

# Comparación de efectos de un aditivo comercial y un encendido por descarga continua sobre las emisiones primarias de un motor de automóvil

H. Soto Nilo<sup>1</sup>, S. Díaz Carmona<sup>2</sup> y J. Romero Rojas<sup>3</sup>

**SUMMARY:** The present work shows a comparative study of the SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCHO, CO and hydrocarbon emissions produced by 1.5 L. Datsun engine discharge modified ignition system was used whereas in the other case the Wynn's for Gas Commercial additive was used along with a conventional ignition system.

The system using the commercial additive showed a greater efficiency, than the electronic ignition one, in the pollutant reduction, under the conditions of this study. In particular, SO<sub>2</sub> emissions were reduced up to 20% as compared to the other system.

**RESUMEN:** El presente trabajo muestra un estudio comparativo de las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCHO, CO y HC producidas por un motor Datsun 1.5 L acoplado a un dinamómetro hidráulico. En un caso, se usó un sistema de encendido por "descarga continua" y en el otro, se usó un aditivo comercial "For Gas" marca Wynn's.

En las condiciones analizadas, el aditivo comercial mostró una mayor eficiencia en la reducción de contaminantes, que el encendido electrónico. En particular, las emisiones de SO<sub>2</sub> se redujeron hasta un 20% comparativas al sistema convencional.

## INTRODUCCIÓN

El Proceso combustivo mismo, en motores de combustión interna, está afectado por la presión media efectiva en la cámara de combustión, la temperatura que alcanza el frente de llama y la relación aire-combustible entregada por el carburador.

Podemos apreciar, según la Tabla 1 (1) que la composición que tienen los gases de escape depende directamente

de las condiciones de operación del móvil, cuyos valores se reflejan en las tres variables anteriormente mencionadas. Así, las emisiones de monóxido (CO) dependen directamente de la relación aire-combustible (RAC) entregadas por el carburador y las emisiones de hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, son funciones directas de la presión media efectiva en la cámara de combustión y de la temperatura alcanzada por el frente de llama mismo, en el interior de ella.

Después de encendida la mezcla combustible, el frente de llama se propaga a lo largo y ancho del cilindro, deteniéndose en las cercanías de la zona refrigerada, donde se produce una caída de temperatura, quedando una cantidad  $\leq 1\%$  de hidrocarburos no quemados, los que, posteriormente, se emiten junto a una gran cantidad de productos intermedios, entre los que se destacan.

**Tabla 1**  
EMISIONES PORCENTUALES SEGÚN MODO DE OPERACIÓN DEL MÓVIL

Modo de operación (km/h)	% V(CO)	% V(HC)	% V (NO <sub>2</sub> )
Sacando al móvil de la inercia	3,6	0,067	0,125
Acelerando (24-45)	2,8	0,050	0,170
Crucero (25-30)	4,1	0,056	0,021
Crucero (80)	2,8	0,045	0,099
Desacelerando (80-30)	4,2	0,350	Muy bajo

- El monóxido de carbono (CO) originado por una oxidación incompleta o una RAC muy rica.
- Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>): formados en el frente de llama mismo, es decir, donde la temperatura alcanza valores puntuales de, aproximadamente, 2.000°K(2).
- Oxidos de azufre (SO<sub>2</sub>): provenientes principalmente del contenido de azufre de las gasolinas usadas en Chile (aprox. 0,25% S) (3); a esto debemos sumar también el contenido de azufre en los aceites lubricantes.
- Material particulado: que constituye en promedio el 0,05% en peso del total de gas emitido. Está formado principalmente por Plomo (4), carbonilla, aceite de motor y productos de combustión no volátil (5).

<sup>1</sup> y <sup>2</sup>Depto. de Química, Facultad de Ciencia, USACH y Área de Ingeniería Mecánica Automotriz del Instituto Profesional INACAP

<sup>3</sup>Área Ingeniería Mecánica Automotriz y Área Ingeniería en Ordenación Ambiental del Instituto Profesional INACAP.

Así, pues, de 100 l de gasolina quemada por motores de mediana cilindrada, se forman como promedio:  
 370 kg de monóxido de carbono (CO)  
 2-50 kg de hidrocarburos (HC)  
 6-18 kg de óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>)  
 0,5 kg de aldehídos (HCHO)  
 0,6-1,2 kg de óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>)  
 0,20 kg de material particulado.

Estos valores son emitidos por vehículos funcionando en perfecto estado mecánico (6) y que lógicamente, no corresponden al promedio de automóviles circulando en nuestra ciudad.

En la figura (a) se muestra un esquema generalizado de la relación entre los principales parámetros mecánicos de un automóvil (potencia y consumo específico) y los parámetros emisivos primarios (CO, HC y NO<sub>x</sub>) con la relación aire/combustible (7).

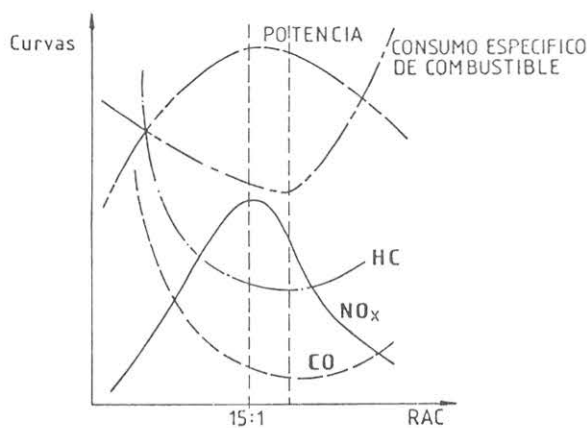


Fig. (a)

Las industrias automotrices se han preocupado en la actualidad de buscar metodologías que permitan disminuir estas emisiones. Así, por ejemplo, han modificado el sistema de alimentación sacando sofisticados modelos de carburadores que controlan la gasolina entregada al motor.

