

**“DETERMINACION DE LOS FACTORES DE EMISION PARA FUENTES VEHICULARES CIRCULANDO EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MEXICO EN UNIDADES DE GRAMOS POR KILOMETRO, VMAS”**

## Introducción

En 1898 entró a México el primer automóvil, el auto era francés, marca Delaunay Belleville, hecho a mano en las fabricas de Couvier.

En 1930 habían 88,443 vehículos en la república Mexicana que contaba entonces con 16'588,522 habitantes, esto es, 187.6 habitantes por vehículo; en 1938 la relación era de 150 y en 1946 de, 114. Posteriormente, en las décadas de los 70's y 90's ésta relación ha oscilado entre 16 y 12, lo que representa un aumento desmesurado del parque vehicular, en comparación con el poco tiempo de su aparición de manera comercial.

La tabla 1 muestra la distribución del parque vehicular a través de los años, como es de imaginarse, existe el problema permanente y cada vez más creciente de controlar el flujo de vehículos y abatir las emisiones contaminantes de los mismos.

Tabla 1. Crecimiento del parque vehicular en la Ciudad de México

<b>Año</b>	<b>Total de Vehículos</b>	<b>Automóviles</b>	<b>Autobuses</b>	<b>Camiones</b>	<b>Motocicletas</b>
1925	21209	15063	2622	3059	465
1930	31994	22487	2071	7068	368
1935	29158	22686	1616	4502	354
1940	48134	35520	2255	8616	1743
1945	59549	45304	2621	9806	1815
1950	74327	55014	4280	12895	2138
1955	150584	110339	6958	27685	5602
1960	248048	192557	6910	35161	13410
1965	379204	313055	6993	45711	13445
1970	717672	589615	9890	76500	41667
1975	1199471	1004154	12898	107954	74465
1980	1869808	1601867	14487	187205	66249
1985	1590181	1416310	11661	137877	24333
1990	2274614	2044940	10864	196489	22321

Fuente: Anuario de transporte y vialidad de la Ciudad de México, Dirección General de Estadística

Para ayudar a resolver el problema de tráfico en las ciudades, se requiere saber el funcionamiento de los vehículos en condiciones de uso cotidianas, además, esta información puede utilizarse también para otros propósitos como son los desarrollos tecnológicos, por ejemplo, probar combustibles, diseñar partes automotrices, elaborar inventarios de emisiones, homologar vehículos, etc.

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) [1].

Este procedimiento emplea un ciclo de manejo que se obtuvo en la Ciudad de los Angeles California, en un recorrido típico de casa al trabajo por la mañana, y 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**".

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 [3], 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 estriba en que la primera etapa se inicia con el motor totalmente frío.

Desde ese año este ciclo ha sido utilizado como procedimiento de prueba 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 Norte América (EUNA), 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.

En otros países del mundo se han hecho investigaciones para determinar ciclos de manejo específicos, mismos que se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2. Ciclos de manejo**

<i>CE</i>	<i>EPA</i>	<i>Japón</i>
R1504	FTP 1972	10 – MODE
R1505	FTP 1974	14 – MODE
	FTP 1975	
	HWFET	

También es importante mencionar que existe una diversidad de ciclos de manejo que han sido elaborados en función del peso bruto vehicular; **todo esto en conjunto, tiene como finalidad adicionalmente a la de fijar límites de emisiones de gases contaminantes, el de incidir drásticamente en una mejor cuantificación de las emisiones vehiculares.**

Han sido diversos los métodos que se han empleado para la obtención de ciclos de manejo. 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 manejo, 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.

En la ciudad de México se han realizado estudios por parte de la Secretaría de Transporte y Vialidad enfocados a monitorear los volúmenes de tránsito en las principales avenidas de esta gran ciudad, pero este enfoque del problema, aunque importante, es un enfoque parcial, que debe y tiene que ser complementado y reforzado con estudios como los que se han comentado en este trabajo, a fin de obtener una prueba representativa y confiable.

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 consumo inadecuado del combustible, por lo tanto una baja temperatura de operación y de combustión, ocasionando un aumento en la emisión de los contaminantes.

## Diseño experimental

El primer paso consiste en investigar los datos de los autos de mayor circulación, para tener una mejor apreciación de las características del parque vehicular. La fuente informativa, ha sido la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), la cual reporta la venta de vehículos a nivel nacional, de las empresas automotrices que representa.

AUDI, BMW, CHRYSLER, FORD, GM, HONDA, MERCEDEZ BENZ, NISSAN, VW, etc.

A continuación se presenta la siguiente clasificación de los diversos tipos de automóviles que la industria automotriz comercializa:

**AUTOS SUBCOMPACTOS:** son unidades con una distancia entre ejes de hasta 2,475 mm; con un motor de 4 cilindros de hasta 1800 cm<sup>3</sup> de desplazamiento y potencia de hasta 110 HP.

**AUTOS COMPACTOS:** son unidades con una distancia entre ejes de 2,476 hasta 2,700 mm; con motores de 4 ó 6 cilindros de hasta 2500 cm<sup>3</sup> de desplazamiento y potencia de 110 hasta 135 HP.

**AUTOS DE LUJO:** son unidades con una distancia entre ejes de 2,601 hasta 3,000 mm; con motores de 4, 6, 8 ó 12 cilindros de 3200 a 6000 cm<sup>3</sup> de desplazamiento y potencia de 136 hasta 394 HP.

**AUTOS DEPORTIVOS:** son unidades con una distancia entre ejes de 2,601 hasta 3,000 mm; con motores de 4, 6 u 8 cilindros de 2000 a 4600 cm<sup>3</sup> de desplazamiento y potencia de 160 a 295 HP, estas unidades también poseen dispositivos especiales en su motor como: turbo cargadores o un mayor número de válvulas en cada cilindro.

La tabla 3 muestra un resumen anual de ventas al mayoreo de automóviles por todas las empresas agrupadas en la AMIA, desde 1988 hasta 1997, clasificados por tipo de vehículo.

Cabe mencionar que el término: ventas al mayoreo, se debe entender como la venta realizada por la empresa ensambladora de vehículos a su red de distribuidores, incluyendo las unidades importadas.

**Tabla 3. Resumen anual de ventas al mayoreo de automóviles**

CATEGORIAS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Subcompactos</b>	93211	123030	189177	199817	208933	192410	214294	47786	80212	132953	188738
<b>Compactos</b>	87713	115784	121195	143447	177246	161381	152811	52785	92869	147944	153260
<b>De Lujo</b>	14018	17322	20933	23324	30942	21062	21947	10437	17720	17245	25487
<b>Deportivos</b>	16180	18369	21303	25522	28182	24290	25602	6385	9301	5416	6197
<b>Total</b>	211122	274505	352608	392110	445303	399143	414654	117393	200102	303558	373682

La tabla 4 presenta la información porcentual.

