

01173



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ENSAYOS PRELIMINARES PARA  
HOMOLOGACION DE MOTOCICLETAS  
DE 2 Y 4 TIEMPOS**

**Por**

**RODRIGO ALBERTO RINCÓN GÓMEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
COMO REQUISITO PARA OBTENER  
EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA  
(MECÁNICA)**

**DIRECTOR: DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA**

Ciudad Universitaria, mayo de 1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A la memoria de mis Abuelitos**  
**Sr. Roberto Rincón Fernández**  
**Sr. Israel Gómez y Gómez**  
**Con muchísimo cariño a mis Abuelitas**  
**Sra. Isaura G. Vda. De Rincón**  
**Sra. Hercilia L. Vda. De Gómez**

**Con todo cariño para mis padres y Hermanos**  
**Sra. Hercilia Gómez de Rincón**  
**M.I. Roberto Rincón Gutiérrez**  
**Roberto Alejandro, Pedro Ignacio y Hercilia Margarita**

**Como un recuerdo muy especial a mi tío**  
**Oscar R. Ramos y Familia**

**"Que viva Dios y Yo con él"**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), por su apoyo a la presente Tesis de Maestría, en el proyecto Ciclo de Manejo para Vehículos Ligeros (Automóviles y Motocicletas).**

**Al Instituto Nacional de Ecología, Por su apoyo al proyecto de Normativa para Verificación de Motocicletas, el cuál sirvió para la realización de la presente Tesis.**

**Al Departamento de Termoeenergía de la Facultas de Ingeniería, y en especial al Dr. Francisco Solorio Ordáz, por su apoyo en la construcción del chasis del Banco de Pruebas de Motocicletas.**

**A Herramientas Quintana y en especial al Ing. José Quintana Solano, por el afán de apoyo a la investigación en México, a través del proyecto de Normativa de Verificación de Motocicletas con sus equipos analizadores.**

**A Motos de Trabajo por colaborar entusiastamente en éste proyecto de investigación y desarrollo con sus motocicletas.**

**A HONDA de México por colaborar entusiastamente y promover éste proyecto de investigación y desarrollo con sus motocicletas.**

**Al Dr. Rogelio Gonzalez Oropeza, con todo respeto y afecto a su fina persona, por su amistad, consejos y paciencia para la elaboración de ésta tesis, por lo que estoy muy agradecido.**

**A los Amigos del Laboratorio de Control de Emisiones, Antonio Galvan Zacarias, Alejandro Rojas Tapia, Porfirio Franco Sandoval, Luis Vidal Romero, Lauro Santiago Cruz, José Luis Ramirez Mellado, Jesus López Sanches, Alejandro Ibañes Arreola y Marco Antonio Sanches Rodrigues, que en su momento colaboraron con el desarrollo de esta tesis.**

**Al Dr. Juventino Santiago Ruiz, por sus aportaciones a lo largo del proyecto, que condujo a la presente Tesis de Maestría.**

**Con todo respeto y aprecio a todos los profesores de la DEPFI, que contribuyeron con mi formación de Maestría.**

**A los 8 tesisas de licenciatura que claudicaron, por aquello que en su momento aportaron en el proyecto.**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo de la beca recibida durante el estudio de Maestría.**

