

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



## DESARROLLO DE CICLOS DE CONDUCCIÓN VEHICULAR EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN

TESIS QUE PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN DESARROLLO SOSTENIBLE  
PRESENTA

**ALFREDO VALDEZ AGUILERA**

Asesor: Dra. NYDIA SUPPEN REYNAGA  
Asesor Externo: Dr. JOSE IGNACIO HUERTAS CARDOZO

Comité de tesis: Dr. JAVIER RAMÍREZ ANGULO  
M. en C. DZOARA TEJEDA HONSTEIN

Jurado:	Dr. JAVIER RAMÍREZ ANGULO	Presidente
	Dra. NYDIA SUPPEN REYNAGA	Secretario
	Dr. JOSE IGNACIO HUERTAS CARDOZO	Vocal
	M. en C. DZOARA TEJEDA HONSTEIN	Vocal

Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx., Diciembre de 2004.

## **Índice**

<b>Índice .....</b>	<b>0</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>9</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Objetivo general.....</b>	<b>11</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Antecedentes.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Antecedentes de los ciclos de conducción en el mundo y en México .....</b>	<b>13</b>
1.3.1 Evolución del ftp (federal test procedure).....	14
1.3.2 Estudio del instituto nacional de investigación en transporte y seguridad de Francia .....	16
1.3.3 El ciclo la-92 de California.....	17
1.3.4 Desarrollo de un ciclo de conducción en Hong Kong .....	17
1.3.5 ECE ciclo urbano .....	18
1.3.6 Ciclo de conducción europeo (inter-european proyect).....	18
1.3.7 Programa de prueba japonés modo 10.....	19
1.3.8 Estudios del ciclo de conducción en la ciudad de México .....	19
Propuesta de un ciclo de manejo representativo de la ZMCM, para homologar vehículos ligeros .....	19
Contaminación atmosférica asociada con los ciclos de manejo vehicular para el D.F..	20
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>21</b>
<b>Ciclos de conducción a nivel local.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Selección de vialidades.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Instrumentación de vehículos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Logística de toma de datos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Análisis de la información.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Post procesamiento del ciclo obtenido.....</b>	<b>27</b>
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>28</b>
<b>Aplicación de la metodología para el cálculo de ciclos de conducción al municipio de Naucalpan .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Ubicación y características del municipio de Naucalpan .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Selección de vialidades de Naucalpan.....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte) .....	33
3.2.2 Avenida 16 de septiembre (Zona centro de Naucalpan) .....	35
3.2.3. Avenida Primero de mayo (Zona industrial) .....	35
3.2.4 Avenida Lomas Verdes (Zona residencial, servicios y escolar).....	37
<b>3.3 Instrumentación de vehículos .....</b>	<b>38</b>

3.3.1. Quinta rueda.....	38
3.3.2. Scanner auto tap .....	41
<b>3.4. Logística de la toma de datos .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5. Análisis de la información .....</b>	<b>43</b>
3.5.1. Patrones de comportamiento de parámetros para el ciclo de conducción .....	43
3.5.2. Obtención del ciclo de conducción representativo de Naucalpan.....	46
3.5.3. Análisis de correlación del ciclo obtenido.....	49
3.5.4. Comparación con los ciclos desarrollados para México y el ftp 75.....	51
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>53</b>
<b>Análisis de otras variables y recomendaciones para trabajos futuros .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. Ciclos de conducción expresados en modos de trabajo .....</b>	<b>53</b>
4.1.1. Velocidad constante .....	54
4.1.2. Ralentí .....	56
<b>4.2. Ciclos de conducción obtenidos mediante simulación de Monte Carlo .....</b>	<b>59</b>
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>62</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>62</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 1 Paper de la quinta rueda .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 2 Programa de muestreo de Naucalpan.....</b>	<b>76</b>
<b>Anexo 3 Tabla de evaluación para obtener ciclo representativo del municipio de Naucalpan.....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo 4 ciclos representativos de cada vialidad y sentido .....</b>	<b>85</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>91</b>



## **Índice de ilustraciones**

Figura. 1.1 Esquema Dinamómetro de Chasis .....	11
Figura. 1.2 Ciclo de conducción FTP 75 .....	15
Figura 2.1 Diagrama ilustrativo de la metodología propuesta para obtener ciclos de conducción. .....	21
Figura 3.1. Ubicación del municipio de Naucalpan.....	30
Figura 3.2. Plano de ubicación de la vía Periferico .....	34
Figura 3.3 Plano de ubicación de las vías 1° Mayo y 16 de Septiembre. ....	36
Figura 3.4. Plano de ubicación de la vía Av. Lomas Verdes. ....	37
Figura. 3.5. Fotografía de la Quinta Rueda colocada en el vehículo y esquema de la Quinta Rueda .....	38
Figura. 3.6. Sensores de temperatura colocados en el motor y escape del vehículo. ....	39
Figura. 3.7 .Sensor de RPM colocado en el alternador .....	39
Figura. 3.8. Imagen que muestra la computadora del comportamiento de los parámetros obtenidos de la quinta rueda durante los recorridos.....	40
Figura. 3.9. Imagen del scanner Auto Tap .....	41
Figura. 3.10 Gráfica de recorridos en varias horas del día representados en Velocidad vs Tiempo .....	43
Figura. 3.11 Gráfica de recorridos en varias horas del día representadas en Velocidad vs Distancia .....	44
Figura. 3.12. Gráfica Velocidad promedio de ambas direcciones de la vía de periférico vs Horas del día.....	44
Figura. 3.13. Gráfica con varios ciclos de una misma vía obtenidos durante una semana a diferentes horas del día representados con Velocidad vs Distancia.....	45
Figura. 3.14. Recorridos por la mañana (a), medio día (b) y por la tarde (c).....	45
Figura. 3.15. Ciclos obtenidos de los recorridos durante el día .....	46
Figura. 3.16. Diagrama representativo para la obtención del ciclo representativo de Naucalpan .	47
Figura. 3.17. Ciclo representativo del municipio de Naucalpan .....	48
Figura. 3.18 Gráfica de los valores de cada uno de los recorridos.....	49
Figura 3.19. Gráficas del ciclo representativo y los dos que le siguen en puntuación .....	50
Figura. 3.20. Gráfica frecuencia de velocidades del ciclo representativo y .....	51
los dos ciclos más cercanos .....	51
Figura. 4.1. Gráfica Frecuencia vs Velocidad.....	55
Figura. 4.2. Gráfica de Histograma de % Carga del motor .....	55
Figura. 4.3. Gráfica RPM .vs % Carga de motor .....	56
Figura. 4.4. Gráfica Velocidad, RPM vs Tiempo .....	57
Figura. 4.5. Gráfica RPM, % Carga del motor vs Tiempo .....	57
Figura. 4.6. Velocidad , % carga del motor vs Tiempo .....	58
Figura.4.7. Gráfica Velocidad , sensor de oxígeno vs Tiempo .....	58
Figura. 4.8. Gráfica Aceleración vs Distancia.....	59
Figura. 4.9. Gráfica de Distribución normal. ....	60
Figura. 4.10. Gráfica frecuencia acumulada de la aceleración con línea de tendencia.....	60
Figura 4.11. Comportamiento de la corrida de datos con el método Monte Carlo. Aceleración :0.5, Desviación : 1.7. $\Delta t = 1$ seg., Distancia máxima $L = 10$ Km, $n = 500$ , numero de ciclos de conducción .....	61



## Indice de Tablas

Tabla 2.1. Parámetros de caracterización de los recorridos _____	25
Tabla 2.2. Tabla de parámetros y los valores de ponderación _____	26
Tabla 3.1. Principales vialidades del Municipio de Naucalpan y su categorización. _____	31
Tabla 3.2. Vialidades representativas del Municipio de Naucalpan con base en su flujo vehicular. _____	32
Tabla 3.3. Recorridos por las vías _____	42
Tabla 3.4. Tabla con los valores de los parámetros del ciclo representativo obtenido comparados con los valores promedio de todos los ciclos. _____	48
Tabla 3.5. Tabla Comparativa de los parámetros de los tres ciclos obtenidos _____	50
Tabla 3.6. Características de los ciclos de conducción en México _____	52

## **Resumen**

Los estudios sobre las causas y efectos de la contaminación del aire han documentado la necesidad de inventarios de emisiones, que son las estimaciones de todas las emisiones de contaminantes que se generan en un área determinada.

De manera general, la estimación de las emisiones contaminantes es resultado del producto algebraico de un factor de emisión por su dato de actividad correspondiente. El factor de emisión es una razón que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por unidad de actividad.

Para las fuentes móviles se calculan gramos de contaminante por kilómetro recorrido, gramos de contaminante por pasajero o carga transportada, o kilogramos de contaminantes por cantidad de combustible quemado.

Existe la necesidad de obtener factores de emisión de contaminantes por fuentes móviles propios para los grandes centros urbanos. Para contar con estos factores de emisión locales, como paso intermedio se requiere obtener los ciclos típicos de conducción para cada ciudad para posteriormente implementar el ciclo obtenido en un dinamómetro de chasis y mediante muestreo estadístico de vehículos determinar la cantidad típica de contaminantes que se emiten por kilómetro recorrido o por combustible consumido.

El presente trabajo desarrolla una metodología para determinar los ciclos típicos de conducción, la cual es aplicada para obtener los ciclos de conducción de un municipio anexo a la ciudad de México.

Inicialmente se instrumentó un vehículo con sensores de distancia recorrida, velocidad y aceleración del vehículo, temperatura del motor, del aire de entrada, del ambiente y de los gases de escape, RPM del motor, porcentaje de carga del motor y concentración de oxígeno en los gases de escape.

Posteriormente el vehículo instrumentado recorrió en forma sistemática (mismos lugar y hora de partida) un conjunto de vías seleccionadas del municipio durante 3 meses. Del análisis estadístico de la información recolectada se obtuvo el ciclo de conducción para cada vía y en conjunto el ciclo representativo para el municipio.



## **Capítulo 1**

### **Introducción**

El aire es una mezcla gaseosa compuesta por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de diferentes compuestos tales como el argón, el dióxido de carbono y el ozono. La contaminación atmosférica es cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire.

La población y el estado del ambiente están estrechamente relacionados. El hombre siempre ha hecho uso de los recursos naturales y ha modificado al ambiente para tener mejores condiciones para su desarrollo. Sin embargo, a partir de 1900, debido al crecimiento poblacional explosivo, la industrialización y las pautas de consumo, se ha intensificado la extracción y el uso de los recursos sin que se haya avanzado en la misma magnitud en el manejo de los desechos o contaminación producidos.

El crecimiento demográfico y la concentración de la población en áreas urbanas frecuentemente están asociados a una mayor presencia de actividades industriales, incremento del parque vehicular y elevado consumo de combustibles.

Muchos expertos creen que los efectos de la contaminación del aire sobre nuestro clima están coaccionando que se incremente el CO<sub>2</sub>. El dióxido de carbono ocasiona calentamiento de la superficie y absorbe la radiación que entra y eleva la temperatura. Esta acción se conoce como efecto invernadero y puede ser aumentado por otras circunstancias naturales tales como las nieblas, las nubes y los polvos emitidos por los volcanes.<sup>[1]</sup>

Los estudios sobre las causas y efectos de la contaminación del aire han documentado la necesidad de inventarios de emisiones que son las estimaciones de todas las emisiones de contaminantes que se generan en un área determinada; éstas pueden provenir de fuentes fijas, como las industrias; móviles, como los vehículos automotores, y de fuentes naturales como el suelo y la vegetación.<sup>[2]</sup>

De manera general, la estimación de las emisiones contaminantes es resultado del producto algebraico de un factor de emisión por su dato de actividad correspondiente. El factor de emisión es una razón que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por unidad de actividad,<sup>[3]</sup> como ejemplos de factores de emisión se citan los siguientes:

- En la industria las emisiones se calculan en kilogramos de contaminantes emitidos por cantidad de producto fabricado, kilogramos de contaminante por unidad de tiempo, kilogramo de contaminantes por número de obreros, o kilogramo de contaminantes por cantidad de combustible utilizado.
- Para las fuentes móviles se calculan gramos de contaminante por kilómetro recorrido, gramos de contaminante por pasajero o carga transportada, o kilogramos de contaminantes por cantidad de combustible quemado.<sup>[3]</sup>

En el caso particular de la contaminación de la atmósfera, los elevados niveles causados por el parque vehicular en circulación es un problema que se presenta en todas las grandes ciudades del mundo. Esto ha propiciado que los gobiernos federales y locales de cada país establezcan normas que regulen las emisiones provenientes de los vehículos. Uno de los elementos esenciales para la aplicación de estas normas es el desarrollo tecnológico orientado a la medición, evaluación, control y reducción de las emisiones de gases y partículas, en todo tipo de vehículos.

La cuantificación de los contaminantes de las fuentes móviles no se puede realizar en condiciones reales, por la falta de instrumentación adecuada. Por lo que en un laboratorio se simulan los recorridos para hacer las mediciones en un dinamómetro de chasis, (Figura 1.1) en donde el vehículo se encuentra fijo y se le pueden conectar fácilmente los equipos de medición para que con ayuda de modelos de emisión como el Mobile que es un modelo de la EPA (Environment Protection Agency) se puedan estimar las emisiones emitidas por los vehículos y mediante el **ciclo de conducción** se simula un recorrido que refleja el comportamiento del vehículo en condiciones reales.

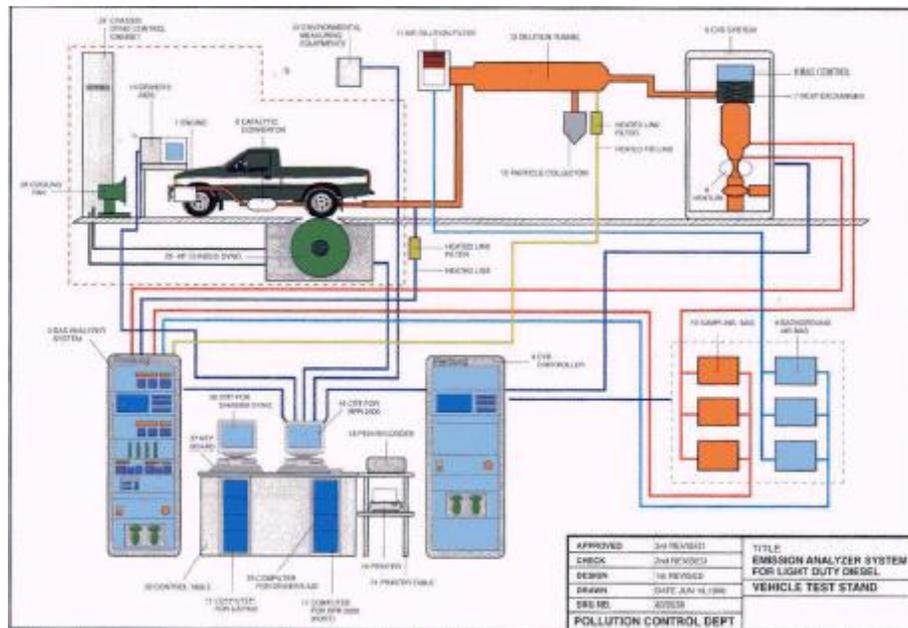


Figura. 1.1 Esquema Dinamómetro de Chasis

## 1.1. Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es el desarrollo de ciclos típicos de conducción a nivel local.

- **Objetivos específicos.**
- Seleccionar vialidades representativas por tipo de vialidad y región.
- Desarrollar una metodología para obtener ciclos de conducción vehicular representativos para vialidades primarias y secundarias.
- Obtener ciclos de conducción representativos para vialidades a nivel local para el Municipio de Naucalpan, Estado de México

## **1.2. Antecedentes**

La contaminación del aire ha sido uno de los retos ambientales más serios que han enfrentado los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), a partir de la segunda parte del siglo XX. Los primeros indicios del problema fueron identificados por investigadores universitarios a principios de la década de los sesenta. En ese entonces y en la década de los setentas se realizaron algunos esfuerzos aislados para medir los niveles de contaminación y se crearon las primeras instituciones y leyes ambientales.<sup>[2]</sup>

En la ZMVM, la frecuencia con la que se exceden las normas de protección a la salud, han llevado a buscar indicadores de la calidad del aire e instrumentos de gestión que permitan planear estrategias para mejorar el medio ambiente. Para tal fin, es útil contar con el inventario de emisiones a la atmósfera.

El desarrollo de los inventarios de emisiones dentro de la ZMVM, ha permitido cuantificar las emisiones en fuentes de jurisdicción local y federal, tanto del Estado de México como del Distrito Federal. En este contexto, desde el año de 1989, las autoridades ambientales, que convergen en la metrópoli con la finalidad de guiar la política ambiental del aire, han realizado esfuerzos en la elaboración de inventarios de emisiones, que han permitido conocer el volumen y tipo de contaminantes producidos por cada fuente emisora o sector, identificando así aquellas con mayor emisión de contaminantes al aire para dar prioridad a su control.<sup>[4]</sup>

Cálculos realizados en 1998, revelan que a menos de tres décadas después, el automóvil se ha convertido en la principal fuente emisión de contaminantes a la atmósfera, ya que emite cerca del 80% del volumen de las emisiones totales.<sup>[4]</sup>

Las fuentes naturales contribuyeron con cerca del 17% del total de emisiones, siendo éstas básicamente de partículas suspendidas. El sector servicios emitió un poco menos del 5% y la industria un porcentaje inferior al 3%. El transporte fue responsable de la mayor parte de las emisiones de CO a la atmósfera (95%), de NO<sub>x</sub> (70.5%) y los hidrocarburos (HC) (43%), siendo los vehículos particulares la principal fuente; los camiones, tractocamiones y autobuses que utilizan diesel como combustible contribuyen en mayor medida en la emisión de partículas.<sup>[2]</sup>

De acuerdo con la encuesta origen destino de 1994 en la ZMVM se realizan 20.57 millones de viajes y el Distrito Federal concentra el 66.5% del total de viajes; mientras que los viajes de los municipios conurbanos del Estado de México representan sólo el 33.5%, situación que manifiesta la menor producción de viajes, a pesar de encontrarse la población de los municipios conurbanos del Estado de México en una proporción semejante a la del Distrito Federal.

Estas cifras representan un índice de 1.6 viajes por persona al día en el Distrito Federal y de 0.83 en los municipios conurbanos del Estado de México, resultando en un promedio general de 1.23 viajes por persona al día en toda la zona. Al considerar casi 30 millones de tramos de viaje en la ZMVM, los índices respectivos se amplían en casi 50% (1.73 tramos de viaje/habitante).

A nivel metropolitano, ocho unidades político administrativas, entre delegaciones y municipios (Cuauhtémoc, M. Hidalgo, G.A. Madero, V. Carranza, Iztacalco, B. Juárez, Ecatepec y **Naucalpan**), concentran el 53% de todos los viajes de la ZMVM.<sup>[2]</sup>

La metodología tradicional para determinar las emisiones del parque vehicular combina el uso de factores de emisión, expresados en gramos de contaminante emitidos por distancia recorrida, con la estimación de la distancia anual recorrida. Estas emisiones son determinadas para cada año y tipo de tecnología de los vehículos de la flota. A pesar de las grandes incertidumbres asociadas con el dato de actividad en esta metodología, es la única que a nivel mundial se continúa utilizando para determinar las emisiones de las fuentes móviles de manera detallada. Ya que las fuentes móviles aportan una cantidad importante de contaminantes a la atmósfera, en particular como es el caso de la ZMVM, es necesario que estén adecuadamente contabilizadas en inventarios de emisiones.

Una de las mayores limitaciones en los actuales modelos de emisiones vehiculares es que no capturan adecuadamente las emisiones durante las horas de mayor congestión vehicular. El uso de factores de emisión referidos a la distancia no están diseñados para incluir condiciones de manejo denominadas stop-and go, es decir, cuando los vehículos permanecen en un constante proceso de acelerar y parar por varios minutos. Bajo estas circunstancias, grandes emisiones de contaminantes no son contabilizadas en los denominados ciclos de conducción, que los modelos de emisión utilizan para simular condiciones “reales” de circulación vehicular. Dado que el intenso tráfico de la ZMVM limita la movilidad de los vehículos durante varias horas del día, esta incertidumbre afecta de manera sustancial a la determinación total de las emisiones de esta importante fuente de emisión.<sup>[5]</sup>

### **1.3. Antecedentes de los ciclos de conducción en el mundo y en México**

Las organizaciones más importantes que han desarrollado técnicas de evaluación para el control y la reducción de las emisiones son: la Comunidad Europea (Europe Community; CE) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica, (Environment Protection Agency; EPA-US) , así como también el Gobierno Japonés.

Estas organizaciones en colaboración con las empresas automotrices y asociaciones internacionales de esta misma rama, como SAE (Society of Automotive Engineers), han establecido diversas pruebas y procedimientos de evaluación de emisiones de los motores, bajo una normatividad que establece los niveles de emisión aceptables. Dichas normas explican los métodos usados, el equipo requerido, las condiciones de prueba y las técnicas para la medición de las emisiones contaminantes.<sup>[6]</sup>

Un ciclo de conducción refleja el comportamiento de la velocidad de un vehículo en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación de algún lugar específico para medir las emisiones de escape y la economía del combustible, representado por una gráfica de la velocidad versus tiempo.

La velocidad, la temperatura de operación y el tipo de consumo así como el tipo de combustible son factores muy importantes para el tipo de emisión de los contaminantes y determinan las cantidades de éstas, pero uno de los factores que más influye es la velocidad ya que, cuando la velocidad es muy baja hay un mayor consumo del combustible, y por lo tanto un aumento en la emisión de los contaminantes.

La principal prueba de evaluación de emisiones que se realiza para la certificación de vehículos nuevos, es una prueba dinámica o prueba de manejo; ésta se desarrolla sobre un dinamómetro de chasis, el cual permite aplicar una carga al vehículo probado, ejerciendo una fuerza extra que es igual al peso de inercia más la potencia efectiva estimada del vehículo, con lo cual se simulan las condiciones de desplazamiento normal, durante el ciclo de conducción.

En relación con este último punto de homologación, en México se utiliza el ciclo de prueba FTP (procedimiento de prueba federal) para determinar las emisiones, en gramos por kilómetro recorrido, de los vehículos nuevos en planta (Norma Oficial Mexicana NMX-011-1993-SCF “Método de prueba para la evaluación de emisiones de gases del escape de los vehículos automotores nuevos en planta que usan gasolina como combustible”)<sup>[7]</sup>

### **1.3.1 Evolución del ftp (federal test procedure).**

Este procedimiento emplea un ciclo de conducción que se obtuvo en la Ciudad de los Ángeles California, en un recorrido típico de casa al trabajo por la mañana. Se desarrolló a mediados de los años 60's. En esa época el vehículo instrumentado fue un Chevrolet 1964, los parámetros medidos fueron: velocidad del vehículo, presión en el múltiple de admisión y régimen de giro del motor. La ruta seleccionada fue de 12 millas y se llamó “LA4”.<sup>[8]</sup>

Posteriormente se instaló en un Chevrolet 1969 otro sistema de adquisición de datos que almacenaba los valores de: distribución de velocidades, presión de vacío en el múltiple de

admisión y rangos de régimen de giro del motor. Mediante un diseño de experimento se determinó la velocidad promedio y máxima de recorrido, así como de paradas efectuadas por cada uno de los 6 conductores.

Basándose en los resultados de este experimento, se estimó que la longitud de recorrido podía ser reducida a 7.5 millas, debido a que algunas pendientes y porciones del recorrido podían ser eliminadas, de tal forma que se mantuviera el valor promedio original de la velocidad. La ruta recortada se denominó “LA4-S3”, la cual se caracteriza por tener una distancia de 7.486 millas, con una velocidad promedio de 19.8 mph. A esta ruta se le hicieron ligeras modificaciones, de tal forma que no excediera la tasa de aceleración más de 3.3 mph/s, debido a limitaciones constructivas de los dinamómetros de chasis empleados en el procedimiento de prueba FTP.

Posteriormente se realizó una correlación de emisiones obtenidas entre el recorrido original y la versión corta, de tal forma que fue necesario hacer otras modificaciones hasta que finalmente se llegó a la versión denominada “LA4-S4” con una longitud de 7.46 millas y velocidad promedio de 19.6 mph. Actualmente, este ciclo se conoce como LA4 o Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS), y se utilizó como referencia para certificar los valores de las emisiones de vehículos y camiones ligeros de modelo 1972 y posteriores.

A partir de 1975, el ciclo utilizado sufre algunas modificaciones, de tal forma que se repite una etapa inicial que dura 505 segundos, seguida de un período de 10 minutos de reposo del vehículo, la diferencia es ” (Fig. 1.2)

**FTP 75**

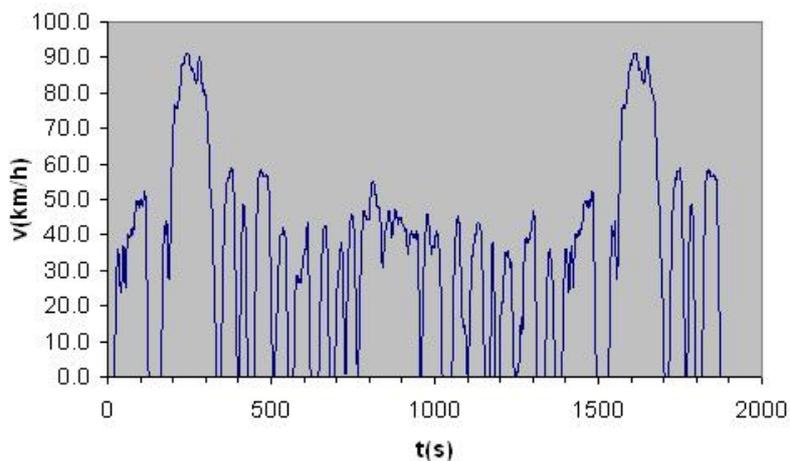


Figura. 1.2 Ciclo de conducción FTP 75

Desde ese año este ciclo ha sido utilizado como procedimiento de prueba (FTP 75) y ha sido adoptado en México en la Norma Oficial Mexicana, sin embargo se ha cuestionado por diversos sectores la representatividad de la forma de conducir en México, incluso en los Estados Unidos de Norteamérica. La EPA realizó un estudio exhaustivo realizado en diversas ciudades con más de 100 vehículos para validar el ciclo que tradicionalmente se ha utilizado y paralelamente se intentó determinar los factores que influyen en la emisión de contaminantes, como pueden ser el tipo de combustible, la temperatura de operación del vehículo, la altitud y la tecnología del propio vehículo. Además de estos factores se tiene el creciente problema de tránsito, del cual se pueden citar los siguientes fenómenos más comunes:

- La circulación de diferentes vehículos en una misma vialidad.
- Automóviles con diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración
- Circulación de tránsito motorizado en vialidades inadecuadas.
- Pocos cambios en el trazo urbano, calles angostas, torcidas, desfiguradas y pronunciadas pendientes, carreteras que definitivamente no han evolucionado.
- Falta de planificación de tránsito; calles, carreteras y puentes se siguen construyendo con especificaciones inadecuadas, sin previsión de estacionamientos en centros comerciales.
- Ubicación inapropiada de zonas residenciales con relación a zonas industriales o comerciales.
- Falta de responsabilidad cívica que implica tener un automóvil, además del desconocimiento total de los reglamentos de tránsito y una completa falta de educación vial.<sup>[8]</sup>

### **1.3.2 Estudio del instituto nacional de investigación en transporte y seguridad de Francia**

Han sido diversos los métodos que se han empleado para la obtención de ciclos de conducción. Por ejemplo, en Francia, en el año de 1983 el Instituto Nacional de Investigaciones en Transporte y Seguridad (INRETS) realizó un experimento instrumentando 35 vehículos, empleando tan sólo un diseño de experimento, que implicaba que los vehículos fueran manejados única y exclusivamente por sus dueños.

En el estudio del INRETS se efectuaron 3300 recorridos de 23,300 Km cada vehículo, pero muestra una carencia en la información del uso vehicular ya que fueron viajes cortos, con pocos límites de rangos de conducción, con baja temperatura de operación, ya que no siempre fueron usados en condiciones normales de operación.

Del análisis de los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que la mayoría de los viajes eran realmente cortos y de poca duración, lo que implica que las temperaturas nominales de operación del motor no siempre se alcanzaron.<sup>[8]</sup>

### **1.3.3 El ciclo la-92 de California**

El ciclo La-92 fue desarrollado como herramienta de la mejora del inventario de las emisiones, y se espera que desempeñe un papel importante en esfuerzos actuales y futuros de la mejora del inventario de las emisiones.

Un coche siguió a los vehículos de poca potencia sobre 102 diversas rutas en el lado del sur de la costa. Las rutas fueron seleccionadas usando datos de la asociación meridional de California del modelo de sistema urbano de planeación del transporte de los gobiernos.

La distancia uniforme fue mantenida entre el coche de persecución y el coche sujeto con un láser del buscador de la gama desarrollado para este estudio. El coche de la persecución recogió datos sobre velocidad del coche de persecución, la presión de aire múltiple, y la aceleración, la velocidad y la gama sujeta del vehículo, y otros parámetros, montado en un representante del ciclo (el "La-92").

El ciclo en este estudio se diseñó para ser más representativo de todos los modos de la operación del vehículo (aceleraciones, entre otros). Comparando al FTP 75 y el ciclo La-92, este último tiene una velocidad superior más alta (67.0 mph contra 56.7 mph), una velocidad media más alta (24.8 mph contra 19.6 mph), menos tiempo ralentí (16.4 por ciento contra 19.0 por ciento), pocas paradas por la milla (1.52 contra 2.41), y una aceleración máxima (3.02 m/s<sup>2</sup> contra 1.48 m/s<sup>2</sup>). El La-92 tiene 9.9 millas de largo; la longitud del ftp es 7.5 millas.<sup>[9]</sup>

### **1.3.4 Desarrollo de un ciclo de conducción en Hong Kong**

En Hong Kong desarrollaron un ciclo de conducción estándar en el área urbana, la toma de datos se llevó a cabo instrumentando un vehículo a diesel realizando recorridos por dos rutas fijas localizadas en dos distritos urbanos de Hong Kong. Los datos obtenidos fueron analizados y comparados con otros ciclos de conducción de otras partes del mundo.<sup>[10]</sup>

Los autores de este estudio en Hong Kong, mencionan el trabajo realizado por Kruse y Huls quienes produjeron 10 minutos del ciclo mediante tomas aleatorias de segmentos que fueron cortados de los recorridos realizados. Tomando en cuenta 9 parámetros como son la velocidad promedio, velocidad promedio rápida, promedio de la aceleración, promedio de la desaceleración, longitud media, paradas, número promedio de aceleración-desaceleración.

Utilizaron un vehículo de marca Toyota Hiace con transmisión manual y motor a Diesel. Un sensor infrarrojo fue usado para medir la velocidad del motor, la rotación de la transmisión, y un microcomputador Pentium para guardar los datos.

Los datos se obtuvieron en el horario de 8:00 am a 11:00 am en los meses de septiembre a Diciembre de 1997. El resultado de estos, fueron 12 recorridos en total, 6 del área de la península Kowloon (KLN) y las 6 restantes de la isla de Hong Kong (HKI).