**Tabla 4. Resumen anual de ventas al mayoreo en forma porcentual**

CATEGORIAS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Subcompactos</b>	44.2	44.8	53.7	51.0	46.9	48.2	51.7	40.7	40.1	43.8	50.5
<b>Compactos</b>	41.5	42.2	34.4	36.6	39.8	40.4	36.9	45.0	46.4	48.7	41.1
<b>De Lujo</b>	6.6	6.3	5.9	5.9	6.9	5.3	5.3	8.9	8.9	5.7	6.8
<b>Deportivos</b>	7.7	6.7	6.0	6.5	6.3	6.1	6.2	5.4	4.6	1.8	1.6
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

En la tabla anterior se observa que la venta de automóviles subcompactos y compactos supera en mucho a los de lujo y deportivos, por lo cual es evidente que la muestra de los vehículos más representativos del parque vehicular se encuentra en éstos dos rubros, sin embargo se debe considerar que se tendrá que poner especial atención a los demás rubros, considerando que cuentan con motores más grandes y en algunos casos más revolucionados.

Por otra parte, queda la incógnita de que marcas y modelos pudieran ser los vehículos más representativos del parque vehicular que se ha vendido en México desde 1988 a la fecha, es importante destacar que no se dispone de la distribución vehicular por marca y submarca, pero que en su momento en el estudio se deberá considerar.

Las marcas que se han vendido más desde 1988 a noviembre de 1998, se presenta en las tablas 5, 6, 7 y 8 para autos subcompactos y compactos vendidos al mayoreo y en la Ciudad de México. Las marcas predominantes son VW y NISSAN, donde el modelo VW es el sedan 1600 enfriado por aire y para NISSAN es el Tsuru. Por otra parte, las marcas de mayor venta de vehículos compactos en el ámbito nacional son Chrysler y Ford.

**Tabla 5. Clasificación por marca de ventas de vehículos subcompactos al mayoreo.**

AÑO	FORD	GM	NISSAN	VW
1988	0	0	6741	37199
1989	0	0	66610	56420
1990	0	0	78491	110686
1991	0	0	76287	123530
1992	0	0	94439	113294
1993	0	0	73714	118696
1994	0	17510	89171	107513
1995	0	1404	22775	23607
1996	0	23582	20318	36078
1997	0	48850	38522	45581
1998	5375	68699	54442	60222

**Tabla 6. Ventas de vehículos compactos al mayoreo**

<b>AÑO</b>	<b>CHRYSLER</b>	<b>FORD</b>	<b>GM</b>	<b>HONDA</b>	<b>NISSAN</b>	<b>VW</b>
1988	42570	19116	9738	0	0	16289
1989	51493	33714	11535	0	0	19042
1990	46150	35355	18251	0	0	21439
1991	54305	38914	26484	0	0	2374
1992	69555	44267	34181	0	316	28932
1993	49255	36534	35723	0	8189	31680
1994	42626	32213	31176	0	8080	38716
1995	15647	13634	16704	0	2970	8117
1996	19998	25534	16976	347	15983	14031
1997	38367	33342	26363	2985	21688	23054
1998	40555	27419	23978	5186	24041	32081

**Tabla 7. Venta de vehículos subcompactos en la Ciudad de México.**

<b>AÑO</b>	<b>FORD</b>	<b>GM</b>	<b>NISSAN</b>	<b>VW</b>
1985	0	0	17800	29964
1986	0	0	15629	17673
1987	0	0	17741	21712
1988	0	0	20068	22564
1989	0	0	20830	34518
1990	0	0	25481	53426
1991	0	0	27824	66490
1992	0	0	33317	63106
1993	0	0	27313	67657
1994	0	7097	26357	75215
1995	0	1068	7524	7538
1996	0	8421	8772	13172
1997	0	18139	14583	19794
1998	1388	17316	14226	28123

**Tabla 8. Venta de vehículos compactos  
en la Ciudad de México.**

<b>AÑO</b>	<b>CHRYSLER</b>	<b>FORD</b>	<b>GM</b>	<b>HONDA</b>	<b>NISSAN</b>	<b>VW</b>
1985	9618	10604	3685	0	0	5426
1986	9422	5857	2991	0	0	3991
1987	6209	4486	3332	0	0	3567
1988	15441	7023	4472	0	0	1954
1989	18070	12348	6944	0	0	216
1990	16890	13314	12037	0	0	49
1991	22872	15212	13654	0	0	0
1992	24650	16285	17534	0	0	0
1993	21190	12623	17951	0	0	0
1994	20143	10408	11218	0	2533	15621
1995	7986	6016	5508	0	949	2489
1996	7750	10685	5819	347	5693	5321
1997	12861	12678	11642	1795	7558	9298
1998	9369	7691	5721	2382	6288	15482

**Conceptos estadísticos.**

**Importancia de la Aleatorización.**

Quando en un experimento, se investiga la diferencia entre dos variables, se corre el riesgo de que una de ellas este influenciada por algún efecto difícil de aislar de dicho experimento. Esto podría provocar que los resultados observados mostraran diferencias significativas entre ambas variables, entonces se dice que hay un sesgo, cuando el muestreo se hace de manera aleatoria, entonces se garantiza que cualquiera de las dos variables tiene la posibilidad de ensayarse bajo las circunstancias que pudieran ser más favorables. Este importante principio, es ilustrado en detalle por Fisher, en donde además, esto sucede tantas veces como lo permiten los cálculos que se usan para las pruebas de significación de límites de confianza. Por otra parte, la aleatorización no puede ser tan abierta, debido a que se corre el riesgo de que la experimentación se cargue hacia una de las variables (tratamientos) en este sentido la mayor parte de los muestreos de experimentos se estructuran mediante restricciones propias de aleatorización. Un buen diseño, permite al experimentar, incrementar la precisión de dicho experimento, además de permitir la aleatorización adecuada que evite sesgos provenientes de fuentes de variación extrañas que tienden a encubrir sus defectos comúnmente denominadas como errores experimentales, donde la palabra error no implica una equivocación sino todas las variaciones extrañas.

Por lo general, se piensa que los estadísticos son la forma de obtener inferencias de los resultados experimentales. Sin embargo las inferencias que podrían hacerse dependen de la forma como fue hecho el experimento, es decir, para que la estadística proporcione la información confiable necesita tener una descripción detallada del diseño del experimento y sus

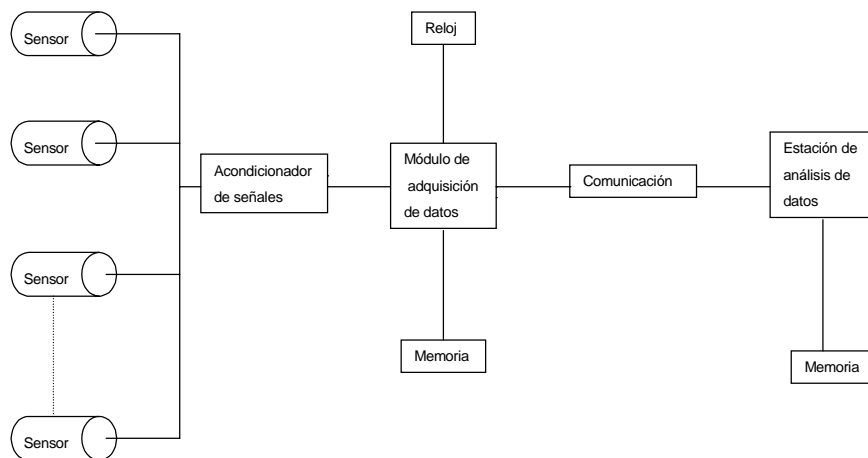
finalidades, de no ser así se corre el riesgo de no poder obtener las inferencias, o que éstas no den respuesta satisfactoria a las necesidades del investigador.

