



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**Anteproyecto de Instalación de un Laboratorio
de Análisis de Gases Contaminantes de la
Industria Automotriz.**



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A**

LEOBARDO FERNANDEZ ALVA

MEXICO, D. F.

1982



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

- CAPITULO 1 . INTRODUCCION.
 - CAPITULO 2 . ESPECIFICACIONES GUBERNAMENTALES EN LA
ACTUALIDAD.
 - CAPITULO 3 . CONTAMINANTES EMITIDOS POR UN VEHICULO.
 - CAPITULO 4 . DETERMINACIONES Y EQUIPOS.
 - CAPITULO 5 . EVALUACION ECONOMICA DEL ANTEPROYECTO.
 - CAPITULO 6 . CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

Hasta donde es conocido, la Tierra es el único planeta habitado en el Universo y donde se desarrolló el ser humano, con la capacidad de conocer el medio que lo rodea e influir sobre él.

La vida en el planeta tiene millones de años y nos hemos acostumbrado a ella, pero recientemente la actividad humana y otros fenómenos se han manifestado suficientemente intensos y capaces para mejorarla o destruirla y en este caso hacerla difícil.

La existencia de un ser vivo está enmarcada entre dos límites: el nacimiento y la muerte. La vida la recibe de otros organismos de su misma especie y a su vez puede transmitirla dando origen a otros seres vivos.

De lo anterior se destaca que estos seres vivos no viven aislados, ya que como se mencionó, la vida, con una dotación de materia orgánica la recibe de otros y a su vez puede transmitirla, formando así cadenas de alimentación y vida.

Otro hecho que se observa, es que los seres vivos tienden a agruparse en zonas geográficas, donde las características del suelo y del clima les permite desarrollarse. Esto es posible por medio de un proceso de retroalimentación hasta lograr sistemas en equilibrio que les permite subsistir en determinadas condiciones. Este equilibrio puede ser afectado y alterado por dos factores que pueden destruir o dificultar la vida en zonas más o menos amplias: los naturales, en los cuales, aún cuando hay destrucción, permite que los seres se adapten y sobrevivan en el nuevo medio, pero hay factores de cambio que no toman en cuenta esta capacidad de adaptación.

ción de los seres vivos. Estos factores están dados por la actividad humana, dirigida a satisfacer las necesidades y a proporcionar se un alto nivel de vida.

Pero como en toda actividad, se producen desechos y esta -- producción de desechos por la actividad humana, es uno de los más grandes problemas de nuestro tiempo y se puede decir que en éstos consiste la contaminación. Abarca aspectos tan amplios como la con-- taminación radiactiva, del aire, del suelo, la contaminación por -- ruido, la térmica, así como la polución de ríos, lagos y mares.

Asociada a esta contaminación producida por la actividad hu-- mana, están las fuentes de contamiación que son las máquinas y o-- tros materiales que producen y arrojan los contaminantes a la atmós-- fera.

Las principales actividades que producen la contaminación -- son la industrial, la doméstica y la del transporte. Las principa-- les fuentes contaminantes son las plantas productoras de energía e-- léctrica, de refinación del petróleo, la incineración de basura, -- el envío de residuos por el drenaje y los vehículos con motor de -- combustión interna.

Por lo anterior, el medio ambiente se ve afectado por subs-- tancias tales como Monóxido de Carbono (CO), Oxidos de Nitrógeno - (NO_x), Oxidos de Azufre (SO_x) e Hidrocarburos (HC). Todas estas -- sustancias arrojadas directamente por las fuentes de contamina--- ción, alteran la calidad del aire que respiran los organismos vi-- vos .

En los años '50s fue introducida una teoría (subsecuentemen

te aceptada por todas las autoridades), ligando a los hidrocarburos y óxidos de Nitrógeno para la formación del Nieblihumo (Smog). Esencialmente esta teoría establecía que el Nieblihumo era el resultado de una reacción fotoquímica compleja entre los hidrocarburos y los óxidos de Nitrógeno que ocurría en presencia de la luz del sol bajo una combinación única de la temperatura del aire y viento. Anteriormente, los gases de escape de los automóviles no habían sido considerados que tuvieran ninguna conexión con el nieblihumo, porque ellos no contenían ingredientes similares a aquellos encontrados en él.

Por otro lado, las propiedades tóxicas de Monóxido de Carbono habían sido reconocidas por años, pero los consensos de autoridades médicas era que, en los niveles encontrados en la calle, no existía problema médico.

En 1954, los fabricantes de automóviles americanos, a través de un comité de la Motor Vehicle Manufacturers Association (MVMA), hicieron un estudio del nieblihumo, el cual los convenció de que los automóviles y camiones eran uno de los principales contribuyentes al nieblihumo. No era únicamente una nueva teoría del nieblihumo, ya que no había prácticamente y de ninguna clase información científica acerca de él. Poco era sabido acerca de los niveles de HC y NO_x contenidos en la atmósfera y había considerable controversia acerca de las proporciones en las cuales estas sustancias podían reaccionar para formar nieblihumo. Además, nadie sabía qué nivel de estos contaminantes era aceptable para tener una calidad satisfactoria del aire.

El siguiente problema era determinar una base para las emisiones automotivas, pero sin esta base, no había manera de medir los cambios. La calidad presumida del aire en 1940 fue escogida y postulado que la diferencia entre 1940 y 1954 en la calidad del aire era debida únicamente al mayor número de vehículos en operación. Fue hecha la aceptación de que si el total de la emisión de los componentes especificados podían estar en los niveles de 1940, entonces la calidad del aire sería satisfactoria.

Desde el punto de vista médico, es aceptado que para que exista contaminación, la cantidad de contaminante y el tiempo de exposición a ellos, tiene que ser suficiente para que cause los llamados "efectos de la contaminación", como son el aumento de los riesgos de enfermedades, principalmente las enfermedades cardíacas y respiratorias, daños a la vegetación y a las construcciones y reducción de la visibilidad.

Los fabricantes de vehículos de motor de combustión interna, han estado trabajando por largo tiempo, investigando numerosas proposiciones para controlar las emisiones de los automóviles, haciendo multitud de modificaciones y pruebas, usando variados equipos de control y prueba.

También se han elaborado programas de pruebas que aseguren el cumplimiento de las reclamaciones establecidas por el Gobierno. Para efectuar estas pruebas, la Industria Automotriz se ha auxiliado de equipos e instrumentos apropiados, bastante exactos en sus determinaciones y con los cuales se han creado laboratorios bastante

completos y que en la actualidad son parte indispensable para cualquier fabricante de autos, ya que el no cumplir con las leyes actuales, implica el no poder producir una sola unidad.

El presente tema será precisamente desarrollado con la intención de hacer un análisis de las posibilidades de llevar a cabo la creación de un Laboratorio de este tipo, exponiendo las ventajas de su existencia y con ello mostrar el esfuerzo que se está haciendo actualmente para disminuir la contaminación atmosférica producida por los vehículos con motor de combustión interna.

El desarrollo de este tema se inicia conociendo las regulaciones que debe cumplir la Industria Automotriz. A continuación se exponen los componentes de las emisiones de escape, analizando sus características físicas y químicas, así como su efecto en el organismo humano.

Posteriormente se hace una breve descripción de las características fundamentales y del funcionamiento de los equipos necesarios para efectuar las determinaciones requeridas. Después se hace un análisis de los costos aproximados para el montaje de este Laboratorio de Control de Emisiones, así como el de su amortización -- por el costo de cada prueba en un laboratorio exterior autorizado.

Finalmente se presentan las conclusiones a las que se llega después de los análisis efectuados, desde el punto de vista del problema que representan los gases de escape de un vehículo con motor de combustión interna.

C A P I T U L O 2

ESPECIFICACIONES GUBERNAMENTALES EN LA ACTUALIDAD.

Como se mencionó anteriormente, con el avance tecnológico de la humanidad, han aumentado los niveles de emisiones de contaminantes. La solución a este problema, ha sido servirse de esta misma tecnología para tratar de resolverlo, mejorando así el ambiente en que vivimos.

Los vehículos con motor de combustión interna han sido considerados como factores de contaminación ambiental, debido a sus emisiones por el escape y por tanto, las autoridades sanitarias han impuesto a los fabricantes de vehículos de este tipo, los controles y especificaciones a los que deben sujetarse para prevenir y controlar la contaminación ambiental, evitando así que se perjudique o moleste la vida y el bienestar humano, la flora, la fauna, o que se degrade la calidad del aire, de los bienes particulares o los recursos naturales.

La dependencia gubernamental que aplica y controla las especificaciones o límites de emisiones de gases de escape, es la Dirección General de Saneamiento Atmosférico, dependiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia Pública

Las pruebas para determinar las cantidades de gases contaminantes emitidos, deberán ser sobre unidades representativas de la producción de los nuevos vehículos, siendo éste un requisito previo para la producción de las unidades del año modelo correspondiente .

Los vehículos sobre los que se hacen las determinaciones deben ser de un peso bruto vehicular (el peso vehicular más la capa

cidad de pasaje y/o carga útil) menor de 2727 Kg. y las pruebas deben efectuarse a una altitud de 2240 m. sobre el nivel del mar.

El fabricante debe solicitar a la Dirección General de Saneamiento Atmosférico y con dos meses de anticipación a la iniciación de la venta programada del año modelo correspondiente, la información técnica así como la certificación con los datos sobre los niveles de emisiones.

El fabricante de vehículos no podrá hacer entrega de unidades al público de los nuevos modelos de vehículos, hasta tener el Certificado de Conformidad de Emisiones y Consumo de Combustible, emitido por la Dirección mencionada.

La certificación debe hacerse anualmente y en el caso de que un tipo de vehículo tenga características de emisiones similares de un año modelo a otro, la Dirección General de Saneamiento Atmosférico podrá hacer extensiva la aprobación obtenida del año modelo correspondiente.

Las pruebas de certificación de emisiones de gases de escape, se deben llevar a cabo en vehículos prototipo, equipados con motores de desarrollo o nuevos a opción del fabricante, siempre que se cumpla con la norma en vigor (NOM-AA-11), la cual será descrita -- más adelante.

El número de vehículos de certificación que deberán someterse a pruebas, se determinará en base a los volúmenes proyectados de producción para consumo nacional del año modelo correspondiente según se muestra:

Volúmen Projectado de Producción de Vehículos por Tipo.	Mínimo de Vehículos a Probar por Tipo.
De 1 a 15000	1 Vehículo
De 15001 a 40000	2 Vehículos
De 40001 en adelante	3 Vehículos

Si por las condiciones del mercado se varían los volúmenes proyectados, de tal manera que la cantidad de vehículos por tipo se ubique en otro rango, la Dirección mencionada decidirá si el fabricante del vehículo debe efectuar las pruebas de certificación adicionales, así como en el caso de aquellos vehículos que tengan emisiones de gases contaminantes que sobrepasen los límites máximos permisibles, deberán solicitar la autorización para su fabricación.

Las pruebas de certificación de emisión de gases de escape se llevarán a cabo en vehículos prototipo como se mencionó anteriormente y la Dirección General de Saneamiento Atmosférico se reserva el derecho de llevar a cabo las pruebas que considere necesarias, para comprobar los resultados de emisiones de gases de escape y consumos de combustible presentados por el fabricante sobre los vehículos de certificación, siguiendo el procedimiento establecido en la norma mencionada.