Posteriormente con los parámetros mencionados se hace un promedio para ambas áreas y un promedio para cada una de las áreas. Los valores para obtener el ciclo de conducción no deben de tener un 5% de diferencia con los valores promedio para ser aceptados en el ciclo. El tiempo de recorrido de los periodos es de 1 min y la composición de 20 periodos forma un ciclo de 20 minutos.<sup>[10]</sup>

### **1.3.5 ECE ciclo urbano**

Este ciclo fue desarrollado en 1962 por la UTAC (Union Technique de l'Automobile et du Cycle) y esta basado sobre las condiciones de tráfico de Paris, que son completamente diferentes a las condiciones de California usado como el primero en la base de ciclos de conducción. Este fue adoptado en 1960 en Ginebra por el ECE (Economic Comision for Europe) como un ciclo Europeo. Este ciclo está representado en cuatro tiempos, con una distancia de 4.052 km.

El ciclo ECE fue corregido con una fase que representa el tráfico extra-urbano, con altas velocidades (mayores a 120 km/h). Tiene un tiempo de 400 s cubriendo una distancia de 6.955 km a una velocidad promedio de 62.6 km/h.<sup>[11]</sup>

### **1.3.6 Ciclo de conducción europeo (inter-european project)**

Investigadores Europeos de Volkswagen analizaron la opción de adaptar el ciclo FTP 75 a las condiciones de tráfico en Europa. Por lo que se realizó una comparación entre las situaciones del Europeo y el Americano, instrumentando vehículos para hacer mediciones de forma real en siete lugares, en Torino Italia, Versalles Francia, Londres Inglaterra, Stuttgart en Alemania). Los datos fueron analizados y permiten una comparación de los parámetros como son frecuencia de paros, duración y longitud del trayecto.

Para esta investigación los autores concluyen que el ciclo americano fue considerado inadecuado para casi todos los parámetros observados. La velocidad constante es también alta y la combinación de periodos de conducción en relación al total de los ciclos no se pueden parecer los resultados obtenidos con los datos reales. No obstante el FTP 72 parece tener una similitud del tráfico promedio con las condiciones de las ciudades Europeas. Las frecuencia de la aceleración y desaceleración son modos que tienen una pésima descripción de los parámetros de todos los ciclos analizados, obteniendo valores inferiores observados en la realidad.<sup>[12]</sup>

### **1.3.7 Programa de prueba japonés modo 10**

Este programa es parte de la prueba de emisiones vehiculares oficial para la certificación japonés. La prueba se realiza con el vehículo completamente caliente en 10 km de recorrido. La prueba es de 135 s y se realiza 6 veces sucesivas con una velocidad media de 17.7 km/h, la velocidad máxima es de 40 km/h y con un porcentaje al ralentí de 26.7 %.

### **1.3.8 Estudios del ciclo de conducción en la ciudad de México**

Existen en México pocos estudios sobre los ciclos de conducción, dos de estos son “Propuesta de un Ciclo de Manejo representativo de la ZMCM, para Homologar vehículos Ligeros” una tesis de José Luis Ramírez Mellado para obtener el título de Maestro en Ingeniería Mecánica en 1997 en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México <sup>[6]</sup> y “Contaminación Atmosférica Asociada con los Ciclos de Conducción vehicular para el D.F.” de Angélica Velásquez Montero para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental en el 2003 también de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México <sup>[13]</sup>.

- **Propuesta de un ciclo de manejo representativo de la ZMCM, para homologar vehículos ligeros**

Tiene como objetivo específico dar una propuesta de desarrollo de un ciclo de manejo representativo de la ZMCM, para la homologación de vehículos ligeros con motores de encendido provocado (MEP), considerando las características geográficas, climatológicas y meteorológicas; esto con el fin de proporcionar un soporte para realizar pruebas más reales de las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos y establecer una comparación con los niveles legislados en la ZMCM en 1997.

Se obtuvieron un total de 69 trayectorias con Velocidades medias (Vm), los tiempos de duración de las trayectorias resultaron muy variables por lo que fue difícil hacer una evaluación a partir de esta característica, sin embargo se establece una comparación de trayectorias entre los tiempos aproximados y con la forma del perfil de velocidad. De acuerdo a esto, se obtuvieron finalmente 17 trayectorias que resultan ser las más representativas de las condiciones típicas de manejo y desplazamiento.

Con estas trayectorias típicas de la ZMVM se realizaron combinaciones para estructurar algunos ciclos de conducción. Para conformar estos ciclos se consideraron los principales resultados del análisis estadístico de los 54 recorridos.

El estudio permitió descubrir que la velocidad media de circulación en la zona monitoreada es de 18 km/h y el porcentaje de tiempo con  $V=0$  que resultó de 18%.<sup>[6]</sup>

- **Contaminación atmosférica asociada con los ciclos de manejo vehicular para el D.F.**

Este estudio tiene como objetivo establecer ciclos de manejo para la ZMVM a partir de los datos de condiciones de manejo medidos directamente sobre vehículos ligeros a gasolina, para las rutas de manejo de este fueron establecidas por el laboratorio de emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en función de resultados de estudios previos de ciclos de manejo para motocicletas, seleccionándose cinco rutas y realizando seis recorridos en cinco horarios diferentes en cada una.

Con base en la velocidad media de circulación, tiempo de velocidad cero y frecuencia de velocidades mínimas, se estableció el horario conflictivo (menor velocidad media, mayor tiempo cero y más velocidades mínimas) para cada ruta y los ciclos de manejo de cada ruta se desarrollaron para el horario conflictivo correspondiente.

El ciclo de manejo seleccionado para cada ruta considera la metodología propuesta a partir de la velocidad media ( $V_m$ ), el tiempo con velocidad cero (paradas), la velocidad máxima y el intervalo de velocidades más frecuentes.

Los tiempos de recorrido de todas las rutas (cuya duración fue entre 1 y 2 horas) se acotaron a 1000 segundos que contengan a las características del recorrido completo. Para seleccionar estos intervalos se procedió de la siguiente manera:

Mediante observación visual se identificaron los tramos donde se encuentran las velocidades representativas de todo el recorrido.

Con los resultados del punto anterior, se eliminaron los tramos repetidos, para obtener un recorrido más corto, esto hasta que el recorrido sea de 1000 seg, lo que se definirá como ciclo de manejo.

Finalmente se calcula la velocidad media de este ciclo, así como la velocidad máxima y velocidad más frecuente por medio de su histograma, corroborando que las características del ciclo de manejo son apropiadas para representar el recorrido completo.

Los cinco ciclos obtenidos en este trabajo, se realizaron por rutas en el noreste, noroeste, centro, suroeste y sureste en el Distrito Federal que pueden ser utilizados para obtener las emisiones contaminantes, de zonas que contengan las características propias de cada ruta utilizada.<sup>[13]</sup>

## Capítulo 2

### Ciclos de conducción a nivel local

El objetivo del capítulo es explicar la metodología propuesta para obtener ciclos de conducción a nivel local.

Se propone la metodología ilustrada en la figura 2.1. La cual consiste como primer paso en hacer una selección de las vías representativas de la zona de estudio, en segundo lugar se tiene el instrumentar vehículos para obtener datos recorridos a través de las vías determinadas y mediante el análisis minimización de la distancia euclidiana ponderada seleccionar el ciclo de conducción más representativo. A continuación se describe cada una de las etapas de la metodología propuesta.

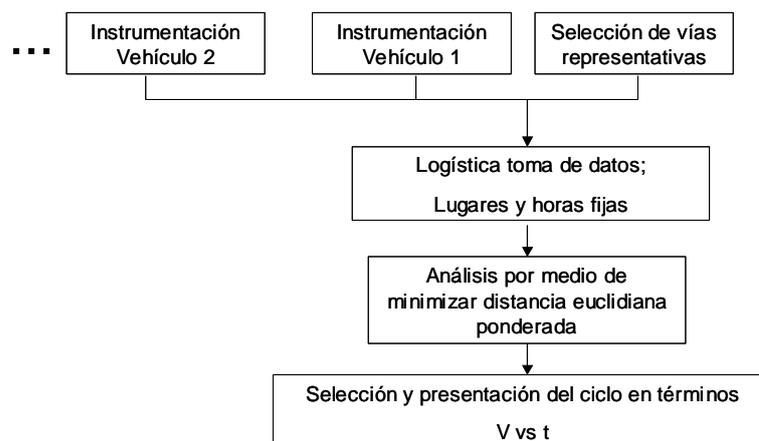


Figura 2.1 Diagrama ilustrativo de la metodología propuesta para obtener ciclos de conducción.

## **2.1 Selección de vialidades**

La selección de vialidades se realiza con base a diversos parámetros, tales como: dimensiones de vialidad, número de carriles en la vialidad, categorización de la vialidad (regional, primaria y/o secundaria). Principalmente se considera el comportamiento vehicular a lo largo del día y para cada día de la semana <sup>[14]</sup>

Del Plan de Centro de Población Estratégico <sup>[15]</sup> se obtuvo la siguiente categorización de las vialidades:

*Vialidades Regionales.* Vialidades que comunican al municipio con otros municipios o localidades y poseen la capacidad de trasladar una gran cantidad de vehículos.

*Vialidades Primarias.* Se consideran a las avenidas que tiene un flujo vehicular importante que comunican a otras vialidades como las regionales, ó a zonas importantes del municipio.

*Vialidades Secundarias.* Son aquellas que tienen un flujo menor al de las primarias y que comunican principalmente a las vialidades primarias

## **2.2 Instrumentación de vehículos**

La parte de instrumentación es importante para éste trabajo ya que en función de está se pueden obtener los datos de los parámetros necesarios para desarrollar el estudio. Los datos se deben tomar de una forma continua para conocer el comportamiento del vehículo en las condiciones de trabajo. Se recomienda que la obtención de datos sea por lo menos cada segundo.

Con base en la bibliografía revisada y tomando en cuenta la relevancia de ciertos parámetros en los cálculos del ciclo de conducción, se determinó que los parámetros más importantes a evaluar son:

- Velocidad
- Tiempo
- Distancia recorrida
- Tiempo ralenti
- Aceleración

Con estos parámetros se obtiene la siguiente información:

- Velocidad promedio
- Velocidad máxima
- Tiempo del recorrido
- Distancia recorrida
- Tiempo ralenti
- Aceleración promedio
- Aceleración máxima
- Desaceleración
- Número de paradas
- Desviación estándar de la aceleración

Esta información permite tener un mejor análisis de comportamiento del vehículo. Además de estos parámetros, también es importante tomar en cuenta otros parámetros que influyen en el mismo comportamiento como son:

- Temperatura ambiente
- Temperatura del motor
- RPM del motor
- Torque del motor
- % de carga del motor

Estos últimos parámetros son útiles para conocer las condiciones ambientales en las que se obtienen los datos lo cual influye directamente en las emisiones, de la misma forma las RPM, Torque y % de carga del motor indican el esfuerzo que está realizando el motor para desarrollar su trabajo y la cantidad de emisiones.

El número de vehículos a instrumentar generalmente se establece, en consideración a los recursos económicos disponibles para cubrir los costos de la instrumentación, vehículos disponibles, personal involucrado. Además se debe considerar el tamaño de la zona y el tiempo para realizar los recorridos.

El tipo de vehículos utilizados para la instrumentación debe ser representativo del parque vehicular que transita por las vías, no importa si es chico, mediano o grande ya que los datos que se obtengan representarán las condiciones de recorrido en las vías de estudio y no el desempeño que haya tenido el vehículo.

### **2.3 Logística de toma de datos**

Una vez que se han seleccionado las vialidades a estudiar y se han instrumentado los vehículos para obtener los parámetros de los datos que se van a utilizar para desarrollar el ciclo, el siguiente paso es la obtención de estos datos.

Para esto se deben realizar los recorridos de forma sistemática, partiendo a la misma hora y en el mismo lugar durante varios días. Estos pueden ser durante una semana o dos con el fin obtener un perfil de comportamiento de la vía, de la misma forma para la selección de las horas de los recorridos se debe tomar en cuenta la evolución que va teniendo la vía conforme pasan las horas y analizar principalmente en donde se tengan variaciones significativas en el flujo vehicular.

La longitud de los recorridos será la misma que tengan las vías en las que se realizarán los recorridos. En el caso de los recorridos locales para las vías regionales, lo más adecuado es que se realice donde inicia la vía dentro de la zona de estudio y finalice en los límites de la misma zona de estudio.

Como lo indica la referencia <sup>[6]</sup>, el comportamiento del conductor en términos de agresividad, velocidad y rebase, está en función al flujo vehicular que presenta la vía, por lo que el conductor no es un factor importante. Además se menciona que se pueden utilizar varios conductores sin que se afecten los resultados. Esto es válido siempre y cuando se estén considerando vías congestionadas, como es el caso de la mayoría de la vías de la ciudad de México

En caso contrario es importante considerar y/o controlar el carril que es recomendable para realizar las mediciones, así como establecer una velocidad máxima o promedio.

Cuando se observe un acontecimiento irregular en la vía (un accidente) que modifique el flujo vehicular “normal”, se debe suspender en ese momento la toma de datos y realizar esta en otra ocasión con las condiciones en que se estaban tomando éstas.

### **2.4 Análisis de la información**

A partir de la obtención de datos de recorridos se puede reproducir un ciclo de conducción caracterizándose de forma única por los siguientes de los parámetros:

Tabla 2.1. Parámetros de caracterización de los recorridos

<b>Parámetro</b>
Velocidad promedio
Velocidad máxima
Tiempo ralenti
Número de paradas
Tiempo total de recorrido
Distancia recorrida
Relación de tiempos
Aceleración promedio positiva
Aceleración positiva máxima
Aceleración media
Tiempo con aceleración positiva
Desviación estándar de la aceleración

Con base en la información que se obtuvo en la bibliografía consultada y trabajos realizados en el mundo para la construcción de ciclos de conducción <sup>[11,12, 17-22]</sup> se concluye que éstos parámetros son los que se utilizan regularmente.

La metodología propuesta para obtener un ciclo de conducción representativo de una vía o zona de estudio consiste en escoger el ciclo (recorrido) cuyos parámetros característicos más un valor de ponderación sea el más próximo al promedio de los recorridos realizados.

Esto es, el colocar en una tabla con los parámetros mencionados los datos obtenidos de los recorridos. Se saca el promedio de cada uno de los parámetros y con esto se obtiene el promedio de todos los parámetros. Con este se observa que recorrido es el que más se acerca a los promedios obtenidos. Además a cada uno de los parámetros se les asigna un valor con el que se modifican los datos iniciales, dando como resultado que los parámetros con un valor asignado mayor se le de más importancia en el resultado del promedio.

El valor asignado a cada uno de los parámetros corresponde a la importancia de cada uno de ellos. Para éste caso los pesos de la ponderación se escogieron acorde a la importancia del parámetro asignado en valores múltiplos de 0.25. El valor mayor fue el número 1 y fue asignado a parámetros como la velocidad promedio, tiempo del recorrido, distancia total recorrida, aceleración positiva y flujo vehicular (si se conoce). En segundo lugar con un valor de 0.75 se tiene el tiempo ralenti o tiempo de paro del vehículo y la aceleración positiva máxima. Y en

tercer lugar se tienen los parámetros restantes como se observa en la tabla 2.2. Lo anterior se realizó basándose en la relevancia observada de cada parámetros en otros estudios de ciclo de conducción, y la importancia del parámetro para este estudio y las condiciones para México.

Tabla 2.2. Tabla de parámetros y los valores de ponderación

<b>Parámetro</b>	<b>Peso de la ponderación</b>
Velocidad promedio	1
Velocidad máxima	0.25
Tiempo ralenti	0.75
Número de paradas	0.25
Tiempo total de recorrido	1
Distancia recorrida	1
Relación de tiempos	0.25
Aceleración promedio positiva	1
Aceleración positiva máxima	0.75
Aceleración media	0.25
Tiempo con aceleración positiva	0.25
Desviación estándar de la aceleración	0.25
Flujo vehicular	1

La mejor aproximación a la media del grupo se realizó minimizando el promedio ponderado de diferencias con respecto a la media como lo indica la ecuación 2.1.

$$y = \min \left( \sum_i W_i \text{abs}(P_{i,j} - \bar{P}_i) \right) \quad (2.1.)$$

donde  $P_{i,j}$  es el valor del parámetro  $i$  para el ciclo  $j$ . Como pesos de ponderación ( $W_i$ ) se usaron los valores listados en la tabla 2.2.

Obsérvese que esta metodología difiere de la metodología de minimizar la media euclidiana esencialmente por el uso de los pesos de ponderación.

## **2.5 Post procesamiento del ciclo obtenido**

En la bibliografía consultada no existe ninguna referencia de algún método para suavizar los ciclos obtenidos. Esto se puede deber a que los ciclos que se obtienen son de recorridos que se realizan en condiciones reales de circulación que no han sido modificados, conservando sus características.

El tiempo de recorrido de los ciclos de conducción conocidos es muy variado y en algunos casos repiten alguna parte del ciclo. Para el caso de ciclos de conducción a nivel local, el autor considera que lo más adecuado es que se conserve el tiempo que resulte del ciclo ya que éste es obtenido del tiempo promedio en que se encuentra el vehículo en la vía o zona de estudio. Otra alternativa es buscar alternativas que permitan minimizar el tiempo del ciclo de conducción eliminando tramos que se repitan o sean redundantes desde el punto de vista del desempeño ambiental.

La forma estándar de representar un ciclo de conducción es mediante una gráfica de Velocidad (Km/h) contra tiempo (s). Esta información alimenta la base de datos de la computadora de los dinamómetros de chasis, los cuales reproducen el ciclo de conducción en los vehículos que se quieran analizar.

## **Capítulo 3**

### **Aplicación de la metodología para el cálculo de ciclos de conducción al municipio de Naucalpan**

Uno de los objetivos de este trabajo es el obtener ciclos de conducción representativos a nivel local en el Municipio de Naucalpan de Juárez, en el Estado de México.

Este municipio por sus características particulares es un buen punto de referencia para poder desarrollar trabajos a nivel local para posteriormente desarrollarlos en otros municipios o delegaciones de la ZMVM u otras ciudades.

Naucalpan es un claro ejemplo de la problemática vial que caracteriza a la Zona Metropolitana del Valle de México, ya que limita con la delegación Miguel Hidalgo perteneciente al Distrito Federal y por tanto es utilizado como vía de paso por los habitantes de los municipios conurbanos al D. F.

Por Naucalpan pasa un corredor vial, lo que le adjudica al municipio un papel estratégico, por la ventaja de su localización. Pero al mismo tiempo le transmite una compleja problemática. El tramo de esta vialidad que se encuentra en el territorio municipal es el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico) y es la vía a través de la cual se lleva a cabo el tránsito tanto de personas como de insumos y mercancías con desplazamiento a nivel local, regional y nacional entre la zona norte del Valle de México, el bajío y el norte del país. Además tiene la vecindad con el Distrito Federal, que convierte a Naucalpan en la extensión natural de la ciudad de México.

### **3.1 Ubicación y características del municipio de Naucalpan**

Naucalpan de Juárez es uno de los 125 municipios que integran el Estado de México. El municipio tiene una superficie total de 149.859 km<sup>2</sup>, se ubica al poniente del Valle de México y al noroeste del Estado de México. Está limitado al norte por los municipios de Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla de Baz; al sur, por Huixquilucan; al oeste, por Jilotzingo; al suroeste, por los municipios de Xonacatlán y Lerma; y al este, por el Distrito Federal. (Fig. 3.1.)

Su posición geográfica está indicada por los paralelos 19°24'92'' y 19° 32' 08'' de latitud norte y los meridianos 99°12'16'' y 99°23'11'' de longitud oeste, a una altitud de 2,298 metros sobre el nivel del mar en la zona urbana.

Orográficamente, el municipio forma un plano inclinado, su porción oriental reposa sobre el límite del Valle de México y tiene un paulatino ascenso hacia el poniente, culminando en la cadena montañosa de Monte Alto que le separa del valle de Toluca.

El relieve del municipio se puede dividir en tres formas características:

- Zonas accidentadas. Se localizan principalmente al oeste y sur del municipio (Chimalpa, Villa Alpina y Tepatlaxco), ocupa aproximadamente un 50 % del territorio municipal.
- Zonas semiplanas, localizadas hacia el centro y norte del municipio (San Bartolo; San Mateo y Echegaray) con un 20 % del total de la superficie del municipio.
- Zonas planas. Se encuentran pequeñas porciones de terrenos planos en la parte central del municipio, pero principalmente se extienden hacia el oriente (parte de San Bartolo; Echegaray; 10 de abril; Ahuizotla y fraccionamientos industriales) abarcan el 30 % de la superficie del municipio.

El clima de Naucalpan de Juárez es templado subhúmedo. La temporada de lluvias abundantes se observa durante los meses de junio a septiembre, mientras que el resto del año es escasa. Los meses más calurosos son marzo, abril, mayo y junio, con temperatura media del mes más cálido de 34°C. y la del mes más frío de -5°C. La temperatura media anual es de 16 °C. La precipitación media anual es de 807 mm, registrándose ocasionalmente heladas en los meses de noviembre a febrero. La dirección de los vientos generalmente es de norte a sur y de noroeste a sureste con una velocidad promedio de 0.9 m/s.

La contaminación del aire producida por la industria se incrementa de manera rápida, al sumarse a la contaminación causada por los automotores que circulan sobre las vialidades de éste y otros

municipios. El viento es un factor que provoca que la contaminación se observe en muchas ocasiones en donde no se genera.

La red vial del municipio resulta insuficiente para desalojar oportunamente los volúmenes vehiculares que se acumulan durante los períodos pico del día. Existe saturación y congestionamientos viales en las intersecciones principales del sistema y aún en algunas de carácter secundario. El patrón de concentraciones de tránsito presenta un comportamiento típico de ciudades suburbanas, y gravitacional, es decir se crea congestión vehicular en zonas y horarios determinados, con crecimiento exponencial.

Las principales vialidades: el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico) es el principal eje de enlace entre el Distrito Federal y la zona poniente de la región del Valle Cuautitlán-Texcoco. Esta vía alcanza un tránsito promedio diario de 150 mil vehículos, presentando condiciones de saturación.<sup>[23]</sup>

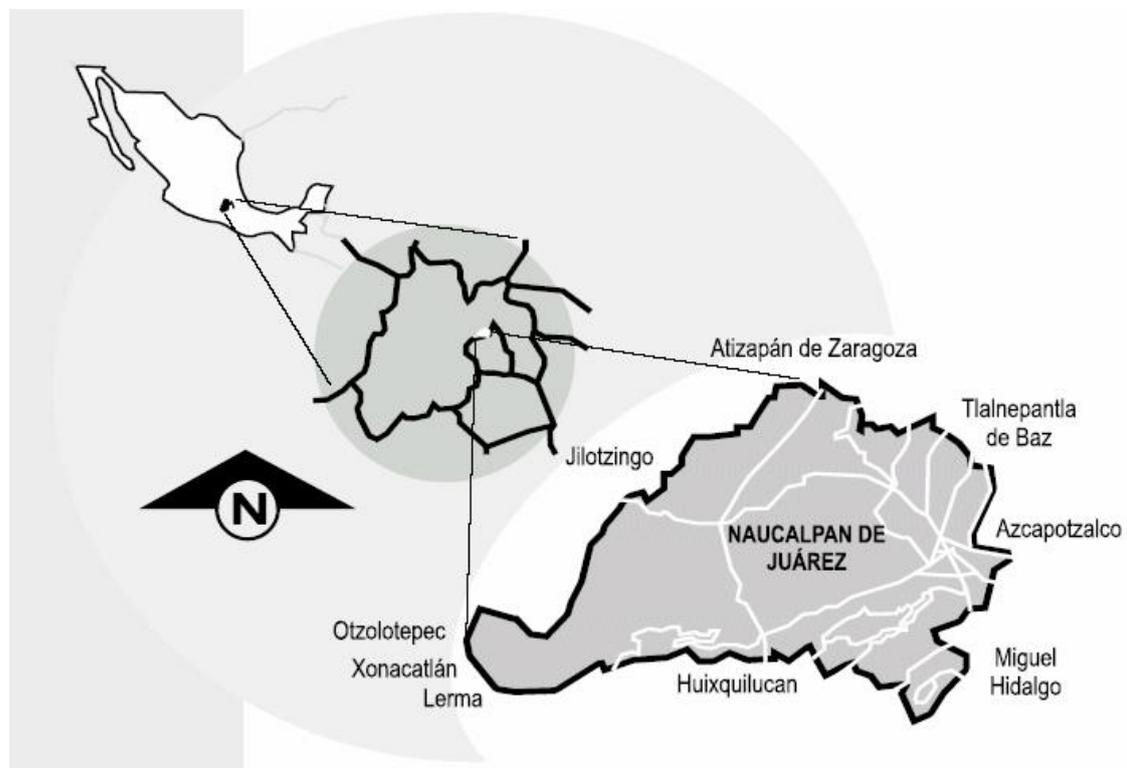


Figura 3.1. Ubicación del municipio de Naucalpan

### 3.2 Selección de vialidades de Naucalpan

Las vialidades seleccionadas para desarrollar el ciclo de conducción son vialidades regionales primarias y secundarias representativas del municipio de Naucalpan que reflejan cada una de las zonas urbanas del municipio. Tabla 3.1. Las zonas que se han considerado son la industrial, residencial, servicios, escolar y centro.

Tabla 3.1. Principales vialidades del Municipio de Naucalpan y su categorización.

<b>Vialidades Regionales</b>	
El Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte)	Constituye la principal arteria vial que atraviesa el municipio en sentido norte-sur y es el principal acceso al D.F.
La carretera Naucalpan-Toluca	Atraviesa el municipio en sentido suroeste-noreste.
Avenida Gustavo Baz	Prolongación de la carretera Naucalpan-Toluca y comunica al municipio de Naucalpan con los municipios de Atizapán de Zaragoza y de Tlalnepantla
Autopista la venta-Lechería	Cruza al municipio de norte a sur, se encuentra al oeste del municipio y constituye un libramiento regional, formando parte del nuevo cinturón vial de la Zona Metropolitana.
<b>Vialidades Primarias</b>	
Avenida 16 de Septiembre	Es el índice en el centro urbano del municipio.
Lomas Verdes	Vialidad intermunicipal que se ubica en la parte centro-norte y noreste del municipio.
Vía Adolfo López Mateos	Vialidad intermunicipal que se ubica en la parte centro-norte y noreste del municipio.
Calzada de la Naranja	Ubicada al este del municipio y enlaza al municipio con la Delegación Azcapotzalco, D.F.
Calzada de las Armas	Localizada al este, y comunica al municipio con la Delegación Azcapotzalco, D.F.

Av. Del Conscripto	Enlaza al municipio con la Delegación Miguel Hidalgo, D.F.
Paseo de la Herradura	Comunica al municipio con la Delegación Miguel Hidalgo, D.F.
<b>Vialidades Secundarias</b>	
La Calzada San Esteban	Cruza a periférico norte a la altura del Toreo de Cuatro Caminos.
Av. De los Maestros y Prolongación Morelos	Ubicadas en la parte centro-sur forman parte de las principales vialidades de esta zona.
Avenida de las Fuentes	Ubicada al sur del municipio y enlaza al municipio con la Delegación Miguel Hidalgo, D.F.
Avenida Iero de Mayo	Índice en el centro urbano del municipio y vialidad principal del Parque Industrial del municipio.
Camino Real a San Mateo y Av. a San Mateo Nopala	Ubicadas al noroeste en la zona no urbana y conectan con la autopista la Venta-Lechería.
Camino a Jiquipilco y Carretera Naucalpan Ixtlahuaca-Jilotzingo	Atraviesan la zona de Tepatlaxco y comunica al municipio con el municipio de Jilotzingo.

Las vialidades seleccionadas se muestran en la Tabla 3.2. Estas vialidades representan cada una de las zonas antes descritas y fueron elegidas considerando principalmente el comportamiento del flujo vehicular y la caracterización de las mismas.

Tabla 3.2. Vialidades representativas del Municipio de Naucalpan con base en su flujo vehicular.

Vialidad	Tipo de vialidad	Zona
Ávila Camacho (Periférico Norte)	Regional	
Primero de Mayo	Secundaria	Industrial
16 de Septiembre	Secundaria	Centro
Lomas Verdes	Primaria	Escolar, servicios y residencial

En las siguientes secciones se describen las características que presentan las vialidades seleccionadas, así como las consideraciones que se hicieron para cada una de ellas para la recolección de datos.

### **3.2.1 Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte)**

Se ha seleccionado la Av. Ávila Camacho (Periférico Norte) ya que es la principal vialidad que conecta al municipio con el D.F.

Es la principal arteria vial que atraviesa el municipio en sentido norte-sur al oriente de la mancha urbana. Esta pasa por el municipio de Tlalnepantla antes de entrar a Naucalpan, a la altura de Plaza Satélite y termina a la altura del Toreo de Cuatro Caminos para dirigirse a la Delegación Miguel Hidalgo perteneciente al Distrito Federal. Este tramo se utilizó para hacer los recorridos y tiene una longitud de 5.3 km. como se observa en la figura 3.2.

Esta vialidad consta de 12 carriles. 6 utilizados de norte a sur y los otros 6 de forma inversa. Estos 6 carriles se dividen en dos para conformar tres carriles laterales y tres carriles centrales, los carriles laterales son utilizados principalmente por el transporte público y de carga, y por los vehículos particulares que los utilizan para entrar o salir de los carriles centrales para incorporarse a otras vialidades. Los carriles centrales son de alta velocidad y son utilizados únicamente por los vehículos particulares.

En esta vialidad se toma en consideración hacer los recorridos en los carriles centrales, utilizando principalmente el segundo carril. De esta forma se tiene el comportamiento vehicular representativo de la vialidad, ya que se considera como una vialidad regional y los carriles centrales se comportan como otro tipo de vialidad.

Con respecto a la velocidad que se toma como referencia en esta vialidad, en caso de que el flujo de vehículos sea prácticamente nulo, no se tiene grandes problemas, ya que esta vialidad tiene señalamientos con velocidades máximas de 80, 70 y 60 km/h para cada uno de los carriles, y se sugiere se respete estos señalamientos.

