

0117720



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONTAMINACION ATMOSFERICA ASOCIADA CON LOS CICLOS DE MANEJO VEHICULAR PARA EL D. F.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA (AMBIENTAL)

P R E S E N T A

ANGELICA VELAZQUEZ MONTERO

DIRIGIDA POR: M. EN I. FRANCISCA IRENE SOLER ANGUIANO



Por Dirección General de Bibliotecas de la UNAM para difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

Nombre: Angelica Velazquez

Apellido: Montero

Fecha: 16/ Junio / 2003

Nombre: elidias

UNAM. JUNIO 2003

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la M en I. Francis Soler Anguiano por su apoyo y confianza brindada durante la realización de este trabajo.

Al Ing. Augusto Villarreal y M en I. Ann Wellens por su valiosa cooperación.

A todos los maestros del posgrado de la Facultad de Ingeniería.

A la UNAM, por haberme formado y por su labor desempeñada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEDICATORIAS

A Dios por su amor, por que solo junto a Él se concluyo este trabajo

A mi mamá por haber forjado el deseo de seguir adelante

A mi papá por todo el apoyo, amor, comprensión y confianza que siempre me a dado

A mis hermanos por su cariño y apoyo

A mi amiga Margarita, por que siempre estuvo en los momento dificiles y por el amor que siempre sabe demostrarme

A mi maestra Angélica por su cariño

A todos mis amigos que Dios me ha dado por que forman parte de este sueño

A todos muchas gracias

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE	1
PREFACIO	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO	5
ALCANCE Y LIMITACIONES	5
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	7
1.1 Protocolo de pruebas	7
1.2 Ciclo de manejo	10
1.3 Experiencia Internacional	11
1.4 Aplicación del ciclo de manejo	14
CAPITULO 2. METODOLOGÍA	19
2.1 Selección de rutas de circulación vehicular	19
2.2 Instrumentación del vehículo y definición de variables	23
2.3 Diseño experimental	25
2.3.1 Factores que determinan la velocidad	26
2.3.2. Selección del diseño experimental	27
CAPITULO 3. OBTENCIÓN DE CICLOS DE MANEJO	29
3.1 Propuesta de ciclos de manejo representativos para la ZMCM	32

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
4.1 Comparación de los ciclos obtenidos para la ZMCM contra	37
4.2 Aplicación de los ciclos de manejo	40
4.3 Características viales para cada ruta seleccionada	41
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXO 1	47
ANEXO 2	50
ANEXO 3	59

PREFACIO

Este trabajo se realizó como parte del proyecto **OBTENCIÓN Y DE CICLOS DE MANEJO DE LA ZMCM** elaborado por el Laboratorio de Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería: para la Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Gobierno del Distrito federal, bajo la coordinación del Dr. Rogelio González.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, muchos países están preocupados y otros empiezan a preocuparse por la conservación y la protección del ambiente y de los recursos naturales.

Estudios recientes indican el incremento de sitios que han perdido sus características y propiedades originales, propiciando que la vida del hombre se vea amenazada por la presencia de compuestos extraños o en elevadas concentraciones, que empiezan a ocasionar daños en su salud.

En el caso particular de la contaminación de la atmósfera, los elevados niveles causado 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, y uno de los elementos esenciales para la aplicación de estas normas es el desarrollo tecnológico orientado a la medición, evaluación, control y reducción de la emisión de gases y partículas. Las normas establecidas de límites permisibles de emisión para vehículos nuevos en planta y para vehículos en uso.

En el caso de México, la contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Ciudad de México (ZMCM) se ha incrementado de manera acelerada durante las últimas décadas, como consecuencia del desarrollo, urbano, energético, social y ambiental no planeado. Estimaciones realizadas en los años setenta permitieron determinar que los vehículos de combustión interna contribuían con cerca del 50% de la emisión total de contaminantes a la atmósfera. Cálculos realizados en 1998, revelan que menos de tres décadas después, el automóvil se ha convertido en la principal fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera, ya que emite cerca del 80 % del volumen de las emisiones totales (SMA-GDF, 1998).

La contaminación originada por los vehículos automotores es un problema complejo pues no solo depende de la tecnología aplicada al automóvil, también se encuentra en función del total de vehículos en circulación, cantidad y tipo de

combustible quemado, velocidad de circulación, promedio de recorrido diario, estado mecánico del vehículo, tipo de vehículo, renovación de la flota vehicular y modos de manejo, entre otros.

La consideración de estos aspectos ha derivado en una profunda revisión de los métodos, herramientas e información disponible que tradicionalmente se utilizan en la determinación de los factores de emisión, (cantidad de contaminantes emitidos por kilómetro recorrido). La USA-EPA y la Comunidad Económica Europa (André, 1996), han dirigido importantes recursos económicos y humanos para mejorar la determinación de los factores de emisión.

En el caso de la ciudad de México, los estudios realizados son escasos, ocupándose factores de emisión que no necesariamente representan las características de otras ciudades que no necesariamente son las mismas.

OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo establecer ciclos de manejo para la ZMCM a partir de datos de condiciones de manejo medidos directamente sobre vehículos ligeros a gasolina.

ALCANCES Y LIMITACIONES

- Las rutas de manejo fueron establecidas por el Laboratorio de emisiones de la Facultad de Ingeniería, en función de resultados de estudios previos de ciclos de manejo para motocicletas (LCE, 1999).
- Se seleccionaron cinco rutas, 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.
- Los ciclos de manejo de cada ruta se desarrollaron para el horario conflictivo correspondiente.

-
- Como ejemplo de aplicación, se compara uno de los ciclos de manejo desarrollado con los proporcionados en la literatura, y se estiman las emisiones de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono para esa ruta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

La medición de las emisiones vehiculares está orientada a establecer emisión de contaminantes de vehículos nuevos en planta y vehículos en uso, y asegurar el cumplimiento de los límites establecidos por los gobiernos locales y federales mediante la vía reglamentaria o legislativa. Estas emisiones dependen del deterioro del vehículo, la eficiencia mecánica y rendimiento del combustible.

La herramienta que se utiliza en la determinación de las emisiones vehiculares es el protocolo de pruebas, del que forman parte los ciclos de manejo.

1.1 Protocolo de pruebas

Un protocolo de pruebas es el conjunto de pruebas específicas que se realizan para determinar las condiciones físicas de un vehículo y la cantidad de contaminantes emitidos por el mismo bajo diferentes condiciones (ciclos de manejo). Un protocolo integra los diferentes fases, o etapas, que se muestran en la figura 1.1, resaltando como actividad principal la determinación del ciclo de manejo.

Pre-acondicionamiento. La realización de pruebas de emisiones vehiculares bajo condiciones controladas exige la perfecta caracterización de los vehículos que serán examinados. Los parámetros de caracterización son: tipo de vehículo (año y modelo), lectura de tacómetro, condiciones mecánicas del vehículo, cantidad de combustible en el tanque, sistema de control de emisiones (tipo de convertidor catalítico), tipo de inyección (electrónica o carburador), temperatura del motor; para todo.

Dependiendo del número de vehículos de la prueba y la representatividad de esta muestra, la información que se obtenga podrá considerarse suficiente para caracterizar las emisiones de origen vehicular en una zona de estudio y desarrollar *factores de emisión*.

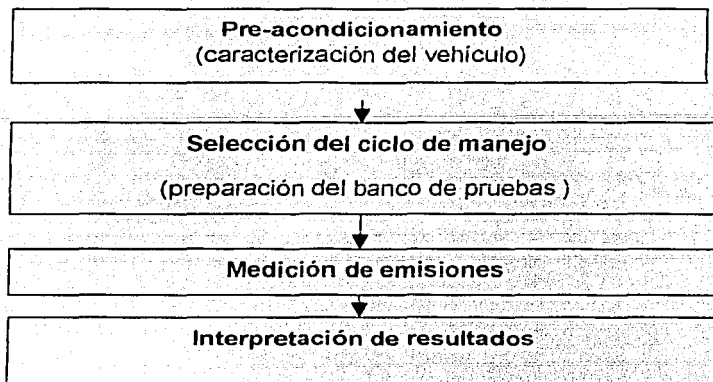


Figura 1.1 Esquema general del protocolo de pruebas.

Ciclo de manejo. Las siguientes etapas del protocolo dependen del ciclo de manejo seleccionado. Por ser el tema principal de este trabajo, la descripción y forma de obtención de los diferentes ciclos se presenta en la sección 1.2 siguiente.

Banco de pruebas. Cuando un vehículo circula, existen fuerzas debidas a la interacción vehículo / pavimento (fricción, inercia y resistencia aerodinámica), que se oponen a su avance.

Para simular la resistencia al avance de un vehículo, se emplea un banco de pruebas o *dinamómetro*, que está equipado con un sistema de absorción de potencia conectado sobre unos rodillos, cuya velocidad de rodamiento se controla para simular la inercia del vehículo. Además, el banco está equipado con sistema de medición de la velocidad del rodillo para reproducir el ciclo de manejo previamente establecido para el protocolo de prueba.

Análisis de emisiones. La determinación de monóxido de carbono (CO) es el análisis más sencillo que se realiza a los gases de emisión, la prueba no se hace a volumen constante ya que su función es solo determinar la eficiencia de la combustión (Van Rumbek. 1991). Para la determinación de otros contaminantes

se realizan muestreos a volumen constante; los principios de funcionamiento de los analizadores utilizados para determinar la concentración de los principales contaminantes emitidos por un vehículo se muestran en la tabla 1.1 (Little, 1979).

El método de referencia adoptado por la mayoría de los países para el análisis de gases de emisión vehicular es un muestreo a volumen constante (CVS, Constant Volume Sampling), cuyo principio es la determinación de la masa total del contaminante durante el ciclo de manejo establecido.

Durante la prueba, los gases de escape son mezclados a un volumen complementario de aire, a fin de obtener un muestreo con flujo constante. Después de la dilución, la mezcla se homogeniza y se analiza determinando la masa total de cada contaminante.

Tabla 1.1 Principales analizadores utilizados para determinar la concentración de los contaminantes en el gas muestreado de un vehículo.

Contaminante	Tipo de analizador	Abreviación
Monóxido de carbono (CO)	Absorción no dispersiva en el infrarrojo	NDIR
Bióxido de carbono (CO ₂)	Absorción no dispersiva en el infrarrojo	NDIR
Hidrocarburos totales (HCT). Para vehículos de gasolina	Detector de ionización de flama	FID
Hidrocarburos totales (HCT). Para vehículos a diesel	Detector de ionización de flama precedido por filtración en caliente.	HFID
Oxidos de nitrógeno (NO _x)	Químico luminiscencia	CLD

Interpretación de resultados. Una revisión de los estudios hechos en América, Austria y Europa denota diferentes métodos de análisis para la obtención de ciclos de manejo. Estos métodos varían según las necesidades pudiéndose clasificar de la siguiente manera (André.1996):

- **Método de análisis visual.** Este método solo basa sus criterios en inspecciones visuales cualitativas de las variables de interés.

-
- Método de criterios arbitrarios. La obtención del ciclo esta basado en criterios totalmente arbitrarios.
 - Método de estadística descriptiva. La obtención esta basada en análisis elemental de estadística, en la cual incluye media, frecuencia, distribución de variables con respecto a la media y la frecuencia.
 - Métodos de estadística avanzada. La obtención del ciclo esta basada en el uso de diseño de experimentos para la selección de horarios, rutas etc. También se utilizan modelos de simulación estocástica (como Monte Carlo), que no están basados en velocidades y aceleraciones instantáneas, sino utilizan la distribución de las mismas.

Los ciclos de manejo determinados en este trabajo fueron obtenidos aplicando el método de análisis visual y de estadística descriptiva para el manejo de información, así como el uso de métodos avanzados, en específico el uso del diseño de experimentos, para la selección de horarios y rutas y determinar si el tipo de conductor influye en la velocidad media de circulación (V_m).

1.2. Ciclo de manejo

Un ciclo de manejo refleja el comportamiento de la velocidad de un vehículo en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación. Puede ser representado por una gráfica de la velocidad en función del tiempo (ver figura 1.2), siendo sus principales características: la velocidad promedio, la forma de acelerar y desacelerar, y el número y duración de paradas. La figura 1.2 corresponde al ciclo de manejo FTP75 (por sus siglas en ingles) que ha sido empleado en la ZMCM, junto con el programa Movable5 para estimar emisiones vehiculares (U.S.EPA, 1994).