Cuando se realicen modificaciones a componentes enunciados en la solicitud durante el año modelo, el fabricante será el responsable del control interno de sus cambios. Cuando las modificaciones afecten adversamente los niveles de emisiones contaminantes y los --

consumos de combustible, el fabricante debe informar de esto a la Dirección General de Saneamiento Atmosférico con anterioridad a la implementación, la que a su juicio podrá o no solicitar al fabricante que lleve a cabo pruebas de certificación en vehículos que incluyan las modificaciones mencionadas, siguiendo el procedimiento establecido en la Norma correspondiente.

Los límites máximos permisibles de emisiones de gases de escape en los vehículos de certificación sujetos a este control, son los siguientes:

Año Modelo	Hidrocarburos (HC) g/Km-V	Monóxido de Carbono (CO) g/Km-V	Oxidos de Nitrógeno (NO _x) g/Km-V ^x
1981	3.0	33	+
1982	3.0	33	+
1983	2.9*	31*	+

* Probables.

+ No Requerido.

g/Km-V Gramos por Kilómetro por Vehículo.

Los límites máximos probables de consumo de combustible en los vehículos de certificación sujetos a este control, son los siguientes:

Para vehículos con cilindrada de 1200 c.c.d. a 2800 c.c.d.

Año Modelo	Consumo en Ciudad (Km/l)	Consumo en Carretera (Km/l)
1981	10	15
1982	10	15

Para vehículos con cilindrada de 2801 c.c.d. a 4700 c.c.d.

1981	5	9
1982	5	9

Para vehículos con cilindrada de 4701 c.c.d. en adelante

Año Modelo	Consumo en Ciudad (Km/l)	Consumo en Carretera (Km/l)
1981	4	7
1982	4	7

c.c.d. Centímetros cúbicos de desplazamiento.

Km/l Kilómetros por litro de combustible.

Los promedios de los resultados de las pruebas de cuantificación de Hidrocarburos, Monóxido de Carbono, Oxidos de Nitrógeno y Consumo de combustible que se realicen en los vehículos sujetos a certificación, deberán ser iguales o inferiores a los niveles antes señalados para cada vehículo sujeto a certificación. Los valores a reportar en la solicitud deberán ser el promedio de un mínimo de -- tres determinaciones válidas a partir del arranque en frío, para cada vehículo de certificación.

Los motores en los vehículos de prueba, deberán ser estabilizados previamente, mediante una acumulación mínima de Carbón debida a un recorrido de 6400 Km. de acuerdo a la Norma correspondiente o a una acumulación de carbón aprobada por la Dirección General de Saneamiento Atmosférico. En el caso de requerirse cambios o ajustes al motor o componentes del vehículo, para asegurar que el mismo es representativo de la producción, dichos cambios solo podrán llevarse a cabo antes de efectuar las pruebas de certificación.

Para el caso de los vehículos que por sus características de diseño o aplicación sobrepasen los límites, la Secretaria de Salu--

bridad y Asistencia podrá, previo estudio de la solicitud presentada por el fabricante, autorizar límites máximos permisibles de gases de escape y consumo de combustible superiores a los establecidos, siempre y cuando no excedan los alcanzados por éstos mismos vehículos durante la certificación del año modelo anterior.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia resolverá con la anticipación prudente y por Acuerdo publicado en el "Diario Oficial" de la Federación, los límites permisibles de emisiones de gases de escape y consumo de combustible en los vehículos sujetos a control para los años subsecuentes, así como los límites para las emisiones evaporativas y de gases del cárter.

Para los vehículos de fabricación nacional accionados por motor a Diesel, la Secretaría de Salubridad y Asistencia resolverá en su oportunidad los límites máximos de emisiones de gases de escape y controles a los que deberá sujetarse éste tipo de vehículos.

A fin de verificar las emisiones de gases de escape en los vehículos de producción seleccionados al azar, los valores probables - que no deberán sobrepasar estos vehículos, medidos conforme a la Norma Oficial Mexicana correspondiente, sin considerar la estabilización mediante la acumulación de carbón, son los siguientes:

Límites Máximos Permisibles de Emisiones de Gases de Escape para Vehículos de Producción.

Año Modelo	Hidrocarburos (HC) g/Km-V	Monóxido de Carbono (CO) g/Km-V	Oxidos de Nitrógeno (NO _x) g/Km-V
1981	3.9	40	+

1982	3.8	36	+
1983	3.8	36	+

+ No Requerido.

Si las emisiones de Monóxido de Carbono o Hidrocarburos producidos por el vehículo seleccionado de la línea de producción, son superiores a los límites establecidos en la tabla anterior, el fabricante tiene la posibilidad de solicitar que se efectúen pruebas en una muestra adicional de vehículos tomados de la línea de producción y que contenga al vehículo seleccionado inicialmente, con objeto de obtener la media aritmética (\bar{X}) de los resultados obtenidos de la muestra (n), la cual será determinada por el mismo fabricante, así como de la desviación S de la muestra.

La producción del tipo de familia del vehículo se considera aceptable si se cumple con la siguiente condición:

$$\bar{X} + K = S L$$

L = Límite máximo permisible de la Tabla anterior.

K = Factor estadístico dependiente de n, dado en la tabla siguiente

$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$ en la cual X y \bar{X} es uno cualquiera de los n resultados individuales.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	0.973	0.613	0.489	0.421	0.376	0.342	0.317	0.296	0.279
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19

k 0.265 0.253 0.242 0.233 0.224 0.216 0.210 0.203 0.198

Si n^o 20 k = $\frac{0.860}{n}$

En el caso de que las entregas al público de vehículos del -- nuevo año modelo se haya iniciado y el dictámen no haya sido aproba-- torio, la Dirección General de Saneamiento Atmosférico aplicará las sanciones correspondientes, de acuerdo a los artículos 29 y 30 de -- la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.

La solicitud del Programa de Certificación de Emisiones debe ser presentada a la Dirección General de Saneamiento Atmosférico, -- con la anterioridad suficiente (dos meses) ántes de iniciar el de-- sarrollo del Programa de Certificación, con objeto de que esta de-- pendencia pueda hacer los ajustes que considere a dicho programa, -- ántes de dar su aprobación al mismo.

En la solicitud deben incluirse los datos técnicos solicita-- dos en la misma, para cada uno de los vehículos de producción, in-- cluyendo todos los ajustes y modificaciones que hayan sido realiza-- dos durante el desarrollo del Programa de Certificación.

La solicitud para la aprobación de niveles de emisiones debe ser elaborada para cada uno de los diferentes modelos a producir.

La Norma Oficial Mexicana , que en un futuro establecerá las condiciones para la determinación del rendimiento de combustible de

vehículos a gasolina con peso bruto vehicular menor a 2727 Kg., ha
bla de dos condiciones:

- a) Ciclo típico de manejo en ciudad.
- b) Ciclo típico de manejo en carretera.

Estas dos condiciones son realizadas en un Dinamómetro de Cha
ssis y determinando el consumo por el método de balance de Carbono.

El balance de Carbono es la relación que existe entre la can-
tidad de Carbono que contiene la gasolina y la cantidad de Carbono
existente en las emisiones de gases por el escape, determinada du--
rante la prueba.

El rendimiento de combustible es la relación de la distancia
recorrida y la cantidad de gasolina consumida en cada ciclo de mane
jo, expresada en Km/l.

Las condiciones ambientales, las que debe cumplir el vehículo,
así como el combustible de prueba, deben ser las mismas que mencio-
na la Norma NOM-AA-11 vigente.

El ciclo de manejo en ciudad, consiste en una serie de formas
de operación del vehículo en marcha lenta, aceleración, condición -
de crucero y desaceleración, que ocurren en lapsos desiguales. Se -
caracteriza por condiciones transitorias suaves de velocidad contra
tiempo. La secuencia de tiempo empieza en el momento del arranque --

del motor de acuerdo al procedimiento de manejo descrito en la Norma NOM-AA-11 en vigor.

Para el ciclo de carretera, las condiciones ambientales, del equipo y del vehículo, deben ser las mismas que menciona la Norma NOM-AA-11, a excepción de la temperatura inicial de operación del vehículo y del ciclo de manejo a seguir.

La Temperatura Inicial de Operación es la temperatura bajo la cual se inicia la operación del vehículo en los ciclos típicos de manejo. Para este ciclo deben ser:

a) La alcanzada por el mismo durante la prueba de consumo de combustible en ciudad, para lo cual, entre la prueba del ciclo de ciudad y la del ciclo de carretera, el motor del vehículo debe permanecer sin operar durante un tiempo no mayor de 20 minutos, o bien,

b) La temperatura normal de operación del vehículo, que se alcanza operando el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro durante el tiempo y velocidad recomendada por el fabricante.

El ciclo de manejo en carretera consiste en una serie de formas de operación del vehículo en marcha lenta en vacío, aceleración, condición de crucero y desaceleración, que ocurren en lapsos desiguales. Se caracteriza por condiciones transitorias de velocidad contra tiempo. La toma de muestra se inicia con el motor en marcha

lenta en vacío, dos segundos antes de iniciar el primer modo de operación. El período de marcha lenta no debe exceder de los 13 segundos antes de iniciar la toma de muestra.

Los resultados a reportar, de los dos ciclos de evaluación de consumo de combustible, deben efectuarse con el cálculo del rendimiento de combustible para las emisiones de escape, usando el método de balance de Carbono y utilizando la fórmula siguiente, expresados en Km/l.

$$\text{Km/l} = \frac{(\text{Densidad del Comb. g/l})(0.866)}{0.866 \text{ HC} + 0.429 \text{ CO} + 0.273 \text{ CO}_2}$$

donde:

HC = Masa del Carbono en la HC en g/Km

CO = Masa del Carbono en el CO en g/Km

CO₂ = Masa del Carbono en el CO₂ en g/Km

0.866 = % en peso de Carbono en el combustible*

0.866 = % en peso de Carbono en la molécula de HC

0.429 = % en peso de Carbono en la molécula de CO

0.273 = % en peso de Carbono en la molécula de CO₂

Densidad del combustible g/l a 20 C.

Se deben promediar tres pruebas válidas cuyo resultado máximo y mínimo no difieran entre sí, más de 5%.

• Para efectos de cálculo se considera una relación de 1:1.86 entre Carbono e Hidrógeno en la molécula de Hidrocarburo.

C A P I T U L O 3
CONTAMINANTES EMITIDOS POR UN VEHICULO.

Los combustibles usados para el funcionamiento de las máquinas de combustión interna son derivados del petróleo crudo, el cual consiste de una mezcla de muchos compuestos hidrocarbonados de diferentes pesos y estructuras moleculares.

En el proceso de refinación del petróleo, el destilado es separado en varias fracciones de acuerdo a su punto de ebullición. Este punto de ebullición depende más o menos del número de átomos de Carbono en la molécula. Las fracciones más ligeras son principalmente butano, propano y etano. Después vienen las gasolinas, naftas, kerosenas, combustible diesel y aceites lubricantes.

Proceso Químico de la Combustión de un Hidrocarburo.

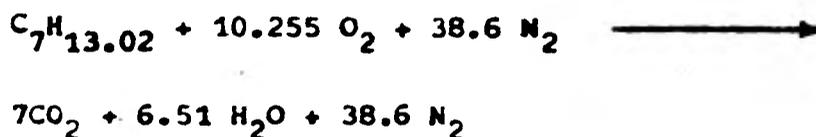
Formación de emisiones.