En el diseño de experimentos, se usa el término tratamientos para denominar los diferentes procesos cuyos defectos van a ser medidos o comprobados, en la selección de estos, es importante definir cada uno de ellos y entender el papel que juegan para alcanzar los objetivos del experimento, pero además, los resultados de los experimentos están afectados no solamente por la acción de los tratamientos, sino también por las variaciones extrañas que tienden a encubrir sus defectos llamados errores experimentales, de los cuales se pueden distinguir dos fuentes principales: la primera se debe a la variación inherente al material experimental al cual se aplican los tratamientos. Es característico de tales unidades que produzcan diversos resultados aun cuando se ajusten al mismo tratamiento, esas diferencias contribuyen a formar el error experimental. La segunda fuente de variabilidad es la falta de uniformidad en la conducción física del experimento; es decir, la diferencia en poder uniformizar la técnica experimental.

La precisión deseada en el experimento se puede fijar empleando cualquiera de las dos siguientes formas; ya sea mediante la especificación del tamaño de la verdadera diferencia que el experimento va a detectar por medio de una prueba de significancia o mediante la especificación de que tan aproximado se desea estimar la diferencia verdadera, estableciendo la amplitud del intervalo de confianza que se desearía tener para esta última diferencia.

La figura 1 muestra el diagrama del sistema de adquisición de datos utilizado para realizar las pruebas de medición con el equipo VMAS.

**Figura 1. Sistema de Adquisición de Datos**



Con el fin de tener el módulo de adquisición de datos completo se tuvieron que acoplar la tarjeta y el convertidor analógico digital para la medición de par y velocidad del dinamómetro, para esto se tuvieron que adaptar algunas conexiones colocando protecciones pertinentes para las posibles fallas en el sistema, todo esto en su conjunto se colocó en el gabinete destinado para dicho módulo junto con la parte correspondiente al de medición de emisiones. Actualmente se tiene un

sistema de adquisición de datos completo y un módulo de adquisición de datos con sus respectivas protecciones contra sobre corriente.

El software de la tarjeta se tiene que instalar en una PC compatible además de adaptar un cable para comunicación vía puerto serial entre la tarjeta y la PC, para transportar las señales provenientes de los diferentes sensores y el montaje de los mismos en un gabinete, esto implica diseñar soportes y conexiones especiales.

El sensor de velocidad entrega una serie de pulsos, es decir, es la frecuencia de la señal que se genera con el movimiento de los rodillos durante la prueba, la información es registrada segundo a segundo, Con relación a la medición de par, se utiliza como sensor una celda extensiométrica o celda de carga. La capacidad de memoria que tiene este sistema para almacenar los datos es de 400 Kbytes, se están monitoreando cuatro variables cada segundo, y para pasarlo a tiempo efectivo de memoria disponible se efectúan las siguientes operaciones:

Se pasan primero los 400 Kbytes a Bytes, 1 Kbyte es igual a 1024 bytes por lo que se multiplica  $1024 * 400$  obteniendo 409600 bytes y se están monitoreando cuatro variables cada segundo por lo que se divide entre 4 para obtener el tiempo efectivo en segundos es decir 102400 s, que al pasarlo a horas tenemos 28.44 horas de memoria disponible.

Actualmente se ha desarrollado un software para la comunicación serial RS232 del sistema de adquisición con la estación de análisis (anализador de gases), de tal forma que el ambiente sea amigable con el usuario.

Se utilizo un diseño de experimento, considerando los siguientes aspectos:

1. El diseño debe permitir la flexibilidad completa. Puede usarse cualquier número de tratamientos.
2. El número de repeticiones es el mismo para cada tratamiento (el ciclo de prueba será el mismo aún con diferentes vehículos).
3. Los errores experimentales no difieren de un tratamiento a otro.
4. La perdida de los datos faltantes, si los hubiera, es de menor importancia que en cualquier otro diseño, considerando que se llevaran a cabo cuando menos 3,000 pruebas.

### **Análisis de resultados**

En primer lugar se pretende elaborar los histogramas de frecuencia de emisiones por tipo de vehículo (carrocería, año modelo, número de cilindros, desplazamiento, etc.), para observar como se presenta la tasa de emisión, con el propósito de identificar donde se presenta la mayor diferencia y con esto realizar el análisis de la influencia por tipo de marca y submarca del vehículo.

**Equipo VMAS**

Para efectos de dar cumplimiento a las bases establecidas en los términos de referencia del estudio **“DETERMINACION DE LOS FACTORES DE EMISION PARA FUENTES VEHICULARES CIRCULANDO EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MEXICO EN UNIDADES DE GRAMOS POR KILOMETRO, VMAS”**, la empresa cuenta con tres equipos disponibles, uno de ellos se instalo en el centro de verificación 9019 del distrito Federal, uno más se encuentra aún en proceso de instalación, ya que no se han dado las condiciones necesarias en el Estado de México.

Descripción de la Tecnología



A diferencia de los equipos utilizados en los programas de inspección y mantenimiento se presenta una alternativa de bajo costo como ejemplo podemos citar a los equipos utilizados en la prueba IM240 (prueba de inspección y mantenimiento con una duración de 240 segundos) con una correlación aceptable basado en estudios independientes.

Con el principio de medición infrarrojo no dispersivo se tiene una correlación mayor al 99% para óxido nítrico (NO) y monóxido de carbono (CO); en tanto que para hidrocarburos (HC) se tiene del 95%.

En fechas próximas la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA) espera otorgar el reconocimiento de emisiones equivalentes con respecto a la medición de los ya tradicionales equipos de inspección y mantenimiento.