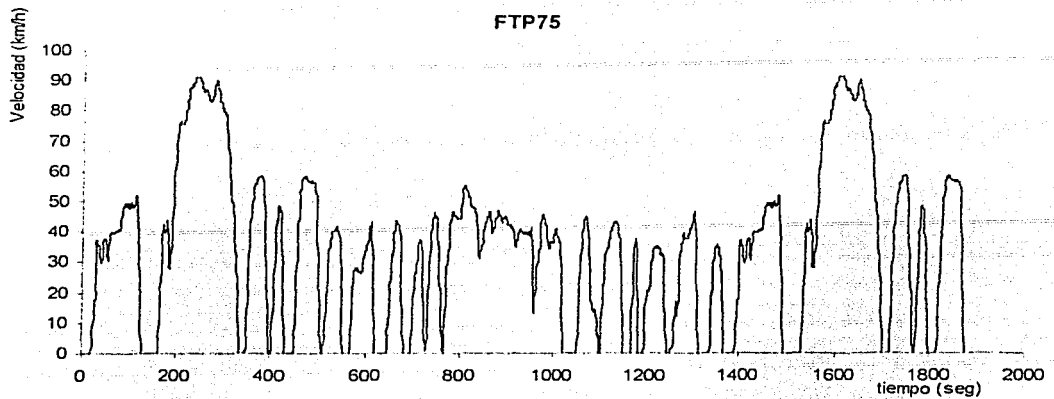


Figura 1.2. Ciclo de manejo

Los ciclos de manejo se pueden clasificar en los siguientes tres tipos:

- **Ciclos normativos:** Se utilizan para certificar vehículos, nuevos o en circulación, y relaciona la velocidad de prueba con la tasa de emisión de los contaminantes de referencia (para los que existen normas de emisión).
- **Ciclos de inspección y mantenimiento, o transitorios:** Ciclos que se utilizan para determinar el estado mecánico del vehículo y la influencia de la aceleración, velocidad promedio del recorrido, temperatura del motor, etc., sobre las emisiones.
- **Ciclos representativos:** Ciclos que pretenden reproducir, lo más próximo posible el estilo y condiciones reales de manejo. Se emplean para determinar niveles de emisión que puedan incluirse en inventarios de emisiones o para evaluar la efectividad de aplicación de políticas de lucha contra la contaminación.

1.3 Experiencia internacional

El desarrollo de ciclos de manejo cada vez más representativos, es una preocupación para países como Estados Unidos y Francia, que tienen una larga tradición en estudios de transporte. En México, el desarrollo de ciclos de manejo no es aún prioritario, utilizando ciclos de manejo desarrollados en otros países, lo

cual puede tener como consecuencia una estimación errónea de las emisiones vehiculares.

En algunas ciudades como Aguascalientes, Guadalajara y Ciudad Juárez, se han realizado estudios encaminados a establecer ciclos de manejo representativos. Y, en la Ciudad de México, principalmente en el Instituto Mexicano del Petróleo y la UNAM, se realizan actualmente esfuerzos importantes para poder determinar ciclos de manejo adecuados.

La Comunidad Europea (European Community, CE) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USA-EPA), en colaboración con empresas automotrices y asociaciones internacionales de esta rama, han desarrollado diferentes ciclos de manejo, buscando contar con datos de emisión cada vez más confiables.

La tabla 1.2 muestra las principales características de los ciclos de manejo más importantes desarrollados

ECE-15	Economic Commission for Europe. R15.05 Schedule
EUDC	Economic Commission for Europe
FTP-72	Federal Test Procedure 1972
FTP-75	Federal Test Procedure 1975
HWFET78	Highway fuel Economy Test Schedule
Mode 10 JAPAN	Japanese 10- Mode Test Schedule
Mode 11 JAPAN	Japanese 11- Mode Test Schedule
I/M 240	Inspection and Maintenance 240

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.2. Características de los ciclos de manejo más importantes.

Ciclo	Velocidad (km/h)		Tipo de circulación	Tipo de ciclo de manejo	Condiciones de inicio	País de aplicación
	MAX	PROM				
ECE-15	50.0	18.7	Urbano, lento y fluido	Normativo	Frío + 40 segundos en vacío	CEE, Noruega, Austria, Taiwán
EUDC	120.0	62.6	Carretera, rápido	Normativo	Complementario del ECE-15	CEE
FTP-72	91.2	31.7	Urbano, lento y fluido	Normativo	Frío	Suecia
FTP-75	91.2	34.3	Urbano, lento y fluido	Normativo	Frío	USA, California, Australia, Canadá, Suiza
HWFET 78	96.4	77.6	Carretera, rápido	Normativo	Caliente	USA; Austria, Suecia, Suiza
Mode 10 JAPAN	40.0	17.7	Urbano, fluido	Normativo	Caliente	Japón
Mode 11 JAPAN	60.0	30.6	Urbano lento y fluido	Normativo	Frío+25 segundos en vacío	Japón
I/M240	91.2	48.6		Inspección y Mantenimiento		USA. EPA

La evaluación de la calidad del aire, como resultado de las políticas de prevención y control, implementadas en el sector del transporte público y particular, requiere de modelos de emisión. Estos modelos, tienen como principal componente factores de emisión.

En los Estados Unidos, se han desarrollado factores de emisión por más de 20 años, pero las nuevas legislaciones demandan inventarios de emisiones y proyecciones más precisas de la calidad del aire. Para realizar estas estimaciones se requiere de modelos de transporte que además de un nivel de confianza aceptable, consideren entre otras: la diversidad de vehículos que circulan en calles y avenidas, las velocidades de circulación y las tasas de emisión.

Estudios recientes indican que la emisión vehicular se debe no solo al tipo de vehículo y combustible, sino a las condiciones de manejo (aceleraciones, desaceleraciones, tiempos de espera, duración del recorrido, velocidad promedio y otros factores como sobrecarga, pendientes y altitud geográfica (Van Rumbek, 1991).

Para incorporar o mejorar la representación de los aspectos antes mencionados, la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos USA-EPA, esta coordinando estudios para establecer un ciclo de manejo diferente al FTP-75, que incluya condiciones de manejo aún no consideradas, como: aceleraciones mayores a 5.28 km/s y velocidades mayores a 91.2 km/hr.

En febrero de 1998 la Universidad del Estado de Colorado, USA, desarrollo para las autoridades de la ciudad de Colorado, tres ciclos de manejo para evaluar los niveles de emisión bajo condiciones reales de manejo, incluyendo 21 vehículos pesados. Los tres ciclos desarrollados son: Central Business Distrit, CBD, Heavy Duty Transient Truck, HDT y West Virginia Truck, WVT, respectivamente. Los resultados de estos ciclos muestran la relación entre el valor de la velocidad promedio y la cantidad de emisiones contaminantes. A velocidades promedio bajas y mayor frecuencia de velocidades ceros, las emisiones contaminantes aumentan, ya que el motor está encendido sin circular.

Sin embargo, el resultado más importante del estudio antes mencionado es el haber establecido la necesidad de emplear diferentes ciclos reales en una misma ciudad, ya que las emisiones dependen de las características urbanas y las condiciones específicas de circulación vehicular en cada calle y avenida. Por lo cual las políticas y planes para reducir las emisiones contaminantes difieren con el tipo de necesidades y características de cada ciudad o zona.

1.4 Aplicaciones de ciclos de manejo

La medición y el análisis de la calidad del aire son aspectos importantes para definir los planes, las políticas y los instrumentos de prevención y control de la contaminación. Además, proporcionan información sobre el cumplimiento de las normas y permiten comprobar los avances o retrocesos logrados en la mitigación de la contaminación.

Un elemento adicional a la determinación de la calidad del aire, es la identificación de las fuentes de emisión de contaminantes y la cuantificación de las emisiones liberadas a la atmósfera. De esta forma se establece la relación que existe entre la

emisión de contaminantes y las concentraciones ambientales que resultan. Los protocolos de prueba, para diferentes ciclos de manejo, son una herramienta importante para la cuantificación de las emisiones de origen vehicular.

Los programas, políticas e instrumentos que se han implementado en la ciudad de México, por parte de las autoridades ambientales de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), para la cuantificación de emisiones vehiculares o el control de la calidad del aire relacionada con estas emisiones son:

- Desarrollo de inventarios de emisiones,
- Cambios en políticas de transporte,
- Mejorar la calidad de combustibles,
- Programa de verificación vehicular y
- Programa "Hoy No Circula", entre otros.

Inventario de emisiones. Un inventario de emisiones estima la cantidad total de emisiones producidas por el sector industrial, comercios, servicios, casas habitación, transporte, erosión del suelo y vegetación. Un inventario completo, detallado y confiable permite identificar con precisión las fuentes que contribuyen en mayor proporción a la emisión de contaminantes, permitiendo instrumentar acciones de control adecuadas.

Para mejorar el inventario de emisiones de cualquier ciudad se deben desarrollar ciclos de manejo representativos de los modos de conducir en las principales calles y avenidas, implantar el o los ciclos de manejo en un dinamómetro y obtener tasas de emisiones, que posteriormente sean incluidas en un modelo que pueda estimar adecuadamente las emisiones que alimenten el inventario.

Generalmente, un inventario de emisiones de vehículos automotores contiene las emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀); e incluye autos particulares, taxis, combis, *micros*, pick-ups, unidades de carga, autobuses de pasajeros, autobuses suburbanos y unidades de carga más de 2

ejes. En la ZMCM, los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos son especialmente relevantes, debido a que son precursores de ozono.

La estimación de los contaminantes de origen vehicular se basa en la combinación de dos aspectos fundamentales: uno que refleja el nivel de actividad (recorrido del viaje) y otro, la tasa promedio de contaminantes emitidos. Ambas variables reflejan un patrón complejo que varía para cada región de estudio.

La tasa promedio de contaminantes corresponde generalmente a los llamados factores de emisión, que varían de acuerdo a las características de la zona de interés y de los vehículos a los que corresponden. Un ciclo de manejo, al ser introducido a un protocolo de pruebas, genera información valiosa para el desarrollo de factores de emisión, ya que es posible determinar la emisión de los diferentes contaminantes que se generan en el laboratorio (donde se simula lo que ocurre en las calles y avenidas de la zona en estudio).

En la figura 1.3 se muestra la relación entre los inventarios de emisiones vehiculares y los protocolos de prueba.

Políticas de transporte. La ZMCM presenta cambios substanciales en su entorno, incorporando nuevas variables en materia de tipo de vehículos, necesidades de transporte público y combustibles, como resultado principalmente de la situación económica, y no necesariamente de políticas ambientales. Es por ello que la Ciudad de México a la vista del siglo veintiuno requiere de una revisión detallada de sus políticas urbano/ambiental, que involucren inventarios de emisiones desarrollados a partir de ciclos de manejo representativos.

Calidad de combustibles y cantidad de vehículos en circulación. La calidad de los combustibles juega un papel fundamental en el volumen de emisión de contaminantes. En este sentido, se ha logrado avances importantes en la lucha contra la contaminación atmosférica al producirse combustibles de calidad internacional, comparables o mejores a los utilizados en países industrializados.

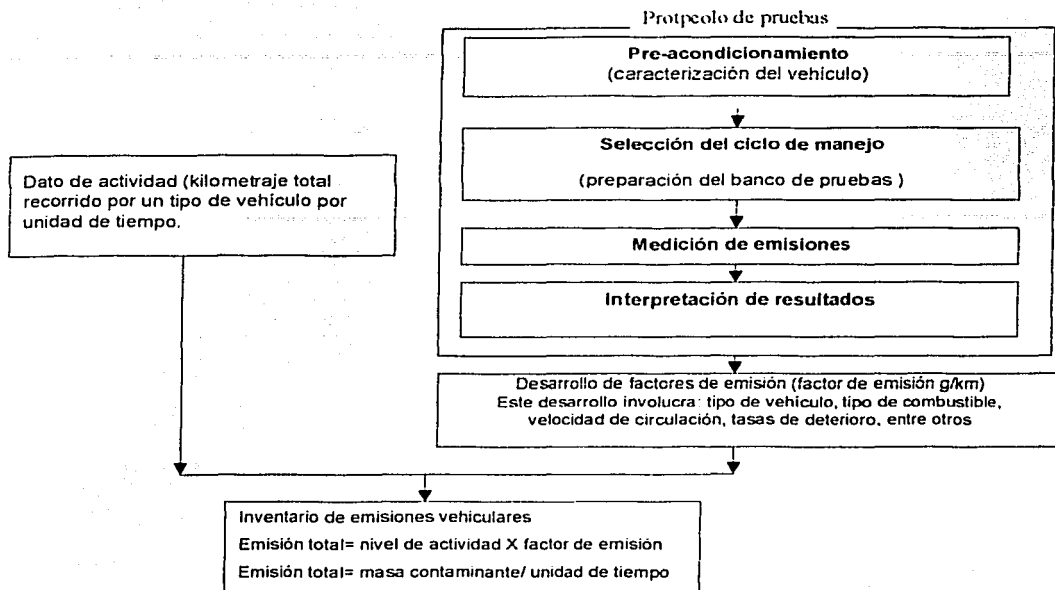


Figura 1.3 Relación inventario de emisiones y protocolos de prueba.

