

Determinación de Emisiones en masa para Contaminantes de Origen Vehicular

J. Soto Nilo¹, S. Díaz Carmina², M. Salinas Salas², J. Carrasco Núñez³

¹ Departamento de Química, Facultad de Ciencias, USACH- Chile.

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, USACH- Chile.

³ Departamento de Mecánica Automotriz, INACAP- Chile.

Resumen. En esta última década el problema de la contaminación ambiental ha llegado a ser crítico en la ciudad de Santiago de Chile, debido en gran parte al incremento de las emisiones de origen vehicular. Estas emisiones han aumentado el promedio de la carga de contaminación de la zona capital, deteriorando considerablemente la calidad del aire, en especial el de la zona céntrica. La causa directa de éste daño se debe al funcionamiento de las mismas. A esto debemos sumar, las malas condiciones de calles y avenidas, el nivel de congestión local, la desincronización de semáforos y la distribución mal planificada de los edificios que bloquean una distribución libre del aire.

1. Introducción

En esta última década el problema de la contaminación ambiental ha llegado a ser crítico en la ciudad de Santiago de Chile, debido en gran parte al incremento de las emisiones de origen vehicular. Estas emisiones han aumentado el promedio de la carga de contaminación de la zona capital, deteriorando considerablemente la calidad del aire, en especial el de la zona céntrica. La causa directa de éste daño se debe al funcionamiento de las mismas. A esto debemos sumar, las malas condiciones de calles y avenidas, el nivel de congestión local, la desincronización de semáforos y la distribución mal planificada de los edificios que bloquean una distribución libre del aire.

La evaluación de las emisiones de origen vehicular, han sido una constante preocupación del Ministerio de Salud, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, y últimamente de la Intendencia de la Región Metropolitana. De ésta forma se han ordenado diferentes estudios que conduzcan por una parte a un inventario de Emisiones, un Derecho a Emisiones o Impuestos y otros orientados a la caracterización del Material Particulado.

A la fecha, sólo se han obtenido inventarios estimados para la ciudad de Santiago de Chile, basándose en factores bibliográficos que en ningún caso reflejan las verdaderas emisiones de nuestros vehículos.

Los factores de emisión representan las emisiones en masa, es decir, la masa de contaminante, en gramos por unidad de actividad, ya sea litros de combustible o kilómetros recorridos. Estos factores dependen fundamentalmente del tipo del vehículo, del estado mecánico del mismo, del tipo de combustible usado y de la forma de conducción; los cuales suelen variar notablemente de un país a otro, e incluso, dentro de un mismo país de una ciudad a otra. Todas éstas variables quedan caracterizadas a un “Ciclo de Conducción” de los cuales hay muchos alrededor del mundo.

2. Ciclos De Conducción

- a) Ciclo federal de los Estados Unidos y dentro del mismo país el ciclo de California.
- b) Ciclo de la Comunidad Económica Europea que se aplica en la mayoría a los países de ese continente excepto Suecia que se basa en el de USA.
- c) Tres ciclos de conducción japoneses para tres categorías diferentes de vehículos.
- d) Ciclo de conducción de la India.
- e) Ciclo de conducción Australiano.

En América Latina, no se han reportado ciclos de conducción, ni mucho menos referencias de evaluación de emisiones vehiculares. Para hacer éstas evaluaciones tampoco tiene sentido utilizar un ciclo cualquiera, de lo anteriormente mencionado, ya que son propios del país que los origina. Cabe mencionar que las emisiones difieren hasta en un 25% según el ciclo que se utilice.

En Chile los antecedentes disponibles indican que no se han determinado factores de emisión reales, que hayan sido obtenidos de acuerdo a un Ciclo de Conducción y, a una metodología internacionalmente aceptada. Sólo se dispone de emisiones horarias para distintos modos de funcionamiento, tales como aceleración, crucero, frenado ralentí.

En muchos estudios donde se desea una evaluación rápida de la carga contaminante, es práctico utilizar factores de emisiones bibliográficos, sin embargo cuando lo que se requiere es la obtención de un inventario real de emisiones, se debe disponer de factores propios que hayan sido determinados experimentalmente y para las diferentes categorías de vehículos.