Otras compañías han usado el sistema de inyección de combustible comandada electrónicamente. Estos inyectores electrónicos determinan el flujo de aire, para una determinada condición y, luego, inyectan el combustible requerido mediante un controlador electrónico.

Otras firmas, han sacado sistemas tales como la retroalimentación y la recirculación de gases de escape: en ambos casos, se modifica la mezcla combustible logrando resultados muy positivos en lo concerniente a emisiones, pero negativos en lo que se relaciona con la potencia del motor, ya que por lo general estos sistemas empobrecen la mezcla combustible.

## OBJETIVOS

Realizar un estudio comparativo de las emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y aldehído fórmico (HCHO) en un motor ciclo Otto, al modificar el sistema de encendido, como también al trabajar con un aditivo

comercial Wynn's acondicionado para reducir emisiones, principalmente las de SO<sub>2</sub> formado durante el proceso combuativo.

## DESARROLLO

Las experiencias se desarrollaron en un motor Datsun con 65.000 km de recorrido, 1.500 cc de capacidad volumétrica y potencia SAE efectiva de 45 HP a 5.500 RPM.

El motor se dispuso en un banco de prueba acoplado a un dinamómetro hidráulico HPA cuyo rango de velocidad es de 0 a 6.000 RPM.

El aditivo comercial aportado por la empresa Wynn's se adicionó directamente al estanque de combustible en proporción indicada por la firma y luego de ambientar el motor durante 48 h, se procedió al muestreo de las emisiones. De igual forma se trabajó con el encendido de alta descarga que, de acuerdo con las normativas del fabricante, debía usarse con 20° de avance y sin platinos para obtener un continuo en la descarga.

Las emisiones de óxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se midieron por el método europeo (8) de acidez total, haciendo burbujear los gases de escape del vehículo sobre una solución estandarizada de perhidrol (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y titulando posteriormente la solución con hidróxido de sodio de concentración conocida, en presencia de indicador mixto de verde de bromo y rojo de metilo en un rango de pH entre 5 y 6.

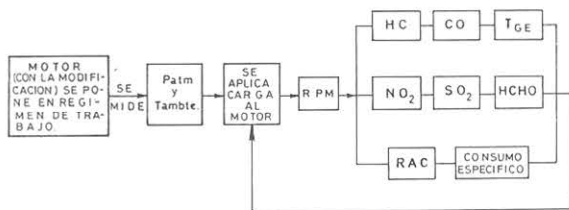
Las medidas de óxidos de nitrógeno como NO<sub>2</sub> se realizaron según el método de Saltzman modificado (9) y adaptado para fuentes emisivas, utilizando el sistema de volumen de control y soluciones específicas de ácido sulfanílico en ambiente acético y clorhidrato de N (1-Naftil) etilendiamina en solución acuosa.

Las emisiones de aldehído fórmico también se realizaron por el método colorimétrico utilizando como reactivo específico, ácido cromotrópico en ambiente sulfúrico P.A. (10), formándose un complejo coloreado característico.

En ambos métodos se miden las absorbancias de las muestras y sus índices se comparan con los de curvas de calibración previamente establecidas.

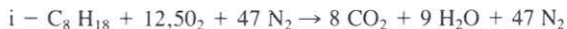
Las medidas de hidrocarburos (HC) y monóxido (CO) se realizaron con un equipo Peerless IR, modelo 675 con un rango de sensibilidad de 10<sup>-3</sup> ppm en HC y de 5 × 10<sup>-3</sup> (%) v/v para CO.

En general el proceso experimental lo podemos resumir de acuerdo al siguiente diagrama de operaciones.



## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La reacción química teórica que mejor muestra la combustión en motores ciclo Otto, se representa por la ecuación:



Esta situación nos muestra que la relación aire-combustible (RAC) es:

$$R_{AC} = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} = \frac{12,5 \times 32 \times 47 \times 28}{114} = \frac{15}{1}$$

Se habla de una reacción química teórica porque la bencina (gasolina), que es una mezcla de hidrocarburos, está siendo representada en este caso, por el compuesto iso-octano, el que presenta propiedades físico-químicas parecidas a las de la gasolina, como son: "Poder Calorífico" o la "Resistencia a la Detonación" principalmente.

Por otra parte, se habla de combustión completa, ya que en el 2º miembro de esta ecuación no aparece el monóxido de carbono (CO), característico de cualquier proceso combu-

stivo. Los motores ciclo Otto han sido diseñados por las fábricas para trabajar con relaciones aire-combustible menores que 15:1; es decir entre 11 y 14. En otras palabras, con mezclas ricas de tal modo de asegurar usar la máxima potencia para la cual han sido diseñados y proteger, principalmente, al sistema valvular, ya que una mala o deficiente alimentación del motor, traería como consecuencia, un "picado" de éstas. Este hecho, aunque positivo desde el punto de vista mecánico, permite que el vehículo desprenda al medio ambiente cantidades no despreciables de monóxido de carbono (CO).

El impacto negativo que un contaminante tiene en el medio ambiente, se le conoce como "factor de efecto" y, a pesar de que dicho factor para el (CO) es el más bajo entre los restantes contaminantes primarios, no se puede negar, sin embargo, la gran afinidad que éste presenta por la hemoglobina de la sangre. Esta afinidad se ha estimado en 200 veces mayor que la que presenta el oxígeno. Esto significa que en reacciones competitivas entre oxígeno y monóxido de carbono, este último desplaza al primero, impidiendo así que la hemoglobina transporte el oxígeno desde los pulmones hasta las células somáticas.