Si bien la reducción de emisiones es inmediata en autos equipados con convertidor catalítico y en autos nuevos, el efecto es modesto en vehículos carentes de esta tecnología. Actualmente existen graves problemas provocados por la capacidad del sistema vial de la ciudad por lo que no existe una perspectiva real para compensar la cantidad de gasolina consumidas con medidas normativas de corte tecnológico que abatan suficientemente las emisiones.

La capacidad del sistema vial está relacionado con la facilidad de circular en una ciudad, es por tanto función del número y condiciones de las vías de comunicación y el número de vehículos.

Programa de verificación vehicular y programa "hoy no circula". Autoridades ambientales de la ciudad de México, conjuntamente con autoridades federales y del Estado de México, han desarrollado una serie de planes y programas de

regulación, prevención y control de la contaminación del aire y en los cuales participan sectores industriales, servicios, transporte y propietarios de vehículos.

Dentro del marco del control de las emisiones vehiculares, se ha desarrollado una infraestructura normativa y de regulación para prevenir y controlar emisiones. Como parte fundamental de esta infraestructura se encuentra el Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO) y el Programa Hoy No Circula (PNC).

Actualmente el PVVO emplea solamente pruebas de arranque y enfriamiento (5024 y 2540), para la verificación vehicular; por lo que la incorporación de un ciclo de manejo en el PVVO, permitiría realizar un mejor diagnóstico de los niveles de emisión vehicular y caracterizar las emisiones de los vehículos que circulan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 2.

METODOLOGÍA

Para la planeación y desarrollo del diseño estadístico para determinar ciclos de manejo se considera que:

- a) los diferentes usos de suelo presentes en la ZMCM (habitacional, industrial, escolar, comercial, etc.) es uno de los aspectos que influyen en la forma de conducir un vehículo automotor;
- b) la variación del tráfico (número de vehículos) se encuentra en función del la hora del día (DGPC, 1998).
- b) los recorridos seleccionados se fijaron de tal manera que pudieran tener una duración de aproximadamente una hora.

Para el manejo de la información se consideró a la ZMCM dividida en cinco zonas de acuerdo a lo establecido por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), autoridad responsable del monitoreo de la calidad del aire de la ciudad;

Las actividades que se deberán llevar a cabo para la obtención de los datos de campo son las siguientes:

- Selección de rutas y horarios de circulación vehicular
- Instrumentación del vehículo y obtención de datos
- Propuesta del modelo experimental y definición de la variable de respuesta
- Análisis estadístico de la información obtenida.

2.1 Selección de rutas de circulación vehicular

La selección de las rutas y horarios de monitoreo estuvo a cargo del personal del laboratorio de control de emisiones de la facultad de ingeniería de la UNAM, fijando una ruta en cada zona geográfica (ver figura 2.1), en las que está dividida la ZMCM. A continuación se describe cada ruta:

Ruta noroeste. La constituyen 40.94 km: Av. Cuicuilco y Calzada Vallejo, Egipto, Floresta, Heliópolis, Av. 5 de Mayo, Santa Lucía, Calzada de la Naranja, Calzada de las Armas, Av. De las Culturas, Eje 5 Norte, San Pablo, Av. Gasoducto, Eje 4 Norte, antigua Calzada de Guadalupe, Eje 4 Norte, Calzada Azcapotzalco la Villa, Eje 4 Norte y Eje 1 Poniente.

Av. Acueducto de Guadalupe, Av. Morelos, Cerrada de Allende, Allende, Av. Morelos, Paseo de Zumarraga, Calzada de Guadalupe, Talismán, Eje 4 Norte, Av. José Loreto Fabela, Av. 608, Circuito Interior, Río Consulado, Paganini, Av. Insurgentes y Av. de los 100 Metros.

En esta ruta se refleja mucho la presencia de vías primarias, la cual es clave para el articulación de vías de acceso controlado.

Ruta centro. La constituyen 14.94km: Av. Fray Servando, Circunvalación (eje 1 oriente), Av. Del Trabajo, Eje 2 Norte, Reforma, Insurgentes, Av. Chapultepec, Eje Central, República de Perú, Bolívar, República del Salvador y Circunvalación.

Esta ruta se caracteriza por tener excesivo transporte público, así como problemas de comerciales ambulantes, estacionamiento en la vía pública, localización de bases y sitios del servicio público.

Ruta suroeste. Inicia dentro de Ciudad Universitaria, recorre 15.62 km. El recorrido completo es: Circuito exterior, Cerro del Agua, Moctezuma, Miguel A. de Quevedo, Av. América, Pensylvania, División del Norte, Río Churubusco, Félix Parra, Barranca del Muerto, Macedonio Alcalá, Av. Revolución, Estadio Olímpico y reingresa a Circuito Escolar.

Las vías secundarias de esta ruta presenta, la privatización de algunas calles, la colocación de reductores de velocidad (topes), comerciales ambulantes y mercados sobre ruedas.

Ruta sureste. Formada por 22.90km: Cafetales y Calzada del Hueso, Eje 3 Oriente, Ermita Iztapalapa, Rojo Gómez (eje cinco oriente), Av. Río Frio, Ciudad Deportiva, Palacio de los Deportes, Viaducto Tlalpan, Av. Taxqueña, Miramontes y Calzada del Hueso.

En esta ruta se caracteriza por un mal estado de semaforos en los ejes y vías primarias lo que provoca velocidades bajas.

En la ZMCM cuenta con una red vial cuya longitud es cercana a los 10 200 Km., de ésta cerca del 9% (930km) corresponde a la vialidad primaria, formada por Vías de acceso controlado (210.6km), los ejes viales (514.2 km) y las arterias principales (205 km). El resto, poco más de 9 200 km, corresponde a la vialidad secundaria (Secretaria de transporte y vialidad, 2001).

Las vialidades de acceso controlado, son vialidades que satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito vehicular, cuentan con accesos y salidas a los carriles centrales en lugares con distribuidores viales o pasos a desnivel: son consideradas como la columna de la red vial, de este tipo de vías se encuentran las vías anulares, los viaductos, las vías radiales y arterias principales.

Las vías anulares de acceso controlado, son anillo periférico y circuito interior, éstas tienen la función primordial, en la movilidad de la ciudad, de distribuir el tránsito de largo recorrido.

Los viaductos son vías de acceso controlado (viaducto Miguel Alemán, río Becerra y viaducto Tlalpan).

Las vías radiales son vialidades de circulación continua que satisfacen la demanda de viajes que tienen como origen o destino el centro de la ciudad

Los ejes viales son vialidades semaforizadas que forman una retícula a todo lo largo y ancho de la ciudad. Esta red fue diseñada con carriles exclusivos para autobuses del transporte público en el sentido preferencial y en contra flujo, permitiendo la comunicación directa al Metro.

Arterias primarias, se refieren a vialidades primarias que no son de acceso controlado, ni ejes viales, como la avenida de Insurgentes y la avenida de la Reforma.

Vías principales, son vías que por sus características y su capacidad para mover grandes volúmenes de tránsito, enlazan y articulan gran cantidad de viajes-persona-día. Estas vialidades complementan la estructura de la red primaria y se

caracteriza por su continuidad y sección transversal constante; este tipo de vialidades varían en su trazo y condiciones de operación de acuerdo a la zona en que se ubica. Así, en el oriente se tiene una amplia red, en cambio en las zonas sur-poniente y nor-poniente su número es reducido por la accidentada topografía.

Las vías secundarias, son vías colectoras que enlazan a los diferentes centros urbanos con la red vial primaria.

Vía terciaria o local, son vías no continuas, que facilitan la movilidad dentro las zonas habitacionales o predios particulares y su estructura no esta diseñada para recibir transito intenso o pesado.

En la siguiente tabla 2.1 se muestra el porcentaje de cada tipo de vía, para cada ruta aquí presentada.

Tabla 2.1. Porcentaje de tipo de vía para las cinco ruta.

	Ruta sureste	Ruta suroeste	Ruta centro	Ruta noreste	Ruta noroeste
Vías anulares	0%	8.33%	0%	5.0%	0%
Viaductos	8.33%	0%	0%	0%	0%
Vías radiales	0%	0%	0%	0%	0%
Ejes viales	16.66%	0%	27.27%	5.0%	25.00%
Arterias primarias	0%	0%	18.18%	10.0%	0%
Vías principales	75.00%	33.334	27.27%	65.00%	55.00%
Vías secundarias	0%	58.33%	27.27%	10.00%	20.00%

2.2 Instrumentación del vehículo y definición de la variable de respuesta

La instrumentación del vehículo estuvo a cargo del laboratorio de control de emisiones de la facultad de ingeniería de la UNAM. El monitoreo de los parámetros vehiculares en cada una de las rutas se realizó mediante el sistema de adquisición de datos (figura 2.2), especialmente diseñado para este fin, que se compone de los siguientes módulos:

- ✓ Grupo de sensores
- ✓ Tarjeta de acondicionamiento de señales
- ✓ Módulo de adquisición de datos
- ✓ Sistema de comunicación (convertidor analógico digital)
- ✓ Estación de análisis de datos

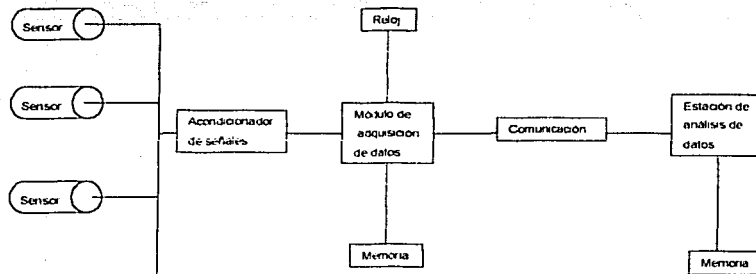


Figura 2.2. Sistema de adquisición de datos

El **modulo de sensores** consta de cuatro sensores: de revoluciones del motor (rpm's), de velocidad, de posición del pedal y de temperatura. El sensor de rpm's proporciona una señal analógica, serie de pulsos, similar al sensor de velocidad del vehículo. Por otro lado, el sensor de posición del pedal del acelerador es un potenciómetro el cual entrega un voltaje que es linealmente proporcional a la posición del pedal. El sensor de temperatura también tiene un comportamiento lineal, entrega 10 millivolts (mV) por grado Kelvin.

El **acondicionamiento de las señales** se presenta en el diagrama de bloques de la figura 2.3.

El **módulo de adquisición de datos** se acopló a una tarjeta de memoria programable y de almacenamiento de señales y a un convertidor analógico digital, instalando el sistema en un gabinete a bordo del vehículo de prueba.

Junto con la tarjeta de memoria se adquirió el software correspondiente, instalándose en una computadora personal. Requiriéndose de un cableado

especial para transportar las señales originadas por los diferentes sensores hacia el módulo de adquisición de datos.