Considerando éstos antecedentes que son de gran interés, en especial para las autoridades que se deberán legislar sobre la materia, hemos fijado los siguientes objetivos para el presente trabajo:

OBJETIVOS

- ❖ Adaptar una metodología de análisis de acuerdo a nuestra realidad y determinar así un ciclo de conducción.
- ❖ Reproducir este ciclo en un dinamómetro de rodillos con cilindro inercial.
- ❖ Establecer una metodología para determinar los contaminantes gaseosos y particulado.

3. Desarrollo De Un Modelo De Evaluación

3.1. Ciclo de Conducción

La tutoría en éste aspecto la ha tenido Estados Unidos. La preocupación comenzó en 1963, año en que se aprobó la revista científica “El Acta Del Aire Limpio”, la que fuera elaborada con el objeto de estimular la actividad humana para luchar contra la contaminación del aire.

El primer ciclo de conducción utilizado para ponderar las emisiones vehiculares se le llamó Test Federal, basado en 7 regímenes de conducción, cuyas principales etapas las podemos consignar en el siguiente esquema:

Esquema del Test Federal de la conducción USA

- Con un arranque inicial en frio los cuatro primeros ciclos son de “calentamiento” y se les asigno un peso estadístico del 35%.
- El 5% ciclo es solo de transferencia.
- El 6% y 7% se les llamo ciclos estabilizado térmicamente a los que se les asigno un peso estadístico del 65%.
- Las emisiones medidas se reportaron en unidades de concentración en volumen.

Las emisiones contaminantes se reportaron en unidades de concentración; posteriormente, se admitió que la forma más adecuada para medir parámetros emisivos era en masa y no en concentración volumétrica, lo que condujo a que entre los años 70 y 71 el Test Federal fijará sus estándares en masa, como se muestra en la tabla de valores adjunta.

Tabla 1. Estándares de emisiones, para gases de escape de automóviles en USA

Año	HC/(gr/Km)	CO/(gr/Km)	NOX(gr/Km)	Partículas (gr/Km)
Antes de los controles	7,0	50,0	2,5	-
Test Federal				
58 – 69	2	21		
70	1,4	14		
71	1,4	14	2,5	-
CVS				
1				
71	2,9	29		
72	2,1	24	2,5	-
74	2,1	24	1,9	
CVS				
3				
76	0,26	2,1	0,25	0,06

Esto se logró multiplicando las concentraciones gaseosas por la densidad del contaminante y por el volumen de gas de escape emitido que varía en función de la cilindrada del vehículo.

Para los coches del año 1972 y posteriores, se consideró en USA un nuevo Test, que se le llamó CVS (muestreo a volumen constante), que se describe a continuación:

❖ CVS (Constant Volume Sampler)

- El auto se somete a un periodo de espera de 12 hr en un ambiente entre 15°C y 30°C.
- Se procede con un arranque del motor en frío y se continua con una secuencia de conducción por 505 seg.
- Para los vehículos comprendidos entre 1972 y 1974 se utiliza un (1) globo para recoger los gases diluidos y se habla de CVS-1.
- Para modelos 1975 y posteriores se utiliza el llamado CVS-3, cuyo mecanismo es idéntico al CVS-1, sólo que se utilizan tres(3) globos.

❖ CVS-3

- Completado los primeros 505 seg. Del CVS-1 se cambia el globo de la etapa transitoria a la estabilizada.
- El globo transitorio es analizado inmediatamente.
- Desde los 505 seg. Hasta 1.370 seg. Se recogen los gases diluidos en el globo estabilizado.
- Se detienen por 10 min. Se repiten los 1^{eros} 505 seg. Con partida en caliente recogiendo los gases en un tercer globo.
- Se hacen los análisis por separado y se les asigna un peso estadístico.

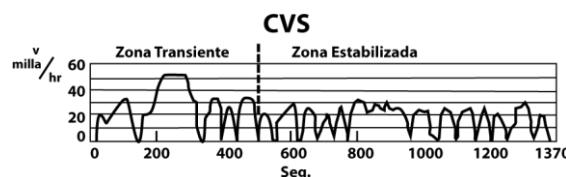


Fig. 1. Muestreo a volumen constante

La filosofía para la construcción del ciclo de conducción en Santiago de Chile, se basó en un análisis de promedio de curvas de velocidad versus tiempo, para cada fase de funcionamiento. Los datos se obtuvieron midiendo un gran número de vehículos bencineros livianos (70 vehículos) a las condiciones de tráfico común y en un recorrido preestablecido, siendo éste un enfoque similar al utilizado en Japón y en Europa, sin embargo los ciclos de USA y Australia, se basan en estudios sobre un

vehículo de prueba que sigue las condiciones del tráfico real para el cual se repiten muchos recorridos idénticos.

