



X D-5066

T
614.712
G512

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL PROCESO DE COMBUSTION EN MOTORES A
GASOLINA SOBRE LA FORMACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS".

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

WILSON PAUL CHAVEZ HIDALGO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1983

AGRADECIMIENTO

AL ING. RODOLFO PAZ MORA
DIRECTOR DE TESIS, POR SU
AYUDA Y COLABORACION PARA
LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

AL PERSONAL DEL LABORATORIO
DE CONVERSION DE ENERGIA POR
SU INVALORABLE AYUDA.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

Rodolfo Paz

ING. RODOLFO PAZ MORA

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS
EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVA-
MENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE
LA ESPOL)



.....

WILSON PAUL CHAVEZ HIDALGO.

RESUMEN

Se inicia este estudio con un análisis teórico de la contaminación ambiental producida por los gases de escape de los vehículos, revisando luego lo que es un motor de combustión interna y su proceso de combustión.

El objetivo principal es el análisis teórico-experimental del proceso de combustión en un motor encendido por chispa. Estas pruebas se realizaron en un motor mono-cilíndrico de 3.5 Kw de potencia y relación de compresión variable. Los resultados obtenidos fueron las curvas de funcionamiento y el análisis de los gases de escape utilizando gasolina de 84 octanos.

Se incluye además pruebas con sus respectivos resultados, así como también, los cálculos del balance químico de la reacción de combustión.

Finalmente se detalla un bosquejo del problema que ocasiona en la ciudad de Guayaquil el intenso congestionamiento de vehículos, principalmente en la zona céntrica y medidas que podrían tomarse para contrarrestar la concentración de contaminantes ayudando a la circulación de vehículos.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XII
INDICE DE ABREVIATURAS	XIV
INTRODUCCION	15
I. ELEMENTOS DE LA CONTAMINACION	16
1.1. Clasificación de los contaminantes	16
1.2. Contaminantes provenientes del transporte	17
1.3. Contaminantes provenientes de las industrias	18
1.4. Aspectos atmosféricos de la contaminación	21
II. COMBUSTIBLES Y EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	23
2.1. Tipos de combustibles	23
2.1.1. Tipos de hidrocarburos	24
2.1.2. Combustibles derivados del petróleo	26
2.2. Procesos de refinamiento	31
2.3. El motor encendido por chispa	34
2.4. El motor encendido por compresión	43
III. INGENIERIA DEL PROYECTO	50
3.1. Determinación de la pureza del aire	50
3.1.1. Métodos de análisis	53

3.2. Estudio de la combustión en los motores	55
3.2.1. La combustión en los motores encendidos por chispa	61
3.2.2. La combustión en los motores encendidos por compresión	74
3.3. Mecanismos de la contaminación	82
3.3.1. Los gases de escape producto de la combustión ..	82
3.3.2. Otras formas de contribución a la contaminación	88
3.4. Difusión y efectos de los contaminantes	90
3.4.1. Los contaminantes provenientes de los gases de escape	94
3.4.2. Los contaminantes secundarios	96
3.4.3. Efectos de los contaminantes	103
3.5. Medidas de control	107
3.5.1. Control de las emisiones de los gases de escape	109
3.5.2. Control de las emisiones del carter y por evaporación	115
IV. TRABAJO EXPERIMENTAL	117
4.1. Introducción	117
4.1.1. El banco de pruebas de motores	117
4.1.2. Análisis de gases	119
4.1.3. Método de obtención de la muestra	122
4.1.4. Fórmulas utilizadas	123
4.2. Curvas de funcionamiento del motor	124
4.2.1. Conclusiones	137

4.3. Programa de pruebas	138
4.3.1. La relación aire-combustible en la producción de contaminantes	138
4.3.2. La relación de compresión y su efecto en la contaminación	143
4.3.3. La producción de contaminantes en función de la velocidad del motor	145
4.3.4. Influencia del ángulo de chispa sobre la con- taminación	148
V. EL PROBLEMA LOCAL	152
5.1. El crecimiento vehicular y el consumo de combustible ..	152
5.2. Zonas críticas	154
5.3. Factores negativos	157
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
APENDICE	163
BIBLIOGRAFIA	167

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pág.
2.1.	FORMAS DE LA CAMARA DE COMBUSTION	36
2.2.	DIAGRAMAS DE SINCRONIZACION DE VALVULAS	38
2.3.	INFLUENCIA DE LA RELACION DE COMPRESION SOBRE LA TENDENCIA AL PICADO	39
2.4.	CARBURADOR ELEMENTAL DE ASPIRACION ASCENDENTE	40
2.5.	REQUISITOS DE ANTICIPADO DEL MOTOR Y AVANCE DE ENCENDIDO NORMAL	42
2.6.	CAMARA DE COMBUSTION A DIESEL	44
2.7.	RELACION ENTRE LA INYECCION Y LA DEMORA DEL ENCENDIDO..	47
2.8.	CANTIDAD Y VELOCIDAD DEL COMBUSTIBLE QUEMADO A UNA PRESION CONSTANTE	47
3.1.	DISTRIBUCION DEL FLUJO DE CALOR PARA UNA REACCION EXOTERMICA EN UN RECIPIENTE CERRADO	58
3.2.	CURVAS DE TEMPERATURA-TIEMPO PARA UNA MEZCLA COMPRIMIDA DE HIDROCARBURO-AIRE	60
3.3.	PROCESO DE COMBUSTION A VOLUMEN CONSTANTE	62
3.4.	VARIACION DE LA PRESION EN EL PROCESO DE COMBUSTION EN UN CILINDRO DE UN MOTOR E. CH.	66
3.5.	INFLUENCIA DE LA CARGA EN LA VELOCIDAD DE COMBUSTION ..	68
3.6.	ENCENDIDO POR CHISPA Y COMPRESION DE MEZCLAS CARBURADAS	69
3.7.	EFFECTO DEL AVANCE DE LA CHISPA SOBRE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	73
3.8.	LA DINAMICA DEL PROCESO DE COMBUSTION	75
3.9.	PROCESO ENCENDIDO POR COMPRESION	76

Nº		Pág.
3.10.	PERFIL DE TEMPERATURA DE LA ATMOSFERA	92
3.11.	CARACTERISTICAS DE LAS FUERZAS ASCENSIONALES	93
4.1.	EL BANCO DE PRUEBAS PLINT	118
4.2.	EL CROMATOGRAFO DE GASES	120
4.3.	CROMATOGRAMA DE UN ANALISIS DE GAS DE ESCAPE	121
4.4.	EQUIPO DE ANALISIS DE ORSAT	122
4.5.	OBTENCION DE UNA MUESTRA DE GAS DE ESCAPE DEL DE PRUEBAS	123
4.6.	CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A DIFERENTES VELOCIDADES	127
4.7.	CONTROLES DEL MOTOR DE PRUEBAS	128
4.8.	CURVAS DE MAXIMA ECONOMIA Y MAXIMA POTENCIA	132
4.9.	CURVAS DE LA ACELERACION	134
4.10.	CURVAS PARA DIFERENTES ANGULOS DE ENCENDIDO	136
4.11.	REPRESENTACION GRAFICA DE LA PRUEBA VARIACION DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE.	141
4.12.	REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION	144
4.13.	REPRESENTACION GRAFICA DE LA VARIACION DE LA VELOCIDAD	147
4.14.	REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO	150
5.1.	PLANO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL	155

INDICE DE TABLAS

Nº		Pág.
2.1.	PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES NACIONALES	27
3.1.	COMPOSICION DEL AIRE	51
3.2.	"STANDARDS" EN LOS EE.UU. DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE ..	52
3.3.	REACCIONES Y CONSTANTES DE VELOCIDAD PARA LA FOTOSINTE- SIS DEL BIOXIDO DE NITROGENO EN N_2 Y O_2 Y DEL H_2O Y CO EN EL SISTEMA NO_x -AIRE	99
3.4.	REACCION ENTRE SO_2 , NO_x E HIDROCARBUROS EN LA ATMOSFERA	104
4.1.	FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A DIFERENTES VELOCIDADES	126
4.2.	FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A DIFERENTES POSICIONES DE LA AGUJA DEL CARBURADOR PARA DIVERSAS RELACIONES DE COMPRESION	130
4.3.	FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR PARA DIFERENTES POSICIONES DEL ACELERADOR	133
4.4.	FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A DIFERENTES ANGULOS DE ENCENDIDO	135
4.5.	LA VARIACION DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE EN EL MOTOR	139
4.6.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE LOS GASES DE LA PRUEBA DE VARIACION DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE	140
4.7.	VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION DEL MOTOR	142
4.8.	RESULTADO DEL ANALISIS DE LOS GASES DE LA VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION	143
4.9.	VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR	146
4.10.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE LOS GASES EN LA VARIACION DE LA VELOCIDAD	148
4.11.	VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO DE LA CHISPA EN EL MOTOR	149

Nº		Pág.
4.12.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE LOS GASES EN LA VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO	151
5.1.	INCREMENTO VEHICULAR ESTIMADO PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL	153
A-1	VALORES COMPARATIVOS DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE Y PORCENTAJE DE AIRE TEORICO	166

INDICE DE ABREVIATURAS

N = Resoluciones por minuto

t = Tiempo (seg.)

F = Lectura de balance

Volumen = Volumen calibrado de combustible (cm^3)

ρ_f = Densidad del combustible (Gasolina = 0.85 Kg/ltr.)

D = Diámetro del orificio de entrada de aire (18.14 mm)

h_o = Cabezal a través del orificio (cm H_2O)

P_a = Presión atmosférica (101.86 Kw/m²)

T_a = Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{K}$)

H_L = Poder calorífico del combustible (Gasolina = 41.868×10^6 J/Kg)

l = Longitud del brazo del torque (0.265 m)

M = Peso molecular

U = Energía interna (Kcal)

W = Trabajo (Kcal)

C = Energía química (Kcal)

Q = Calor (Kcal)

u_g = Velocidad del viento geostrofico (m/seg)

h_g = Espesor de la capa límite planetaria (m)

$\bar{u}$ = Velocidad del viento (m/seg)

h = Constante de Blauk (6.63×10^{-34} Kg m²/seg)

ν = Frecuencia (Hertz)

α = Coeficiente de carga

Λ = Gradiente de temperatura en la atmósfera

Γ = Gradiente adiabático de temperatura

INTRODUCCION

La contaminación ambiental es un fenómeno que está afectando a todas las ciudades del mundo, debido en gran parte al congestionamiento de vehículos.

En las ciudades del país este problema no representa aún un peligro y es por eso que pienso que nos encontramos a tiempo para tomar medidas de control sobre los vehículos, que son la fuente principal de emisiones de contaminantes primarios.

El presente trabajo abarca un estudio sobre las emisiones, mas no sobre los controles, aunque son vistos a breves rasgos; el estudio realizado se ve limitado en cuanto a los análisis de gases, sin embargo, se puede decir que los considerados son los más importantes.

Con el desarrollo de este trabajo se espera que las autoridades nacionales tomen medidas en favor de la salud pública.

CAPITULO I

1. ELEMENTOS DE LA CONTAMINACION

La contaminación del aire se ha definido como cualquier condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones lo suficientemente elevadas sobre su nivel normal ambiental, esto quiere decir que un contaminante es algo que al ser introducido en la at
mósfera a propósito o no, reduce el contenido de oxígeno o cambia la composición del aire de alguna forma.

1.1. CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES

Las sustancias consideradas normalmente como contaminantes atmosféricos pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. Compuestos del azufre
2. Compuestos del nitrógeno
3. Compuestos del carbono (salvo CO y CO₂)
4. Monóxido de carbono y Bióxido de Carbono
5. Compuestos de los halógenos
6. Partículas
7. Compuestos radioactivos

Dentro de esta clasificación del 1 al 5 se refiere a contaminan
tes gaseosos, el 6 a las partículas sólidas o líquidas, bajo -
condiciones normales y cuyo tamaño es microscópico o sub-microsu

cópico, y el numeral 7 las emanaciones radioactivas procedentes de minerales.

Se ha podido establecer que estos contaminantes provienen de fuentes que emiten directamente a la atmósfera, y fuentes indirectas en las que se originan por interacción química entre los compuestos de emisión directa a la atmósfera, denominándose los primarios y secundarios respectivamente.

1.2. CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL TRANSPORTE

Varios aspectos del problema complejo de la contaminación del aire está dado por los vehículos que circulan por nuestras ciudades.

Los motores tanto de gasolina como los de a diesel operan con hidrocarburos que son obtenidos del petróleo. Estos combustibles son quemados dentro de un cilindro convirtiendo la energía química en energía mecánica; cuando el hidrógeno y el carbono que son los elementos principales que forman el combustible proveniente del petróleo, al combinarse con el oxígeno en una reacción de combustión, vapor de agua, y bióxido de carbono son los productos finales cuando la combustión es completa. Desafortunadamente la combustión dentro del cilindro de un motor de combustión interna nunca es completa.

El producto de la combustión incompleta es el primer caso de

contaminación en un motor de vehículo, uno de esos productos es el monóxido de carbono, que el motor de gasolina emite con otras sustancias que se producen en pequeñas cantidades; otra forma de emisión de contaminantes es la que sale por el carter, y es debido a que combustibles quemados y no quemados son empujados por entre los rines debido a la alta presión dentro de la cámara y que tienen su escape a la atmósfera por el carter. Vapor de combustible escapa a través del carburador y del tanque de almacenamiento cuando es destapado, evidentemente que la contribución de estas formas de contaminación es mucho menor que la primera.

En los motores a diesel, cuando la combustión está carente de oxígeno se forma carbón, siendo visible ya que se presenta en forma de humo negro, el olor del diesel es reconocible y se atribuye a las emisiones de aldehidos. Los motores a diesel desprenden pequeñas cantidades de contaminantes, debido a que el diesel es un combustible menos volátil y la evaporación es despreciable en comparación con los motores a gasolina.

1.3. LOS CONTAMINANTES PROVENIENTES DE LAS INDUSTRIAS

La gran variedad de industrias, son también fuentes de contaminantes que contribuyen al deterioro del aire.

POLVO .- Las principales industrias que producen polvo, se dedican al cemento, tintas, fundiciones, madera, etc.; el polvo emi

tido por estas industrias es de finísimas partículas que difieren entre ellas de composición química, densidad, tamaño y cantidad emitida.

Las partículas pequeñas, se encuentran en dimensiones desde 0.3 a 1 micrón y éstas permanecen en la atmósfera restringiendo la visibilidad. Partículas superiores a 40 micrones se precipitan alrededor de la fuente de emisión y las que se hallan entre 10 y 40 micrones tienden a precipitarse luego de haber viajado una distancia que depende de la movilidad de la atmósfera en la que fueron emitidos.

Los humos metalúrgicos son como polvos que provienen de las fundiciones y que son extremadamente finas formadas por condensación de vapores metálicos.

HUMO.— La combustión es el común denominador en todas las industrias, como es de conocimiento general las industrias requieren calor o potencia obteniéndose de la quema de combustible (excepto el caso de potencia hidráulica, eléctrica, etc.); esto se puede apreciar en las chimeneas de las industrias donde no existe una buena combustión, humos traen como consecuencia casos como el de los gases de escape de los vehículos.

OLORES.— La evaporación y consecuentemente pérdidas de líquidos orgánicos simples de operación química, o de la putrefacción de animales o vegetales; el proceso de fermentación también produ-

ce olores. Por ejemplo, en la cercanía de una refinería, el problema no es los hidrocarburos o el humo, sino más bien el olor típico y su efecto más usual es el de producir náuseas.

IRRITACION Y SUSTANCIAS TOXICAS.— El más común de los gases tóxicos e irritantes emitidos industrialmente es el bióxido de azufre (SO_2). Unas pocas industrias utilizan el SO_2 en sus procesos, las principales de ellas son las que realizan operaciones químicas, particularmente la fabricación de ácido sulfúrico y una alta concentración de bióxido de azufre afecta el sistema nervioso respiratorio.

Otro potencial contaminante tóxico es el grupo del fluoride (ácido hidrofúorico) y partículas (fluoride de sodio y calcio); éstos son utilizados en la manufactura del aluminio y varias industrias de cerámica, ladrillo, y manufacturas de telas y otros procesos.

El gas tóxico monóxido de carbono (CO), es emitido de algunas industrias en cantidades muy pequeñas en relación a las emitidas por los tubos de escape de automóviles.

CONTAMINANTES FOTOQUIMICOS.— El smog fotoquímico es el resultado de la reacción entre hidrocarburos, reactivos, ciertas sustancias orgánicas y óxidos de nitrógeno; la fuente de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno son los gases de escape de los moto

res de combustión interna, pero algunos de éstos también son emitidos por industrias.

Toda operación de quemado produce ácido nítrico, por otro lado hidrocarburos son emitidos en la manufactura, transporte y venta de gasolina, los hidrocarburos más estables (particularmente parafinas y aromáticos), y combustibles gaseosos contienen baja concentración de óxidos de nitrógeno, en la producción de smog fotoquímico produciendo náuseas, aunque la mayoría proviene de los motores de vehículos.

1.4. ASPECTOS ATMOSFERICOS DE LA CONTAMINACION

Tan pronto como son introducidos en el aire los contaminantes quedan sometidos al proceso general de dispersión ejercido por la atmósfera. Simultáneamente con el transporte por el viento y su mezcla turbulenta tienen lugar una serie de reacciones químicas que transforman los contaminantes primarios en secundarios. Los aspectos atmosféricos de la contaminación se pueden dividir según los siguientes factores:

1. La química del aire
2. La meteorología
3. El transporte y la dispersión de los contaminantes

La química del aire comprende el estudio de los procesos de transformación ejercidos sobre los contaminantes atmosféricos. La duración de estos procesos puede variar desde unos segundos

hasta varias semanas. La meteorología es el estudio de la dinámica de la atmósfera, en particular con respecto a la cantidad de movimiento y energía. Las escalas meteorológicas de movimiento pueden clasificarse en: macroescala, mesoescala y microescala. Cada una de estas escalas de movimiento desempeñan un papel en la contaminación del aire aunque a lo largo de períodos de tiempo diferentes. Predecir el transporte y la dispersión de contaminantes requiere un conocimiento de los efectos del viento y de la turbulencia sobre el movimiento de las partículas en la atmósfera. El fenómeno de mayor interés para prever la dispersión de los contaminantes atmosféricos es la difusión turbulenta que se refiere a la dispersión de una nube de determinadas partículas en un fluido turbulento a una velocidad mucho más elevada que la debida a la sola difusión molecular.

Uno de los principales objetivos de la meteorología aplicada a la contaminación del aire es la predicción de la dispersión de los contaminantes; dicha dispersión depende de los siguientes factores :

Naturaleza del contaminante (gas, partícula)

Velocidad y dirección del viento

Estabilidad atmosférica

Nivel de turbulencia

Condiciones de emisión (velocidad de salida, temperatura, etc.)

Configuración de la fuente de emisión (chimenea, autopista, etc.)

CAPITULO II

2. COMBUSTIBLES Y EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

2.1. TIPOS DE COMBUSTIBLES

El motor de combustión interna puede ser operado con diferentes clases de combustibles, pudiendo estar en cualquiera de los tres estados : líquido, sólido y gaseoso. Sin embargo, el uso de uno de estos tipos de combustibles tiene su influencia en el diseño del motor, la eficiencia, energía de salida y también podría considerarse la durabilidad del motor.

Sobre el 99% de los motores de combustión interna utilizan combustibles derivados del petróleo; en algunos países donde este elemento es escaso, han sustituido estos combustibles por otros que tienen similar composición y característica, al ser producidos por hidrogenación del carbón; así como también se ha probado el uso de combustible sólido pulverizado en los motores encendidos por compresión, y en las turbinas a gas.

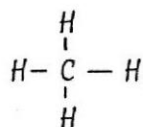
Los combustibles derivados del petróleo usados consisten principalmente de varios tipos de hidrocarburos con diferentes pesos moleculares y que se presentan en forma líquida o gaseosa.

2.1.1. TIPOS DE HIDROCARBUROS

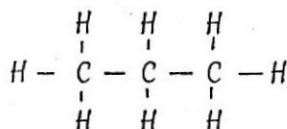
La diferencia que existe entre los combustibles se debe a que poseen diferentes compuestos químicos, y en mucho depende la fuente del crudo y del método de refinación.

Pese a esta gran variedad existente de hidrocarburos se ha logrado clasificarlos en cuatro grupos generales : parafinas, olefinas, naftalenos y aromáticos.

En el grupo de las parafinas ($C_n H_{2n+2}$), los átomos de carbono están unidos en cadenas y cada átomo de carbono está conectado a átomos de hidrógeno, que pueden ser estos dos o más; la denominación de los hidrocarburos es de acuerdo al número de átomos de carbono en la molécula.

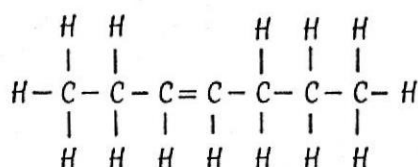
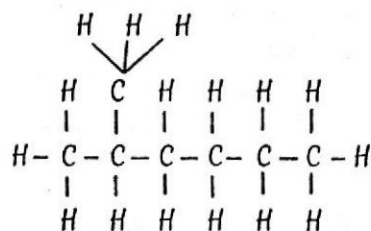


Metano CH_4



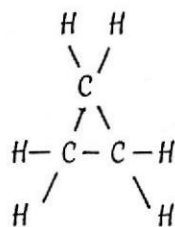
n-propano C_3H_8

La serie de compuestos olefinas ($C_n H_{2n}$), tienen en la cadena uno o más enlaces dobles de átomos de carbono, la diferencia en la localización de los enlaces dobles es una característica de los compuestos; cuando estos compuestos poseen sólo un enlace doble se los denomina mono-olefinas, si tienen dos enlaces dobles diolefinas.

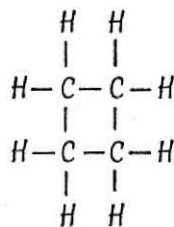
3 heptano (C_7H_{14})

2 - metilhexano

Los naftalenos (C_nH_{2n}), son caracterizados por estructuras en anillos y cada átomo de carbono está enlazado por una sola ligadura a otros dos átomos de carbono.

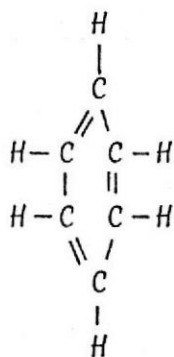


Ciclopropano

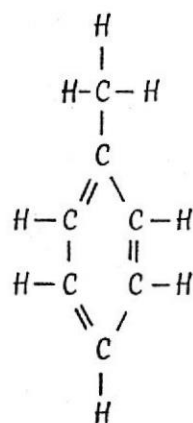


Ciclobutano

Los compuestos aromáticos (C_nH_{2n-6}), tiene su estructura central la del benceno; estos compuestos se caracterizan por tener falta de saturación con uniones dobles que no son fijas.



Benceno



Tolueno (metilbenceno)

2.1.2. COMBUSTIBLES DERIVADOS DEL PETRÓLEO

Los combustibles aprovechables del petróleo son muchos, de los cuales describiremos a breves rasgos algunos. La Tabla N° 2.1 recoge valores comparativos de las propiedades y características de los combustibles nacionales.

COMBUSTIBLES GASEOSOS.— Dentro de la clasificación de los combustibles gaseosos tenemos: el gas natural, que se halla en distintos lugares en estratos areníferos de petróleo, este gas está normalmente a presión y fluye naturalmente por las tuberías; su composición varía considerablemente pero tiene normalmente un gran porcentaje de metano (CH_4), una cantidad menor de etano (C_2H_6), los otros hidrocarburos ligeros y pequeñas cantidades de CO_2 y N_2 . El gas natural empleado en la producción de gasolina y otros gases de refinería de petróleo, se condensan fácilmente a temperatura ambiente y dan lugar a un segundo grupo que son los gases de petróleo licuados (LPG), se suministran en recipientes a presión y en donde no sólo el propano (C_3H_8) y el butano (C_4H_{10}), están presentes sino también pequeñas cantidades de C_3H_6 , C_4H_8 , iso- C_4H_{10} , etc.

Su utilización no sólo está restringido a consumo doméstico, sino también industrial y en la actualidad en vehículos.

TABLA 2.1

PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES NACIONALES *

PRODUCTO	LPG	GASOLINA REGULAR	GASOLINA ESPECIAL	TURBO	KEREX	DIESEL	RESIDUO
Gravedad específica a 60 °F	0.515	0.726	0.7258	0.8820	0.8120	0.8500	0.9500
Color Saybolt		AZUL	VERDE	25	18		
Color ASTM				106	ROJO	0.5	
Punto Inflamación TAG ° F					100	184	280
Punto Inflamación P.M. ° F						20	70
Punto Congelación ° F				15		40	
Viscosidad Saybolt a 100°F Sgdo.							3.310
Viscosidad Redwood a 100°F Sgdo.							
Presión Vapor Reid. a 100°F Lbs/in2	200	10	10			40	
Octanaje (Cetano para Diesel)		64	80				
Azufre % V.	972		0.15	0.2			1.38
Agua por Destilación % V.	0.05			1			0.1
Corrosión, lámina de Cu. Max. Lb.	3	1-b	1-b				
DESTILACION ASTM							
P.I.E. °C		35	34	150	152	204	
Volumen a 100°C %		36	37	55	36		
Volumen a 200°C %							
Volumen a 300°C %							
5% Volumen a °C		52	50	160	167	61	
10% Volumen a °C		62	61	168	173	230	
50% Volumen a °C		110	110	195	212	241	
90% Volumen a °C		154	155	225	246	288	
95% Volumen a °C		167	168	233	253	340	
P.F.E. °C		182	181	241	265	362	
Recobrado %		97	97	98.5	98.5	280	
Residuo %		1	1	1.5	1.5	98	
Pérdida %		2	2			2	

* Proporcionada por CEPE Regional Península

culos.

GASOLINA.— Este es el subproducto más importante del petróleo, está formado por varias cantidades de compuestos de parafina, naftalenos, olefinas, aromáticos y principalmente una mezcla de hidrocarburos líquidos que tienen de 4 a 10 átomos de carbono. Su composición varía de compañía a compañía y de una región a otra debido a las diferentes composiciones del crudo del que procede.

La gasolina que se vende en el mercado tiene su uso en la aviación, motores estacionarios y en los automotores de acuerdo a las propiedades y características que deben cumplir para cada caso específico.

La gasolina para automotores en nuestro país es de dos grados: La regular y la premium o super; su diferencia se basa en el octanaje que posean teniendo valores de 84 y 92 respectivamente.

Desde el punto de vista de la eficiencia para combustión, las características deseables que debe tener una gasolina para lograr una mejor eficiencia del motor, está dada por contener constituyentes volátiles para permitir el arranque, así como no tener un porcentaje elevado de productos pesados, número de octano elevado, no contener azufre, contener tetraetilo de plomo (TEL), inhibidores

de goma y aditivos.

Se ha logrado una gasolina con estas características, de una mezcla de gasolinas de diferentes formas de refinación y lo más importante en nuestros días, el abaratamiento del costo, que si se la obtuviera de una sola manera.

La gasolina de aviación es más rígida, y debe lograrse una combustión más limpia; el número de octano deberá ser superior a 100. Esta gasolina no es procesada en nuestro país, por lo que está destinada a ser importada.

KEROSENE.— Es la fracción del petróleo destilada entre 150°C y 300°C. Es menos volátil que la gasolina y tiene un alto punto de inflamación. Las pruebas de calidad son: la gravedad específica, color, olor, rango de destilación, contenido de azufre y calidad de combustión.

Las especificaciones para las pruebas de control de calidad incluyen, el punto de inflamación (mínimo 115°F), el punto final de destilación (max 0.13%) y color (min +16)

El uso del kerosene se lo realiza en la calefacción doméstica, turbinas a gas y en ciertos tipos de motores.

DIESEL.— Este combustible derivado del petróleo se lo obtiene de fracciones entre el kerosene y el fuel oil o aceites lubricantes.

La National Annual Diesel Fuel Survey, clasifica los combustibles diesel en cuatro tipos, dependiendo del servicio para el que los fabricantes recomiendan estos combustibles.

Tipo C-B. Fuel oil diesel para autobuses de ciudad y operaciones similares.

Tipo T-T. Combustibles para motores diesel en camiones, tractores y servicios semejantes.

Tipo R-R. Combustibles para motores de ferrocarril diesel.

Tipo S-M. Combustibles constituidos por destilados pesados y residuos para grandes motores marinos y fijos.

La combustión es expresada en términos de cetano, que para los automotores está entre 40 y 70. Se le añade dispersantes para preveer la aglomeración de goma y depósitos de sedimentos, lo que ocasionaría que se tapen filtros, inyectores y partes del motor.

FUEL OIL.- Es el producto residual de la elaboración de gasolina, kerosene y gas oil. Se necesita de un refinamiento adicional para lograr que estos combustibles residuales tengan bajo contenido de azufre, baja viscosidad y al igual que el kerosene, la ASTM los ha clasificado

de acuerdo a sus propósitos, esta clasificación es de 6 grupos teniendo en cuenta el poder calorífico, contenido de azufre, ceniza, agua y sedimentos.

2.2. PROCESOS DE REFINAMIENTO

DESTILACION.- Este es el primer proceso a que se somete el petróleo en condiciones especiales, y su principal objetivo es el de separar del crudo los principales productos que lo componen. La primera etapa es la de hacer pasar el crudo caliente por una torre fraccionadora, donde la temperatura disminuye al pasar de la parte inferior a la superior, logrando de esta manera que se fraccione en sustancias volátiles.

Las finalidades son dos principalmente, la primera es la de fraccionar el crudo en cortes de punto de ebullición y peso específico diferentes, y la segunda es reducir el material residual.

Los demás procesos que veremos a continuación dependen mucho de este proceso que de otro, ya que es el primer paso de la refinación.