## Antecedentes

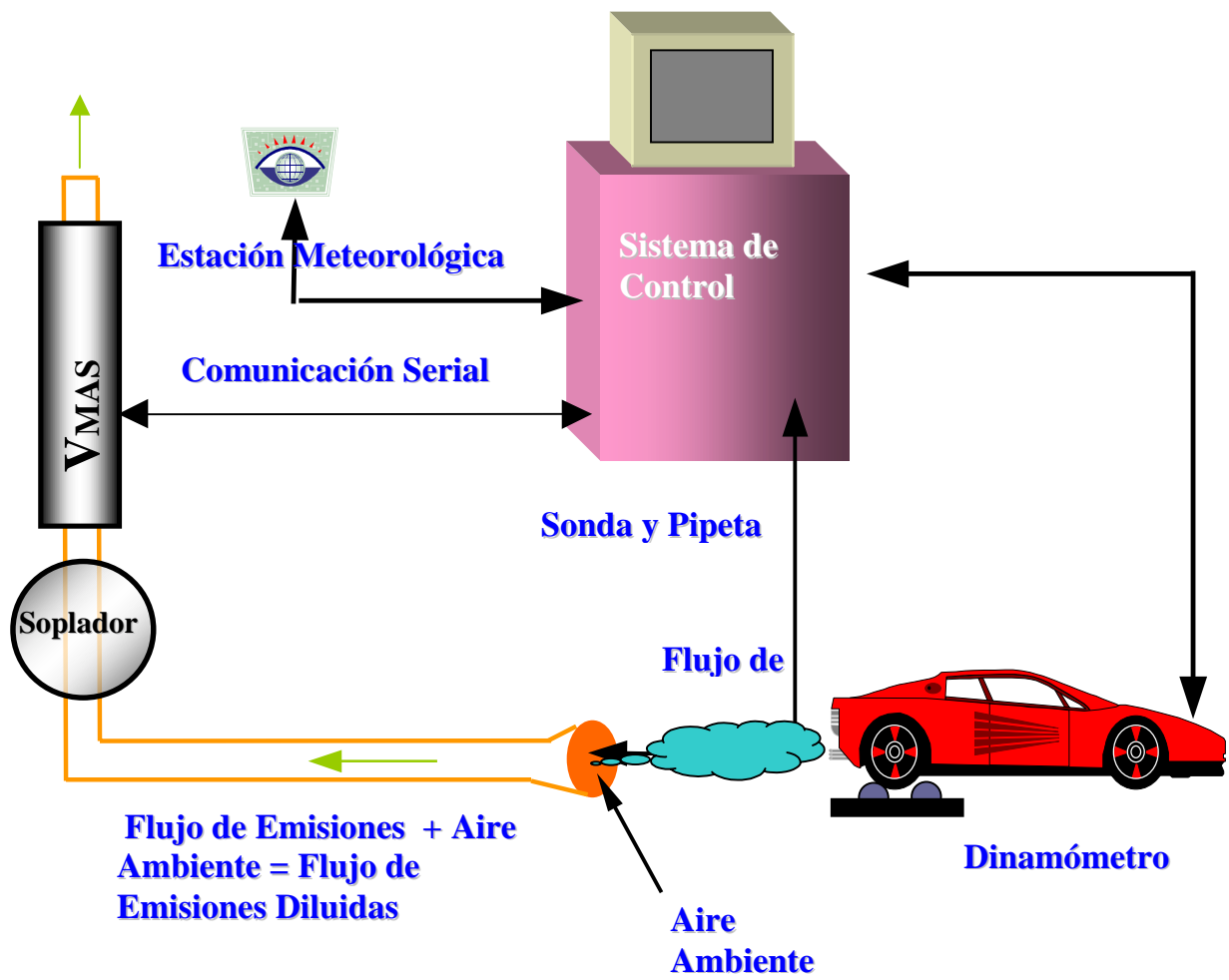


- Alternativa de bajo costo al IM240 con correlación sobresaliente basado en estudios independientes.
- IDR > 99% para NO y CO; 95% para HC
- EPA espera a otorgar reconocimiento de emisiones equivalentes.

## Programas en U.S.

- Mas de 4,300 talleres en Estado de New York ejecutando pruebas con carga en transito de medición en masa, probando (6.5 millones de pruebas al año) desde Noviembre, 1998.
- Aproximadamente 1200 talleres en Massachusetts en-línea desde Octubre, 1999 (2.1 millones por año).
- 400 talleres in Rhode Island inician pruebas de masa en transito en Enero, 2000 (700,000 pruebas anuales).
- Estados de Texas, Ontario, Maryland, North Carolina en proceso de toma de decisiones.

# Sistema de Prueba



## ¿Porque medir en Masa ?

Pequeños Vehículos con motor de 2.5 litros

Grandes Vehículos con motor de 5.0 litros



Concentración: 300 ppm (pasa)

300 ppm

Masa: 2 gramos/Kilómetro  
gramos/Kilómetro

4

(pasa)

(falla)

¿Porque medir en Masa ?

- La Medida en concentración no toma en cuenta el volumen de las emisiones (capacidad de motor).

- Beneficia a los vehículos grandes y injustamente castiga a los propietarios de vehículos pequeños.
- La medida en masa es justa e igual para todo los vehículos.

Masa = Concentración x densidad x Volumen de emisión

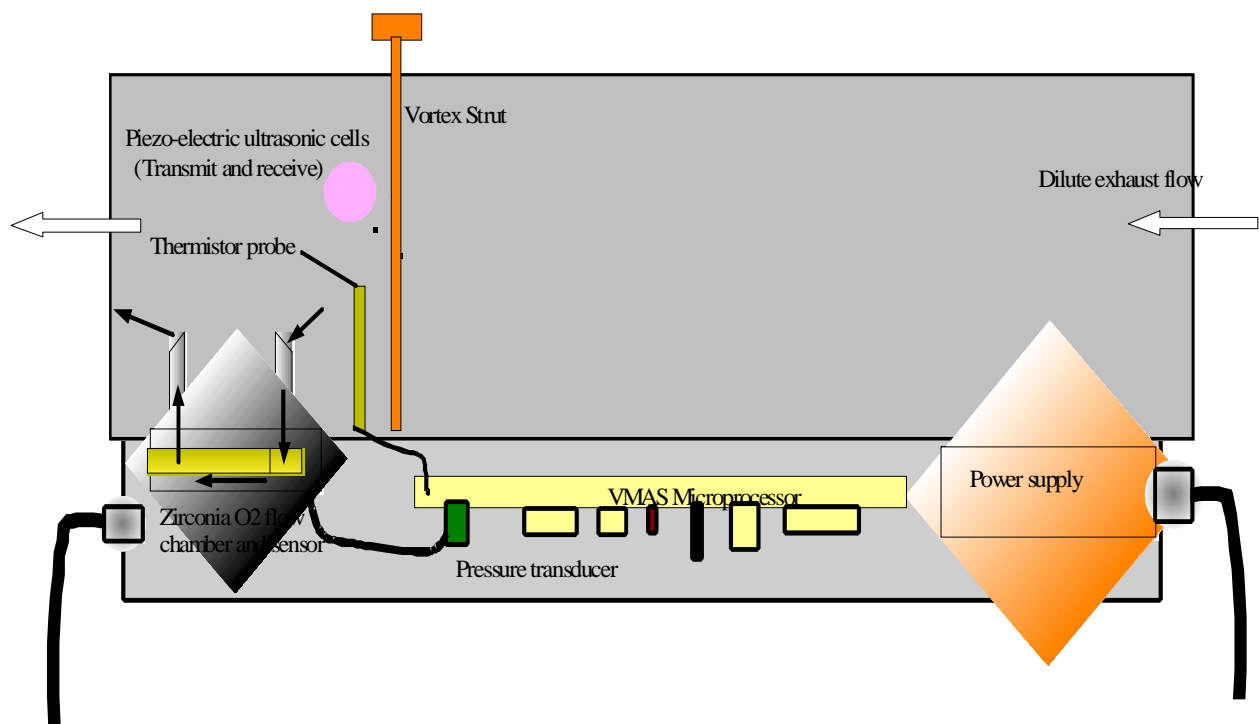
¿Que Hace el VMAS™?