La capacidad del sistema para almacenar los datos en la memoria es de 400 Kbytes y puede realizar el monitoreo de cuatro variables cada segundo. El tiempo efectivo de memoria disponible es de aproximadamente 29 horas.¹

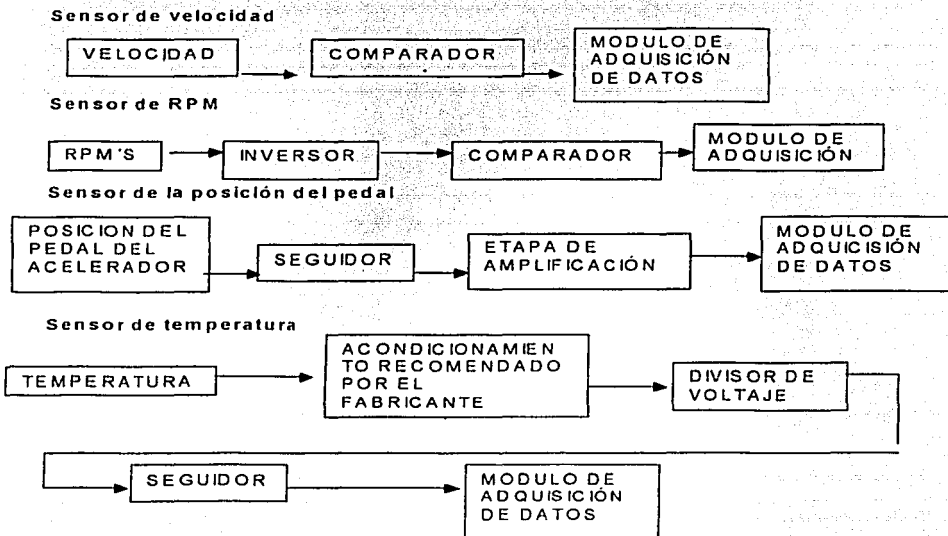


Figura 2.3. Acondicionador de señales.

2.3 Diseño experimental

El diseño experimental se realizó considerando la velocidad media de circulación (V_m), que desarrolla el vehículo durante su recorrido, es la variable que refleja de manera indirecta y cuantitativa la influencia de factores externos en el desplazamiento del vehículo por cada ruta seleccionada.

¹ 1 Kbyte= 1024 bytes. Como se monitorea 4 variables por segundo se tiene la capacidad de almacenar 102400s. es decir 28.44 horas de memoria disponible.

2.3.1 Factores que determinan la velocidad media de circulación

El número de variables a considerar durante el desarrollo y análisis del experimento enfocado a la obtención del ciclo de manejo, es grande e incluye entre otros: características del conductor del vehículo, tipo de vehículo, horarios, rutas, condiciones climatológicas, etc. De tal manera que del análisis de los resultados del experimento se podrán evaluar los efectos aislados y combinados de esas variables sobre la velocidad media de circulación.

Para evaluar la relación entre las diferentes variables se fijaron cinco horarios de estudio (8:00, 11:00, 14:00, 17:00 y 20:00 horas) y en cada horario se recorrió la ruta establecida seis veces; Teniendo así: cinco rutas para cinco horarios en seis recorridos cada una.

Estudios anteriores (Ramírez, 1997), han mostrado que la velocidad media no es influenciada por el tipo de conductor, lo cual trató de corroborarse en este estudio al realizar las pruebas con un solo vehículo y tres conductores distintos.

2.3.2 Características del diseño experimental

1. **Cantidad de datos.** Por el número de datos obtenidos (cada segundo, durante una a dos horas aproximadamente), estos se analizarán en forma agrupada, por intervalos de clase. Los datos se presentarán en forma gráfica, mediante histogramas, y de ellos se obtendrá la velocidad media de circulación en cada caso.
2. **Pruebas de influencia.** Para el diseño de experimentos se empleo un análisis de variancia con un factor en tres niveles (tres tratamientos, representados por tres conductores), para una ruta y un horario seleccionado al azar, a un nivel de significancia del 5% (Villarreal, 1996).

Las conclusiones a las que se lleguen con este modelo no podrán extenderse a otros tratamientos del mismo factor no considerados de forma explicita en el análisis (Anexo III).

-
3. Para poder realizar la prueba de hipótesis sobre igualdad de medias, es necesario comprobar los siguientes supuestos:

Normalidad. El error aleatorio e_{ij} representa una variable aleatoria normal con parámetros:

$$E(e_{ij}) = 0 \quad \text{y} \quad \text{VAR}(e_{ij}) = \sigma_e^2$$

Independencia. El error aleatorio e_{ij} es independiente de cualquier otro error e_{ij}

Homoscedasticidad. La variancia σ_e^2 es la misma para cualquier tratamiento i .

Lo que se pretende conseguir con estas pruebas es saber si los conductores tienen efecto o no en la velocidad media de cruceo.

4. **Hipótesis H_0 .** Si las suposiciones del punto anterior son ciertas, se procederá a analizar la influencia del horario en la velocidad media de circulación para cada ruta (cada ruta se recorrerá en cinco horarios diferentes, con seis recorridos en cada hora). El modelo experimental seleccionado es con un solo factor de efectos fijos, en donde el factor es el horario a cinco niveles.

La hipótesis establece que no existen efectos por el factor horario, es decir, que V_m , no se ve afectada por la hora del día.

Una vez seleccionado el horario más conflictivo para cada ruta, se procederá a la selección del recorrido, (el cual será el que tiene menor velocidad media de circulación, rango de velocidades más frecuentes e inferiores a las demás, y tiempo a velocidad cero mayor).

Para la definición del ciclo de manejo se tomará el recorrido seleccionado para cada ruta, y para dicho ciclo se utilizará un tiempo de 1000 segundos (André, 1996).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para corroborar que el ciclo de manejo es apropiado para representar el recorrido original se realizará una prueba de comparación de dos poblaciones a un nivel de significación del 5% (Anexo III).

TESIS CON
FALLA DE ORDEN

CAPITULO 3.

OBTENCIÓN DE CICLOS DE MANEJO

La información del monitoreo realizado en cada ruta se transfirió, segundo a segundo, a una base de datos en una computadora personal. A partir de los histogramas generados de la base de datos, se calcularon las Vm para las cinco zonas (en los cinco diferentes horarios con seis recorridos diferentes por horario). Para comprobar la influencia del conductor, se compararon tres conductores a una hora fija, y el resultado del análisis anterior se muestra en la tabla 3.1, en donde se observa que $F_{\text{CALCULADA}}$ es menor que $F_{\text{TEORICA O DE TABLAS}}$ por lo que la hipótesis nula se acepta, y se puede concluir que el tipo de conductor no influye en la Vm. Cabe mencionar que no es que el conductor no afecte, sino que para el caso de la zona metropolitana, con trafico intenso, hay factores que afectan mas fuertemente a la Vm que el tipo de conductor, por lo que en este trabajo se intentará determinar si uno de estos factores es el horario. El análisis completo de la no influencia del conductor se encuentra en el anexo I.

Tabla 3.1 Análisis de variancia

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIA DE CUADRADOS	$F_{\text{CALCULADA}}$	F_{TEORICA}
Tratamiento	89.315	2	44.6575	0.1957	3.205
Error	10268	45	228.177		
Total	10357.76	47			

Para ejemplificar el proceso de obtención de un ciclo de manejo se presenta el análisis de datos de la zona sureste.

Análisis de la influencia del horario a la Vm. El análisis de resultados de los datos de la ruta sureste, se presenta a continuación como ejemplo de la metodología propuesta para la obtención de ciclos de manejo.

En la siguiente tabla (3.2), se presentan los valores de la velocidad media de circulación (Vm), para los cinco horarios analizados, con seis recorridos en cada hora. Primero se corroboraron los supuestos de independencia, normalidad y homoscedasticidad, para posteriormente proceder a comparar si los horarios influían en la Vm.

Tabla 3.2. Vm de cada recorrido realizado en la ruta sureste (km/h)

HORA 8:00	HORA 11:00	HORA 14:00	HORA 17:00	HORA 20:00
38.5	40.2	38.3	34.9	35.8
17.2	31.2	33.5	39.1	34.8
37.2	35.2	24.1	34.9	21.6
36.7	41.5	45.4	21.2	25.5
39.4	39.5	30.8	39.8	32.7
19.3	30.4	32.4	36.2	34.0

Nota: Los conductores ya no están señalados en esta tabla, pues no hay influencia en velocidad promedio.

- Independencia. Se graficaron los errores e_{ij} y no se observó ninguna tendencia, es decir, una observación no depende de la otra.
- La normalidad se comprobó a través de un análisis de residuos, en donde la *gráfica de probabilidad normal* (Montgomery, 1995) para estos residuos mostró una tendencia lineal, por lo que se aceptó una distribución normal de la información.
- La homoscedasticidad se comprobó con la prueba de Bartlett, en la cual se aceptó la hipótesis de igualdad de variancias, es decir, la variancia dentro de cada horario está situada entre los límites aceptables de variabilidad de esta prueba, a un nivel de significancia del 5%.

La influencia de horario fue analizada por medio de una prueba que utiliza el estadístico F de Fisher, empleando el programa de cómputo HERMUT (Mutis, 1988). En la tabla 3.3 se presenta el valor teórico del estadístico F, así como el valor calculado, para un nivel de significancia del 5%.

Tabla 3.3. Análisis de variancia

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIA DE CUADRADOS	F CALCULADA	F TEORICO
Tratamiento (horario)	67	4	16.75	4.98	3.84
Error	26.954	8	3.36		
Total	101.44				

Como se observa en la tabla anterior, la hipótesis nula se rechaza, pues $F_{CALCULADA} > F_{TEORICA}$, lo cual indica que el horario influye significativamente en la

velocidad media de circulación V_m (se rechaza la hipótesis H_0 , por lo tanto las medias son diferentes).

Puesto que los horarios si influyen significativamente en la velocidad (V_m), para la selección del horario y el recorrido que defina al ciclo de manejo mas conflictivo, con base en lo mencionado en el capítulo uno, se analizaron por separado las siguientes variables:

- Velocidades promedio (velocidades medias sin considerar tiempos cero)
- Frecuencia del tiempo a velocidad cero
- Velocidades máximas alcanzadas durante el recorrido

El horario seleccionado fue el de las 20:00 horas, ya que esta hora presenta velocidades media de circulación más pequeñas, así como mayores tiempos a velocidades cero; sin embargo no se observaron diferencias significativas entre las velocidades máximas, en los tiempos a velocidad cero (tiempo cero) y en las velocidades promedio (velocidades medias sin considerar tiempos ceros) en los diferentes horarios (anexo II).

Selección del recorrido. Las velocidades medias de circulación de los seis recorridos realizados para el horario elegido, se muestran en la tabla 3.4. En ella se observa que la V_m más baja es de 21.6 km/h y también es el que presenta mayor frecuencia a velocidad cero, y de rango de velocidades más bajas en comparación con los demás. Por ello se seleccionó este recorrido para la definición del ciclo de manejo de la zona sureste.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.4 Comparación de las variables encontradas en los seis recorridos.

HORA 20:00pm				
Recorrido	Vm (km/h)	Frecuencia a velocidad cero (segundos)	Rango velocidades más frecuentes (km/h)	Velocidad máxima (km/h)
1	35.8	200	30 – 50	95
2	34.8	745	40 – 55	95
3	32.7	600	45 – 50	75
4	34	520	40-50	70
5	21.6	980	25 – 35	75
6	25.5	610	35-45	75

3.1 Propuesta de ciclos de manejo representativos para la ZMCM

El ciclo de manejo seleccionado para cada ruta considera la metodología propuesta, a partir de la velocidad media (Vm), 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 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, ésto hasta que el recorrido sea de 10000 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. En la figura 3.1 se presenta el ciclo de manejo propuesto para la ruta Sureste, y en la figura 3.2 la comparación del histograma de frecuencias de este ciclo y el de la ruta completa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

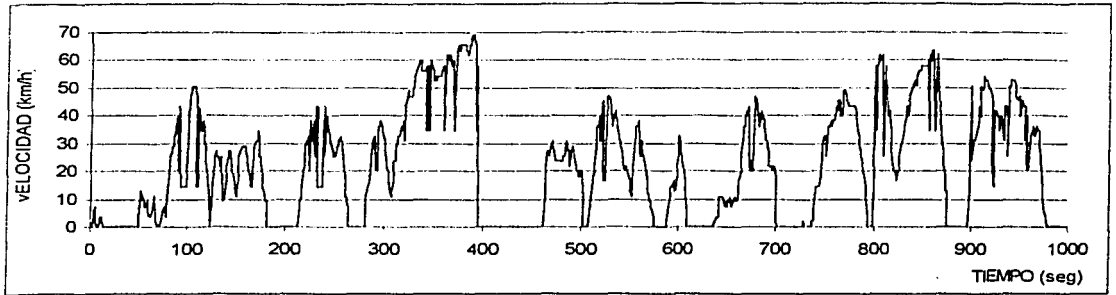


Figura 3.1. Ciclo de manejo para la Ruta Sureste

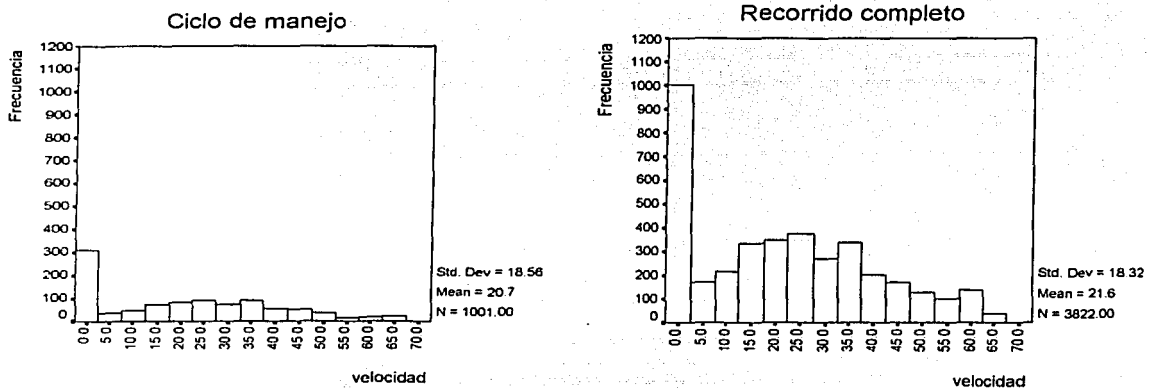


Figura 3.2. Histogramas comparativos de frecuencias de la ruta Sureste.