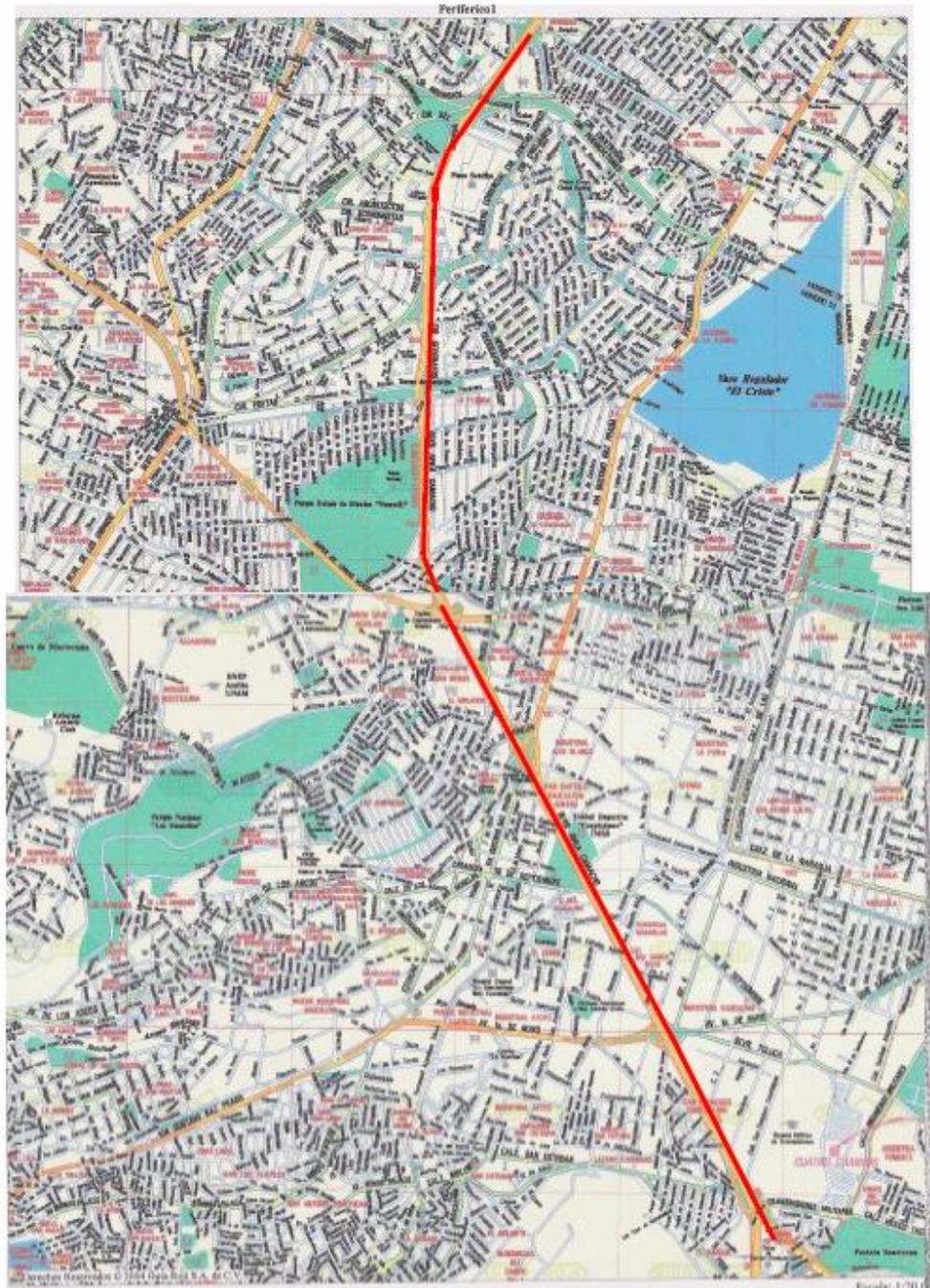


Figura 3.2. Plano de ubicación de la vía Periferico

### **3.2.2 Avenida 16 de septiembre (Zona centro de Naucalpan)**

Esta vialidad se encuentra en la zona centro del área urbana de Naucalpan, consta de dos carriles para cada sentido, pero que en algunos tramos de ésta es utilizado el carril lateral derecho como área de estacionamiento, por lo que en estos se convierte en una vialidad de un solo carril, provocando los problemas lógicos de congestión en esta vía.

El tramo de estudio fue desde la intersección con la avenida Gustavo Baz hasta donde se encuentra la terminal del Metro Tereos (1.8 km). Existe un gran número de transporte público que pasa por este tramo, además de que mediante esta vialidad se puede incorporar al Boulevard Manuel Ávila Camacho, a la Avenida Gustavo Baz y es la continuación de la Calzada México Tacuba en el sentido del Tereos al centro de Naucalpan.

Es recomendable utilizar el segundo carril para los recorridos por las situaciones ya explicadas y por las paradas continuas del transporte público en el carril lateral.

En esta vialidad se fijó una velocidad máxima, debido a que en algunas horas del día y en ciertos tramos no se presentaba flujo vehicular constante, permitiendo aumentar la velocidad o disminuirla si se deseaba, situación por la cual el promedio de la velocidad en esta vialidad podría ser afectada, por lo que se recomienda mantener una velocidad promedio constante de 45 km/h.

### **3.2.3. Avenida Primero de mayo (Zona industrial)**

Esta vialidad se ubica en el tramo comprendido de la intersección de la avenida Gustavo Baz sur con la carretera Luis Donaldo Colosio en las colindancias de las colonias San Andrés Atoto e Industrial Naucalpan; al poniente colinda con la zona Centro de Naucalpan y llega hasta el Boulevard Manuel Ávila Camacho (1.4 km). Fig. 3.3.

Es muy importante esta vialidad debido a que conecta la zona sur del municipio con la zona centro, la zona industrial, la carretera y autopista Naucalpan-Toluca. La afluencia vehicular es elevada. Esta compuesta por los camiones de carga, transporte público y los vehículos particulares.

Consta de tres y cuatro carriles en algunos tramos en cada sentido, en esta vialidad no se hicieron consideraciones con la velocidad, ya que el flujo vehicular es quien marca la velocidad de circulación.

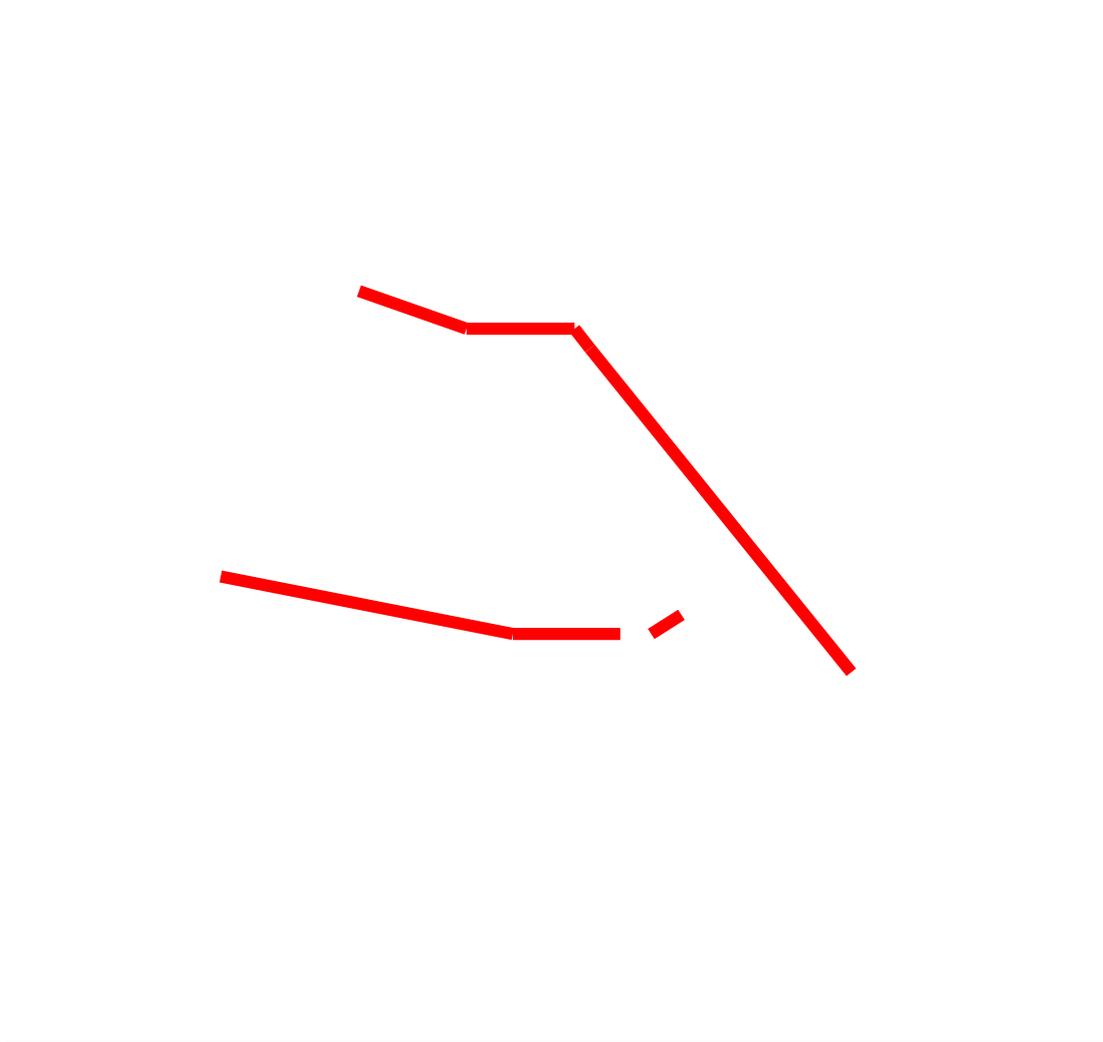


Figura 3.3 Plano de ubicación de las vías 1º Mayo y 16 de Septiembre.

### **3.2.4 Avenida Lomas Verdes (Zona residencial, servicios y escolar)**

La zona presenta infraestructura vial planeada, pero con problemas de congestión de las vías por el elevado número de automóviles que circulan por ella.

Esta vialidad conecta un importante desarrollo habitacional, con otras vialidades como son la Av. Adolfo López Mateos y el boulevard Manuel Ávila Camacho, así como por un importante porcentaje de uso del suelo comercial, de servicios y equipamiento educativo de todos los niveles.

Lomas Verdes tiene una longitud promedio de 2.5 km y cuenta con 6 carriles para cada dirección, subdividiéndose éstos en dos subgrupos que se pueden catalogar como carriles centrales y carriles laterales, que en horas pico estos últimos son utilizados como estacionamiento temporal, provocando problemas viales en esa zona Fig. 3.4. <sup>[15]</sup>

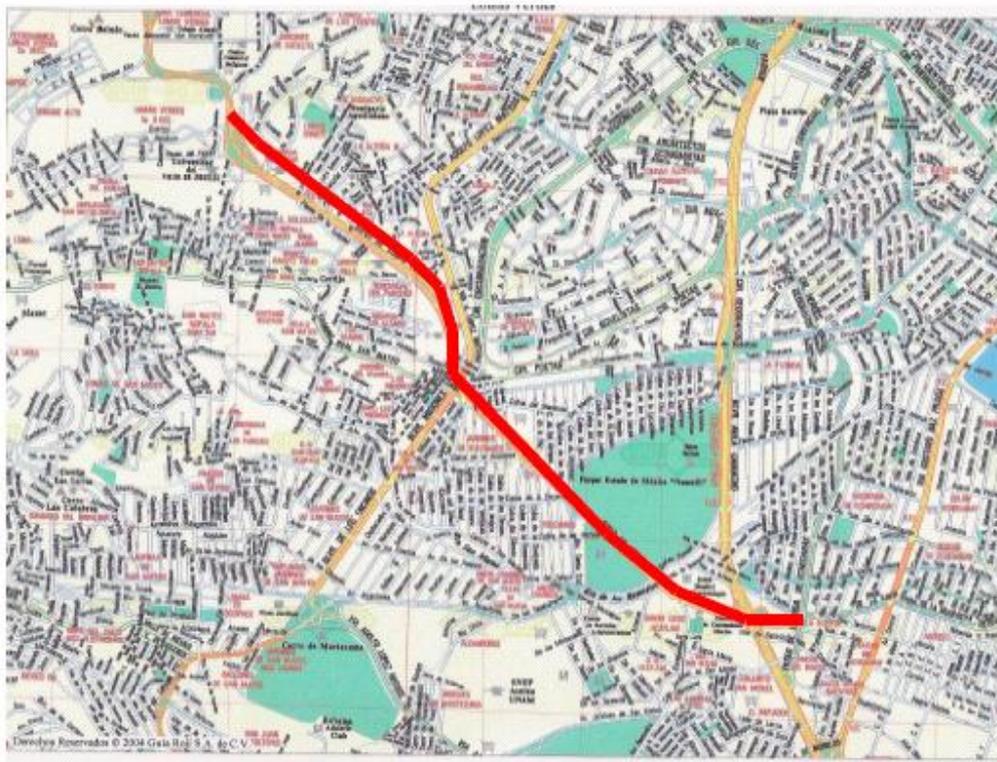


Figura 3.4. Plano de ubicación de la vía Av. Lomas Verdes.

### **3.3 Instrumentación de vehículos**

Se utilizó un vehículo tipo sedan 5 puertas de 4 puertas perteneciente a la policía del gobierno de Naucalpan. A este vehículo se le instaló el equipo de instrumentación desarrollado por el grupo de investigadores de ingeniería automotriz del ITESM campus Toluca, el cual consiste en un instrumento denominado “Quinta rueda.” Ver Figura. 3.5. Este instrumento permite medir la distancia recorrida, velocidad y aceleración del vehículo. También se utilizó un “scanner” que permite la captura de datos adicionales y la validación de los obtenidos por la quinta rueda.

#### **3.3.1. Quinta rueda**

Este aparato es un sensor que permite en forma independiente y confiable medir la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración del vehículo. El instrumento consiste en un sensor de velocidad angular que se acopla a una de las ruedas traseras, un microcontrolador, una unidad de memoria y una batería que le permiten registrar las variables cada segundo durante 16 horas continuas.

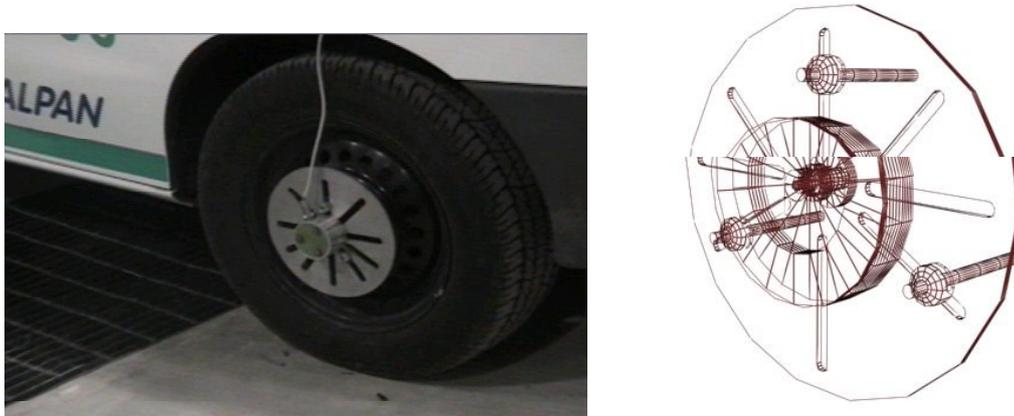


Figura. 3.5. Fotografía de la Quinta Rueda colocada en el vehículo y esquema de la Quinta Rueda

Junto con la quinta rueda se instalaron sensores de temperatura en el vehículo para poder analizar el comportamiento del motor del vehículo. Estos sensores fueron colocados en el motor, en la parrilla del coche, en la cabina y en el escape. Figura 3.6.



Figura. 3.6. Sensores de temperatura colocados en el motor y escape del vehículo.

Además se utilizó un sensor que registra las revoluciones por minuto del motor. El sensor fue colocado en el alternador. Ver Figura 3.7.

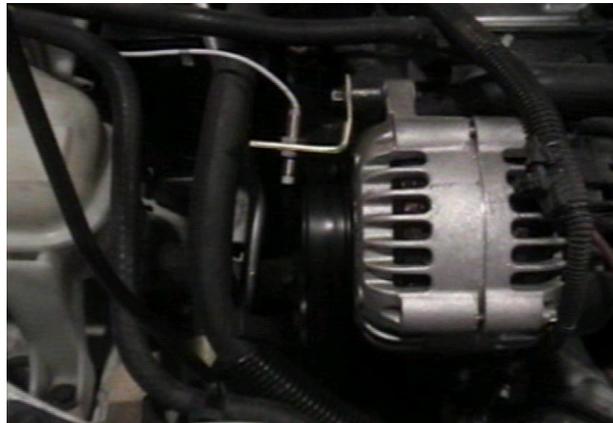


Figura. 3.7 .Sensor de RPM colocado en el alternador

Información que se obtiene con está instrumentación:

- Velocidades de vehículo durante el viaje
- Distancia recorrida

- Aceleración y desaceleración del motor
- RPM del motor
- Temperatura del motor
- Temperatura ambiente exterior
- Temperatura ambiente en el interior del vehículo
- Temperatura del escape

Además esta información se puede ver en tiempo real gracias al programa que muestra mediante gráficas (Figura.3.8.) y de forma numérica, además los datos se van guardando en un archivo de texto.

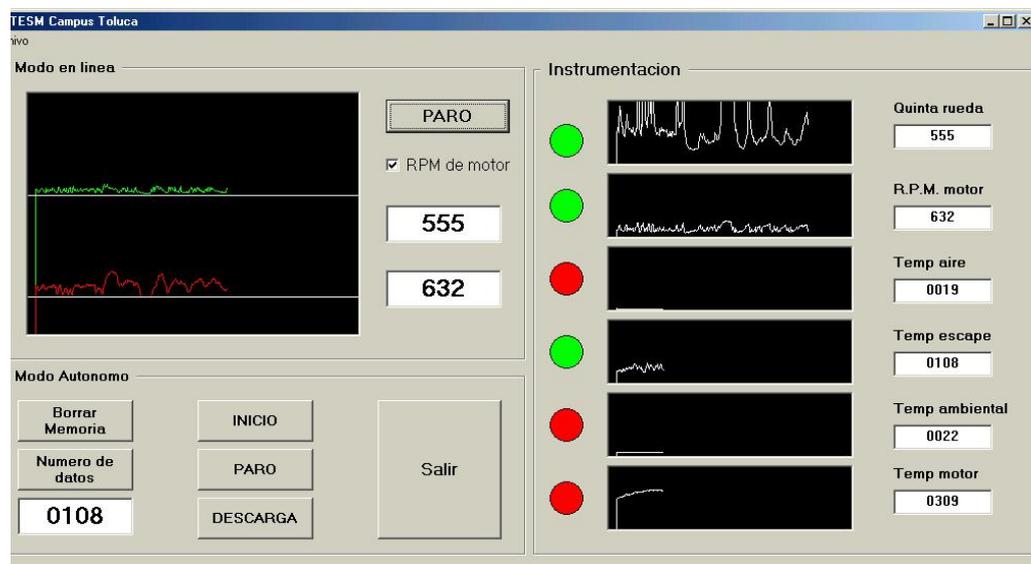


Figura. 3.8. Imagen que muestra la computadora del comportamiento de los parámetros obtenidos de la quinta rueda durante los recorridos

### **3.3.2. Scanner auto tap**

Otro instrumento que se utilizó fue un equipo comercial llamado AutoTap el OBDII Diagnóstico Escáner del campus Estado de México implementado con los sensores del auto.

El AutoTap OBDII Diagnóstico Escáner, que se muestra en la Figura 3.9. Se acopla a una computadora personal o laptop y permite acceder a los módulos del sistema de diagnóstico (OBD II) de la computadora del vehículo.

Esté instrumento lee los Códigos de Problema de Diagnósticos (DTCs), da una vista tiempo real de datos vehículo en funcionamiento con la opción de poder guardar los datos en archivos que pueden ser utilizados en una hoja de calculo como Excel y ofrece datos en la lista, gráfico, o modos de la medición



Figura. 3.9. Imagen del scanner Auto Tap

Es una tecnología que tiene el potencial para proveer información sobre las emisiones del vehículo para automóviles de 1996 en adelante.

El equipo del AutoTap para el sistema de Windows consta de:

- El CD del software para Windows AutoTap
- Hardware de AutoTap OBDII
- Cable de OBDII (conecta el vehículo con el hardware de AutoTap)
- Cable serial (conecta la PC con el hardware de AutoTap)

Los parámetros generales que registra y /o supervisa este sistema son:

- El sistema de monitoreo del estado de refrigeración l A/C
- Entrada auxiliar
- Supervisa el estado catalizador
- Componente comprensivo
- La Carga del motor
- La Velocidad del motor
- Sistema de Evaporación
- Presión de combustible
- Sistema de alimentación
- Ignición cronometrando
- Sensor de O2 - B1S1
- El Sensor de O2 - B1S2
- Posición del acelerador
- La velocidad del vehículo

En este caso el sistema sirve para tomar varios de los parámetros y ampliar el análisis del comportamiento del vehículo.

### **3.4. Logística de la toma de datos**

Los recorridos se realizaron en cada una de las vialidades a las horas y días que se muestran en la tabla 3.3. Se buscó capturar el comportamiento vehicular en la vialidad a lo largo de toda una semana (ver anexo 1, tablas de recorridos). Se tomaron datos durante 204 horas efectivas y se recorrió una distancia total de 571.8 Km.

Tabla 3.3. Recorridos por las vías

VIALIDAD	TIPO DE ZONA	No HRS/DIA	REPETICIONES	RECORRIDOS
PERIFERICO	VIA RAPIDA	6-20 Hrs	4	64
LOMAS VERDES	RESIDENCIAL	7,10,12,14,15,18 Hrs	4	45
1o MAYO	INDUSTRIAL	6:30,7,10,12,14:30,15,18:30	4	45
16 DE SEPTIEMBRE	ZONA CENTRO	7,10,12,14,15,18,20:30	4	50
No RECORRIDOS TOTALES				204

Cabe hacer mención que el periodo en que se llevaron a cabo los recorridos para la obtención de datos esta comprendido del mes de marzo a mayo del 2004.

### 3.5. Análisis de la información

#### 3.5.1. Patrones de comportamiento de parámetros para el ciclo de conducción

Como primer punto se tiene el comportamiento del flujo vehicular a diversas horas del día representado en la gráfica de Velocidad contra tiempo en una vialidad en un solo sentido. Se presenta como ejemplo la vialidad de Periférico en el sentido de Norte a Sur en el día lunes (Figura 3.10.), en la cual se puede observar que no existe un patrón determinado en los recorridos ya que para cada uno de ellos varía el tiempo de duración del recorrido a diversas horas del día.

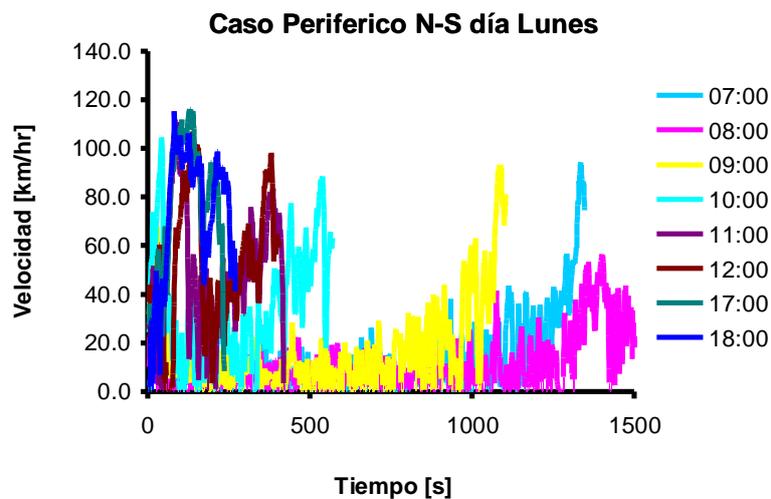


Figura. 3.10 Gráfica de recorridos en varias horas del día representados en Velocidad vs Tiempo

Se buscó otra alternativa para analizar el comportamiento de la vialidad, siendo está el representar los datos en gráficas de Velocidad contra distancia. Ver Figura 3.11. De esta forma se busca tener como base una distancia fija en el recorrido y observar si existen patrones similares entre los recorridos.

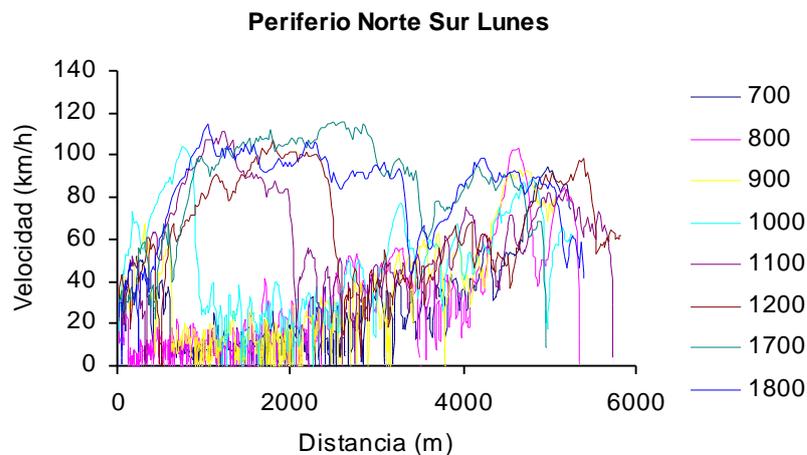


Figura. 3.11 Gráfica de recorridos en varias horas del día representadas en Velocidad vs Distancia

Observando nuevamente que no existen patrones similares durante diversas horas del día. Por lo que se analizó la velocidad promedio contra horas del día para ambos sentidos durante varios días de la semana. Los resultados se presentan en la Figura 3.12.

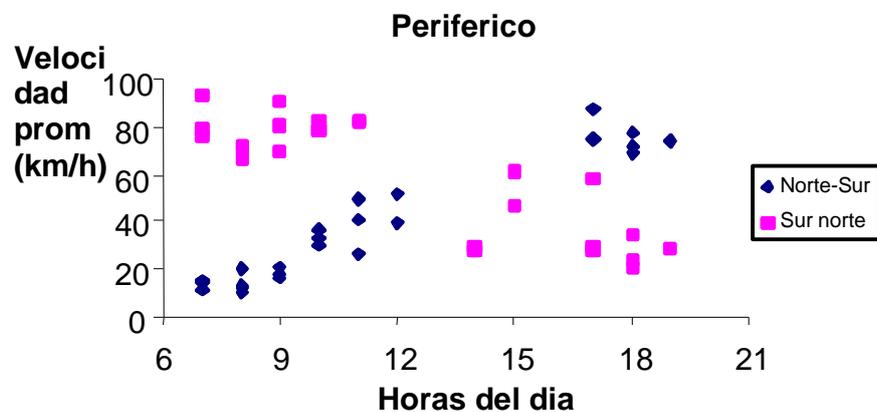


Figura. 3.12. Gráfica Velocidad promedio de ambas direcciones de la vía de periférico vs Horas del día

Se observa que los valores de las velocidades promedio de los recorridos están relacionados inversamente cuando se compara un sentido con el sentido contrario. Además de que se pueden observar datos agrupados en el sentido de norte a sur, esta agrupación se presenta en los horarios

de 6 a 9, de 9 a 13 y de 17 a 20 hrs. Este resultado fue obtenido utilizando la técnica de análisis de clusters usando el programa SPSS.

Los datos agrupados se observan nuevamente en una gráfica de velocidad contra distancia con los recorridos de toda la semana. Se aprecia en la (Figura 3.13.) que si existe un patrón entre algunos de los datos.

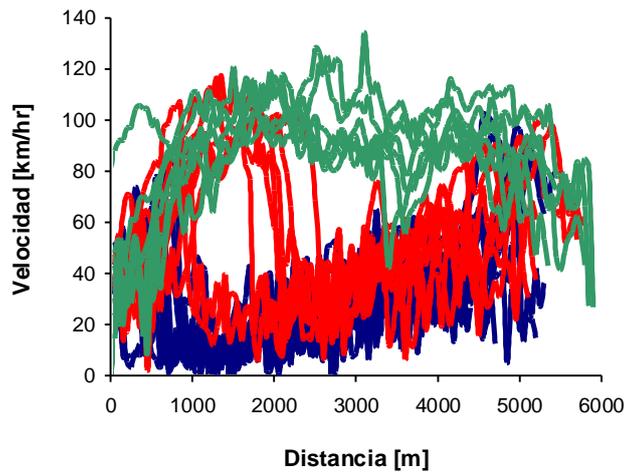


Figura. 3.13. Gráfica con varios ciclos de una misma vía obtenidos durante una semana a diferentes horas del día representados con Velocidad vs Distancia

Para tener una mejor visión de lo que se analiza se separaron los recorridos en los grupos de horas a las que se hacen mención en las figuras 3.14.a, b y c.

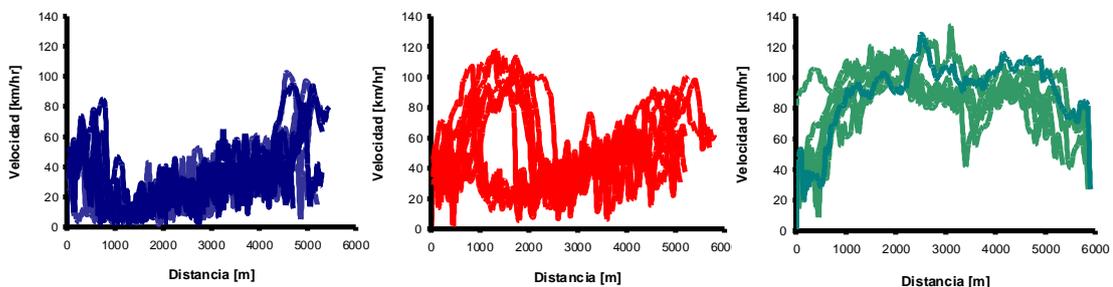


Figura. 3.14. Recorridos por la mañana (a), medio día (b) y por la tarde (c)

En la figura 3.14.a. están representados los recorridos que se llevaron a cabo en horarios de 6 a 9 hrs., mientras que en la figura 3.14.b. se tienen los recorridos de 9 a 13 hrs. Y finalmente en la figura 3.14.c. se presentan los recorridos en los horarios de 16 a 20 hrs. en el sentido de norte a sur en la vialidad de periférico.

Como siguiente paso se buscó obtener el ciclo representativo de cada uno de los grupos analizados mediante la metodología propuesta y el resultado fue el obtener tres ciclos representativos de un sentido de la vialidad como se muestra en la figura 3.15.

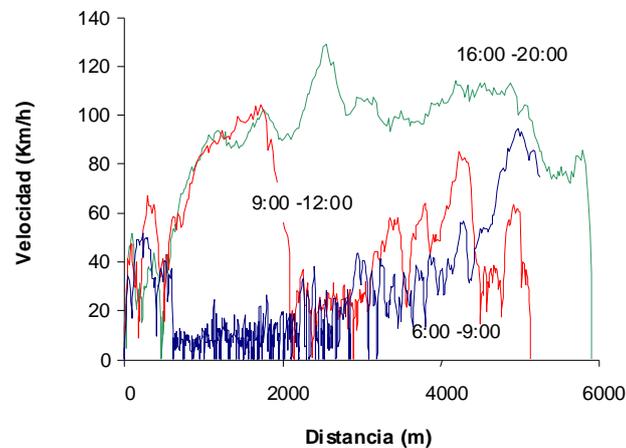


Figura. 3.15. Ciclos obtenidos de los recorridos durante el día

### **3.5.2. Obtención del ciclo de conducción representativo de Naucalpan**

La forma para obtener un ciclo de conducción representativo de la zona de estudio, es como se muestra en la figura 3.16. Esto permite que se puedan obtener ciclos de conducción por vialidad, sentido, semana, día o por hora.