- Provee medidas criticas del volumen de emisión cada segundo durante la prueba en transito

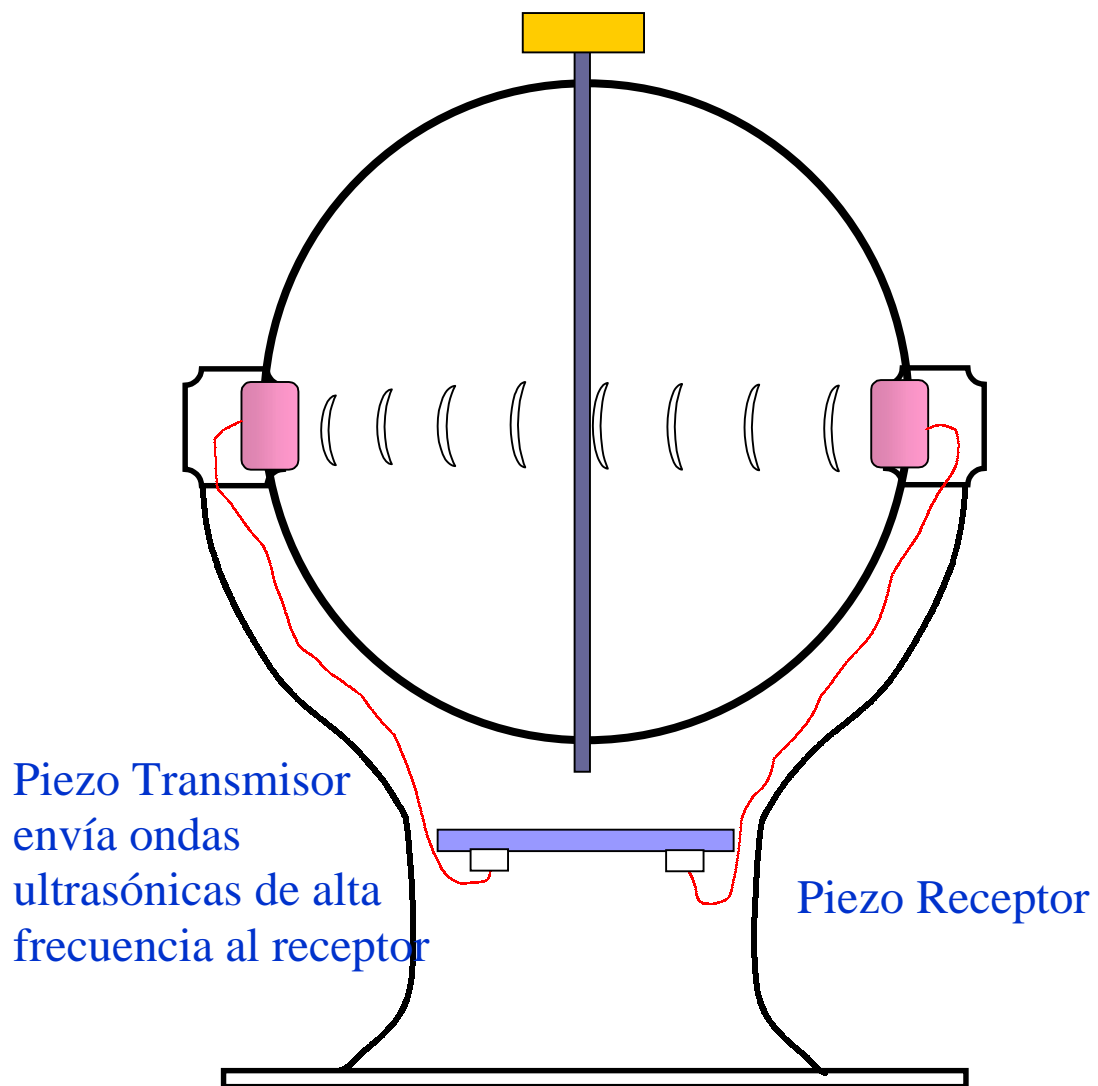
usando la tecnología del flujo metro vortex y el radio de dilución de oxígeno.

- Recolecta segundo a segundo (SPS) información de concentración desde el banco de gases, y ajusta el tiempo con las medidas del flujo de emisión.
- Calcula SPS emisiones en masa (gramos/segundo) para todos los gases.
- Calcula la composición gramos por kilómetro (GPK), y retransmite al equipo principal.

# Componentes VMAS™ :Flujometro Vortex, sensor O2, Microprocesador y Comunicaciones

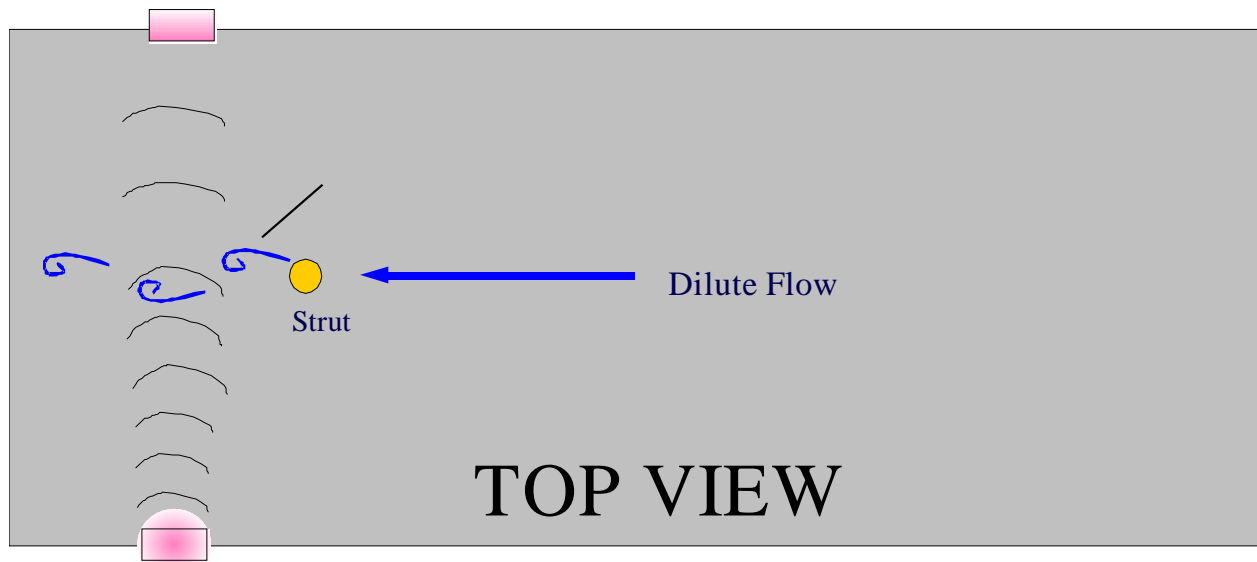


## Flujo metro Vortex VMAS™ Vista al Final



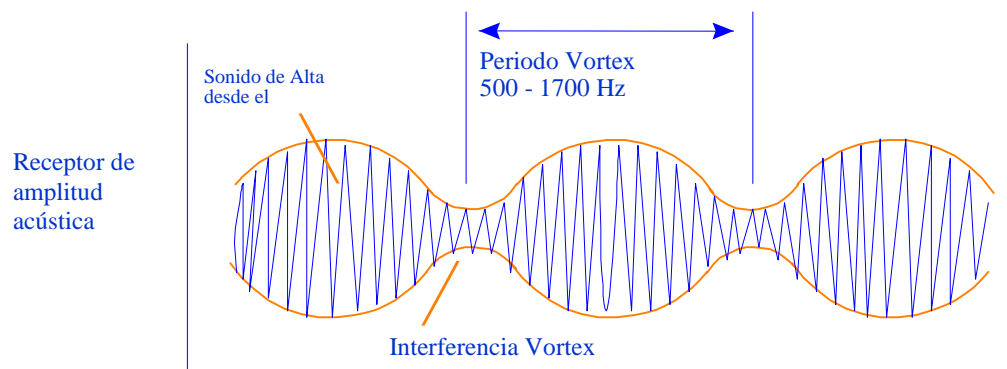
## Flujo metro Vortex VMAS™

Piezo Receptor "Escucha" por interferencia vortex



Piezo Transmisor

## Medida de flujo VMAS™ por conteo de vortices en el tiempo



## Ventajas VMAS™ Flujo metro Vortex

- Sin restricciones al flujo – bajo costo, 110V soplador en el sistema
- Inmune al ruido arrastrado – solo mide frecuencia de las ondas de sonido, no amplitud
- Linear – requiere solo 2 puntos de calibracion. Sin curvas complicadas.