Debe dejarse establecido que el ciclo usado en nuestras pruebas es válido para el área de restricción vehicular, ya que fue elaborado con un recorrido de 2 Km en esa zona y, pensando que el problema mayor de contaminación vehicular, se presenta en el área de restricción según lo señaló el Ministerio de Salud y la Intendencia de la Región Metropolitana.

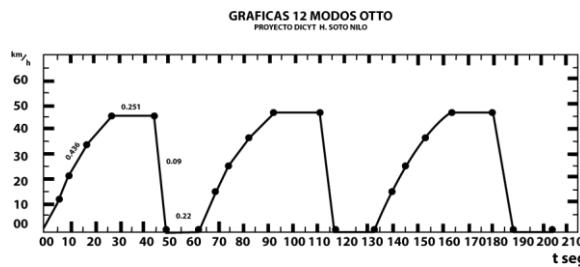


Fig. 2. Gráficas 12 modos autos DTT0

Este ciclo de 12 modos, tiene una velocidad máxima de crucero 50Km/hr. Los pesos estadísticos promedio para los modos de Aceleración, Crucero, Desaceleración o frenado y relantí son respectivamente de un 43,6%, 25,1%, 9% y 22, sólo que en el esquema han sido presentados en tanto por uno.

3.2. Túnel de Dilución.

Una de las variables más difíciles de solucionar en los procesos de medición de contaminantes emitidos por motores, es la ruptura del flujo pulsante que los caracteriza. Para lograr éste objetivo se hizo necesario la construcción de un “Túnel de dilución” de acuerdo a normas establecidas por la SAE.

El Túnel de dilución cumple 3 objetivos básicos:

- Transforma el flujo pulsante en continuo, es decir un flujo turbulento y de perfil plano con $nRE > 4000$, lo que se logra con una relación largo/diámetro mayor o igual a 20.
- Evita a través de la dilución con aire, que condense vapor de agua, producto de la combustión, ya que éste solubilizaría contaminantes de interés tales como $HCHO$, SO_2 Y NO_x y se obtendrían resultados erróneos en la zona de muestreo.
- El test se realiza siempre a volumen constante de $300(\pi\text{e}^3/\text{min})$ ya que la bomba de circulación centrifuga tiene caudal de arrastre constante. Como se conoce la velocidad y área de entrada del gas de escape al túnel, es decir su caudal, por diferencia se puede determinar el caudal de aire, cualquiera que sea la condición de operación del vehículo en ese instante, éste hecho

permite realizar el balance de masa para cualquier contaminante en el túnel de dilución.

Un esquema simplificado lo podemos representar como se indica en la figura 3, se realizaron de acuerdo al ciclo de circulación pre-establecido usando vehículos bencineros, sin equipos de control y de mediana cilindrada, todos ellos fabricados entre los años 1977 y 1980, sólo dos vehículos petroleros en donde en forma condensada se resume un balance monóxido de carbono (CO).

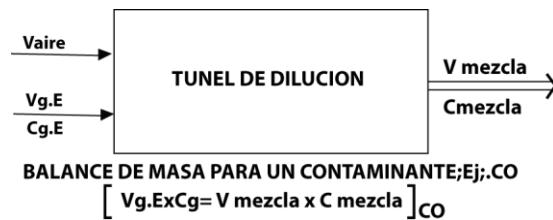


Fig. 3. Túnel de dilución

4. Desarrollo Experimental

Las experiencias de laboratorio se realizaron de acuerdo al ciclo de circulación pre-establecido usando vehículos bencineros, sin equipos de control y de mediana cilindrada, todos ellos fabricados entre los años 1977 y 1980, sólo dos vehículos petroleros.