Se observa que el comportamiento de en ambos histogramas es similar. Sin embargo, para comprobar estadísticamente si el ciclo de manejo es representativo de las características del recorrido original, se procedió a efectuar las pruebas de igualdad de variancias y la de igualdad de medias. Los valores en dichas pruebas son:

$$S_{21} = \text{variancia del recorrido completo} = 335.62$$

$$S_{22} = \text{variancia del ciclo de manejo (1000 seg)} = 344.47$$

$$X_{1\text{media}} = \text{media del recorrido completo} = 21.6$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$X_{1\text{media}} = \text{media del ciclo de manejo} = 20.7$$

$$e = \sqrt{(\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2)} = \text{error} = 0.657$$

$$F_{\text{calculada}} = 1.025 \quad F_{(3821, 1000, 95\%)} \text{ tablas} = 1.08$$

$$Z_{\text{calculada}} = 1.36 \quad Z_{(95\%)} \text{ tablas} = 1.96$$

En los valores anteriores se aprecia que tanto las variancias, como las medias son homogéneas, esto debido a que tanto $F_{\text{calculada}}$, como $Z_{\text{calculada}}$ son menores que las de tablas, por lo que el ciclo de manejo representa significativamente a las características del recorrido original.

Para definir los ciclos de manejo de las rutas Suroeste, Centro, Noreste y Noroeste, se siguió la misma metodología planteada anteriormente (en la tabla 3.5 se presentan las características de cada ciclo y en las figuras 3.3 a 3.6 los ciclos de manejo correspondientes).

Tabla 3.5. Características de los cinco ciclos determinados para cada ruta.

RUTA	SURESTÉ	SUROESTE	CENTRO	NORESTE	NOROESTE
Horario seleccionado	20:00	20:00	8:00	8:00	14:00
Velocidad media (Vm) (km/hr)	20.7	17.2	19.2	17.7	10.5
Tiempo recorrido (seg)	1000	1000	1000	1000	1000
Velocidad máxima de circulación (km/hr)	68.74	72.36	63.31	65.12	77.78
Tiempo a velocidad cero (seg)	345	236	219	260	575
Intervalo de velocidad (km/hr)	25 a 40	32 a 45	30 a 40	38 a 45	38 a 43
Velocidades más frecuentes (km/hr)	25 a 40	16 a 20	12 a 25	14 a 18	1.8 a 10

El horario seleccionado para los ciclos de manejo corresponden a que en dichos horarios se observaron menores Vm, frecuencias mayores de tiempos cero y menores velocidades máximas durante el recorrido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

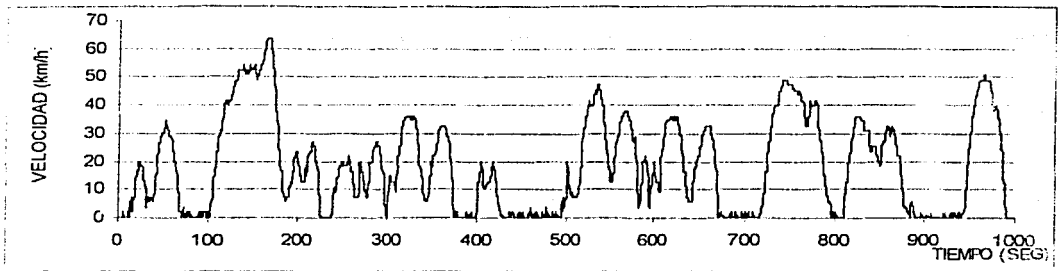


Figura 3.3. Ciclo de manejo representativo Ruta Suroeste

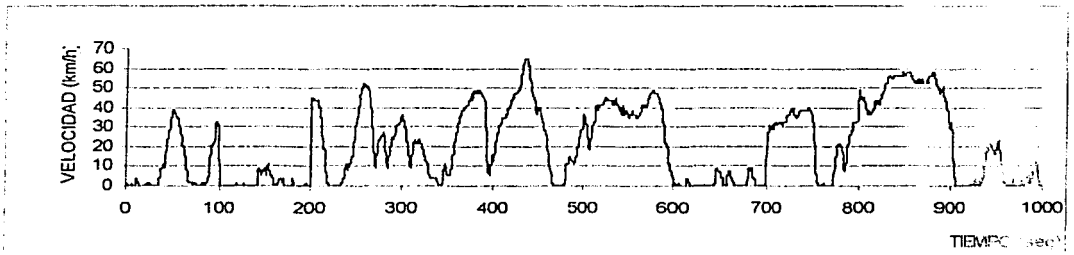


Figura 3.4. Ciclo de manejo representativo Ruta Centro

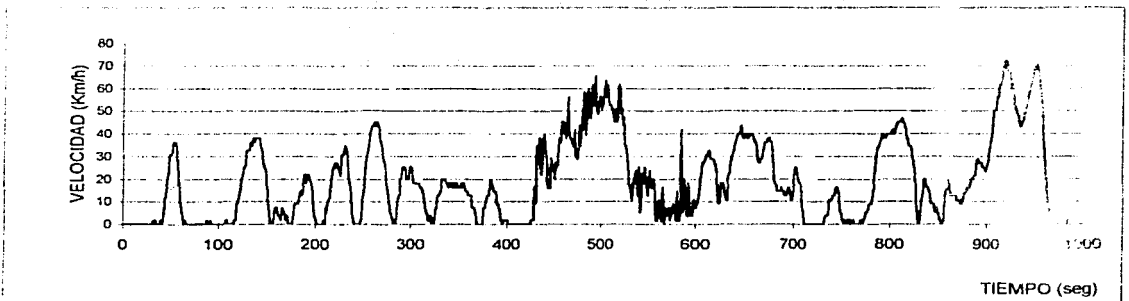


Figura 3.5. Ciclo de manejo representativo Ruta Noreste

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

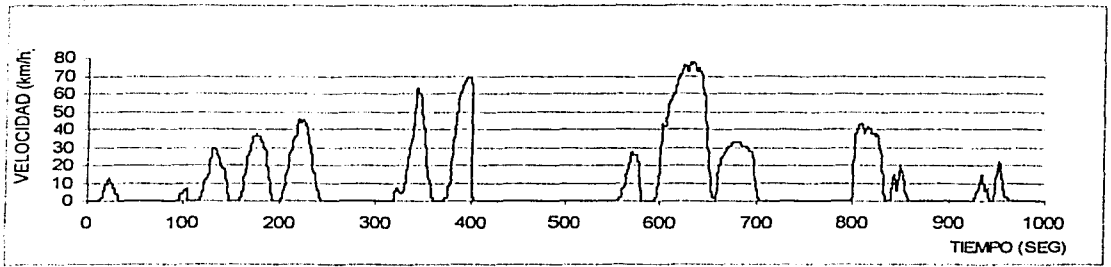


Figura 3.6. Ciclo de manejo representativo Ruta Noroeste

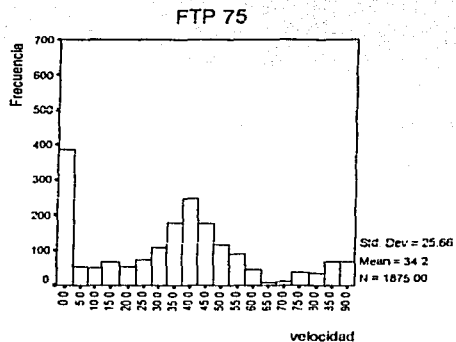
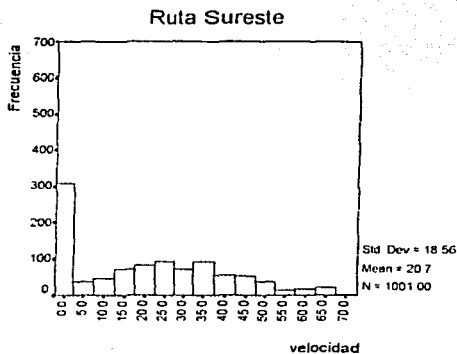
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 4.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Comparación de los ciclos obtenidos para la ZMCM

Ciclo FTP75. En la ZMCM se utiliza el ciclo de manejo FTP75, junto con el programa Movile5 para estimar emisiones vehiculares. Se debe recordar que el FTP75 se desarrolló con fines normativos para coches en planta a partir de condiciones de manejo representativas de Estados Unidos, Australia, Canadá y Suiza. Por lo tanto es de esperar que no corresponda a los ciclos de manejo aquí obtenidos (ver apartado 1.3). Para comprobar lo anterior, se comparó visualmente de dicho ciclo con los obtenidos en este trabajo, además de realizar una comparación estadística para dos poblaciones (ver 2.3.2). En las figuras 3.7 se muestran los histogramas de frecuencias de cada ruta en comparación con el del ciclo FTP75, pudiendo observar que el comportamiento de los histogramas de cada ruta es diferente entre sí al ciclo FTP 75.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

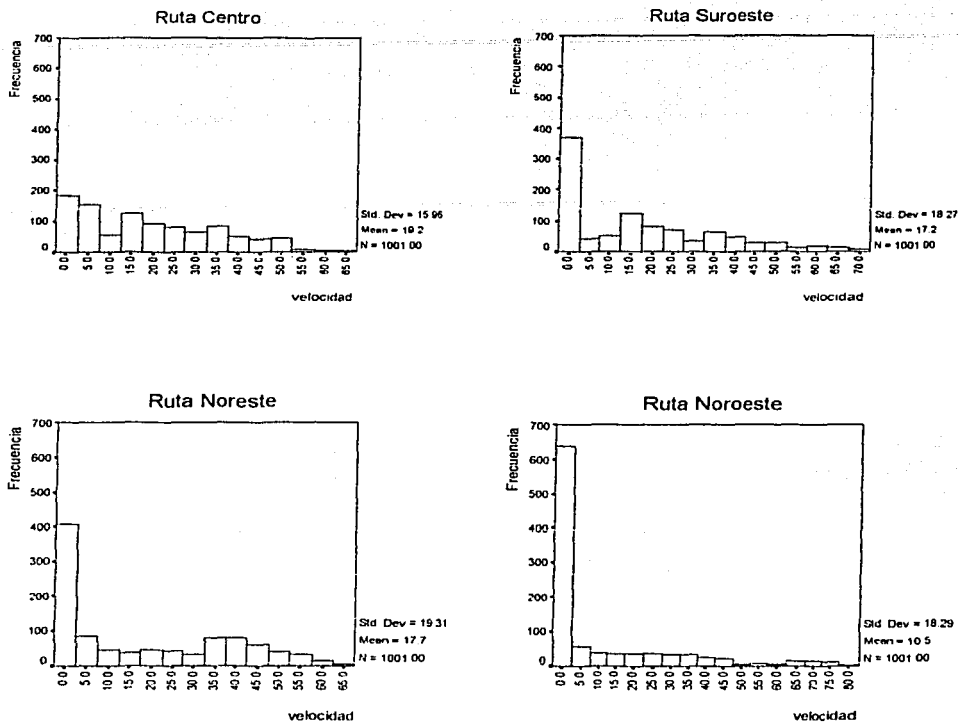


Figura 4.1 Histogramas comparativos de frecuencias de las cinco rutas con el FTP75

Sin embargo, para comprobar estadísticamente estas diferencias se procedió a efectuar pruebas de igualdad de variancia y de igualdad de media para los cinco casos. La tabla 4.1 muestra los valores de dichas pruebas.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN.