- Compensado para Temperatura y Presión

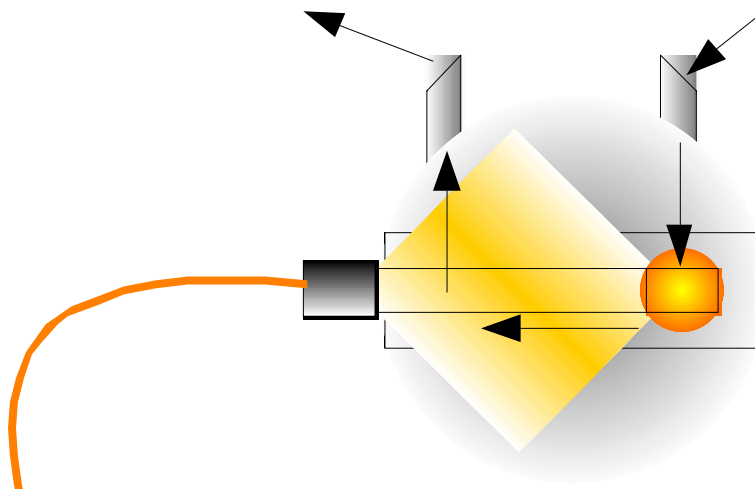
VMAS™ usa el Radio de dilución de O<sub>2</sub>  
para calcular el flujo de emisiones

$$\begin{aligned} \text{Radio de Dilución} &= (\text{O}_2 \text{ Ambiente} - \text{O}_2 \text{ Diluido}) / (\text{O}_2 \text{ Ambiente} - \text{O}_2 \text{ Crudo}) \\ &= \text{Flujo emitido} / \text{Flujo diluido} \end{aligned}$$

- El O<sub>2</sub> de Ambiente y diluido son medidos ambos por el VMAS™ sensor zirconia.

- Cualquier desviación en el sensor es cancelada por la medida de la *diferencia* O<sub>2</sub> (ambiente - diluido).
- El O<sub>2</sub> crudo es medido por el analizador de gases

### Ventajas del Censor de Zirconia O<sub>2</sub> VMAS™



- No requiere sistema de acondicionamiento de muestra
- La muestra es forzada en la cámara de O<sub>2</sub> por presión dinámica
- Calentado a 700 C. No existen problemas de condensación de agua

## Ventajas del Censor de Zirconia O2 VMAS™

- Muy Rápido – tiempo total de respuesta del sistema a T90 < 2 segundos.
- Lineal desde el ambiente a 0%.
- Único punto de calibración con aire ambiente - rápido, automático.
- Larga duración. Las unidades de prueba pueden hacer miles de pruebas sin falla

## Sistema de prueba VMASTM



**Cálculos para la  
Potencia al freno (carga aplicada)**

En México en materia de control de emisiones existen dos tipos de regulaciones para vehículos automotores, la primera de ellas es para los vehículos nuevos en planta y la segunda para vehículos en circulación.

Para las pruebas de vehículos nuevos en planta se tienen dos tipos de pruebas, la diferencia entre una y otra depende del peso bruto vehicular (PBV).

Para los vehículos que tienen un PBV igual o menor a 3856 kg., la regulación se rige con base en el procedimiento de prueba FTP 75 de Estados Unidos (Federal Test Procedure), asimismo el tipo de equipo que se utiliza para realizar las pruebas se conoce como CVS (Constant Volume Sampling), tanto el procedimiento de prueba como las características del equipo se encuentran contenidas en la Norma Mexicana NMX-AA-11-1993-SCFI.

Para garantizar la repetibilidad en la prueba FTP 75, se considera un preacondicionamiento del vehículo, (el motor debe estar apagado por un periodo no menor a 12 horas y no mayor a 36 horas) así como de condiciones ambientales controladas de temperatura (de 20 a 30 °C) y humedad, con ello se mantienen las mismas condiciones del vehículo que influyen en la prueba, como lo son la temperatura del motor del vehículo y los sistemas de control de emisiones, sin embargo la prueba no es aplicable para revisiones de alto volumen y de manera continua, por los costos de operación y mantenimiento que se generan.

La regulación para vehículos en circulación debe tener procedimientos de prueba orientados a la verificación masiva, con el objetivo principal de realizar pruebas representativas que permitan lograr una mejor regulación de las emisiones vehiculares.

La prueba actual de verificación vehicular para vehículos que no excedan de 3856 kg. de PBV, fue tomada del Acceleration Simulation Mode (ASM) y del documento de especificaciones BAR 97, del estado de California de la Unión Americana y fue adaptado a las condiciones que se presentan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México considerando el nivel tecnológico y de mantenimiento de la flota vehicular prevaleciente.

### **Análisis de la carga en pruebas de aceleración simulada**

Con los datos de peso inercial, velocidad en la etapa de prueba y la tasa de aceleración se presenta la siguiente ecuación de potencia ó carga:

$$Pot = 0.5mva.....(1)$$

donde :

*Pot = potencia requerida para vencer el efecto inercial del vehiculo*

*m = peso inercial del vehiculo*

*v = velocidad de la etapa de prueba*

*a = tasa de aceleración*

Análisis dimensional:

$$Pot = m[\text{kg.}]v\left[\frac{m}{s}\right]a\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$Pot = [W]$$

pero si el resultado se requiere en HP

$$Pot[Hp] = \frac{Pot[W]}{745.6}$$

donde :

$$1Hp = 745.6W$$

De la ecuación 1 y del análisis dimensional, consultando el documento emitido por el Buro de Reparaciones Automotrices (BAR-97) “**EMISSIONS INSPECTION SYSTEM SPECIFICATIONS**” emitido en mayo de 1996, el valor del peso inercial debe estar en libras para que la formula sea valida, ya que de no ser así los valores se reducen hasta en más de un 50 %.