La secuencia de operación para el muestreo de emisiones contaminantes, la podemos resumir como sigue:

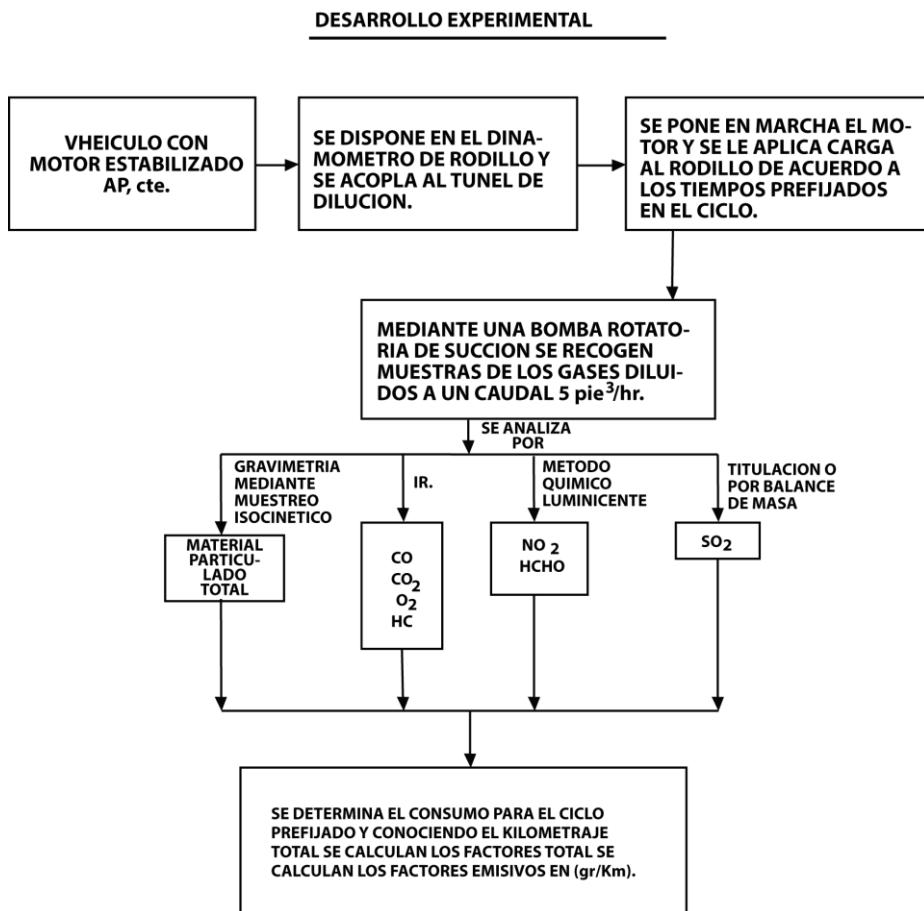


Fig. 4. Desarrollo experimental

Un perfil del equipo utilizado lo podemos apreciar en la siguiente elevación esquemática del túnel de dilución.

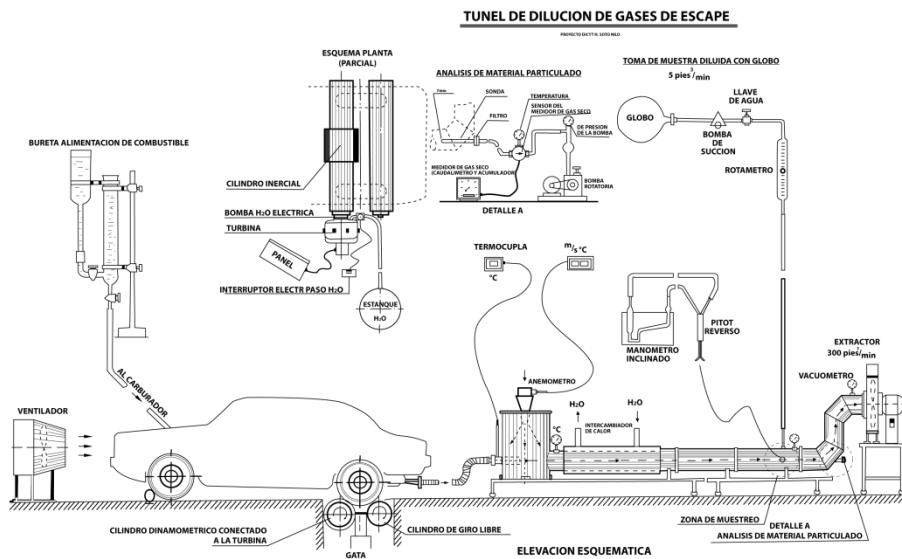


Fig. 5. Túnel de dilución de gases de escape

4.1. Resultados Experimentales

La siguiente tabla de valores reporta los factores emisivos en gr/km para vehículos livianos de mediana cilindrada y a las mismas condiciones mecánicas que se encuentran circulando en la ciudad. Estos resultados son válidos para el área de restricción vehicular establecida para la Intendencia de la Región Metropolitana, ya que el ciclo de conducción fue establecido para esa zona.