CATALISIS PIROGENICA (CRACKING).- Este es el tratamiento que se efectúa sobre las fracciones intermedias de la destilación, como los aceites ligeros, medios y pesados para la obtención de gasolina.

El crackeo o cracking consiste en suministrar energía suficiente a las moléculas para que se rompan, de ello resulta una parcial isomería (sustancias de igual composición química y propiedades físicas distintas), y la formación de moléculas más cortas.

Hasta hace poco tiempo se empleaba el crackeo térmico, que se basa en la descomposición de las moléculas de hidrógeno con muchos átomos de carbono, a 450°C los enlaces entre átomos de carbono empiezan a romperse a una velocidad apreciable lo cual es poco controlable, pudiendo lograrse una descomposición total de las moléculas de carbono e hidrógeno, de ningún interés respecto a los carburantes deseados.

Actualmente se prefiere el crackeo catalítico, que presenta ventajas como la de poder controlarse y tener regulación más exacta, rendimiento superior y menos producción de gases. La gasolina que se logra es superior que la lograda por crackeo térmico, ya que el número de octano es más elevado por tener mayor cantidad de moléculas ramificadas y aromáticas, además elimina en cantidad el azufre.

El catalizador está constituido por silicatos de aluminio; en lo que se refiere al mecanismo se cree que una molécula de hidrocarburo al contacto con una de silicato que actúa como ácido (aceptor de electrones) se ioniza y se rompe en trozos los cuales se vuelven a combinar de forma distinta.

POLIMERIZACION.— En este proceso se llevan juntos gases de la misma familia, a la presencia de un catalizador para formar un líquido el proceso emplea temperaturas bajas (316°C) y presiones bajas (14 Kg. por cm^2 abs.), la gasolina polimerizada tiene un buen número de octano (80), es un proceso de bajo costo.

ALKILACION.— Se reúnen moléculas desiguales en presencia de un catalizador, haciendo reaccionar gases ligeros de olefinas con gases de parafinas, para producir parafinas de cadenas ramificadas (líquidas), que poseen un número de octano arriba de 100 y sirve como un componente para la gasolina de aviación.

ISOMERIZACION.— Se arregla la estructura molecular para formar isómeros, tanto el butano como el pentano se pasan por la cámara catalizadora, formándose el isómero. El isopentano es un material de mezcla para controlar la volatilidad de la gasolina para aviones.

HIDROGENACION.— El proceso se describe más ampliamente mediante los objetivos, destructiva y no destructiva. En la hidrogenación destructiva se conduce la desintegración catalítica en una atmósfera de hidrógeno, para producir compuestos de bajo punto de ebullición, así como compuestos saturados; por ser muy costoso tiene muy poco empleo. Mientras que en la hidrogenación no destructiva los compuestos no saturados son convertidos en saturados, exponiéndolos a un catalizador conveniente ;

estos combustibles hidrogenados responden mejor a la adición de tetraetilo de plomo, son más estables aunque su número de octano cambia ligeramente.

REFORMADO. - Es un proceso de desintegración térmica para conver tir gasolinas de baja calidad en fracciones mejores, de punto de ebullición bajos y número de octano altos. Las condiciones de desintegración deberán ser un tanto severas en virtud de que el material a desintegrarse tiene moléculas pequeñas estables, este proceso se efectúa con muchas limitaciones.

2.3. EL MOTOR ENCENDIDO POR CHISPA

Estos motores son más conocidos como motores a gasolina, por ser éste el combustible que utilizan. Por lo general son de cuatro tiempos, llamados así los trabajos que realiza el pistón en el cilindro y que son : admisión, compresión, expansión y es cape ; que cumple en un ciclo. Los automotores son los que más hacen uso de este tipo de motor, por alcanzar altas velocidades y el tamaño en relación con el motor a diesel es menor en compa ración al producir la misma potencia. Los motores a gasolina más usados son los de 4, 6 y 8 cilindros.

FORMAS DE LA CAMARA DE COMBUSTION. - El diseño de la cámara de combustión para un motor encendido por chispa desde el punto de vista de lograr una alta resistencia a la detonación deberá cum

plir las siguientes condiciones para obtener una alta eficiencia.

- a) Diámetro del cilindro pequeño
- b) Altas velocidades a través de las válvulas de entrada.
- c) Corta relación de la trayectoria de llama sobre el diámetro.
- d) Ausencia de superficies calientes al final de la región del gas.
- e) Uso de áreas "squish" (cabidad de combustión en el pistón), particularmente en la región final del gas.

Existen varias formas que dependen del arreglo de las válvulas y del contorno de la cámara de combustión. Hoy en día el 97% de la totalidad de la producción de motores a gasolina para vehículos emplean las válvulas en el cabezote que son operadas por un solo árbol de leva. En lo relacionado al perfil de la cámara a partir de los años de la segunda guerra mundial vino la tendencia a usar cilindros cada vez más anchos y cortos hasta llegar a los cilindros cuadrados (igual diámetro que carrera).

Las formas de cilindros son las siguientes:

- a) Cabeza en T (obsoleto)
- b) Cabeza en L
 - 1) Válvula de entrada a lado de la válvula de escape
 - 2) Cabeza de alta turbulencia (válvulas igual que la ante-

nior).

c) Cabeza en F. válvula de entrada sobre la válvula de escape o sobre la cabeza del cilindro.

d) Válvulas en la cabeza.

- 1) Válvulas verticales con cámara cilíndrica (ampliamente usadas en los automóviles).
- 2) Válvulas en ángulo con cámara de cúpula.
- 3) Válvulas verticales con cámara turbulenta.
- 4) Válvulas en línea pero verticales con cámara turbulenta.

En la figura N° 2.1 se muestra las formas de cámara de combustión

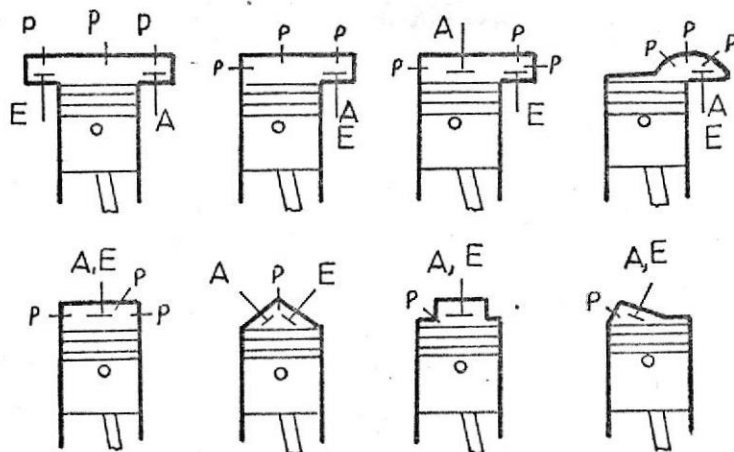


Fig. N° 2.1 Formas de la cámara de combustión. La letra P indica la posible situación de la bujía.

POSICION DE LAS BUJIAS.- La situación de las bujías es muy importante, ya que ésta está fija la variación del área del frente de llama, la longitud de su recorrido y el tiempo necesario

rio para el proceso de combustión.

Situando la bujía cerca de la válvula de admisión, se tiene buena característica de funcionamiento en la marcha en vacío y a elevadas velocidades. Se obtiene una potencia de salida elevada situando la bujía de manera que tenga un recorrido de llama mínimo. El antipicado requiere una bujía cerca de la válvula de escape; y una combustión regular requiere que la posición de la bujía produzca una variación de área del frente de llama y un volumen de la fracción quemada conveniente.

Los aumentos de la potencia del motor han hecho necesario que se utilice bujía más pequeña, entre ellas las de 18, 14 y 10 mm.; los fabricantes de una de las marcas recomiendan las de 18 mm. de largo.

REGULACION DE LAS VALVULAS.— Es necesario una correcta regulación de las válvulas de admisión y escape, ya que esto permite que el motor aspire eficientemente.

La válvula de admisión principia a abrir antes del punto muerto superior, de tal manera que cuando el pistón pase por éste, para iniciar el proceso de admisión, la válvula esté completamente abierta, logrando reducir la estrangulación al paso de la mezcla; el ángulo promedio de los motores de carro de diversa fabricación es de 20° (grados de giro del cigueñal) antes del punto muerto superior. Permanece abierta durante la prime

ra parte de la carrera de compresión, para de esta manera aumentar la alimentación al cilindro en las altas velocidades, que ingresa por inercia de la succión en el proceso de admisión; el promedio de este ángulo es de 65° pasando el punto muerto inferior.

Al igual que la válvula de admisión, la de escape también abre y cierra en posiciones diferentes a los puntos muertos. La abertura de la válvula de escape es antes del punto muerto inferior, cuyo valor promedio es de 60° y cierra con un ángulo promedio de 20° pasando el punto muerto superior, se disminuye de esta manera la resistencia a la salida de los gases y al mismo tiempo que la presión se aproxime a la atmosférica.

Es de apreciar que ambas válvulas se hallan abiertas al mismo tiempo 40° de promedio, ángulo denominado de traslape (Fig. 2.2) este ángulo aumenta cuando la potencia máxima a altas velocidades es deseable, logrando un buen barrido de la cámara.

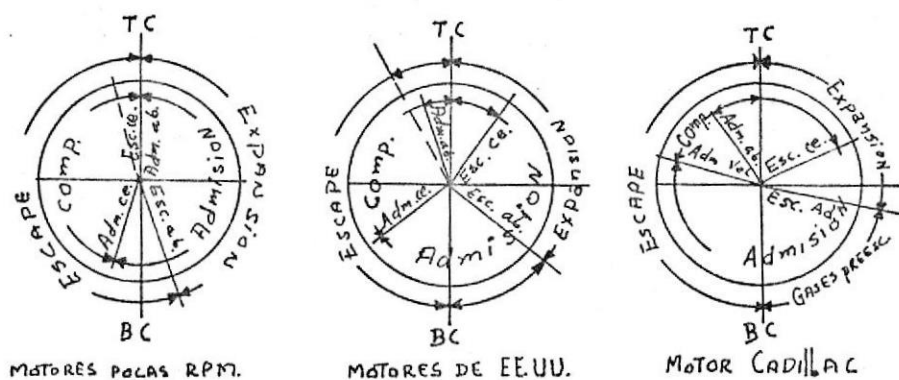


Fig. N° 2.2 Diagramas de sincronización de válvulas

LA RELACION DE COMPRESION.— Es un parámetro muy importante, ya que debido a la mejor calidad de gasolina que se produce se ha logrado aumentarla sin llegar el fenómeno de la detonación.

Relación de compresión se denomina a la relación de volúmenes que existe entre el espacio total de la cámara cuando el pistón se halla en el PMI, sobre el espacio muerto o volumen cuando el pistón esté en el PMS en otras palabras es la medida de cuantas veces se ha comprimido la mezcla aire-combustible en el proceso de compresión.

Al aumentar la relación de compresión se llega a un punto donde tiene inicio la detonación, como puede apreciarse en la Fig. N° 2.3 y que se la denomina relación de compresión crítica. Se puede aumentar el límite de detonación realizando cambios en las condiciones de operación, pudiendo ser éstos la composición del combustible o el diseño del motor.

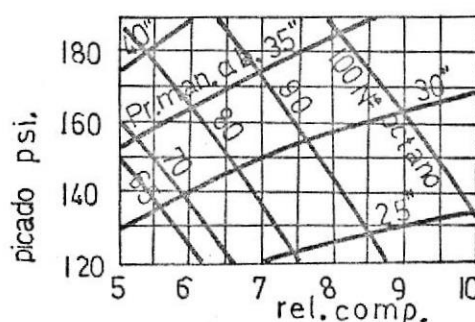


Fig. N° 2.3 Influencia de la relación de compresión sobre la tendencia al picado (detonación) indicada por el índice de octano y la presión en el colector.

Los motores alcanzan relaciones de compresión entre 7:1 y 10:1

para automóviles; con los cambios de las condiciones del combustible (uso de antidetonantes) se ha facilitado la fabricación de motores con elevada relación de compresión y mejoramiento del diseño .

RELACION AIRE-COMBUSTIBLE REQUERIDA. - El motor requiere de diferentes condiciones de carga para su funcionamiento, y es en el carburador donde se realiza la formación de la mezcla aire-combustible, que consiste en la atomización del combustible o mezclado de finísimas partículas de combustible con el aire. La forma elemental de un carburador (Fig. N° 2.4) consiste en hacer pasar un flujo de aire por un venturi, que es donde se inyecta el combustible; la cantidad de combustible inyectada depende de los requerimientos del motor.

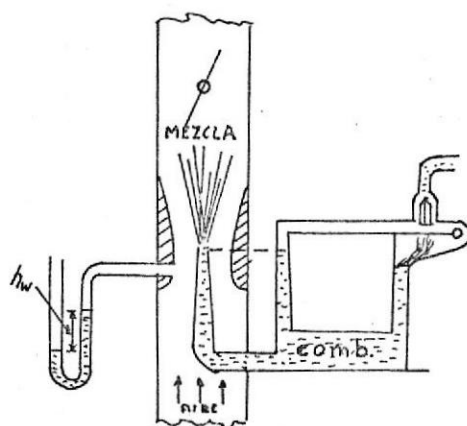


Fig. N° 2.4 Carburador elemental de aspiración ascendente.

La mezcla utilizada por el motor es variable, debido a las diferentes condiciones de funcionamiento aunque son evidentes 3 condiciones:

- 1) En vacío y poca carga
- 2) Zona económica con carga media
- 3) Zona de potencia a plena carga

En el numeral (1), se dice que el motor está en vacío cuando no hay demanda externa de energía, además el acelerador está cerrado. La velocidad menor se alcanza en esa posición por lo tanto requiere menos cantidad de carga para mantener baja la velocidad y vencer la fricción.

Los motores de válvulas traslapadas requieren una alimentación extremadamente rica, a menos que se tenga una velocidad de vacío más rápida.

La zona económica es la que se obtiene cuando el vehículo rueda sobre caminos sin desniveles. La relación aire-combustible pobre ocasiona que la velocidad de llama sea lenta, provocando un avance de la chispa para mejorar la economía. Cuando el acelerador sigue abriéndose hasta aproximarse a los $3/4$ de la abertura total, se enriquece la mezcla denominándose a esta zona de potencia. Dos son las razones por las cuales debe trabajar el carburador en esta zona.

- 1) Para potencias máximas, se requiere mezclas ricas.
- 2) Mezclas de economía ocasionan fallas en las válvulas.

Cabe señalar que para motores de vehículos la zona de economía se la logra con una relación aire-combustible de 16 o 17:1

valor que no es igual de un motor a otro debido a los diferentes diseño de construcción.

AVANCE DEL ENCENDIDO.— El tiempo de encendido puede ser variado como un factor que ayuda a controlar la detonación; con una velocidad dada el octanaje requerido aumenta a medida que el ángulo de chispa es adelantado, esto puede ser tomado en la práctica de manera que si se cambia la gasolina por una de mayor octanaje, el ángulo de chispa deberá ser adelantado para evitar que exista detonación (cuando se está cerca de la relación de compresión crítica), el avance óptimo de la chispa para carga completa depende del tiempo de combustión, este tiempo crece cuando se aumenta la velocidad del motor como se aprecia en la Fig. N° 2.5. Los automóviles dada la variedad de velocidades a que están expuestos tienen un sistema de avance automático.

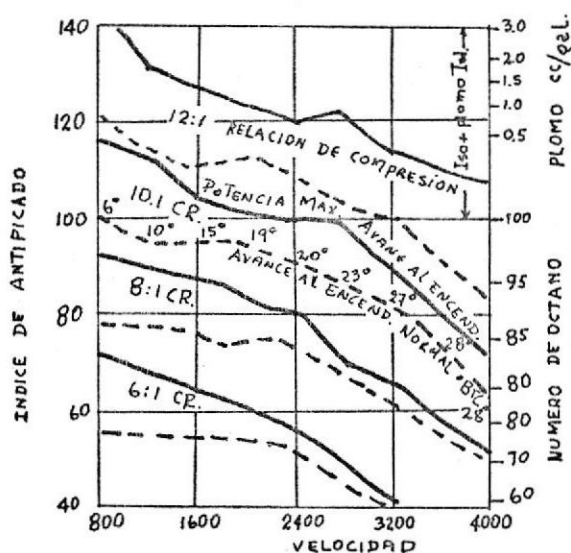


Fig. N° 2.5 Requisitos de antipicado y avance de encendido.

El sistema de encendido se regula de tal manera que cuando un cilindro esté cerca del PMS, en la carrera de compresión el rotor del distribuidor dará la señal para que la bujía de este cilindro encienda dando el voltaje necesario para romper la resistencia del aire y formar el arco que es de aproximadamente 8.000 voltios.

Los dos medios que tiene el motor para asegurar un máximo rendimiento con diferentes velocidades y carga, se los puede resumir con el avance de vacío sobre la regulación del arco; ya que la mezcla pobre requiere un adelanto del arco en comparación con las mezclas a plena carga, y el avance centrífugo necesario para compensar un aumento de la velocidad del motor.

2.4. EL MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESION

El inicio de este tipo de motor, lo desarrolla el Dr. Diesel al querer diseñar un motor que trabaje con carbón pulverizado como resultado obtuvo un motor al que se le inyecta un combustible, que por las condiciones de trabajo deberá ser más estable que la gasolina, y al que se le denominó diesel.

El motor diesel se ha desarrollado desde sus inicios, ya que era de cuatro tiempos muy similares a los de gasolina, desarrollándose luego en motores de dos tiempos de gran potencia. La diferencia principal con los motores a gasolina es que el motor a diesel, basa el encendido de la mezcla por las altas tem

peraturas debido a la compresión; el motor a diesel aspira sólo aire el que lo comprime y en este estado inyecta combustible formándose la mezcla al mismo tiempo que combustiona.

TIPOS DE CÁMARA DE COMBUSTION.— Las formas de cámara de combustión para motores a diesel se dividen en dos tipos: cámaras abiertas y divididas como las de la Fig. N° 2.6. Una cámara de combustión abierta es utilizada en motores grandes (diámetro del cilindro arriba de 20 cm.), y en muchos motores pequeños, en este diseño el combustible se inyecta directamente a la cámara de combustión que generalmente tiene forma de la configuración del spray y emplea el torbellino del aire para completar la mezcla aire-combustible. Las cámaras divididas son aquellas que tienen una cámara de pre-combustión o sea que una está dada por el pistón y la cabeza del cilindro y la otra en la cabeza del cilindro. Estas dos cámaras se hallan comunicadas por un pequeño pasaje que promueve alta turbulencia cuando

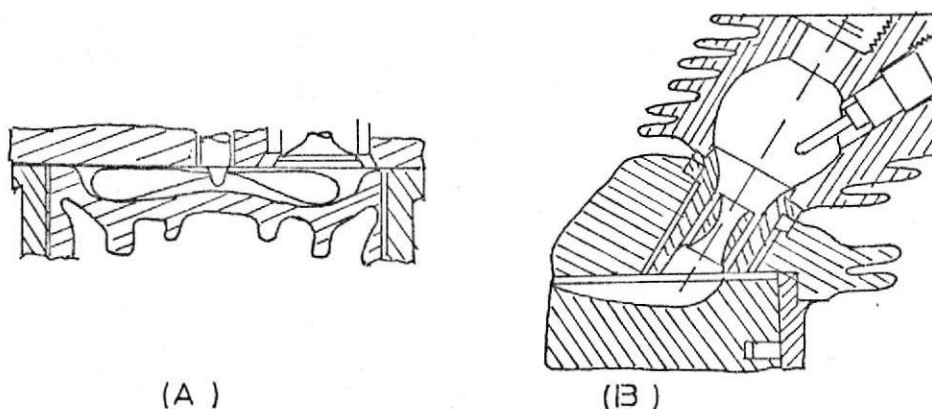


Fig. N° 2.6 Cámara de combustión a diesel. a) abierta y b) dividida.

el flujo sucede en una dirección; combustible es inyectado en la cámara de pre-combustión generalmente la más pequeña. Una modificación de la cámara de pre-combustión es la de ante-cámara, donde el volumen de la cámara sobre el pistón llega a un mínimo que generalmente no es más de la mitad del volumen total.

VARIABLES DE FUNCIONAMIENTO.— La primera variable que se debe de considerar es la relación de compresión ya que una elevación de esta relación presenta un aumento de la presión (y al mismo tiempo de la temperatura), de esta manera se acelera la preparación físico-químico del combustible para el auto-encendido, esto disminuye el tiempo de encendido y el motor trabaja más suave. Los valores de la relación de compresión van desde 12:1 hasta 24:1; el auto-encendido no podría lograrse con una relación inferior de 12:1. La no uniforme distribución del combustible en los motores encendidos por compresión, es una característica general, es por eso que el coeficiente de carga no sólo es variable con el volumen de la cámara, sino también con relación al tiempo; de todas formas la combustión completa depende del valor medio del coeficiente de carga; al aumentar la carga sobre el motor la parte inicial de la elevación de presión no es afectada, puesto que sólo la duración de la inyección ha aumentado. Algunos sistemas adelantan la inyección con un aumento de carga, por tener como característica del má-

ximo de la presión, la carga que es influenciada por la regulación del encendido.

La inyección cambia la calidad del proceso de combustión con la calidad de la pulverización y el tiempo de duración. Si se consigue inyectar el combustible al final de la carrera de compresión, en pequeñas partículas y lograr distribuir las por toda la cámara (mezclas homogéneas); si esto se logra la combustión es más intensa y más corta. Si se mantiene inalterable el tiempo que dura la inyección, cambiando la cantidad con respecto al tiempo, la velocidad de crecimiento de la presión cambia notablemente. Al variar el ángulo de inyección y este es mayor a 20° , el proceso de combustión sucede con un gran aumento de la presión, cuando el ángulo es igual a 10° la presión disminuye y el proceso de combustión se mezcla con el de expansión. El mejor ángulo es 15° , depende también de la relación de compresión, la calidad del combustible, presión y temperatura del medio ambiente.

Otro factor en el proceso de combustión es la velocidad, un aumento de los RPM disminuye el tiempo que corresponde al proceso de formación de la mezcla y de la combustión (Fig. N° 2.7), por lo general un aumento de la velocidad también aumenta el ángulo donde comienza la inyección, como se muestra en la Fig. N° 2.8.

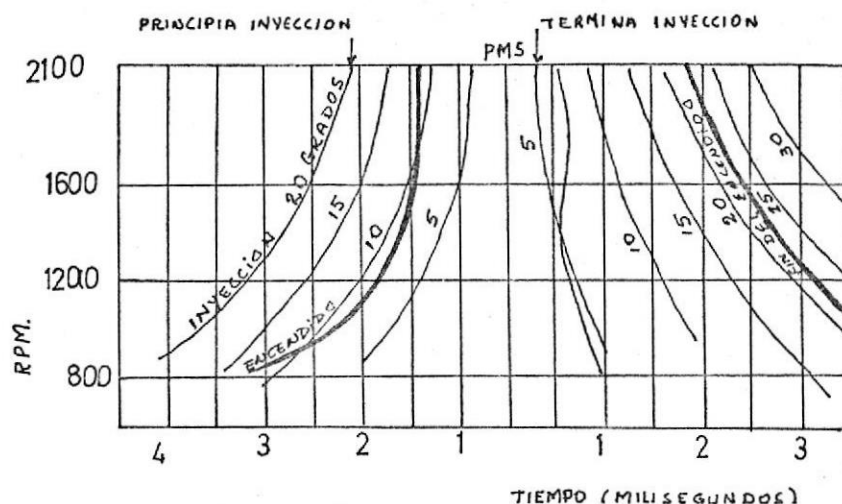


Fig. N° 2.7 Relación entre la inyección y la demora del encendido, la presión máxima y el final del encendido.

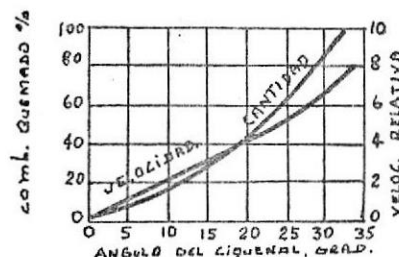


Fig. N° 2.8 Cantidad y velocidad de combustible quemado a una presión constante.

El tamaño del cilindro tiene su efecto en la combustión de los motores EC; considerando cilindros operando a la misma velocidad del pistón, y si el tiempo de retraso es constante, el ángulo de retraso será inversamente proporcional al diámetro del cilindro. Similares máquinas con diferentes tamaños de cilindros, la presión máxima y esfuerzos de presión iguales, el tiempo de aumento rápido de la presión se incrementa en proporción al diámetro del cilindro.

LA INYECCION.— El inyector es el elemento necesario para el funcionamiento del motor, la inyección debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- 1) Inyectar la cantidad de combustible requerida para la carga aplicada al motor, y mantenerla constante de ciclo en ciclo y de cilindro en cilindro.
- 2) Inyectar en el instante correcto para todo el margen de velocidades.
- 3) Inyectar en proporciones deseadas para controlar la combustión y la presión.
- 4) Atomizar hasta el grado deseado.
- 5) Buena distribución dentro de la cámara.
- 6) Iniciar y terminar la inyección instantáneamente.

El grado de la atomización viene dado por los pequeñísimos tamaños de las partículas del spray, también por las pequeñas variaciones que existe entre el tamaño de las partículas; curvas de atomización muestran que el valor específico puede ser obtenido sólo en un punto para grupos de medidas de diámetros 0.0005 in. 0.0010 inc., etc., para un diámetro de orificio y la densidad del combustible que se está pulverizando.

La distancia hasta la cual puede penetrar el combustible pulverizado, depende de la velocidad del chorro de salida, densidad del aire en la cámara, y el tamaño del orificio; un incremento

de la presión de inyección incrementa la penetración, un incremento de la densidad del aire decrece la penetración, la velocidad del chorro depende de la presión y el tamaño del orificio de la tobera, como también de la resistencia del aire.

La dispersión del combustible depende del diseño de la tobera del inyector; un orificio que produzca un cono largo, produce la mejor dispersión, sin embargo el aumento de la dispersión disminuye el efecto de la penetración, efecto que se consigue con el spray centrífugo.

El comienzo de la combustión viene determinado por las condiciones en el cilindro, el inicio de la inyección, las características del spray y calidad de encendido del combustible.

CAPITULO III

3. INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1. DETERMINACION DE LA PUREZA DEL AIRE

El aire que nos rodea, tiene como principales gases que lo forman, oxígeno con 20.9%, nitrógeno con 68% y además contiene dentro de su formación otros gases como son: el argón, bióxido de carbono, vapor de agua y gases nobles, como se los puede apreciar en la tabla N° 3.1.

El aire de la tabla anterior podemos decir que se trata de un "aire puro", ya que el aire que respiramos mantiene en suspensión polvo, humo, gases, etc.; elementos ajenos a la composición del aire. Al avance tecnológico no ha ido paralelamente métodos para preservar el medio que nos rodea; creando problemas que son aún más agudos en países industrializados.

En países donde la emisión de estos elementos contaminantes es elevada, se han dictado legislaciones de tal manera de mantener la calidad del aire, bajo normas que especifican la concentración máxima de un contaminante que puede ser emitida. Estas legislaciones tienen como finalidad proteger la salud pública; como lo es el caso de los EE.UU., que se haya constituida por la Clean Air Act de 1963 y sus enmiendas realizadas en 1970, con "standards" de calidad del aire, una parte muestra la Tabla 3.2

TABLA N° 3.1
COMPOSICION DEL AIRE

COMPONENTE	CONCENTRACIONES APROX.
Nitrógeno (N_2)	78.03 por ciento en volumen
Oxígeno (O_2)	20.99 " "
Bióxido de carbono (CO_2)	0.03 " "
Argón (Ar)	0.94 " "
Neón (Ne)	0.00123 " "
Helio (He)	0.0004 " "
Criptón (Kr)	0.00005 " "
Xenón (Xe)	0.000006 " "
Hidrógeno (H_2)	0.01 " "
Metano (CH_4)	0.0002 " "
Oxido Nitroso (N_2O)	0.00005 " "
Vapor de agua	variable
Partículas	variable en tipo y calidad (1)
Ozono (O_3)	variable (2)
Formaldehido ($HCHO$)	dudoso (3)

- (1) Puede variar mucho de una región a otra y de un período a otro.
- (2) Por radiaciones ultravioletas y otros efectos, las condiciones variarán de 0. a 0.07 ppm.
- (3) Procedentes de fuentes biológicas o la oxidación del metano, no se han determinado las posibles concentraciones.

TABLA N° 3.2

STANDARDS EN LOS EE.UU. DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

CONTAMINANTE	TIEMPO MEDIO	STANDARD PRIMARIO	STANDARD SECUNDARIO	EFFECTO SIGNIFICATIVO	COMENTARIO
Oxidante Fotoquímico	1 h.	160 g/m^3 (0.08 ppm)	idéntico al primario	Irritación de ojos	Nivel inferior al asociado con agravación de las enfermedades respiratorias.
CO	8 h. 1 h.	10 mg/m^3 (9 ppm) 40 mg/m^3 (35 ppm)	Idéntico al primario.	2.5% COHb 2.5% COHb	Nivel inferior al asociado con la dificultad de estimar el tiempo, la función visual y el rendimiento psicomotor.
NO ₂	Media Anual 1 h.	100 g/m^3 (0.05 ppm) 0.25 ppm	Idéntico al primario	---	A un nivel medio de 1 h. se han observado efectos en animales.
SO ₂	Media Anual 24 h. 3 h. 1 h.	80 g/m^3 (0.03 ppm) 365 g/m^3 (0.14 ppm) 0.5 ppm	1.300 g/m^3 (0.5 ppm)	Irritación del sistema respiratorio.	Este nivel es inferior al asociado con alteración de la función pulmonar.
Partículas en suspensión	Media Anual Geométrica 24 h.	75 g/m^3 260 g/m^3	60 g/m^3 150 g/m^3	Enfermedad del sistema respiratorio.	Para partículas en general no de partículas tóxicas como asbesto, plomo o berilio.
Hidrocarburos.	3 h.	160 g/m^3	Idéntico al primario	Irritación de ojos	Basada en la formación de oxidantes.