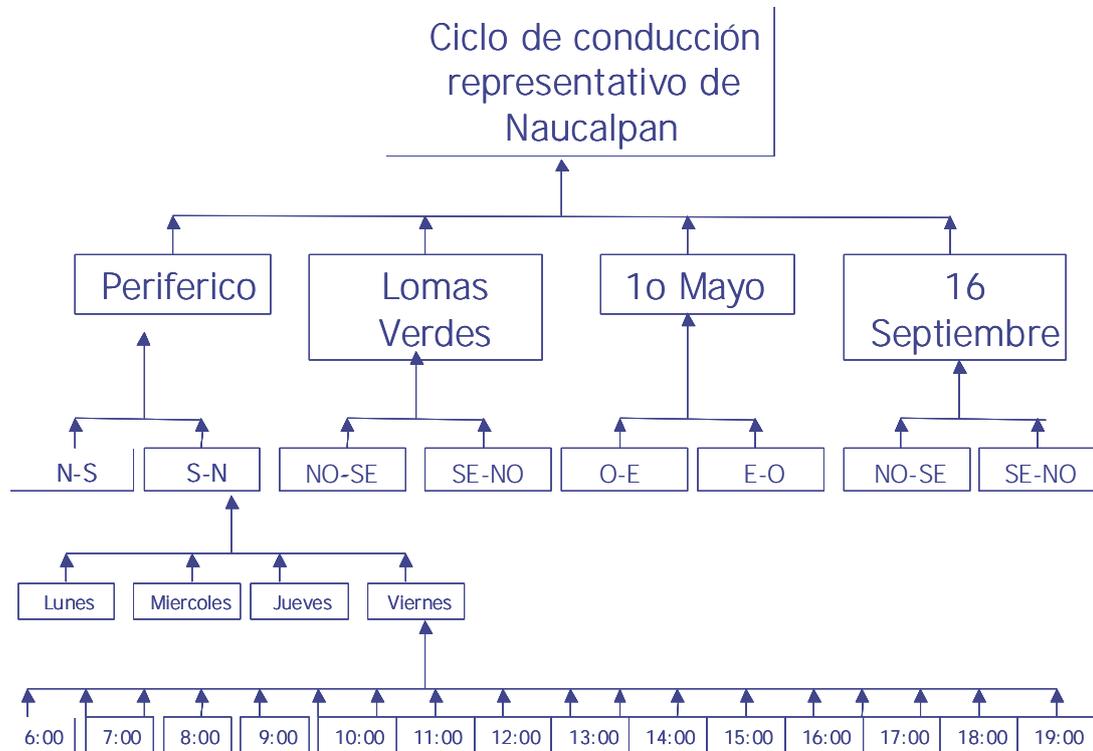


Figura. 3.16. Diagrama representativo para la obtención del ciclo representativo de Naucalpan

Con el fin de obtener una mejor aproximación al promedio ponderado de los ciclos se evaluaron todos los ciclos que se hicieron recorridos como se muestra en las tablas del anexo 2.

Se obtuvo como resultado que el ciclo que más se acerca al promedio, es decir el ciclo representativo de la zona de estudio, es el que aparece marcado de color verde con una puntuación de 0.105 que corresponde al recorrido de la vialidad de Primero de Mayo en la dirección de Gustavo Baz a Periférico a las 14:30 hrs del día sábado. Cuyos valores de los parámetros analizados se presentan a continuación junto con los valores del promedio obtenido de los recorridos en la Tabla 3.4. y el ciclo obtenido representado en la gráfica de Velocidad contra Tiempo. Fig. 3.17.

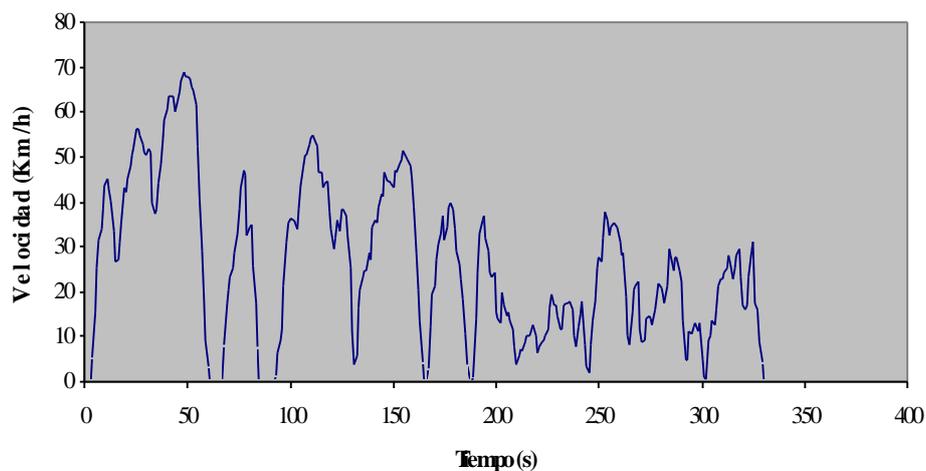


Figura. 3.17. Ciclo representativo del municipio de Naucalpan

Tabla 3.4. Tabla con los valores de los parámetros del ciclo representativo obtenido comparados con los valores promedio de todos los ciclos.

		Sabado	
		14.30	PROMEDIOS
Velocidad promedio	Km/h	25.7	35.8
Tiempo en ralenti	s	30.0	50.8
Velocidad máxima	km/h	68.7	76.8
Número de paradas		8	7.3
Tiempo total	s	336.0	363.9
Distancia total recorrida	m	2400.7	2932.5
Relación tiempos		0.1	0.1
Aceleración promedio positiva	m/s <sup>2</sup>	0.9	0.9
Aceleración positiva maxima	m/s <sup>2</sup>	3.7	4.1
Tiempo con aceleración positiva	t	165.0	164.4

Coefficiente de variacion

		Sabado	Factor de ponderacion
		14.30	
Velocidad promedio	Km/h	0.3	1
Tiempo en ralenti	s	0.4	0.75
Velocidad máxima	km/h	0.1	0.25
Número de paradas		0.1	0.25
Tiempo total	s	0.1	1
Distancia total recorrida	m	0.2	1
Relación tiempos		0.3	0.25
Aceleración promedio positiva	m/s <sup>2</sup>	0.0	1
Aceleración positiva maxima	m/s <sup>2</sup>	0.1	0.75
Tiempo con aceleración positiva	t	0.0	1
		<b>0.109</b>	



Tabla 3.5. Tabla Comparativa de los parámetros de los tres ciclos obtenidos

Parametro	Unidad	Ciclo 1    Ciclo 1.1    Ciclo 1.2		
		Valor	Valor	Valor
Velocidad promedio	Km/hr	25.7	25.9	20.2
Tiempo en ralenti	s	30.0	27.0	49.0
Velocidad máxima	km/hr	68.7	69.0	63.9
Número de paradas		8	6	6
Tiempo total	s	336.0	354.0	344.0
Distancia total recorrida	m	2400.7	2551.2	1928.9
Relación tiempos		0.1	0.1	0.1
Aceleracion promedio positiva	$m/s^2$	0.9	0.8	0.8
Aceleracion positiva máxima	$m/s^2$	3.7	4.1	3.4
Tiempo con aceleracion positiva		165.0	175.0	162.0

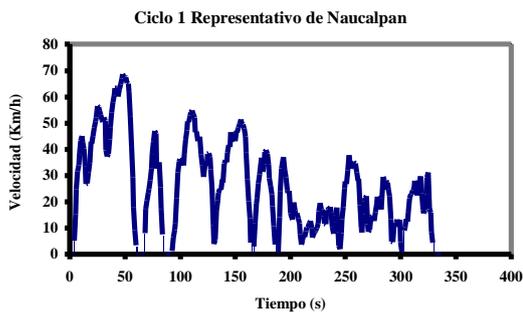


Fig. 3.16 a

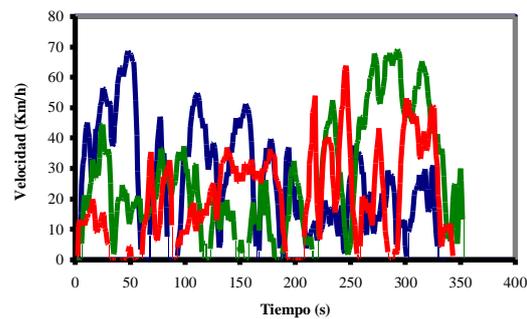


Fig. 3.16 b

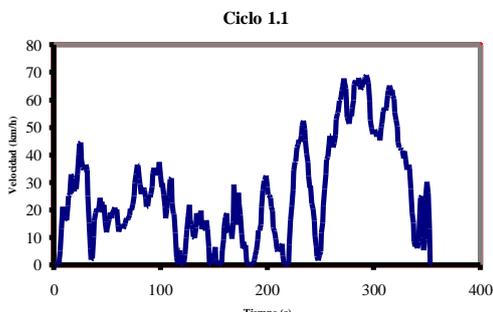


Fig. 3.16 c

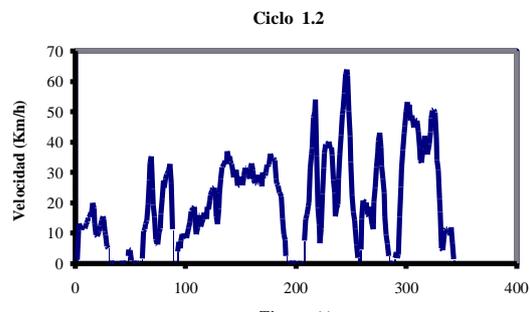


Fig. 3.16 d

Figura 3.19. Gráficas del ciclo representativo y los dos que le siguen en puntuación

A demás de este comparativo se realizo un análisis de frecuencia de velocidades para conocer el comportamiento de cada uno de ellos durante sus recorridos. Fig.3.20.

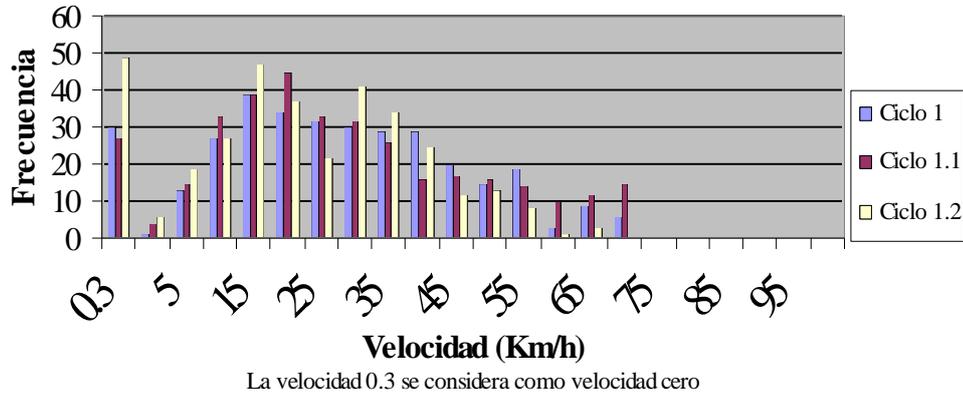


Figura. 3.20. Gráfica frecuencia de velocidades del ciclo representativo y los dos ciclos más cercanos

Con esté análisis se puede concluir que el ciclo de conducción obtenido en el caso de estudio es representativo de la zona estudiada, ya que existe un comportamiento patrón entre los ciclos o recorridos que más se acercan al promedio de todos ellos.

Finalmente con esta metodología no es necesario depurar el ciclo seleccionado mediante alguna técnica de suavizamiento como spline cúbica, regresiones polinómicas por secciones, etc, como se ha observado en otros estudios reportados en la búsqueda bibliográfica presentada en el capítulo 1 de esta tesis. Ya que el ciclo resultante es un ciclo con las condiciones reales de conducción, sin que se haya modificado en lo mas mínimo, por lo que representa el comportamiento regular de conducción.

### **3.5.4.Comparación con los ciclos desarrollados para México y el ftp 75**

Es importante hacer un comparativo de los ciclos desarrollados para México y el FTP 75 para conocer las características de cada uno de ellos (Tabla 3.6.) y tomarlas en cuenta para poder elegir el que permita tener una mejor representatividad de las emisiones que se emiten en la zona estudiada.

Del estudio “Propuesta de un ciclo de conducción representativo de la ZMCM para homologar vehículos ligeros” utiliza el propuesto, mientras que del trabajo de “Contaminación atmosférica asociada con los ciclos de conducción vehicular para el D.F.” se utilizará para la comparación el ciclo del noroeste por ser el que más se acerca a la zona del municipio de Naucalpan.

Tabla 3.6. Características de los ciclos de conducción en México

	<b>Ciclo Naucalpan</b>	<b>Ciclo ZMCM</b>	<b>Ciclo Noroeste</b>	<b>FTP 75</b>
Tiempo del recorrido (s)	336	830	1000	2477
Velocidad Promedio (Km/h)	25.7	17.9	10.5	34.1
Velocidad Máxima	68.7	57	65.12	91.2
Distancia recorrida	2.4	4.13		17.89
Tiempo ralentí (s)	30	150	575	

De la tabla 3.6 se puede concluir que no hay semejanzas entre estos ciclos. Esto es finalmente entendible si se tiene en cuenta que fueron obtenidos en diferentes zonas geográficas.

Adicionalmente este resultado confirma la necesidad de obtener ciclos de condición propios para cada lugar geográfico de interés.

Con base en la metodología propuesta para la selección de vías representativas de la zona de estudio se analizaron las vías:

- Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte)
- Avenida 16 de septiembre (Zona centro de Naucalpan)
- Avenida Primero de mayo (Zona industrial)
- Avenida Lomas Verdes (Zona residencial, servicios y escolar)

Posteriormente como resultado de este estudio para cada una de ellas se obtuvieron los respectivos ciclos representativos en cada sentido, ver el anexo 4.

## **Capítulo 4**

### **Análisis de otras variables y recomendaciones para trabajos futuros**

Dado que los ciclos típicos o patrones de conducción cambian continuamente, se continúa trabajando en el desarrollo de metodologías para obtener una aproximación al ciclo típico de conducción de cualquier vialidad en forma simple y de bajo costo. A continuación se proponen los trabajos que se deben realizar en búsqueda del tal objetivo.

#### **4.1. Ciclos de conducción expresados en modos de trabajo**

Evaluar el comportamiento del motor Durante ciclos de trabajo resulta interesante, ya que en su interior se realizan los procesos de combustión cuyos subproductos son emitidos a la atmósfera.

En general los modos de trabajo del vehículos se pueden clasificar como:

- Aceleración
- Desaceleración
- Velocidad constante
- Ralentí y
- Flujo vehicular

Por tanto de la información obtenida en los recorridos se puede obtener la fracción del tiempo que el vehículo esta en cada uno de estos modos de trabajo. Esta gráfica representa el ciclo de conducción típico de trabajo. Esta forma de ciclo de trabajo facilita el proceso de obtención de los factores de emisión. Sin embargo falta demostrar que los motores exhiben el mismo

comportamiento en términos de emisiones de sustancias contaminantes independientemente de por ejemplo el régimen de aceleraciones o desaceleraciones.

A continuación se presentan las siguientes graficas que ofrecen indicios que la alternativa que se esta proponiendo puede ser atractiva.

- Frecuencia VS Velocidad
- Aceleración (+,-), VS Distancia
- Velocidad y RPM VS Tiempo
- Distribución Normal de aceleraciones
- Frecuencia Acumulada de la Aceleración con línea de tendencia y  $R^2$
- RPM y % Carga del Motor VS Tiempo
- Velocidad y % Carga del Motor VS Tiempo
- RPM VS % Carga del Motor con línea tendencia
- Sensores O<sub>2</sub> 1 y 2 VS Tiempo
- Histograma de frecuencia de % carga del motor.

Cabe señalar que no todas las gráficas mostradas a continuación son de un mismo recorrido. Solo algunas de ellas tienen seguimiento con otras. Esto con el fin de presentar las gráficas más representativas de los parámetros estudiados.

#### **4.1.1. Velocidad constante**

La velocidad es un buen punto de referencia para conocer el comportamiento del flujo vehicular en una vía además del esfuerzo que está generando el motor para que el vehículo se pueda mover.

En este tipo de gráficas se observa la variación de las velocidades que se utilizaron para hacer un recorrido, con esta de puede calcular la velocidad promedio utilizada en los recorridos además del número de paradas realizadas. Figura. 4.1.

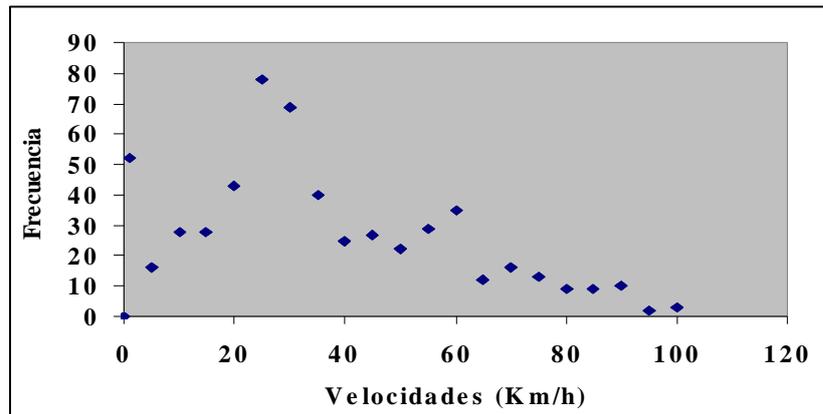


Figura. 4.1. Gráfica Frecuencia vs Velocidad

Otra gráfica que permite ver las condiciones de trabajo del motor, es precisamente el porcentaje de carga del motor. Con la frecuencia del porcentaje de cargas del motor podemos establecer los esfuerzos que el motor tiene para desarrollar su trabajo, mostrando que la carga mínima que presenta es del 20 %. Figura 4.2.

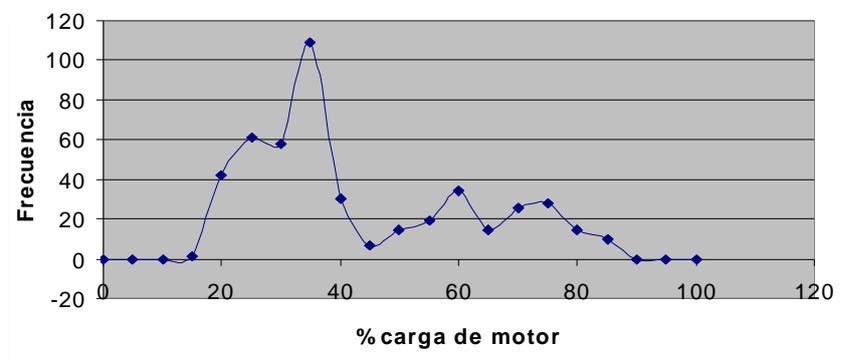


Figura. 4.2. Gráfica de Histograma de % Carga del motor

Para corroborar la correlación que se tiene en las gráficas anteriores, presentamos la gráfica de RPM vs % Carga de Motor con una línea de tendencia se confirma que el motor trabaja con una carga de mínima del 20 % con valores mínimos de 600 RPM Fig. 4.3.

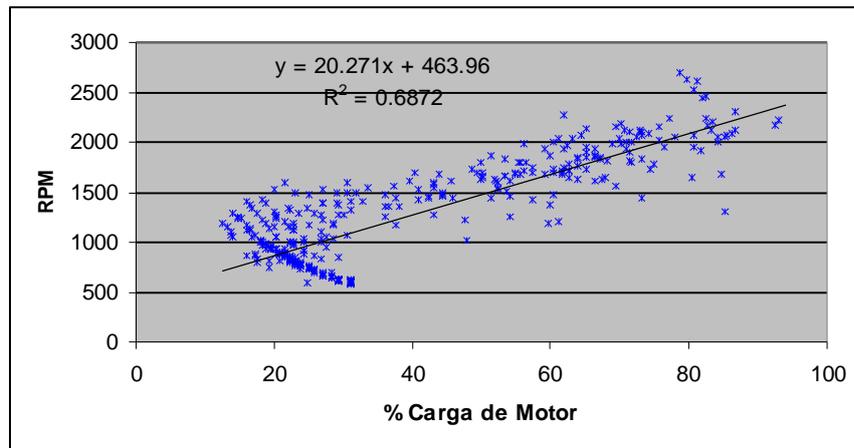


Figura. 4.3. Gráfica RPM .vs % Carga de motor

#### **4.1.2. Ralentí**

Para el caso de ralentí se muestra el tiempo en que el vehículo se encuentra con velocidad cero. Como ya se vió en las gráficas anteriores, aún teniendo velocidades cero el motor continua trabajando con el 20 % de su carga, lo que provoca que se estén generando contaminantes. Este punto es importante ya que algunos factores de emisión están calculados con base en los kilómetros recorridos. Teóricamente con esta forma de cálculo cuando el vehículo está parado las emisiones se cuantifican como cero, es un error.

En la figura 4.4. se sobre pone la gráfica de RPM a la velocidad. Se observa que aunque el vehículo tenga una velocidad “0” el motor sigue trabajando y en consecuencia generando emisiones.

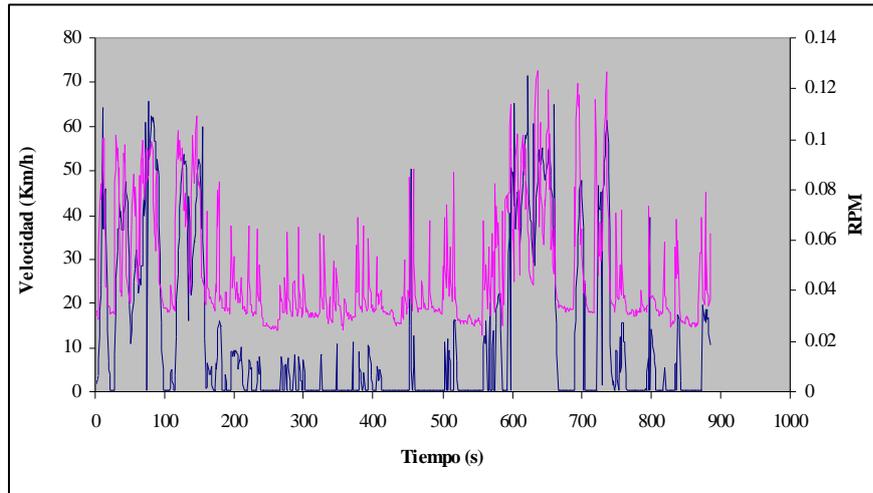


Figura. 4.4. Gráfica Velocidad, RPM vs Tiempo

En las gráficas de RPM, %Carga del Motor vs Tiempo, la línea azul (obscura) representa la RPM, mientras que la línea rosa (clara) es el % de la carga del motor Figura 4.5. En estas figuras se observa el trabajo que está realizando el motor durante un recorrido y se nota que sus comportamientos son muy similares, con lo que permite utilizar una u otra o inclusive ambas para referenciar el trabajo producido por el motor. También se observa que la carga del motor presenta más variaciones oscilantes en comparación con las RPM. Esto se puede entender debido a los cambios de velocidad en la transmisión del vehículo.

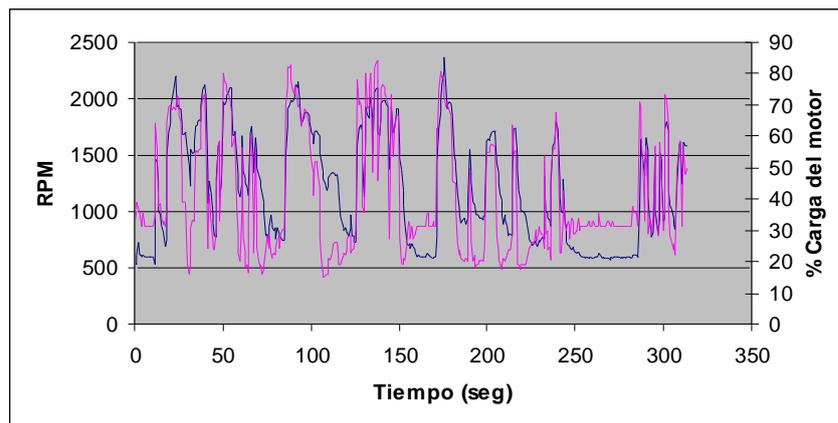


Figura. 4.5. Gráfica RPM, % Carga del motor vs Tiempo

Para entender mejor la gráfica anterior se requiere compararla contra la velocidad. A continuación se presenta en la misma figura las curvas velocidad contra el % Carga del motor, como se puede observar en la figura 4.6.

Con esta gráfica se observa el comportamiento del motor mientras realiza un recorrido y nuevamente se observa que aunque el vehículo se encuentra parado, el motor sigue trabajando con un 30 % de la carga del motor y las RPM tienen un promedio de 750.

Por esto se recomienda que de alguna forma sean tomadas en cuenta para establecer los factores de emisión en zonas en donde los vehículos permanezcan un tiempo prolongado en ralentí.

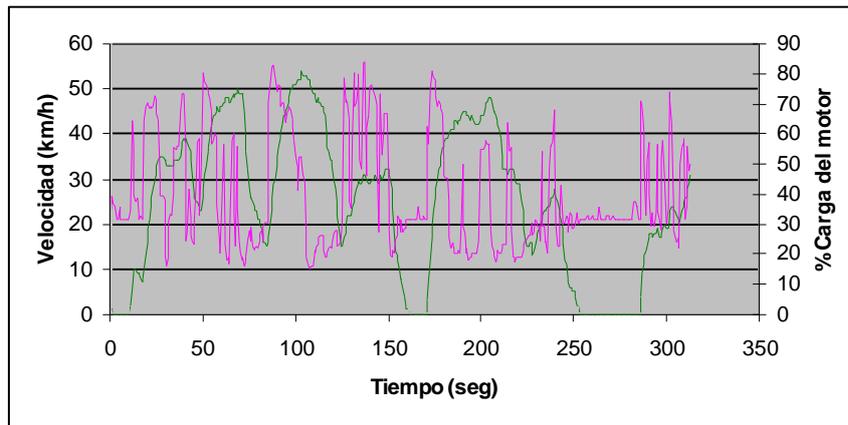


Figura. 4.6. Velocidad , % carga del motor vs Tiempo

Otra alternativa que se analizó fue la de velocidad, el sensor 2 de oxígeno vs tiempo. Allí se, observa una relación definida entre estos dos parámetros. Se debe realizar trabajos más extensos en búsqueda de esta correlación. Ver la figura 4.7.

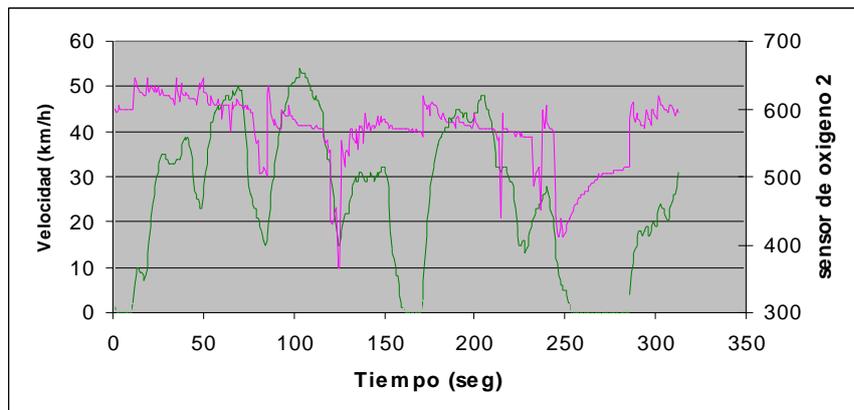


Figura.4.7. Gráfica Velocidad , sensor de oxígeno vs Tiempo

## 4.2. Ciclos de conducción obtenidos mediante simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y los ordenadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales dinámicos.

La clave de la simulación Monte Carlo consiste en crear un modelo matemático del sistema, proceso o actividad que se quiere analizar, identificando aquellas variables (*inputs* del modelo) cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema. Una vez identificados dichos *inputs* o variables aleatorias, se lleva a cabo un experimento consistente en generar con ayuda del ordenador muestras aleatorias para dichos *inputs*, y analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir  $n$  veces este experimento, dispondremos de  $n$  observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo. El análisis será más preciso cuanto mayor sea el número  $n$  de experimentos que llevemos a cabo.

En el desarrollo de este trabajo se encontró que los ciclos típicos de conducción potencialmente pueden ser obtenidos a partir de la distribución de aceleraciones. Además se encontró que la distribución de aceleraciones asume una distribución normal. A continuación se muestran estos resultados.

### Aceleración y Desaceleración

En esta gráfica se observa el comportamiento de aceleraciones (+) y desaceleraciones (-) que tiene el vehículo en un recorrido. Fig. 4.8.

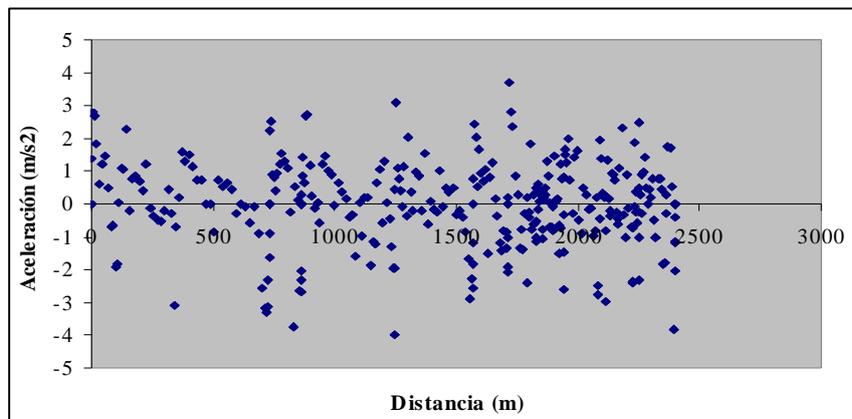


Figura. 4.8. Gráfica Aceleración vs Distancia

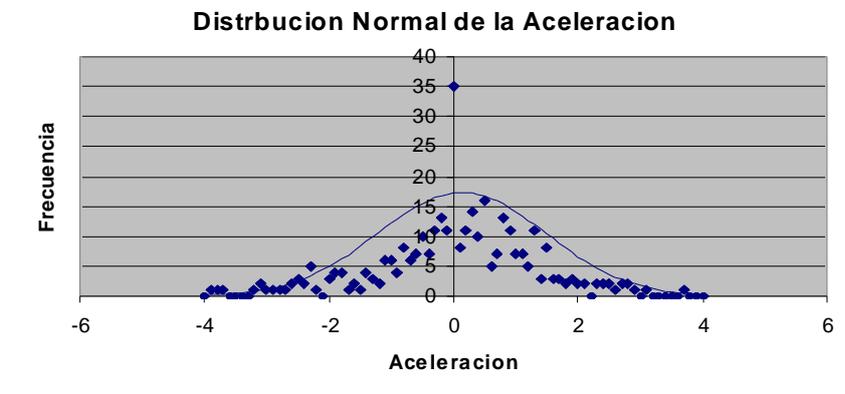


Figura. 4.9. Gráfica de Distribución normal.