Las indeseables emisiones de gases de escape, son principalmente formadas en la cámara de combustión, durante y después del proceso de combustión.

También ocurren reacciones químicas en el sistema de escape, el cual disminuye la concentración de algunos compuestos, pero puede incrementar otros. Muchos aspectos de la Química y Física de la formación de gases de escape y el destino de los mismos, como ellos proceden a través de la máquina y el sistema de escape, no está bien comprendido actualmente. La siguiente es una exposición de --

los conocimientos fundamentales de este problema:

Combustión. La combustión de un compuesto hidrocarbonado, -- con aire, puede ser representado por la reacción química simplificada presentada a continuación, la cual ha sido escrita para indolina, una mezcla estandarizada de combustible a menudo usada para pruebas de emisiones. Este combustible tiene 1.86 átomos de Hidrógeno por cada átomo de Carbono. Una molécula promedio puede ser -- pensada como $7(\text{CH}_{1.86})$. La ecuación para la combustión completa de esta molécula de combustible con una cantidad químicamente correcta de aire es :



Es aparente que la combustión de un peso molecular de combustible (97g.) requiere 48.855 pesos moleculares de aire (1408 g) y produce 7 pesos moleculares de Dióxido de Carbono (308g), 6.51 pesos moleculares de agua (117g) y 38.5 pesos moleculares de Nitrógeno (1080g). Por tanto, un gramo de este combustible requiere de aproximadamente 14.5g de aire y produce 3.18g de CO_2 , 1.21g de Agua y 11.1g de Nitrógeno cuando la combustión es completa para una mezcla químicamente correcta.

Es impráctico por un buen número de razones, de hecho imposible, suministrar la muestra correcta, teóricamente, a cada cilindro de una máquina de varios cilindros. Más aún, la potencia y desempeño de un motor no son satisfactorios a la mezcla teórica como con una mezcla ligeramente más rica.

Esta variación en la reacción teórica, es una de las causas de que se tengan gases contaminantes en el escape.

HIDROCARBUROS (HC).

La emisión de hidrocarburos en los gases de escape provienen de dos fuentes:

a) Por debilitamiento de la flama. La combustión dentro de la cámara se inicia donde se produce la chispa y se mueve invariablemente hacia las paredes de dicha cámara, las cuales se encuentran a una temperatura relativamente más baja y hay una capa delgada de mezcla de aire y combustible que no se quema. Esto causa un aumento en la contaminación al regresar el combustible a la atmósfera como hidrocarburo no quemado.

b) Por combustión incompleta. Los factores que gobiernan la propagación incompleta de la flama incluyen:

1.- Las condiciones del sistema de ignición, incluyendo las bujías.

2.- Temperatura de la mezcla.

3.- Homogeneidad de la mezcla.

4.- Cantidad residual de los gases de escape, composición y -
distribución.

5.- Relación de gases Aire-Combustible en el cilindro, en la
ignición y después de ella.

MONOXIDO DE CARBONO (CO).

El monóxido de Carbono es un producto de la combustión incompleta de la gasolina. Cuando la mezcla es más rica que la químicamente correcta, aparecen cantidades sustanciales de este compuesto en los gases de escape. La cantidad de CO formada por cada relación aire-combustible es de aproximadamente el 3%. Así, un cambio de únicamente 1/3 de la relación aire-combustible, provocará un cambio de 1% en el CO de escape. La razón de que la concentración de CO no caiga a cero cuando la mezcla es químicamente correcta y tienda a subir de ciclo a ciclo y de cilindro a cilindro, es la mala distribución del combustible. La presencia de O₂ en los gases de escape de la combustión de una mezcla rica, proviene de la misma fuente. Un mejor carburador y una mejor distribución son la clave para reducir la emisión de monóxido de Carbono.

OXIDOS DE NITROGENO (NO_x).

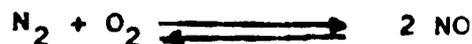
El Oxido Nítrico (NO) es formado dentro de la cámara de com bustión y persiste durante la expansión y escape en cantidades no e quilibradas. Por exposición al Oxígeno de la atmósfera, son forma-- dos Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y otros óxidos de Nitrógeno.

Un estudio de la formación de los diferentes óxidos de Nitrógeno, - muestra que el óxido nítrico es el único compuesto que tiene apre-- ciable importancia con respecto a la combustión.

La concentración de NO durante la combustión de un hidrocarbu ro en el aire, es primariamente función de los siguientes factores:

- 1.- Temperatura.
- 2.- Concentración del Oxígeno.

La velocidad de formación de NO , de Oxígeno y Nitrógeno, de a cuerdo a la siguiente ecuación:



puede ser dada por

$$\frac{d [\text{NO}]}{d (t)} = k_f [\text{O}_2] [\text{N}_2]$$

donde

$[\text{NO}]$ es la presión parcial del NO

[O₂] es la presión parcial del O₂.

[N₂] es la presión parcial del N₂.

Efecto de la Temperatura.

La velocidad específica de formación puede ser dada por

$$K_f = A e^{-\frac{E}{R_u T}}$$

donde

A es un factor que es función de la temperatura.

E es la energía de activación (cal/mol).

R_u es la Constante Universal de los gases.

T es la temperatura del gas (K)

También son formados durante la combustión otros compuestos tales como aldehidos (principalmente formaldehido y acroleína). El formaldehido a ciertas concentraciones es considerado como la causa del olor y propiedad irritante de los gases de escape del diesel.

Otra fuente de emisión externa (no de la combustión) de hidrocarburos es la evaporación por el carburador y del tanque de combustible.

EFFECTO DE LOS GASES CONTAMINANTES EN LA NATURALEZA.

Los efectos de la contaminación están gobernados por dos fac-

tores: cantidad y tiempo de exposición.

Para comprender mejor lo anterior, se dirá que se entiende -- por contaminante, cualquier elemento, substancia, energía u organismo que en cantidad suficiente, en el lugar inadecuado y en el momento inoportuno, es capaz de provocar, en forma directa o indirecta, -- mediata o inmediata, efectos no benéficos al hombre o a sus recur-- sos.

La cantidad de contaminantes tiene que ser suficiente para -- que cause efectos nocivos. En efecto, el aire no es una mezcla pura de Oxígeno y Nitrógeno; aún el "aire puro" del campo, contiene Mo-- nóxido de Carbono, metano, amoníaco, óxidos de Nitrógeno y Ozono -- que se consideran contaminantes, pero existen en tan pequeñas cantidades, producidas por procesos naturales, que no llegan a ser perju-- diciales. Los efectos se presentan cuando las substancias existen - en cantidad suficiente para ser peligrosas. La cantidad mínima con efectos nocivos se llama "umbral" del contaminante y es diferente - para cada uno de ellos.

Finalmente, el tiempo que se esté expuesto a la acción de los contaminantes determina si éstos van a causar efectos perjudiciales o no. Por lo general el organismo tolera la presencia de contaminantes durante períodos cortos, pero si esta presencia se prolonga, em

pieza a causar efectos nocivos; o sea, que mientras mayor sea el -- tiempo de exposición, mayores serán los perjuicios y molestias que se producirán.

El Monóxido de Carbono es por sí solo el principal contaminante en cuanto a volúmen. Representa aproximadamente la mitad de los contaminantes presentes en la atmósfera y el 90% es producido por -- los automóviles.

El monóxido de Carbono es un gas incoloro e inodoro y sus efectos tóxicos sobre el organismo están relativamente bien comprendidos.

Por combinación con la hemoglobina, de la misma manera que el Oxígeno, pero con mayor afinidad, el monóxido de Carbono inhalado, interfiere con la capacidad de la sangre para transportar y liberar Oxígeno a los tejidos. Una pequeña cantidad de monóxido de Carbono para formar 1% de Carboxihemoglobina en la sangre, rompe el equilibrio normal de hemoglobina en el cuerpo.

Una concentración de 400 p.p.m. por varias horas, produce dolor de cabeza, debilidad, mareos y náuseas. La exposición continua a una concentración mayor, tal como arriba de las 1000 p.p.m., es -- mortal.

No se conocen todavía los efectos que pueden producir las ha-

jas concentraciones por largos períodos de tiempo, especialmente en personas de mala salud. La concentración normal promedio, aún en si tios de alta concentración rara vez excede las 40 p.p.m..

Con respecto a los hidrocarburos no quemados, es hablar de un término muy amplio, ya que son muchas las materias orgánicas que se encuentran en la gasolina y el diesel.

La mayor parte de los hidrocarburos solo son venenosos a concentraciones superiores a varios cientos de partes por millón; la concentración atmosférica promedio es de 2 p.p.m. y rara vez excede las 10 p.p.m..

Posiblemente, los hidrocarburos tienen un efecto cancerígeno - por algunos compuestos, pero ésto no está comprobado.

Como se observa, estos contaminantes tienen poco efecto directo a las concentraciones en las atmósferas contaminadas; sin embargo, por acción de la luz del sol, algunos hidrocarburos reaccionan con los óxidos de Nitrógeno para formar el tipo de contaminación atmosférica conocido como Nieblihumo Fotoquímico, el cual será descrito posteriormente.

En el caso de los óxidos de Nitrógeno, tales como el Oxido Nítrico (NO) y el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), son gases altamente --- tóxicos. A muy bajas concentraciones (óxido nítrico 25 p.p.m. y ---

dióxido de Nitrógeno 5 p.p.m.), estos gases pueden ser tolerados - por largos períodos de tiempo (tales como un turno de 8 horas de - trabajo por día) sin tener efectos adversos. En concentraciones -- más altas que aquellas mencionadas, la inhalación de estos gases - causará serios daños al sistema respiratorio y si no es tratado a tiempo, puede ser mortal.

El mayor peligro de exposición a óxidos de Nitrógeno es que - sus efectos serios no se sienten sino hasta después de varias horas de exposición, con tan mala fortuna, que las cantidades peligrosas pueden ser inhaladas antes de que cualquier efecto nocivo ocurra.

Como ya se mencionó anteriormente, el óxido nítrico en presen- cia de la luz solar, reacciona con los hidrocarburos para formar los también irritantes y perjudiciales oxidantes y da al nieblihumo su característico color café claro.

Nieblihumo Fotoquímico.

El nieblihumo fotoquímico es una forma de contaminación del - aire en la cual se forma por la acción de la luz del sol sobre com- puestos hidrocarbonados y óxidos de Nitrógeno. Este nieblihumo, el cual es por naturaleza altamente tóxico y oxidante, está caracteri- zado porque produce cuarteaduras en partes de hule, irritación de - ojos y garganta, mal olor, daño a la vegetación y decrecimiento de

la visibilidad.

Productos del Nieblíhumo: Ozono y Productos oxidantes.

El Ozono y los productos oxidantes, resultantes de las reacciones fotoquímicas de hidrocarburos y óxidos de Nitrógeno, tienen efectos dañinos sobre materiales y vegetación y son irritantes de la membrana mucosa.

El Ozono, a concentraciones superiores a 0.1 p.p.m., provoca serios daños en el sistema respiratorio, ya que por naturaleza es un gas tóxico.