Tabla 2. Factores emisivos de vehículos bencineros en (gr./Km)

Vehículos	N NO ₂	SO ₂	CO	HC	HCHO	Part. Total
MAZDA – 323	0,342	0,1246	1,59	0,220	0,0172	0,033
Brasilia – 1600	0,412	0,416	4,08	0,332	0,059	0,031
DATSON – 160 J	0,400	0,263	4,84	0,272	0,029	0,038
Chevette – 1400	0,469	0,295	4,04	0,197	0,107	0,052
DATSON – 120 - Y	0,307	0,109	1,62	0,226	0,039	0,039
Peugeot 404	0,620	0,291	3,69	0,22	0,045	0,031

Tabla 3. Factores emisivos de vehículos petroleros en (gr./Km)

Vehículo	NO ₂	SO ₂	HCHO	Partícula total
M. Benz 240-D	1,14	2,601	0,931	0,763
Peugeot 504-D	1,17	3,122	0,843	0,351

5. Discusión de Resultados

Todas las determinaciones experimentales se realizaron respecto a la norma internacionalmente aceptada, es decir, un caudal de dilución de 297 pie³/min y 8366 lt/min y con variaciones de temperatura, en el gas muestreado, de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ sin condensaciones de vapor de agua y con una razón de dilución de 26:1 en promedio, alcanzando concentraciones lo suficientemente altas para entrar en escala de medición de los equipos y de los sistemas de análisis usados. Bajo estas condiciones, el ciclo de conducción pudo ser reproducido sin mayores inconvenientes coordinando la carga aplicada al dinamómetro con los tiempos preestablecidos en cada uno de los modos (aceleración, crucero, desaceleración y Ralenti) y repetidos éstos cuantas veces fuera necesario para completar el proceso de muestreo.

Los vehículos seleccionados para el análisis correspondiente a automóviles en uso y, sin acondicionamiento mecánico previo. Las medidas se realizaron con motores estabilizados térmicamente y ajenos a cualquier sistema de control de emisiones 48.

En lo que respecta la emisión de monóxido de carbono (CO), el promedio obtenido fue de 3,2 gr. CO/Km con un máximo de 4,84 y un mínimo de 1,62. Estas diferencias son atribuibles al distinto estado mecánico de cada móvil, a la relación aire/combustible (RAC), como también a la diferencias de kilometrajes, lo que implica lógicamente, un factor de deterioro diferente para cada uno, lo cual queda de manifiesto en el “compilation” de la EPA, en donde se reportan los resultados según el año del vehículo. Este contaminante se sabe que depende fuertemente de los parámetros anteriormente señalados. Dado a que el número de vehículos medidos es relativamente bajo como para obtener una muestra promedio representativa, se hace necesario en el futuro y a través de ésta misma metodología, aumentar la información.

Los valores experimentales obtenidos difieren en los reportados por bibliografía extranjera porque el ciclo de conducción utilizado es distinto, del mismo modo, nuestro combustible tiene composición diferente, fundamentalmente en compuestos aromáticos, haciéndolo de ésta forma más resistente a la presión de compresión. Por otra parte en la composición de nuestro parque vehicular se nota una fuerte influencia de la armadura japonesa cuyos estándares de diseño son diferentes a los de USA y Europa, lo que se traduce en variaciones en los niveles de emisión.

Los óxidos de nitrógeno se emiten como una mezcla de NO y NO₂ (mayoritariamente como NO). La metodología de análisis contempla la conversión de NO a NO₂, siendo éste último absorbido en una solución con reactivo específico que genera un compuesto coloreado, cuya concentración se determina por análisis espectrofotométrico. Los valores experimentales entregaron un factor emisivo promedio de 0,427 (gr NOx/Km), notándose poca variabilidad entre un vehículo y otro. Esto podría esperarse ya que los móviles fueron conducidos en forma similar (ciclo de conducción) y las temperaturas se mantuvieron más o menos constantes.

Otro valores reportados por bibliografía muestran promedios mayores a los aquí obtenidos (2,5 gr NO₂/Km) los que fundamentalmente se deben a la estructura del ciclo de conducción usado, el que contempla un alto porcentaje en la fase de aceleración y desaceleración, que son los que mayoritariamente contribuyen con la emisión de NOx.