El departamento de sanidad, educación y bienestar, y la agencia de protección ambiental de los EE.UU., son las instituciones que se han dedicado a reunir información sobre los diversos efectos perjudiciales de los contaminantes del aire y las concentraciones en el medio ambiente, logrando al mismo tiempo determinar el grado de la pureza del aire.

3.1.1 METODOS DE ANALISIS

Un analista del aire que sólo disponga de filtros y burbujeadores en tubos de ensayos, se conformará con datos de concentraciones medias, la necesidad de un cuadro verdadero de la calidad del aire del ambiente, han determinado progreso para los métodos de análisis.

Los métodos de análisis del aire se los clasifica en : continuos y automatizados. Muchas unidades de toma de muestras han resultado ser sólo complicadas amplificaciones de los métodos de toma de muestras, puesta a cerro, adición de reactivos y ajuste del flujo se lo hace manualmente, en estos casos no están claras las ventajas del sistema automatizado sobre el sistema manual.

Los analizadores de gas continuo, se basan en los principios de operación de calorimetría, absorción atómica o molecular, quimioluminiscencia, conductividad, coulombimetría

o combustión; de los que veremos muy brevemente algunos.

Analizadores no dispersivos de infra-rojo.- Estos analizadores dependen de la energía de absorción, característica de la molécula, del elemento a determinar, entre las longitudes de onda que distinguen al elemento de otras sustancias.

Cromatografía de gases.- Consiste en separar los compuestos deseados en un reactor catalítico, que comprende un tubo de acero inoxidable relleno con ladrillo refractario conteniendo nitrato de níquel, a una temperatura condicionada para la muestra haciendo que los componentes de la muestra viajen a diferentes velocidades.

Culombimetría.- Estos aparatos utilizan la culombimetría de yodo en disolución acuosa, se los utiliza para determinar SO_2 y NO_2 .

Quimioluminiscencia.- Se basa en la luminiscencia que se produce al poner- en contacto aire conteniendo ozono con una placa absorbiendo rodamina B sobre gel de sílice; produciendo de esta manera la luminiscencia, donde la intensidad es proporcional a la concentración de ozono.

Muchos otros métodos podemos mencionar de entre los cuales se encuentra : el método calorímetro analizador continuo

de fotometría de llama, método continuo de la hopcalita, analizador de hidrocarburos totales, etc.

3.2 ESTUDIO DE LA COMBUSTION EN LOS MOTORES

La combustión es una reacción química en el cual ciertos elementos del combustible se combinan con el oxígeno causando como resultado una liberación de energía. A esta reacción también se la conoce con el nombre de oxidación, que es en definitiva lo que sucede; la energía liberada se asocia al combustible, sin embargo la fuente de energía es el cambio de estructura electrónica de las moléculas del combustible y del oxígeno.

TEORIA DE LA COMBUSTION.- Al mezclarse combustible con el aire para aprovechar la energía química del combustible mediante la combustión, y si esta mezcla es realizada a temperatura ambiente la reacción es lenta, cuando las moléculas en colisión posean exceso de energía de un nivel mínimo, llamada energía de activación entonces la reacción se acelerará y esto se logra aumentando la presión (aumentando su concentración), y también elevando la temperatura.

Para entender el proceso de combustión, es importante conocer estructuras químicas y moleculares en cuanto se refiere a radicales, iones y reacciones como la superficial y descomposición pirogénica.

Con la mezcla a temperaturas extremadamente altas aparecen en esta, radicales que servirán como centros activos de las reacciones. Al reaccionar estos radicales da como productos otros radicales que se regenerarán un número n de veces, hasta que colisiones con sustancias extrañas ocasionan su desaparición. Cada reacción se la denomina, reacción en cadena y si los radicales que reaccionan son regenerados durante el proceso, a dichos radicales se les llama portadores de cadena.

Una reacción en cadena puede ser identificada por cuatro procesos :

- 1) INICIACION.- Átomos o radicales son producidos por la disociación de moléculas reactantes o de alguna sustancia específicamente añadida para promocionar la iniciación.
- 2) PROPAGACION.- Es importante porque gobierna el gradiente para que la cadena continúe.
- 3) DERIVACION.- La reacción de derivación es un caso especial de una reacción de propagación, un centro activo reacciona para dos o más centros activos.
- 4) TERMINACION.- La terminación en la fase gaseosa ocurre al dar una molécula estable, o por reacción de un radical con una molécula, para dar una especie molecular o un radical de baja actividad incapaz de progresar la cadena.

La teoría de la reacción en cadena ayuda a explicar otros fenómenos que aparecen en la combustión :

- a) La existencia de un período de inyección (atraso de encendido) en el cual es incommensurable la reacción.
- b) La curiosa dependencia en muchos casos de la velocidad de reac
ción sobre :
 - 1- Naturaleza y área de las paredes de confinamiento
 - 2- Efectos de los aditivos inertes
 - 3- Efectos de los diminutos vestigios de aditivos que reac
cionan.

Cabe señalar además, que una vez disociados los componentes del hidrocarburo a quemarse en reacción con el oxígeno proveniente del aire atmosférico, todas las reacciones proceden sólo bajo condiciones de equilibrio químico; llegándose a esta condición no sólo en los productos finales como son el CO_2 , H_2O y N_2 , si
no también en ciertas sustancias reactantes originales y en algu
nos componentes intermedios .

En una mezcla aire-combustible, después de la combustión las sus
tancias que generalmente están presentes son : CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 ,
 CO , H_2 , OH , NO , H , O , C y CH_4 ; de los cuales los dos últimos
se hallan en cantidades muy pequeñas.

La determinación de las proporciones de sustancias en equilibrio se basan en la relación de la presión parcial y que viene representada por una constante llamada de equilibrio.

TEORIA TERMICA DE LA EXPLOSION.- Para un mejor entendimiento de esta teoría, su explicación se basará específicamente en las curvas de la figura N° 3.1

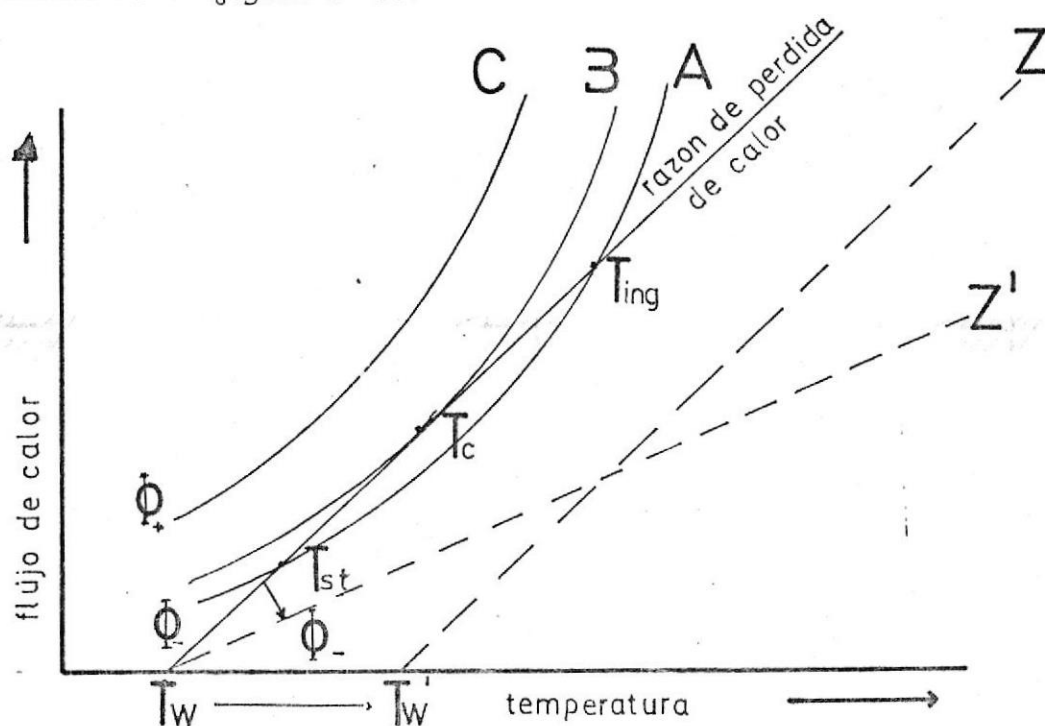


Fig. N° 3.1 Distribución del flujo de calor para una reacción exotérmica en un recipiente cerrado y efectos de límites por aumento de temperatura de la pared y por reducción del coeficiente de transferencia.

Considerando en primera instancia, la reacción correspondiente a la curva A, donde la curva de producción de calor (curva relacionada a la concentración de los restantes), tiende sobre las pérdidas de calor (línea que pasa por el punto que marca la tem-

peratura de la pared). La reacción se inicia y el calor aumentará hasta lograr la temperatura T_{st} ; punto donde la reacción alcanzará una situación estable, dado que esta situación es momentánea, la reacción se acelerará elevando su temperatura hasta llegar al segundo punto de intersección estable T_{ing} , donde la situación no puede ser contenida ya que la reacción se auto-acelerará ocurriendo la ignición.

Esto no sucede con la curva C, donde se aprecia que la reacción es inmediatamente explosiva, dado que la reacción de producción del calor siempre excede a la pérdidas térmicas.

La posición intermedia de las curvas antes mencionadas es ilustrada por la curva B, que es tangente a la pérdida de calor y donde los puntos T_{st} y T_{ing} de la curva A son coincidentes con el punto T_c , la condición representada por esta curva es la de mínimo requerimiento para auto-encendido.

La condición crítica para que exista un cambio en la explosión térmica, es que la curva de pérdida de calor se altere, las cuales pueden ocurrir si : (a) La temperatura T_w de las paredes del recipiente es alterada, la Fig. N° 3.1 muestra esta curva incrementada a la temperatura T'_w . (b) Si cambia la razón de transferencia del calor, sea ésta por diferentes dimensiones del recipiente o por diferente conductividad térmica del material, como lo muestra la Fig. N° 3.1, por Z y Z' respectivamente. El análisis

sis realizado por estas condiciones críticas es igual al descrito anteriormente sobre la explosión térmica.

Esto explica claramente la teoría del auto-encendido y que se representa en la Fig. N° 3.2 , poniendo de manifiesto que mezclas homogéneas de combustible-aire, mantenidos a presión y temperatura elevadas, no se auto-encenderán si éstas no llegan a la temperatura donde la mezcla pueda reaccionar espontáneamente, como ocurre con la reacción expresada por la curva B, sino más bien

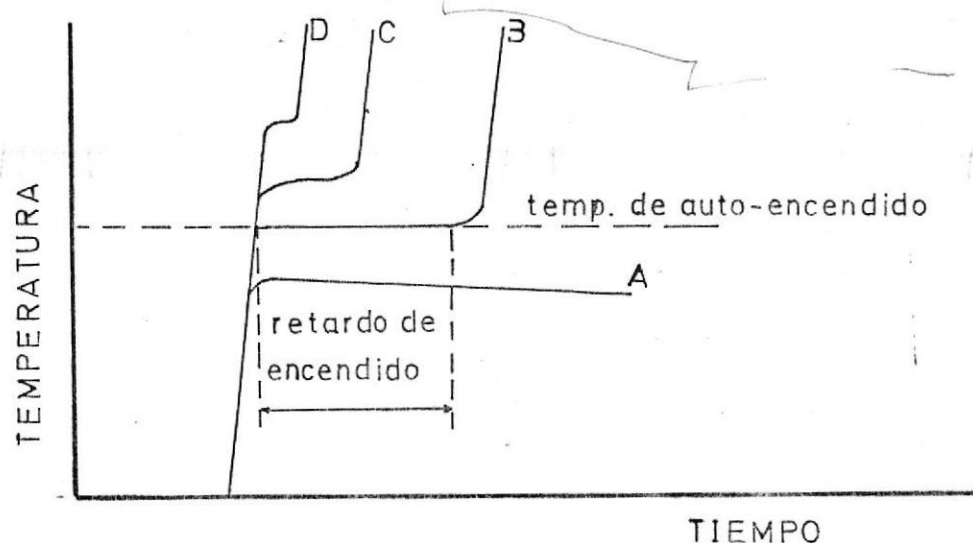


Fig. N° 3.2 Curvas de temperatura-tiempo, para una mezcla comprimida hidrocarburo-aire.

se enfriará, como lo muestra la curva A. Si a la muestra se aumentara la concentración, aumentando la presión y la temperatura el período de inducción será menor como en las curvas C y D.

3.2.1. LA COMBUSTION EN LOS MOTORES ENCENDIDOS POR CHISPA

En los motores encendidos por chispa, la mezcla aire-combustible es introducida al cilindro del motor durante el proceso de admisión, aquí éstos "gases frescos", se mezclan con los gases calientes que quedaron en el espacio muerto y que son los residuos del ciclo anterior. Al aumentar la presión de los gases en el proceso de compresión, al mismo tiempo se aumenta la temperatura, donde todo el combustible no vaporizado dentro de la cámara, se vaporizará antes del comienzo de la combustión.

La carga se enciende, mediante una chispa eléctrica que actúa entre los 30 ó 40 grados antes del punto muerto superior (PMS), la combustión empieza con la formación de un núcleo encendido de la mezcla que rodea a los electrodos, formando una onda semi-esférica de radio pequeño entre 5 y 6 mm.

La combustión como se dijo antes empieza antes de que el pistón esté en el PMS y termina cuando el pistón se mueve desde el PMS en el proceso de expansión; por lo tanto el trabajo se realiza sobre la fracción quemada y la no quemada durante la primera etapa del proceso de combustión, aunque será diferente durante la última etapa. La fracción quemada pierde calor hacia las paredes desde el mo-

mento en que se quema hasta el escape, la expansión de esta fracción comprime a la no quemada y eleva su temperatura, perdiendo calor hacia las paredes pero en una cantidad mucho menor.

La combustión de la fracción (a) (Fig. N° 3.3), aumenta su volumen, presión y temperatura de V_0 , P_1 , T_1 a V'_0 , P'_0 y T'_0 ; la expansión de (a) (fracción quemada) realiza un trabajo indicado por el área bajo la curva 1-2 y que es también el trabajo de la fracción no quemada desde V_1 a V'_1 , la presión se supone iguales.

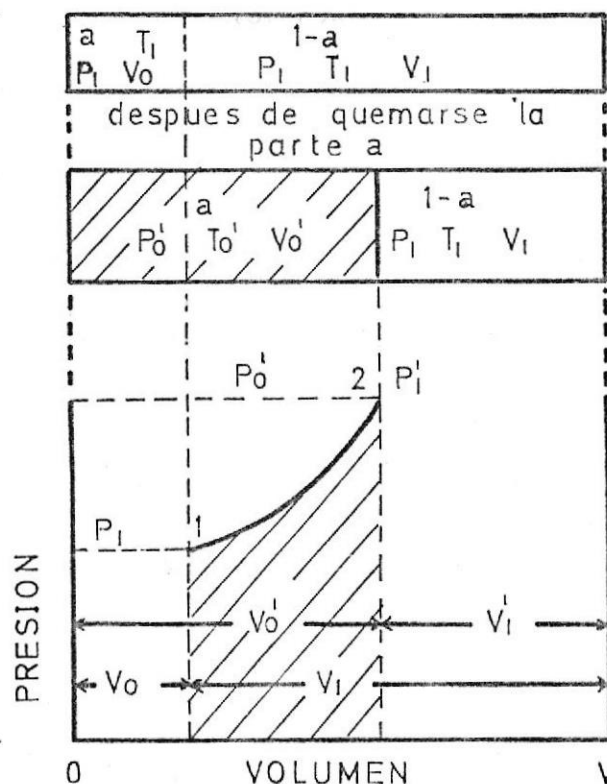


Fig. N° 3.3 Proceso de combustión a volumen constante

La energía para la parte (a) es :

$$(u_1 + c_1)_a = (u_2 + c_2)_a + (w_{sal})_a + (Q_{sal})_a \quad (3-1)$$

$$(w_{sal})_a = (w_{ent})_{1-a} = (u_2 - u_1)_{1-a} + (Q_{sal})_{1-a} \quad (3-2)$$

Suponiendo el volumen quemado V'_0 , la compresión adiabática desde V_1 hasta V'_1 , determinamos P'_1 , T'_1 y w ; suponiendo Q se calcula $(u_2 + c_2)$ y con $P'_2 = P'_1$ se puede obtener los valores de T'_0 y V'_0 mediante diagramas de combustión. La solución correcta se halla cuando V'_0 determinado coincide con el valor supuesto.

Estos valores se pueden graficar en curvas de (a) y $a(V'_0/V_0)$, (posición del frente llama v.s. la elevación de temperatura de la fracción no quemada $(T'_1 - T_1)$). En la curva, el volumen ocupado por la parte quemada y el que deja atrás el frente de llama, coincide para $(a=0)$ y $(a=1)$ respectivamente; sin embargo el volumen que deja atrás el frente de llama a la mitad de la cámara es apreciablemente mayor que el de la parte quemada, aunque la masa es ligeramente menor.

La presión de la fracción no quemada, que es la presión de la cámara de combustión depende de la temperatura inicial T_1 , de la presión inicial P_1 y de la elevación de la temperatura $T'_1 - T_1$. Presiones iniciales mayores de

7 Kg/cm² abs. dan lugar a una combustión más completa y a valores de T'_0 mayores.

PROPAGACION DE LA LLAMA Y VELOCIDAD DE REACCION

La propagación de la llama en una cámara de combustión puede dividirse en dos etapas, la primera es la formación del núcleo y que con velocidades de combustión aproximadamente 120 cm/seg., quemará el 10% de la carga, mientras que la segunda etapa quemará el 90% restante con un frente de llama muy amplio y que desarrolla velocidades de 20 a 25 m/seg.

La combustión se inicia a partir de un pequeño núcleo y aumenta el área del frente de llama hasta que se vea limitada por las paredes del cilindro. Al variar la posición de la bujía en la cámara, el área del frente de llama será apreciablemente diferente.

Los factores que influyen en la velocidad de la llama y que a su vez determinan sobre el aumento de la presión, estos factores son muchos de los cuales veremos los principales:

Turbulencia .- Si la mezcla no está en movimiento, la velocidad de propagación es baja; el efecto de la turbulencia tiene como causa la mezcla que se produce entre las

partículas, de modo que la actividad se hará más intensa y en consecuencia se incrementará la velocidad de propagación.

Relación de mezcla .- Una mezcla algo más rica que la es tequiométrica dará velocidad de llama más elevada, si se varía esta relación la velocidad disminuirá.

Temperatura .- Existe para una relación de mezcla una temperatura , durante el cual la reacción de oxidación es sumamente rápida con temperaturas más elevadas o más bajas, la velocidad disminuirá.

Presión .- A una mayor presión en el instante en que sal ta la chispa mayor dificultad se experimenta para iniciar la combustión, pero queda compensada después de un incremento de la velocidad.

Humedad .- La velocidad de la llama disminuye al aumento de la humedad.

Cantidad de gases residuales .- La presencia de gases de siguales modera y retarda la combustión.

VARIACIONES DE LA PRESION DURANTE LA COMBUSTION

El gradiente de presión durante la combustión influye so bre la máxima presión y sobre la forma que es transmiti-

da al pistón la fuerza. El gradiente de presión es función de la rapidez con que se desarrolla la combustión, al principio la cantidad que se quema es pequeña en la unidad de tiempo y como la combustión progresa con velocidad relativamente baja, el gradiente de presión también es poco intensa; al intervenir una mayor cantidad de mezcla y aumentar el área la velocidad de propagación del gradiente de presión crece con rapidez, tiende a disminuir cuando el frente de llama se restringe al ponerse en contacto con las paredes de la cámara. El movimiento del pistón hace variar el volumen de la cámara durante la combustión, influenciando en cierto grado sobre las alternaciones de presión. Como se muestra en la Fig.3.4

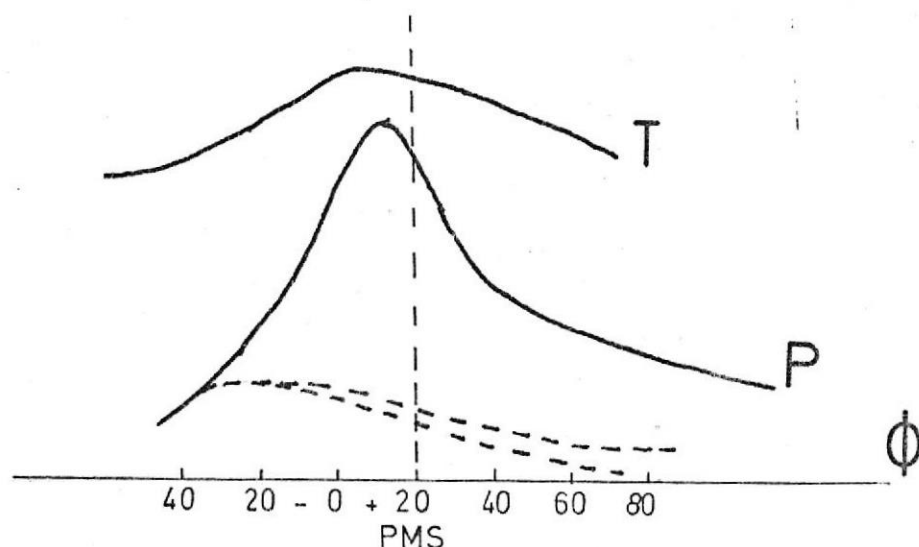


Fig. N° 3.4 Variación de la presión en el proceso de combustión en un cilindro de un motor E.C.H.

Experimentalmente han demostrado, que en un gradiente de

presión baja es necesario encender la mezcla antes que en los otros casos, porque la combustión requiere un tiempo más largo. Con gradientes de presión más elevados, se tiene una alta velocidad de combustión y la presión máxima está por encima del punto muerto superior, es decir hace aumentar el área del ciclo indicado y por lo tanto la potencia.

El experimentador H. Ricardo, ha comprobado que un gradiente de presión en torno a los 2 Kg/cm^2 por grado suministra la potencia máxima. Gradientes más elevados dentro de una combustión normal se logra con una intensa turbulencia, la cual causa pérdida de calor y caída de potencia cuando es excesiva.

INFLUENCIA DE LA CARGA Y DE LA TURBULENCIA EN LA VELOCIDAD DE COMBUSTION

Mezclas ricas de combustible-aire, disminuyen la velocidad de combustión, fenómeno que es explicado por la falta de oxígeno, quemándose sólo la parte de mezcla saturada y arrojando al medio ambiente el resto o sea hidrocarburos no quemados junto a los gases quemados. Como se presenta en la Fig. N° 3.5 . Las mezclas pobres al ígual que las ricas también tiene una caída de la velocidad y que explica por el atraso de la formación del fren

te de llama.

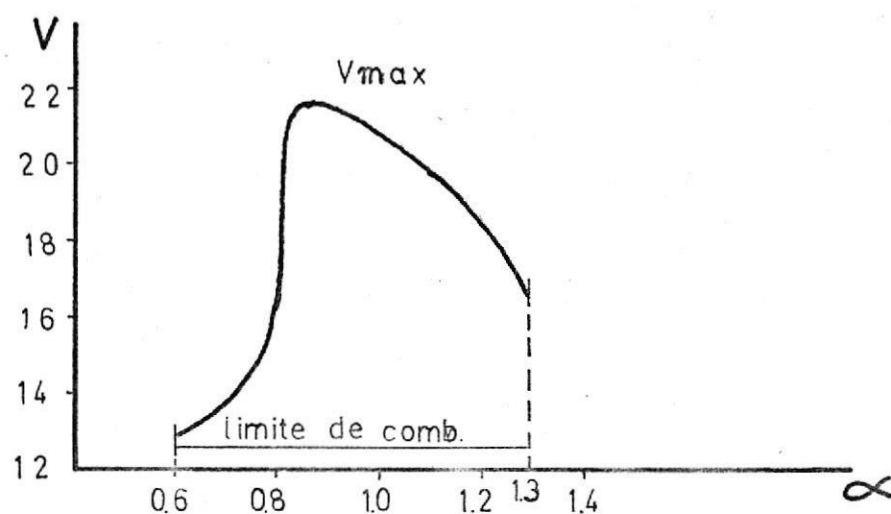


Fig. N° 3.5 Influencia de la carga en la velocidad de combustión.

Un aumento de las revoluciones del motor, aumenta la velocidad de admisión, la mezcla que ingresa a la cámara choca contra las paredes del cilindro, la cabeza del cilindro y la cabeza del pistón provocando un efecto de onda que se transmite en la masa dando movimientos que aumentan y aceleran apreciablemente la velocidad de la reacción; si la turbulencia que se produjera es demasiado intensa puede apagar el núcleo encendido por la chispa. Un aumento de la turbulencia produce una irregularidad del motor provocando vibraciones de ciertas partes del motor.

LA DETONACION EN LOS MOTORES A GASOLINA

La elevada temperatura de los productos formados en el frente de llama conduce a una expansión que comprime la fracción quemada situada detrás del frente de llama y la fracción no quemada situada delante. Esto hace que se eleve la temperatura de la fracción no quemada y por la mezcla no homogénea se tiene puntos de mayor presión en la fracción no quemada, puntos que pueden llegar al auto-encendido y producir una elevación local de la presión que da lugar a un sonido muy semejante al picado, a esto también se debe que se lo conozca con el nombre de picado a este fenómeno. La Fig. N° 3.6 presenta los límites de encendido por chispa y por compresión.

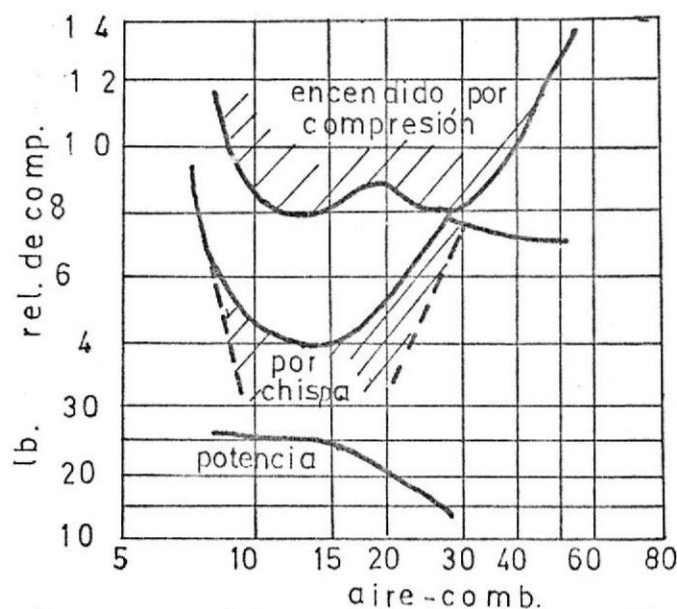


Fig. N° 3.6 Encendido por chispa y compresión de mezclas carburadas de n-pentano y aire (motor de $3\frac{1}{4}$ por $4\frac{1}{2}$ in.; velocidad 1.000 RPM $T_c=100^\circ\text{C}$)

Los factores que influyen en este proceso son :

- 1) Característica del combustible : estructura molecular temperatura del auto-encendido, reacción de pre-llama y velocidad de combustión o velocidad de llama.
- 2) Condiciones de la mezcla : relación combustible-aire, temperatura del aire de admisión, densidad de carga, y distribución.
- 3) Relación de compresión : Condiciones de la mezcla final, tiempo de cierre y apertura de las válvulas.
- 4) Instante del encendido y dispersión del reglaje
- 5) Cámara de combustión : diseño, posición de las bujías material y estado superficial.

Características del combustible .- En cuanto a las características antidetonantes que deben tener los combustibles hidrocarburiíferos, se ha llegado a concluir que : para estructuras de las parafinas, al aumentar la longitud de la cadena de carbono aumenta la tendencia a detonar; mientras que éste disminuye si se centraliza los átomos de carbono y se adiciona radicales metilo a los la dos de la cadena de carbono y en el carbono de posición 2 o en el central. Los hidrocarburos alifáticos no saturados, mostraron menos tendencia a detonar que los satu-

rados correspondientes, excepto el metilo, acetileno y propileno.

Los naftalenos tienen una tendencia notablemente mayor a detonar que los aromáticos correspondientes.

Para mejorar esta característica antidetonante se usa el tetraetilo de plomo (TEP), que es un aditivo muy frecuente en las gasolinas. La eficacia ha sido evidente usando n-heptano (combustible muy propenso a dar combustiones detonantes) con la adición de 0.65 ml/l. de TEP y relación de compresión apenas por debajo de la necesaria para obtener un efecto pequeño de detonación; se ha concluido que el TEP elimina la fase de aceleración del frente de llama, que verifica la detonación. El TEP interviene en la combustión descomponiéndose en óxidos de plomo; es posible que se forme una niebla de PbO en la cámara de combustión y que en cada partícula los radicales HO_2 sean desactivados.

Influencia del coeficiente de carga .- Para analizar la influencia de la carga será necesario dividir los valores del coeficiente en dos :

- 1) Zona de mezclas ricas ($\alpha = 0.6$ a 1.0); el aumento de la cantidad de combustible actúa como refrigerante en

las partes calientes del motor lo que da como resulta dos temperaturas bajas de la mezcla antes de la combustión, por lo tanto son menos propensas a detonar, esta tendencia disminuye a medida que el coeficiente se aproxime a la unidad.

- 2) Zona de mezclas pobres ($\alpha = 1.0$ a 1.1); en esta zona se aumenta el período de formación del frente de llama y a su vez del proceso de combustión que mantiene a la mezcla más tiempo bajo la acción de altas temperaturas, lo cual posibilita la formación de peróxidos explosivos; a esto se debe que motores que trabajen en esta zona necesitan combustible con alto porcentaje de antidetonantes.