La filosofía general de la Organización Mundial de la Salud (OMS), respecto a estándares de calidad de aire atmosférico, es establecer los máximos valores de contaminantes permitidos, que no causen daño biológico. De esta forma, para el (CO) se estableció como valor límite 1 ppm/24 h. Sin embargo, para una atmósfera contaminada por gases de escape de automóviles, los valores de (CO) fluctúan entre 2 y 10 pp.m./v.

Los resultados experimentales obtenidos en el motor de prueba, para dos aperturas de mariposa diferentes, 25% y 50%, se muestran en los gráficos 1 y 2 respectivamente, como también, sus variaciones respecto a las modificaciones realizadas.

En ambos gráficos, los perfiles de las curvas son similares y en perfecta concordancia con el funcionamiento del carburador. Así, pues, para poner al motor en funcionamiento, se necesita de una buena inyección de combustible, lo que acarrea una emisión de monóxido (CO) que crece hasta alcanzar un máximo entre 1.300 y 1.400 RPM.

A pesar que el encendido de alta descarga pone en bujía chispas de gran poder de penetración y de mayor tiempo de duración (0,7 a 1,4 milisegundos), de acuerdo a especificaciones del fabricante, el encendido se usó con 20º Avance APS, lo cual crea, a nivel de cámara de combustión, una

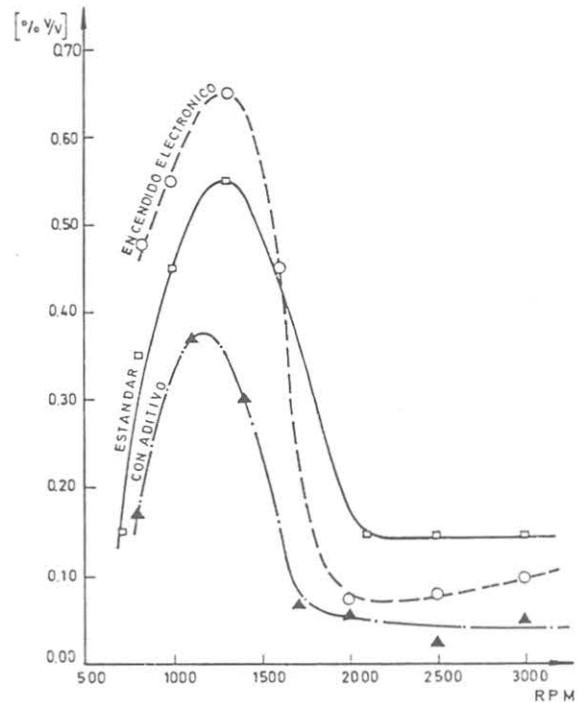


Figura 1. Emisión de CO, Motor Datsun J 15. Apertura de acelerador, 25%.

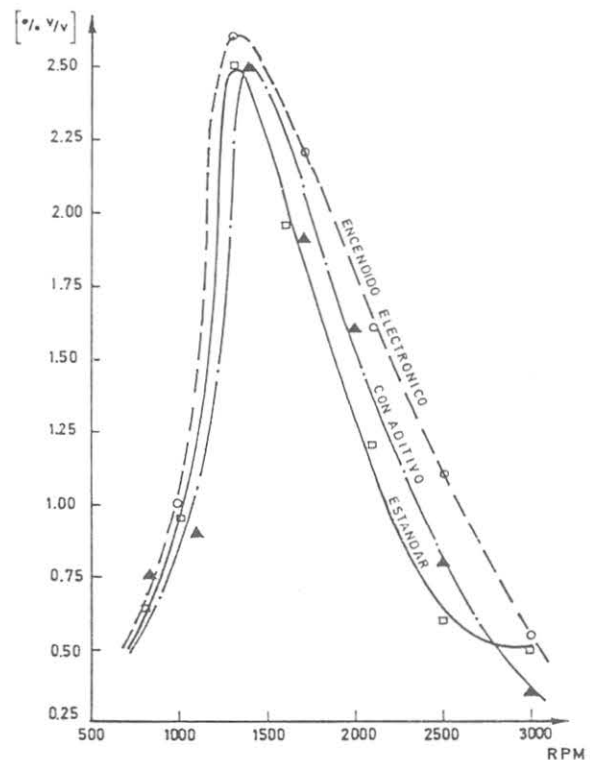


Figura 2. Emisión de CO, Motor Datsun J 15. Apertura de acelerador, 50%.

caída en la presión de encendido, y por lo tanto una propagación del frente de llama más deficiente realizándose combustiones más incompletas y emitiéndose un mayor porcentaje de monóxido de carbono (CO).

El aditivo comercial Wynn's empleado como elemento comparativo, demostró ser un sistema capaz de depurar válvulas y cámara de combustión y aumentar considerablemente la presión de compresión del motor, lo que podría ser consecuencia de "soltar anillos pegajosos", lo que se traduce en una propagación más eficiente del frente de llama, reduciendo en un 36% la emisión de monóxido entre 1.000 y 1.300 RPM.

En la zona de alta velocidad rotacional (1.600-1.300 RPM) al empobrecerse la mezcla, es decir, donde la cantidad de comburente (O<sub>2</sub>) es mayor, se emiten de todos modos cantidades considerablemente menores de monóxido (CO).

Cuando el motor trabaja con 50% de apertura de mariposa, el vacío decrece considerablemente y es entonces cuando se acciona el sistema de economía y potencia del carburador, permitiendo la entrada de gasolina hacia el múltiple de admisión.