La irritación de los ojos y aparato respiratorio han sido reportados en sujetos que son sensibles a los niveles de oxidantes de 0.1 p.p.m. a 1.5 p.p.m. bajo condiciones prevalecientes en Los Angeles, Cal.. Pueden ocurrir más altos niveles de oxidantes en otras localidades sin producir irritación. Las evidencias presentes indican que dentro de un rango de 0.5 p.p.m. a 1.5 p.p.m. de oxidantes, puede causar interferencia con el desempeño atlético de niños escolares y empeoramiento de la función pulmonar en personas con enfisema moderadamente avanzado. Por tanto, la existencia de irritación es igualmente tomado como un indicativo de más serios peligros de salud pública.

De lo anteriormente descrito, se puede concluir que reduciendo

do la concentración de hidrocarburos de los niveles comunmente encontrados en la atmósfera productora de nieblihumo, se reducirán - los productos que forman dicho nieblihumo, excepto el NO_2 .

Ya que más del 50% de óxido nítrico (NO) atmosférico no es - automotivo y deriva de numerosas fuentes tales como la calefacción doméstica y la generación eléctrica, hay duda sobre la realidad de que reduciendo el óxido nítrico a un nivel más bajo, sea benéfico para reducir el nieblihumo.

C A P I T U L O 4
DETERMINACIONES Y EQUIPOS.

Para efectuar la evaluación de los gases emitidos por el escape de un motor de combustión interna del tipo usado en los automóviles, la Industria Automotriz se ha auxiliado de una serie de equipos y aparatos, que usados en conjunto, le han permitido tener un mayor control sobre dichas emisiones y así cumplir con las normas establecidas por el Gobierno.

En este capítulo se hará una descripción de estos equipos y aparatos de medición, los cuales forman en sí, un Laboratorio de Control de Emisiones.

La evaluación de las emisiones de gases por el escape debe ser efectuada sobre vehículos nuevos, que usen gasolina como combustible y de peso bruto vehicular de hasta 2727 Kg.

Además, cada vehículo programado para las pruebas de certificación de emisiones debe ser manejado cuando menos 6400 Km. antes de efectuar las pruebas.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

La prueba de las emisiones de gases por el escape, se realiza en un Dinamómetro de Chassis y está diseñado para determinar la emisión de hidrocarburos, monóxido de Carbono y óxidos de Nitrógeno en gramos por kilómetro durante la simulación de un recorrido en un área urbana de aproximadamente 12.1 Km., principiando con el motor

en frío. Esta condición de motor frío se cumple manteniendo el motor apagado por un período no menor de 12 horas antes de la prueba, a una temperatura ambiente de 15°C a 30°C., estacionado el vehículo en un lugar tal que no lo afecten las precipitaciones meteorológicas. La temperatura ambiente durante la prueba debe ser de 20°C a 30°C.

El programa de manejo en el dinamómetro consiste en una serie de modos (los cuales varían dependiendo del tipo de transmisión) de operación del vehículo no repetitivos de marcha lenta en vacío, aceleración, velocidad de crucero y desaceleración que ocurren en lapsos de tiempo desiguales. Se caracteriza por condiciones transitorias suaves de velocidad contra tiempo. La secuencia de tiempo empieza en el momento de arranque del motor.

El vehículo se debe probar partiendo de un arranque en frío. La operación a partir del arranque del motor y el recorrido del programa de manejo, constituyen la prueba completa. Las emisiones de gases por el escape se diluyen con aire a un volumen constante, recolectándose una porción de la muestra en una bolsa y posteriormente se analiza cuantitativamente su composición de hidrocarburos, monóxido de Carbono y óxidos de Nitrógeno. Paralelamente se analiza una muestra del aire de dilución.

Equipos y Aparatos.

Guía de Manejo y Registro de Velocidad.

Es un dispositivo que sirve para guiar al operador del vehículo para seguir adecuadamente el programa de manejo en el dinamómetro de chasis. Debe contar con una gráfica de la secuencia de manejo y registro de la velocidad real.

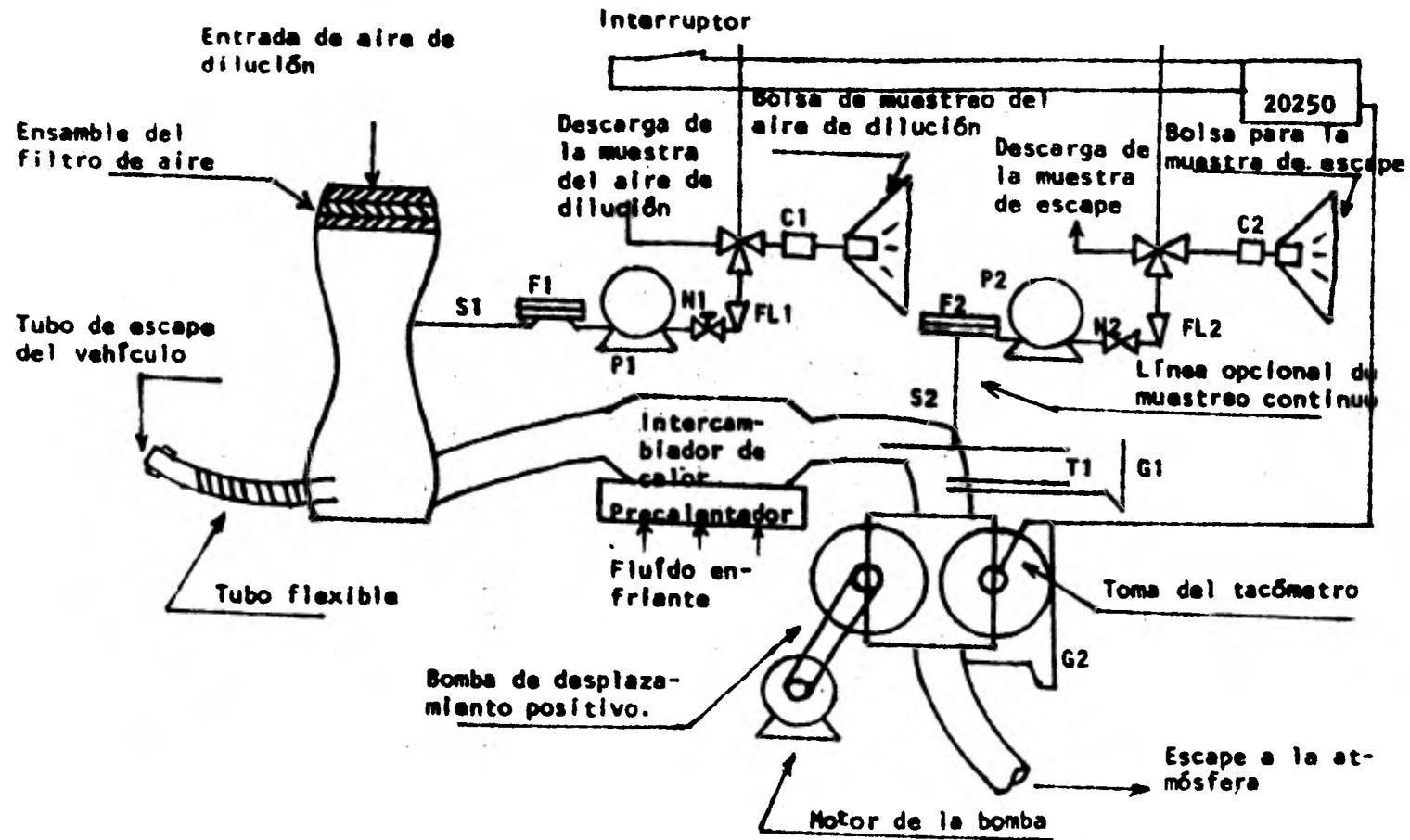
Dinamómetro de Chasis.

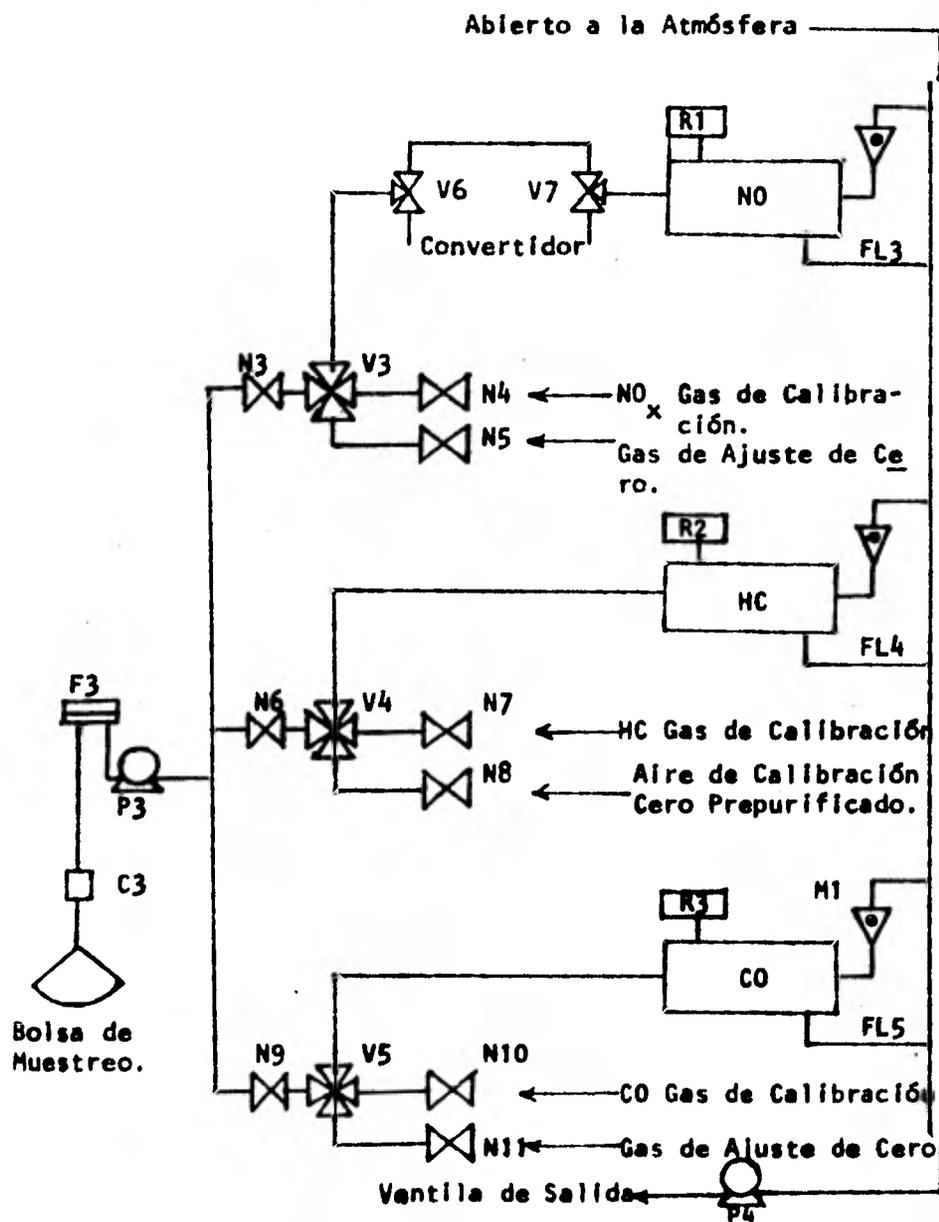
Es un aparato que debe ser capaz de proporcionar carga al vehículo durante la prueba de manejo. Debe estar equipado con volante de inercia y unidad de absorción de potencia de ajuste variable, cuyas características sean tales que cumplan con los requisitos impuestos.