Las emisiones de óxidos de azufre dependen exclusivamente del contenido de azufre en el combustible, correspondiéndole un alto porcentaje al SO₂ sin embargo otros productos azufrados, tales como sulfatos (SO₄), trióxido de azufre(SO₃), ácido sulfúrico(H₂SO₄) y mercaptanos(R-SH) no superan el 8% del total, a esto debemos sumar el contenido de azufre en el combustible son quemar.

Las emisiones de SO₂ son independientes del tipo de máquina y de las condiciones de operación. Solamente depende del contenido de azufre en el combustible, ya que a un menor contenido de azufre, aumenta la conversión de este sulfato (SO₄) el que se emite como partícula.

Al comparar nuestro promedio (0,25 gr SO₂/Km) con los valores reportados por la EPA (0,12 gr SO₂/Km) encontramos que nuestras emisiones son aproximadamente 2 veces mayor. Esto se debe a que las Gasolinas Nacionales tienen un contenido de azufre de 0,2% y las utilizadas en USA, aproximadamente 0,08%.

En lo que respecta a las emisiones de hidrocarburos (HC), el valor promedio obtenido (0,24 gr HC/Km) puede parecernos alto respecto al valor reportado por EPA (0,14 gr HC/Km). Sin embargo, es necesario señalar que estas emisiones en masa, reportadas por la bibliografía, corresponden a vehículos con sistemas de control de gases (convertidores catalíticos), situación que no se da en nuestro parque vehicular. Obviamente, habría que volver a afirmar que el número de muestras fue bajo como para tener un valor representativo y las medidas reportadas por EPA no tienen la misma base de cálculo que la muestra, porque los ciclos de conducción son diferentes.

En relación a los aldehídos (HCHO) emitidos por motores de combustión interna existe muy poca referencia bibliográfica, ya que se le considera un contaminante menor, cuyo promedio (0,06 grHCHO/Km) es comparativo, en orden de magnitud, al reportado por Henry C. Perikins (0,084 gr HCHO) y a los valores entregados en el quinto Congreso Internacional del Aire Puro que reporta calores entre los 80 y 100 ppm, para una velocidad media de 40Km/Hr. Nuestros valores en concentración están comprendidos entre los 70 y 120ppm para 50Km/Hr como velocidad media.

Los gases de escape y las pérdidas de compresión de los motores de combustión interna contienen partículas de Carbono, cenizas metálicas y de hidrocarburos. Las partículas con base metálicas provienen de los compuestos antidetonantes de plomo presentes en el combustible, de los aditivos metálicos del aceite y lubricante y del deterioro del motos.

Las partículas con base de carbón y de hidrocarburo provienen de la combustión incompleta y del escape del aceite del carter a través de los anillos del pistón. Todo este material particulado se genera durante la combustión para luego ser nucleado en el sistema de escape antes de abandonar el móvil. En resumen, la cantidad y naturaleza de las emisiones de partículas por motores, están influidas por diferentes procesos físico-químicos que hacen muy difícil su descripción completa, razón por la cual sólo se reporta "partícula total" sin su caracterización.

El valor promedio de partículas totales emitidas por los 6 automóviles de prueba fue de 0,036 (g. P.T./Km) teniendo un máximo de 0,052 y un mínimo de 0,031 (gr. PT/Km). Todas las mediciones se realizaron isocinéticamente en el túnel de dilución,

utilizando para éste efecto una boquilla de muestreo de 7mm de diámetro dispuesta en una lanza de 1 m de longitud, acoplada a un portafiltro de 5 cm de diámetro, todo en acero inoxidable. El arrastre se realizó con una bomba rotatoria a un caudal de 9,48 (lt/min) para conseguir la isocinetismo del túnel. El volumen de gas diluido se midió en un motor DGM (Dry Gas Meter) provisto de un sensor infra-rojo (IR) para medir el volumen de gas analizado.

Los resultados obtenidos se encuentran en buenas correlación con los valores reportados por Habibiy colaboradores (0,03 gr/Km para coches nuevos y entre 0,06 y 0,025 gr/Km para coches con mayores de 30.000 Km de recorrido).

Henry C. Perkins reporta para automóviles un sistema de control un promedio de 0,224 (gr M.P./K) para una zona urbana a velocidad media de 40 Km/Hr.