Influencia de la relación de compresión .- Un aumento de la relación de compresión trae como consecuencia un aumento de la potencia efectiva y de la economía del motor

No debemos olvidar, que un aumento de la relación de compresión trae un crecimiento de la presión y la temperatura antes de la combustión y por lo tanto aumenta la detonación. Para evitarlo se necesita combustible con mayor poder antidetonante (ver Fig. N° 2.3)

Influencia del ángulo de chispa y de las revoluciones del motor .- Si se adelanta la chispa, el proceso de

combustión se inicia antes, ocasionando un aumento de la presión y la temperatura que aumenta la detonación. Es por esto que a mayor ángulo de chispa antes del punto muerto superior se tendrá que usar combustible de mayor octanaje, para evitar que detone. En la Fig. N° 3.7 se aprecia el avance de la chispa en un motor de vehículo.

Así mismo si se aumentan las RPM, la posibilidad de golpeteo disminuye, esto explica el hecho de que si tenemos revoluciones bajas experimentamos mayores posibilidades de golpeteo, debido a que tendrá mayor tiempo de combustión y a temperaturas elevadas formando peróxidos.

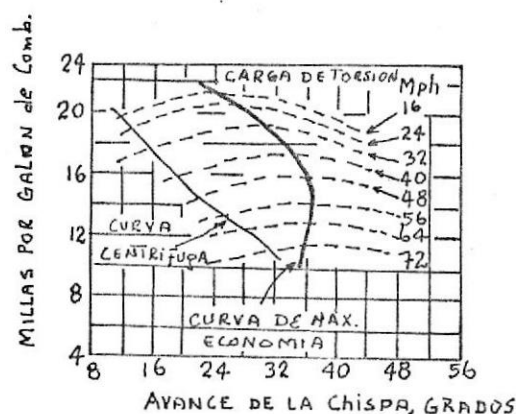


Fig. N° 3.7 Efecto del avance de la chispa sobre el consumo de combustible de un vehículo en marcha sobre carretera llana.

Influencia de la cámara de combustión .- Los factores de construcción son muy importantes como lo son : las dimensiones del cilindro, número de bujías y su posición, temperatura de la válvula de salida y del pistón. Si el

diámetro del cilindro es menor, menor será el recorrido del frente de llama se tendrá altas temperaturas y la concentración de peróxidos menor en la sección de mezcla no quemada.

El enfriamiento de la bujía, válvula y otras partes del interior del cilindro, juegan un papel importante, ya que de haber un mal enfriamiento al ponerse la mezcla en contacto con ellas se encenderán produciendo golpeteo.

3.2.2. LA COMBUSTION EN LOS MOTORES ENCENDIDOS POR COMPRESION

La característica principal de los motores encendidos por compresión es que la mezcla y la combustión suceden en un mismo proceso. El combustible es pulverizado a su ingreso a la cámara a una presión de 150-300 Kg/cm² y la pulverización depende de la construcción del inyector.

Las gotas de combustible que se encuentran al frente chocan con el aire que se halla bajo presión de 30 - 60 Kg/cm². y 700°C de temperatura y en estado de turbulencia. Se empieza a evaporar y al mismo tiempo se produce la oxidación, apareciendo núcleos de combustión que dan lugar a los frentes de llama; la combustión puede iniciarse en cualquier punto en donde las condiciones sean aptas para el encendido, y es por ello que se presenta en diversos, puntos. No se forma un verdadero frente de

llama como en los motores encendidos por chispa, aunque también existe un retraso de encendido.

La dinámica del proceso puede ser caracterizado por la gráfica (Fig. N° 3.8)

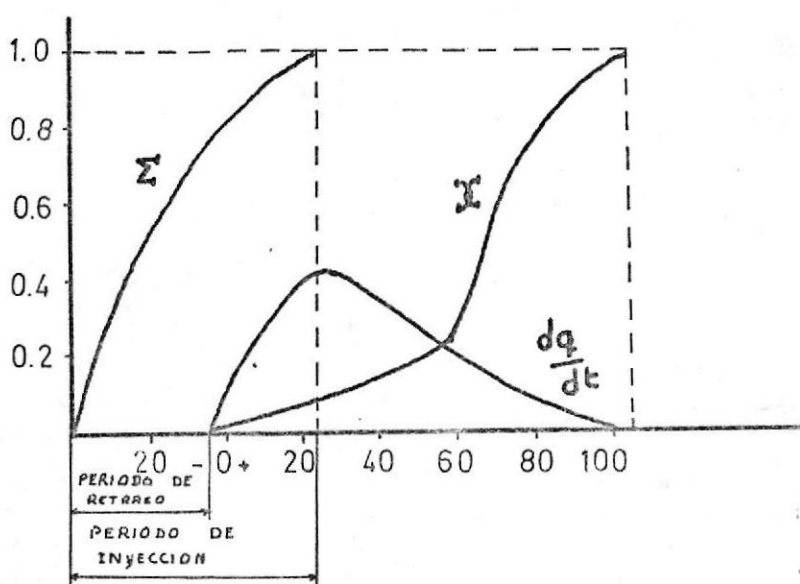


Fig. N° 3.8 La dinámica del proceso de combustión.

$\Sigma = f(\phi)$ curva del abastecimiento de combustible,
 $X = f_1(\phi)$ ley de la combustión, $dq/dt = f_2(\phi)$ velocidad de irradiación de calor.

Para explicar mejor el proceso se lo ha dividido en tres fases, como se muestra en la Fig. N° 3.9.

Primera fase (a) .- Comienza en el momento en que se inyecta el combustible y termina en el instante que empieza a elevar la presión de la mezcla en el cilindro, o sea en el momento en que aparecen los frentes de llama,

a esta fase se la conoce como retraso del encendido.

El tiempo que dura este retraso, tiene una gran influencia en todo el proceso de combustión y por consiguiente en la velocidad del aumento de la presión.

Sobre la primera fase influyen :

- 1) Propiedades físico-químico del combustible
- 2) Temperatura y presión del aire comprimido
- 3) Intensidad de la turbulencia en la llama
- 4) Cantidad de la fracción de residuos en la mezcla

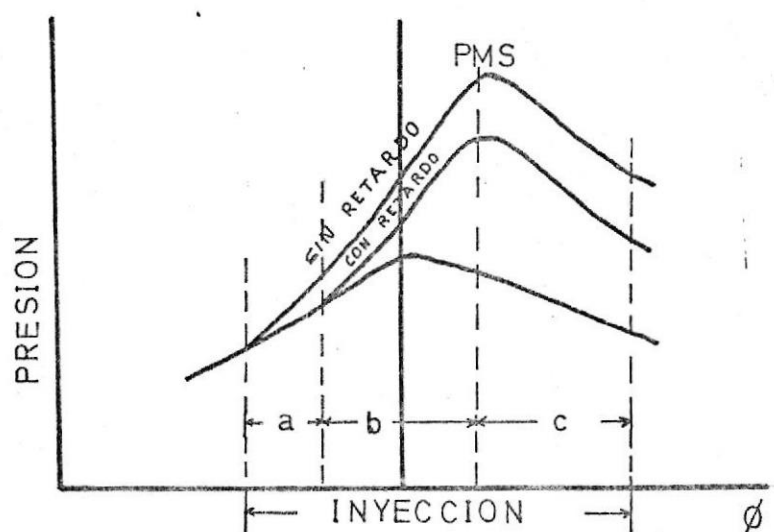


Fig. N° 3.9 Proceso de encendido por compresión

Segunda fase (b) .- Comienza en el momento que aparecen los frentes de llama, continuando con su propagación que va acompañado de un aumento de calor y por lo tanto de presión y temperatura.

En mucho depende la forma como se realice esta segunda fase en la combustión, ya sea con suavidad o con rudeza, término este último conocido como detonación en los motores a gasolina.

Para aumentar la eficiencia del ciclo, es necesario que la mayor parte del combustible se queme cerca del PMS pero así mismo éste trae consigo un aumento de la velocidad del crecimiento de la presión ($dp/d\phi$); es decir un aumento de la rudeza, que para soportarlo se tendría que pensar en construcciones mucho más fuertes.

Para un trabajo suave, es necesario mantener ($dp/d\phi$) en 4 a 6 Kg/cm^2 . en cada grado que gira el eje del cigüeñal y la presión máxima debe estar localizada 10 ó 15° después del PMS.

Influyen sobre la segunda fase :

- 1) Tiempo que dura el retraso de la combustión
- 2) Cantidad de combustible inyectado en la primera fase
- 3) Velocidad de inyección del combustible y cantidad de combustible introducido.
- 4) Uniformidad en la distribución del combustible

Tercera fase (c) .- Empieza en el momento en que alcanza la presión máxima y termina cuando se ha quemado cer-

ca del 95% del combustible. Cuando termina la inyección por lo general comienza la tercera fase y tiene un máximo de la temperatura a los 20-30° después del PMS.

La duración de la tercera fase depende de :

- 1) Del valor medio del coeficiente de carga α
- 2) De la intensidad de la turbulencia en la cámara
- 3) De la dinámica de introducción del combustible

PICADO EN LOS MOTORES ENCENDIDOS POR COMPRESION

Este fenómeno es fundamentalmente el mismo proceso que la detonación en los motores encendidos por chispa.

Muchos factores hacen que el picado sea más severo en los motores E. CH.; reducen o eliminan el fenómeno en los moties E.C. Desafortunadamente aditivos que mejoran uno de los procesos empeoran otro, los combustibles de elevada calidad de antipicado para motores E.CH., por lo general pican en los motores encendidos por compresión.

Factores que influyen en el fenómeno:

Propiedades del combustible .- La composición química influye en el retraso de la combustión, mientras mayor sea la cantidad de hidrocarburos parafínicos, menor será el período de retraso y a mayor contenido de aromáticos

mayor será este período. El combustible para los motores encendidos por compresión, deberá ser muy estable y no formar reacciones antes de que aparezcan los frentes de llama.

La calidad del combustible se lo valoriza por el número de cetano y el auto-encendido del combustible sirve para valorar la suavidad o rudeza del trabajo.

Calidad de pulverización y tiempo de duración .- Si se inyecta el combustible al final de la compresión y se lo gra pulverizarlo en finas partículas que a su vez se distribuyan por toda la cámara, la combustión es más in- tensa y más corta.

Mientras más fina sean las gotas pulverizadas menor será el tiempo de preparación físico-químico de la mezcla para que la combustión sea completa, en otras palabras el tiempo de retraso será menor.

Si se mantiene inalterable el tiempo de inyección, pero cambiamos la cantidad con respecto al tiempo el período de retraso sigue inalterable, cambiando la velocidad de crecimiento de la presión, se cambia la calidad del pro- ceso de combustión, si este proceso se lo distribuye con relación al PMS, en uno y otro lado.

Si el ángulo de iniciación es mayor ($\Theta=20$), se sucede un gran aumento de la presión, al disminuirlo ($\Theta=10$) la presión disminuye y el proceso de combustión se mezcla con el de expansión. El mejor ángulo es ($\Theta=15$), aunque el óptimo depende también de la relación de compresión, calidad del combustible, además presión y temperatura del medio ambiente.

Relación de compresión .- Un aumento de la relación de compresión trae como consecuencia un aumento de la presión y la temperatura que mejora el intercambio de calor entre las gotas de combustible-aire acelerando la propagación físico-químico del combustible para el auto-encendido, y a su vez disminuye el período de retraso y el motor trabaja más suave.

Coeficiente de carga .- El proceso de combustión se realiza en una mezcla heterogénea que se forma al mismo tiempo que se enciende ya que no es posible obtener una mezcla homogénea, por no tenerse una distribución uniforme.

El coeficiente de carga no sólo varía con el volumen de la cámara sino también con relación al tiempo. Se ha determinado experimentalmente que el proceso de combustión disminuye en tiempo si el coeficiente de carga (α) au-

menta.

La velocidad .- Un aumento de las RPM del motor disminuye el tiempo que corresponde a la formación de la mezcla y la combustión continúa en el proceso de expansión.

Este efecto al aumento de las RPM se lo contrarresta mejorando la pulverización acortando el tiempo de inyección del combustible, aprovechando el grado de turbulencia en la cámara y aumentando el ángulo donde comienza la inyección.

La cámara de combustión .- Existen muchos tipos diferentes de cámaras que pueden ser agrupadas en dos grandes categorías. Según la forma de introducir el combustible sea directamente en el cilindro o en una cámara separada. La cámara de inyección directa es también llamada cámara abierta o "no turbulenta" por su bajo grado de turbulencia creado. La mezcla se facilita sobre todo por una pulverización muy acentuada del combustible y a elevada presión.

En la cámara separada o de turbulencia, los inyectores son de una sola tobera y la presión de inyección es más baja.

Las cámaras de combustión usadas en los motores a diesel

son numerosos y cada una tiene características particulares, sus ventajas e inconvenientes son los que dan buenos resultados en un campo de aplicación y malos en otro.

3.3. MECANISMOS DE LA CONTAMINACION

La oxidación completa de un carburante constituida por hidrocarburos da como únicos productos el CO_2 , H_2O y N_2 ; sin embargo, las condiciones para que la oxidación se lleve a efecto en el proceso de combustión hacen que se originen otros productos como son el CO , H_2 , NO y diversos hidrocarburos parcialmente oxidados además parte del combustible utilizado permanece sin quemarse y partículas de compuestos de plomo se añaden a esta masa de gases que salen al medio ambiente por el tubo de escape de los vehículos.

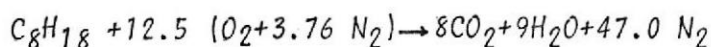
Existen otras formas de emisiones de hidrocarburos en los vehículos y que no participan precisamente en el proceso de combustión.

La popularidad de los motores de combustión interna ha producido un problema en el medio ambiente y que ha venido incrementándose con el crecimiento continuo del uso de vehículos de transporte.

3.3.1. LOS GASES DE ESCAPE PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

Los compuestos residuales de los motores a gasolina del

proceso de la combustión que son expulsados del sistema durante la carrera de escape. Una estimación de la cantidad de aire requerida para una combustión completa puede obtenerse empleando la ecuación de la reacción químicamente correcta.

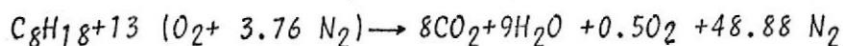


En donde la masa de aire a masa de combustible es de 14.5 aproximadamente. Que es el valor típico de la razón aire-combustible para hidrocarburos individuales o mezclas de hidrocarburos.

Podemos apreciar en esta combustión teóricamente correcta la completa conversión del carbono a CO_2 y el hidrógeno a H_2O ; también participa de estos productos el nitrógeno que sale tal como ingresa. A esta reacción frecuentemente se la denomina "estequiométrica". Es muy común el empleo de la razón de equivalencia definido por :

$$\Phi = \frac{(\text{A/F}) \text{ esteq.}}{(\text{A/F}) \text{ actual}} = \frac{(\text{F/A}) \text{ actual}}{(\text{F/A}) \text{ esteq.}} \quad (3-3)$$

Cuando el valor de Φ es menor que la unidad, la cantidad de aire suministrada es mayor que la requerida para una combustión correcta y a esta mezcla se la denomina "pobre"; la ecuación de la reacción es :



Podemos apreciar que el exceso de aire sale como tal , cuando el valor de α es mayor que la unidad, la masa de aire suministrada es menor que la necesitada o en otras palabras tiene un exceso de combustible para una combustión completa.

Estos productos además de los ya conocidos también contienen monóxido de carbono, al mismo tiempo que presentan una elevada concentración de hidrocarburos sin quemar.

EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO

La combustión de mezclas ricas conlleva a la formación de CO, así como a la presencia de carburante residual en los gases de escape sin quemar o parcialmente quemados. Por lo contrario las mezclas pobres, producen cantidad mucho más pequeñas de CO y de hidrocarburos sin quemar; sin embargo si la mezcla es demasiado pobre con una relación (A/F) superior a 17, puede ocurrir que la mezcla no se encienda correctamente y grandes cantidades de carburante atraviesen el motor sin quemar.

Durante el funcionamiento del ralentí, la mayoría de los motores necesitan mezclas ricas para compensar la presencia en los cilindros de productos residuales para la combustión. Por consiguiente, las emisiones de CO son ele-

vadas durante el ralenti.

La concentración de CO, aumenta a medida que la proporción aire-combustible disminuye de forma que la concentración de CO es máxima cuando el coche funciona en ralenti y durante la desaceleración. La exigencia de la potencia elevada tal como la aceleración máxima, también produce concentraciones de CO más elevadas; la velocidad de crucero con potencia moderada es una situación en la que los niveles de emisión de CO son los mínimos.

EMISIONES DE HIDROCARBUROS

Aunque el proceso de combustión se realice estequiométricamente vamos a encontrar hidrocarburos en los gases quemados y éstos aún son mayores en las mezclas ricas. Una de las principales causas para que se presenten emisiones de hidrocarburos es que la propagación de la llama dentro de la cámara no sea completa dado que éstas no tocan las paredes del cilindro; a este fenómeno se lo conoce como "extinción de las paredes".

Trabajos de investigadores, han encontrado que la llama no se propaga entre 0.005 y 0.03 cm. de la pared de la cámara, también encontraron que la proporción de hidrocarburos presentes en la zona de extinción que se expulsan es inferior a la proporción total de gases expulsa-

dos y que es debido a la retención ejercida en la capa límite existente en las paredes. Este efecto de retención puede explicarse de la siguiente forma :

Gases adyacentes a las paredes del cilindro situadas frente a la válvula de escape son los más alejados de la salida y por consiguiente son los que menos probabilidades tienen de ser expulsados mientras que los que se hallan en paredes y zonas adyacentes a la válvula de salida tienen mayor probabilidad a ser expulsados.

Parte de los hidrocarburos de la zona de extinción son expulsados pero en general los situados en el centro de la cámara son los primeros en ser emitidos; lo que hace que el gas residual tenga mayor concentración de hidrocarburos, que los gases expulsados sin embargo es probable que sean quemados en el siguiente ciclo.

En general el C_5 y los hidrocarburos pesados presentes en los gases de escape reflejan la composición de la gasolina, mientras que el C_4 y componentes ligeros son for mados principalmente a partir del cracking que tiene lugar en el proceso de combustión y que no refleja la composición del carburante.

Los gases de escape contienen también productos de la oxidación parcial tales como aldehidos, alcoholes, éteres

y cetonas. Las concentraciones típicas de estos compuestos en los gases de escape oscilan entre 50 y 100 ppm.

La emisión de hidrocarburos varía con la relación aire-combustible, la relación de compresión, la velocidad y con el instante del encendido.

EMISIONES DE OXIDO NITRICO

A temperaturas de la llama el nitrógeno y el oxígeno se combinan para formar el NO, a medida que la temperatura de los gases disminuye, el NO formado a altas temperaturas se vuelve termodinámicamente inestable, sin embargo el NO formado se mantiene y parte se oxida a NO₂ por el exceso de oxígeno presente en los gases de combustión es to nos permite decir que el NO se forma en la parte central de la cámara, ya que las paredes se hallan a una temperatura baja.

La cantidad de óxido de nitrógeno que se forme dependerá de la relación aire-combustible de la mezcla de la tempe ratura lograda en el proceso de combustión y de la canti dad de oxígeno.

EMISIONES DE PARTICULAS

Partículas de base metálica provenientes de los compuestos anti-detonantes de plomo, presentes en el combusti-

ble y del desgaste o deterioro del motor, así como; del carbono e hidrocarburos de la combustión incompleta como el ingreso de aceite lubricante a través de los anillos de cierre de la cámara de combustión; son emitidos en los gases de escape del motor de un vehículo.

El componente principal de las partículas en los gases de escape son los compuestos del plomo, siendo el principal de ellos el tetraetilo de plomo, como un aditivo anti-detonante del carburante. La cantidad total de plomo en los gases de escape es directamente proporcional a la cantidad de tetraetilo de plomo presente en la gasolina.

3.3.2. OTRAS FORMAS DE CONTRIBUCION A LA CONTAMINACION

Ya que a la emisión de contaminantes como son los hidrocarburos no quemados, el monóxido de carbono y otros no podemos dejar de lado dos fuentes de emisiones de hidrocarburos no quemados que tienen lugar en los vehículos y que no proceden de los gases de escape.

Una de estas fuentes es conocida como emisiones del carter y la otra como emisiones por evaporación. Las emisiones del carter son debidas al escape de gases del cilindro durante los tiempos de compresión y expansión. Estos gases escapan entre las superficies obturadoras del pistón y de la pared hasta llegar al carter de donde

son emitidos a la atmósfera.

A estas fugas se las conoce comúnmente como pérdidas por compresión y aumentan a medida que el motor se lo somete a cargas elevadas.

La concentración de hidrocarburos en los gases que escapan oscilan entre 6.000 y 15.000 ppm.; estas emisiones aumentan a medida que se desgastan los rines, que son sellos de la cámara. Los gases resultantes emitidos por el carter consisten en una mezcla de aproximadamente 85% carga carburante-aire sin quemar y el 15% restante por gases productos de la combustión.

Las emisiones por evaporación provienen de un depósito de carburante y del carburador. La evaporación que se lleva a cabo en el depósito es a temperatura ambiente y el volumen que es emitido al medio ambiente, es igual al volumen del carburante introducido cuando se carga el depósito; mientras que la evaporación del carburante en el carburador ocurre principalmente durante el período inmediato a la parada del motor.

Durante el funcionamiento del motor la temperatura del carburador y del carburante es aproximadamente la misma bajo el capot, cuando se para el motor cesa la corriente de aire y la cuba del carburador se calienta sobre

los 15 a 20°C de la temperatura ambiente. La gasolina vaporizada escapa por las aberturas de ventilación, pérdidas que se las conoce como remajo en caliente, donde la cantidad y composición de los vapores dependen de la volatibilidad del carburante, del volumen de la cuba y de la temperatura del motor antes de parar.

La evaporación del combustible, tanto del depósito como del carburador representa aproximadamente el 20% de los hidrocarburos emitidos.

3.4. DIFUSION Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES

Determinar el grado de difusión de los contaminantes es difícil, ya que se refiere conocer a fondo los fenómenos metereológicos. Los más importantes que para este caso tienen que ver con la difusión de los contaminantes en la atmósfera baja, son los relacionados con el viento :

- 1) Dirección
- 2) Velocidad
- 3) Turbulencia

Los contaminantes sufren dos tipos de dispersión como son : la horizontal y la vertical.

La dispersión horizontal tiene su principio en la aceptación de la luz solar por la masa sólida que conforma la tierra, en

ondas de alta frecuencia para ser convertidas en energía de calor (ondas de baja frecuencia) las que son radiadas al espacio la transferencia de calor de la tierra al espacio es por radiación, convección y conducción.

La rotación de la tierra hace que no se presente un solo laso del flujo de aire desde la zona ecuatorial a los polos, sino más bien que se presenten lasos mucho más pequeños que se debe a temperatura a la cual se eleva la atmósfera cuando el flujo de aire se mueve horizontalmente.

La dispersión vertical se clasifica de acuerdo con la temperatura, según lo cual es posible identificar las siguientes regiones :

- 1) Tropósfera .- Región en contacto con la tierra y tiene un espesor de 15 Km. sobre el Ecuador y 10 Km. en los polos.
- 2) Estratósfera .- Desde la tropopausa hasta 50 Km.
- 3) Mesósfera .- Se extiende desde los 50 Km. hasta los 85 Km.
- 4) Termósfera .- Es la capa superior de la atmósfera

En lo que respecta a la contaminación del aire, es la propósfera la que nos interesa primordialmente, como sabemos la temperatura en esta región no es constante, sino que disminuye con la altura (Fig. N° 3.10). Para apreciar la difusión vertical es necesario que se entienda el concepto de volumen de aire.

El volumen de aire asciende en la atmósfera y se ajusta a la presión decreciente sin que exista un intercambio térmico de consideración.

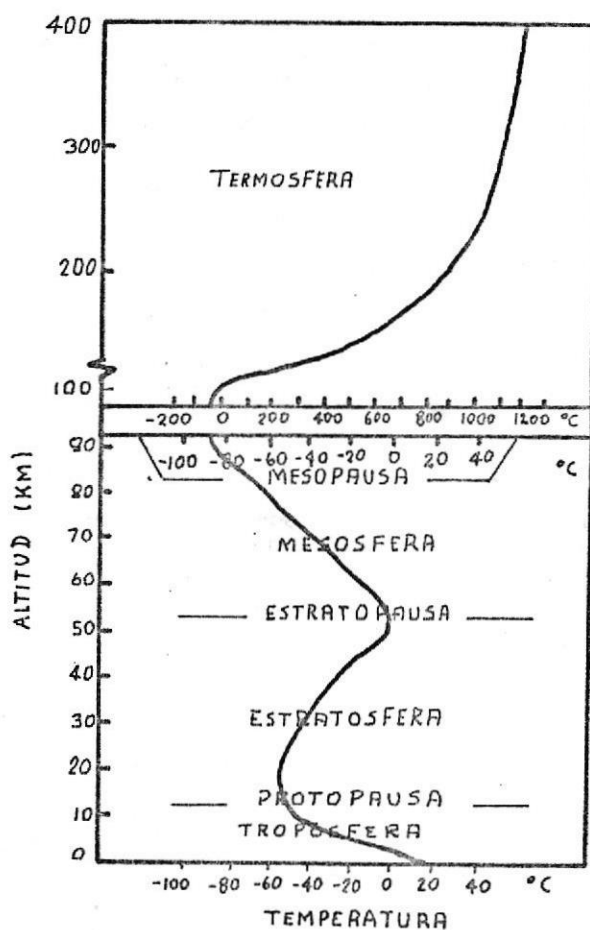


Fig. N° 3.10 Perfil de temperatura de la atmósfera

Una situación donde los movimientos verticales no son aceptados por las fuerzas ascensionales, se las denomina estabilidad neutra (Fig. N° 3.11). La atmósfera puede ser :

- 1) Inestable .- Las fuerzas ascensionales favorecen al movimiento vertical.

- 2) Estable.- Las fuerzas ascensionales se oponen al movimiento vertical.

Si Λ representa el verdadero gradiente de temperatura en la atmósfera y Γ el gradiente adiabático de temperatura, decimos que:

- 1) $\Lambda = \Gamma$ estabilidad neutra
- 2) $\Lambda > \Gamma$ inestabilidad (movimiento vertical favorecido)
- 3) $\Lambda < \Gamma$ estabilidad (movimiento vertical impedido)

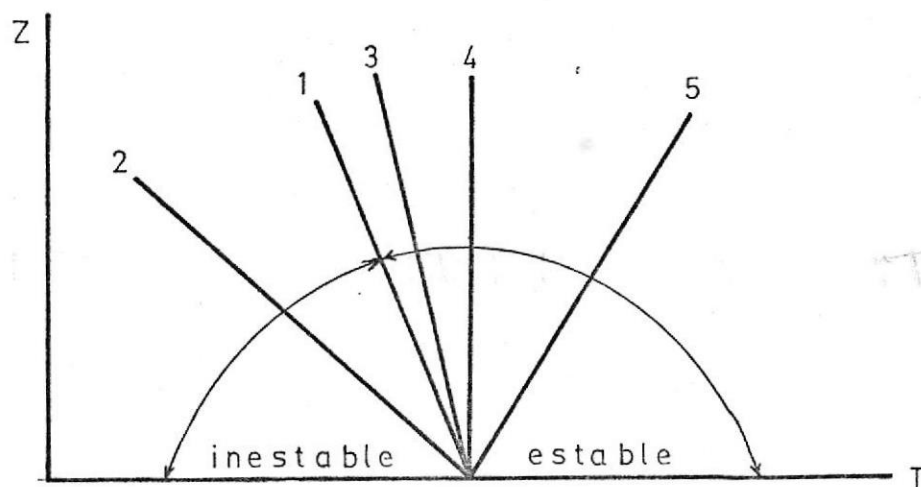


Fig. N° 3.11. CARACTERÍSTICAS DE LAS FUERZAS ASCENSIONALES :

- 1) Gradiente adiabático de temperatura: T disminuye con la altura de tal manera que cualquier movimiento vertical ejercido sobre un volumen de aire hará que este volumen de aire mantenga la misma T o la misma densidad que el aire circundante (estabilidad neutra), $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$.
- 2) Super-adiabática: La temperatura de un volumen de aire ascendente será superior a la del aire que le rodea y al ser menos denso que éste, continuará ascendiendo (inestable).
- 3) Sub-adiabática: La temperatura de un volumen de aire ascendente será inferior a la del aire que le rodea y al ser más denso que éste, volverá a su posición inicial (estable).

- 4) *Isotérmico: la temperatura es constante con la altura (estable)*
- 5) *Inversión: la temperatura aumenta con la altura (muy estable)*

En resumen podemos decir que estas son las principales fuentes para que la difusión horizontal y vertical se produzcan.

3.4.1. LOS CONTAMINANTES PROVENIENTES DE LOS GASES DE ESCAPE

Los principales contaminantes liberados por los motores de combustión interna utilizados por los vehículos son:

monóxido de carbono

hidrocarburos no quemados

óxidos de nitrógeno

compuestos de plomo

humo

Los cuales serán dispersados en el medio ambiente principalmente por el viento.

La difusión de los contaminantes en la atmósfera baja , tiene que ver directamente con la turbulencia del viento; la difusión turbulenta trata del comportamiento de partículas individuales que siguen fielmente la corriente de aire.

Dado el carácter aleatorio de los vientos en la atmósfera no es posible predecir con exactitud la distribución

de la concentración de partículas emitidas por una fuente. A fin de poder llevar cálculos prácticos se han utilizado varias teorías aproximadas para obtener la concentración media de especies en un régimen turbulento.

Estas teorías son : La teoría estadística basada sobre el comportamiento de partículas individuales en un regímen turbulento, homogéneo y estacionario. La teoría K, basada sobre la ecuación semi-empírica de la difusión atmosférica, y la teoría de la semejanza basada en un análisis dimensional de la capa de la superficie.