Los carburadores pueden tener el sistema de economía y potencia accionado mecánicamente o por vacío. El primero incluye un surtidor con aguja o varilla dosificadora perfectamente calibrada, como se indica en la figura adjunta.

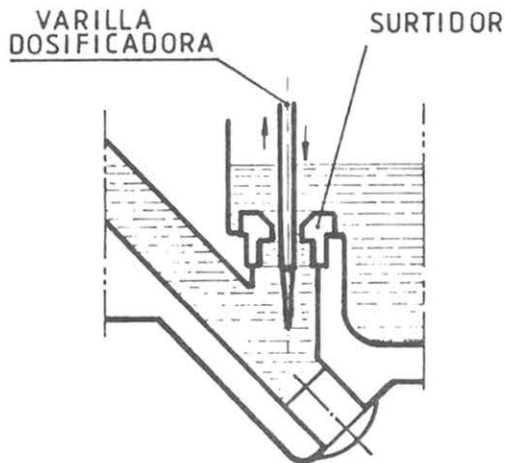


Figura 3. Sistema de Economía y Potencia accionado mecánicamente.

Esta varilla va acoplada a la mariposa de aceleración, de tal forma que, al accionar progresivamente el acelerador va dosificando un mayor caudal de gasolina. Por lo tanto, en baja RPM, se restringe el gasto de gasolina y en alta velocidad, fluye más gasolina manteniendo la mezcla más rica a plena potencia.

El sistema accionado por vacío se muestra en la siguiente figura.

Cuando el motor está a baja velocidad rotacional, el vacío generado bajo la mariposa de aceleración vence al resorte de la válvula de potencia y cierra la válvula de bola. Al ir aumentando la velocidad rotacional, el vacío decrece progresivamente y el resorte abre la válvula de bola permitiendo enriquecer la mezcla combustible aumentando la potencia y el torque respectivamente.

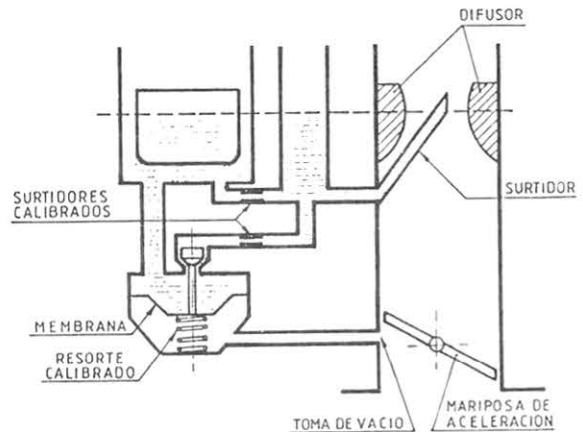


Figura 4. Sistema de Economía y Potencia accionado por vacío.

En el aspecto emisor, esta inyección de combustible se traduce en un aumento considerable en las emisiones de CO y los sistemas utilizados para reducirlos, tales como encendido electrónico y aditivo se hacen prácticamente ineficientes.

### Hidrocarburos (HC)

La emisión de hidrocarburos desde automóviles tiene 3 procedencias:

- Por el escape: se estima un 60% del total.
- Respiración de Carter: un 20% del total.
- Evaporación del carburador: un 20% del total.

Los (HC) emitidos desde el tubo de escape, tienen su génesis en el frente de llama, a nivel de paredes refrigeradas del cilindro, es decir, donde se detiene el proceso de oxidación quedando mezcla combustible sin quemar, los que son finalmente expelidos al medio ambiente.

Estos (HC) tienen gran contribución en la formación del smog fotoquímico, ya que son los encargados de romper el ciclo fotolítico del los NO<sub>x</sub>, originando especies químicas altamente reactivas pudiendo, por combinación, originar moléculas respirables dañinas a la salud.

Los perfiles de las curvas emisoras, muestran comportamientos similares para el rango de trabajo considerado. Así, para ambas aperturas de mariposa, las 3 curvas muestran un aumento en la emisión de HC hasta 1.500 RPM aproximadamente. Este aumento es el producto de sacar al móvil de la inercia, lo que requiere de una alimentación grande de combustible necesaria para generar velocidad rotacional y potencia en el motor.

Cuando se alcanza las 1.500 RPM, se crea nuevamente vacío bajo la mariposa de aceleración y el sistema de potencia deja de trabajar. A partir desde ese punto, comienza a decaer la emisión de HC ya que el carburador entra en régimen de mezcla pobre, hasta alcanzar un estado estacionario.

En el aspecto comparativo, para las curvas con 25% de apertura, como se muestra en la Figura 4, podemos notar que el aditivo Wynn's produce, en el máximo de la curva, una disminución del 11% en la emisión de HC, ya que debido a sus bondades como son depuración de válvulas, conductos de entrada, anillos, bujía y en general las partes móviles, se origina un aumento en la presión de encendido,

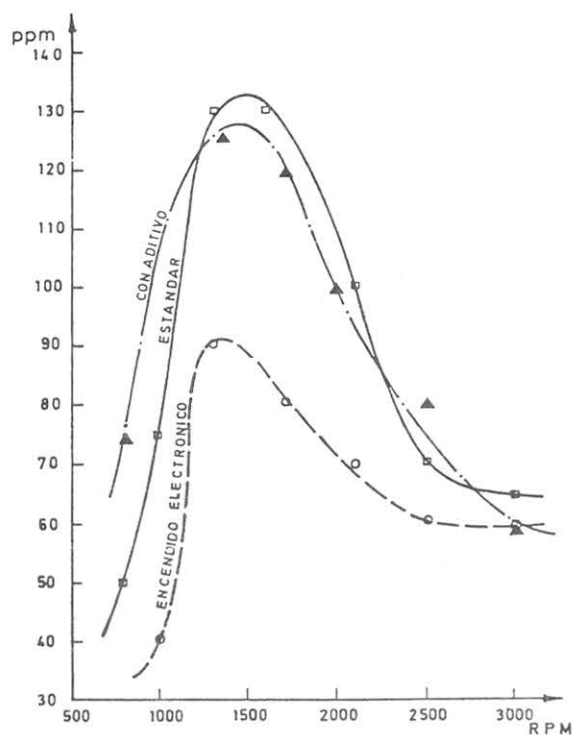


Figura 5. Emisión de HC, Motor Datsun J 15. Apertura de acelerador, 50%.

atomizando mejor la mezcla aire-combustible y propagando en forma más eficiente el frente de llama.