Sistema de Muestreo y Análisis.

Las figuras expuestas representan los diagramas del sistema de muestreo y análisis de gases de escape que se usan para la prueba. Se pueden usar componentes adicionales, tales como instrumentos, válvulas solenoides, bombas e interruptores, a fin de suministrar información adicional y coordinar las funciones de los sistemas componentes. A continuación se señalan los componentes del sistema de muestreo, pudiéndose usar otros sistemas siempre y cuando se obtengan resultados equivalentes.

SISTEMA DE MUESTREO DE GASES DE ESCAPE





SISTEMA ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE.

Filtros de Admisión.

Un filtro de papel para eliminar la materia sólida del aire de dilución y así hacer que se incremente la vida del filtro de carbón; un filtro de carbón para reducir y estabilizar el nivel de los hidrocarburos base y por último un filtro de partículas para eliminar el carbón del flujo de aire. Los filtros y el conducto que lleva el aire de dilución al punto donde se agrega el gas de escape, debe ser de una capacidad tal que la presión en el punto de mezcla sea menor que la equivalente a 2.5 cm. de columna de agua abajo de la presión ambiental, cuando el sistema de muestreo a volúmen constante esté operando a su máximo flujo.

Un tubo flexible con conector de sellado hermético para conectarse al o a los tubos de escape del vehículo. El tubo flexible debe estar dimensionado y conectado de tal manera que las variaciones de la presión estática en él, o en los tubos de escape del vehículo permanezcan dentro de un límite de presión equivalente a 2.5 cm. de columna de agua de las variaciones de presión estática medidas durante el ciclo de manejo en el dinamómetro, sin conectar el, o los tubos de escape.

Un sistema de precalentamiento para calentar al intercambiador de calor dentro de ± 5 °C de la temperatura de operación, án--

tes de que la prueba comience.

Un intercambiador de calor capaz de mantener la variación de la temperatura de la mezcla del gas dentro de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante toda la prueba, medida aquella en el punto inmediato anterior a la bomba de desplazamiento positivo.

Una bomba de desplazamiento positivo del tipo Roots para conducir la muestra diluída del gas de escape. La capacidad de la bomba debe ser de 8.5 a 10 m^3 por minuto para que elimine virtualmente la condensación de agua en el sistema.

Sensor de temperatura (T_1) con una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. para permitir el registro continuo de la temperatura de la muestra del gas de escape diluída que entra en la bomba de desplazamiento positivo.

Un vacuómetro (G_1) con una precisión de $\pm 3\text{ mm.}$ de columna de Mercurio, para medir la caída de presión de la mezcla diluída de gas de escape que entra a la bomba de desplazamiento positivo.

Un manómetro (G_2) con una precisión de $\pm 3\text{ mm.}$ de columna de Mercurio, para medir el incremento de presión causado por la bomba de desplazamiento positivo.

Tubos de muestreo (S_1 y S_2) colocados en dirección contraria al flujo para recolectar las muestras del flujo de aire de dilu---

ción y la mezcla diluida del gas de escape.

Filtros (F_1 y F_2) para eliminar las partículas sólidas del aire de dilución y de las muestras diluidas de los gases de escape.

Bombas (P_1 y P_2) para enviar el aire de dilución y el gas de escape diluido a las respectivas bolsas de recolección.

Válvulas de control de flujo (N_1 y N_2) para regular el flujo a las bolsas de recolección, a una velocidad de flujo constante. - La mínima velocidad de flujo debe ser de $0.142 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Medidores de flujo (FL_1 y FL_2) para verificar con una observación visual, si la velocidad de flujo se mantiene constante a través de toda la prueba.

Válvulas de solenoide de tres vías (V_1 y V_2) para dirigir el flujo de la muestra a la respectiva bolsa o al exterior.

Conectores de sellado hermético y operación rápida (C_1 y C_2) con cierre automático sobre el lado de las bolsas, para mantener la muestra en ellas.

Bolsas de recolección para almacenar en ellas las muestras diluidas de aire y de gases de escape. Estas deben ser de 0.142 m^3 de capacidad como mínimo.

Contador de revoluciones (de operación de la bomba mientras la prueba se efectúa y la muestra se recolecta).

Para efectuar las pruebas se usan los siguientes componentes en el sistema de análisis de gases de escape.

Conectores de sellado hermético y de operación rápida (C_3) para unir las bolsas de muestreo al sistema analítico.

Filtros (F_3) para eliminar cualquier partícula residual de las muestras recolectadas.

Bomba (P_3) para enviar las muestras de la bolsa a los analizadores.

Válvulas selectoras (V_3, V_4, V_5) para dirigir las muestras o los gases de calibración y de trabajo a la sección de los analizadores.

Válvulas de control de flujo ($N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}$ y N_{11}).

Medidores de flujo de gas ($FL_3, FL_4, y FL_5$)

Múltiple (MI) para recolectar los gases expulsados por los analizadores.

Bomba (P_4) para enviar los gases expulsados del múltiple de recolección a una ventila externa del laboratorio de prueba.

Las determinaciones analíticas de los compuestos que forman los gases de escape, se basan en análisis instrumentales, los cuales operan bajo diferentes principios y que se describen a conti--

nuación:

DETERMINACION DE HIDROCARBUROS TOTALES.

Para el análisis de hidrocarburos totales, se utiliza un sistema detector de ionización por flama. Este sistema opera sobre el principio de que una muestra de gas conteniendo hidrocarburos, cuando pasa a través de una flama de Hidrógeno puro, incrementa una corriente de ionización proporcional a la cantidad de átomos de Carbono (originalmente presentes como hidrocarburos) en la muestra. No hay respuesta a otros gases que contienen Oxígeno o Nitrógeno, tales como CO , CO_2 , NO , NO_2 , o H_2O . La relación lineal entre la señal de salida y la concentración de hidrocarburos existe sobre un amplio rango de concentración.

Cuando una muestra de gas pasa a través de la flama de Hidrógeno, el hidrocarburo en la muestra de gas se descompone, incrementando el número de iones en la flama. Por medio de un electrodo colector rodeando a la flama y un voltaje de corriente directa C.D. entre la flama y el colector, el cambio en la corriente de ionización puede ser medido. El flujo de combustible de Hidrógeno y el aire al quemador son mantenidos a una velocidad constante por un sistema de control de flujo y el flujo de la muestra de gas también es controlado automáticamente a una velocidad constante por un sistema de control de flujo interno para asegurar exactitud y repeti-

bilidad.

Los rangos de los analizadores de hidrocarburos, son expresados en partes por millón de Carbono (p.p.m. C). Teóricamente, una molécula de propano, la cual tiene tres átomos de Carbono, debería tener tres veces la respuesta de una molécula de metano, la cual tiene un solo átomo de Carbono. Esto significa que con gas propano, 250 p.p.m. de propano (C_3H_8) corresponden $250 \times 3 = 750$ p.p.m.C. y similarmente, con 250 p.p.m. de nhexano (nC_6H_{14}) corresponden $250 \times 6 = 1500$ p.p.m.C. Aún cuando es comunmente aceptado que la relación entre el hidrocarburo y la sensibilidad relativa de salida es teóricamente lineal, en términos de átomos de Carbono no es perfectamente lineal.

Efecto de Atenuación por Oxígeno.

En mediciones F.I.D., casi no se observa respuesta con gases inorgánicos tales como CO , CO_2 , H_2O , NO o NO_2 , pero existe un efecto de atenuación por el Oxígeno presente.

Generalmente, cuando la concentración de O_2 se incrementa, la señal de salida es más pequeña. En la mayoría de los casos, cuando la concentración de la muestra es variable, es mejor usar un com-
premezclado (H_2 balanceado con He o N_2) y también es acon-
gas patrón diluido en aire para cancelar el efecto

de atenuación por el Oxígeno cuando se miden los hidrocarburos en muestras mezcladas con aire.

Analizador de Hidrocarburos Totales.

El aparato consta de dos secciones: una sección Analizadora y una sección de Módulo Electrónico. Estas dos secciones están interconectadas por un multiconductor.

Analizador.

El Analizador contiene un sistema quemador F.I.D. completo, un sistema regulador de flujo de aire/combustible, un medidor de presión de combustible, suministro de potencia por operación de una válvula solenoide y un calentador el cual mantiene los capilares con muestra/combustible a una temperatura de 55 °C. El flujo de __ muestra es automáticamente controlado por un regulador de presión y un sistema capilar de precisión. Los flujos de aire y combustible necesarios para mantener la flama en el quemador F.I.D. son completamente controlados por el sistema regulador de flujo. Un cierre automático de combustible también es incluido en la sección del Analizador el cual corta el suministro de combustible si se apaga la flama en el quemador. Un indicador de luz sobre el frente del panel se prende cuando el combustible se está quemando y se apaga cuando la flama se extingue.

Las conexiones de entrada de la muestra, aire y combustible y las conexiones de salida para los gases de escape, están en esta sección. Las gotas de agua, un producto de la combustión del Hidrógeno en el quemador, se deben drenar a una salida.

Módulo Electrónico.

La sección del Módulo Electrónico es un paquete el cual contiene el circuito principal de amplificación y el circuito de salida. Todos los controles y ajustes que sean necesarios para operar el aparato, están localizados en esta sección.

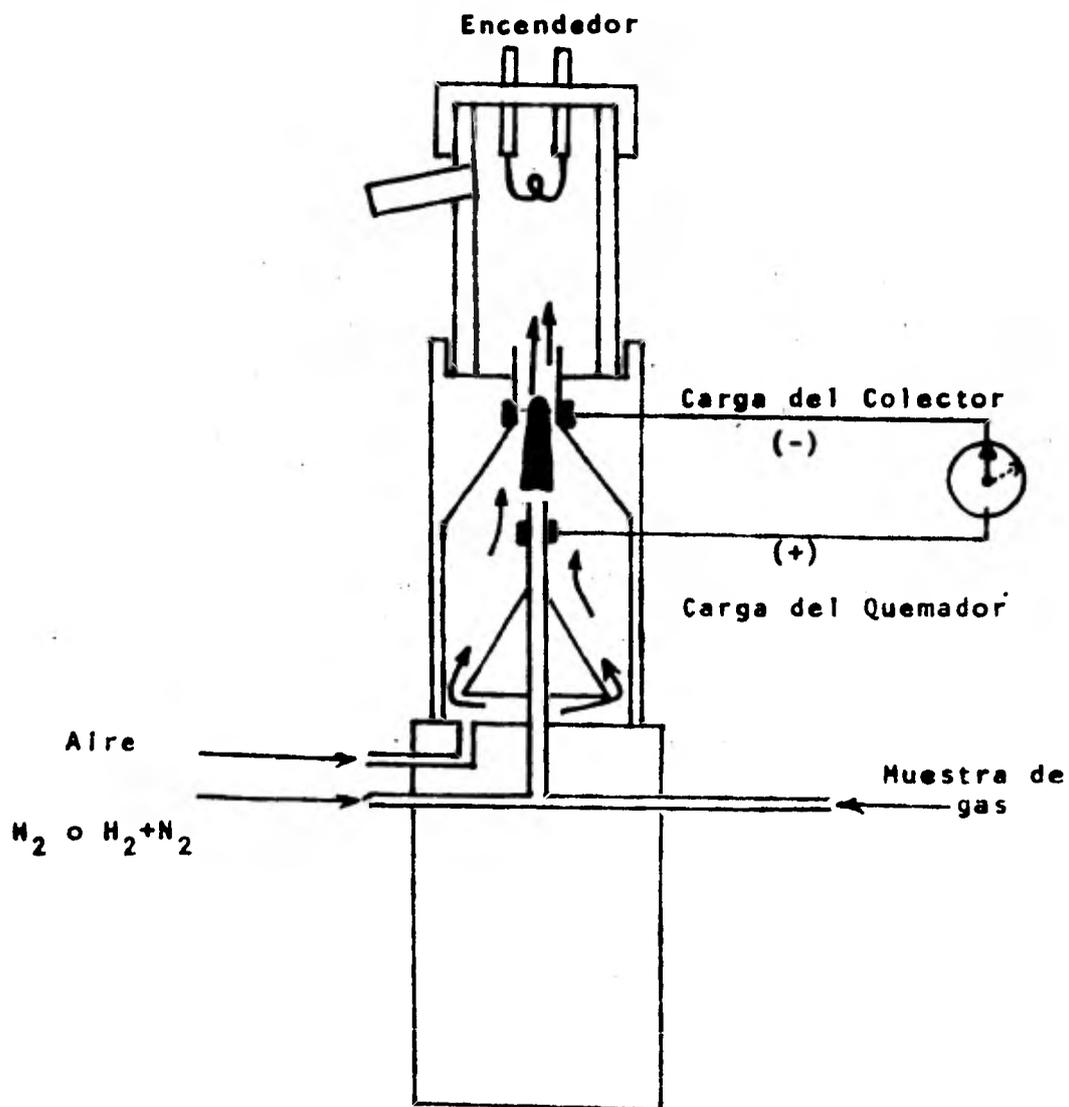
Precauciones de Muestreo.