La teoría K es la más conocida, los principales puntos de interés son :

- 1) Bajo qué condiciones de configuración de la fuente y del campo turbulento puede aplicarse esta teoría.
- 2) Hasta qué punto puede especificarse la difusividad de remolino a partir de las propiedades medidas del régimen turbulento.

Como puede apreciarse el estudio de este campo requiere un conocimiento muy detallado de los fenómenos metereológicos.

Personas que han estudiado el problema han encontrado que variación de la velocidad del viento en la capa lí-

mite planetaria puede ser descrita por la ley potencial empírica.

$$\frac{\bar{u}_1(x_3)}{u_G} = \left(\frac{x_3}{h_G} \right)^\beta \quad (3-4)$$

Donde u_G es la velocidad del viento geostrofico y h_G es el espesor de la capa límite planetaria. El exponente es un número que varía entre 0.1 y 0.4 en función de la rugosidad de la superficie.

Los mejores valores estimados de este parámetro obtenido experimentalmente son : para el campo 0.16; suburbio 0.29 y el sector urbano 0.40; siendo los valores límites de estabilidad de los siguientes :

0.83 muy estable

1/7 neutral

0.02 muy inestable

3.4.2. LOS CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Frecuentemente los contaminantes atmosféricos más irritantes y perjudiciales no son los emitidos directamente de las fuentes sino más bien de aquellos que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre las especies.

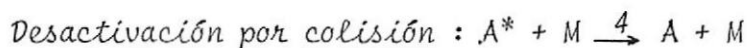
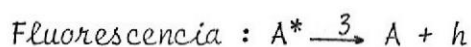
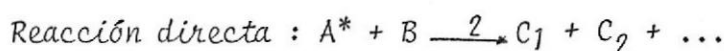
Con el fin de formular un mecanismo descriptivo de las reacciones químicas es necesario identificar todas las reacciones importantes que contribuyen a la dinámica química atmosférica.

REACCIONES FOTOQUIMICAS

Estas se originan por la absorción de un fotón por un átomo, una molécula, un radical libre o un ión.



A^* representa el estado excitado de la molécula A ; esta molécula excitada puede participar en procesos de :



Como puede verse las dos primeras reacciones dan origen a otras sustancias mientras que las dos últimas simplemente hacen regresar a la molécula a su estado original pudiendo estas cuatro reacciones llevarse a cabo al mismo tiempo.

Las reacciones fotoquímicas tiene un papel primordial en la contaminación del aire causando radicales libres

principalmente; posteriormente estos productos participan en otras reacciones responsables de la transformación de los contaminantes primarios en secundarios.

El bióxido de nitrógeno (NO_2) absorbe cantidades importantes de radiación en las longitudes de ondas de la baja atmósfera, mientras que el bióxido de azufre (SO_2), (NO) y (CO) absorben poca radiación; los hidrocarburos (que absorben cantidades grandes de radiación) también se hallan en la baja atmósfera.

REACCIONES DE OXIDOS DE NITROGENO

La mayoría del NO_x producido por la combustión pertenece al NO , tendiendo a oxidizarse a NO_2 una gran cantidad, debido a la temperatura de los gases de escape.

Las reacciones más importantes entre el NO_2 , el NO y el aire en presencia de la luz solar son las ecuaciones del 1 al 11 de la Tabla N° 3.3.

Numerosas reacciones secundarias ocurren después de la fotólisis del NO_2 , y son de naturaleza térmica más que fotolítica. Una de las características de la atmósfera urbana que contiene óxidos de nitrógeno es la formación de grandes cantidades de ozono.

El ozono que resulta de la fotólisis del NO_2 , por las

TABLA N° 3.3

REACCIONES Y CONSTANTES DE VELOCIDAD PARA LA FOTOSINTESIS DEL BIOXIDO DE NITROGENO EN N_2 Y O_2 . Y DEL H_2O Y CO EN EL SISTEMA NO_x -AIRE

Num.	Reacción	Constante de velo. a 298°K
1	$NO_2 + h \rightarrow NO + O$	Depende de la intensidad de luz
2	$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$	$2.33 \times 10^{-5} \text{ ppm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
3	$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$	$2.95 \times 10 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
4	$O + NO_2 \rightarrow NO + O_2$	$1.38 \times 10^4 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
5	$O + NO_2 + M \rightarrow NO_3 + M$	$4.5 \times 10^{-3} \text{ ppm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
6	$NO_3 + NO \rightarrow 2NO_2$	$1.48 \times 10^4 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
7	$O + NO + M \rightarrow NO_2 + M$	$2.34 \times 10^{-3} \text{ ppm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
8	$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$	$7.62 \times 10^{-10} \text{ ppm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
9	$NO_3 + NO_2 \rightarrow N_2O_5$	$4.43 \times 10^3 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
10	$N_2O_5 \rightarrow NO_3 + NO_2$	$1.38 \times 10 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
11	$NO_2 + O_3 \rightarrow NO_3 + O_2$	$0.46 \times 10^{-1} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
12	$N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HNO_3$	$2.5 \times 10^{-3} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
13	$HNO_3 + NO \rightarrow HNO_2 + NO_2$	$2.5 \times 10^{-4} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
14	$HNO_3 + HNO_2 \rightarrow 2NO_2 + H_2O$	$0.2 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
15	$NO + NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_2$	$4.3 \times 10^{-6} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
16	$HNO_2 + h \rightarrow NO + OH$	Depende de la intensidad de luz
17	$OH. + NO_2 \rightarrow HNO_3$	$1.5 \times 10^4 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
18	$OH. + NO \rightarrow HNO_2$	$1.2 \times 10^4 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
+ 19	$OH. + CO \rightarrow CO_2 + H.$	$250 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
20	$H. + O_2 + M \rightarrow HO_2. + M$	Muy rápida
+ 21	$HO_2. + NO \rightarrow NO_2 + OH.$	$700 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
22	$HO_2. + HO_2. \rightarrow H_2O_2 + O_2$	$5.3 \times 10^3 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
23	$H_2O_2 + h \rightarrow 2OH$	Depende de la intensidad de luz

reacciones (1) y (2) de la Tabla N° 3.3 es destruido por la presencia del NO en la reacción (3).

Si NO_2 y O_3 tienen concentraciones elevadas se efectúa la reacción (11), luego con la reacción (6) se vuelve a producir NO_2 , una vez que el NO_2 halla sobrepasado su máxima concentración el NO_3 reacciona con el NO_2 causando posiblemente una reacción de equilibrio (9), y el resultado de ésta se hidroliza en agua para formar ácido nítrico (12) que oxida el NO en dos etapas (13) y (14).

La formación de óxido de nitrógeno está dada por las reacciones (15) y (16); las reacciones (19) y (21) proporcionan una explicación de NO y NO_2 en un sistema de reacción que incluye óxidos de nitrógeno, agua, aire y monóxido de carbono.

HIDROCARBUROS EN LA ATMOSFERA URBANA

La presencia de hidrocarburos complican las reacciones atmosféricas ya que éstas reaccionan con otros elementos químicos para producir especies químicas que son responsables de los efectos negativos que producen. Los oxidantes de la atmósfera más importantes son considerados el O, OH y O_3 , veremos como reacciona con los hidrocarburos más comunes (parafínicos, olefinas, y compuestos aromáticos).

- a) Las reacciones con las parafinas provocan una abstracción de hidrógeno, forma agua y un radical alquilo. La velocidad de reacción aumentará en función del número de átomos de hidrógeno (H_2).
- b) Las reacciones con las olefinas son con doble enlace y la velocidad es 10 veces más rápida las reacciones OH-olefinas que las O atómico-olefinas.
- c) En las reacciones con los compuestos aromáticos se ha pensado que los radicales hidróxilos abstraen los átomos de hidrógeno alfa de los compuestos ramificados de un modo idéntico al caso del átomo de oxígeno.

El ozono no es un agente oxidante tan fuerte como el oxígeno y el OH; concentraciones de 0.25 ppm. de ozono o superiores pueden darse frecuentemente en la atmósfera.

- a) A velocidades importantes el ozono no reacciona con las parafinas ni con los compuestos aromáticos.
- b) No se ha determinado el mecanismo de las reacciones olefinas-ozono en fase gaseosa, aunque se conoce el mecanismo de la reacción del ozono con el etileno, el propileno y el iso-butileno; el producto resultante del ozono sobre las olefinas es un aldehído o un compuesto intermedio inestable.

Las reacciones de oxidación del átomo de oxígeno son estudiadas de acuerdo al estado del átomo, el estado electrónico sin excitar y el de excitación de primer grado, que corresponden al oxígeno triplete-P $O(^3P)$ y oxígeno singlete-D $O(^1D)$ respectivamente. Un átomo de oxígeno en estado triplete-P se produce por la disociación del NO_2 al absorber luz con longitud de onda entre 2.900 y 4.300 $\text{\AA}$, mientras que oxígeno singlete-D puede formarse por fotólisis del ozono entre longitudes de onda de 2.900 y 3.500 $\text{\AA}$.

- a) Reacciones con parafinas, causa posiblemente un radical alquilo o un radical OH, como producto.
- b) Reacciones con las olefinas, forman un compuesto epoxi excitado y luego se descomponen en un radical alquilo o un radical acilo y por lo tanto la reacción produce tres radicales libres.
- c) Reacciones con los compuestos aromáticos, no son conocidos los mecanismos por lo cual el átomo de oxígeno no atacan a los componentes aromáticos.

Las reacciones de oxidación del radical hidróxilo (OH) con los hidrocarburos son muy similares a las del oxígeno.

REACCIONES DE OXIDO DE AZUFRE

En presencia del aire y expuestos a radiación solar el SO_2 , se oxida lentamente a SO_3 . En presencia del agua el SO_3 se transforma rápidamente en ácido sulfúrico.

La Tabla N° 3.4 resume varias reacciones de absorción del SO_2 , NO_x e hidrocarburos entre ellos en la atmósfera urbana.

3.4.3. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES

Existe evidencia de que la contaminación del aire afecta la salud de las personas, de los animales, daña la vegetación, ensucia y deteriora los materiales, afecta al clima, reduce la visibilidad y la radiación solar. Aunque algunos de los efectos son específicos la mayoría de ellos son difíciles de medir.

La contaminación del aire puede afectar propiedades atmosféricas de la siguiente manera :

- 1) Reducción de la visibilidad
- 2) Formación y precipitación de neblina
- 3) Reducción de la radiación solar
- 4) Alteración de la temperatura y la distribución de los vientos.

El efecto más visible de la contaminación sobre las pro

TABLA N° 3.4
REACCION ENTRE SO_2 , NO_x E HIDROCARBUROS EN LA ATMOSFERA

Num.	Reacción	Constante de veloc. a 298°K
1	$\text{O} + \text{SO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{SO}_3 + \text{M}$	$2.71 \times 10^{-4} \text{ ppm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
2	$\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{NO}$	$1.3 \times 10^{-14} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
3	$\text{SO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{O}_2$	Lenta en fase gaseosa
4	$\text{SO}_2 + \text{NO}_3 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{NO}_2$	$2.5 \times 10^{-5} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
5	$\text{SO}_2 + \text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{SO}_3 + 2\text{NO}_2$	$1.7 \times 10^{-8} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
6	$\text{SO}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{OH}$	$0.44 \text{ (H} = -19) \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
7	$\text{SO}_2 + \text{RO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{RO}$ RO_2SO_2	$0.57 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ no ha sido medida
8	$\text{SO}_2 + \text{R}_2\text{CO}_2 \rightarrow \text{R}_2\text{CO} + \text{SO}_3$	no ha sido medida
9	$^3\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{O}(^3\text{P})$	$235 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
10	$\text{SO}_2 + \text{RH} \rightarrow \text{RSO}_2\text{H}$ $\text{SO}_2\text{H} + \text{R}$	depende del hidrocarburo
11	$\text{SO}_2 + \text{R} \rightarrow \text{RSO}_2$	$4.4 \times 10^2 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$
12	$\text{SO}_2 + \text{RO} \rightarrow \text{ROSO}_2$	$4.4 \times 10^2 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$

propiedades atmosféricas es la reducción de la visibilidad causada por las moléculas gaseosas y las partículas sobre la radiación visible : la absorción y la dispersión de la luz.

La absorción de determinadas radiaciones por moléculas gaseosas y partículas producen algunas veces coloraciones de la atmósfera y la dispersión de la luz que es la causante principal de la falta de visibilidad.

Además de reducir la visibilidad afecta también al clima en las zonas urbanas en cuanto se aumenta la formación de neblina y reduce la radiación solar.

Los contaminantes afectan también a los materiales sea ensuciándolos o deteriorándolos químicamente, por ejemplo el ozono es eficaz en deteriorar el caucho.

El bióxido de azufre, el nitrato peroxiacetilo (un producto de la oxidación en el smog fotoquímico) y el etilo son los contaminantes más tóxicos para la vegetación mientras que el cloro, amoníaco y el cloruro de hidrógeno son los menos tóxicos. En general los contaminantes gaseosos penetran en la planta por el estoma junto con el aire necesario para el proceso normal de respiración.

Los daños pueden variar desde una reducción de la velocidad de crecimiento hasta la muerte de la planta.

El tema más importante de la contaminación del aire es su efecto sobre la salud humana. Los contaminantes ingresan al cuerpo humano a través de los sistemas respiratorios, de los que veremos algunos de sus efectos.

Monóxido de carbono .- Los efectos causados por el CO, vienen reflejados en la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, cuando una molécula de hemoglobina adquiere una molécula de CO se convierte en carboxihemoglobina (COHb), la cual disminuye la capacidad total de la sangre de llevar oxígeno a las células.

En zonas urbanas los niveles típicos de CO oscilan entre 5 y 100 ppm., con niveles superiores a 100 se entra a correr peligro.

Oxido de azufre .- Son altamente solubles por lo que son absorbidos por ductos húmedos del sistema respiratorio. Exposición a niveles de CO_2 del orden de 1 ppm. reduce contracción de las vías respiratorias.

Oxido de nitrógeno .- El óxido nítrico NO, no es peligroso para la salud, en cambio el NO_2 se transforma en los pulmones en nitrosoaminas, entre los cuales algunos

pueden ser cancerígenas, además pueden pasar a la sangre donde produce un compuesto llamado metahemoglobina. El NO_2 irrita los alveolos tras una prolongada exposición a concentraciones del orden de 1 ppm.

Oxidantes fotoquímicos .- Este término se refiere a los contaminantes secundarios formados en el smog fotoquímico por reacción entre hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Los efectos generalizados del smog fotoquímico es la irritación de los ojos, produce el efecto de envejecimiento acelerado de los tejidos pulmonares por oxidación de ciertos compuestos con las proteínas.

El plomo .- Los mecanismos de envenenamiento por plomo en la sangre son complejos, pero se conoce que el plomo impide la realización de varias etapas de formación de la hemoglobina, se ha estimado que hasta un 60% de todo el plomo ingerido puede ser retenido por el cuerpo permanentemente.

3.5. MEDIDAS DE CONTROL

Dentro de las técnicas para controlar la emisiones de los contaminantes son las siguientes :

- 1) Modificar el proceso básico con objeto de conseguir un funcionamiento "más limpio".

- 2) Sustituir los carburantes por otros más limpios.
- 3) Lavado de los gases de escape antes de su emisión a la atmósfera.

En lo que respecta a los procesos de combustión se puede identificar tres tipos de contaminantes :

- 1) Productos de la combustión incompleta, que son hidrocarburos, el CO y las partículas de combustible.
- 2) Contaminantes originados de la impureza de los carburantes como los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno.
- 3) Los óxidos de nitrógeno resultantes de las reacciones a altas temperaturas.

Diversas modificaciones están encaminadas a eliminar emisiones del tipo 1 y 3. La sustitución del carburante por otro más limpio, principalmente es para eliminar las del tipo 2. De estas tres clases de técnicas de lucha contra la contaminación, el lavado de gases ha sido el más estudiado y el que más se aplica.

En países donde se ha llegado a la necesidad de controlar y proteger el medio ambiente, se han promulgado "standards" de emisión para automóviles y en base a estos "standards" se han estudiados métodos de control.

3.5.1. CONTROL DE LAS EMISIONES DE LOS GASES DE ESCAPE

Las formas básicas para controlar las emisiones de HC, CO y NO_x contenidos en los gases de escape de los motores de combustión interna son :

- 1) Modificaciones de funcionamiento
- 2) Modificaciones de diseño
- 3) Modificaciones de carburante
- 4) Tratamiento de los gases de escape

Modificaciones de funcionamiento .- Dentro de estas modificaciones de funcionamiento del motor de combustión interna convencional se incluyen todos los cambios posibles que no lleven consigo un nuevo diseño del motor.

Los cambios realizados en particular están dirigidos al ajuste de la relación aire-combustible, rebaja los niveles de HC y CO, pero produce niveles superiores de NO. A fin de satisfacer los "standards" los fabricantes utilizan una serie de modelos de vehículos de características comunes :

- 1) relación A/F relativamente pobre en relanti y a velocidad de cruce
- 2) mayor velocidad del motor en relanti.

Aunque estas modificaciones tuvieron éxito en reducir

las emisiones de HC y CO se lo consiguió a expensas de aumentar las emisiones de NO por lo que se concluye que no es posible reducir los tres contaminantes por modificación de la relación A/F y del tiempo de encendido.

Modificaciones del motor .- Con una mezcla pobre se reducen las emisiones de CO y HC mientras que el funcionamiento óptimo con respecto al NO_x corresponde a una muy rica o muy pobre. Los niveles de equilibrio de NO a la temperatura de combustión reducida en un funcionamiento con mezcla pobre, son muchos mayores de los deseados por lo que para obtener un determinado nivel de NO, se gasta menos carburante haciendo funcionar el motor con una relación A/F pobre y retrasando el intervalo de combustión hasta alcanzar el tiempo de explosión.

Un método ventajoso para lograr funcionamiento con mezcla pobre es el reciclaje de los gases de escape (EGR). Su ventaja proviene que puede diluirse sin añadir O_2 en exceso (a partir de la cual se forma el NO) y además produce la introducción en la carga de especies tales como el CO_2 y el H_2O , cuyas capacidades caloríficas son superiores a los del N_2 .

Los inconvenientes de este método es que un EGR superior al 20% produce un aumento de combustible y un au-

mento de las emisiones de HC y CO.

Aunque el EGR solo necesita pequeñas modificaciones e-xiste un cierto número de sistemas de combustión que requieren de variaciones bastantes complejas con respecto al motor convencional; de los cuales está el motor de carga estratificada para los cuales se necesita la in-yección directa del combustible.

El Diagrama N° 3.1 describe el esquema de control de NO por EGR.

Modificaciones del carburante .- Esta técnica no necesi ta cambios de diseño del motor consiste en la variación de la composición de la gasolina o la sustitución de és ta por otro carburante. Cuando la gasolina se reemplaza por adecuados carburantes constituidos por hidrocarburos gaseosos de bajo peso molecular tales como el gas natural; las emisiones de hidrocarburos y CO pueden reducirse considerablemente en comparación con los producidos por la gasolina.

Pruebas con composición de carburante que se hizo variar entre 100% de gasolina y 100% de gas natural para evaluar :

- 1) la capacidad de sistemas con posibilidades de utili-zar los dos carburantes;

- 2) Si la adición de pequeñas cantidades de gas natural a la gasolina producían importantes beneficios en cuanto a la formación de NO.

Como resultado se obtuvo que las emisiones de NO para el gas natural son similares a las obtenidas con gasolina para F/A baja (mezcla pobre), obteniéndose importantes reducciones en la formación de NO a mezclas ricas.

Tratamiento de los gases de escape .- Este método consiste en tratar los gases de escape por medio de reactores químicos colocados en el sistema de escape. Los cuales pueden dividirse en catalíticos y no catalíticos (reactores térmicos).

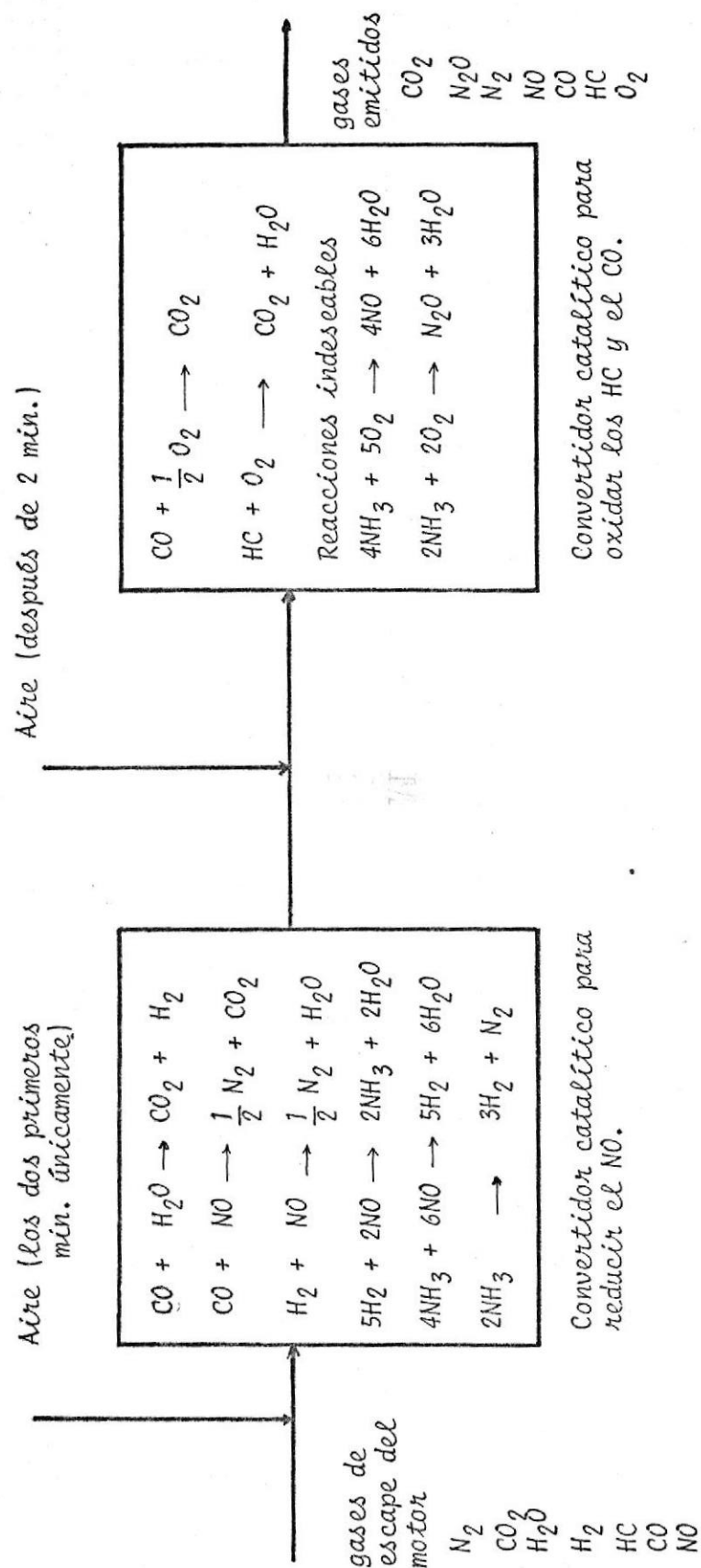
- a) El sistema catalítico más estudiado es el catalítico doble, el cual se halla ilustrado en el Diagrama 3.2 El motor funciona con mezcla rica y los gases son enviados primero al lecho de eliminación del NO_x, este lecho proporciona condiciones reductoras para tratar el NO.

Al flujo de gases se le inyecta una cantidad de aire entre los dos catalizadores y el HC y CO son oxidados por el segundo lecho.

Varios metales y aleaciones han sido propuestos como

DIAGRAMA N° 3.2

SISTEMA CATALIZADOR DOBLE



catalizadores en el sistema de catálisis doble, los cuales se dividen en dos :

- 1) Metales del grupo del platino
- 2) Metales bases

Un catalizador metálico utiliza catalizadores metálicos conteniéndolos en filtros o rellenos de pequeñas virutas metálicas; los catalizadores de metales nobles son muy raros.

El catalizador soportado consiste en una cantidad relativamente pequeña de metal noble o de metal base depositada sobre una estructura de soporte inerte.

- b) Los reactores térmicos consisten en una cama en que los HC y CO sufren una combustión complementaria después de salir de los cilindros, estos reactores pueden utilizarse tanto para mezclas ricas como pobre. El problema fundamental es la de lograr temperaturas elevadas dentro del reactor para quemar satisfactoriamente el HC y el CO.

3.5.2. CONTROL DE LAS EMISIONES DEL CARTER Y POR EVAPORACION

Con el objeto de eliminar las emisiones del carter se ha diseñado un sistema donde el aire es aspirado del carter para ser incorporado al colector de entrada de aire del motor.

Para lo cual se ha colocado una válvula de control que limita el flujo de gases de ventilación del carter, de tal manera que estos gases no modifiquen la relación A/F más que todo en el relanti y provoque un relanti brusco.

Las emisiones por evaporación pueden reducirse disminuyendo la volatilidad de la gasolina, sin embargo disminuirlo por debajo de entre 8 y 12 de la presión de vapor, para climas templados obliga hacer modificaciones en el diseño del carburador; por lo que se ha realizado cambios del diseño mecánico originando dos métodos :

- a) El sistema de recuperación de vapor en el que se utiliza un depósito de los vapores procedentes del depósito de gasolina y del carburador.
- b) El sistema de absorción y regeneración, un recipiente de carbón activado recoge los vapores y los retiene hasta que puedan ser enviados de nuevo al colector de toma de aire para ser quemados.

CAPITULO IV

4. TRABAJO EXPERIMENTAL

4.1. INTRODUCCION

Las pruebas experimentales aquí consideradas son aquellas con las que un motor de un vehículo puede trabajar.

4.1.1. EL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES

Para estas pruebas se utilizó el banco de pruebas de la casa PLINT & PARTNERS LTD. ENGINEERS de la Fig. N° 4.1, que consiste de :

- Voltímetro
- Amperímetro
- Regulador de campo
- Selector de carga
- Dinamómetro
- Banco de resistencias
- Medidor de consumo de aire
- Medidor de consumo de combustible
- Tacómetro

El motor utilizado es un monocilíndrico de relación de compresión variable, modelo TE. 15/A; que pertenece a la misma casa del banco de pruebas y en que se pueden variar los siguientes parámetros de funcionamiento :

- Relación de compresión

- Aceleración
- Válvula de inyección del carburador
- Velocidad
- Angulo de encendido

Los datos técnicos de este motor son los siguientes :

- Diámetro del cilindro : 85 mm.
- Cámara : 82.5 mm.
- Cilindraje : 468 cm^3
- Relación de compresión : 4:1 a 10:1
- Rango de velocidad : 1500 a 2000 rev/mín.
- Velocidad max. gobernada : 2500 rev/mín.
- Potencia de salida nominal : 2.3 Kw.

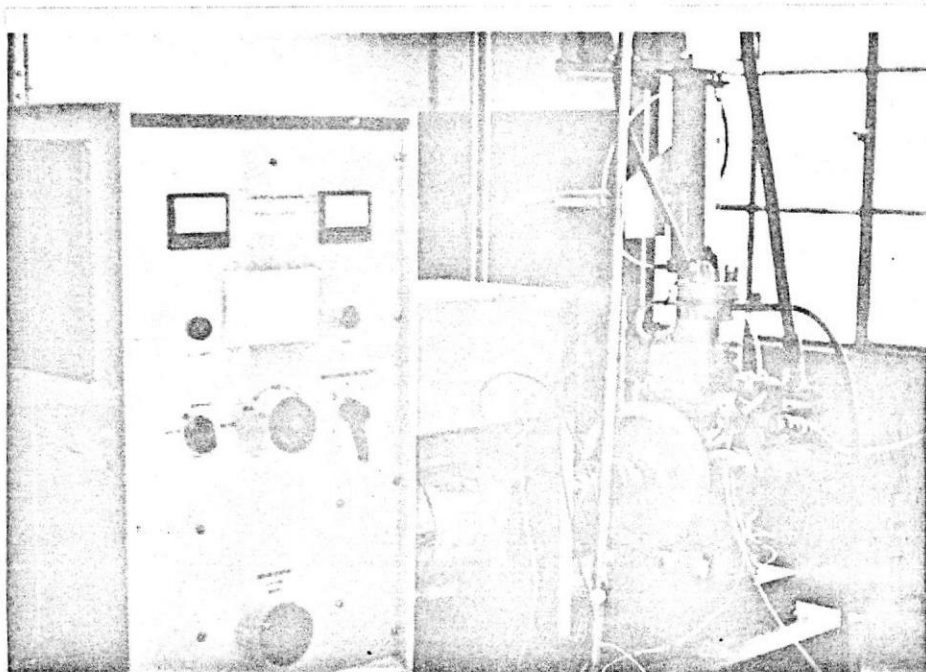


Fig. N° 4.1 Banco de pruebas Plint y el motor monocilíndrico modelo TE/15/A

4.1.2. ANALISIS DE GASES

El análisis de gases realizado para estas pruebas ha sido el principal objetivo, para lo cual los gases se analizaron en un cromatógrafo. El cromatógrafo que sirvió para estos análisis fue el de CEPE regional Península de Santa Elena y que se muestra en la Fig. N° 4.2.

Para determinar este tipo de resultados en un cromatógrafo es necesaria la utilización de una columna capilar, la cual no existe alguna en el país; viendo la necesidad se utilizó 12 pies de tamíz molecular Siever 5A con un diámetro interno de columna 1/4 de pulgada.

La temperatura del detector de conductividad térmica de 150°C con una corriente de 225 mA, un flujo del gas de arrastre (helio) 60 cc/min. y una temperatura de columna de 130°C, con estos parámetros de medición se procedió a pasar la muestra; la Fig. N° 4.3 presenta un cromatograma resultante del análisis de una muestra de gas de escape.