Para efectos de la prueba propuesta, se considera que la aplicación de éste criterio de carga no es conveniente, ya que durante el ciclo se presentan estados transitorios, en el código federal de regulaciones se establece la metodología para el cálculo de carga, considerando aspectos de perfil aerodinámico, velocidad, taza de aceleración, etc., estos mismos aspectos quedan resumidos en la tabla 1 de la norma NMX-AA-11-1993-SCFI, “Método de Prueba para la Evaluación de Emisiones de Gases del Escape de los Vehículos Automotores Nuevos en Planta que usan Gasolina como Combustible”, misma que se presenta a continuación:

<b>Peso del vehículo con carga en Kg.</b>	<b>Masa de inercia equivalente en Kg.</b>	<b>Carga de camino requerida a 80 Km./h en caballos de potencia.</b>
<b>Hasta 511</b>	454	5.9
<b>512 a 625</b>	454	6.5
<b>626 a 739</b>	680	7.1
<b>740 a 851</b>	895	7.7
<b>852 a 962</b>	910	8.3
<b>963 a 1,080</b>	1,025	8.8
<b>1,081 a 1,193</b>	1,135	9.4
<b>1,194 a 1,305</b>	1,230	9.9
<b>1,306 a 1,480</b>	1,365	10.3
<b>1,481 a 1,705</b>	1,590	11.2
<b>1,706 a 1,930</b>	1,820	12.0
<b>1,931 a 2,160</b>	2,040	12.7
<b>2,161 a 2,380</b>	2,270	13.4
<b>2,381 a 2,610</b>	2,500	13.9
<b>2,611 en adelante</b>	2,500	14.4

Considerando que las pruebas se llevarán a cabo en un dinamómetro de chasis, se deben tomar en cuenta las pérdidas generadas entre las llantas del eje de tracción del vehículo y los rodamientos de los rodillos en donde se encuentran soportados los neumáticos.

Realizando un análisis dinámico de la prueba, en los neumáticos y los rodillos se presenta una resistencia al rodamiento, de igual forma se presenta una resistencia similar en los rodamientos de todos

los elementos rotatorios del dinamómetro, con base en ello la potencia demandada al vehículo se define mediante la siguiente ecuación:

$$\text{TOTPOT} = \text{POTPAU} + \text{RESROD} + \text{PERPAR} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

TOTPOT = Potencia al freno aplicada al vehículo.

POTPAU = Potencia aplicada por la unidad de absorción de potencia

RESROD = Resistencia al rodamiento entre el rodillo del dinamómetro y la llanta del vehículo.

PERPAR = Perdidas generadas por fricción en los rodamientos.

Para evaluar la resistencia al rodamiento el Buro de Reparaciones Automotrices establece la siguiente metodología:

Se deben caracterizar adecuadamente las perdidas generadas entre el rodillo del dinamómetro y la rueda del vehículo, para ello se tienen que determinar los siguientes coeficientes, mismos que están en función del diámetro del rodillo.

<b>Para rodillos de cualquier diámetro:</b>
At = (0.xx/50) x (GTRL@50mph)
Bt = (0.yy/2500) x (GTRL@50mph)
Ct = (0.zz/125000) x (GTRL@50mph)
<b>Para rodillos de 8 pulgadas de diámetro</b>
At8 = (0.76/50) x (- 0.378193 + (0.0033207 x DAXWT))
Bt8 = (0.33/2500) x (- 0.378193 + (0.0033207 x DAXWT))
Ct8 = (-0.09/125000) x (- 0.378193 + (0.0033207 x DAXWT))
<b>Para rodillos de 20 pulgadas de diámetro</b>
At20 = (0.65/50) x (.241645 + (0.0020844 x DAXWT))
Bt20 = (0.48/2500) x (.241645 + (0.0020844 x DAXWT))
Ct20 = (-0.13/125000) x (.241645 + (0.0020844 x DAXWT))

Donde:

- At, Bt, Ct son los coeficientes que caracterizan las perdidas entre el rodillo y la llanta.
- At8, Bt8, y Ct8 son los coeficientes para dinamómetros que cuentan con rodillos de 8.65 pulgadas de diámetro.
- At20, Bt20, y Ct20 son los coeficientes para dinamómetros que cuentan con rodillos de 20 pulgadas de diámetro.
- DAXWT es el peso del eje de tracción del vehículo

Con los coeficientes obtenidos, se determina la resistencia al rodamiento “RESROD” para cada velocidad con la siguiente ecuación:

$$\text{RESROD}_{@OBSMPH} = \text{At} \times \text{OBSMPH} + \text{Bt} \times \text{OBSMPH}^2 + \text{Ct} \times \text{OBSMPH}^3 \dots \dots \dots (3)$$

donde:

*OBSMPH = velocidad de la etapa de prueba en millas por hora*

Para la evaluación de las pérdidas parásitas podemos partir de la siguiente ecuación:

$$Pot = 0.5maV \dots\dots\dots(4)$$

Que puede escribirse de la siguiente forma :

$$Pot = m \left( \frac{Vi + Vf}{2} \right) \left( \frac{Vi - Vf}{t} \right) \dots\dots\dots(5)$$

el primer parentesis corresponde a la velocidad promedio

el segundo parentesis corresponde a la aceleracion

Simplificando queda

$$Pot = 0.5m \left( \frac{Vi^2 - Vf^2}{t} \right) \dots\dots\dots(6)$$

Consideraciones:

- Las unidades de la masa deben estar en kilogramos.
- Las unidades de la velocidad en m/s.
- El tiempo en segundos.

La ecuación obtenida sirve para determinar las pérdidas parásitas del dinamómetro, desde luego el valor de la masa es la del dinamómetro, asimismo hay que considerar el efecto de la masa, más no de su peso, ya que se puede tener un peso en el dinamómetro de 1000 kg. y el efecto puede ser de 1200 kg. o en determinado momento menor, es decir se debe considerar el efecto del momento de inercia, que en términos de potencia queda definido de la siguiente forma:

$$Pot = Ixx\alpha\omega \dots\dots\dots(7)$$

donde :

$Ixx$  = momento de inercia en el sentido de rotación

$\alpha$  = aceleración angular

$\omega$  = velocidad angular

Con esto queda definida la ecuación de la potencia total aplicada al vehículo, en este sentido la potencia al freno aplicada por la unidad de absorción de potencia y las perdidas por resistencia al rodamiento pueden agruparse en un solo término, sin embargo en lo referente a las pérdidas parásitas no se puede hacer lo mismo, ya que depende en gran medida del uso o mantenimiento que se de al equipo, por lo que deberá medirse periódicamente e incluirlo dentro del calculo de potencia aplicada al vehículo.

Avances y problemática presentada

## **Cronología de actividades:**

<b>Actividad</b>	<b>Fecha</b>
Adjudicación del estudio a nuestra empresa.	14 de Julio de 2003
Firma de Contrato	1° de agosto del 2003
Emisión de solicitud de apoyo a las autoridades encargadas de los programas de verificación mediante oficios dirigidos al Dr. Víctor Hugo Páramo Figueroa, Director General de Gestión Ambiental del Aire, Secretaria del Medio Ambiente, del Gobierno del Distrito Federal y al Lic. Humberto Ortiz Wetzel, Director General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, Secretaria de Ecología, Gobierno del Estado de México.	7 de Agosto de 2003
Carta de asignación de domicilio para el desarrollo de pruebas en el Estado de México por parte del Lic. HUMBERTO ORTIZ WETZEL para el verificentro No. TL-0971 mediante oficina SE/DGPCCAT/2121100000/OF.3480/2003	18 de Agosto de 2003
Llámesese "ESTADO DE MEXICO"	
Cambio de domicilio ya que el verificentro No. TL-0971 se encontraba en mala situación financiera y no podía dejar de percibir ingresos con una línea compartida	5 de Septiembre de 2003
Ingreso en el nuevo verificentro asignado CI-0943 como domicilio para llevar a cabo las pruebas, al llegar el centro de verificación se encontraba con una línea desinstalada y dos funcionando y no permitieron nuestro ingreso hasta el día lunes en el cual ya habían desinstalado una línea mas y solo operaban con una línea la cual ante la presión de la autoridad accedieron a compartirla con las pruebas del estudio, para hacer pruebas se necesita ingresar al gabinete del equipo de verificación ya que el control del dinamómetro se encuentra dentro, lo cual permitió el fabricante del equipo de verificación el día miércoles	8 de Septiembre de 2003

Recepción del personal de Sensors Inc. Para llevar a cabo pruebas en las instalaciones de la empresa 11 de Septiembre de 2003

Resultado: dos pruebas realizadas ya que es imposible compartir la instalación del dinamómetro, debido a que el equipo de verificación mantiene línea viva sobre el dinamómetro y el control del equipo VMAS también lo tiene y en cualquier momento de no sincronización se puede dañar el equipo de control del dinamómetro.