La muestra de gas debe satisfacer los siguientes requerimientos para el correcto funcionamiento del aparato:

Impurezas. Todas las líneas de entrada de combustible, aire y muestras deben estar absolutamente libres de contaminación de hidrocarburos. Debe ser usada una tubería químicamente inerte (teflón, acero inoxidable o nylon) en todas las conexiones de entrada externas.

Combustible. El combustible puede ser premezclado, libre de hidrocarburos, consistente de 40% de Hidrógeno y 60% de Helio o Nitrógeno.

Muestra de Gas. La muestra de gas debe ser suministrada a --



PRINCIPIO FUNDAMENTAL DE IONIZACION POR FLAMA

aproximadamente 0.7 Kg/cm^2 . La velocidad de flujo de la muestra al aparato debe ser de aproximadamente 5 l/min .

La muestra de gas debe pasar a través de un filtro apropiado (tal como un papel filtro) antes de entrar al Analizador.

Calibración. Para efectuar la calibración del aparato, se requiere también aire libre de hidrocarburos, así como un gas patrón de concentración conocida (en este caso propano). Se debe usar un gas patrón para cada rango seleccionado en la calibración.

Para la salida de los gases de escape, la línea debe drenar hacia abajo, ya que cualquier acumulación de agua en la línea de escape, causará ruidos eléctricos en el medidor al efectuar las lecturas.

Después de la calibración a cero y a concentración conocida, estará todo listo para conectar la muestra de gas a la entrada del Analizador. Se debe seleccionar la posición del selector de rango para la lectura de la muestra.

DETERMINACION DE NO_x

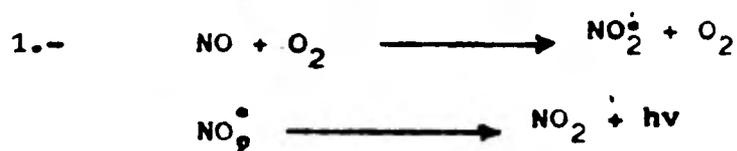
La determinación de NO_x está basada en el método quimiluminiscente, el cual está fundamentado en la reacción de NO con Ozono (O_3) para producir NO_2 (dióxido de Nitrógeno) y O_2 (Oxígeno).

En la determinación del Oxido Nítrico (NO), la muestra de NO es cuantitativamente convertida a NO₂ por oxidación en fase gaseosa, usando Ozono molecular.

La reacción característica es la elevación de aproximadamente 10% de las moléculas de NO₂ a un estado electrónicamente excitado, acompañado por la emisión de fotones.

En la determinación de NO_x, el componente NO₂ es descompuesto para formar NO. El resultado final está dado por el NO total -- presente en la muestra original, más el NO producido por descomposición del NO₂.

Las reacciones son:

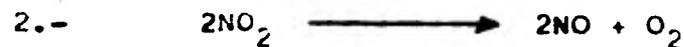


donde

h = Constante de Planck

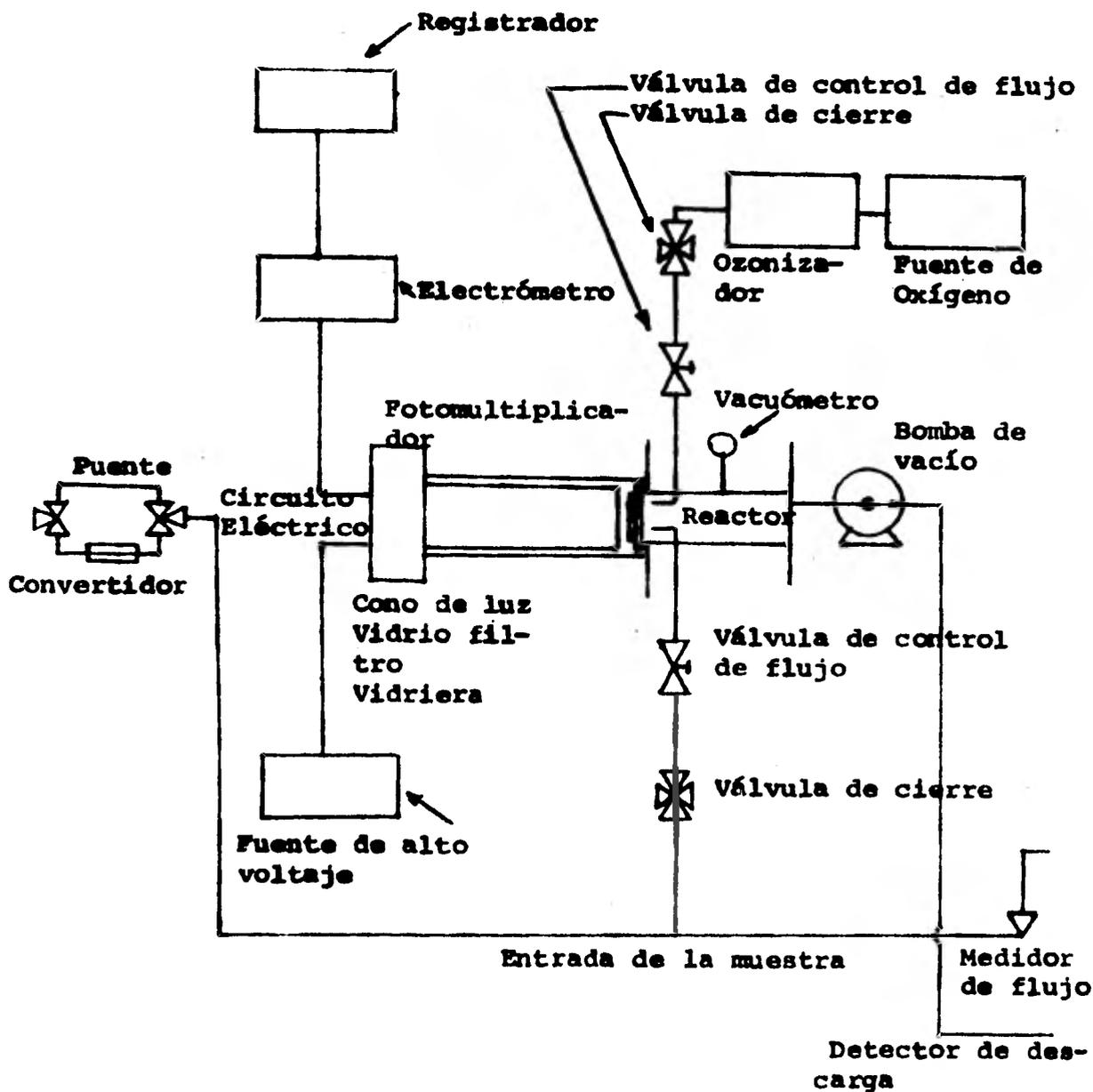
v = Frecuencia (hz).

NO₂^{*} = Moléculas electrónicamente excitadas.



Analizador de NO y NO_x.

El Analizador de NO y NO_x está compuesto de tres unidades:



SISTEMA ANALITICO PARA OXIDOS DE NITROGENO

Analizador Quimiluminiscente, el Generador de Ozono y el Módulo electrónico.

Analizador Quimiluminiscente.

Los componentes funcionales del sistema de medición de la sección del analizador son los siguientes:

Control de Temperatura.

La unidad de control de temperatura, en conjunción con los calentadores y sensores de temperatura en la cámara de reacción y múltiple de muestra, suministran un control constante de temperatura a 35 °C. Esta estabilización de la temperatura, asegura una operación estable y elimina los efectos de la temperatura ambiente.

Tubo Fotomultiplicador.

El tubo fotomultiplicador es del tipo de alta eficiencia, el cual convierte la actividad fotónica a corriente directa, dando una medición constante.

Convertidos de NO_x.

El convertidor de NO_x, es un convertidor de alta eficiencia, que reduce el NO₂ en la muestra gaseosa a NO para ser medido por el aparato.

Generador de Ozono.

El generador de Ozono utiliza el método de generación por -

descarga silenciosa, el cual suministra el Ozono a la sección del analizador, utilizando como materia prima Oxígeno.

Módulo Electrónico.

El Módulo Electrónico es un paquete el cual incluye todos -- los controles e indicadores para la operación del analizador.

El analizador de NO/NO_x mide la concentración de óxidos de Nitrógeno, monitoreando la reacción quimiluminiscente del Ozono (O_3) y el óxido nítrico (NO). Puede ser medido un amplio rango de con-- centraciones de NO y NO_2 con una interferencia despreciable de o-- tros componentes gaseosos.

En la determinación del Oxido Nítrico, la muestra de NO es - cuantitativamente convertida a NO_2 por oxidación en fase gaseosa - dentro del analizador, utilizando Ozono molecular producido por el generador de Ozono.

Los fotones emitidos por la reacción quimiluminiscente, son percibidos por el detector fotomultiplicador, generando una corrien-- te directa de bajo nivel. La corriente es amplificada por el Módu-- lo Electrónico para actuar sobre el panel medidor y/o un registra-- dor remoto.

En la determinación de NO_x , la función del Analizador es idén tica a la determinación de NO , excepto que antes de entrar a la cá-

para de combustión, la muestra es mandada a través del convertidor donde el componente NO_2 es descompuesto para formar NO .

Calibración.

Para la calibración a cero y a concentración conocida, se debe introducir la muestra de gas patrón a una velocidad de flujo de 5 l/min. y usando el rango apropiado, se debe ajustar el potenciómetro a la medida correspondiente al valor del gas usado.