Tabla 4.1. Prueba de igualdad de variancia y media.

	Ruta Sureste	Ruta Suroeste	Ruta Centro	Ruta Noreste	Ruta Noroeste
S^2_1 (variancia del ciclo FTP75)	658.43	658.43	658.43	658.43	658.43
S^2_2 (variancia de la Ruta)	344.47	368.64	254.72	372.87	354.52
X_{1media} (media del ciclo FTP75)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
X_{2media} (media de la Ruta)	20.7	17.2	19.2	17.7	10.5
$e = \sqrt{(\sigma^2_1/n_1 + \sigma^2_2/n_2)}$	0.833	0.827	0.779	0.850	0.827
$F_{calculada}$	1.910	1.971	2.586	1.765	1.967
F_{Tablas}	1	1	1	1	1
$Z_{calculada}$	16.20	20.55	19.25	19.41	28.65
$Z_{(95\%) tablas}$	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96

En la tabla anterior se aprecia que las $F_{calculada}$ y $Z_{calculada}$ son mayores que las de tablas para todos los casos (Anexo III), por lo que los ciclos obtenidos no corresponden a las características del ciclo FTP75, por tanto los factores de emisión que se generaron a partir del ciclo FTP75, tampoco representa adecuadamente la emisión de la ZMCM.

Ciclos de manejo de Denver. Además de la comparación anterior se llevó a cabo una comparación con los ciclos de manejo de la ciudad de Dever Colorado, que son ciclos reales al igual que los obtenidos en este trabajo.

Ya que no se tiene la información necesaria para elaborar los histogramas comparativos de los ciclos de Denver a continuación se presenta la velocidad promedio que tienen los ciclos de manejo de la ciudad de Colorado, así como para las cinco rutas de este estudio (tabla 4.2).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.2. Velocidades medias de los ciclos de Denver y la ZMCM.

CICLO DE MANEJO	VELOCIDAD MEDIA (km/h)
Ruta sureste (ciudad de México)	20.71
Ruta suroeste (ciudad de México)	17.2
Ruta centro (ciudad de México)	19.2
Ruta noreste (ciudad de México)	17.7
Ruta noroeste (ciudad de México)	10.5
CBD (Colorado)	24.8
HDT (colorado)	30.08
VWT (Colorado)	33.92

En la tabla anterior se observa claramente que las velocidades medias de las rutas obtenidas para la ciudad de México, se encuentran por debajo de las del ciclo de manejo CBD (24.8km/h), considerado el más agresivo (que reporta las emisiones más elevadas), en Dever Colorado.

4.2 Aplicación de los ciclos de manejo

El conocimiento de los ciclos de manejo para una ciudad, permite estimar en forma más precisa la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera. Cuando el ciclo de manejo real es incluido en un protocolo de pruebas, permitirá favorecer, como ya se mencionó en el primer capítulo, a los programas, políticas e instrumentos que se han implementado en la ciudad para la prevención y control de la contaminación.

Para calcular la cantidad de contaminantes emitidos, E, es necesario conocer el factor de emisión (que incluya las tasas promedio de emisiones durante los ciclos de manejo representativos), y el nivel de actividad, NA, relacionado. Esto es:

$$E = FE * NA$$

El factor de emisión, FE, puede ser obtenido considerando los efectos de numerosos parámetros vehiculares que influyen en la cantidad de los contaminantes emitidos y que forman parte del ciclo de manejo; mientras que, el nivel de actividad corresponde a los kilómetros recorridos por el vehículo (que en este trabajo es un vehículo automotor de tipo sedan). Para conocer la cantidad de

contaminantes emitidos por todos los vehículos es necesario conocer el número de vehículos que circulan.

En la siguiente tabla 4.3 se muestra los factores de emisión obtenidos del ciclo FTP 75 que utiliza la DGPCC y los factores de emisión producidos por el ciclo CBD (Denver, Colorado), así como el nivel de actividad y el número de vehículos tipo sedan reportados en 1998 (SMA-GDF, 1998), esto con la finalidad de realizar una comparación de las emisiones que se obtienen para ambos casos. Para realizar la comparación se empleo como nivel de actividad 33 km/día, valor usado por SMA-GDF, 1998; como representativo de 2,341,731 vehículos en la ZMCM.

Tabla 4.3 Factores de emisión y emisión

	HC ^a	NO _x	CO	HC Emisiones Ton/año	NO _x Emisiones Ton/año	CO Emisiones Ton/año
Factor de emisión (g/km) DGPCC ^a	3.03	8.0	33.6	85,464	225,643	895,837
Factor de emisión (g/km) Ciclo CBD (Denver Colorado)	1.237	19	19	34,890	535,914	535,914

a. HC son hidrocarburos totales

4.3. Características viales para cada ruta seleccionada

Los ciclos obtenidos aquí, son diferentes al utilizado actualmente para obtener los factores de emisión de la ZMCM (ciclo FTP75), por lo que los factores de emisión obtenidos mediante estos ciclos serán diferentes al igual que las emisiones.

Los ciclos obtenidos en este trabajo, pueden ser utilizados para obtener las emisiones contaminantes, de zonas que contengan las características propias de cada ruta aquí utilizadas, las características de cada ruta se presenta a continuación.

En la siguiente tabla se muestran las principales características de cada ruta.

Tabla 4.4. Características de la cinco rutas.

Ruta	Características	Velocidad media de circulación (km/hr)
Ruta sureste	75% de vías principales, se caracteriza por el mal estado de semáforos	21.56
Ruta suroeste	58.33 % de vías secundarias, se caracteriza por la privatización de calles, topes, comerciales ambulantes y mercados sobre rueda en sus vías secundarias	17.4
Ruta centro	27.27% de ejes viales, caracterizada por tener exceso de transporte público, así como problemas de comerciales ambulantes, estacionamiento en la vía pública y bases y sitios del servicio público	19.3
Ruta noreste	65% de vías primarias, caracterizada por una elevada cantidad de vías primarias, las cuales son la clave de la articulación de vías de acceso controlado	17.1
Ruta noroeste	55% de vías primarias, caracterizada por presentar en sus vías secundarias situaciones conflictivas por falta de continuidad, sección transversal insuficiente, reducción de la capacidad por el estacionamiento indiscriminado, intersecciones conflictivas o sin semáforos, topes excesivos y mal diseñados, mal estado del pavimento, maniobra de carga y descarga de mercancías del pequeño comercio sin horario establecido, en las vías primarias y ejes viales se presentan muchas vueltas en "u" lo que provoca que existan vehículos hasta el tercer carril, haciendo conflictivo el paso del semáforo	10

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con las características específicas de manejo en las zonas urbanas de la ZMCM, fue posible definir un ciclo de manejo representativo para la ruta definida de cada zona en las que la Red Automática de Monitoreo atmosférico divide la ciudad.
2. Cada ciclo de manejo encontrado, presenta velocidades medias de circulación diferentes. La zona Noroeste presentó una V_m de 10 km/h, mientras que la velocidad máxima alcanzada fue de 21.6 km/h para la zona Sureste. Lo anterior define una marcada diferencia en las velocidades de circulación entre la zona Norte y sur de la ciudad de México.
3. Los ciclos de manejo encontrados son diferentes al utilizado actualmente para la ZMCM, junto con el programa Movile5, para la estimación de contaminantes.
4. Las velocidades medias de circulación obtenidas en las rutas analizadas están por debajo de las velocidades promedios, de los ciclos desarrollados en Denver, Colorado USA, en donde las condiciones son de tránsito intenso, por lo que la cantidad de contaminantes emitidos al recorrer los ciclos de manejo encontrados en este trabajo serán mas altos que los de Denver
5. Se propuso la metodología de análisis estadístico necesaria para la determinación de un ciclo de manejo, esta metodología establece un análisis sencillo y confiable para la obtención del mismo.
6. La velocidad media de circulación de una ruta determinada en una zona metropolitana como la ZMCM, con tránsito intenso, se ve influenciada grandemente por el horario, y no así por el tipo de conductor, esto se comprobó por medio de las herramientas estadísticas utilizadas.
7. Para obtener los factores de emisión característicos para las rutas definidas es necesario instalar los ciclos de manejo obtenidos en un laboratorio de emisiones vehiculares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

-
8. Debido a que en la ruta noroeste presenta características críticas de velocidad media, se recomienda obtener en primer termino los factores que representen a esta ruta, esto servirá para conocer los factores de emisión extremos de rutas con características semejantes. Ya que las rutas sureste, noreste y centro presentan vialidades similares, frecuencia cero e intervalos de velocidades parecidas, se podría obtener un ciclo de manejo único siempre y cuando se realizaran ajustes en la planeación del transporte público.
 9. Dada la magnitud de la información obtenida en este trabajo se recomienda generar ciclos de manejo considerando como variables a la aceleración y desaceleración.
 10. Los histogramas encontrados para cada ruta en los diferentes horarios podrían servir a las autoridades competentes, para identificar cuales son los puntos conflictivos y proponer las medidas correctivas necesarias para una mejora en el transporte.
 11. Se recomienda aplicar esta metodología a vehiculos que utilicen otro tipo de combustible como el diesel.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

- André, M. The inspection of in-use cars in order to attain minimum emissions of pollutants and optimum energy efficiency- Short driving cycle based on the European real driving, INRSET report CEN9436, 26p., France, 1994
- André, M. Driving Cycles Development Characterization of the Métodos. INRSET report . SAE Technical. Paper no.961112; May 6-8, 1996.
- Graboski. S. M, S. Heavy-Duty Diesel Vehicle- Testing for the Northern front Range Air Quality study. Colorado State University. February 1998.
- Montgomery, D. C; Diseño y análisis de experimentos; Grupo editorial Iberoamérica; México 1995.
- Mutis, H. Paquete estadístico para diseño de experimentos. IIMAS. México. 1988.
- LCE. Normas para motocicletas de 2 y 4 tiempos y ciclos de manejo, características de la ciudad de México. Laboratorio de control de emisiones Facultad de Ingeniería, UNAM. Enero 1999.
- Little. A. State of the art of sampling and analysis for diesel exhaust contaminants, US Department of ocommerce. 1979.
- Radian International LLC. Aguascalientes Driving Cycle Study. Final Report. 1998
- Radian International LLC. Aguascalientes Vehicle Emissions Measurement Study. Final report. 1998.
- 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.
- Secretaría de transporte y vialidad. Primera versión del programa integral de transporte y vialidad. 2001. <http://www.df.gob.mx/secretarias/setravi/privt/3.html>.

-
- SMA-GDF, Secretaria del medio ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Informe anual de la calidad del aire en el Valle de México, 1998.
 - VAN RUYMBEKE, Desarrollo de un medición de las emisiones contaminantes de vehículos, aplicable al caso de México. Tesis doctoral. 1991.
 - Villarreal A.; Apuntes de diseño estadístico de experimentos; UNAM; México 1995.
 - U.S. Environmental Protection Agency of Air and Radiation Office of Mobile Sources; User'S Guide to MOBILE5 (MOBILE SOURCE EMISSION FACTOR MODEL); May 1994.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO 1

Verificación de la no Influencia del conductor a la velocidad media (Vm) cruce de circulación

El análisis se realizó para comprobar la aseveración encontrada por Ramírez Mellado. 1997 sobre la no influencia de los conductores en el tiempo de recorrido de la ruta, es decir, demostrar la no influencia de los conductores sobre la determinación de Vm. El análisis se aplicó únicamente a la información obtenida de la ruta SURESTE, considerando los siguientes aspectos: un vehículo, tres conductores, cinco horarios diferentes del día. En total se realizaron 30 recorridos incluyendo sus réplicas. Cabe mencionar que la ruta Sureste fue la única recorrida por tres conductores diferentes.