El verificentro CI-0943 entro en proceso de cambio de marca de equipo de verificación por lo que no se pudo continuar con las pruebas y por otra parte se requiere para el estudio una línea dedicada 12 de Septiembre de 2003

Carta en la que el DR. VICTOR HUGO PARAMO FIGUERO agradece las facilidades a La Empresa CONTROL ATMOSFERICO DE MEXICO, S.A. DE C.V. para hacer pruebas en sus instalaciones, llámese "D. F." 8 de Septiembre de 2003

Tramites de entrega de documentación para elaborar contrato en comodato de la empresa CONTROL ATMOSFERICO DE MEXICO, S.A. DE C.V. y la empresa "SISTEMAS DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION, S.A. DE C.V. para llevar a cabo pruebas en sus instalaciones Del 8 de Septiembre al 29 de Septiembre del 2003

Firma de Contrato para llevar a cabo los trabajos en las instalaciones



## **Definiciones y nomenclatura**

## **Definiciones:**

### *Dinamómetro de chasis*

Conjunto de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que son utilizados para simular las condiciones de conducción de un vehículo en carretera.

### *Motor*

Conjunto de componentes mecánicos que transforman el combustible en energía cinética para autopropulsar un vehículo automotor que se identifica entre otros, por su disposición y distancia entre los centros de los cilindros, tipo de combustible, así como por el número y volumen de desplazamiento de los pistones.

### *Par de frenado*

Fuerzas generadas en la unidad de absorción de potencia del dinamómetro que se oponen al movimiento propio del vehículo y que llevadas a determinada velocidad se transforman en una potencia demandada al vehículo.

### *Peso bruto vehicular (PBV)*

Es el peso máximo del vehículo especificado por el fabricante expresado en Kg., consistente en el peso nominal del vehículo sumado al de su máxima capacidad de carga, con el tanque de combustible lleno a su capacidad nominal.

### *Peso Inercial (PI)*

El peso inercial se define como el peso vehicular sin carga más 136 Kg., y es utilizado para calcular los caballos de potencia al freno demandados al vehículo durante la prueba dinámica.

### *Peso vehicular sin carga*

Es el peso real del vehículo automotor expresado en Kg.

### *Unidad de absorción de potencia*

La unidad de absorción de potencia o (Power Absortion Unit) "PAU" es el elemento del dinamómetro encargado de generar el par de frenado, aplicado al vehículo durante la prueba.

## Nomenclatura

bhp = Caballos de potencia al freno

°C = Grados centígrados

cms.= Centímetros

IT = Inercia total del dinamómetro.

I/M = Inspección y mantenimiento.

Kg. = Kilogramos.

kph = Kilómetros por hora.

kw = Kilowatts.

Lb-ft = Libras pie.

Lbs = Libras

Nm = Newton metro.

m/s = Metro sobre segundo.

$m/s^2$  = Metro sobre segundo al cuadrado.

PBV = Peso Bruto Vehicular

PERPAR = Pérdidas parásitas del dinamómetro debidas a fricción en los rodamientos.

PI = Peso inercial.

POTPAU = Potencia aplicada por la unidad de absorción de potencia del dinamómetro.

RESROD = Resistencia al rodamiento entre el neumático y el rodillo.

rpm = Revoluciones por minuto

TCD = Tiempo Calculado de desaceleración en segundos.

TOTPOT = Potencia total en la prueba.

TRD = Tiempo Real de desaceleración en segundos.

$V_{14}$  = Velocidad en m/s a 14 kph.

$V_{30}$  = Velocidad en m/s a 30 kph.

$V_{34}$  = Velocidad en m/s a 34 kph.

$V_{50}$  = Velocidad en m/s a 50 kph.

## Bibilografía

1. Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, **Órgano informativo Mensual**.
2. Montgomery, **Diseño y Análisis de Experimentos** (2ª Ed. 2002) WILEY.
3. EPA, **Federal Test Procedure Review Project: Preliminary Technical Report, May 1993**, March 1998, pp. 1-207.
4. Secretaría de Transporte y Vialidad, **Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995- 2000**, versión 1999.
5. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México; Programa Integral Contra la Contaminación atmosférica en la ZMVM. **Modernización del programa de verificación vehicular en la ZMVM**; CMPCCVM ; 10 de enero de 1994.
6. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México; **La Contaminación Atmosférica en el Valle de México**. Acciones para su control 1988 - 1994 ; CMPCCVM ; 1994.
7. AMIA: Asociación Mexicana de la Industria Automotriz; **Boletín Informativo AMIA N° 356, agosto y 358**; Octubre de 1995; México.
8. M. André, **Driving Cycles Development: Characterization of the Methods**, SAE Technical Paper Series 961112.
9. Per Kågenson, **Cycle-Beating and the EU Test Cycle for Cars**, European Federation for Transport and Environment, T&E 98/3 November 1998.
10. T. Felstead, G. Marsden, M. McDonald, **AVERT- Developing drive cycle to illustrate driving conditions in Southampton**, Transportation Research Group, University of Southampton, UK, 2001. A interim report.
11. M. Brackstone, M. McDonald, B. Sultan, **Dynamic Behavioral Data Collections Using an Instrumented Vehicle**, Transportation Research Record 1689, paper No. 99-2535.
12. André Michel **Building-up of representative driving cycle for the measurement of pollutant emissions from road vehicles**, doctoral thesis, INRETS, 1998.
13. Michel André, **Driving Cycles driven from real-world in-vehicle measurement for passenger cars and light duty vehicles: principles, database and main results**.
14. Dirección General de Investigación de la Contaminación Urbana Regional y Global "Manual Técnico de Verificación 2002", Instituto Nacional de Ecología SEMARNAT, pp 120-131, 138-140.
15. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Especificaciones del Programa de Cómputo para los Equipos Automatizados de Prueba y Análisis de Emisiones Vehiculares que se utilizan en el programa de Verificación Vehicular Obligatorio de la Ciudad de México, Secretaría del Medio Ambiente Gobierno del Distrito Federal, capítulo tercero, revisión 14 enero de 1997.

16. Comisión Ambiental Metropolitana, Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México "PROAIRE 1995-2000", pp 157-159.
17. New York Test Specifications, "Enhanced I/M Program Technical Specifications Software Design Phase II", chapter 1, September 17, 1998.
18. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Norma Mexicana NMX-AA-11-1993-SCFI, **Método de Prueba para la Evaluación de Emisiones de Gases del Escape de los Vehículos automotores nuevos en planta que usan gasolina como combustible.**