El encendido electrónico de descarga continua, produce una descenso en la emisión del HC del 25%, producto del gran número de frentes de llama que origina este encendido al trabajar sin platinos y sin condensador. Así pues, se comprobó por medio del osciloscopio que, frente a cada bujía se inician 17 puntos de encendido, esto conlleva a un buen quemado de la mezcla combustible en la cámara; sin embargo, en las curvas mecánicas, se observó una caída de potencia del 44%, esto se debió a que por recomendaciones del fabricante, el encendido se avanzó hasta 20° APMS lo que provocó un encendido prematuro de la mezcla, permaneciendo el frente de llama mayor tiempo en el interior de la cámara con el consiguiente aumento térmico de las paredes del cilindro y la pérdida de energía, como calor, disipado por el H<sub>2</sub>O de refrigeración.

Las curvas comparativas con 50% apertura de mariposa muestran un aumento considerable de dicho emisivo, causado por el sistema de potencia del carburador, manteniéndose la forma y distribución, similar a las curvas anteriores, como se muestra en la Figura 5.

#### Aldehído Fórmico (HCHO)

Otro contaminante de gran importancia en la formación del smog fotoquímico y que es emitido directamente por motores de combustión interna son los aldehídos, de los cuales el aldehído fórmico (HCHO) es el más importante (≈ 80%). También se emiten aldehídos de cadena lineal

superiores, aromáticos y acroleína. La génesis de este emisivo, al igual que en el caso de los HC, se asocia directamente con la detención que experimenta el frente de llama en la pared refrigerada del cilindro, pues aquí no sólo se queda bencina sin combustionar, sino que además bencina parcialmente quemada que origina los aldehídos.

El HCHO es el responsable de la irritación a la vista y a las vías respiratorias y caracterizado por su gran solubilidad en H<sub>2</sub>O busca las zonas húmedas, haciendo sentir su incomodidad entre 2 y 3 ppm, se hace lacrimógeno entre 4 y 5 ppm y sobre 50 ppm es letal.

Los análisis de (HCHO) se realizaron para 25 y 50% de apertura de mariposa. En lo que respecta a los perfiles de estas curvas podemos notar que pasan por un mínimo para el rango de velocidad rotacional de 750-1.500 RPM. Este descenso en la emisión de (HCHO) se asocia al comportamiento del motor con carga, producto de una elevación térmica a nivel de cámara. Así pues, al girar el motor a menor velocidad le da más tiempo a la reacción de oxidación para completarse, logrando el frente de llama tener una mejor llegada a nivel de pared del cilindro. Al incrementarse la velocidad rotacional desde 1.500 a 3.000 RPM se produce un aumento en las emisiones, ya que la mezcla permanece menos tiempo en la cámara de combustión.

En su aspecto comparativo, respecto a las modificaciones aplicadas se puede notar que el aditivo comercial Wynn's produce un descenso en el mínimo de la curva, de un 45%, probablemente su comportamiento se asocia a una mejor presión de encendido y mejor propagación del frente de llama. El encendido electrónico produce un descenso de 75% en la emisión y, su comportamiento está asociado a que el "continuo" de la chispa origina, en el instante de encendido, varios frentes de llama, lográndose una muy buena combustión.

Al aumentar la velocidad rotacional del motor, estas 3 curvas comparativas prácticamente mantienen la simetría del punto de mínimo como puede apreciarse en la Figura 6.

Cuando el motor trabaja con 50% de apertura de mariposa, el promedio de estas emisiones aumenta, así por ejemplo, la curva normal desplaza su rango entre 55 y 270 ppm, producto del sistema de potencia del carburador.

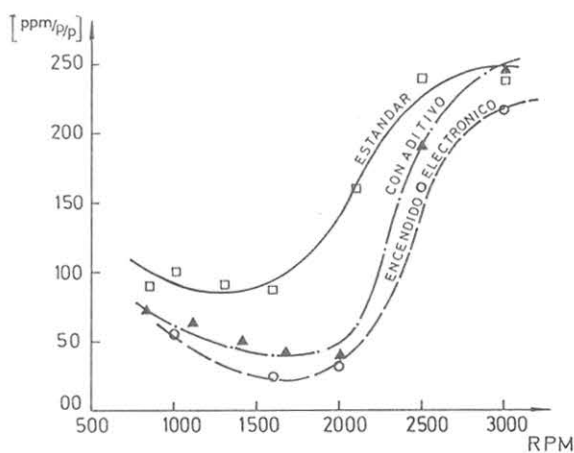


Figura 6. Emisión de HCHO, Motor Datsun J 15. Apertura de acelerador, 25%.

El encendido electrónico, en el rango de baja velocidad rotacional emite más (HCHO) que con aditivo, probablemente se debe a que al trabajar con 20° de avance, la presión media de encendido es baja y la emisión de HCHO consecuentemente mayor; la situación se invierte para velocidades mayores ya que por una parte la calidad de la chispa producida por el encendido de alta descarga es superior y, por otra, la diferencia porcentual del avance al encendido es cada vez menor.