Los vehículos petroleros de mediana y baja cilindrada son relativamente escasos en nuestro parque vehicular, razón por la cual el número de nuestras disponibilidades fue reducido. Sumado a esto, la mayoría de las máquinas petroleras que circulan por nuestra ciudad son mayores a 200Kg-peso, lo cual limita nuestra posibilidad de análisis ya que el dinamómetro que disponemos sólo puede ser usado con máquinas livianas de hasta 1800Kg-peso, sin embargo, los dos vehículos analizados por norma CVS-1 reportaron resultados de factores emisivos mayores que para automóviles en lo que respecta a NO₂; SO₂; HCHO y partículas totales y valores muy bajos de CO e H, por la naturaleza de éstos motores. Así la mayor emisión de óxidos de azufre (SO₂) se debe al contenido más alto de azufre del crudo que se adquiere en nuestro país.

Las emisiones más altas de aldehído (HCHO) se deben fundamentalmente al cracking térmico de un combustible más pesado y a la mayor cantidad de O₂ presente, ya que éstos motores trabajan con exceso de aire. Al verificarse éste tipo de proceso se obtiene a una mayor concentración de radicales alcoxi ((RO) para la reacción en cadena, los que difunden hacia la pared refrigerada degradando su energía de HCHO estables.

Del mismo modo, la mayor emisión de partículas, provenientes de combustiones rápidas, donde el calor no alcanza a ser disipado tomo características adiabáticas, haciendo aumentar la temperatura de la cámara de combustión lo que conduce a la ruptura de las cadenas hidrocarbúricas o cracking térmico, las que simultáneamente pirolisan o descomponen, para luego reorganizarse por pirosíntesis, resultando la formación de Hollin. Este proceso se ve aumentado cuando las mezclas aire/combustible son ricas.

En nuestro país el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, a través del decreto supremo No 100 del 29 de septiembre de 1982 en lo que respecta a emisiones vehiculares, sólo aplicó control sobre el monóxido de carbono (CO) si considerar las emisiones de HC, NO₂ y M.P.t., cuyos factores de efecto son más negativos que el propio monóxido de carbono. Para la movilización Diesel, sólo mide el índice de humo de acuerdo a un esquema propio que no tiene relación con las condiciones de ruta ni con la metodología utilizada internacionalmente.

El estándar de emisión para vehículos bencineros fueron fijados en porcentajes y no en masa, lo cual conduce lógicamente a apreciaciones erróneas, los valores máximos permisibles se reportan a continuación:

Tabla 4. Valores máximos permitidos del índice de humo

Año fabricación	%CO máximo permitido
Anteriores a 1980	4,5
Entre 1981 – 1982	3,5
Desde 1983 a la fecha	3,0

Estos valores son para la condición Ralentí, la que puede modificarse considerablemente para otro modo de operación. De acuerdo a nuestro ciclo de modo de operación, el representa el 22% del total.

Considerando que el 70% de nuestro parque vehicular está integrado por motores japoneses, podía utilizarse los estándares de emisiones japoneses aplicado a nuestro ciclo de conducción. Así, de los 6 vehículos bencineros analizados sólo 2 de ellos estarían dentro de la norma.

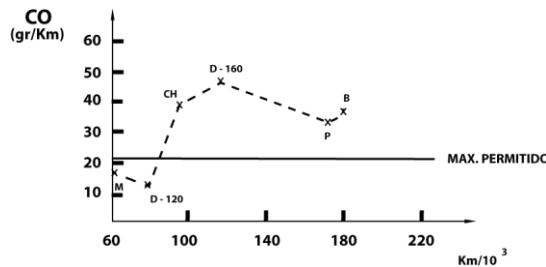


Fig. 6. Gráfico CO/Km (1)

Emisiones de monóxido de carbono para los 6 vehículos a prueba. (comparados contra la norma japonesa).

M= Mazda 323; D-120 ñ Datsun 120 Y; CH = Che-vette; D-160 = Datsun 160 J; P = Peugeot 404. B= Brassilie

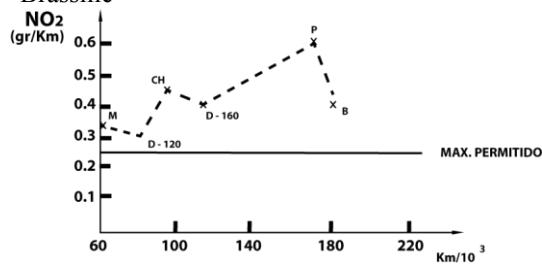


Fig. 7. Gráfico NO2/Km(2)

Emisiones de NO₂ por los 6 vehículos de prueba (comparados contra la norma Japonesa).