En la cual se observa que existe una distribución de aceleraciones. Fig. 4.9. Además estos resultados permiten obtener los ciclos de conducción partiendo de la distribución de aceleraciones mediante simulación de Monte Carlo.

Mediante la siguiente gráfica se puede corroborar que las aceleraciones asumen una distribución normal. Esto se puede apreciar en el hecho que la distribución acumulada de aceleraciones se aproxima a una recta. Fig. 4.10.

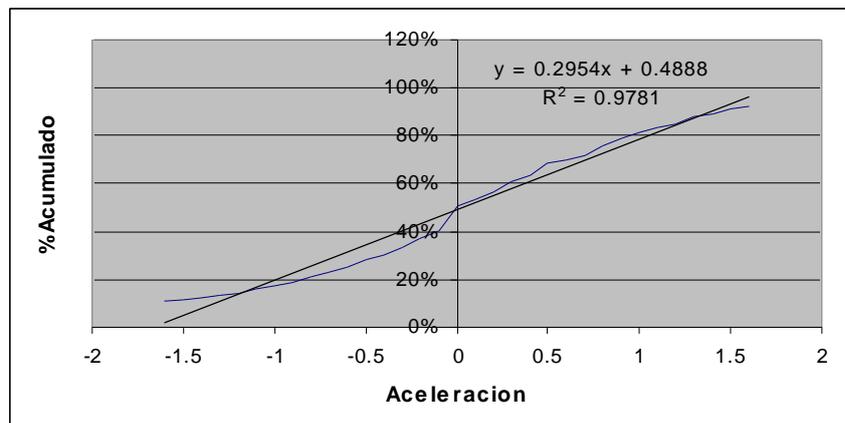


Figura. 4.10. Gráfica frecuencia acumulada de la aceleración con línea de tendencia

A partir de esta información se obtuvo una primera simulación de los ciclos de conducción mediante simulación por el método de Monte Carlo. A continuación se muestran los resultados preliminares obtenidos. Ver Figura 4.11. Allí se observa que efectivamente se obtiene un ciclo de conducción para el caso de una vía no congestionada y sin restricciones de velocidad.

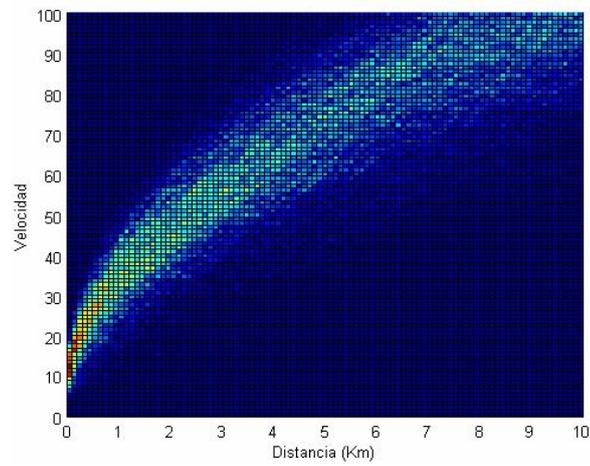


Figura 4.11. Comportamiento de la corrida de datos con el método Monte Carlo. Aceleración :0.5, Desviación : 1.7.  $\Delta t = 1$  seg., Distancia máxima  $L = 10$ Km,  $n = 500$ , numero de ciclos de conducción

## Capítulo 5

### Conclusiones

El conocer las emisiones que se generan en la Zona Metropolitana del Valle de México permite establecer un diagnóstico preciso para dar las alternativas que disminuyan la contaminación atmosférica en la zona. El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo desarrollar ciclos de conducción a nivel local en la zona metropolitana del Valle de México buscando mejorar los actuales cálculos de los inventarios de emisiones al tener un ciclo de conducción con las condiciones reales de México y no uno extranjero.

En el primer capítulo de esta tesis se presentaron los trabajos relacionados con la obtención de ciclos de conducción en el mundo y se observa que muchos de ellos no muestran claramente la metodología a seguir para desarrollar los ciclos de conducción. La mayoría de estos trabajos obtienen los ciclos de conducción realizando cortes en los recorridos, mismos que son escogidos de forma aleatoria para formar un ciclo combinado de todos ellos y por esta situación alteran el comportamiento normal de un recorrido.

Los objetivos que se plantearon para este trabajo de tesis fueron alcanzados :

- El desarrollo de ciclos típicos de conducción a nivel local.
- Seleccionar vialidades representativas por tipo de vialidad y región.
- Desarrollar una metodología para obtener ciclos de conducción vehicular representativos para vialidades primarias y secundarias.
- Obtener ciclos de conducción representativos para vialidades a nivel local para el Municipio de Naucalpan, Estado de México

Se obtuvieron ciclos de conducción georreferenciados y a nivel local, los cuales permiten reflejar el comportamiento de vehículos en vialidades y en un tiempo específico. Este tipo de ciclos de conducción será de gran ayuda para reducir la incertidumbre en la estimación de emisiones a la

atmósfera por fuentes móviles por contar con las características reales de la Zona metropolitana del Valle de México.

En el presente trabajo de tesis, se desarrolló una metodología propia para obtener ciclos de conducción mejorando las siguientes características principales:

- Selección de vialidades representativas de la zona de estudio.
- El estudio se realizó a nivel local y georreferenciado.
- Se realizan los recorridos en forma sistémica.
- Asignar valores a cada uno de los parámetros según su importancia.

Con la aplicación de la metodología propuesta en este trabajo de tesis, se puede obtener ciclos representativos a nivel local del área de estudio, por vialidad, dirección o sentido de la vía, o por horas determinadas durante el día en que el flujo vehicular se modifique en forma considerable. Esta alternativa está en función al tamaño de estudio que se pretenda realizar.

Esta metodología se puede utilizar para obtener ciclos de conducción en una o varias vías de una zona a estudiar, y no sólo en el municipio de Naucalpan.

A diferencia de otros estudios y como una contribución importante de este trabajo de tesis los ciclos de conducción están en función principalmente de los parámetros que caracterizan el comportamiento de los recorridos los cuales son velocidad promedio, velocidad máxima, tiempo ralenti, número de paradas, tiempo total de recorrido, distancia recorrida, relación de tiempos, aceleración promedio positiva, aceleración positiva máxima, aceleración media, tiempo con aceleración positiva, desviación estándar de la aceleración y flujo vehicular.

Esta metodología también permite ajustar la ponderación para tener parámetros de referencia y seleccionar vías con ciertos lineamientos como es el caso del flujo vehicular, ya que como se observa a mayor flujo mayores problemas de congestionamiento y por lo tanto mayor contaminación emitida. Se obtuvo un promedio con los parámetros de caracterización, afectados por un valor agregado para dar una valoración a cada uno de los parámetros. La propuesta de este trabajo incluye el ciclo que más se acerque al promedio ponderado es el seleccionado para ser el ciclo representativo.

Los ciclos obtenidos no requirieron de técnicas de suavizado, ya que éstos deben de reflejar las condiciones reales sin haber sido modificado en lo más mínimo, conservando las características normales de conducción.

Los ciclos obtenidos para cada vialidad difieren entre sí, ya que éstos dependen de las características de las vialidades, tales como: ancho de vialidad, número de semáforos, tipo de vehículos que transitan en éstas, condiciones de asfalto, entre otros.

Se puede concluir que en el comparativo de los ciclos de conducción que existen en México no hay semejanzas entre estos ciclos. Esto es finalmente entendible si se tiene en cuenta que fueron obtenidos en diferentes zonas geográficas.

Este resultado confirma la necesidad de obtener ciclos de condición propios para cada lugar geográfico de interés.

Adicionalmente en este trabajo se incluye un análisis de la utilización de parámetros de caracterización del ciclo que permitirá en trabajos futuros obtener mediante la simulación Monte Carlo del comportamiento del motor trabajando a condiciones normales.

La utilización de la simulación Monte Carlo con las frecuencias del porcentaje de carga de motor se puede obtener el comportamiento de que el motor realiza con las condiciones reales de conducción. Establecer un promedio del tiempo ralenti es otra alternativa que se puede utilizar para conocer el comportamiento que tiene el motor a esas condiciones.

El ciclo de conducción que se obtuvo como representativo de la zona de estudio y resultado de esta tesis presenta una velocidad promedio de 25.7 km/hr y una aceleración de 0.9 con una distribución normal lo que ilustra claramente que el método de Monte Carlo es fácilmente aplicable para obtener ciclos de conducción a través las frecuencias de aceleración. Además la utilización de los análisis propuestos en esta tesis permitirá buscar alternativas para mejorar la cuantificación de las emisiones contaminantes a la atmósfera.

## **Bibliografía**

1. E. ROBERTS ALLEY & ASSOCIATES, INC. *Manual de control de la calidad del aire* Mc Graw Hill 2000
2. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*
3. *Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1996.*
4. *Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998.*
5. MOLINA MARIO J Y LUISA T. MOLINA *Análisis y Diagnostico del Inventario de Emisiones De la Zona Metropolitana del Valle de México.* 2000
6. RAMÍREZ MELLADO J. *Propuesta de un ciclo de manejo representativo de la ZMVM, para homologar vehículos ligeros.* Tesis de maestría UNAM. Facultad de Ingeniería, 1997, D.F. México.
7. Norma Oficial Mexicana NMX-011-1993-SCF “*Método de prueba para la evaluación de emisiones de gases del escape de los vehículos automotores nuevos en planta que usan gasolina como combustible*”
8. *Determinación de los factores de emisión para fuentes vehiculares circulando en la zona metropolitana del valle de México en unidades de gramos por kilómetro* ([http://carpetas.semarnat.gob.mx/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/05\\_Aire/5.1\\_Inventario/index.shtml](http://carpetas.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/05_Aire/5.1_Inventario/index.shtml))
9. THOMAS AUSTIN, FRANCIS DIGENOVA, THOMAS CARLSON, RICHARD W. JOY, KATHYRN A. GIANOLINI, JUAN M. LEE *Caracterización de conducir patrones y emisiones de los vehículos de poca potencia en California* Agencia De Protección del medio ambiente De California Diciembre de 1996

10. H. Y. TONG, W. T. HUNG, C. S. CHEUNG. *Development of a driving cycle for Hong Kong*. Pergamon Atmospheric Environment 33 (1999) pgs. 2323-2335
11. PAUL DEGOBERT. *Automóviles and Pollution*. (SAE) Society of Automotive Engineers. Inc. Editions Technip, Paris. Pg 101-161
12. A. ESTEVES- BOOTH, T MUNEER, J KUBIE; H. KIRBY. *A review of vehicular emission model and driving cycles*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers; 2002;216,8; Wilson Applied Science & Technology Abstracts pg. 777.
13. VELÁZQUEZ MONTERO A. *Contaminación atmosférica asociada con los ciclos de manejo vehicular para el D.F.* Tesis de maestría UNAM. Facultad de Ingeniería, 2003. D.F. México.
14. D. TEJEDA, R. SUPPEN., R. FELIX, *Mexico. Study of the Vehicular Fleet Composition and Behavior in the Naucalpan of Juarez Municipality in Mexico City*. Proceedings of The 8 th International Conference on Atmospheric sciences and Applications to air quality, 10 - 13 March 2003, Tsukuba Science City, Japan.
15. *Plan de Centro de Población estratégico de Naucalpan de Juárez 2002* Dirección General de Desarrollo Urbano H. Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez 1997-2002.
16. J.I. HUERTAS, E. GARCIA *Development of a fifth wheel to evaluate the performance of vehicles by on road tests*. Cars & Fof 2004 San Cristobal Tachira Venezuela
17. ANDRE, M. DRIVING. *Cycle development characterization of the methods*. In SAE International spring fuels and lubricants meeting. SAE paper 961112. 1996.
18. JIE LINA, DEBBIE A. NIEMEIERB *An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to California's regulatory cycle*. Pergamon Atmospheric Environment 36 (2002) pgs. 5759-5770
19. M. ANDRÉ, D. HASSEL, F-J. WEBER. *Development of short driving cycles Research project : The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency Sponsored by the European Commission INRETS Report N° LEN9809 May 1998* pgs. 63
20. R. T. GAMMARIELLO, J R. LONG. *Development of unified correction cycles*. CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD Sixth CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop San Diego, California, March 18-20, 1996
21. R. M. CORVALÁN, C. M. URRYTIA. *Emission Factor for Gasoline Light-Duty Vehicles: Experimental Program in Santiago, Chile*. Air & Waste Management Association Volume 50 December 2000 pgs. 2102-2111
22. Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997. *Estudio Integral de Transporte y Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*. 10.

CONAPO, Septiembre 1998. Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990-2010.

23. *Plan de Desarrollo Municipal De Naucalpan de Juárez Edo. México 2003-2006.*

## **Anexos**

### **Anexo 1 Paper de la Quinta Rueda**

#### **Sistema instrumental para evaluar vehículos mediante pruebas en pista**

**J. I. Huertas, ME, MSc, DSc.**

**E. García, EE.**

**J. Díaz, IE, MSc**

Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz  
ITESM, Campus Toluca, Estado de México, 50110 México

#### **Resumen**

Con el objeto de evaluar el desempeño mecánico, energético y ambiental de vehículos mediante pruebas en carretera, se desarrolló un instrumento de bajo costo que permite en forma independiente y confiable medir la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración del vehículo. El instrumento consiste en un sensor de velocidad angular que se acopla a una de las ruedas traseras, un microcontrolador, una unidad de memoria y una batería que le permiten registrar las variables cada segundo durante 16 horas continuas. Se llevaron a cabo un conjunto de pruebas con el fin de caracterizar el desempeño del instrumento. Se obtuvo la curva de calibración para el caso de velocidades. Se encontró que el instrumento desarrollado posee una respuesta altamente lineal ( $R^2 > 0.998$ ) y un offset pequeño (0.2 Km/h). Posee un error en resolución que aumenta cuadráticamente con la velocidad ( $E_R = 7 \times 10^{-5} V^2$ ) y un error de precisión que aumenta linealmente con la velocidad. Se concluyó que el error de precisión es a lo sumo un 2.5% de la escala de medición. También se encontró la curva de calibración para el caso de distancia y se concluyó que el instrumento posee una respuesta altamente lineal y un error de precisión menor al 0.1% de la escala de medición.

#### **Introducción**

Las innovaciones y/o modificaciones que se realizan a los vehículos automotores son evaluadas exhaustivamente antes de ser comercializadas. Inicialmente las evaluaciones se llevan a cabo en laboratorio donde se pueden controlar las variables externas. Finalmente, se realizan pruebas en carretera con el propósito de verificar el funcionamiento de la modificación bajo condiciones reales. La industria automotriz ha desarrollado instrumentación y pruebas estándar para llevar a cabo dichas evaluaciones. Sin

embargo dicha instrumentación se caracteriza por ser excesivamente costosa.

Por otro lado, durante los últimos años ha crecido el interés por estudiar y entender los cambios climáticos globales que han venido ocurriendo en la tierra. Inevitablemente los grupos de investigación involucrados en el tema dependen de datos confiables sobre las cantidades reales de contaminantes emitidas por los vehículos en los principales centros urbanos del mundo. Así por ejemplo, la contaminación generada en México puede estar contribuyendo al cambio climático global cuyas consecuencias se sienten en Europa.

Por tanto ya no basta conocer los niveles de emisión de contaminantes de los vehículos bajo una prueba estándar de laboratorio en un cierto país. Ahora se vuelve importante cuantificar con alguna certeza los niveles de contaminación generados por los vehículos que operan bajo las condiciones particulares de cada uno de los países latinoamericanos. Sin embargo en la mayoría de estos países, los grupos de investigación interesados en desarrollar este trabajo, aunque cuentan con profesionales idóneos, no cuentan con la infraestructura necesaria.

En respuesta a esta necesidad, el grupo de investigación en ingeniería automotriz del ITESM, Campus Toluca, ha venido desarrollando una metodología que permita realizar este trabajo con instrumentación que sea fácilmente replicable, confiable y de relativamente bajo costo. En esencia la metodología se basa en medir la emisión de contaminantes típica de los vehículos mientras estos son usados en forma cotidiana. Se instrumenta en forma no invasiva un vehículo y se registran las variables de interés mientras el vehículo es usado normalmente. En horas de no operación se recupera la información recolectada. Entre las variables de interés están los patrones de distancia, velocidad,

aceleración que sigue el vehículo, temperaturas en puntos críticos, consumo de combustible y emisión de contaminantes.

**En la fase inicial del proyecto se busca desarrollar un instrumento confiable, fácilmente replicable y de bajo costo que permita medir la distancia recorrida, la velocidad y aceleración del vehículo. Adicionalmente el instrumento debe almacenar el valor de estas variables cada segundo durante un día de operación del vehículo. Inicialmente, el instrumento va a ser usado para:**

Determinar los ciclos de conducción en los grandes centros urbanos en Ciudad de México, San José de Costa Rica, Bogotá, Maracaibo y Lima. Un ciclo de conducción se define como el patrón típico de velocidad que siguen los vehículos en una ciudad. Esta información se usa para evaluar el consumo de combustible y la emisión de contaminantes. También se usa para modificar el sistema de transporte mediante reorganización de rutas, sincronización de semáforos, etc.

Evaluar el efecto de modificaciones al motor sobre el desempeño mecánico del vehículo mediante pruebas estándar de carretera. Las pruebas que se realizan son capacidad de aceleración en plano y en pendiente, consumo de combustible y emisión de contaminantes siguiendo un ciclo típico de conducción y emisión de ruido. Inicialmente se evaluará el efecto de la altitud y la variación en la composición del combustible en el desempeño de vehículos que operan con motores a gas natural y GLP.

A continuación se reportan los resultados obtenidos en el desarrollo de esta fase inicial del proyecto

**Descripción del equipo**

El instrumento usado en la industria automotriz para medir la distancia, velocidad y aceleración de un vehículo se llama quinta rueda. Se llama así porque inicialmente se usó como elemento sensor una rueda adicional acoplada al vehículo como se muestra en la **Figura 1**. Esta alternativa genera problemas cuando el vehículo realiza giros pronunciados o pasa sobre baches por cuanto la quinta rueda se desliza o se desprende del piso. Posteriormente el elemento sensor se acopló directamente a una de las ruedas del vehículo, lo cual eliminó esencialmente estos problemas. El éxito de esta alternativa depende de que la rueda no deslice lo cual ocurre por ejemplo durante el frenado con llantas trabadas. Finalmente aparecieron las quinta ruedas ópticas, las cuales son muy precisas pero de elevado costo. La **Tabla 1** compara estas alternativas.



Fig. 1 Quinta rueda como fue concebida originalmente

**Tabla 1.** Alternativas para la medición de distancia, velocidad y aceleración en vehículos

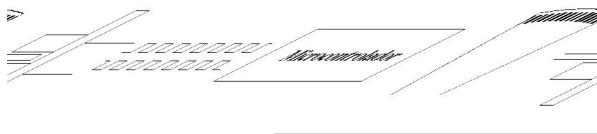
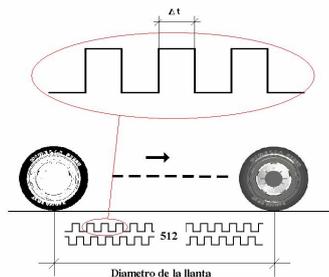
Nombre	Principio físico de funcionamiento	Ventajas	Desventajas
Sensor acoplado a una rueda adicional	Medición de la velocidad de giro de la rueda mediante un encoder	Fácil construcción Bajo costo	Problemas cuando el vehículo realiza giros pronunciados, pasa sobre un bache u ocurre una aceleración o desaceleración brusca por cuanto la rueda desliza o se desprende el piso.
Sensor acoplado a una rueda del vehículo	Medición de la velocidad de giro de la rueda mediante un encoder	Fácil construcción Bajo costo	Error en la medición cuando el vehículo frena trabando la llanta.
Sensor óptico acoplado al chasis del vehículo	Efecto Doppler	No hay error en la medición cuando el vehículo frena trabando la llanta.	Error menor en la medición cuando la altura del chasis varía. Difícil construcción Alto costo

En búsqueda de una quinta rueda confiable (alta precisión y buena resolución) y fácilmente reproducible se optó por la segunda alternativa mostrada en la **Tabla 1**.

**Sensor de velocidad**

Se usó como sensor de velocidad angular un encoder incremental de 512 agujeros con 2 optoacopladores localizados a 90°. Este permite obtener 512 pulsos mientras la rueda gira una vuelta. La resolución se puede incrementar hasta 1024 pulsos por vuelta. Adicionalmente esta configuración permite distinguir si el vehículo se mueve hacia delante o hacia atrás. La **Figura 2** ilustra el principio de funcionamiento del encoder.

Como se ilustra en la **Figura 2**, el encoder mide el tiempo en microsegundos ( $\Delta t$ ) que transcurren mientras la placa ranurada gira de un agujero a otro. Por tanto la distancia recorrida ( $d$ ), la velocidad lineal ( $V$ ) y la aceleración lineal ( $a$ ) del vehículo están dadas por las ecuaciones 1, 2 y 3 respectivamente.



**Fig. 2** Ilustración del funcionamiento del elemento sensor de velocidad angular

$$d = \frac{2\pi R}{512 \times 10^{-6}} \sum_0^n \Delta\tau_n / \Delta t_n \quad (1)$$

$$V_n = \frac{2\pi R}{512 \times 10^{-6} \Delta t_n} \quad (2)$$

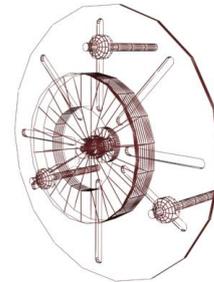
$$a = \frac{2\pi R}{512 \times 10^{-6} \Delta\tau_n} \left( \frac{1}{\Delta t_n} - \frac{1}{\Delta t_{n-1}} \right) \quad (3)$$

donde:

$R$  radio dinámico de la rueda (m)  
 $\Delta\tau$  tiempo de muestreo (s)

**Sistema de fijación del elemento sensor**

El elemento sensor debe ser colocado en el eje de giro de una de las ruedas fijas del vehículo. Para este propósito se usaron los mismos pernos de fijación de la rueda y un plato ranurado como elemento intermediario de fijación. La **Figura 3** ilustra el mecanismo de fijación. Se usa un comprobador de carátula para asegurar el paralelismo del plato con la rueda. Adicionalmente el sensor se encapsula dentro de un material inoxidable para protegerlo mecánicamente y de las condiciones ambientales.



**Fig. 3** Quinta Rueda: Instrumento desarrollado por el Centro de Investigaciones en Ingeniería Automotriz del ITESM para medir en forma independiente y confiable la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración de los vehículos.

**Sistema de adquisición y almacenamiento de datos**

Tradicionalmente se utiliza un computador y una

tarjeta de adquisición de datos como sistema para registrar el comportamiento de una variable en el tiempo en pruebas de laboratorio. Esta alternativa presenta dificultades al pretender ser utilizada en la evaluación de vehículos mediante pruebas de carretera por cuanto es costosa, requiere de una batería adicional para suplir los requerimientos de energía del computador y de un sistema de aislamiento de vibraciones que proteja el computador.

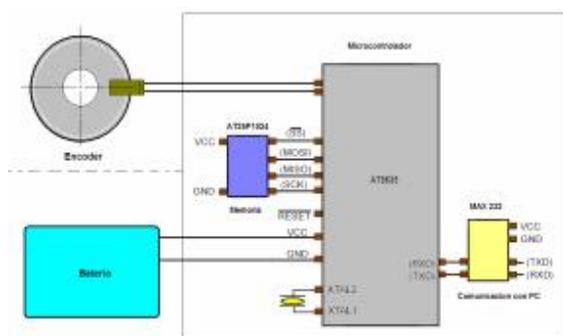
En consideración a lo anterior se optó por desarrollar un sistema basado en componentes de estado sólido, los cuales tienen la ventaja de que al no tener partes mecánicas, su funcionamiento no se ve afectado por el movimiento del vehículo, como podría pasar por ejemplo en el disco duro de una computadora. La **Figura 4** ilustra el sistema de adquisición y almacenamiento de datos implementado. Este sistema satisface los siguientes requerimientos:

Es un sistema autónomo e independiente del vehículo.

Con mínimo consumo de energía de tal forma que puede operar durante un día de trabajo adquiriendo datos cada segundo sin necesidad de recargar batería. No usa computadores durante el proceso de toma de datos. Únicamente se usa el computador para iniciar el proceso de toma de datos y al final para recuperar la información recolectada durante las pruebas.

Cuenta con la opción de ver la evolución de las variables que se están monitoreando en tiempo real mediante un computador portátil comercial.

Como sistema de adquisición de datos y control de las tareas se utilizó un microcontrolador de ATMEL 8515 RISC de 8 bits. Este microcontrolador tiene una velocidad de ciclo de máquina de 8 MIPS, lo cual le da una precisión de  $1\mu s$  en la medición de la velocidad angular. Como dispositivo de almacenamiento, se usó una memoria EEPROM serial de 1 MBit/256Kbits de capacidad. Cada dato usa 2 bytes de memoria. Por lo tanto se pueden almacenar tiempos de hasta  $65,535\mu s$  durante 16 horas de operación tomando datos cada segundo. Como interfase serial hacia el computador se usó un MAX-232.



**Fig. 4** Ilustración del sistema de adquisición y almacenamiento de datos implementado para registrar la distancia, velocidad y aceleración del vehículo.

Se desarrolló un programa en Visual Basic para comunicar los diferentes componentes y ejecutar las tareas de toma de datos, almacenamiento de los mismos, monitoreo en tiempo real, recuperación de datos, etc.

El sistema trabaja con una batería independiente de 6 v. En caso de que la batería se descargue el sistema cuenta con un sistema de

protección que impide que la información recolectada se pierda.

#### *Caracterización del desempeño de la quinta rueda en términos de velocidad*

Con el fin de caracterizar el desempeño de la quinta rueda desarrollada midiendo velocidad, se realizaron un conjunto de pruebas de calibración tendientes a medir el offset, linealidad, precisión y resolución de la medición.

Las pruebas de calibración consistieron en comparar el valor de la variable medida por la quinta rueda contra el valor físico de esa variable. Con tal propósito se seleccionaron pistas planas y rectas con señales (postes) colocados a distancias conocidas ( $X_i$ 's). Se usaron entre 10 y 12 señales en cada una de las pistas usadas. Las señales se encuentran separadas entre 40 y 100 m. Las distancias entre señales se midieron con un metro estándar de 1 cm de resolución.

Para las pruebas de caracterización se usaron vehículos livianos con ruedas de diferentes radios ( $R$ ), los cuales fueron medidos con 1 mm de precisión. Adicionalmente se midió la presión de las llantas ( $P$ ) con una precisión de 1 psig para evaluar el efecto de esta variable sobre el desempeño del instrumento.

Se midió el tiempo que toma al vehículo de pruebas recorrer la distancia delimitada entre 2 señales consecutivas cuando se mueve a velocidad aproximadamente constante. Para esto se usó el reloj de un microprocesador con resolución de  $1\mu s$  y un dispositivo electrónico basado en "limit switches" que detecta el paso del vehículo frente a las señales. El programa elaborado en Visual Basic registra en tiempo real la información proveniente de la quinta rueda y la presencia o no de la señal.

Se hicieron 3 repeticiones por cada velocidad y se usaron velocidades entre 20 y 60 km/h. A velocidades mayores se presentan problemas de control del experimento.

#### *Análisis de los datos*

La **Figura 5** muestra los resultados obtenidos para un vehículo con ruedas R15 a 25 y 35 psig.

Adicionalmente se muestra para cada caso la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales, obtenida por el método de mínimos cuadrados.

La linealidad de la respuesta de la quinta rueda se mide por medio del  $R^2$  de la regresión lineal (Liptak, 2003). Los valores de  $R^2$  cercanos a 1 que se obtuvieron muestran que el instrumento presenta una respuesta altamente lineal en el rango de trabajo.

Las variaciones alrededor de 1 en los valores de las pendientes muestran la diferencia entre el radio geométrico o estático de la rueda ( $R$ ) y el radio dinámico de la misma ( $R_{DIN}$ ). Un análisis estadístico sobre la variación de la pendiente con la velocidad

muestra que el radio dinámico de la rueda no varía con la velocidad.

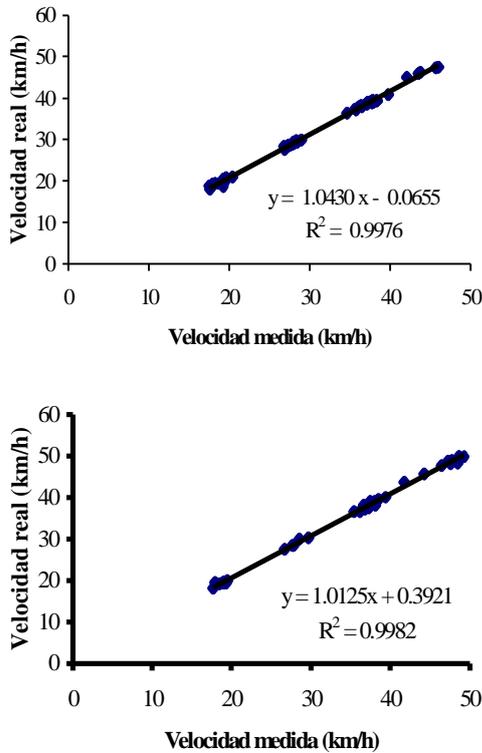


Fig. 5 Curvas de calibración de la quinta rueda para el caso de velocidad usando ruedas R15 a presiones de la llanta de 25 psig (Arriba.) y 35 psig (Abajo).

El valor del offset de la quinta rueda se puede determinar de 2 formas. La primera consiste en registrar la lectura de la quinta rueda cuando el vehículo está en reposo. Se encontró que este valor es de 0.2 Km/h. Este valor corresponde al máximo valor de  $\Delta t$  reportado por el encoder que se puede registrar en memoria. Para las aplicaciones típicas de la quinta rueda este offset no es significativo y por su naturaleza no afecta los valores de las mediciones a velocidades mayores.

La segunda alternativa para determinar el offset consiste en calcular el valor de la constante de la regresión lineal. En este caso el valor del offset es menor a 0.4 km/h y afecta a todas las mediciones de velocidad. De nuevo, esto muestra la conveniencia de realizar una calibración de la quinta rueda cada vez que se vaya a usar.

El rango de medición de la quinta rueda está determinado por el tiempo más pequeño que el microcontrolador puede detectar (1  $\mu$ s) y por el tiempo más grande que la unidad de memoria puede almacenar (65,535  $\mu$ s). De acuerdo con la ecuación 2, esto significa que el rango de medición de la quinta rueda está entre 0.202 y 12988 Km/h. Este rango es muy superior al rango de medición de interés en la

mayoría de las aplicaciones de la quinta rueda (0-120 km/h).