DETERMINACION DE CO Y CO_2 .

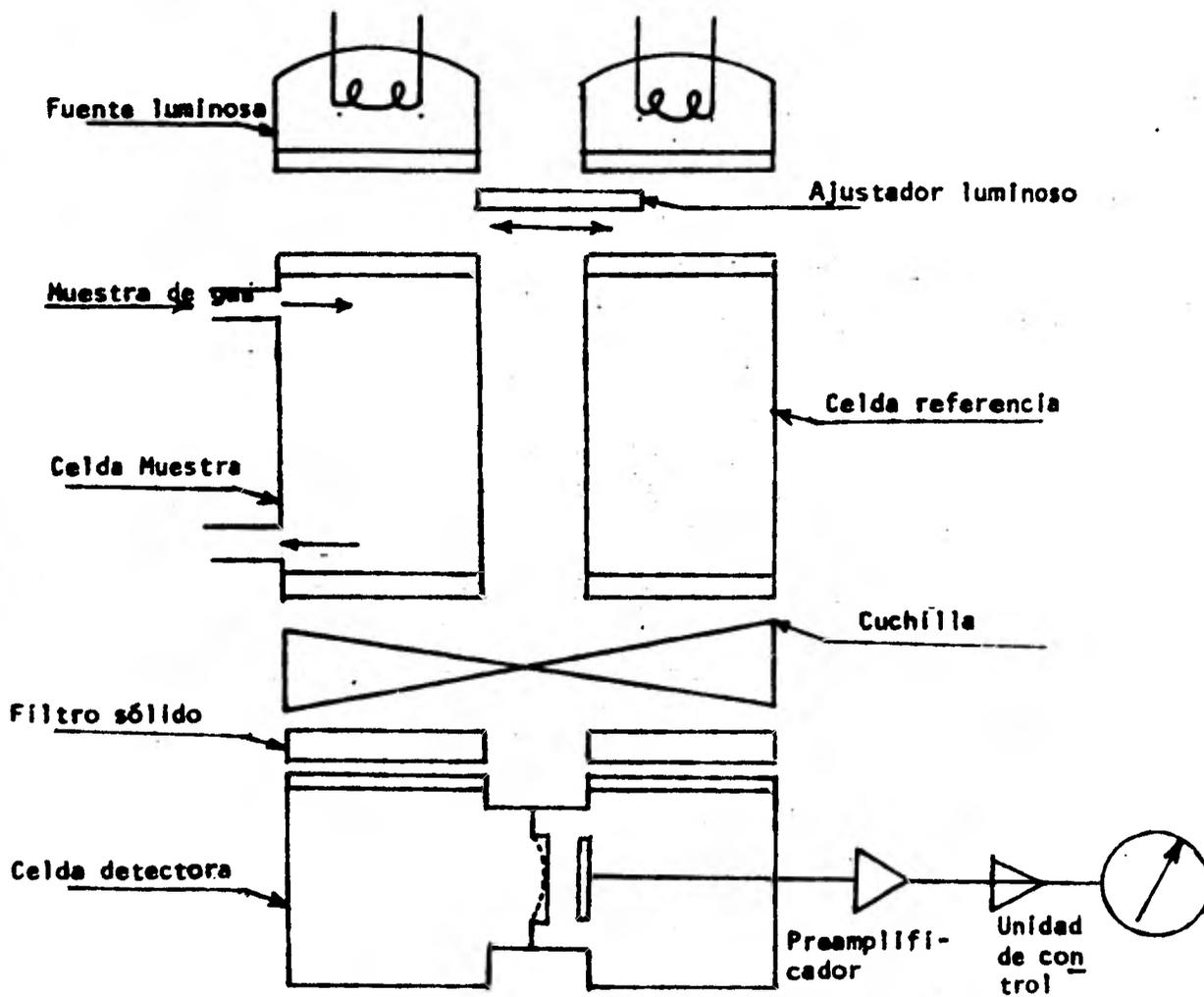
Es conocido el hecho de que la mayoría de las moléculas absorben radiación infrarroja de una longitud de onda específica y que el grado de absorción es proporcional a la concentración a una presión constante.

Analizador Infrarrojo No Dispersivo.

El aparato consta de dos secciones: la sección del Analizador y la sección del Módulo Electrónico.

Analizador.

El Analizador contiene un sistema óptico completo, un preamplificador y un sistema controlador de calor, el cual mantiene el sistema óptico a una temperatura constante de 55°C .. También en esta sección del analizador se incluyen todas las conexiones y tuberías necesarias.



PRINCIPIO DE OPERACION DE UN DETECTOR SIMPLE.

Módulo Electrónico.

El Módulo Electrónico es un paquete el cual contiene el amplificador y todos los controles y ajustes necesarios para operar el Analizador.

El Analizador determina continuamente la concentración de un componente dado, por medición de la absorción infrarroja específica al componente de interés.

La radiación infrarroja emitida por la fuente de luz, es modulada por una cuchilla rotatoria y sensibilizado por la celda detectora. Si una porción de la radiación infrarroja que pasa a través de la celda muestra es absorbida por la muestra de gas, habrá un descenso en la cantidad de radiación que llega a la celda detectora por el lado de la muestra. Esta diferencia causa que una membrana entre las celdas muestra y de referencia en el detector, produzca una salida eléctrica, la cual es amplificada y dirigida a un medidor y/o aparato registrador.

Debido a que el componente que interesa está sellado en la celda detectora, absorbe radiación de la longitud de onda específica a aquél componente y no responde a ninguna otra longitud de onda, así que el cambio en la concentración de ese componente también puede ser medida.

En el caso de que un componente se sobreponga parcialmente a la longitud de onda de absorción del componente de interés, existen filtros para eliminar la radiación infrarroja de la longitud de onda sobrepuesta, eliminando el efecto de interferencia.

Precauciones de Muestreo.

La muestra de gas debe satisfacer los siguientes requerimientos para la operación satisfactoria del Analizador:

Impurezas. No deben estar presentes gases corrosivos tales como Cl_2 , F_2 , HCl . La presencia de estas sustancias en la muestra afectarán adversamente el funcionamiento del aparato y pueden acortar la vida de los materiales en contacto con la muestra.

Las muestras deben estar libres absolutamente de SO_3 .

El polvo debe ser eliminado completamente de la corriente de muestra. El filtrado final debe ser menor de 0.3 micras.

El sistema de muestreo debe ser tal que el agua condensada no drene dentro del Analizador.

Para minimizar la interferencia debida al vapor de agua para ciertas muestras, es necesario enfriar la muestra a aproximadamente 2°C . Es necesario deshumidificar la muestra por enfriamiento a aproximadamente 0°C . para las mediciones de gases corrosivos tales como SO_2 y NO para prevenir la formación de ácidos perjudicia-

les.

La muestra de gas debe ser mantenida a una temperatura dentro de 0°C a 40°C. en la entrada de la muestra al aparato. El punto de rocío debe ser mantenido por lo menos 5°C más abajo de la temperatura ambiente.

La velocidad de flujo de la muestra debe ser adecuada dentro de 0.5 l/min. a 10 l/min. y el aparato debe operar dentro de este rango. El flujo de muestra debe estar libre de pulsaciones en la presión. Se debe eliminar cualquier pulsación con un regulador de presión adecuado antes de la introducción de la muestra de gas dentro del Analizador.

La velocidad de flujo debe ser controlada dentro del 15% de la velocidad nominal escogida de 0.5 l/min. a 10 l/min.

Cuando se efectúa la calibración del aparato, usando un gas patrón de concentración conocida, dicho gas debe ser introducido al aparato a la misma velocidad de flujo que la muestra de gas por analizar.

Localización de los aparatos.

Los instrumentos de análisis no deben ser instalados en un ambiente peligroso. Deben estar localizados en un área la cual permita la ventilación de los gases tóxicos a un sistema de escape a

la atmósfera.

Deben ser instalados en un área que esté libre de excesivo polvo y humedad. Los aparatos no deben estar expuestos a la luz solar directa, calor radiante o fluctuaciones violentas de temperatura. La temperatura debe ser mantenida entre 5°C y 40°C. con una variación en la misma en un período de 24 horas no arriba de 10°C.

Si los aparatos están localizados cerca de una fuente de calor radiante o si están colocados en un área donde existen corrientes de aire, será necesario protegerlos. Las protecciones deben -- permitir una adecuada circulación de aire alrededor del Módulo Electrónico.

Los analizadores no deben estar sujetos a golpes o vibraciones excesivas. No deben estar instalados cerca o conectados a la misma fuente de poder que el equipo eléctrico, tales como radiofrecuencia, hornos, soldadoras de arco, las cuales pueden causar perturbaciones en la fuente de poder.

Cálculo de la Emisiones de Escape.

Los resultados finales de emisiones deben ser calculados de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Masa de Hidrocarburos.

$$HC_{\text{masa}} = V_m \times d_{HC} \times \frac{c_{HC}}{10^6}$$

Masa de Monóxido de Carbono

$$CO_{\text{masa}} = V_m \times d_{CO} \times \frac{c_{CO}}{10^6}$$

Masa de Oxidos de Nitrógeno

$$NO_x \text{ masa} = V_m \times d_{NO_2} \times \frac{c_{NO_x}}{10^6}$$

en donde

HC_{masa} = Emisiones de hidrocarburos en gramos por Kilómetro por vehículo.

d_{HC} = Densidad de los hidrocarburos en los gases de escape, suponiendo una relación de 1:1.86 de átomos de Carbono en gramos por decímetro cúbico a 20°C y 585 mm. Hg (0.444 g/dm³).

c_{HC} = Concentración de hidrocarburos en la muestra diluida de los gases de escape menos la concentración de hidrocarburos de la muestra de aire en p.p.m. del Carbono Equivalente.

CO_{masa} = Emisiones de Monóxido de Carbono en gramos por decímetro cúbico a 20°C y 585 mm. Hg (0.897 g/dm³).

cCO = Concentración de Monóxido de Carbono en la muestra diluída - de los gases de escape menos la concentración del Monóxido de Carbono en la muestra de aire en el volúmen presente en porcentaje.

$NO_x \text{ masa}$ = Emisiones de Oxidos de Nitrógeno en gramos por Kilómetro por vehículo.

dNO_2 = Densidad de los Oxidos de Nitrógeno en los gases de escape - suponiendo que están en la forma de Dióxido de Nitrógeno en gramos por decímetro cúbico a 20°C y 585 mm. Hg ($1.473g/dm^3$)

cNO_x = Concentración de los Oxidos de Nitrógeno en la muestra diluída de los gases de escape menos la concentración de Oxidos de Nitrógeno de la muestra de aire en p.p.m.

V_m = Volúmen total de la muestra diluída de los gases de escape corregidos a las condiciones normales (20°C y 585 mm. Hg).

$$V_m = K_1 \times V_o \times N \times \frac{P_b - P_i}{T_p}$$

donde

P_b = Presión barométrica en mm. Hg.

P_i = Presión de entrada a la bomba de desplazamiento positivo en mm. Hg.

K_1 = 0.0415

V_o = Volúmen bombeado por la bomba de desplazamiento positivo en --
decímetros cúbicos por revolución. Este volúmen depende de --
las diferencias de presiones en la bomba de desplazamiento po
sitivo.

N = Número de revoluciones de la bomba de desplazamiento positivo,
durante la prueba en que las muestras se colectan.