Otra forma muy conocida en el análisis de gases es el de Orsat, el cual permite la absorción selectiva de algunos de los productos (CO_2 , CO y O_2). Los productos se hacen pasar a través de una solución de Hidróxido potásico que absorbe el CO_2 solamente, luego a través de una solución de ácido pirogálico e hidróxido potásico que absorbe el

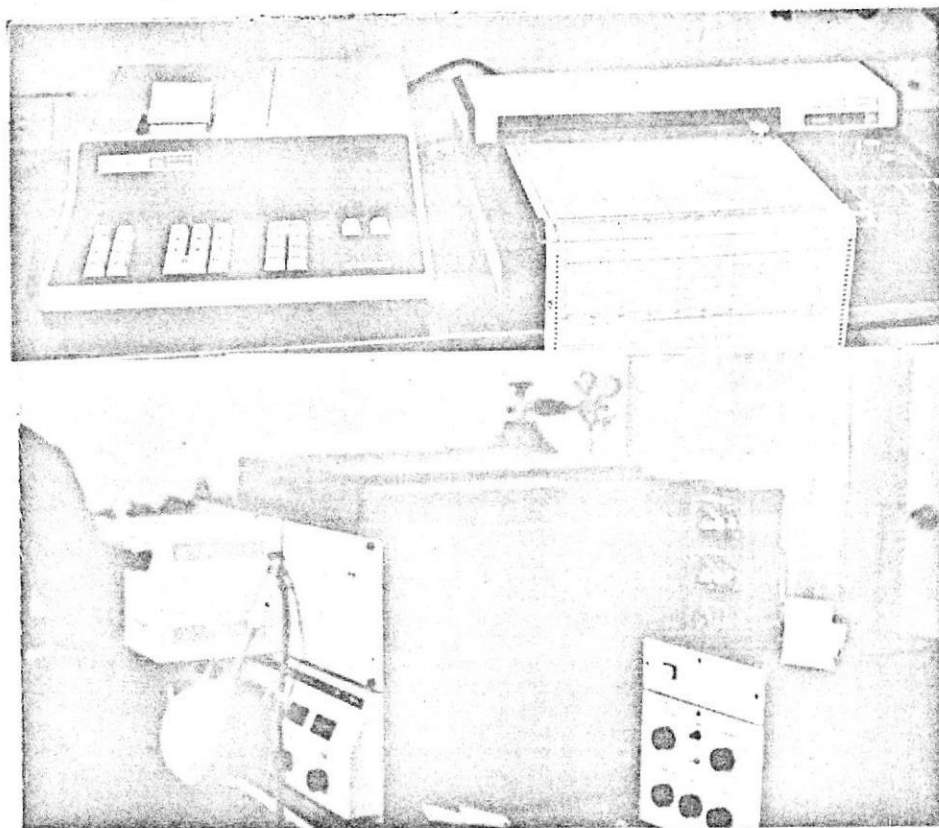


Fig. N° 4.2 Cromatógrafo de gases (superior); integrador y graficador (inferior), perteneciente a CEPE de marca PERKIN.

O_2 y finalmente a través de una solución de cloruro cuproso que absorbe el CO , y la diferencia lo constituye el N_2 y otros gases. La contracción de volumen que se observa en cada caso e indica los volúmenes o moles de cada constituyente por volumen unitario o mol, de los productos analizados excepto el vapor de agua, en la Fig. N° 4.4. se observa un analizador de Orsat.

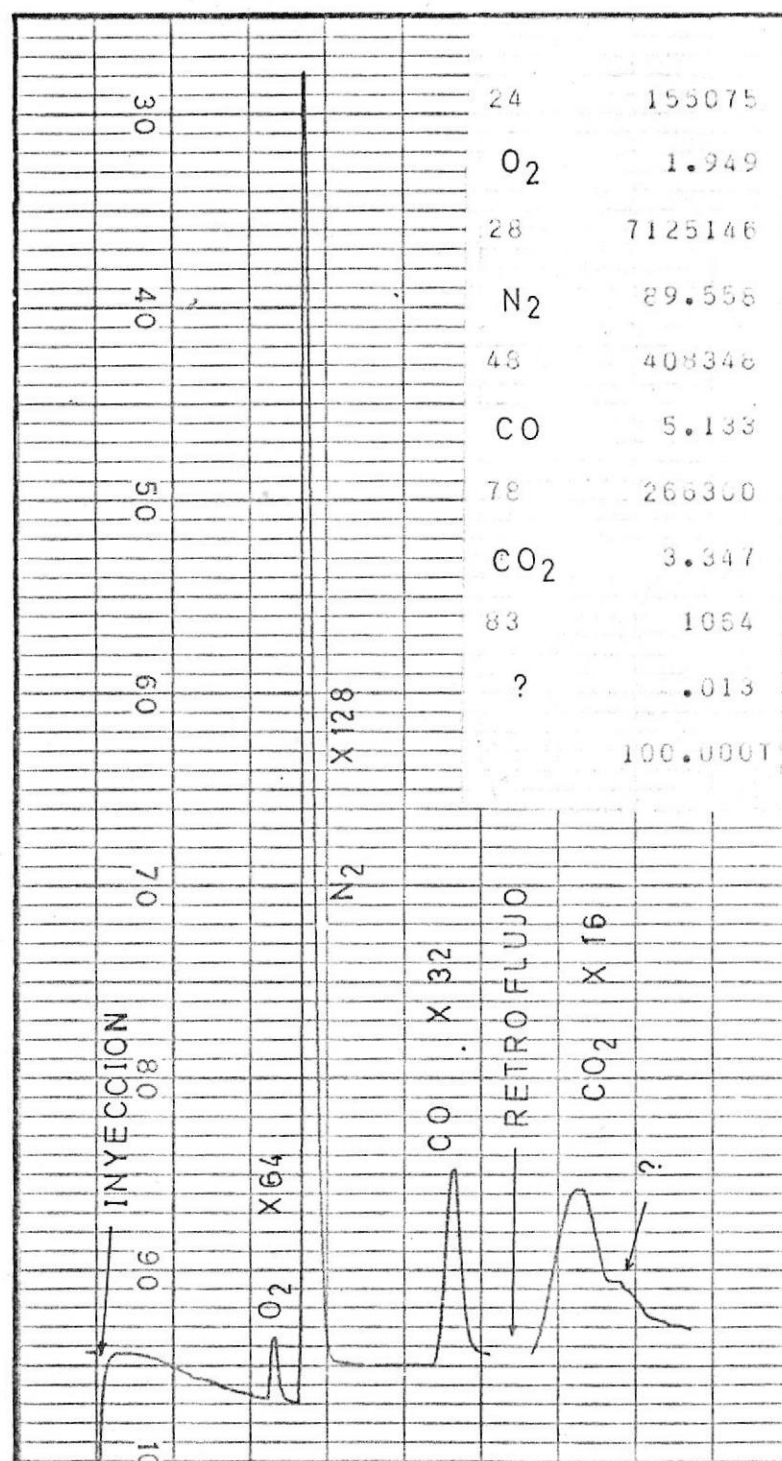


Fig. N° 4.3 Cromatograma del análisis de gas de escape de un motor de combustión interna.

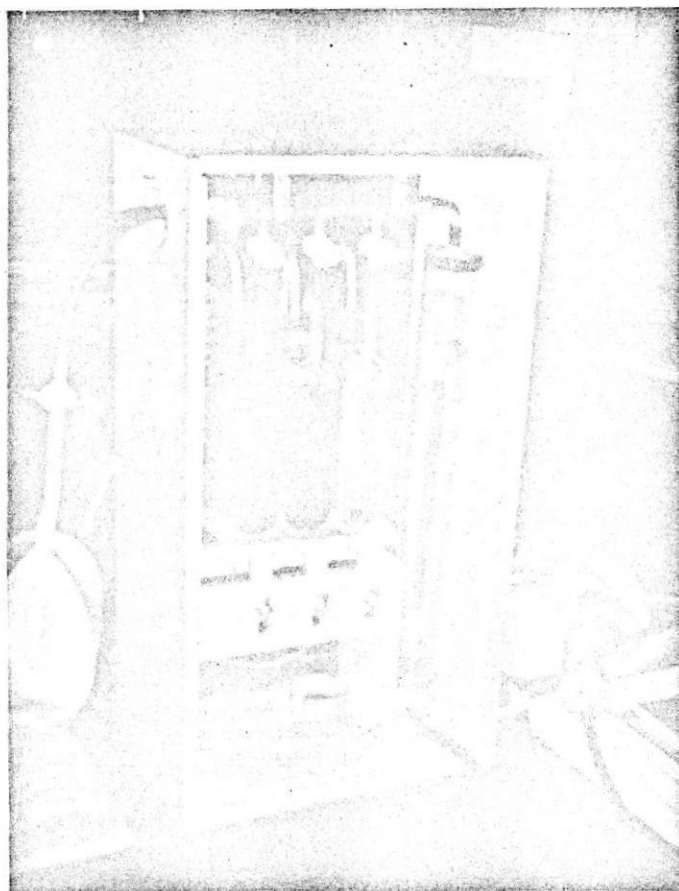


Fig. N° 4.4. Equipo de análisis de Orsat

4.1.3. METODO DE OBTENCION DE LA MUESTRA

Existen varios métodos para tomar una muestra de gas de escape de un motor de los cuales algunos son sofisticados como aquellos en que se analizan directamente o sea pasan en forma directa del tubo de escape al analizador.

El método utilizado para estas pruebas consiste en tomar la muestra en un recipiente de caucho, que se conecta al tubo de escape del motor por medio de una válvula interme

día para asegurar el cierre del recipiente como lo muestra la Fig. N° 4.5 en la que se aprecia la obtención de una de las muestras.

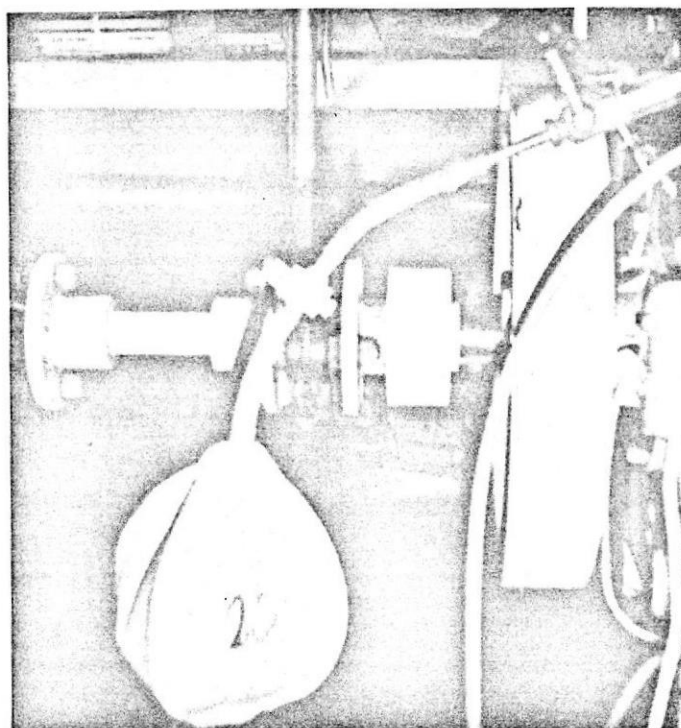


Fig. N° 4.5 Obtención de una muestra de gas de escape del motor de pruebas.

4.1.4. FORMULAS UTILIZADAS

Potencia

$$P = \frac{N \times F}{36035} \quad (\text{Kw}) \quad (4-1)$$

Consumo de combustible

$$\text{C.C.} = \frac{\frac{\text{Volumen}}{1000} \times \rho}{t} \quad (\text{Kg/seg}) \quad (4-2)$$

Consumo de aire

$$C.A = 0.00001232 \, D^2 \frac{h_o \, Pa}{T_a} \quad (Kg/seg) \quad (4-3)$$

Relación aire-combustible calculado

$$(A/C)_{calc} = \frac{(\#moles \, O_2 + \#moles \, N_2) (M \, del \, aire = 28.95)}{(\#moles \, C) \times (M \, del \, C = 12) + (\#moles \, H_2) (M \, del \, H_2 = 1)} \quad (4-4)$$

Relación aire-combustible medido

Utilizando las fórmulas (4-2) y (4-3) :

$$(A/C)_{med.} = \frac{C.A.}{C.C.} \quad (4-4a)$$

Eficiencia volumétrica

$$v = \frac{35653.46}{N} \quad h_o \quad (\%) \quad (4-5)$$

Consumo específico de combustible

$$c.e.c. = \frac{C.C.}{P} \times 3600 \quad (Kg/Kw-h) \quad (4-6)$$

Eficiencia térmica

$$\eta = \frac{3.6 \times 10^6}{c.e.c. \times H_e} \times 100 \quad (\%) \quad (4-7)$$

Torque

$$T = F \times l \quad (Nw - m) \quad (4-8)$$

4.2. CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Con el fin de determinar los parámetros más adecuados en la elaboración de las pruebas se hizo necesario sacar las curvas de funcionamiento del motor monocilíndrico a usarse. Para realizar estas pruebas preliminares se hizo necesario variar los si-

guientes parámetros :

RPM del motor .- Como éste es primer parámetro a ser fijado colocamos todos los parámetros en un punto donde por experiencia se conoce de antemano que el motor desarrolla bien su trabajo. El colocar parámetros fijos nos permite ir cambiando las revoluciones del motor e ir determinando, consumo de aire y combustible, la fuerza del torque; que sirven para determinar el funcionamiento del motor en los puntos seleccionados.

La Tabla N° 4.1 recoge estos valores, la Fig. N°4.6 los presenta gráficamente en forma de : aire-combustible, eficiencia térmica, eficiencia volumétrica, torque, potencia y consumo específico de combustible.

En las curvas de la Fig. N° 4.6 se aprecia que a 2000 rev/min. la potencia es máxima, al igual que las otras curvas se presentan de tal manera que se escoge esta velocidad para lograr el punto óptimo de trabajo.

Curvas de máxima economía .- En la prueba anterior se encontró que la velocidad de 2000 rev/min. permite encontrar la máxima potencia, fijando este dato se cambia la relación de compresión y la posición de la aguja del acelerador para de esta manera encontrar el punto de máxima economía y la relación de compresión a la que corresponde.

RPM	F Nw	C.C. $\frac{\text{vol}}{\text{c.c.}}$	C.C. $\frac{t}{\text{seg.}}$	C.A. $\frac{\text{m.m.}}{\text{H}_2\text{O}}$	C.C. $\frac{\text{Kg}}{\text{seg.}}$	C.A. $\frac{\text{Kg}}{\text{seg.}}$	C.e.c. $\frac{\text{Kg}}{\text{Kw-h}}$	P Kw	T Nw-m	n_x %	n_v %	A/F
1997	46	25	62.80	35	3×10^{-4}	44×10^{-4}	0.424	2.55	12.19	20.3	33.4	14.8
1940	46.5	25	65	33.5	2.9×10^{-4}	43.3×10^{-4}	0.418	2.5	12.32	20.6	33.6	14.9
1850	46	25	66.54	33	2.8×10^{-4}	43×10^{-4}	0.427	2.36	12.19	20.1	35	15.4
1720	49.5	25	67.76	31	2.8×10^{-4}	41.7×10^{-4}	0.427	2.36	13.12	20.1	36.5	14.9
1630	53	25	68.59	30	2.7×10^{-4}	41×10^{-4}	0.407	2.39	14.04	21.1	37.9	15.2
1540	54.5	25	71.36	28	2.6×10^{-4}	39.6×10^{-4}	0.402	2.33	14.44	21.4	38.7	15.2
1490	56	25	72.5	26.5	2.6×10^{-4}	38.5×10^{-4}	0.403	2.32	14.84	21.3	39	14.8

Tabla N° 4.1 Funcionamiento del motor a diferentes velocidades

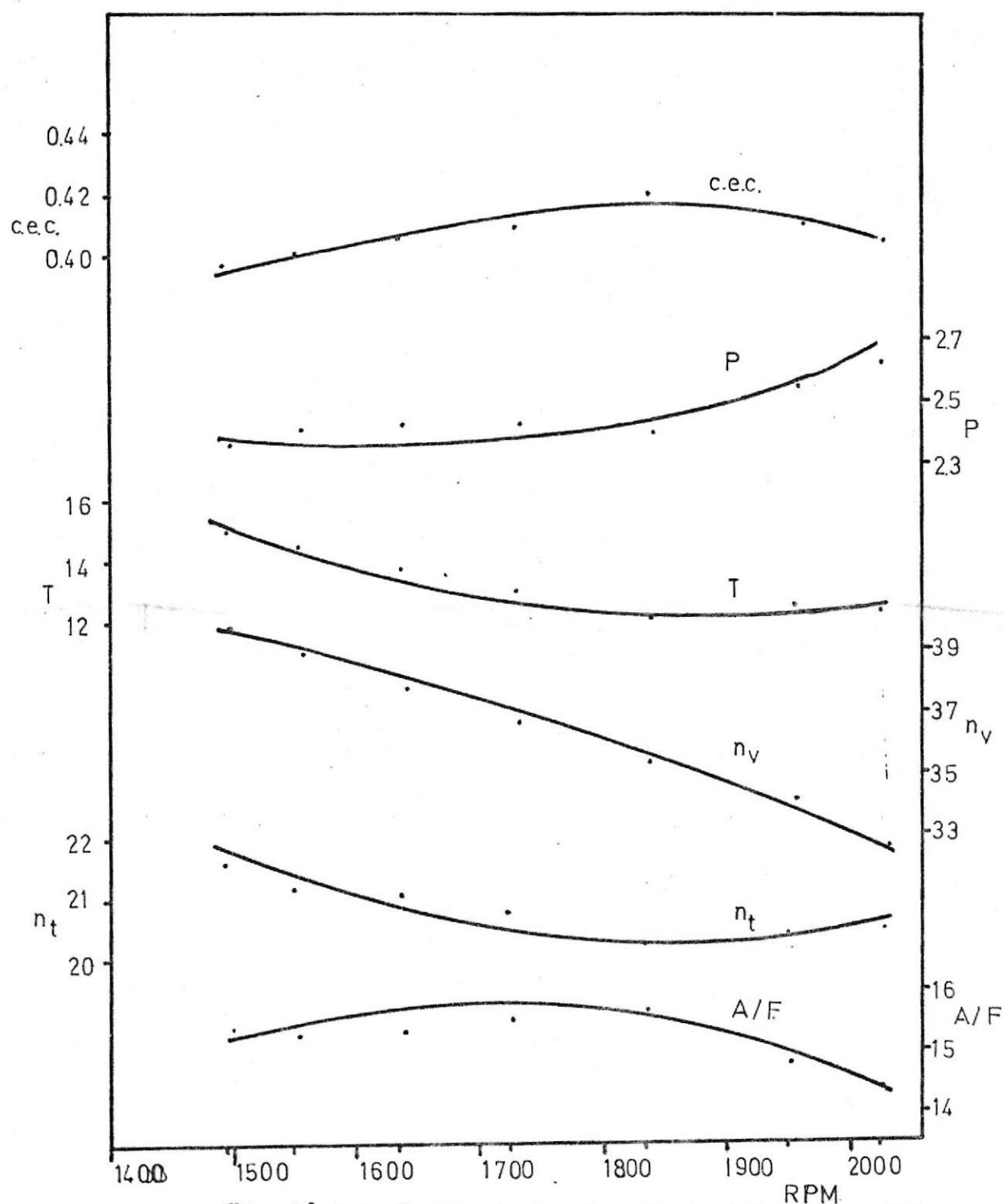


Fig. N° 4.6 Curvas de funcionamiento del motor a diferentes velocidades.

La Fig. N° 4.7 representa la posición de los controles en el motor de pruebas.

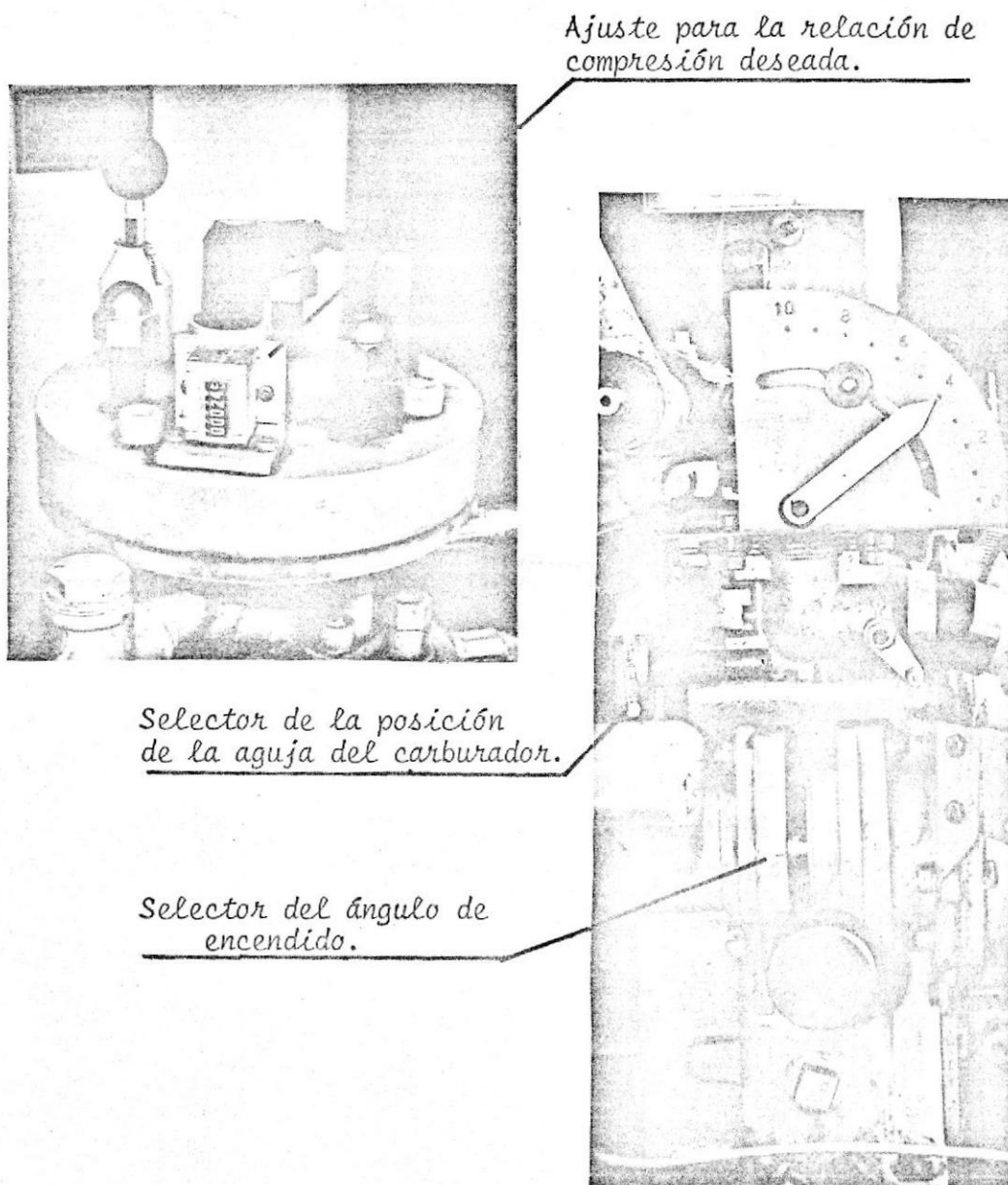


Fig. N° 4.7 Controles del motor de pruebas, posición de la aguja del acelerador, ángulo de encendido y el acelerador.

La Tabla N° 4.2 contiene los valores de la prueba, al igual que la Fig. N° 4.8, curvas donde se puede apreciar los puntos de máxima economía y máxima potencia para una relación de compresión dada.

Con esta prueba se ha encontrado que la relación de compresión 8:1 es la que mejor se presenta para realizar el trabajo más óptimo.

Posición del acelerador .- Con los datos logrados anteriormente procedemos a realizar la prueba para encontrar la posición del acelerador.

Datos tabulados en la Tabla N° 4.3 y en la Fig. N° 4.9 se representan estos valores en los que se encuentra como era lógico, a mayor abertura del acelerador, mayor potencia, eficiencia volumétrica, menor consumo específico de combustible.

Posición del ángulo de encendido .- Con los datos logrados anteriormente la variación del ángulo de encendido se lo realiza, al igual que las anteriores pruebas, para determinar el mejor punto de trabajo del motor.

Los datos de esta prueba se registran en la Tabla N° 4.4 y se grafican en la Fig. N° 4.10, en las que se encuentra que 12 grados antes del PMS, es el punto de mejor trabajo.

RPM	F Nw	C.C.		C.A. m.m. H ₂ O	Relac. Comp.	Pos. Aguja Carb.	C.C. Kg/ seg.	C.A. Kg/seg.	P kw	c.e.c. $\frac{\text{Kg}}{\text{kw-h}}$	n_t %
2015	31	25	74.87	34.5	10	4	2.5×10^{-4}	43.3×10^{-4}	1.73	0.520	16.53
2005	43.5	25	63.25	33.5		5	3×10^{-4}	42.6×10^{-4}	2.42	0.446	19.27
2005	47.5	25	54.3	33		6	3.5×10^{-4}	42.3×10^{-4}	2.64	0.477	18.01
2000	47	25	47.98	33.5		7	3.9×10^{-4}	42.6×10^{-4}	2.61	0.538	15.99
2015	45.5	25	45.22	34	8	8	4.1×10^{-4}	43×10^{-4}	2.54	0.581	14.80
2025	35.5	25	70.16	38		4	2.7×10^{-4}	45.4×10^{-4}	1.99	0.488	17.71
2010	48	25	57.63	36.5		5	3.3×10^{-4}	44.5×10^{-4}	2.68	0.443	19.40
2007	49	25	51.05	36		6	3.7×10^{-4}	44.2×10^{-4}	2.73	0.488	17.62
1985	49	25	44.54	36		7	4.2×10^{-4}	44.2×10^{-4}	2.70	0.560	15.35
2010	48	25	40.12	36.5		8	4.7×10^{-4}	44.5×10^{-4}	2.68	0.631	13.62

Tabla N° 4.2 Funcionamiento del motor a diferentes posiciones de la aguja del carburador para diversas relaciones de compresión.

2050	28	25	68.86	37	6	4	2.7×10^{-4}	44.8×10^{-4}	1.59	0.611	14.07
1985	44	25	58.60	35.5	6	5	3.2×10^{-4}	43.9×10^{-4}	2.41	0.476	18.06
1975	45.5	25	51.10	35.5		6	3.7×10^{-4}	43.9×10^{-4}	2.49	0.535	16.07
1980	45	25	44.79	36		7	4.2×10^{-4}	44.2×10^{-4}	2.47	0.612	14.05
1975	39	25	39.59	36		8	4.7×10^{-4}	44.2×10^{-4}	2.14	0.791	10.89
1990	36	25	38.55	36	5	5	3.2×10^{-4}	44.2×10^{-4}	1.99	0.579	14.85
2000	39	25	51.36	35.5		6	3.7×10^{-4}	43.9×10^{-4}	2.16	0.617	13.94
2002	38.5	25	44.34	36		7	4.2×10^{-4}	44.2×10^{-4}	2.14	0.706	12.17
2005	37.5	25	39.51	36		8	4.7×10^{-4}	44.2×10^{-4}	2.09	0.809	10.62
2020	24	25	58.69	36	4	5	3.2×10^{-4}	44.2×10^{-4}	1.35	0.853	10.08
1990	31	25	51.31	35		6	3.7×10^{-4}	43.6×10^{-4}	1.71	0.779	11.04
1990	31	25	44.65	35		7	4.2×10^{-4}	43.6×10^{-4}	1.71	0.884	9.72
2000	27	25	39.38	35.5		8	4.8×10^{-4}	43.9×10^{-4}	1.50	1.152	7.46

continuación Tabla N° 4.2

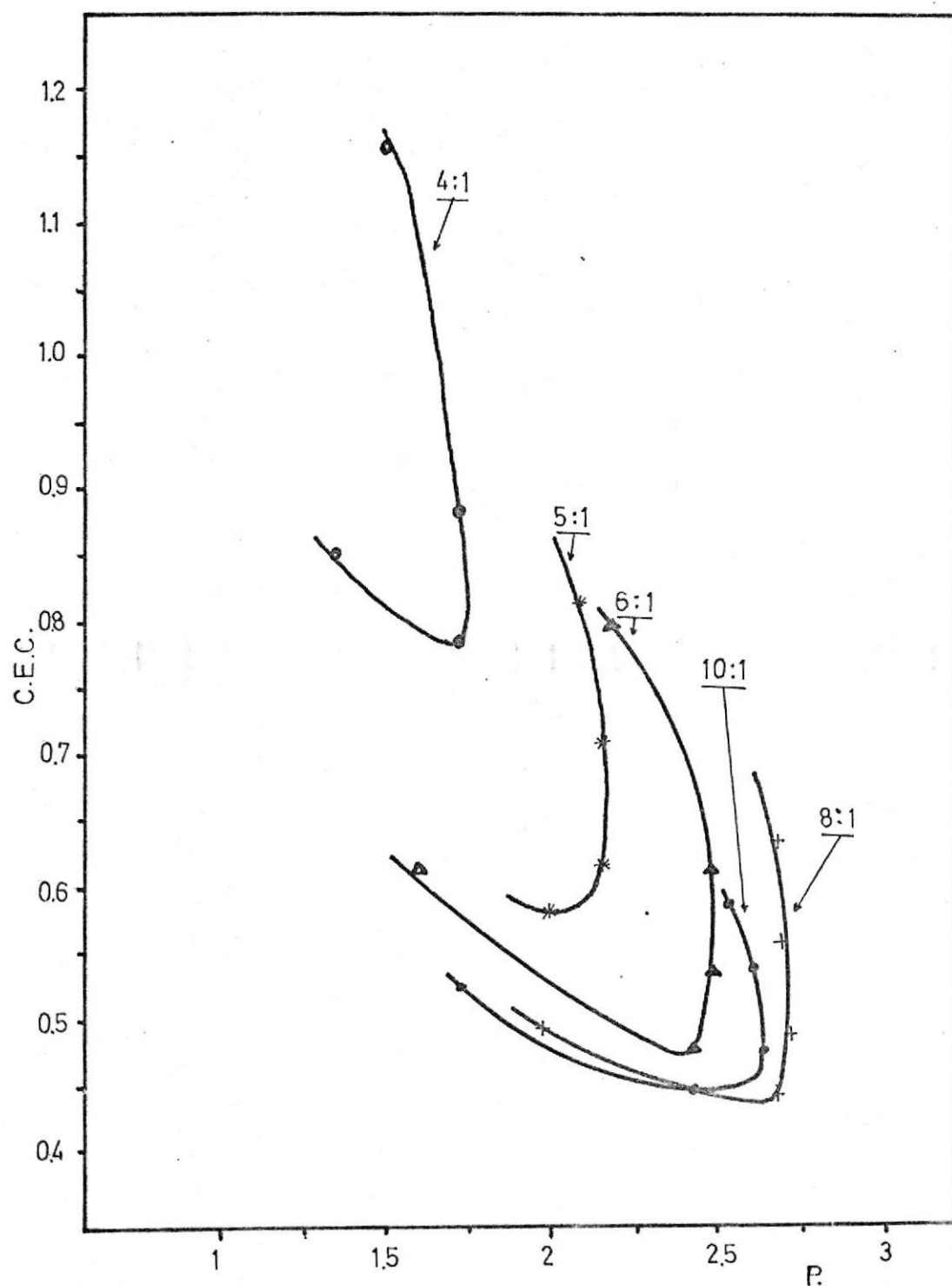


Fig. N^o 4.8 Curvas de máxima economía y máxima potencia.