En relación a las emisiones de óxido de nitrógeno ninguno estaría dentro de la norma, sin embargo debe dejarse en claro, que éstos estándares han sido exigentes en el tiempo, lo que ha obligado, en estos países a usar sistemas de control de emisiones, que no son usados en Chile. En nuestro país podría comenzarse una forma similar, pero con normas más permisivas en un comienzo y que se hagan más estrictas en un plazo mediato.

Las emisiones de HC, se encontraría todas dentro de la norma japonesa. Esto fundamentalmente se debe al ciclo de conducción, ya que la mayor emisión de HC se produce en el modo de desaceleración y, en nuestro ciclo éste modo sólo representa el 9% del total.

Del mismo modo, las emisiones del material particulado están en todas dentro de la norma, ya que el máximo valor permitido es de 0,06 gr P.T/Km.

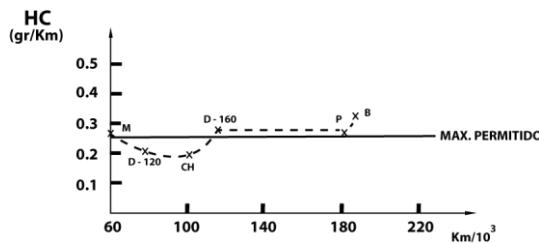


Fig. 8. Gráfico HC/Km (3)

Emisión de HC, por los vehículos de prueba (comprados contra la norma Japonesa).

6. Conclusiones

- ❖ Los factores emisivos obtenidos, representan una muestra muy reducida de nuestro parque vehicular y se hace necesario ampliar la información en un futuro próximo de acuerdo a la metodología pre-establecida que es internacionalmente aceptada.
- ❖ A pesar de ser reducida las muestras analizadas, los resultados obtenidos son de interés porque representan no sólo las primeras medidas hechas según norma CVS-1, sino que además, bajo un ciclo de conducción propio que fuera establecido para el área de restricción vehicular de la Región Metropolitana.
- ❖ Estos resultados preliminares podrían servir de base al Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones ya que el esquema propio adoptado, para las actuales mediciones no se rige por ninguna Norma y, los resultados así obtenidos o tienen validez comparativa con lo reportado por países que ya tienen toda una tradición en el tema. Este aspecto es muy importante si se pretende legislar en el futuro

sobre “Derechos de emisiones” y fijar de ésta forma los “Estándares de Emisión” para gases de escape de vehículos de acuerdo a nuestra propia realidad nacional.

- ❖ El control de “humo” que actualmente se realiza en motores Diesel, es muy subjetivo, porque las escalas utilizadas para la medición, son porcentajes y determinadas por apreciación comparativa visual entre estas escalas figuran:

- La de Bosch o porcentajes de área negra.
- La escala Ringelman.
- La del porcentaje de opacidad o densidad óptica.
- La de porcentaje de transmitancia.

Sin embargo, la medición más eficiente y reproducible es la determinación gravimétrica de partículas, mediante el muestreo isocinético, como los mostraron los resultados obtenidos en este trabajo.

- ❖ La forma de medir las emisiones vehiculares son en masa y no en porcentaje volumétrico, como se hace actualmente la inspección vehicular en nuestra ciudad, ya que esto conlleva a presiones erróneas

Nomenclatura

\dot{m}_{E} = emisión horaria del gas de escape (gr/min).

\dot{m}_{C} = consumo horario de combustible (gr/min).

RAC = relación aire-combustible en masa (gr. Aire/gr. Bencina).

p^{st} = densidad estandarizada (gr/ml).

$V_{\text{gE(st)}}$ = volumen de gas de escape en litros y estandarizado a 25°C y 1 atm.

Δp = depresión del ventilador centrífugo: 8mm Hg.

\dot{V} = caudal de los gases en el túnel (lt/min).

V_{MIX} = volumen de mezcla (gases de escape + aire).

f = factor de dilución del túnel.

F_{E} = factor emisivo (gr. De contaminante/Km).

ppm = parte por millón (p:peso; v:volumen).

0.8 = representa el factor de aprovechamiento del combustible medido en la bureta de consumo, ya que se estima que un 20% del combustible total se pierde por:

- a) Evaporación (H. Perkins “Air Pollution”)
- b) Por la filtración de mezcla combustible hacia el carter durante la carrera de compresión, ya que los anillos no son herméticos (J.H. Seinfeld “Contaminación Atmosférica”).