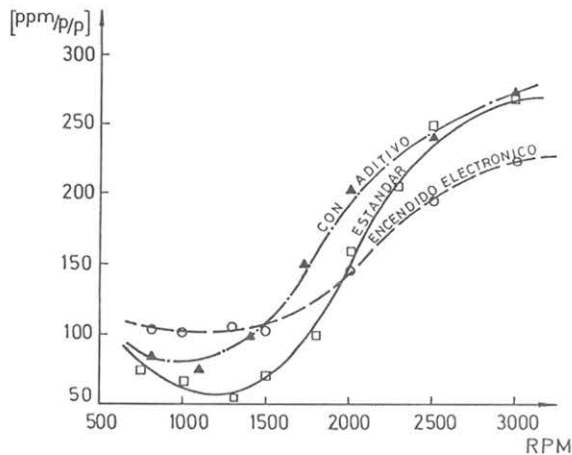


Figura 7. Emisión de HCHO, Motor Datsun J 15. Apertura de acelerador, 50%.

### Óxido de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se forman en el frente de llama mismo, donde la temperatura alcanza valores puntuales entre 2.000 y 2.400 K<sup>o</sup> (2).

La reacción ocurre entre  $\text{N}_2$  del aire y el oxígeno que alcanzó a intervenir en el proceso combustivo.

La Organización Mundial de la Salud concluyó que las exposiciones prolongadas en ambientes contaminados con  $\text{NO}_2$  acarrea enfermedades respiratorias crónicas, ya que el  $\text{NO}_2$  difunde fácilmente hasta los alvéolos pulmonares transformándose en  $\text{HNO}_3$ , siendo este compuesto un fuerte desnaturalizador de proteínas, destruyendo el tejido pulmonar.

La formación de  $\text{NO}_x$ , a partir de motores de combustión interna, puede ser mejor explicado si se analizan las curvas que muestran cómo varía el  $\ln K_{eq}$  frente a la temperatura.

En ellas podemos notar:

- La formación de  $\text{NO}$ , a partir de sus elementos, se favorece por el aumento de temperatura.
- La formación de  $\text{NO}_2$ , a partir de sus elementos, también se ve favorecida por el aumento de temperatura, pero los valores experimentales obtenidos, no son comparables a los dados por esta curva.
- Los gases calientes de la combustión, al expandirse hacia el múltiple de escape, se enfrían bruscamente, favoreciendo la reacción entre

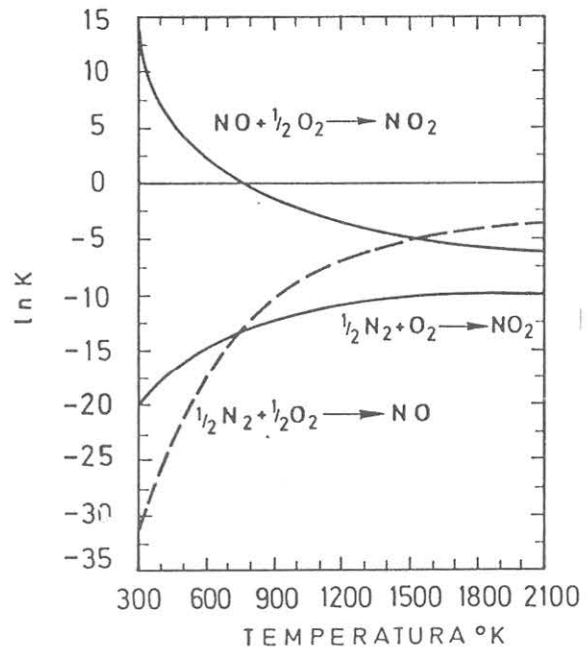
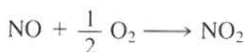


Figura 8. Comportamiento de los  $\text{NO}_x$  con la temperatura.

y los valores obtenidos de esta curva son comparables a los reportados experimentalmente.

Los análisis de emisiones de  $\text{NO}_2$  se realizaron a dos aperturas de mariposa, 25 y 50%. Los perfiles de estas curvas muestran comportamientos similares, es decir, a medida que aumenta la velocidad rotacional del motor, se incrementa la emisión de  $\text{NO}_2$ . Este resultado es el esperado, ya que el comportamiento de la curva de los  $\text{NO}_2$  es opuesto a la de los HC y CO.

En el aspecto comparativo para 25% de aceleración se puede apreciar que entre 1.000 y 3.000 RPM el motor con aditivo emite un 4% más que la condición normal, pero este comportamiento no puede ser atribuido directamente a las diferencias de temperaturas, ya que éstas no mostraron variaciones como para justificar este incremento, si no que más bien se debe a los compuestos derivados del amoníaco que contiene el aditivo y que caracterizan su gran poder limpiador.

El encendido electrónico mostró que entre 1.500 y 3.000 RPM las emisiones de  $\text{NO}_2$  son aproximadamente menores que la curva normal; probablemente la pérdida de calor en la cámara, causada por los 20° de avance, caractericen este comportamiento como se muestra en la Figura 8.

Las curvas comparativas con 50% de apertura de mariposa, en general presentan mayor pendiente que las de 25%, lo cual es razonable por la mayor cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión.

El encendido electrónico, para el rango de baja velocidad rotacional presenta un comportamiento que prácticamente se confunde con el valor normal. Sobre las 1.500 RPM la situación se invierte, ya que con encendido electrónico se observó una caída de potencia causada por efectos térmicos, principalmente, lo que se traduce en una menor emisión de  $\text{NO}_2$ , como lo muestra la Figura 9.