RPM	F Nw	C.C.		C.A. m.m. H ₂ O	Pos. Acele. %	C.C. Kg/seg.	C.A. Kg/seg.	c.e.c. Kg $\frac{Kg}{Kw-h}$	P Kw	T Nw-m	n _t %	n _v %	A/F
		vol. c.c.	t seg.										
2010	14.5	25	94.93	15.5	25	1.98×10^{-4}	19.01×10^{-4}	0.880	0.81	3.84	9.77	22.08	14.65
1995	29	25	79.79	21	37	2.35×10^{-4}	33.76×10^{-4}	0.525	1.61	7.69	16.39	25.90	14.37
2000	39.5	25	66.7	29	50	2.81×10^{-4}	39.68×10^{-4}	0.617	1.64	10.47	13.94	30.36	14.12
2005	47	25	58.81	34.5	62.5	3.19×10^{-4}	43.27×10^{-4}	0.435	2.64	12.59	19.77	33.03	13.56
2005	53.5	25	54.27	40	75	3.45×10^{-4}	46.6×10^{-4}	0.417	2.98	14.18	20.62	35.56	13.51
1995	57	25	52.66	44.5	87.5	3.56×10^{-4}	49.15×10^{-4}	0.406	3.16	15.11	21.18	37.70	13.81
1990	60.5	25	51.04	47	100	3.67×10^{-4}	50.51×10^{-4}	0.396	3.34	16.03	21.71	38.84	13.76

Tabla N° 4.3 Funcionamiento del motor para diferentes posiciones del acelerador

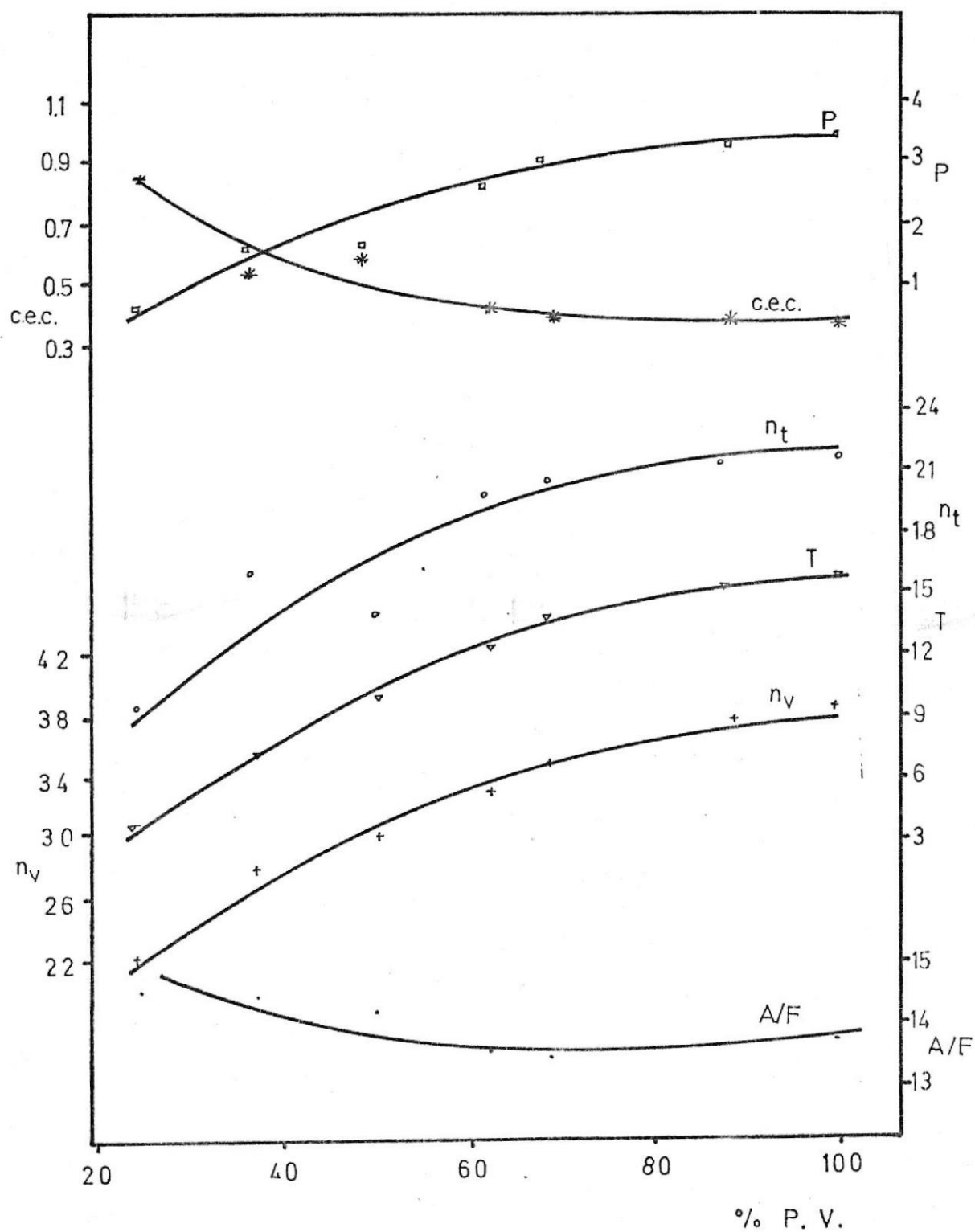


Fig. N° 4.9 Curvas de la aceleración

RPM	F Nw	C.C.		C.A. m.m. H ₂ O	Ang. Chispa Grados	C.C. Kg/seg	C.A. Kg/seg.	c.e.c. Kg Kw-h	P Kw	T Nw-m	n _t %	n _v %	A/F
		vol. C.C.	t seg.										
2000	59	25	52.79	50	18	3.55×10^{-4}	52.1×10^{-4}	0.391	3.27	15.64	21.99	39.86	14.66
2000	59.5	25	52.01	48.5	16	3.61×10^{-4}	51.31×10^{-4}	0.394	3.30	15.77	21.82	39.26	14.21
2005	59.5	25	52.1	49.5	14	3.6×10^{-4}	51.84×10^{-4}	0.392	3.31	15.77	21.93	39.56	14.40
2010	60	25	52.19	49.5	12	3.59×10^{-4}	51.84×10^{-4}	0.386	3.35	15.9	22.28	39.46	14.44
1990	59.5	25	53.13	49	10	3.53×10^{-4}	51.57×10^{-4}	0.386	3.29	15.77	22.28	39.66	14.61
2010	57.5	25	52.75	49.5	8	3.55×10^{-4}	51.84×10^{-4}	0.398	3.21	15.24	21.60	39.46	14.60
1990	56.6	25	51.83	50.5	6	3.62×10^{-4}	52.36×10^{-4}	0.418	3.12	14.97	20.57	40.26	14.46

Tabla N° 4.4 Funcionamiento del motor a diferentes ángulos de encendido

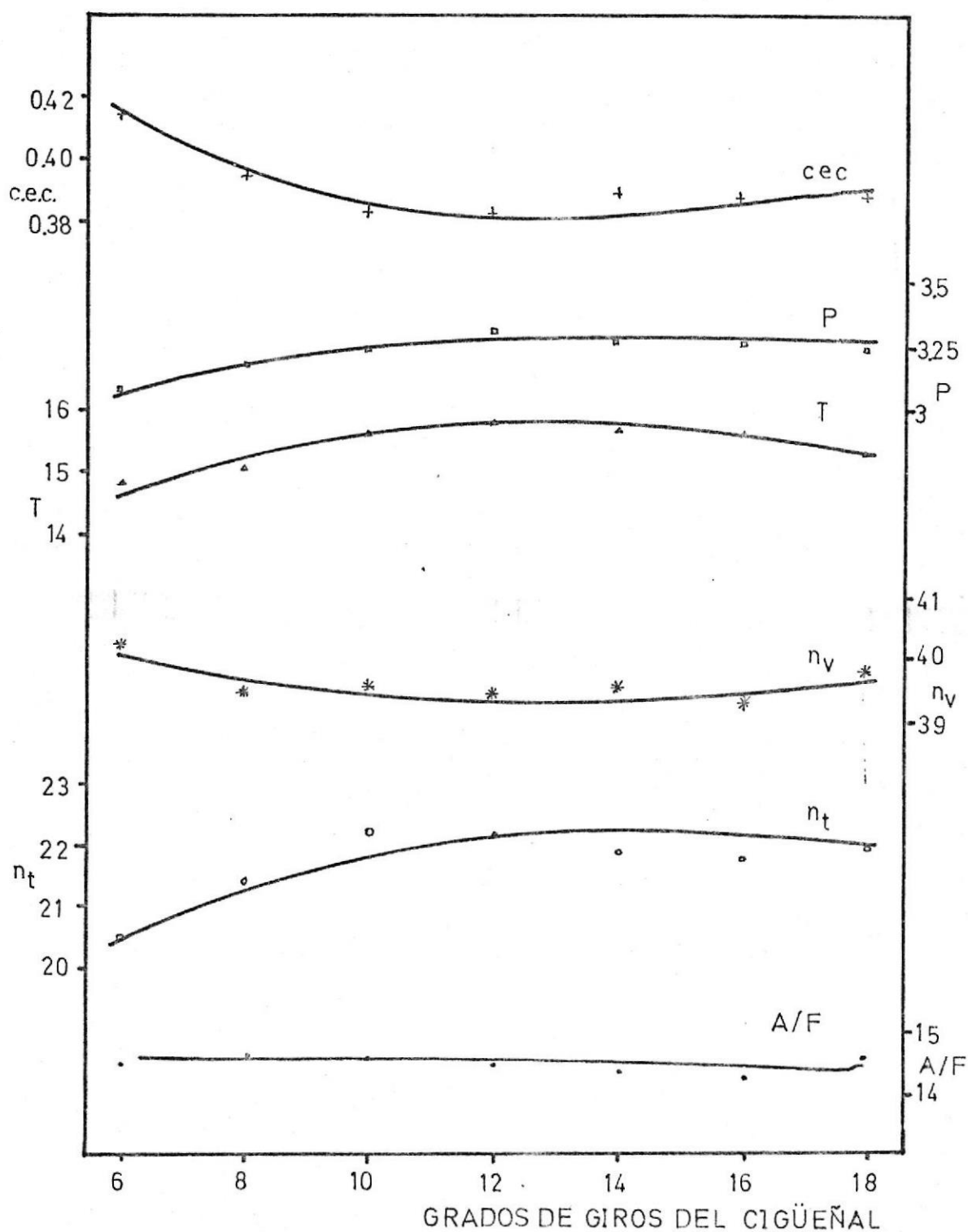


Fig. N^o 4.10 Curvas para diferentes ángulos de encendido

4.2.1. CONCLUSIONES

Las pruebas preliminares que acabamos de realizar, no han tenido otro objetivo que el de encontrar un punto de trabajo para todos los parámetros, donde el motor posea la máxima potencia, máxima economía, elevada eficiencia volumétrica, etc.

El punto para que el trabajo del motor, encontrado a partir de las pruebas preliminares, sea óptimo es el siguiente :

RPM : 2000

Posición del acelerador : 4

Posición de la aguja del carburador : 5

Angulo de encendido : 12 antes del PMS

Relación de compresión : 8:1

Las pruebas realizadas con estos puntos hallados tuvieron un cambio que en realidad no afectaron a las mismas. Como la posición del acelerador no fue posible ponerlo al máximo para las pruebas, por la falta de carga en el banco de resistencia, no permitió la variedad de pruebas a realizarse, por lo que la posición del acelerador no es (4) como se observa anteriormente sino (3). Para las pruebas finales se tomará cada uno de estos puntos haciéndolos variar dentro de un rango y manteniendo fijos los demás.

4.3. PROGRAMA DE PRUEBAS

4.3.1. LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE EN LA PRODUCCION DE CONTAMINANTES.

En capítulos anteriores, se ha bía hablado de la relación aire-combustible, que es uno de los parámetros que tiene que directamente ver en el proceso de combustión y por en de en la emisión de gases contaminantes, de un motor de combustión interna.

Esta es la prueba más importante realizada al motor de un vehículo por ser este parámetro dentro del funcionamiento del motor muy variable dependiendo de su necesidad al momento de ser conducido un vehículo.

La prueba realizada es como sigue : En la sección anterior se determinó los puntos en los cuales los parámetros irían a trabajar; esta prueba consiste en variar la relación de aire-combustible cambiando la posición de la aguja del carburador, el que tomaría posiciones dentro del cual la mezcla introducida cubra la variedad de mezclas "ricas" y "pobres".

Los datos fijos son :

RPM : 2000

Relación de compresión : 8:1

Posición del acelerador : 3

Nº Muestras	Pos. Aguja Carb.	RPM	C.C. vol. c.c.	C.C. seg.	C.A. m.m. H ₂ O	F Nw	C.C. Kg/seg.	C.A. Kg/seg.	P Kw	cec. Kg Kw-h	T Nw-m	n _t %	n _v %	A/F
1	4	1980	25	66.78	40.5	42	2.8×10^{-4}	47.6×10^{-4}	2.31	0.436	11.13	19.72	36.24	17
2	5	2010	25	57.67	39.5	54	3.2×10^{-4}	47×10^{-4}	3.01	0.383	14.31	22.45	35.25	14.7
3	6	2010	25	49.55	39.5	55	3.8×10^{-4}	47×10^{-4}	3.07	0.446	14.57	19.28	35.25	12.4
4	7	2010	25	43.71	39.5	54	4.3×10^{-4}	47×10^{-4}	3.01	0.514	14.31	16.73	35.25	10.9

Tabla Nº 4.5 La variación de la relación aire-combustible en el motor.

Angulo de encendido : 12 antes del PMS

La Tabla N° 4.5 representa los valores tomados por la posición de la aguja del carburador, y los datos de la prueba, junto a los parámetros de funcionamiento; la Tabla N° 4.6 representa los resultados de los análisis de gas de escape.

Los valores de (CO_2 , O_2 y CO) son obtenidos por medio del analizador de Orsat, el de (N_2) obtenido por diferencia, el vapor de agua a partir del balance químico y los hidrocarburos (HC) juntos a los óxidos nitrosos (NO), han sido tomados de pruebas realizadas por investigadores que han tenido medidores para esos gases.

N°	CO_2	O_2	CO	N_2	H_2	$\text{HC}^{(+)}$	$\text{NO}^{(+)}$
1	12	2	0	86	17.74	200	1200
2	12.8	1	0.4	85.8	17.64	300	2000
3	10.6	0.4	3.8	85.2	19.52	400	400
4	8.8	0.4	6.6	84.2	19.79	600	150

Tabla N° 4.6 Resultados del análisis de los gases de la prueba de variación de la relación aire-combustible.

(+) Datos tomados de "Contaminación ambiental" por John Seinfeld.

Estos datos se representan en la Fig. N° 4.11 en la que se puede apreciar la variación de los contaminantes depen

diendo de la relación aire-combustible.

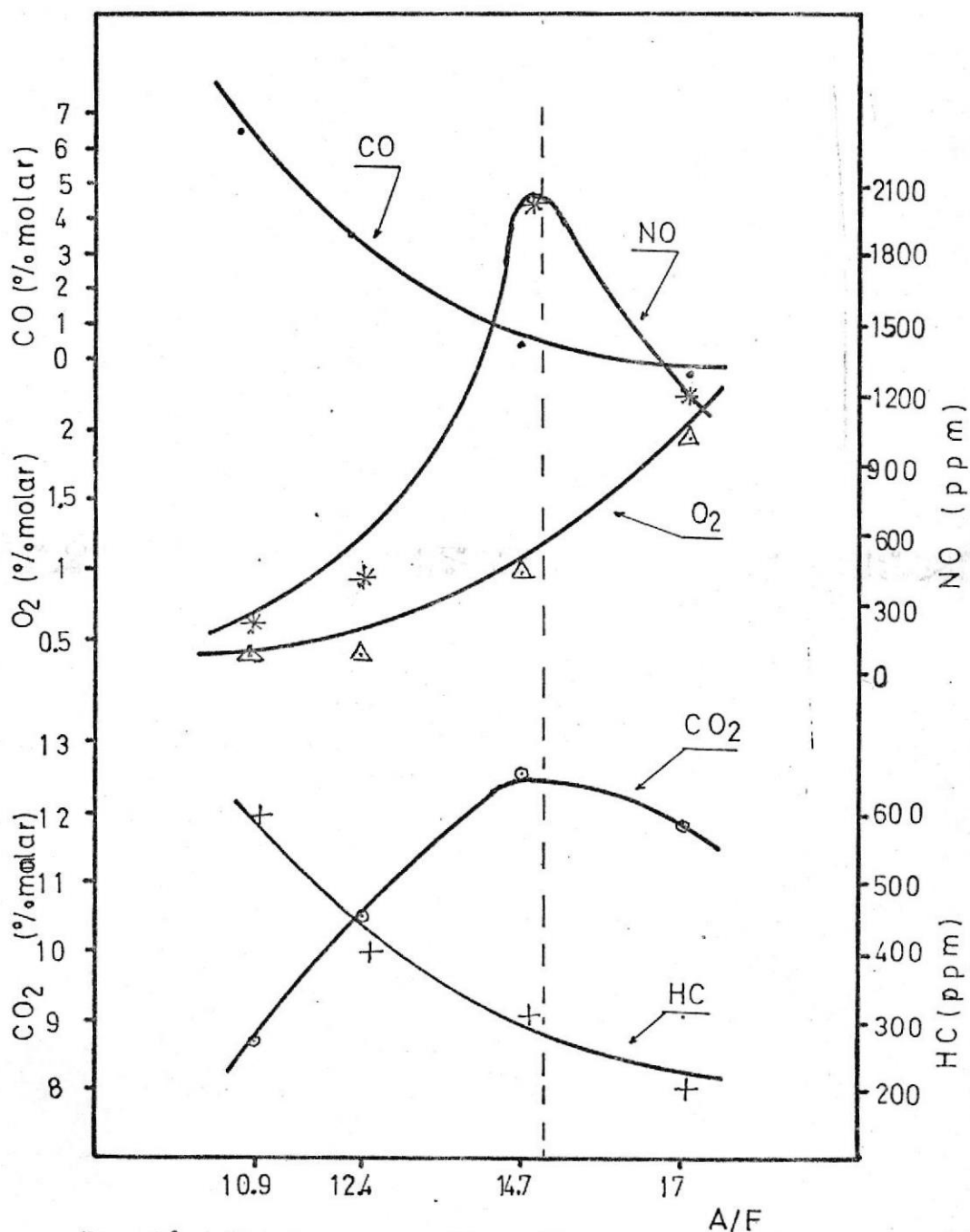


Fig. N° 4.11 Representación gráfica de la prueba variación de la relación aire-combustible.

Nº Muestras	Relación Comp.	RPM	C.C.		C.A. m.m. H ₂ O	F Nw	C.C. Kg/seg.	C.A. Kg/seg.	P Kw	cec. $\frac{\text{Kg}}{\text{Kw-h}}$	T Nw-m	n_t %	n_v %	A/F
			vol. c.c.	t seg.										
5	10	2025	25	59.64	37	46.5	3.2×10^{-4}	44.81×10^{-4}	2.61	0.4414	12.32	19.48	33.87	14
6	9	2020	25	57.12	38.5	41	3.27×10^{-4}	45.71×10^{-4}	2.3	0.5118	10.87	16.80	34.63	14.0
7	8	2010	25	57.61	39	39	3.25×10^{-4}	46.01×10^{-4}	2.18	0.5367	10.34	16.02	35.03	14.2
8	7	1995	25	58.07	39	49	3.23×10^{-4}	46.01×10^{-4}	2.71	0.4291	12.99	20.04	35.29	14.2
9	6	1985	25	53.36	40	46	3.51×10^{-4}	46.4×10^{-4}	2.53	0.4994	12.19	17.22	35.92	13.3

Tabla N° 4.7 Variación de la relación de compresión del motor.

4.3.2. LA RELACION DE COMPRESION Y SU EFECTO EN LA CONTAMINACION

En esta prueba al igual que la anterior se hace variar el parámetro a analizar dejando los otros fijos.

Los parámetros fijos son :

RPM : 2000

Posición del acelerador : 3

Angulo de encendido : 12° antes del PMS

Posición de la aguja del carburador : 5

Los valores tomados de la variación de la relación de compresión se encuentran representados en la Tabla N° 4.7 y la Tabla N° 4.8 recoge los datos del resultado de los análisis.

N°	CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂ O	HC _{ppm}	NO _{ppm}
5	11.8	1	1.2	86	18.95	350	300
6	12	1.2	0.8	86	18.54	350	2500
7	12.6	1.4	1	85	16.21	300	1800
8	13	1	0.4	85.6	17.13	300	1500
9	12.8	1.2	0.8	85.2	16.52	400	1000

Tabla N° 4.8 Resultado del análisis de los gases de la variación de la relación de compresión.

Estos datos al igual que los de la Tabla N° 4.6 y todos los resultados son obtenidos de idéntica forma.

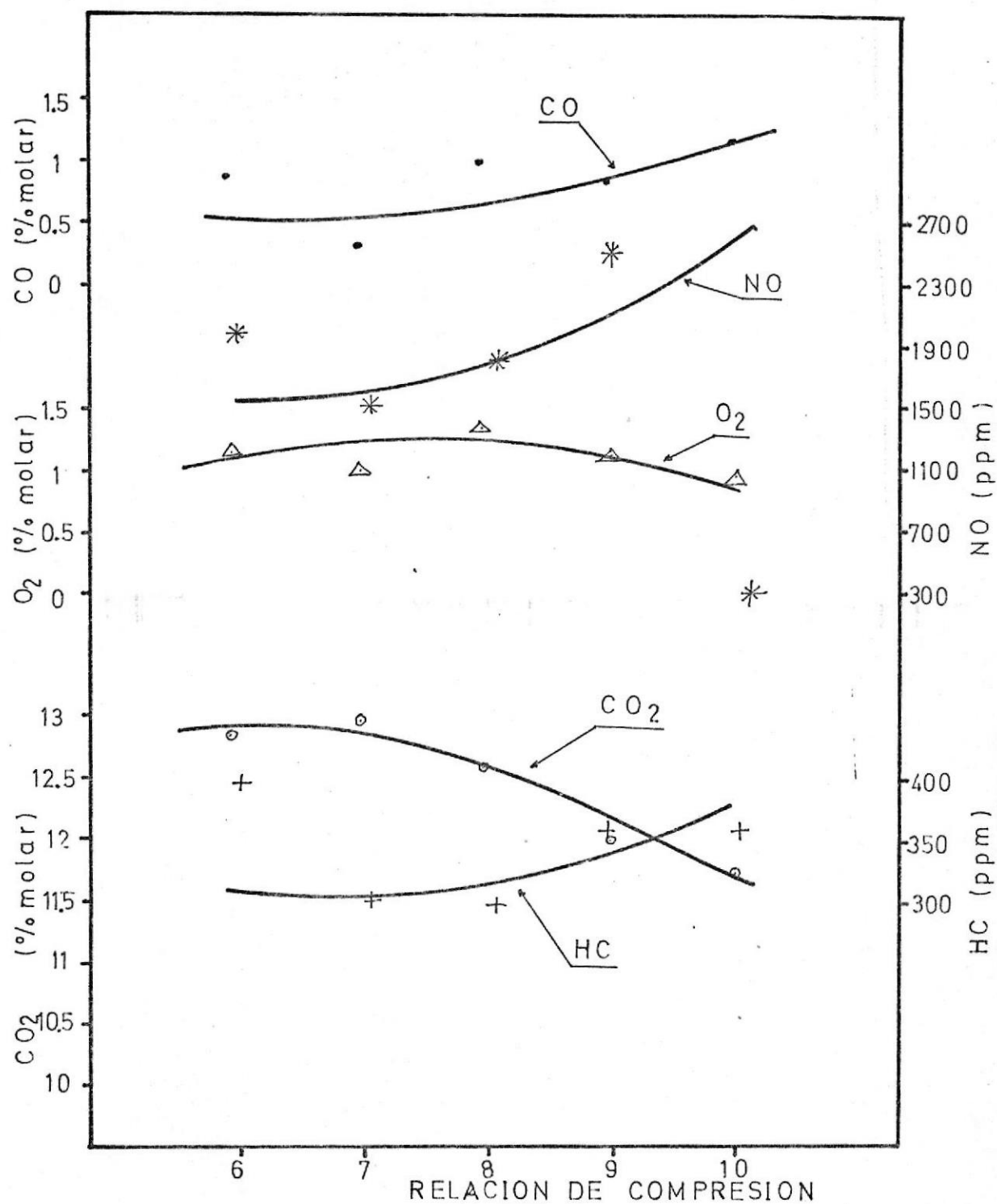


Fig. N° 4.12 Representación gráfica de los resultados en la variación de la relación de compresión.

4.3.3. LA PRODUCCION DE CONTAMINANTES EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR.

La velocidad del motor es un parámetro muy importante en las emisiones de contaminantes. La velocidad a la que se lleva al motor hace que el proceso de combustión sea más lento o más rápido, las velocidades aquí consideradas se vieron restringidas por la capacidad de diseño del banco, el que no permitió que se observara el efecto a velocidades altas y bajas, sin embargo, los resultados de aquí nos darán una idea de lo anterior y posterior.

Para esta prueba los parámetros fijos son :

Relación de compresión : 8:1

Posición del acelerador : 3

Posición de la aguja del carburador : 5

Angulo de encendido : 12° antes del PMS

La Tabla N° 4.9 recoge los datos obtenidos en esta prueba.

En la Tabla N° 4.10 se tabulan los resultados de las pruebas realizadas.

Nº Mues- tras	RPM	C.C.		C.A.	F	C.C.	C.A.	P	cec.	T	n_t %	n_v %	A/F
		vol. c.c.	$\frac{t}{seg.}$	m.m. H_2O	Nw	Kg/seg.	Kg/seg.	Kw	$\frac{Kg}{Kw-h}$	Nw-m			
10	2020	25	57.18	39.5	48.5	3.28×10^{-4}	46.3×10^{-4}	2.72	0.4341	12.85	19.81	35.08	14.12
11	1910	25	64.74	38	49	2.9×10^{-4}	45.4×10^{-4}	2.6	0.4015	12.99	21.42	36.39	15.66
12	1800	25	63.98	36	51	2.93×10^{-4}	44.21×10^{-4}	2.55	0.4136	13.52	20.79	37.58	15.09
13	1710	25	65.92	34.5	54	2.84×10^{-4}	43.3×10^{-4}	2.56	0.3994	14.31	21.53	38.73	15.24
14	1605	25	68.44	32.5	57	2.74×10^{-4}	42×10^{-4}	2.54	0.3883	15.11	22.14	40.05	15.33

Tabla N° 4.9 Variación de la velocidad del motor.

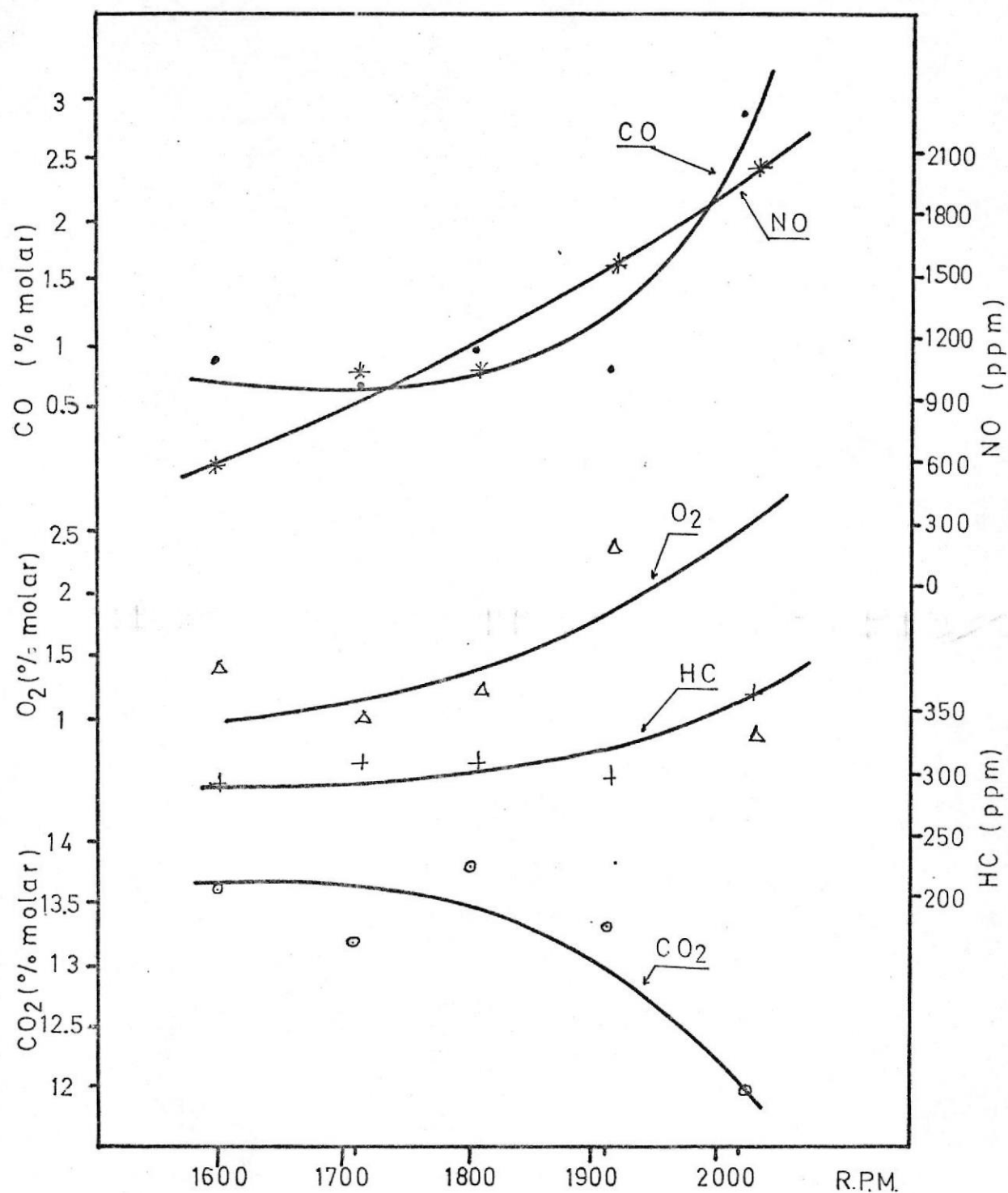


Fig. N° 4.13 Representación gráfica de la variación de la velocidad.

Nº	CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂ O	HC _{ppm}	NO _{ppm}
10	12	1	3	84	15.68	350	2000
11	13.4	2.4	0.8	83.4	11.96	280	1550
12	13.8	1.2	1	84	13.68	300	1050
13	13.2	1	0.6	85.7	16.32	300	950
14	13.6	1.4	0.8	84.2	13.98	280	550

Tabla N° 4.10 Resultados del análisis de los gases en la variación de la velocidad.

Estos datos se encuentran representados en la Fig. N°4.13 donde se puede apreciar la influencia de la velocidad.

4.3.4. INFLUENCIA DEL ANGULO DE CHISPA SOBRE LA CONTAMINACION

El ángulo de encendido es otro parámetro que en la emisión de contaminantes y su influencia la apreciamos manteniendo fijos los siguientes parámetros :

RPM : 2000

Relación de compresión : 8:1

Posición del acelerador : 3

Posición de la aguja del carburador : 5

Con estos parámetros la variación del ángulo de encendido toma valores desde 8 a 16 grados antes del PMS, como se aprecia en la Tabla N° 4.11 junto a los datos obtenidos de

Nº Mues tras	Ang. Chis pa.	RPM	C.C.		C.A. m.m. H ₂ O	F Nw	C.C. Kg/seg.	C.A. Kg/seg.	P Kw	cec. Kg Kw-h	T Nw-m	n _t %	n _v %	A/F
			vol. c.c.	t seg.										
15	8	2010	25	60.82	39.5	48	3.08×10^{-4}	46.3×10^{-4}	2.68	0.4137	12.72	20.78	35.25	15
16	10	2000	25	60.99	39	49.5	3.07×10^{-4}	46.01×10^{-4}	2.75	0.4019	13.12	21.39	35.2	15
17	12	2010	25	60.72	39	50	3.09×10^{-4}	46.01×10^{-4}	2.79	0.3987	13.25	21.57	35.03	14.9
18	14	1995	25	60.56	39	50.5	3.10×10^{-4}	46.01×10^{-4}	2.8	0.3986	13.38	21.57	35.29	14.8
19	16	2000	25	61.1	39	50	3.07×10^{-4}	46.01×10^{-4}	2.78	0.3976	13.25	21.63	35.2	15

Tabla N° 4.11 Variación del ángulo de encendido de la chispa en el motor.

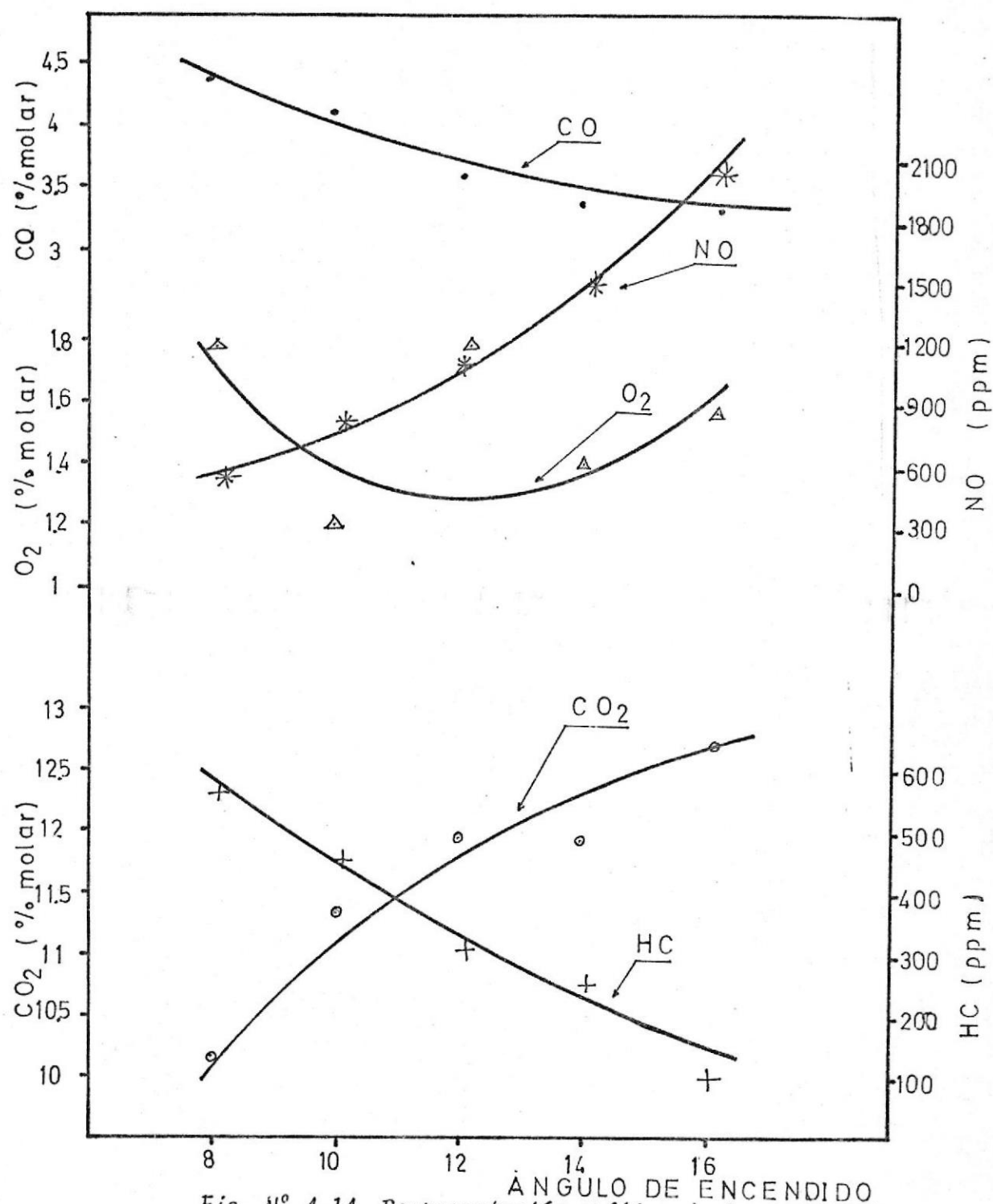


Fig. N° 4.14 Representación gráfica de los resultados en la variación del ángulo de encendido.

la prueba.

En la Tabla N° 4.12 se hallan tabulados los valores de los resultados del análisis de gases.

N°	CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂ O	HC _{ppm}	NO _{ppm}
15	10.2	1.8	4.4	83.6	16.07	550	550
16	11.4	1.2	4.2	83.2	14.85	450	800
17	12	1.8	3.6	82.6	12.74	300	1100
18	12	1.4	3.4	83.2	14.06	250	1500
19	12.8	1.6	3.4	83.2	12.05	100	2000

Tabla N° 4.12 Resultados del análisis de los gases en la variación del ángulo de encendido.

CAPITULO V

5. EL PROBLEMA LOCAL

5.1. CRECIMIENTO VEHICULAR Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El número de vehículos ha ido creciendo en la ciudad de Guayaquil, hasta llegar a una considerable cantidad que comienza a dar problemas de diversas índoles.

La ciudad de Guayaquil es sin lugar a dudas la primera tanto en crecimiento poblacional, como vehicular, sin que hasta el momento se halla tomado alguna medida referente a la contaminación.

La Tabla N° 5.1 presenta este incremento del número de vehículos año a año desde 1977 hasta 1985; tomando en cuenta que para años posteriores se lo ha estimado por el incremento anual de los anteriores (tabla proporcionada por la Comisión de Tránsito del Guayas). También debe considerarse el número diario de vehículos de otras ciudades que temporalmente transitan y se aproximan a 2.000.

El consumo promedial de combustible en los vehículos es de aproximadamente un galón por cada 10 Km. de recorrido; este consumo es dado para motores de 4 cilindros para motores de 6 y 8 cilindros será superior; aunque no solamente se debiera tomar en cuenta el número de cilindros del motor, sino también la procedencia

del mismo; para *estimar* el consumo de combustible. Estos datos no son los necesarios para determinar el consumo de un motor, pero son datos que el mecánico de la calle toma en cuenta para *estimar* el consumo.

ANO	Nº de VEHICULOS
1977	65352
1978	75012
1979	79862
1980	85260
1981	90802
1982	96704
1983	102989
1984	109683
1985	116813

Tabla Nº 5.1. Incremento vehicular *estimado* para la ciudad de Guayaquil.

Considerándose que el consumo promedio de 3 galones diarios, es de imaginarse que para abastecer ese mercado de combustible, se requiere una gran cantidad; y si el número de vehículos sigue aumentando en la proporción con que ha venido creciendo, muy pronto sucederá que tendremos que dejar de ser país exportador para convertirnos en importador.

5.2. ZONAS CRITICAS

El incremento vehicular y la cantidad de carburante consumido por los mismos pone de manifiesto un problema que está afectando a todas las ciudades del globo; la contaminación atmosférica es el principal efecto que causa la aglomeración en las ciudades.

La ciudad de Guayaquil tiene una gran zona que debe de tomarse en cuenta en horas de mayor circulación, esto es de 7 a 8 h., 12 a 13 h. y de 18 a 19 h.; que se ve favorecido por la distribución arquitectónica de la ciudad para presentarse como un gran foco emisor de CO, HC y NO.

Este foco se halla localizado en el casco comercial y está señalado en la Fig. N° 5.1. Pero no sólo esta zona afecta a los habitantes de Guayaquil, sino también las vías que conectan el centro de la ciudad con zonas apartadas y que lo hacen por pocas vías de acceso, lo que obliga a una aglomeración.

Con el fin de de contrarrestar el congestionamiento en la ciudad, la Comisión de Tránsito del Guayas ha presentado un plan que además favorece al control de la contaminación un control no directo en cuanto a las emisiones, sino a la dispersión.

El plan consiste de :

- 1.- Construcción de cuatro puentes para cruzar el estero sala-

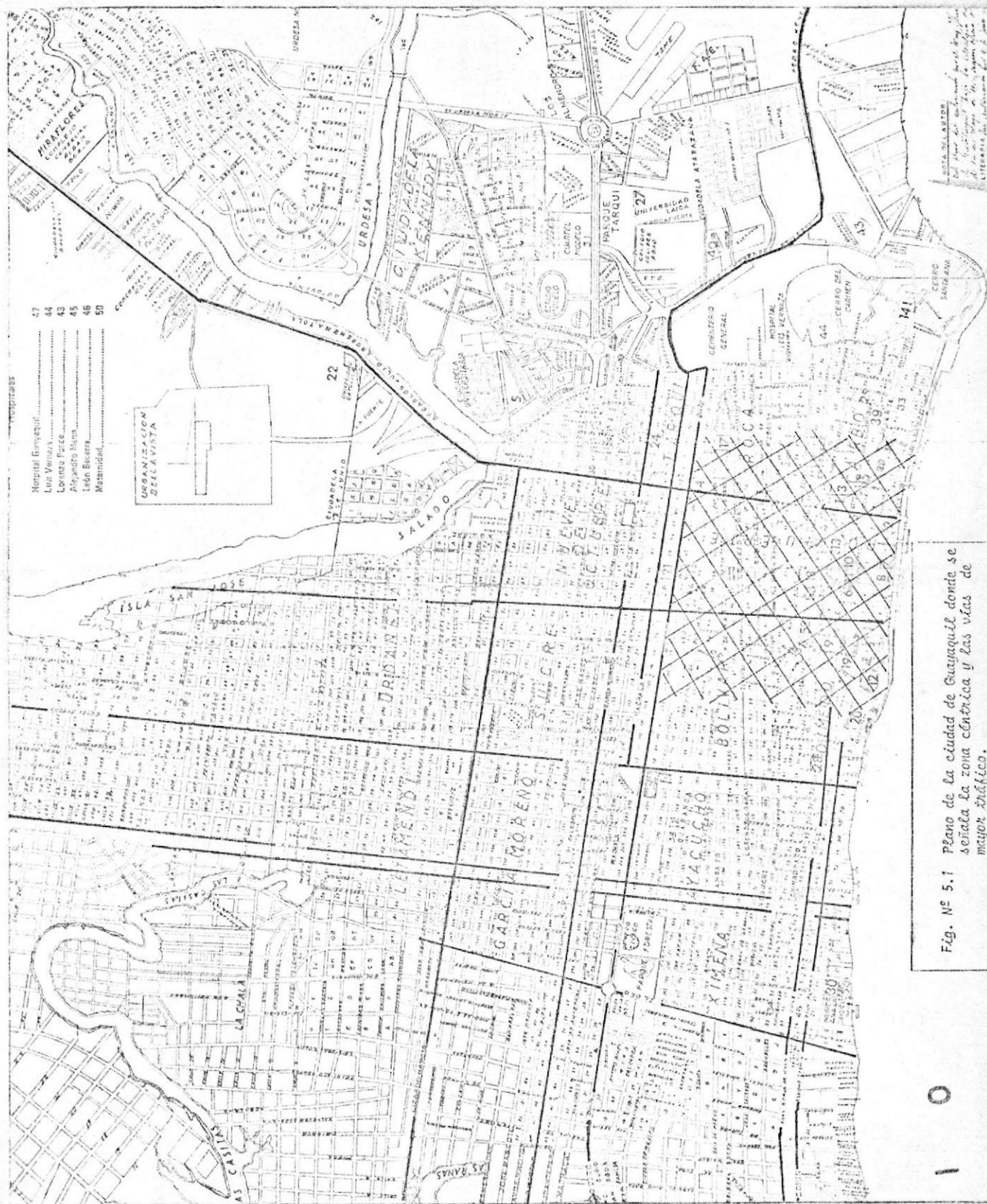


Fig. Nº 5.1 Plano de la ciudad de Guayaquil donde se
señala la zona céntrica y las vías de
mayor tráfico.

do, entre el puente 5 de Junio y el puente de la calle Portete.

- 2.- Construcción de un túnel a través del cerro Santa Ana para prolongar la calle Rocafuerte.
- 3.- Estacionamientos bajo las plazas públicas en edificios subterráneos.
- 4.- Estacionamientos en garajes a multiniveles o en edificios mixtos.
- 5.- Ampliación de las vías de acceso a la ciudad.
- 6.- Prolongación de la avenida Machala con un paso "elevado" o "reprimido" a la altura del Colegio Guayaquil.
- 7.- Reubicación del mercado sur.
- 8.- Prolongación del Malecón tanto por el norte como por el sur.
- 9.- Construcción del malecón del suburbio, así como también vías de penetración que sean necesarias.
- 10.- Terminal terrestre para eliminar los 72 miniterminales de pasajeros distribuidos por toda la ciudad (en construcción).
- 11.- Una vía diferente a la 25 de Julio que conecte al sector del Guasmo con la ciudad y al Puerto Marítimo.
- 12.- Mayor utilización del transporte público
- 13.- Implantación de la jornada única de trabajo

Estas obras presentarían a Guayaquil como una ciudad de un tráfi

co más ligero permitiendo que sus habitantes no sufran las incomodidades a las que ahora tienen que someterse.

5.3. FACTORES NEGATIVOS

He querido denominar "factores negativos" a todos aquellos que favorecen de una u otra manera la contaminación atmosférica, a métodos de control que deberían ser tomados y que no lo han sido.

- 1.- Guayaquil como toda ciudad que no se ha planificado su expansión ha ido creciendo en forma desordenada en cuanto se refiere a futuras necesidades; a esto se debe que la ciudad cuenta con calles estrechas, casi en su totalidad, así como también calles pequeñas, callejones en el centro y sus alrededores. La presencia de calles de este tipo favorecen a la concentración de contaminantes.
- 2.- Pese a que la ciudad tiene calles angostas y en ella circulan 96.000 vehículos diarios aproximadamente en la actualidad no se cuenta con vías de rápida circulación y lo que es más crítico aún es que sólo cuatro vías permitan unir la ciudad con otros centros poblados.
- 3.- Es por todos conocido que los árboles son los pulmones de las ciudades, por lo que respecta a este motivo, Guayaquil se halla desprotegida de la purificación del aire que lo requiere por su millón y medio de habitantes.

- 4.- No existe en la ciudad un método para controlar el problema de la contaminación, solamente se han adoptado medidas temporales cuando se han presentado casos serios como : el polvo emitido por la Cemento Nacional ubicado en San Eduardo; la quema de basura detrás del cerro donde se halla ubicada la ciudadela El Paraíso; el caso Fertisa en la emisión de gases tóxicos. Estos son tres casos a los cuales se les ha dado relativa importancia, aunque éstos son sólo casos aislados.
- 5.- La Cámara Nacional de Representantes se encuentra estudiando un proyecto de ley, por medio del cual se crearía el IEPA (Instituto Ecuatoriano de Protección Ambiental) el que estaría adscrito al Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos y cuya función principal será tomar medidas para controlar la contaminación tanto del aire como de las aguas. En el caso de la contaminación atmosférica iría dirigida a las industrias, a los importadores de vehículos, los cuales tendrán que traer sistemas de control para la emisión de contaminantes. También cabe dejar presente que sin un sistema adecuado que controle estas medidas, sería al igual que muchas leyes, sin un verdadero efecto para la cual ha sido emitida.
- 6.- Las condiciones atmosféricas de la ciudad también contribuyen a que las emisiones no se dispersen rápidamente; el viento que tiene velocidades muy bajas teniendo un máximo a las 13h00 en dirección SO y a las 19h00 en NE; Guayaquil tiene

un clima clasificado como tropical húmedo. Cabe señalar que las temperaturas entre el día y la noche no difieren mayormente, lo cual presenta una atmósfera estática.

- 7.- La construcción de elevados edificios en el casco comercial, hace que se forme una zona donde se halla encerrado el contaminante ayudado por las bajas velocidades del viento. Es muy fácil detectar la presencia de hidrocarburos en el ambiente en las horas de mayor tráfico por su olor característico co nociendo de antemano que junto a esos hidrocarburos se hallan también CO , NO_x y otros contaminantes.

En estos siete puntos he querido sintetizar el problema por el que atraviesa la ciudad de Guayaquil, sería de desear que las or ganizaciones competentes le prestaran la debida atención y tra ten de solucionar el problema ahora, ya que en un futuro esto de mandará más gastos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los gases en las pruebas realizadas en el motor monocilíndrico plint se lo realizó en un cromatógrafo como se muestra en la Fig. N° 4.3, estos resultados no fueron lo necesariamente satisfactorios, puesto que valores de CO_2 hallados en retroflujo por no tener la columna apropiada eran por demás bajos sin que se determine un gas que retorna junto al CO_2 . Esto conllevó a que los análisis se los hicieran en el Orsat, además la ayuda de resultados experimentales muy similares para la determinación aproximada del HC y NO; de los que se puede concluir que :

Motores que trabajan cerca de la relación de mezcla estequiométrica tendrán la máxima emisión de óxidos nítrico (NO), mientras que los hidrocarburos (HC) y monóxidos de carbono (CO) son bajos. Si la mezcla se empobrece la emisión de contaminantes disminuye; disminuyendo al mismo tiempo el rendimiento del motor; mientras que en mezclas "ricas" la emisión del NO es baja y los HC y CO aumentan.

A esto se debe que se recomienda siempre que los motores trabajen con mezcla estequiométrica a velocidad de crucero y algo más rica para relan-tí y a la desaceleración. Cabe aquí indicar que las pruebas se las realizó manteniendo el acelerador (3/4) abierto; lo que nos permite comparar con el funcionamiento de un vehículo a velocidad de crucero, ya que los carros no ruedan con el 100% del acelerador abierto.

En la prueba referente a las emisiones de gases dependiendo de la rela-

ción de compresión, se pudo determinar que para velocidades de 2000 RPM la relación de compresión que menos cantidad de CO y NO emite es la de 6:1, mientras que para el HC es de 7:1; por lo que se recomienda que para estas emisiones sean bajas se trabaje con motores de relación de compresión 7:1. Si bien es cierto que los motores son importados y que vienen con relaciones de 8:1 a 10:1, entonces se recomienda el uso de catalizadores de gases de escape para disminuir la emisión de contaminantes.

La velocidad máxima que se puede lograr en el motor de pruebas plint es de 2000 RPM, lo que no permite hacer un estudio de las velocidades que realmente tienen hoy en día los motores, esto es 5000 a 6000 RPM. Dentro de la variación lograda en este motor se pudo obtener resultados en el que se demuestra que a menor velocidad la combustión es mejor, como la hallada a 1600 RPM, donde las emisiones son bajas.

Al hablar de velocidades de 5000 y 6000 RPM tendríamos necesariamente que hablar del uso de catalizadores, aunque estos motores tengan un mejor sistema de carburación y distribución de mezcla.

Las emisiones de contaminantes en función del ángulo de avance del encendido se pudo encontrar que para un ángulo de 16 grados el HC y CO son bajos; mientras que el NO es alto; para un ángulo de 8 grados es lo contrario. Por lo que se determina 12 grados como el mejor ángulo de encendido donde las emisiones son bajas para el NO y aún son bajas para el HC y CO, logradas para velocidades de 2000 RPM.

En resumen se puede decir que un motor para que trabaje eficientemente y sus emisiones de contaminantes sean bajas, la mezcla aire-combustible deberá ser algo más rica que la estequiométrica, y el ángulo de avance de encendido entre 12 y 16 grados; mientras que la relación de compresión y la velocidad vienen ya determinadas, es necesario el uso de catalizadores de gases.

Es recomendable que la Comisión de Tránsito del Guayas analice los gases de escape en la revisión anual para contribuir a que las emisiones se mantengan bajas; si esta Institución no está en capacidad de realizar estos análisis, la IEPA deberá buscar el mecanismo necesario para el control.

A P E N D I C E

APENDICE

CALCULOS DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE A PARTIR DEL ANALISIS DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION.

Existen varios métodos para calcular la relación aire-combustible de la mezcla a partir del análisis de gases de escape :

- A.- Balance del carbono
- B.- Balance del hidrógeno
- C.- Balance carbono-hidrógeno
 - 1.- con combustible conocido
 - 2.- con combustible desconocido
- D.- Método del escape oxidado

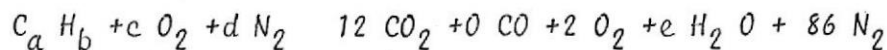
En los métodos A, B, C₁ y D se requieren que la composición del combustible sea conocida, mientras que el método C₂ no lo requiere, y es el que utilizamos para el análisis.

Cuando se desconoce la composición del combustible, no se la puede estimar certeramente, deben combinarse los métodos de balance de carbono y del hidrógeno para hallar la solución.

Demostraremos esta solución en el análisis de la muestra N° 1 que tiene los siguientes valores :

CO ₂	12%
CO	0%
O ₂	2%
N ₂	86% -determinado por diferencia
	100%

Escribiendo la ecuación de la combustión para los 100 moles del producto.



Balance del nitrógeno : $d=86$

de la composición del aire :

$$\frac{c}{d} = 3.76$$

$$c = \frac{86}{3.76} = 22.87$$

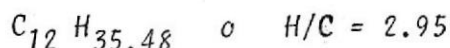
Balance del carbono :

$$a = 12 + 0 = 12$$

Balance del hidrógeno :

$$b = 2e = 2 \times 17.74 = 35.48$$

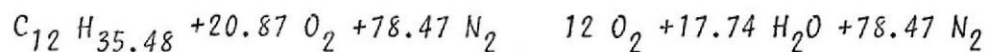
Así podemos escribir la composición :



La relación aire-combustible, la determinamos con los pesos moleculares

$$A/C_{\text{calc.}} = \frac{(22.87 + 86) 28.95}{12 (12) + 35.48 (1)} = 17.56 \frac{\text{Kg m de aire}}{\text{Kg m de comb.}}$$

El aire teórico lo determinamos escribiendo la ecuación teórica de la combustión.



$$A/C_{\text{teórico}} = \frac{(20.87 + 78.47) 28.95}{12 (12) + 35.48 (1)} = 16.02 \frac{\text{Kg m de aire}}{\text{Kg m de comb.}}$$

$$\% \text{ de aire teórico} = \frac{17.56}{16.02} = 1.096 = 109.6 \%$$

La tabla N° A-1, tabula los resultados obtenidos en los cálculos para todas las muestras consideradas.

Nº Muestras	CO ₂ % molar	CO % molar	O ₂ % molar	N ₂ % molar	H ₂ O % molar	H/C calc.	A/C medido	A/C calc.	A/C teórico	% aire teór.
1	12	0	2	86	17.74	2.95	17	17.56	16.02	109
2	12.8	0.4	1	85.8	17.64	2.67	14.7	16.24	15.66	104
3	10.6	3.8	0.4	85.2	19.52	2.71	12.4	14.74	15.72	93
4	8.8	6.6	0.4	84.2	19.79	2.57	10.9	13.75	15.53	88.5
5	11.8	1.2	1	86	18.95	2.91	14	16.25	15.97	101.7
6	12	0.8	1.2	86	18.54	2.89	14	16.53	15.95	103.6
7	12.6	1	1.4	85	16.21	2.38	14.2	15.9	15.29	104
8	13	0.4	1	85.6	17.13	2.56	14.2	16.1	15.52	103.7
9	12.8	0.8	1.2	85.2	16.52	2.43	13.3	15.91	15.35	103.6
10	12	3	1	84	15.68	2.09	14.12	14.56	14.87	98
11	13.4	0.8	2.4	83.4	11.96	1.68	15.66	15.73	14.3	110
12	13.8	1	1.2	84	13.68	1.85	15.09	15.02	14.55	103.2
13	13.2	0.6	1	85.2	16.32	2.36	15.26	15.75	15.26	103.2
14	13.6	0.8	1.4	84.2	13.96	1.94	15.36	15.37	14.68	104.7
15	10.2	4.4	1.8	83.6	16.07	2.2	15	14.77	15.04	98.2
16	11.4	4.2	1.2	83.2	14.85	1.9	15	14.05	14.63	96
17	12	3.6	1.8	82.6	12.74	1.63	14.9	14.23	14.23	100
18	12	3.4	1.4	83.2	14.06	1.83	14.8	14.32	14.54	98.6
19	12.8	3.4	1.6	83.2	12.05	1.49	15	13.95	14.02	99.5

Tabla N° A-1 Valores comparativos de la relación aire-combustible y porcentaje de aire teórico.

BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS-PAZ. *Manual de automóviles*. Madrid, Dossat, 1978.
2. BOCKRIS, J.O. *Environmental chemistry*. New York, Plenum Press, 1978.
3. CEVALLOS, FREDDY. *Máquinas de combustión interna*. Guayaquil, ESPOL, 1974.
4. CRAWFORD, D. *Air pollution control theory*. New York, McGraw-Hill, 1981.
5. LICHTY, LESTER C. *Procesos de los motores de combustión*. New York, McGraw-Hill, 1967.
6. McNAIR & BONELLI. *Basic gas chromatography*. New York, Varian Aero graph, 1968.
7. OBERT, EDWARD F. *Motores de combustión interna*. México, CECSA, 1979.
8. OECD. *Photochemical smog*. Paris, OECD Publication, 1982.
9. ROSS, R. D. *La industria y la contaminación del aire*. México, Diana, 1974.
10. SEINFELD, JOHN H. *Contaminación atmosférica*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración local, 1978.
11. STALLINGS, CONSTANCE L. *Reto a la contaminación*. México, Pax-México, 1972.
12. VAN WYLEN y SONNTAG, RICHARD. *Fundamentos de termodinámica*. México, Limusa, 1979.
13. VESILIN, AARNE. *Environmental pollution and control*. New York, Ann Arbor Science, 1979.
14. WARK & WARNER. *Air pollution its origin and control*. New York, McGraw-Hill, 1980.