Al igual que en el caso anterior, la resolución de la quinta rueda está determinada por el tiempo más pequeño que el microcontrolador puede detectar para el paso de 2 agujeros consecutivos del encoder (1  $\mu$ s). Usando la ecuación 3 se obtiene que el error por resolución de la quinta rueda ( $E_R$ ) esta dada por

$$E_R = \frac{2\pi R 3.6}{512 \times 10^{-6}} \left( \frac{1}{t - \frac{\Delta}{2}} - \frac{1}{t + \frac{\Delta}{2}} \right) \quad (4)$$

Expresando la ecuación 4 en términos de velocidad se obtiene

$$E_R = CV^2 \quad (5)$$

donde  $C$  es una constante que depende del radio de la rueda. Usando los valores medidos para el radio de la rueda en las pruebas a 25 y 35 psig se obtiene que la resolución de quinta rueda varía  $E_R = 7.55 \times 10^{-5} V^2$  y  $E_R = 7.40 \times 10^{-5} V^2$  respectivamente. En la **Figura 6** se muestra el comportamiento de la resolución y se llega al mismo resultado a partir de la regresión exponencial que mejor se ajusta a los datos experimentales por el método de mínimos cuadrados.

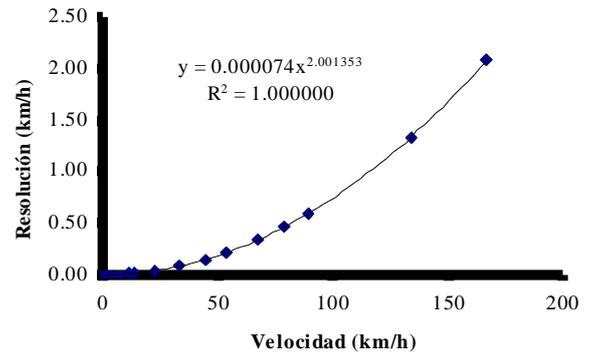


Fig. 6 Variación de la resolución de la quinta rueda con la velocidad para diferentes presiones de la rueda.

Dado que la calibración de la quinta rueda se llevó a cabo para un conjunto de velocidades fijas, los datos experimentales se pueden reagrupar para determinar el error de precisión de la quinta rueda ( $E_p$ ) a esas velocidades, mediante la siguiente ecuación (Freund, 1999) (Ramsey, 2002)

$$E_p = t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

donde

$t_{\alpha/2, n-1}$  Distribución t con un nivel de confianza  $\alpha$  y  $n-1$  grados de libertad

$s$  Desviación estándar de la muestra de datos

$n$  Número de datos

El error de precisión fue determinado para un nivel de confianza del 95%. La **Tabla 1** muestra los resultados

obtenidos para las pruebas a 25 y 35 psig. La **Tabla 2** muestra que la precisión del instrumento disminuye en la medida que la velocidad aumenta. Los datos obtenidos muestran que el error de precisión es a lo sumo un 2.5% de la escala de medición. Sin embargo la distribución de los datos experimentales muestra que este valor está siendo afectado por el error humano involucrado en el desarrollo de las pruebas. Actualmente se está buscando un nuevo protocolo de pruebas de calibración que permita tener mayor certeza sobre el error de precisión a velocidades altas.

**Tabla 2.** Precisión de la quinta rueda medida a diferentes velocidades

Velocidad (km/h)	Error de precisión de la quinta rueda (km/h)	
	25 psig	35 psig
20	0.485	0.431
30	0.334	1.407
40	0.664	0.698
50	2.017	1.845

Como se describió arriba, cada vez que la quinta rueda se monte en un nuevo vehículo se debe realizar una calibración de la misma. Esto elimina la necesidad de medir el radio geométrico de la rueda sobre la cual se monta el instrumento y se elimina la incertidumbre sobre la diferencia entre el radio dinámico y radio geométrico de la rueda. Sin embargo permanece la duda sobre el efecto de las posibles pequeñas fugas de aire que la rueda pudiera presentar sobre las mediciones obtenidas. Para responder a esta inquietud se realizaron pruebas de calibración a presiones extremas de la rueda. El efecto de la presión se puede observar en las curvas de calibración del instrumento. En la **Figura 5** se observa que para un cambio en la presión de la llanta de 10 psig, la pendiente de la curva de calibración varía un 4.1%. Esto significa que el efecto de pequeñas variaciones en la presión de la llanta tiene un efecto despreciable sobre las mediciones realizadas. Sin embargo se insiste en la recomendación de calibrar la quinta rueda cada vez que se vaya a utilizar.

Caracterización del desempeño de la quinta rueda en términos de distancia y aceleración

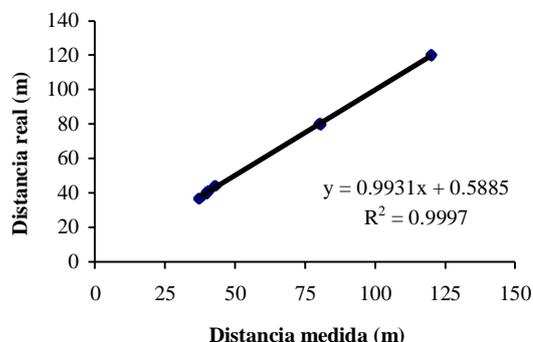
Los datos experimentales obtenidos para caracterizar el desempeño de la quinta rueda en términos de velocidad fueron utilizados para caracterizar el desempeño de la quinta rueda en términos de distancia y aceleración. Se llevaron a cabo los mismos análisis descritos en la sección anterior. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Dado que los valores de distancia reportados por la quinta rueda se calculan a partir de los valores

medidos de velocidad y tiempo de muestreo, un comportamiento satisfactorio de la quinta rueda en términos de velocidad implica un comportamiento igualmente satisfactorio en la medición de distancia. Sin embargo el diseño de las pruebas de calibración permite evaluar el comportamiento de la quinta rueda en términos de medición de distancia

Los valores de distancia reportados por la quinta rueda corresponden a los calculados mediante la ecuación 1. En la **Figura 7** estos valores se comparan con la distancia física medida con un metro estándar. Por medio del método de mínimos cuadrados se obtiene la ecuación de la recta que mejor se aproxima a los datos experimentales. Los valores de pendiente y de  $R^2$  muy cercanos a 1 indican que los valores de distancia reportados por la quinta rueda corresponden a los valores de distancia reales.

Dado que la calibración de la quinta rueda se llevó a cabo usando un conjunto de distancias fijas, los datos experimentales se pueden reagrupar para determinar la precisión con la cual la quinta rueda mide esas distancias. De nuevo se usó la ecuación 6 con un nivel de confianza del 95%. La **Tabla 3** muestra los resultados obtenidos. Allí se observa que la precisión de la quinta rueda midiendo distancia disminuye con la distancia y que el error de precisión es a lo sumo un 0.1% de la escala de medición.



**Fig. 7** Calibración de la quinta rueda en términos de distancia para diferentes presiones de la rueda.

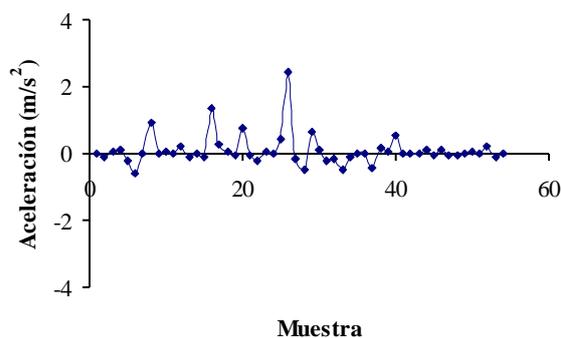
**Tabla 3.** Precisión de la quinta rueda mide distancia recorrida por el vehículo

Distancia (m)	Error de precisión de la quinta rueda midiendo distancia (m)	
	25 psig	35 psig
37.22	0.01	0.05
39.89	0.01	
40.00	0.01	0.01
40.60	0.01	
42.88	0.02	0.02
80.10	0.03	0.04
80.49	0.05	
120.10	0.04	

La resolución de la quinta rueda midiendo distancia no se puede caracterizar en forma única por cuanto este parámetro depende de la velocidad del vehículo y de la velocidad de muestreo. Esto significa que para una misma velocidad de muestreo, la medición de una distancia fija se puede realizar con diferentes errores de resolución. De hecho, el error de resolución en la medición de una distancia fija aumenta con la velocidad del vehículo.

Dado que los valores de aceleración reportados por la quinta rueda se calculan a partir de los valores medidos de velocidad, las pruebas de calibración no estuvieron dirigidas a caracterizar el comportamiento de la misma en términos de aceleraciones. Un comportamiento satisfactorio de la quinta rueda en términos de velocidad implica un comportamiento igualmente satisfactorio en la medición de aceleración. En consideración de lo anterior, las pruebas de calibración se realizan a velocidad aproximadamente constante.

Sin embargo el diseño de las pruebas de calibración permite usar los datos experimentales para identificar un adecuado funcionamiento de la quinta rueda en término de aceleraciones. En este sentido se procedió a graficar los valores de aceleración reportados por la quinta rueda y compararlos contra el valor de 0 que se debe obtener en el caso que efectivamente las pruebas se realicen a velocidad constante. La **Figura 8** muestra los resultados obtenidos. Se observa que los valores de aceleración encontrados son relativamente pequeños. Se hace énfasis que esto tan solo significa que las pruebas se realizaron a velocidades relativamente constantes y que la quinta rueda no presenta un comportamiento inesperado en la medición de aceleraciones. Por lo pronto no se continúa trabajando en este aspecto por cuanto las aplicaciones típicas de la quinta rueda no lo requieren.



**Fig. 8** Valores de aceleración medidos por la quinta rueda durante las pruebas de calibración

#### Conclusiones

Por medio de un sensor de velocidad angular se desarrolló una quinta rueda que permite medir la

distancia recorrida, velocidad y aceleración lineal de los vehículos. El instrumento desarrollado posee una respuesta en velocidad altamente lineal ( $R^2 > 0.998$ ) y un offset pequeño (0.2 Km/h). Posee un error en resolución que aumenta cuadráticamente con la velocidad ( $E_R = 7 \times 10^{-5} V^2$ ) y un error de precisión que aumenta linealmente con la velocidad. Se concluyó que el error de precisión es a lo sumo un 2.5% de la escala de medición.

Se evaluó el efecto de la presión de las llantas sobre el desempeño del instrumento. Se concluyó que esta variable no afecta en forma esencial el valor de la medición. Sin embargo se recomienda calibrar el instrumento antes de ser usado.

Dado que los valores de distancia reportados por la quinta rueda se calculan a partir de los valores medidos de tiempo y velocidad, no se requiere calibrar la quinta rueda para este caso. Sin embargo el diseño de las pruebas de calibración permite evaluar el desempeño del instrumento midiendo la distancia recorrida por el vehículo. Se encontró la curva de calibración del instrumento para el caso de distancia. Se concluyó que la quinta rueda posee una respuesta altamente lineal y un error de precisión menor al 0.1% de la escala de medición.

Por la misma razón que en el caso de distancia, no se requiere una calibración de la quinta rueda para el caso de medición de aceleraciones. Dado que las pruebas de calibración se realizaron a velocidades aproximadamente constantes, la información obtenida en el desarrollo de las pruebas de calibración tan solo permiten confirmar que los valores de aceleración reportados por la quinta rueda son aceptables.

#### Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a los ingenieros Diego Arias, Diego Parra, Luis Muñoz, Juan Forero, Alexander Valencia y Mauricio Antelis por sus contribuciones en el desarrollo de este trabajo. Este trabajo fue financiado por la Cátedra de Ingeniería Automotriz del ITESM, Campus Toluca.

#### Referencias

1. Freund, J.E. Mathematical Statistics. 6<sup>th</sup> edition. Prentice Hall. 1999.
2. Liptak, G. Editor in Chief. Process Measurement and Analysis. Instrument Engineers' Handbook. 4<sup>th</sup> edition. CRC Press – ISA. 2003.
3. Ramsey, F., Schafer, D. The Statistical Sleuth. A course in methods of data analysis. 2<sup>nd</sup> edition. Duxbury. 2002

#### J. I. Huertas

Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad de los Andes de Colombia en 1988. Obtuvo el grado de Maestría en Ingeniería Mecánica en 1990 en la Universidad de los Andes. MSc y DSc en 1997 en la Universidad de Washington, USA. Se desempeña

## *Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible*

---

como profesor investigador del Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz del ITESM Toluca. Es miembro del sistema nacional de investigadores nivel 1.

### **E. García**

Ingeniero Sistemas Electrónicos egresado del ITESM Toluca. Es Candidato a Maestro en Ciencias en el ITESM Toluca especialidad en Sistemas Electrónicos.

### **J. Díaz**

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad del Valle en Colombia. Maestra en ciencias de Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes. Estudiante de doctorado en Ciencias de Ingeniería Industrial en el ITESM.

**Dirección de los autores:** Eduardo Monroy Cardenas 2000, edif. CEDETEC Torre Norte, Colonia San Antonio Buenavista, Toluca 50110, México. email: [jhuertas@itesm.mx](mailto:jhuertas@itesm.mx)

## **Anexo 2 Programa de muestreo de Naucalpan**

### **PRIMERO DE MAYO SENTIDO PERIFÉRICO – GUSTAVO BAZ**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
06:30							
10:00							
12:00							
14:30							
15:00							
18:30							

### **PRIMERO DE MAYO SENTIDO GUSTAVO BAZ - PERIFERICO**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
07:00							
10:30							
12:30							
14:30							
15:30							
18:30							

**LOMAS VERDES  
SENTIDO PLAZA CHIK- PERIFERICO**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
07:00							
10:00							
12:00							
14:00							
15:00							
18:00							

**LOMAS VERDES  
SENTIDO PERIFÉRICO - PLAZA CHICK**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
07:00							
10:30							
12:30							
14:30							
15:30							
18:30							

**16 DE SEPTIEMBRE  
SENTIDO SAN BARTOLO - TOREO**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
07:00							
07:30							
10:00							
12:00							
14:00							
14:30							
17:30							
20:30							

**16 DE SEPTIEMBRE  
SENTIDO TOREO – SAN BARTOLO**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
07:00							
10:30							
12:30							
14:00							
15:00							
18:00							

**PERIFERICO  
NORTE- SUR**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
06:00							
07:00							
08:00							
09:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							

**PERIFÉRICO  
SUR – NORTE**

DIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
HORA							
06:00							
07:00							
08:00							
09:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							

## **Capítulo 3**

### **Aplicación de la metodología para el cálculo de ciclos de conducción al municipio de Naucalpan**

Uno de los objetivos de este trabajo es el obtener ciclos de conducción representativos a nivel local en el Municipio de Naucalpan de Juárez, en el Estado de México.

Este municipio por sus características particulares es un buen punto de referencia para poder desarrollar trabajos a nivel local para posteriormente desarrollarlos en otros municipios o delegaciones de la ZMVM u otras ciudades.

Naucalpan es un claro ejemplo de la problemática vial que caracteriza a la Zona Metropolitana del Valle de México, ya que limita con la delegación Miguel Hidalgo perteneciente al Distrito Federal y por tanto es utilizado como vía de paso por los habitantes de los municipios conurbanos al D. F.

Por Naucalpan pasa un corredor vial, lo que le adjudica al municipio un papel estratégico, por la ventaja de su localización. Pero al mismo tiempo le transmite una compleja problemática. El tramo de esta vialidad que se encuentra en el territorio municipal es el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico) y es la vía a través de la cual se lleva a cabo el tránsito tanto de personas como de insumos y mercancías con desplazamiento a nivel local, regional y nacional entre la zona norte del Valle de México, el bajío y el norte del país. Además tiene la vecindad con el Distrito Federal, que convierte a Naucalpan en la extensión natural de la ciudad de México.

### **3.1 Ubicación y características del municipio de Naucalpan**

Naucalpan de Juárez es uno de los 125 municipios que integran el Estado de México. El municipio tiene una superficie total de 149.859 km<sup>2</sup>, se ubica al poniente del Valle de México y al noroeste del Estado de México. Está limitado al norte por los municipios de Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla de Baz; al sur, por Huixquilucan; al oeste, por Jilotzingo; al suroeste, por los municipios de Xonacatlán y Lerma; y al este, por el Distrito Federal. (Fig. 3.1.)

Su posición geográfica está indicada por los paralelos 19°24'92'' y 19° 32' 08'' de latitud norte y los meridianos 99°12'16'' y 99°23'11'' de longitud oeste, a una altitud de 2,298 metros sobre el nivel del mar en la zona urbana.

Orográficamente, el municipio forma un plano inclinado, su porción oriental reposa sobre el límite del Valle de México y tiene un paulatino ascenso hacia el poniente, culminando en la cadena montañosa de Monte Alto que le separa del valle de Toluca.

El relieve del municipio se puede dividir en tres formas características:

- Zonas accidentadas. Se localizan principalmente al oeste y sur del municipio (Chimalpa, Villa Alpina y Tepatlaxco), ocupa aproximadamente un 50 % del territorio municipal.
- Zonas semiplanas, localizadas hacia el centro y norte del municipio (San Bartolo; San Mateo y Echegaray) con un 20 % del total de la superficie del municipio.
- Zonas planas. Se encuentran pequeñas porciones de terrenos planos en la parte central del municipio, pero principalmente se extienden hacia el oriente (parte de San Bartolo; Echegaray; 10 de abril; Ahuizotla y fraccionamientos industriales) abarcan el 30 % de la superficie del municipio.

El clima de Naucalpan de Juárez es templado subhúmedo. La temporada de lluvias abundantes se observa durante los meses de junio a septiembre, mientras que el resto del año es escasa. Los meses más calurosos son marzo, abril, mayo y junio, con temperatura media del mes más cálido de 34°C. y la del mes más frío de -5°C. La temperatura media anual es de 16 °C. La precipitación media anual es de 807 mm, registrándose ocasionalmente heladas en los meses de noviembre a febrero. La dirección de los vientos generalmente es de norte a sur y de noroeste a sureste con una velocidad promedio de 0.9 m/s.

La contaminación del aire producida por la industria se incrementa de manera rápida, al sumarse a la contaminación causada por los automotores que circulan sobre las vialidades de éste y otros

municipios. El viento es un factor que provoca que la contaminación se observe en muchas ocasiones en donde no se genera.

La red vial del municipio resulta insuficiente para desalojar oportunamente los volúmenes vehiculares que se acumulan durante los períodos pico del día. Existe saturación y congestionamientos viales en las intersecciones principales del sistema y aún en algunas de carácter secundario. El patrón de concentraciones de tránsito presenta un comportamiento típico de ciudades suburbanas, y gravitacional, es decir se crea congestión vehicular en zonas y horarios determinados, con crecimiento exponencial.

Las principales vialidades: el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico) es el principal eje de enlace entre el Distrito Federal y la zona poniente de la región del Valle Cuautitlán-Texcoco. Esta vía alcanza un tránsito promedio diario de 150 mil vehículos, presentando condiciones de saturación.<sup>[23]</sup>

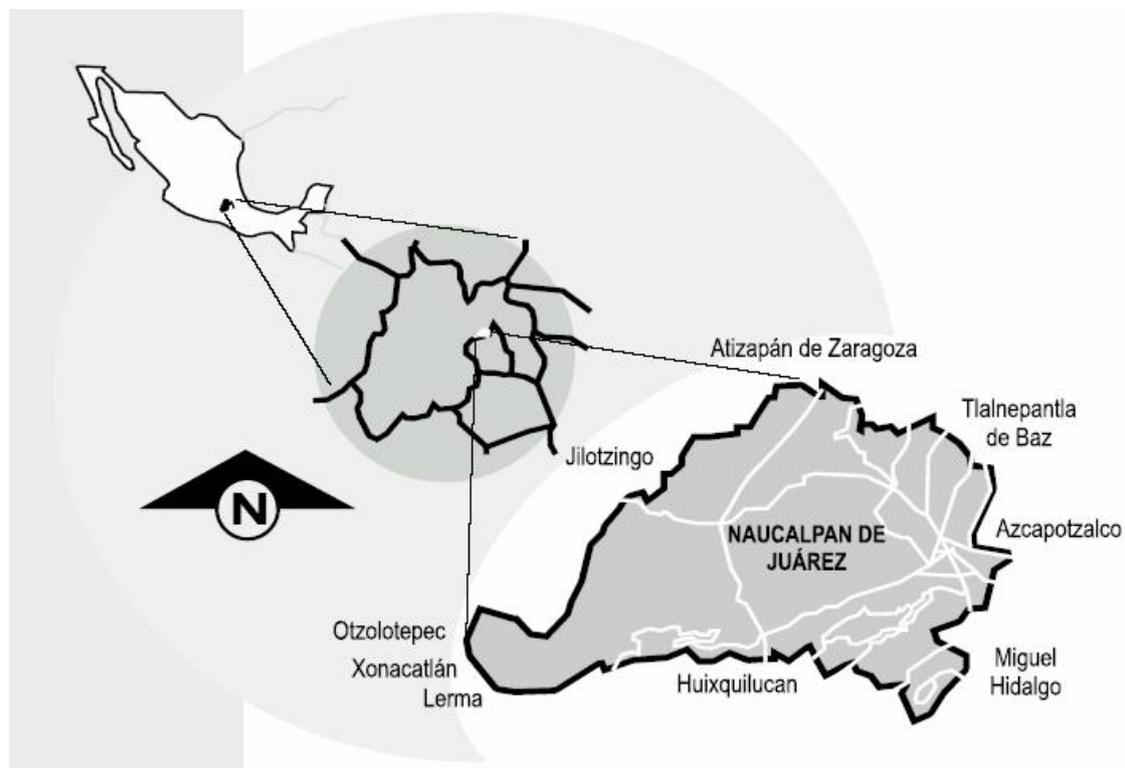


Figura 3.1. Ubicación del municipio de Naucalpan

### 3.2 Selección de vialidades de Naucalpan

Las vialidades seleccionadas para desarrollar el ciclo de conducción son vialidades regionales primarias y secundarias representativas del municipio de Naucalpan que reflejan cada una de las zonas urbanas del municipio. Tabla 3.1. Las zonas que se han considerado son la industrial, residencial, servicios, escolar y centro.

Tabla 3.1. Principales vialidades del Municipio de Naucalpan y su categorización.

<b>Vialidades Regionales</b>	
El Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte)	Constituye la principal arteria vial que atraviesa el municipio en sentido norte-sur y es el principal acceso al D.F.
La carretera Naucalpan-Toluca	Atraviesa el municipio en sentido suroeste-noreste.
Avenida Gustavo Baz	Prolongación de la carretera Naucalpan-Toluca y comunica al municipio de Naucalpan con los municipios de Atizapán de Zaragoza y de Tlalnepantla
Autopista la venta-Lechería	Cruza al municipio de norte a sur, se encuentra al oeste del municipio y constituye un libramiento regional, formando parte del nuevo cinturón vial de la Zona Metropolitana.
<b>Vialidades Primarias</b>	
Avenida 16 de Septiembre	Es el índice en el centro urbano del municipio.
Lomas Verdes	Vialidad intermunicipal que se ubica en la parte centro-norte y noreste del municipio.
Vía Adolfo López Mateos	Vialidad intermunicipal que se ubica en la parte centro-norte y noreste del municipio.
Calzada de la Naranja	Ubicada al este del municipio y enlaza al municipio con la Delegación Azcapotzalco, D.F.
Calzada de las Armas	Localizada al este, y comunica al municipio con la Delegación Azcapotzalco, D.F.

Av. Del Conscripto	Enlaza al municipio con la Delegación Miguel Hidalgo, D.F.
Paseo de la Herradura	Comunica al municipio con la Delegación Miguel Hidalgo, D.F.
<b>Vialidades Secundarias</b>	
La Calzada San Esteban	Cruza a periférico norte a la altura del Toreo de Cuatro Caminos.
Av. De los Maestros y Prolongación Morelos	Ubicadas en la parte centro-sur forman parte de las principales vialidades de esta zona.
Avenida de las Fuentes	Ubicada al sur del municipio y enlaza al municipio con la Delegación Miguel Hidalgo, D.F.
Avenida Iero de Mayo	Índice en el centro urbano del municipio y vialidad principal del Parque Industrial del municipio.
Camino Real a San Mateo y Av. a San Mateo Nopala	Ubicadas al noroeste en la zona no urbana y conectan con la autopista la Venta-Lechería.
Camino a Jiquipilco y Carretera Naucalpan Ixtlahuaca-Jilotzingo	Atraviesan la zona de Tepatlaxco y comunica al municipio con el municipio de Jilotzingo.

Las vialidades seleccionadas se muestran en la Tabla 3.2. Estas vialidades representan cada una de las zonas antes descritas y fueron elegidas considerando principalmente el comportamiento del flujo vehicular y la caracterización de las mismas.

Tabla 3.2. Vialidades representativas del Municipio de Naucalpan con base en su flujo vehicular.

Vialidad	Tipo de vialidad	Zona
Ávila Camacho (Periférico Norte)	Regional	
Primero de Mayo	Secundaria	Industrial
16 de Septiembre	Secundaria	Centro
Lomas Verdes	Primaria	Escolar, servicios y residencial

En las siguientes secciones se describen las características que presentan las vialidades seleccionadas, así como las consideraciones que se hicieron para cada una de ellas para la recolección de datos.

### **3.2.1 Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte)**

Se ha seleccionado la Av. Ávila Camacho (Periférico Norte) ya que es la principal vialidad que conecta al municipio con el D.F.

Es la principal arteria vial que atraviesa el municipio en sentido norte-sur al oriente de la mancha urbana. Esta pasa por el municipio de Tlalnepantla antes de entrar a Naucalpan, a la altura de Plaza Satélite y termina a la altura del Toreo de Cuatro Caminos para dirigirse a la Delegación Miguel Hidalgo perteneciente al Distrito Federal. Este tramo se utilizó para hacer los recorridos y tiene una longitud de 5.3 km. como se observa en la figura 3.2.

Esta vialidad consta de 12 carriles. 6 utilizados de norte a sur y los otros 6 de forma inversa. Estos 6 carriles se dividen en dos para conformar tres carriles laterales y tres carriles centrales, los carriles laterales son utilizados principalmente por el transporte público y de carga, y por los vehículos particulares que los utilizan para entrar o salir de los carriles centrales para incorporarse a otras vialidades. Los carriles centrales son de alta velocidad y son utilizados únicamente por los vehículos particulares.

En esta vialidad se toma en consideración hacer los recorridos en los carriles centrales, utilizando principalmente el segundo carril. De esta forma se tiene el comportamiento vehicular representativo de la vialidad, ya que se considera como una vialidad regional y los carriles centrales se comportan como otro tipo de vialidad.

Con respecto a la velocidad que se toma como referencia en esta vialidad, en caso de que el flujo de vehículos sea prácticamente nulo, no se tiene grandes problemas, ya que esta vialidad tiene señalamientos con velocidades máximas de 80, 70 y 60 km/h para cada uno de los carriles, y se sugiere se respete estos señalamientos.

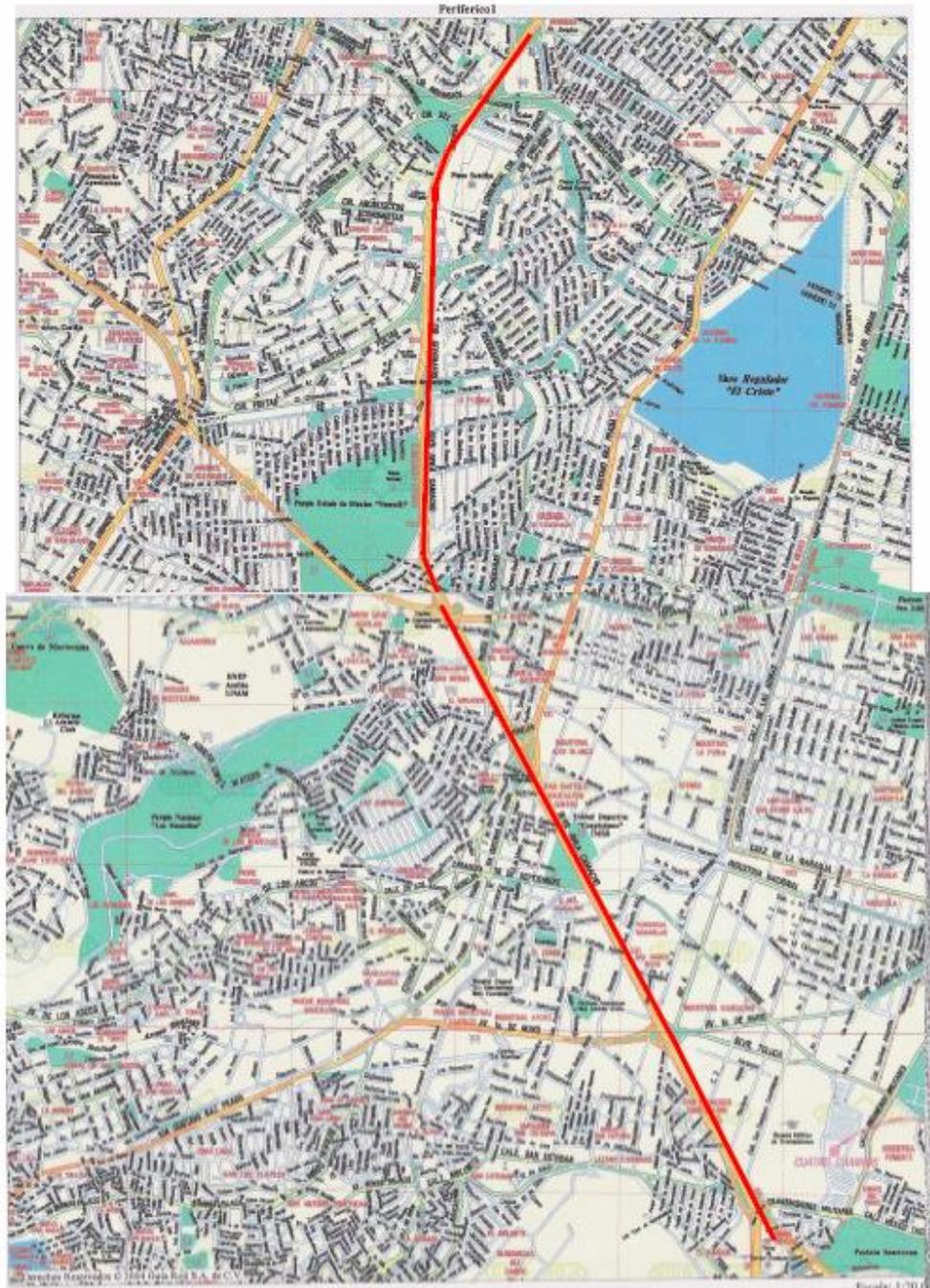


Figura 3.2. Plano de ubicación de la vía Periferico

### **3.2.2 Avenida 16 de septiembre (Zona centro de Naucalpan)**

Esta vialidad se encuentra en la zona centro del área urbana de Naucalpan, consta de dos carriles para cada sentido, pero que en algunos tramos de ésta es utilizado el carril lateral derecho como área de estacionamiento, por lo que en estos se convierte en una vialidad de un solo carril, provocando los problemas lógicos de congestión en esta vía.

El tramo de estudio fue desde la intersección con la avenida Gustavo Baz hasta donde se encuentra la terminal del Metro Tereos (1.8 km). Existe un gran número de transporte público que pasa por este tramo, además de que mediante esta vialidad se puede incorporar al Boulevard Manuel Ávila Camacho, a la Avenida Gustavo Baz y es la continuación de la Calzada México Tacuba en el sentido del Tereos al centro de Naucalpan.