El horario seleccionado fue el de la 14:00 horas, para el cual se tienen 6 recorridos, en cada recorrido se calcularon 8 velocidades promedio (Vm) para, los promedios se muestran en la tabla A.I.1.

Tabla A.I.1. Vm de los recorridos realizados a las 14:00 horas por tres conductores diferentes.

CONDUCTOR	VELOCIDAD PROMEDIO	CONDUCTOR	VELOCIDAD PROMEDIO	CONDUCTOR	VELOCIDAD PROMEDIO
No. 1	29.74	No.2	16.06	No.3	33.70
	42.65		25.97		38.07
	54.29		25.24		23.73
	41.18		28.10		38.61
	41.77		32.45		18.68
	32.86		20.79		37.86
	34.72		21.44		31.34
	29.28		22.89		24.64
	9.45		12.28		10.18
	31.42		28.44		33.77
	58.21		60.68		48.15
	41.63		37.35		42.26
	27.15		37.78		28.59
	26.42		42.93		38.24
37.86	71.78	30.50			
36.09	71.51	27.76			

NOTA: Los ocho primeros promedios de cada conductor corresponden al evento principal, los otros ocho corresponden a su replica.

Con los 48 valores de velocidad promedio (V_m), se realizó un análisis de variancia considerando el modelo completamente aleatorizado con un solo factor con la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H_1 : Alguna media es diferente

Donde:

μ_i = es el efecto medio global

H_0 = es la hipótesis nula

H_1 = es la hipótesis alternativa

La hipótesis H_0 propone que no existen efectos por la combinación del factor conductor- horario, es decir, no hay diferencia en la forma de manejo con respecto al tiempo, distancia y hora del recorrido, es decir, cuando los conductores manejan un vehículo su habilidad resulta homogénea.

En la tabla A1.2 se presenta el valor teórico del estadístico F, obtenido de tablas, así como el valor calculado, para un nivel de significancia del 5% (α) con sus respectivos grados de libertad.

Tabla A1.2. Análisis de variancia

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIA DE CUADRADOS	F CALCULADA	F TEORICA
Tratamiento	89.315	2	44.6575	0.1957	3.205
Error	10268	45	228.177		
Total	10357.76	47			

En la tabla 8 se observa que para el bloque la $F_{calculada} < F_{teorica}$ y por tanto la hipótesis nula se acepta, las medias son iguales para los tres conductores, no hay

diferencias significativas en el tipo de conductor y se concluye que los conductores no afectan la V_m de los recorridos (muestras) en una ruta fija, la habilidad de los conductores para manejar resulta homogénea (Ramírez Mellado, 1997).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO II

Histogramas de frecuencia y análisis de los mismos para la ruta sureste

Como uno de las características de interés es el tiempo a velocidad cero y está relacionado con la velocidad media de circulación (a mayor tiempo a velocidad cero, menor velocidad media), se realizó la comparación de los cinco horarios de esta ruta con respecto a las velocidades promedio (velocidades medias sin considerar tiempos ceros). A continuación se presenta las tablas AII.1, AII.2 y A11.3 donde se presenta la velocidad promedio, el tiempo a velocidad cero y las velocidades máximas respectivamente, de cada horario.

Tabla AII.1. Velocidad promedio el promedio de la de cada recorrido realizado en la ruta sureste, en km/h

	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA
	8:00	11:00	14:00	17:00	20:00
	44.55	44.629	39.922	36.26	26.26
	50.59	33.1515	40.99	46.29	46.29
	41.06	36.87	30.10	41.08	41.08
	41.44	45.65	53.32	25.40	25.09
	44.89	39.966	37.55	44.05	44.05
	24.89	42.940	39.79	43.34	44.34
Promedio de Vm	41.23	40.53	40.28	39.40	39.45

TESIS CON
FALLA EN ENTREN

Tabla AII.2. Tiempo a velocidad cero y el promedio del tiempo a velocidad cero de cada recorrido realizado en la ruta sureste Tiempo en segundos

	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA
	8:00	11:00	14:00	17:00	20:00
	200	350	180	180	200
	980	420	700	800	780
	600	270	650	540	1000
	500	298	620	575	620
	380	920	580	318	610
promedio	800	250	470	620	520
	576.6	459.66	533.33	424.5	621.66

Tabla AII.2. Velocidades máximas de cada recorrido realizado en la ruta sureste Velocidad en km/h

	HORA	HORA	HORA	HORA	HORA
	8:00	11:00	14:00	17:00	20:00
	79.60	92.26	83.21	86.83	86.83
	51.8	101.30	79.60	128.44	90.5
	83.21	128.44	92.26	72.30	72.36
	79.60	92.26	110.35	79.60	79.6
	77.79	101.30	94.07	75.60	75.9
	70.55	83.21	83.21	75.90	75.9
promedio	62	99.79	90.55	86.44	80.023

Para la comparación de la influencia de los horarios y los días sobre la velocidad promedio, tiempo cero y velocidades máximas se procedió al análisis de variancia. Las tablas A11.4, A11.5 y A11.6, presentan el valor teórico del estadístico F, obtenido de tablas, así como el valor teórico calculado, para un nivel de significancia del 5%, con sus respectivos grados de libertad, para cada característica respectivamente.

Tabla A11.4. Análisis de variancia para velocidades promedios

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE CUADRADOS	F _{CALCULADA}	F _{TEORICA}
Tratamiento (horario)	4	13.77	3.44	.05	2.87
Bloques (días)	5	121.64	24.33	0.386	2.71
Error	20	1260.41	63.02		
Total	29	1395.81			

Tabla A11.5. Análisis de variancia para tiempos ceros

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE CUADRADOS	F _{CALCULADA}	F _{TEORICA}
Tratamiento (horario)	4	94200.13	23550.03	0.45	2.87
Bloques (días)	5	751074.57	150214.91	2.84	2.71
Error	20	1056086.27	52804.31		
Total	29	1901360.97			

Tabla A11.6. Análisis de variancia para velocidades máximas

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE CUADRADOS	F _{CALCULADA}	F _{TEORICA}
Tratamiento (horario)	4	2365.57	591.39	2.65	2.87
Bloques (días)	5	535.21	107.04	0.48	2.71
Error	20	4466.87	223.34		
Total	29	7367.64			

En la tabla A11.4 se observa que para el tratamiento y el bloque la $F_{\text{calculada}}$ menor que $F_{\text{teórica}}$ lo cual indica que el horario y los días no influye significativamente a la velocidad promedio (se acepta H_0 , por lo tanto las medias son iguales).

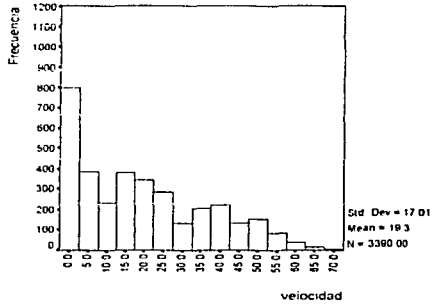
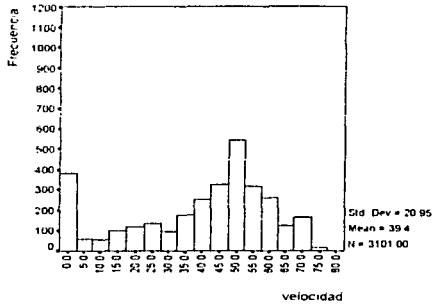
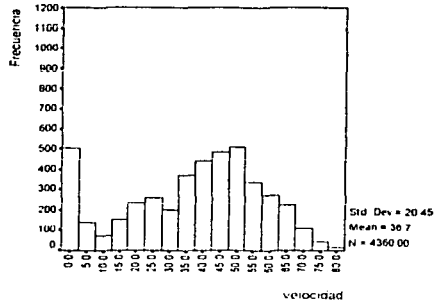
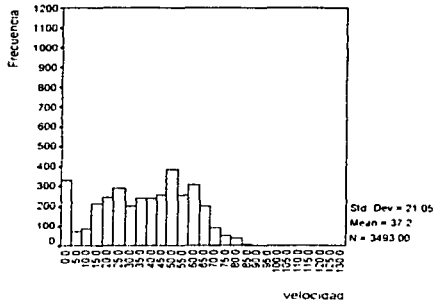
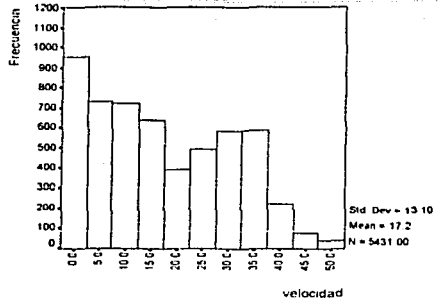
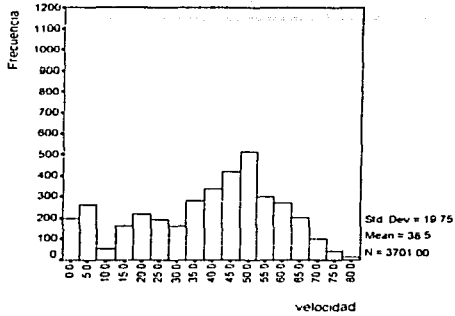
En la tabla A11.5 se observa que para el tratamiento la $F_{\text{calculada}}$ menor que $F_{\text{teórica}}$ lo cual indica que el horario no influye significativamente a le tiempo cero (se acepta H_0 las medias son iguales), no así para los días donde $F_{\text{calculada}}$ mayor que

$F_{teórica}$ lo cual indica que los días influyen significativamente al tiempo cero (se rechaza H_0 , por lo tanto las medias son diferentes).

En la tabla A11.6 se observa que para el tratamiento y el bloque la $F_{calculada}$ menor que $F_{teórica}$ lo cual indica que el horario y los días no influye significativamente a la velocidad máxima (se acepta H_0 , por lo tanto las medias son iguales).

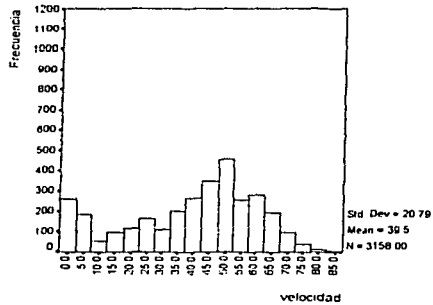
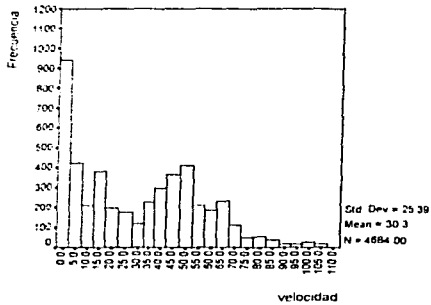
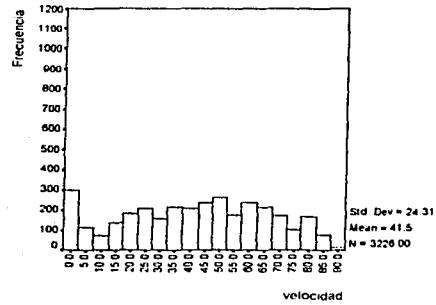
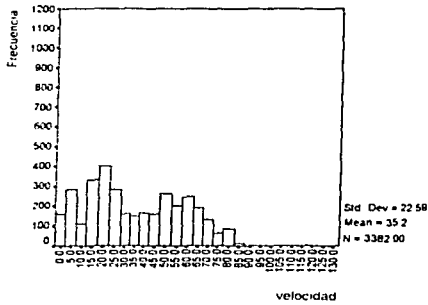
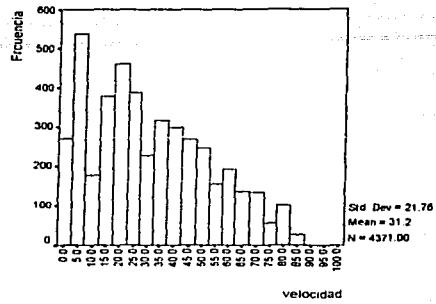
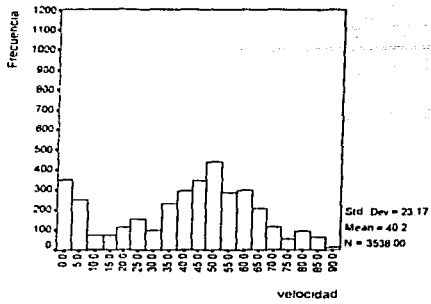
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA



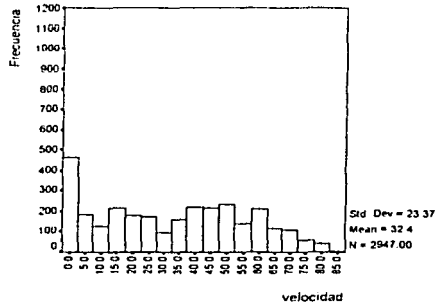
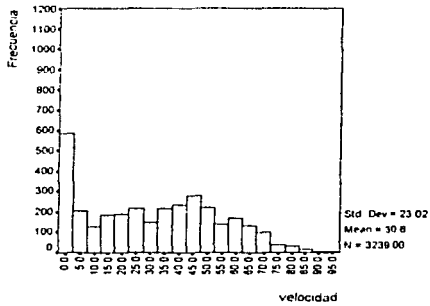
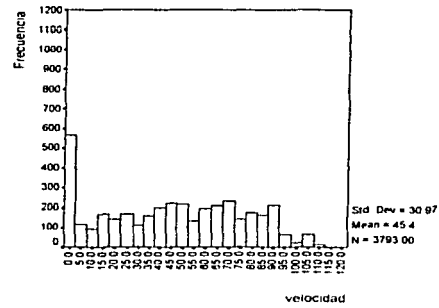
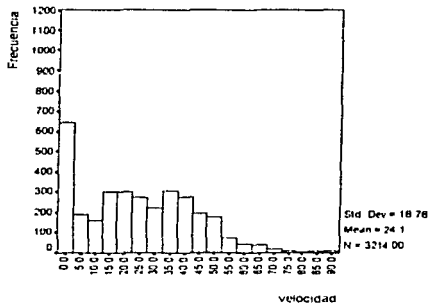
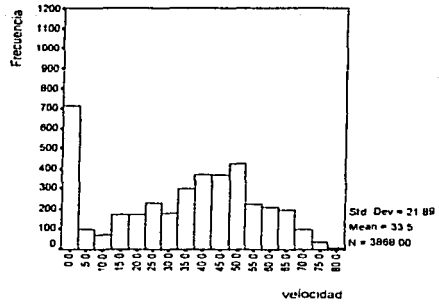
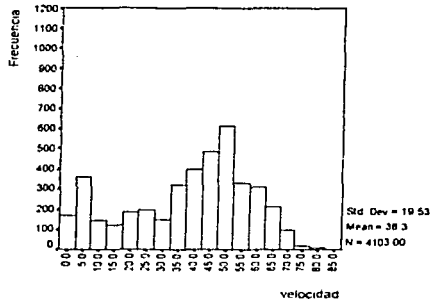
Histogramas de frecuencia de las 8:00 a:m

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



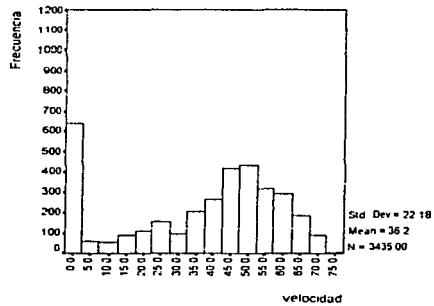
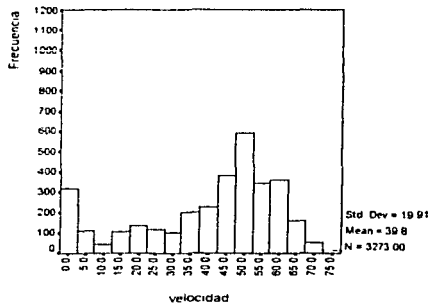
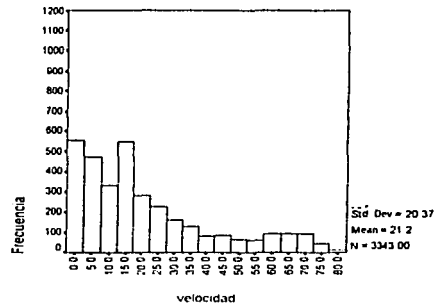
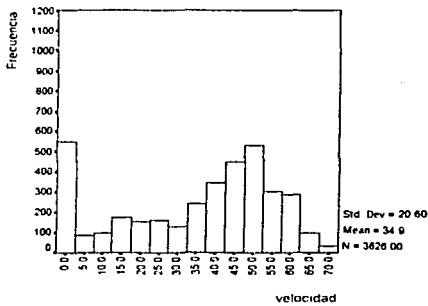
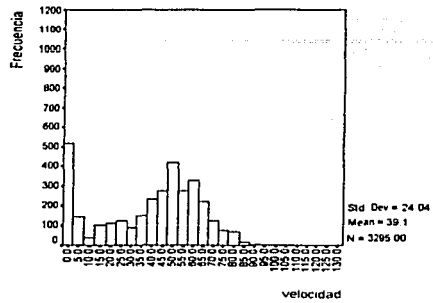
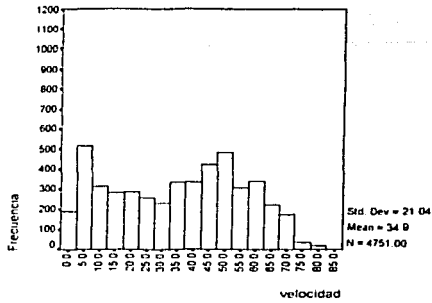
Histogramas de las 11:00 am

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



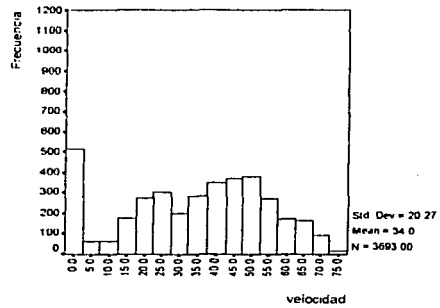
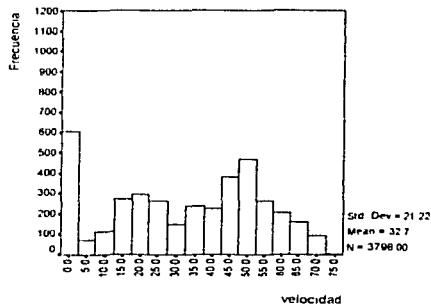
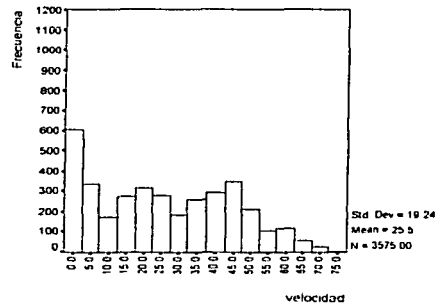
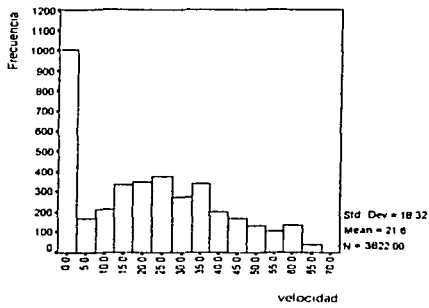
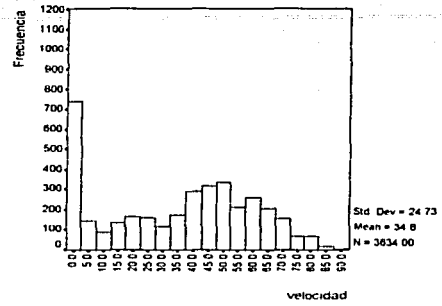
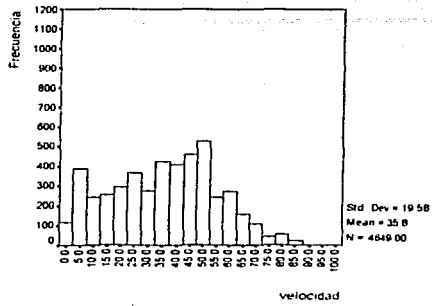
Histogramas de las 14:00 pm

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Histogramas de las 17:00pm



Histogramas de las 20:00pm

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Anexo III

Modelo con un solo factor de efectos fijos. Los niveles del factor escogidos específicamente por el experimentador, las conclusiones a las que se lleguen, después de realizar la prueba de hipótesis, no podrán extenderse a otros tratamientos del mismo factor no considerados en forma explícita para el análisis.

En este caso, el modelo lineal que describirá los valores de los datos provienen de una muestra es:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, k \\ J = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

En donde:

μ : es el efecto medio global para todos los tratamientos

α_i : es el efecto del conductor (a tres niveles diferentes)

e_{ij} : es el error experimental

Y_{ij} = j-ésima observación tomada para el i-ésimo tratamiento.

El interés primordial para este diseño consiste en probar que las variancias para los efectos de todos los tratamientos, de los cuales k constituyen una muestra aleatoria y representativa, es nula, es decir, que todos los tratamientos provocan un efecto similar. Lo anterior equivale estadísticamente a decir que todos los tratamientos pueden considerarse como uno solo.

La hipótesis nula es, entonces

Hipótesis con una significancia $\alpha = 0.5$

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ (no existe diferencia en la V_m por el conductor)

O, equivalentemente.

ESTA TESIS FUE REALIZADA
DE LA BIBLIOTECA

$H_1 : Y_{ij} = 0$ no hay efectos de tratamiento, al menos una media es diferente (existe diferencia en la V_m por el de conductor)

El estadístico de la prueba que se empleará para este modelo es F , con $k-1$ y $N-k$ grados de libertad en numerador y denominador respectivamente. (Villarreal, 1996).

F_0 es la F calculada mediante:

$$F_0 = \frac{MS_B}{MS_W}$$

Donde: MS_B Valor medio cuadrático entre las muestras

MS_W Valor medio cuadrático dentro de las muestras

F_T es F de tablas, $\alpha = 0.5 \%$

Si F_0 menor que F_T se acepta H_0

Si F_0 mayor que F_T se rechaza H_0

Estadística de dos poblaciones

Para que dos poblaciones se consideren iguales, tienen que tener media (μ) y variancias (σ^2) iguales

$$\mu_1 = \mu_2 \quad \text{y} \quad \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Para su comprobación hay que realizar dos pruebas.

Las hipótesis son:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \text{ diferente } \sigma_2^2$$

$$H_1 : \mu_1 \text{ diferente } \mu_2$$

La primera que se realiza es la de igualdad de variancias.

Donde la hipótesis es:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \text{ diferente } \sigma_2^2$$

El estadístico de la prueba es la F de Fisher

F_0 es la F calculada mediante:

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde:

S_1^2 es la variancia insesgada de la muestra que presenta mayor dispersión

S_2^2 es la variancia insesgada de la muestra que presenta menor dispersión

F_T es F de tablas, $\alpha = 0.5 \%$

Si F_0 menor que F_T se acepta H_0 (las variancia son iguales)

Si F_0 mayor que F_T se rechaza H_0

Si la primera prueba resulta con variancias iguales, entonces se realiza la segunda prueba, para comprobar la igualdad de medias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Donde su hipótesis es:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \text{ diferente } \mu_2$$

El estadístico de esta prueba es:

T student si n es menor a 30 y σ_x desconocida

t_0 es la t_0 calculada mediante:

$$t_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\varepsilon \sqrt{(1/n_1 + 1/n_2)}}$$

En donde: \bar{X}_1 es la media de la población uno

\bar{X}_2 es la media de la población dos

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(n_1-1)S^2_1 + (n_2-1)S^2_2}{n_1+n_2-2}}$$

n_1 es el tamaño de la población uno

n_2 es el tamaño de la población dos

t_T es t de tablas con n_1+n_2-2 grados de libertad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si t_0 es menor que t_T se acepta H_0 (las medias son iguales)

Si t_0 es mayor que t_T se rechaza H_0

Si n es mayor a 30 o la variancia poblacional es conocida se utiliza el estadístico Z

Z_0 es la t_0 o Z_0 calculada mediante

$$Z_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)}}$$

Z_T es Z de tablas, $\alpha = 0.5\%$

Si Z_0 es menor que Z_T se acepta H_0 (las medias son iguales)

Si Z_0 es mayor que Z_T se rechaza H_0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN