Civil Engineering, India Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai, Maharastra 400 076, India. pp 132-140. 2009.

[7] Mauricio Osses. "Determinación experimental de ciclos de conducción livianos para la ciudad de Santiago", Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte del 20 al 24 de Octubre, Santiago, Chile. 2003.

[8] Ecopoint Inc. "Emission standards." 2007-2013.  
<<http://www.dieselnet.com/standards/>> (Julio 2013)

[9] Pita Fernández, S. "Estudios para determinar parámetros." Determinación del tamaño muestral. Diciembre 2010.  
<<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp#parametros>> (Agosto 2013)

- [10] Fuentelsaz Gallego, C. "Cálculo del tamaño de la muestra." 2004. <[http://www.ciede.net/econometrias/calculo\\_muestra.pdf](http://www.ciede.net/econometrias/calculo_muestra.pdf)> (Agosto 2013)
- [11] Mark L. Berenson., "Estadística para administración". Editorial Pearson. 4ta edición. 2006.
- [12] Ramírez González A., Fernández Rubio J. "Integración GPS/INS: Conceptos y experimentos", Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña.
- [13] GlobalSat Technology Corporation. "GPS Receiver Engine Board EM-406A user manual"
- [14] Analog Devices Inc. ADX3L45 Triple Axis Digital Accelerometer DATASHEET, 2010-2012.
- [15] Analog Devices Inc. "Using an accelerometer for inclination sensing." AN-1057 Application Note. 2010.
- [16] "MANUAL OFICIAL DE OPERACIÓN DEL ANALIZADOR DE GASES", Laboratorio de Control de Emisiones, Facultad de Ingeniería UNAM, 2008.
- [17] ANDROS Inc. "Product Manual." Model 6600 miniature automotive gas analyzer. Berkeley, Estados Unidos.
- [18] Google. <<https://maps.google.com.mx/>> (2013)
- [19] Raziél Farid Sanabria Sandí. "Desarrollo de un ciclo de conducción para la ciudad de San José de Costa Rica." Grandes Metrópolis y sus infraestructuras. Universidad de Costa Rica. 2010.
- [20] Aaron Brooker, Kristina Haraldsson, Terry Hendricks. "ADVISOR Advanced Vehicle Simulator". Marzo, 2013. <<http://adv-vehicle-sim.sourceforge.net>> (Abril 2014).