Es recomendable utilizar el segundo carril para los recorridos por las situaciones ya explicadas y por las paradas continuas del transporte público en el carril lateral.

En esta vialidad se fijó una velocidad máxima, debido a que en algunas horas del día y en ciertos tramos no se presentaba flujo vehicular constante, permitiendo aumentar la velocidad o disminuirla si se deseaba, situación por la cual el promedio de la velocidad en esta vialidad podría ser afectada, por lo que se recomienda mantener una velocidad promedio constante de 45 km/h.

### **3.2.3. Avenida Primero de mayo (Zona industrial)**

Esta vialidad se ubica en el tramo comprendido de la intersección de la avenida Gustavo Baz sur con la carretera Luis Donaldo Colosio en las colindancias de las colonias San Andrés Atoto e Industrial Naucalpan; al poniente colinda con la zona Centro de Naucalpan y llega hasta el Boulevard Manuel Ávila Camacho (1.4 km). Fig. 3.3.

Es muy importante esta vialidad debido a que conecta la zona sur del municipio con la zona centro, la zona industrial, la carretera y autopista Naucalpan-Toluca. La afluencia vehicular es elevada. Esta compuesta por los camiones de carga, transporte público y los vehículos particulares.

Consta de tres y cuatro carriles en algunos tramos en cada sentido, en esta vialidad no se hicieron consideraciones con la velocidad, ya que el flujo vehicular es quien marca la velocidad de circulación.

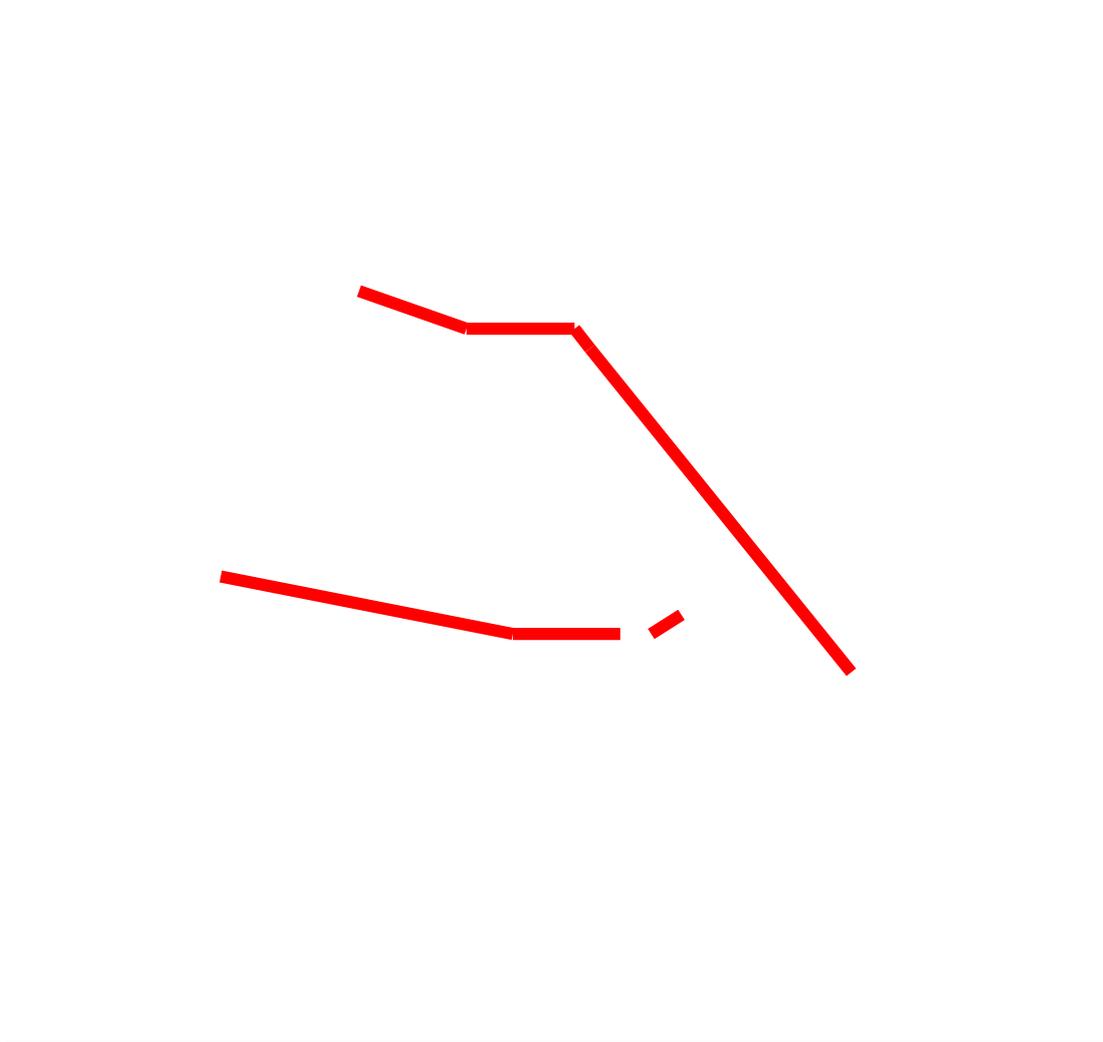


Figura 3.3 Plano de ubicación de las vías 1º Mayo y 16 de Septiembre.

### **3.2.4 Avenida Lomas Verdes (Zona residencial, servicios y escolar)**

La zona presenta infraestructura vial planeada, pero con problemas de congestión de las vías por el elevado número de automóviles que circulan por ella.

Esta vialidad conecta un importante desarrollo habitacional, con otras vialidades como son la Av. Adolfo López Mateos y el boulevard Manuel Ávila Camacho, así como por un importante porcentaje de uso del suelo comercial, de servicios y equipamiento educativo de todos los niveles.

Lomas Verdes tiene una longitud promedio de 2.5 km y cuenta con 6 carriles para cada dirección, subdividiéndose éstos en dos subgrupos que se pueden catalogar como carriles centrales y carriles laterales, que en horas pico estos últimos son utilizados como estacionamiento temporal, provocando problemas viales en esa zona Fig. 3.4. <sup>[15]</sup>

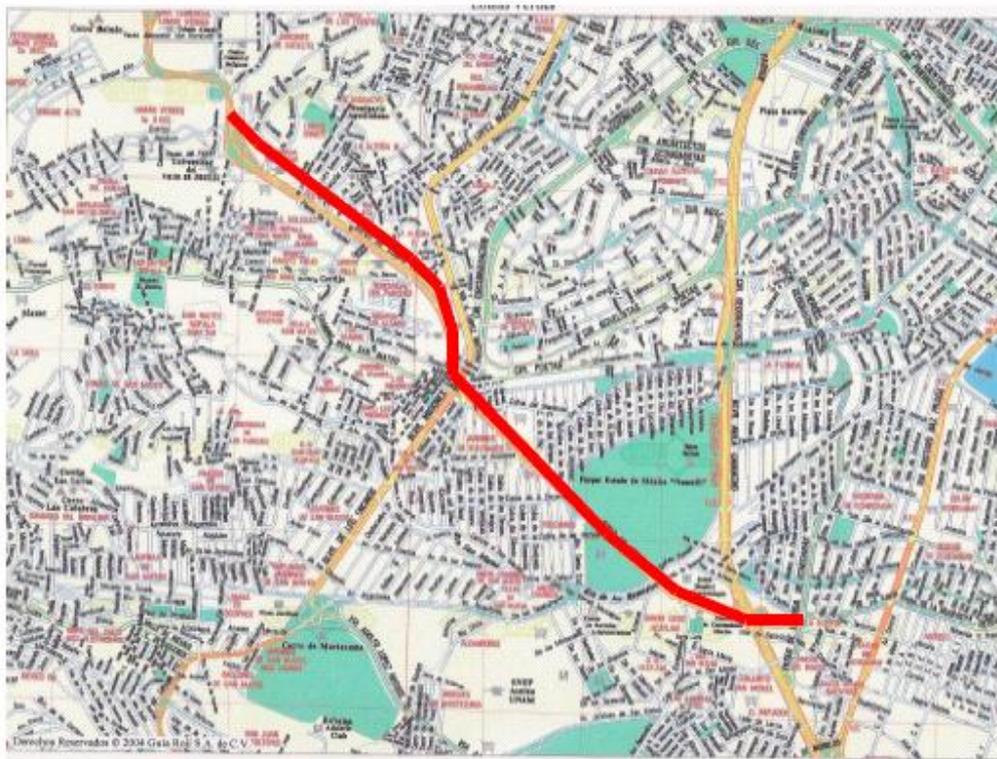


Figura 3.4. Plano de ubicación de la vía Av. Lomas Verdes.

### **3.3 Instrumentación de vehículos**

Se utilizó un vehículo tipo sedan 5 puertas de 4 puertas perteneciente a la policía del gobierno de Naucalpan. A este vehículo se le instaló el equipo de instrumentación desarrollado por el grupo de investigadores de ingeniería automotriz del ITESM campus Toluca, el cual consiste en un instrumento denominado “Quinta rueda.” Ver Figura. 3.5. Este instrumento permite medir la distancia recorrida, velocidad y aceleración del vehículo. También se utilizó un “scanner” que permite la captura de datos adicionales y la validación de los obtenidos por la quinta rueda.

#### **3.3.1. Quinta rueda**

Este aparato es un sensor que permite en forma independiente y confiable medir la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración del vehículo. El instrumento consiste en un sensor de velocidad angular que se acopla a una de las ruedas traseras, un microcontrolador, una unidad de memoria y una batería que le permiten registrar las variables cada segundo durante 16 horas continuas.

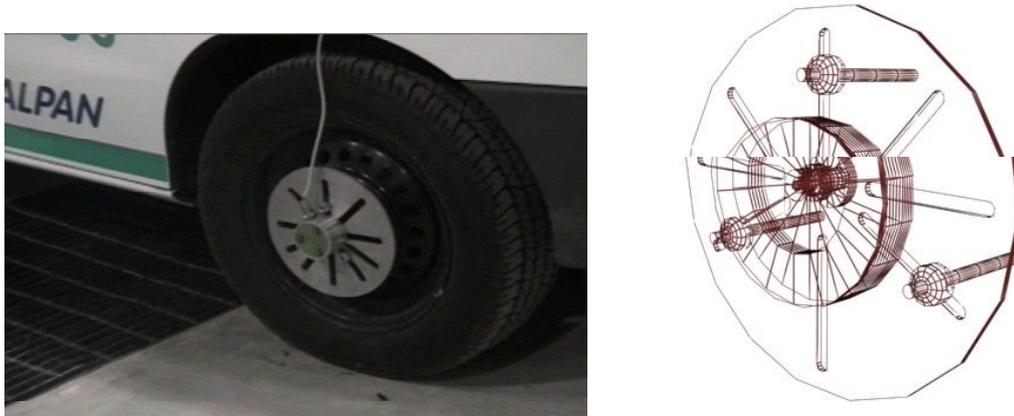


Figura. 3.5. Fotografía de la Quinta Rueda colocada en el vehículo y esquema de la Quinta Rueda

Junto con la quinta rueda se instalaron sensores de temperatura en el vehículo para poder analizar el comportamiento del motor del vehículo. Estos sensores fueron colocados en el motor, en la parrilla del coche, en la cabina y en el escape. Figura 3.6.



Figura. 3.6. Sensores de temperatura colocados en el motor y escape del vehículo.

Además se utilizó un sensor que registra las revoluciones por minuto del motor. El sensor fue colocado en el alternador. Ver Figura 3.7.

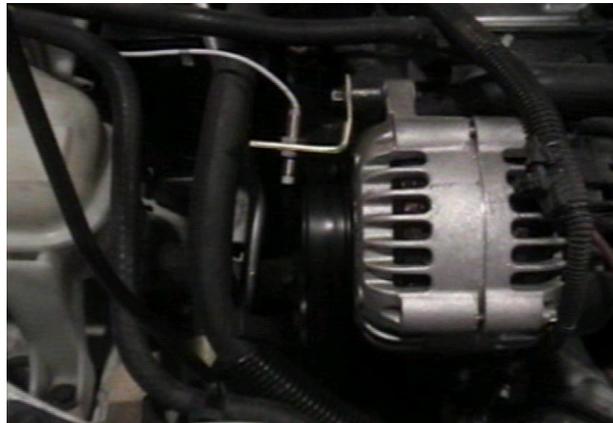


Figura. 3.7 .Sensor de RPM colocado en el alternador

Información que se obtiene con está instrumentación:

- Velocidades de vehículo durante el viaje
- Distancia recorrida

- Aceleración y desaceleración del motor
- RPM del motor
- Temperatura del motor
- Temperatura ambiente exterior
- Temperatura ambiente en el interior del vehículo
- Temperatura del escape

Además esta información se puede ver en tiempo real gracias al programa que muestra mediante gráficas (Figura.3.8.) y de forma numérica, además los datos se van guardando en un archivo de texto.

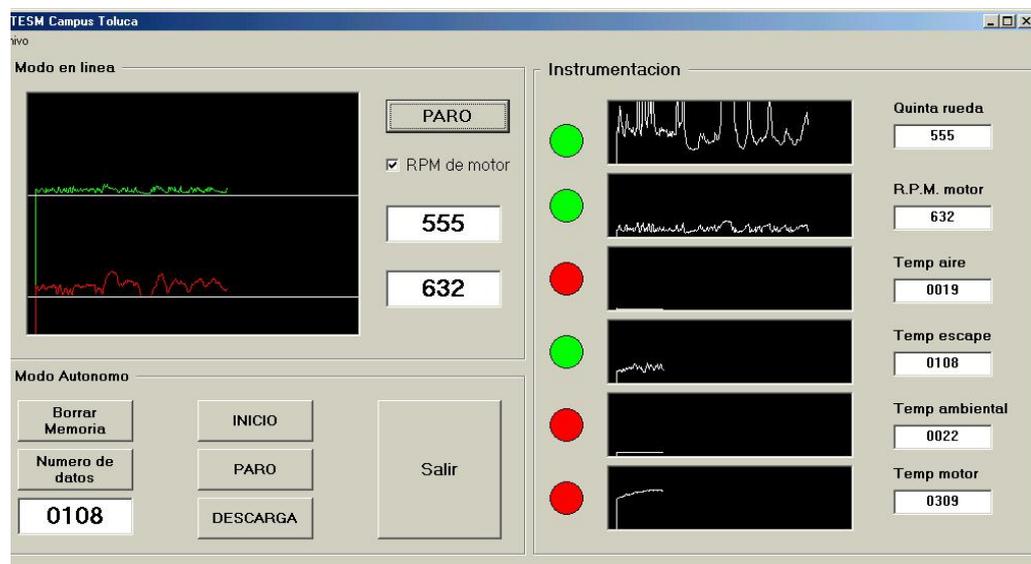


Figura. 3.8. Imagen que muestra la computadora del comportamiento de los parámetros obtenidos de la quinta rueda durante los recorridos

### **3.3.2. Scanner auto tap**

Otro instrumento que se utilizó fue un equipo comercial llamado AutoTap el OBDII Diagnóstico Escáner del campus Estado de México implementado con los sensores del auto.

El AutoTap OBDII Diagnóstico Escáner, que se muestra en la Figura 3.9. Se acopla a una computadora personal o laptop y permite acceder a los módulos del sistema de diagnóstico (OBD II) de la computadora del vehículo.

Esté instrumento lee los Códigos de Problema de Diagnósticos (DTCs), da una vista tiempo real de datos vehículo en funcionamiento con la opción de poder guardar los datos en archivos que pueden ser utilizados en una hoja de calculo como Excel y ofrece datos en la lista, gráfico, o modos de la medición



Figura. 3.9. Imagen del scanner Auto Tap

Es una tecnología que tiene el potencial para proveer información sobre las emisiones del vehículo para automóviles de 1996 en adelante.

El equipo del AutoTap para el sistema de Windows consta de:

- El CD del software para Windows AutoTap
- Hardware de AutoTap OBDII
- Cable de OBDII (conecta el vehículo con el hardware de AutoTap)
- Cable serial (conecta la PC con el hardware de AutoTap)

Los parámetros generales que registra y /o supervisa este sistema son:

- El sistema de monitoreo del estado de refrigeración l A/C
- Entrada auxiliar
- Supervisa el estado catalizador
- Componente comprensivo
- La Carga del motor
- La Velocidad del motor
- Sistema de Evaporación
- Presión de combustible
- Sistema de alimentación
- Ignición cronometrando
- Sensor de O2 - B1S1
- El Sensor de O2 - B1S2
- Posición del acelerador
- La velocidad del vehículo

En este caso el sistema sirve para tomar varios de los parámetros y ampliar el análisis del comportamiento del vehículo.

### **3.4. Logística de la toma de datos**

Los recorridos se realizaron en cada una de las vialidades a las horas y días que se muestran en la tabla 3.3. Se buscó capturar el comportamiento vehicular en la vialidad a lo largo de toda una semana (ver anexo 1, tablas de recorridos). Se tomaron datos durante 204 horas efectivas y se recorrió una distancia total de 571.8 Km.

Tabla 3.3. Recorridos por las vías

VIALIDAD	TIPO DE ZONA	No HRS/DIA	REPETICIONES	RECORRIDOS
PERIFERICO	VIA RAPIDA	6-20 Hrs	4	64
LOMAS VERDES	RESIDENCIAL	7,10,12,14,15,18 Hrs	4	45
1o MAYO	INDUSTRIAL	6:30,7,10,12,14:30,15,18:30	4	45
16 DE SEPTIEMBRE	ZONA CENTRO	7,10,12,14,15,18,20:30	4	50
No RECORRIDOS TOTALES				204

Cabe hacer mención que el periodo en que se llevaron a cabo los recorridos para la obtención de datos esta comprendido del mes de marzo a mayo del 2004.

### 3.5. Análisis de la información

#### 3.5.1. Patrones de comportamiento de parámetros para el ciclo de conducción

Como primer punto se tiene el comportamiento del flujo vehicular a diversas horas del día representado en la gráfica de Velocidad contra tiempo en una vialidad en un solo sentido. Se presenta como ejemplo la vialidad de Periférico en el sentido de Norte a Sur en el día lunes (Figura 3.10.), en la cual se puede observar que no existe un patrón determinado en los recorridos ya que para cada uno de ellos varía el tiempo de duración del recorrido a diversas horas del día.

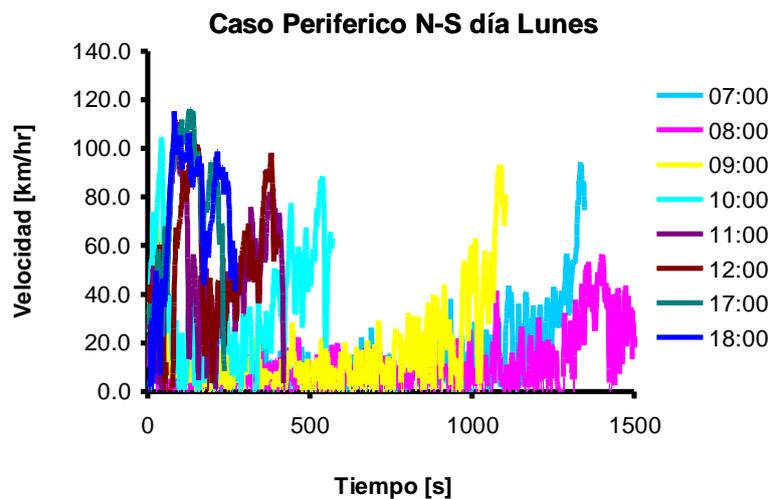


Figura. 3.10 Gráfica de recorridos en varias horas del día representados en Velocidad vs Tiempo

Se buscó otra alternativa para analizar el comportamiento de la vialidad, siendo está el representar los datos en gráficas de Velocidad contra distancia. Ver Figura 3.11. De esta forma se busca tener como base una distancia fija en el recorrido y observar si existen patrones similares entre los recorridos.

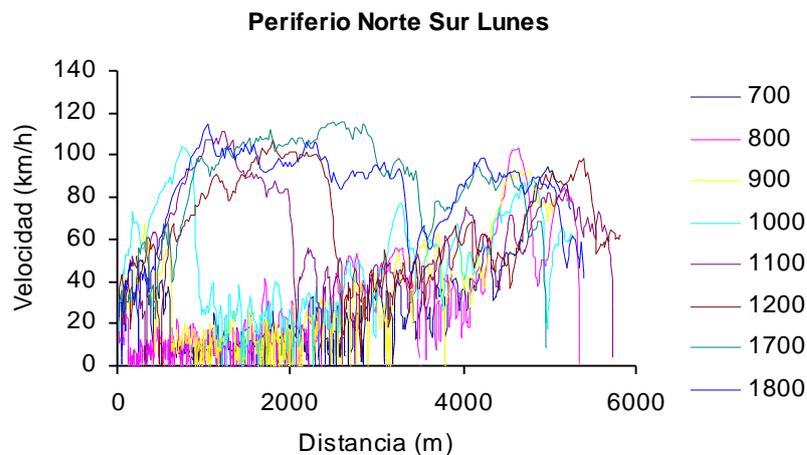


Figura. 3.11 Gráfica de recorridos en varias horas del día representadas en Velocidad vs Distancia

Observando nuevamente que no existen patrones similares durante diversas horas del día. Por lo que se analizó la velocidad promedio contra horas del día para ambos sentidos durante varios días de la semana. Los resultados se presentan en la Figura 3.12.

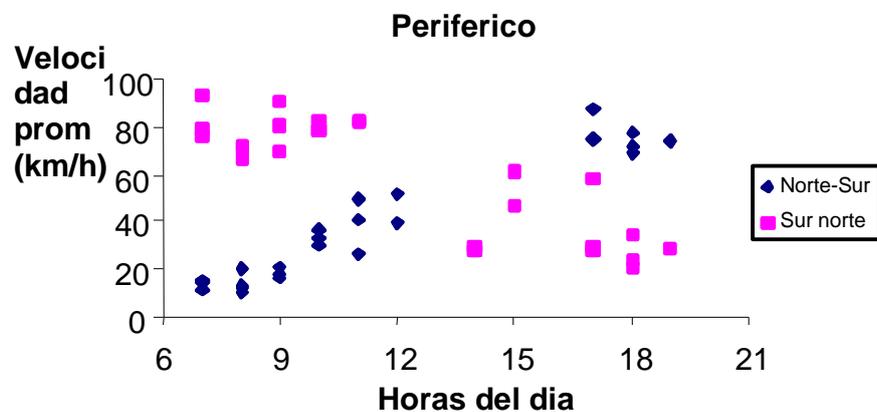


Figura. 3.12. Gráfica Velocidad promedio de ambas direcciones de la vía de periférico vs Horas del día

Se observa que los valores de las velocidades promedio de los recorridos están relacionados inversamente cuando se compara un sentido con el sentido contrario. Además de que se pueden observar datos agrupados en el sentido de norte a sur, esta agrupación se presenta en los horarios

de 6 a 9, de 9 a 13 y de 17 a 20 hrs. Este resultado fue obtenido utilizando la técnica de análisis de clusters usando el programa SPSS.

Los datos agrupados se observan nuevamente en una gráfica de velocidad contra distancia con los recorridos de toda la semana. Se aprecia en la (Figura 3.13.) que si existe un patrón entre algunos de los datos.

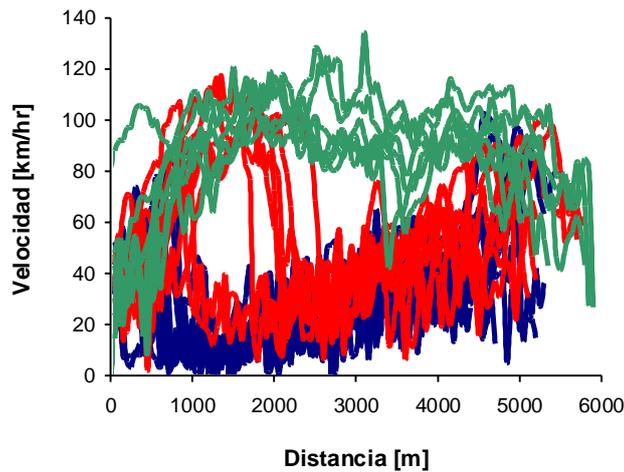


Figura. 3.13. Gráfica con varios ciclos de una misma vía obtenidos durante una semana a diferentes horas del día representados con Velocidad vs Distancia

Para tener una mejor visión de lo que se analiza se separaron los recorridos en los grupos de horas a las que se hacen mención en las figuras 3.14.a, b y c.

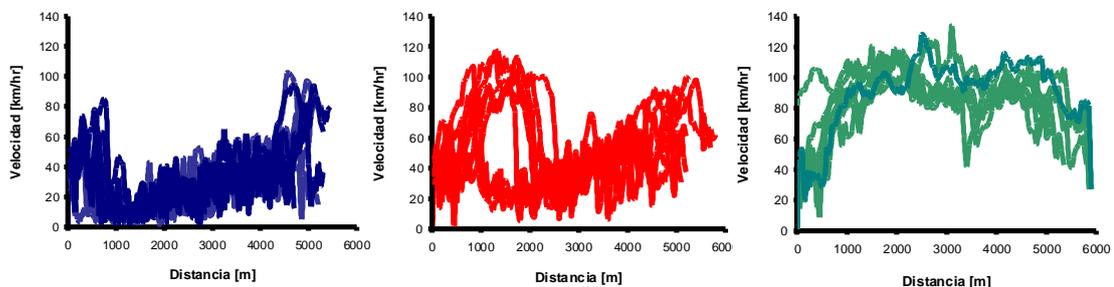


Figura. 3.14. Recorridos por la mañana (a), medio día (b) y por la tarde (c)

En la figura 3.14.a. están representados los recorridos que se llevaron a cabo en horarios de 6 a 9 hrs., mientras que en la figura 3.14.b. se tienen los recorridos de 9 a 13 hrs. Y finalmente en la figura 3.14.c. se presentan los recorridos en los horarios de 16 a 20 hrs. en el sentido de norte a sur en la vialidad de periférico.

Como siguiente paso se buscó obtener el ciclo representativo de cada uno de los grupos analizados mediante la metodología propuesta y el resultado fue el obtener tres ciclos representativos de un sentido de la vialidad como se muestra en la figura 3.15.

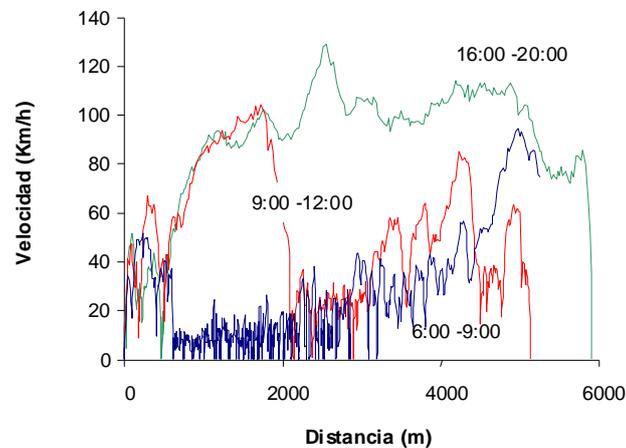


Figura. 3.15. Ciclos obtenidos de los recorridos durante el día

### **3.5.2. Obtención del ciclo de conducción representativo de Naucalpan**

La forma para obtener un ciclo de conducción representativo de la zona de estudio, es como se muestra en la figura 3.16. Esto permite que se puedan obtener ciclos de conducción por vialidad, sentido, semana, día o por hora.

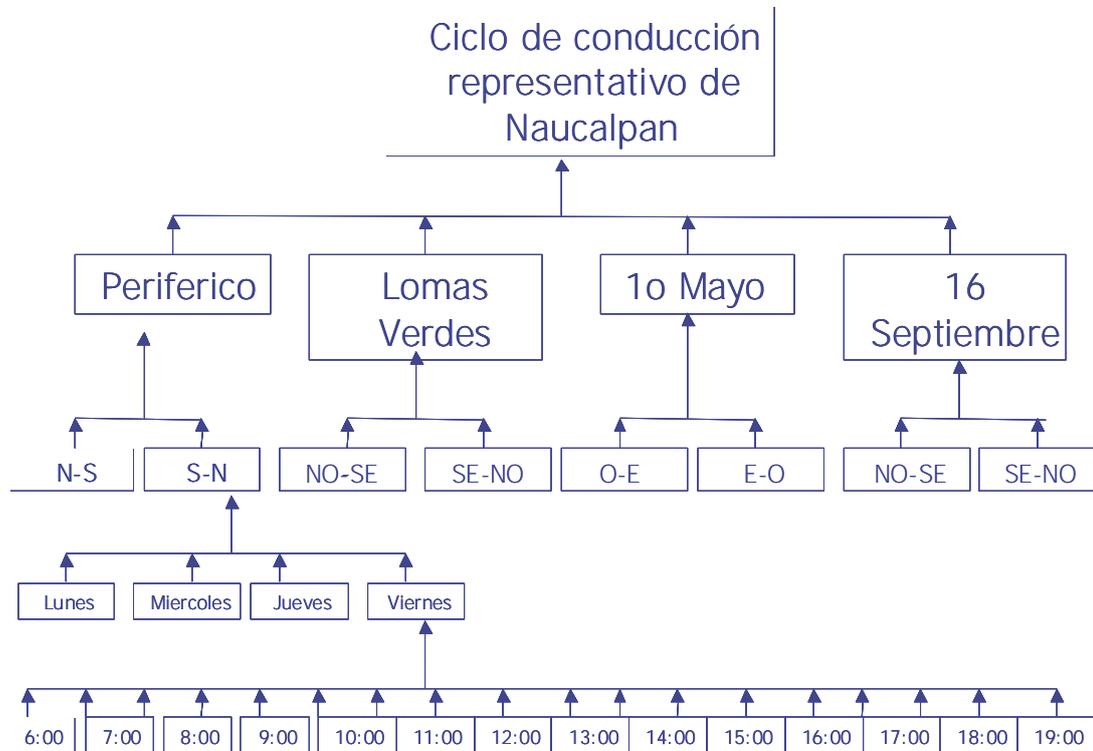


Figura. 3.16. Diagrama representativo para la obtención del ciclo representativo de Naucalpan

Con el fin de obtener una mejor aproximación al promedio ponderado de los ciclos se evaluaron todos los ciclos que se hicieron recorridos como se muestra en las tablas del anexo 2.

Se obtuvo como resultado que el ciclo que más se acerca al promedio, es decir el ciclo representativo de la zona de estudio, es el que aparece marcado de color verde con una puntuación de 0.105 que corresponde al recorrido de la vialidad de Primero de Mayo en la dirección de Gustavo Baz a Periférico a las 14:30 hrs del día sábado. Cuyos valores de los parámetros analizados se presentan a continuación junto con los valores del promedio obtenido de los recorridos en la Tabla 3.4. y el ciclo obtenido representado en la gráfica de Velocidad contra Tiempo. Fig. 3.17.