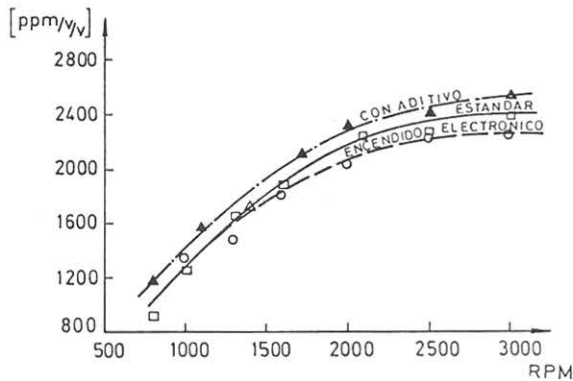
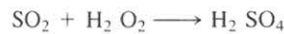


Figura 8. Emisión de NO<sub>2</sub> - Motor Datsun J 15.  
Apertura de acelerador, 25%

### Emisión de SO<sub>2</sub>

El SO<sub>2</sub> constituye el contaminante de mayor interés en este estudio. Sabemos que queda caracterizado por su alta solubilidad en H<sub>2</sub>O para formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y proceder en el medio ambiente como una sustancia altamente corrosiva (en 100 gr de H<sub>2</sub>O se disuelven 11,3 grs SO<sub>2</sub>; 0,006 gr NO<sub>x</sub>; 0,003 gr CO<sub>2</sub>).

A pesar de no tener una incidencia directa sobre la formación de smog fotoquímico se le puede considerar como un contaminante primario ya que su génesis estaría en el frente de llama mismo, donde el azufre, que forma parte de los combustibles, experimenta una oxidación a SO<sub>2</sub>, basado en la gran afinidad que este compuesto presenta por el agua, como se dijo anteriormente, se utiliza como método de análisis, el "burbujeo del gas de escape" sobre una solución estandarizada de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (perhidrol) y posterior neutralización con álcalis.



Los resultados experimentales medidos para dos aperturas de mariposa de aceleración (25 y 50%) frente a encendido electrónico y aditivo comercial muestran tendencias similares, ya que sus perfiles nos indican que hay una disminución de dicho emisivo a medida que aumenta la velocidad rotacional del motor. Este comportamiento análogo, para los dos gráficos, se justifica por la disminución del consumo específico de combustible a medida que disminuye la carga aplicada.

En el aspecto comparativo, para el gráfico con 25% de aperturas podemos notar que el encendido electrónico emite mayor cantidad de SO<sub>2</sub> que el normal o estándar, hasta las 2.200 RPM invirtiéndose posteriormente el efecto. La razón adjudicada a este comportamiento estaría en que dicho encendido trabajó con 20° de avance sobre el anterior, es decir, al ser el proceso combustivo más largo que el normal, significa que el frente de llama permanece más tiempo, verificándose una oxidación más completa de la mezcla combustible disponible en la cámara y emitiéndose una mayor cantidad de SO<sub>2</sub>.

Si recordamos que sobre las 2.000 RPM el avance al encendido ya no cobra importancia y el "salto de la chispa"

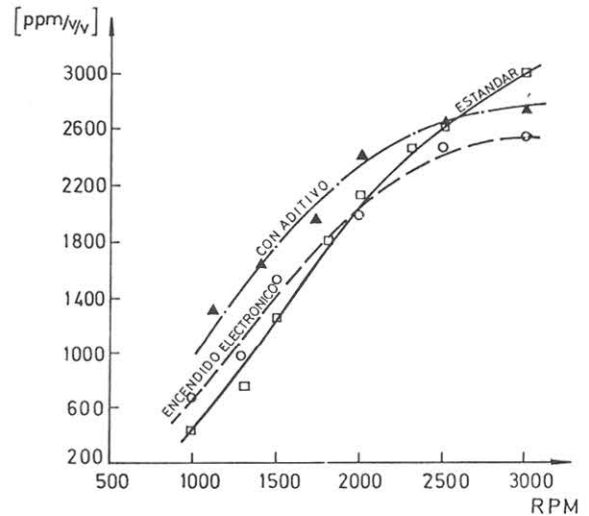


Figura 9. Emisión de NO<sub>2</sub> - Motor Datsun J 15.  
Apertura de acelerador, 50%

sólo se comanda por el centrífugo del distribuidor, la emisión de SO<sub>2</sub> cae por debajo de la curva estándar o normal como se aprecia en la Figura 10.

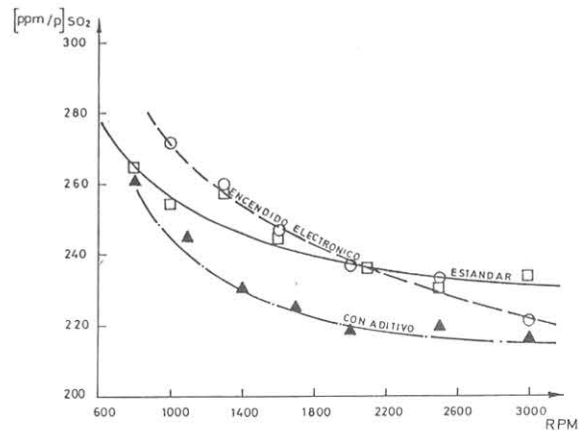


Figura 10. Emisión de SO<sub>2</sub> - Motor Datsun J 15.  
Apertura de acelerador, 25%

Sin embargo, el aditivo comercial caracterizado por el óxido de Bario que contiene, forma partículas decantables de BaSO<sub>4</sub> y que no son participantes en la titulación con NaOH, haciendo de esta forma disminuir la emisión en un 8% aproximadamente, para todo el rango de velocidad y con ambas aperturas de mariposa.