T_p = Temperatura promedio ($^{\circ}C$) de los gases de escape diluidos, en-
trando a la bomba de desplazamiento positivo durante la prueba
y en que las muestras se colectan.

K_H = Factor de corrección de humedad.

$$K_H = \frac{1}{1 - 32.90 (h - 0.0107)}$$

en donde h es la humedad absoluta en gramos de agua por gramos de -
aire seco.

$$h = 0.00621 \frac{R_a \times P_d}{P_b (P_d \times R_a / 100)} \frac{(\text{Gramos de Agua})}{(\text{Gramos Aire seco})}$$

donde

R_a = Humedad relativa del aire ambiente en por ciento.

P_d = Presión de vapor saturado a la temperatura de bulbo se-
co ambiente en mm. Hg.

Ejemplo de cálculo de los valores de masa de emisiones.

Supóngase $V_o = 7.504 \text{ dm}^3$ por revolución, $N = 20250$ revoluciones, $R_a = 65\%$, $P_b = 584 \text{ mm. Hg.}$, $P_d = 20 \text{ mm. Hg.}$, $P_i = 21 \text{ mm. Hg.}$, ---
 $T_b = 32^\circ\text{C.}$, $\text{cHC} = 160 \text{ p.p.m.C. equivalente}$, $\text{cCO} = 0.09\%$ y $\text{cNO}_x = 70 \text{ p.p.m.}$

Se tiene

Volúmen de la mezcla

$$V_m = (0.0415) (7.504) (20250) \times \frac{584 - 21}{305}$$
$$= 11640 \text{ dm}^3 / \text{Km.}$$

$$h = 0.00621 \times \frac{65 \times 20}{584 - (20 \times 65/100)} = 0.0141 \frac{\text{g agua}}{\text{g aire}}$$

$$K_H = \frac{1}{1 - 52.90(0.0141 - 0.01071)} = 1.125$$

$$\text{HC}_{\text{masa}} = 11640 \times 0.444 \times \frac{160}{10^6} = 0.826 \text{ g/ Km.}$$

$$\text{NO}_x \text{ masa} = 11640 \times 1.473 \times \frac{70}{10^6} = 1.35 \text{ g/ Km.}$$

$$\text{CO}_{\text{masa}} = 11640 \times 0.897 \times \frac{0.09}{100} = 9.40 \text{ g/ Km.}$$

Habiendo hecho en los capítulos anteriores una descripción somera del equipo y materiales que son necesarios para la instalación del Laboratorio de Emisiones de Gases de Escape, se procederá a hacer el estudio económico de este Anteproyecto, estudio que estará limitado por el desorden que prevalece en la actualidad en el país, lo cual impide hacer un cálculo exacto y real de la inversión que se requiere.

Por tanto se tratará de hacer un cálculo aproximado, basándose en los precios que regían en el año de 1979 y en moneda americana (dólares), multiplicados por un factor de incremento de dichos precios de 1.4 y haciendo la conversión al valor actual de la moneda mexicana. Con lo anterior se tendrán los siguientes costos:

I.- EQUIPO.

Guiador y Registrador	\$ 98,000.00
Dinamómetro de Chassis	\$ 1,960,000.00
Equipo de muestreo C.V.S.	\$ 2,058,000.00
Analizadores HC, CO, NO _x	\$ 4,777,000.00
Computadora	\$ 2,450,000.00
Ventilador de velocidad fija	\$ 45,000.00
Calibrador de equipo C.V.S.	\$ 210,000.00

40 cilindros con gases de calibración y ajuste a diferentes concentraciones. Costo promedio y primera entrega	\$ 400,000.00
Papel graficador, plumillas	\$ 80,000.00
Total Requerido	\$ 12,078,000.00

II.- Obra civil.

Terreno de 240 m ² .	\$ 1,200,000.00
Obra negra (800 m ² construcción)	\$ 2,500,000.00
Sistema Aire Acondicionado	\$ 5,200,000.00
Total Requerido	\$ 8,900,000.00

III.- Administrativos

Para el funcionamiento del laboratorio, éste requerirá los siguientes gastos, haciéndose notar que las erogaciones por concepto de sueldos serán mensuales. Por tanto para

1.- Personal.

- a) 3 Ingenieros (Químicos y mecánicos electricistas)
- b) 1 Técnico automotriz.
- c) 1 Secretaria.

2.- Mobiliario

los costos serán:

Percepciones de 3 Ingenieros	\$	240,000.00
Percepciones de 1 Técnico	\$	50,000.00
Percepciones de 1 Secretaria	\$	25,000.00
Mobiliario para oficina y trabajo	\$	150,000.00
Total Requerido	\$	465,000.00

Sumando los costos I, II y III, se tendrá el costo total --
del Laboratorio:

Equipo	\$	12,078,000.00
Obra Civil	\$	8,900,000.00
Administrativos	\$	465,000.00
COSTO TOTAL REQUERIDO	\$	21,443,000.00

Por otra parte, si se piensa en una armadora de automóviles que desea obtener autorización por parte del Gobierno para producir 5 modelos nuevos y que no cuenta con un Laboratorio de Control de Emisiones para desarrollar su Programa de Certificación, se tendrán que atender los siguientes puntos:

a) Por experiencia se sabe que durante el desarrollo de un modelo en la armadora, se tienen que hacer como mínimo 20 análisis de contaminantes. Habrá que considerar además que se presentarán las versiones en transmisión automática y transmisión manual, por lo cual el número de pruebas se verá duplicado.

Sabiendo que en la actualidad el costo por análisis es de --
\$ 9,000.00, se tiene que

$$\$ 9,000.00 \times 40 = \$ 360,000.00$$

el costo total para los cinco modelos que se piensan lanzar será

$$\$ 360,000.00 \times 5 = \$ 1,800,000.00$$

b) Posteriormente, durante la certificación a gobierno, se --
tendrán que hacer tres pruebas más por modelo, el promedio de las
cuales dará el veredicto final, es decir, se obtendrá la aproba--
ción o el rechazo de la certificación. Las pruebas mencionadas --
tendrán un costo de

$$\$ 9,000.00 \times 30 = \$ 270,000.00$$

c) Si a lo anteriormente expuesto se agregan los gastos de -
transporte y estancia del personal necesario al lugar donde se ---
efectúen las pruebas y si fuera posible hacerlas en un solo viaje,
se llevaría aproximadamente tres meses. Se considera que estos cog
tos son de aproximadamente \$ 2,000.00 diarios y por persona. Por
tanto,

$$\$ 2,000.00 \times 4 = \$ 8,000.00$$

$$\$ 8,000.00 \times 90 = \$ 720,000.00$$

d) Acumulando los gastos anteriores se tendrá el costo total
del desarrollo de los cinco modelos, ántes de su venta al público:

Pruebas de desarrollo	\$ 1,800,000.00
Pruebas de certificación	\$ 270,000.00
Gastos de personal	\$ 720,000.00
COSTO TOTAL REQUERIDO	\$ 2,790,000.00

Si se comparan los costos totales requeridos de instalación del Laboratorio y del Programa de desarrollo y certificación, se tendrá que el costo del equipo y obra civil, sumados, se amortizará en

$$\frac{\$ 20,978,000.00}{\$ 2,790,000.00} = 7.5 \text{ años.}$$

Por otra parte, si se piensa en una Planta Armadora que tiene una producción promedio de 300 unidades por día en dos turnos de 8 horas cada uno y si se considera un costo también promedio por modelo de \$ 600,000.00 cada uno, se tendrá que

$$\$ 600,000.00 \times 300 = \$ 180,000,000.00$$

es lo que genera diariamente en capital esta armadora.

Se observará de lo anterior, que si no se obtiene la aprobación por parte del Gobierno, se tendrán pérdidas por \$ 180,000,000.00 por cada día de atraso en el lanzamiento, lo cual definitivamente afectará en forma grave la estabilidad financiera de esta armadora.

Revisando las especificaciones para los próximos años, se no tará que las tolerancias en las emisiones de gases de escape se irán reduciendo, lo cual hará que los fabricantes tengan que diseñar y probar diferentes y múltiples dispositivos destinados a reducir la contaminación de la atmósfera.

Otro aspecto en el cual se debe pensar es que en el año modelo 1984, se comenzará a dar cumplimiento al Decreto mencionado en el Capítulo 4, el cual expresa la facultad de la Dirección General de Saneamiento Atmosférico de poder hacer muestreos, cuando lo con sidere necesario, en la línea de producción y revisar que se esté cumpliendo con lo especificado, lo cual hará que el número de deter minaciones en el laboratorio se multipliquen, ya que para tener la seguridad del cumplimiento de lo requerido, se tendrá que hacer como mínimo un rechequeo cada semana, de las emisiones que estén resultando en la producción, lo cual implicará un aumento en los pa gos por el uso de un laboratorio autorizado para hacer este tipo de determinaciones. En caso de no cumplir el fabricante con lo especi ficado, se detendrá inmediatamente su producción hasta la correc ción de la o las fallas en que esté incurriendo.

C A P I T U L O 6

CONCLUSIONES

Después de hacer un análisis de todo lo expuesto en los capítulos anteriores, se puede concluir lo siguiente:

1.- Desde el punto de vista de la salud, el problema de la contaminación ambiental por causa de los vehículos con gasolina como combustible, es bastante grave, ya que por la geografía del lugar, es imposible que haya arrastre de estos gases por el viento, por lo cual es importantísimo tener un control severo sobre las emisiones para este tipo de vehículos, ya que de otra manera se afectará directamente la salud de las generaciones futuras.

2.- Desde el punto de vista económico, es muy conveniente que los fabricantes de automóviles cuenten con un Laboratorio de Emisiones propio, porque los gastos a un futuro inmediato se incrementarán notoriamente, debido a que como se anotó anteriormente, las especificaciones para niveles de emisiones tienden a ser más reducidas y difíciles de cumplir, por lo cual el uso de estos laboratorios aumentará considerablemente, con los consecuentes gastos por parte de las armadoras que no cuenten con el mencionado Laboratorio de Emisiones.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Decreto que fija los niveles máximos permisibles de emisiones de gases contaminantes y consumos de combustible de los vehículos automotores nuevos de fabricación nacional.
- 2.- Emissions Controls Manual. Chrysler Corporation. 1978.
- 3.- El Medio Ambiente. Enrique Márquez Mayaudón. Fondo de Cultura Económica. 1973.
- 4.- Federal Register. Environmental Protection Agency. Control of air pollution from new motor vehicles and new motor vehicle engines. Republication of the 1977, 1978, and 1979 Model Year Motor Vehicle Certification Regulations.
- 5.- Horiba Instruments Incorporated. Instruction Manuals: NDIR Analyzer, NO/NO_x Analyzer and Total Hidrocarbon Analyzer. 1978.
- 6.- La Contaminación. Motores Perkins, S.A.. 1978.
- 7.- Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-11-1980. Contaminación Atmosférica. Vehículos Automotores nuevos a gasolina. Evaluación de emisiones de gases de escape.
- 8.- Norma Oficial Mexicana NOM-D-150-1981. Método de prueba para la determinación del rendimiento de Combustible en Vehículos con motor a gasolina de hasta 2727 Kg. de Peso Bruto Vehicular.
- 9.- Product Technician Education Program Course Notes Gasoline Engine & Emissions for Technicians. Ford Motor Company. 1971.