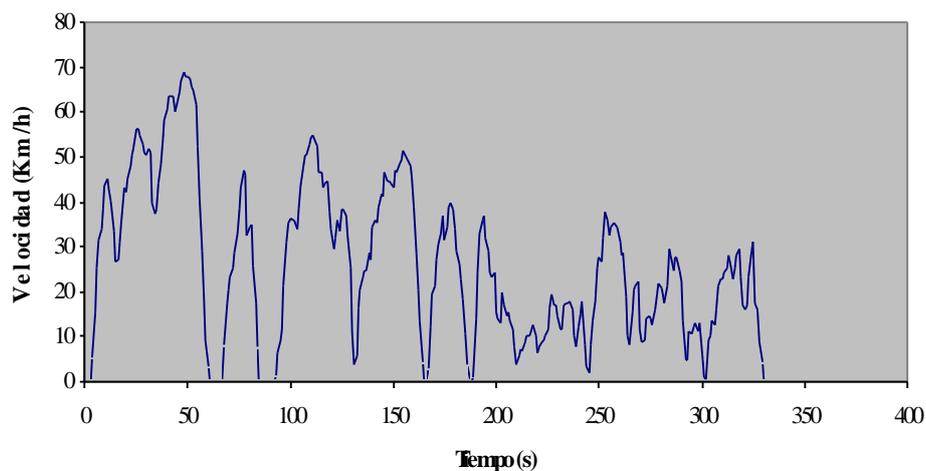


Figura. 3.17. Ciclo representativo del municipio de Naucalpan

Tabla 3.4. Tabla con los valores de los parámetros del ciclo representativo obtenido comparados con los valores promedio de todos los ciclos.

		Sabado	
		14.30	PROMEDIOS
Velocidad promedio	Km/h	25.7	35.8
Tiempo en ralenti	s	30.0	50.8
Velocidad máxima	km/h	68.7	76.8
Número de paradas		8	7.3
Tiempo total	s	336.0	363.9
Distancia total recorrida	m	2400.7	2932.5
Relación tiempos		0.1	0.1
Aceleración promedio positiva	m/s <sup>2</sup>	0.9	0.9
Aceleración positiva maxima	m/s <sup>2</sup>	3.7	4.1
Tiempo con aceleración positiva	t	165.0	164.4

Coefficiente de variacion

		Sabado	Factor de ponderacion
		14.30	
Velocidad promedio	Km/h	0.3	1
Tiempo en ralenti	s	0.4	0.75
Velocidad máxima	km/h	0.1	0.25
Número de paradas		0.1	0.25
Tiempo total	s	0.1	1
Distancia total recorrida	m	0.2	1
Relación tiempos		0.3	0.25
Aceleración promedio positiva	m/s <sup>2</sup>	0.0	1
Aceleración positiva maxima	m/s <sup>2</sup>	0.1	0.75
Tiempo con aceleración positiva	t	0.0	1
		<b>0.109</b>	

### 3.5.3. Análisis de correlación del ciclo obtenido

Como no hay una forma de correlación o incertidumbre de la gráfica de Velocidad vs Tiempo obtenida, se realiza a continuación un comparativo del ciclo representativo, contra los ciclos más cercanos a éste y al promedio.

Los dos ciclos que le siguen al ciclo obtenido son los recorridos de la Av. Lomas Verdes en dirección poniente a oriente a las 7:00 hrs del día miércoles con una puntuación de 0.111 y la de la Av. 16 de Septiembre en dirección de San Bartolo al Toreo en horario de las 17:30 hrs. del día vienes con una puntuación de 0.123. Estos se ubican en la tabla del anexo 2, marcados de color amarillo. Estos mismos datos están en la figura 3.18, representados en una gráfica con su valor del promedio ponderado además de marcados por un color y símbolo distintos que representan la vialidad, sentido y horario al que pertenecen.

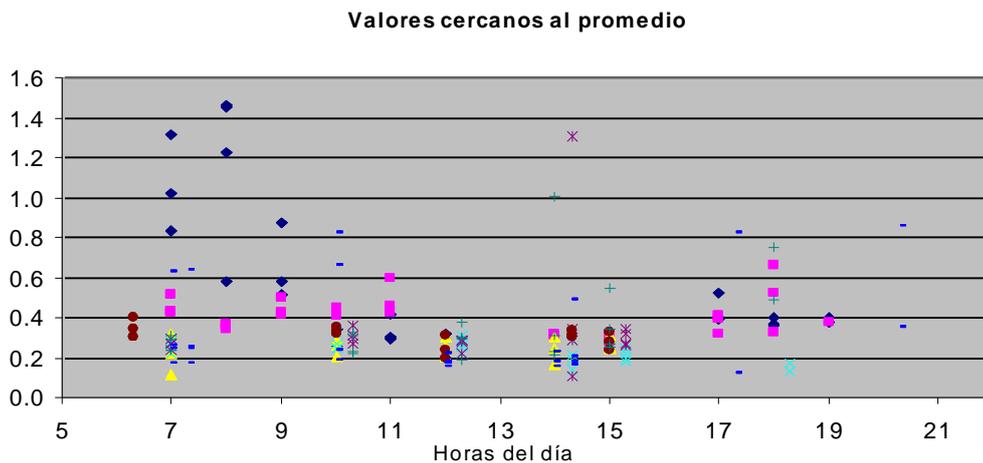


Figura. 3.18 Gráfica de los valores de cada uno de los recorridos

Para confirmar que el método de los promedios ponderados selecciona el ciclo más representativo de la muestra de ciclos obtenidos se hizo un comparativo del ciclo representativo obtenido con los ciclos más cercanos a éste.

La tabla 3.5 muestra el valor de los parámetros característicos de los 3 ciclos más cercanos al promedio. También se muestran las gráficas de velocidad contra tiempo de cada uno de ellos (figura 3.19.). Además en una cuarta gráfica Figura 3.19 (b), se sobreponen los tres recorridos para tener una mejor visualización de las semejanzas que se tienen entre ellos (Fig. 3.19. a, c y d).

Allí el ciclo representativo se identifica como el “Ciclo 1” (a) mientras que los que se le acercan por su puntuación se representan como “Ciclo 1.1” (c) y “Ciclo 1.2.” (d) respectivamente.

Tabla 3.5. Tabla Comparativa de los parámetros de los tres ciclos obtenidos

Parametro	Unidad	Ciclo 1    Ciclo 1.1    Ciclo 1.2		
		Valor	Valor	Valor
Velocidad promedio	Km/hr	25.7	25.9	20.2
Tiempo en ralenti	s	30.0	27.0	49.0
Velocidad máxima	km/hr	68.7	69.0	63.9
Número de paradas		8	6	6
Tiempo total	s	336.0	354.0	344.0
Distancia total recorrida	m	2400.7	2551.2	1928.9
Relación tiempos		0.1	0.1	0.1
Aceleracion promedio positiva	$m/s^2$	0.9	0.8	0.8
Aceleracion positiva máxima	$m/s^2$	3.7	4.1	3.4
Tiempo con aceleracion positiva		165.0	175.0	162.0

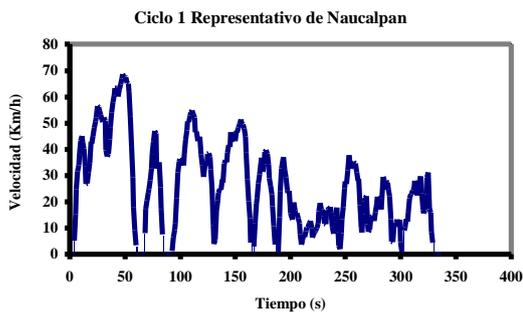


Fig. 3.16 a

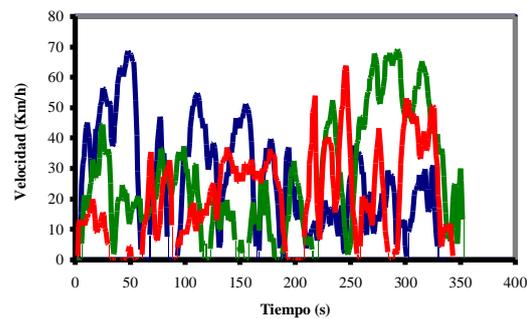


Fig. 3.16 b

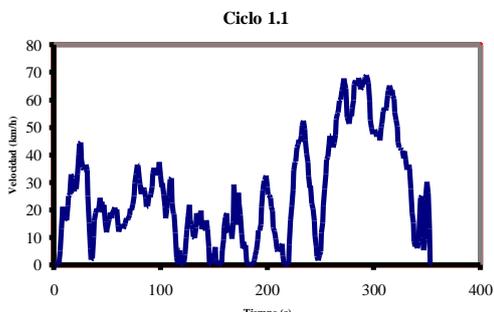


Fig. 3.16 c

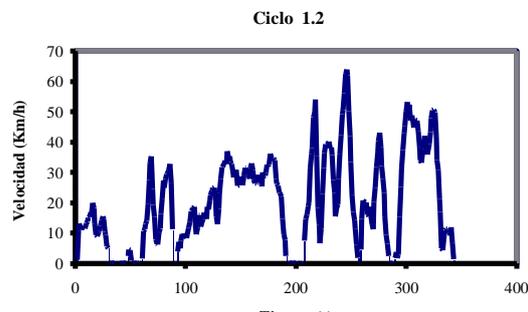


Fig. 3.16 d

Figura 3.19. Gráficas del ciclo representativo y los dos que le siguen en puntuación

A demás de este comparativo se realizo un análisis de frecuencia de velocidades para conocer el comportamiento de cada uno de ellos durante sus recorridos. Fig.3.20.

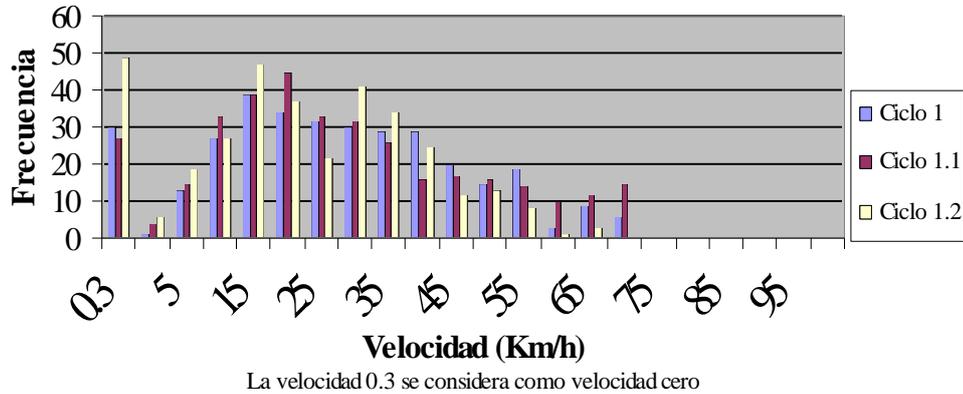


Figura. 3.20. Gráfica frecuencia de velocidades del ciclo representativo y los dos ciclos más cercanos

Con este análisis se puede concluir que el ciclo de conducción obtenido en el caso de estudio es representativo de la zona estudiada, ya que existe un comportamiento patrón entre los ciclos o recorridos que más se acercan al promedio de todos ellos.

Finalmente con esta metodología no es necesario depurar el ciclo seleccionado mediante alguna técnica de suavizamiento como spline cúbica, regresiones polinómicas por secciones, etc, como se ha observado en otros estudios reportados en la búsqueda bibliográfica presentada en el capítulo 1 de esta tesis. Ya que el ciclo resultante es un ciclo con las condiciones reales de conducción, sin que se haya modificado en lo mas mínimo, por lo que representa el comportamiento regular de conducción.

### 3.5.4. Comparación con los ciclos desarrollados para México y el ftp 75

Es importante hacer un comparativo de los ciclos desarrollados para México y el FTP 75 para conocer las características de cada uno de ellos (Tabla 3.6.) y tomarlas en cuenta para poder elegir el que permita tener una mejor representatividad de las emisiones que se emiten en la zona estudiada.

Del estudio “Propuesta de un ciclo de conducción representativo de la ZMCM para homologar vehículos ligeros” utiliza el propuesto, mientras que del trabajo de “Contaminación atmosférica asociada con los ciclos de conducción vehicular para el D.F.” se utilizará para la comparación el ciclo del noroeste por ser el que más se acerca a la zona del municipio de Naucalpan.

Tabla 3.6. Características de los ciclos de conducción en México

	<b>Ciclo Naucalpan</b>	<b>Ciclo ZMCM</b>	<b>Ciclo Noroeste</b>	<b>FTP 75</b>
Tiempo del recorrido (s)	336	830	1000	2477
Velocidad Promedio (Km/h)	25.7	17.9	10.5	34.1
Velocidad Máxima	68.7	57	65.12	91.2
Distancia recorrida	2.4	4.13		17.89
Tiempo ralentí (s)	30	150	575	

De la tabla 3.6 se puede concluir que no hay semejanzas entre estos ciclos. Esto es finalmente entendible si se tiene en cuenta que fueron obtenidos en diferentes zonas geográficas.

Adicionalmente este resultado confirma la necesidad de obtener ciclos de condición propios para cada lugar geográfico de interés.

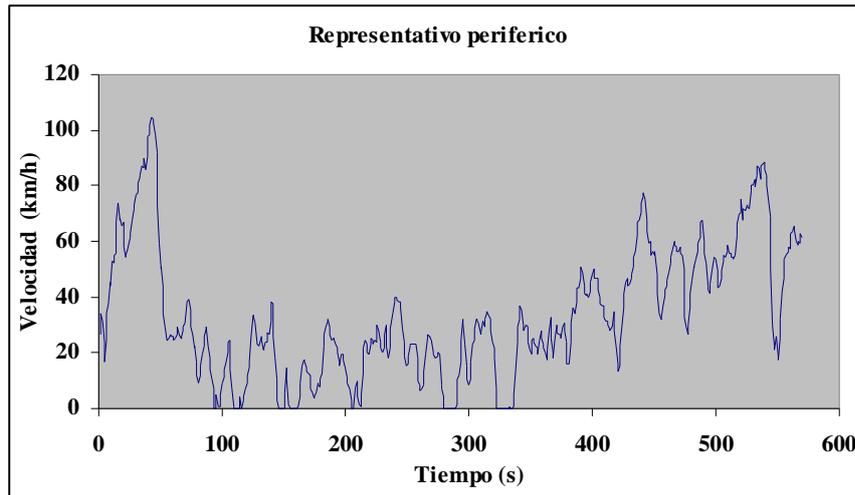
Con base en la metodología propuesta para la selección de vías representativas de la zona de estudio se analizaron las vías:

- Boulevard Manuel Ávila Camacho (Periférico Norte)
- Avenida 16 de septiembre (Zona centro de Naucalpan)
- Avenida Primero de mayo (Zona industrial)
- Avenida Lomas Verdes (Zona residencial, servicios y escolar)

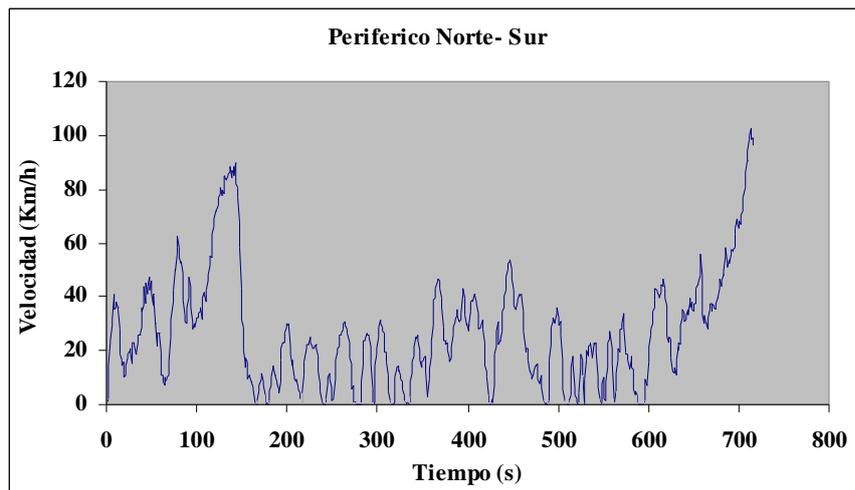
Posteriormente como resultado de este estudio para cada una de ellas se obtuvieron los respectivos ciclos representativos en cada sentido, ver el anexo 4.

## Anexo 4 ciclos representativos de cada vialidad y sentido

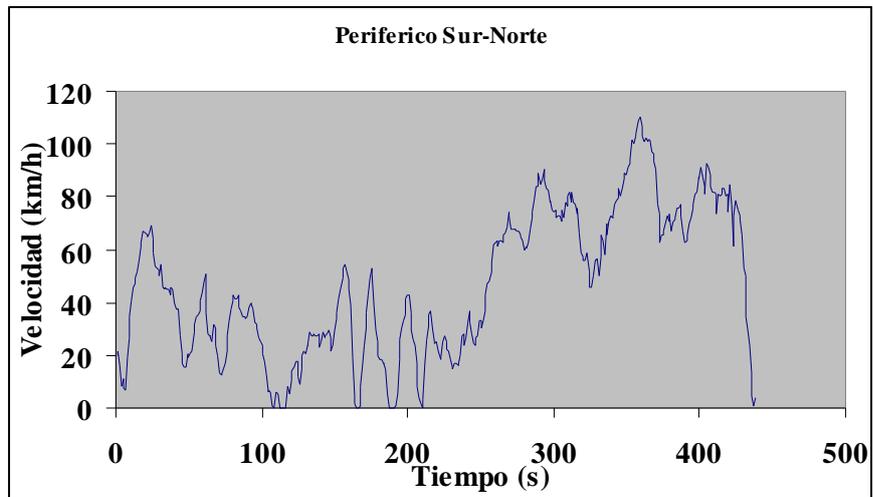
### Periférico



A. 4.1. Ciclo representativo de la vía Periférico

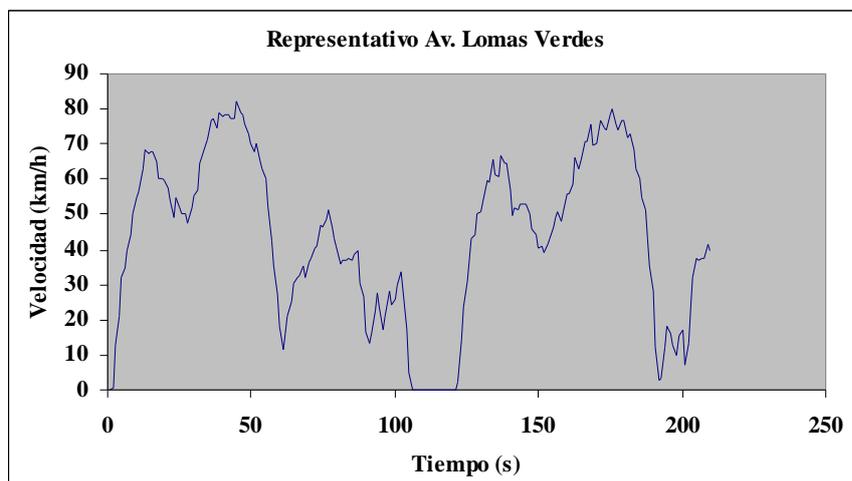


A. 4.2. Ciclo representativo de la vía Periférico en dirección Norte -Sur

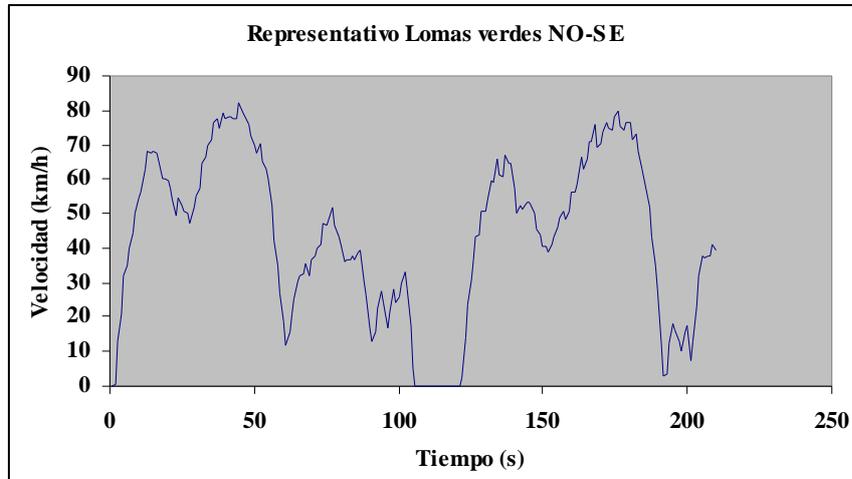


A. 4.3. Ciclo representativo de la vía Periferico en dirección Sur-Norte

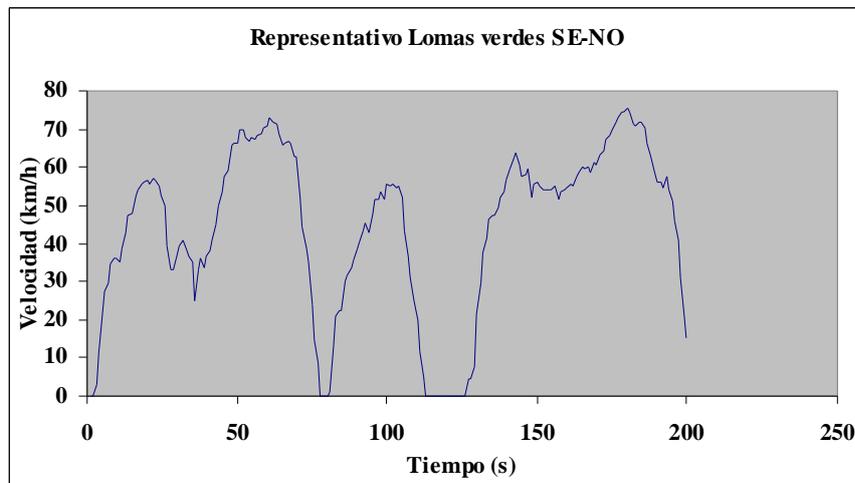
### **Av. Lomas Verdes**



A. 4.4. Ciclo representativo de la vía Av. Lomas Verdes

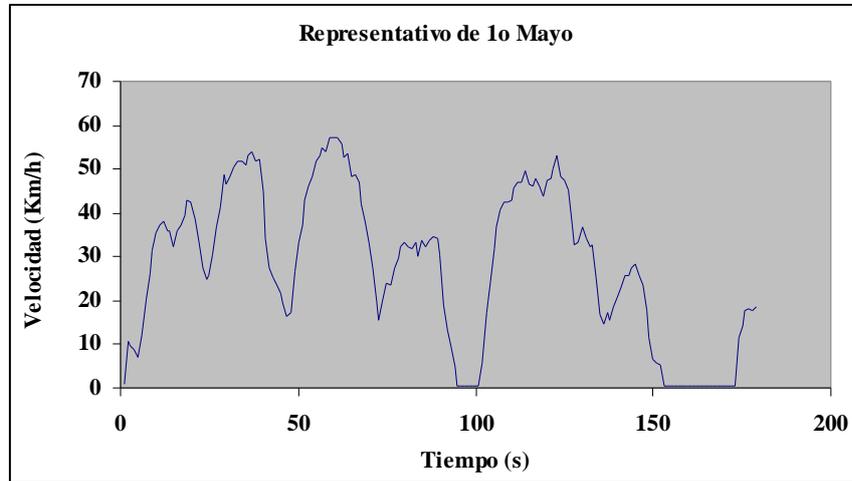


A. 4.5. Ciclo representativo de la vía Lomas Verdes en dirección NO-SE

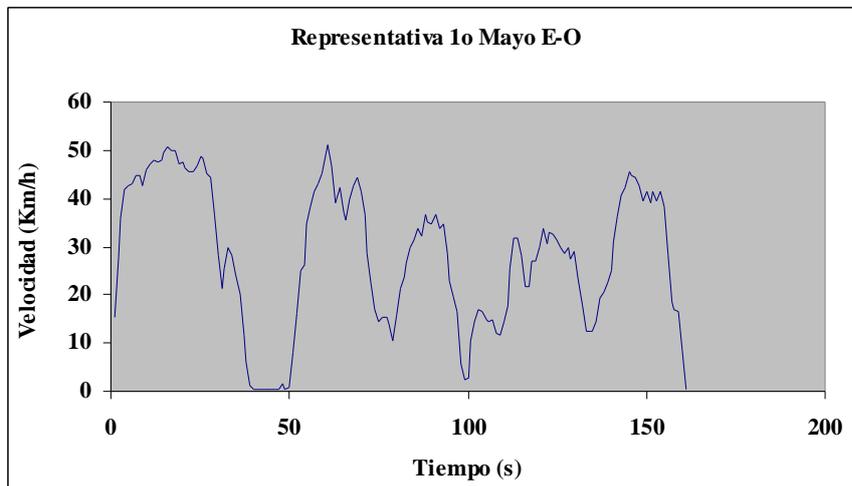


A. 4.6. Ciclo representativo de la vía Lomas Verdes en dirección SE-NO

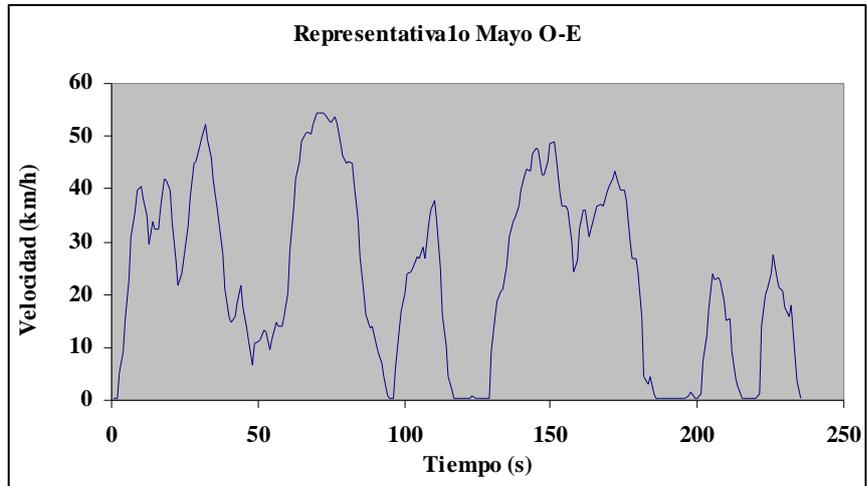
## 1° Mayo



A. 4.7. Ciclo representativo de la vía 1° Mayo

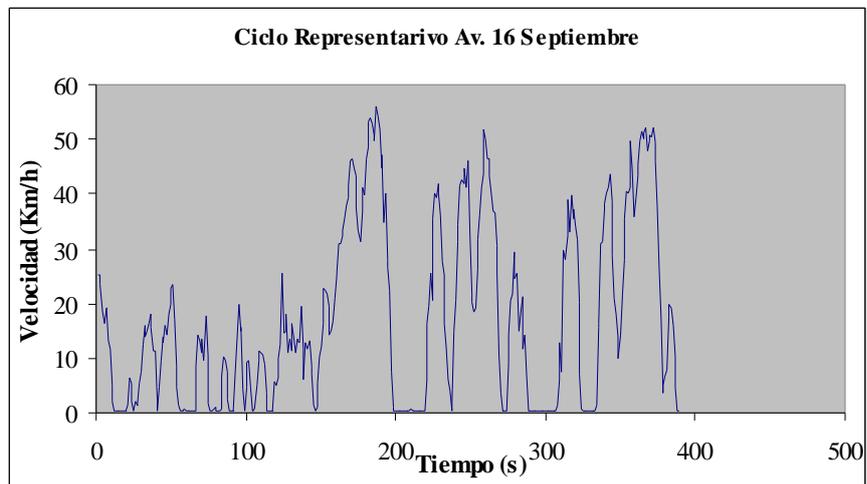


A. 4.8. Ciclo representativo de la vía 1° Mayo en dirección E-O.

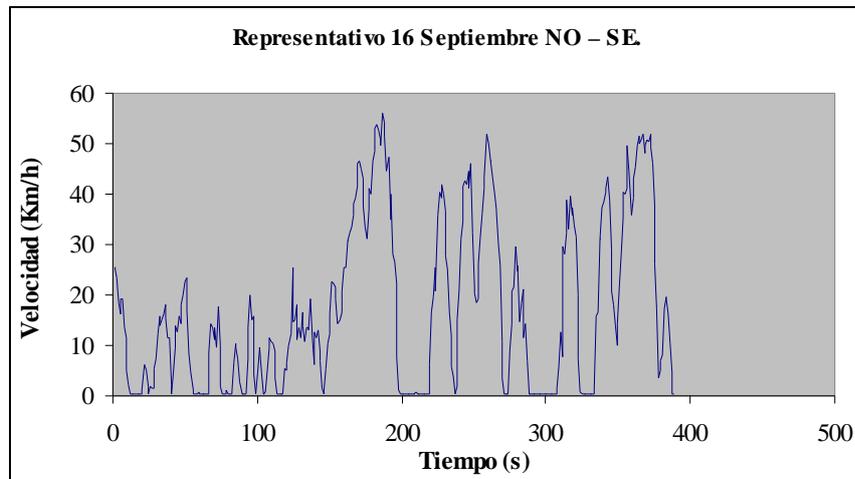


A. 4.9. Ciclo representativo de la vía 1º Mayo en dirección O-E.

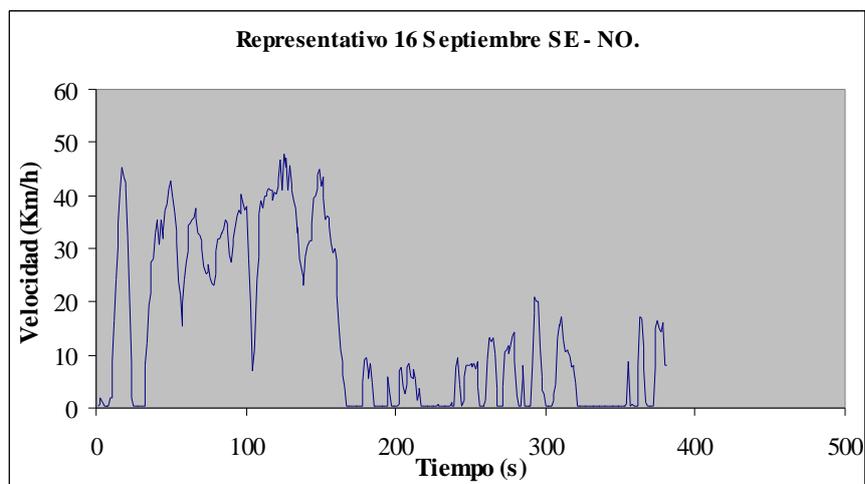
## 16 de Septiembre



A. 4.10. Ciclo representativo de la vía 16 de Septiembre.



A. 4.11. Ciclo representativo de la vía 16 de Septiembre en dirección NO – SE.



A. 4.12. Ciclo representativo de la vía 16 de Septiembre en dirección SE - NO.

## **Glosario**

***Ciclo de conducción*** refleja el comportamiento de la velocidad de un vehículo en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación de algún lugar específico para medir las emisiones de escape y la economía del combustible, representado por una gráfica de la velocidad versus tiempo.

***Contaminación atmosférica*** es cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire.

***Factor de emisión,*** es una razón que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por unidad de actividad