Con 50% de AM hay una mayor alimentación de combustible y también una mayor entrada de aire, tal que la RAC se mantiene, sin embargo, la mayor alimentación de combustible implica una mayor pendiente en la curva normal.

El encendido electrónico mantiene siempre una emisión de  $\text{SO}_2$  mayor que la curva estándar en un 3%, causada, evidentemente, por el avance en  $20^\circ$  del encendido y por el mayor consumo específico de combustible para todo el rango rotacional del motor como se aprecia en la Figura 11.

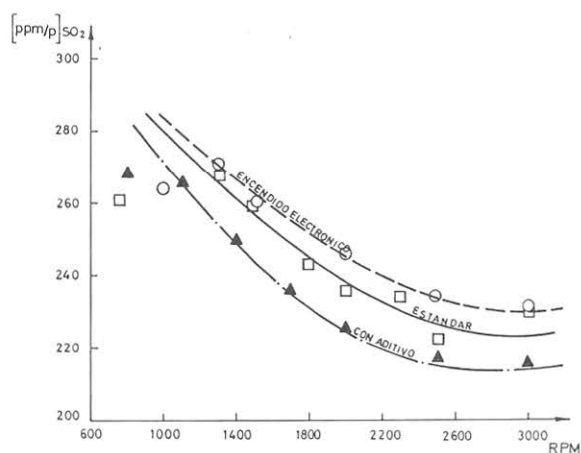


Figura 11. Emisión de  $\text{SO}_2$  - Motor Datsun J 15. Apertura de acelerador, 50%

## CONCLUSIONES

1. El aditivo comercial empleado mostró un mejor funcionamiento del motor, al hacer aumentar la fuerza de éste y reducir el consumo de combustible.
2. El encendido electrónico de descarga continua mostró que, a pesar de poner en bujía una chispa de gran poder de penetración y de tiempo de descarga más largo, el avance al encendido debe ser graduado experimentalmente en cada tipo de vehículo, tanto en alta como en baja velocidad ya que, por las características de funcionamiento; lo esperado sería un mejor rendimiento mecánico y una menor emisión que con aditivo comercial.
3. El aditivo comercial "For Gas" mostró un doble efecto al hacer disminuir no sólo los óxidos de azufre, sino que además los restantes emisivos a 25% de apertura de mariposa, que es la apertura más usada en los motores en régimen en ciudad.
4. El sistema de economía y potencia que poseen todos los carburadores, no permiten la disminución de los niveles de contaminantes más allá de un cierto límite, ya que este circuito tiene como función acondicionar al vehículo para desarrollar la máxima potencia para el cual ha sido diseñado, cualquiera que sea la condición de operación del móvil, prescindiendo del efecto contaminante.
5. El encendido electrónico de descarga continua, probablemente habría entregado un comportamiento similar o

mejor que con aditivo comercial, si se hubiese graduado la posición del avance experimentalmente para el motor de prueba.

6. El aditivo comercial marca "For Gas" fabricado por industrias Wynn's realmente mostró su eficiencia en la reducción de los óxidos de azufre, lo que es de particular importancia en nuestro país, debido a que el petróleo recibido y el propio no pasa por plantas desulfuradoras durante su refinación, como se hace en países desarrollados.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestros agradecimientos al Director del Instituto Profesional INACAP-Maipú y al Jefe del área automotriz, señores Miguel Maldonado Rivera y Juan Ramón Castro Núñez, respectivamente, por su constante y desinteresado apoyo en la realización de este trabajo. De igual forma, hacemos extensivos nuestros agradecimientos a la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile.

## BIBLIOGRAFÍA

1. J.G. MAGA. *Motor Vehicle Emission in Air Pollution and their control*. Adv. Environ. Sci., 2, 57 (1973).
2. D.J. PATTERSON y N.A. HENEIN. *Emissions from Combustion Engines and their control*. Texto, Ann. Arbor Science Publishers Inc., p. 100, (3) 1974.
3. *Informativo de Refinería de Petróleo Concón S.A.* Texto RPG p. 3, 1985-1985.
4. H. SOTO NILO, S. DÍAZ C. *Rol del plomo emitido por motores bencineros*. AUCA-ADICO (Asociación de Distribuidores de Combustible de Chile).
5. H. SOTO NILO, S. DÍAZ C, I. GUTIÉRREZ A. *Diseño y adaptación de un método para captar y medir partículas presentes en los gases de escape de motores Diesel*. Texto de Resúmenes, Simposio de Química y Desarrollo Nacional. p. 430 (mayo 1985).
6. U.S. Department of Health, Education and welfare. *Motor Vehicles, Air Pollution and Health*. A. Report of Surgeon General to the U.S. Congress in Compliance with Public Law 86-493 (1962).
7. H.C. PERKINS. *Air Pollution*. Mc Graw-Hill Book Company, Texto p. 106 (1974).
8. J.W. MOORE, E.A. MOORE. *Environmental Chemistry*, Academic Press, Texto, p. 206, 1976.
9. H. SOTO NILO, I. GUTIÉRREZ, M. SARASÚA. *Diseño de Equipo y Determinación de los contenidos de  $\text{NO}_2$  y HCHO en gases de escape de motores de combustión interna*. Contribuciones Científicas y Tecnológicas. Área del Ambiente II, p. 53-58, Vol. 69 (1984).
10. B.E. SALTZMAN. *Modified Saltzman Method for the Determination of Oxides of Nitrogen in Automotives Exhaust*. Report RSM 65-2, March 1965.