# ENSAYOS PRELIMINARES PARA HOMOLOGACIÓN DE MOTOCICLETAS DE 2 Y 4 TIEMPOS

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos.	1
1.2	Antecedentes.	2
1.3	Desarrollo.	3
1.4	Alcances.	4
<b>2</b>	<b>MOTORES DE 2 Y 4 TIEMPOS PARA MOTOCICLETAS.</b>	<b>5</b>
2.1	Reseña histórica de los motores.	5
2.2	Motores MEP de 2t y 4T.	6
2.2.1	Diagramas P-V .	7
2.2.2	Diagramas de distribución.	14
2.3	Motores de 2 tiempos.	17
2.3.1	Tipos de barrido.	18
2.3.2	Tipos de bombas de barrido.	20
2.3.3	Desempeño del cilindro.	22
2.4	Comparación de motores de 2 y 4 tiempos.	24
<b>3</b>	<b>BANCOS DE PRUEBA PARA MOTOCICLETAS.</b>	<b>26</b>
3.1	Tipos de Bancos para prueba de motocicletas y componentes.	26
3.1.1	Banco inercial.	26
3.1.2	Dinamómetro de chasis para motocicletas.	28
3.2	Tipos de ensayo.	30
3.2.1	Pruebas de emisiones.	30
3.2.2	Pruebas de durabilidad.	30
3.3	Comentario de los bancos de ensayos	31
<b>4</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS PARA MOTOCICLETAS.</b>	<b>32</b>
4.1	Descripción del banco de ensayos.	32
4.2	Planos de fabricación del banco de prueba.	35
4.2.1	Planos de fabricación.	35
4.3	Costo de fabricación del prototipo del banco de prueba.	36
4.4	Calibración del banco de prueba.	39
4.4.1	Principio de Funcionamiento.	40
4.4.2	Medidas y calibración del banco de prueba.	43
4.5	Prueba del banco con una motocicleta.	43
<b>5</b>	<b>EQUIPO DE MEDICIÓN.</b>	<b>46</b>
5.1	Analizador de gases.	46
5.1.1	Analizador infrarrojo no dispersivo (NIDR).	46
5.1.2	Detector de ionización de flama (para hidrocarburos FID).	48
5.1.3	Analizador quimioluminiscente (QL).	50

5.1.4	Analizadores de oxígeno.	51
5.1.4.1	Analizador Polarigráfico.	51
5.1.4.1	Analizador paramagnético.	52
5.1.5	Circuitos para Analizadores de gases.	53
5.2	Medidores de combustible.	54
5.2.1	Medidor gravimétrico.	54
5.2.2	Medidor volumétrico.	55
5.2.3	Medidor de orificio.	55
5.3	Medidores de aire (Caudalímetros).	56
5.3.1	Por velocidad promedio.	56
5.3.1.1	Tubo de Pitot (para flujo compresible).	57
5.3.1.2	Anemómetros de hilo y cinta caliente.	57
5.3.1.3	Transductores de velocidad a base de fuerzas de arrastre.	59
5.3.2	Medición mediante variación de presión.	59
5.4	Medidores de temperatura.	60
5.4.1	Termómetros resistivos.	60
5.4.2	Termopares.	61
5.4.3	Sensores comerciales de temperatura.	62
5.4.4	Sistemas de procesamiento de señales.	64
5.5	Medidores de presión.	64
5.5.1	Transductores de presión.	65
5.5.1.1	Fuelles.	65
5.5.1.2	Diafragmas.	65
5.5.2	Transductores eléctricos.	66
5.5.3	Medidores de presión comerciales	68
5.6	Medidores de par.	70
5.7	Medidores de potencia.	70
5.7.1	Freno hidráulico.	71
5.7.1	Dinamofreno.	72
5.7.3	Freno electromagnético.	72
5.8	Medidores de régimen de giro.	72
5.9	Medidores de humo.	74
5.9.1	Opacímetro de flujo completo.	74
5.9.2	Opacímetro del tipo de toma de Muestra.	75
5.9.3	Opacímetro de filtro.	75
5.9.4	Correlación de medición en estado estable.	76
<b>6</b>	<b>NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA CONTROL DE EMISIONES EN MOTOCICLETAS.</b>	<b>77</b>
6.1	Norma mexicanas para control de gases de la combustión.	77
6.1.1	NOM CCAT-012-ECOL-1993.	77
6.1.2	NOM CCAT-013-ECOL-1993.	78
6.2	Normas de USA. para control de gases producto de la combustión.	79
6.2.1	Subparte E.	79
6.2.2	Subparte F.	80
6.2.2.1	Respecto al dinamómetro.	80
6.2.2.2	Respecto al muestreo de gases.	80
6.2.2.3	Procedimiento de Pruebas.	80
6.2.2.4	Acondicionamiento del vehículo.	81

6.3	Normas de la ONU. para control de gases producto de la combustión.	82
6.3.1	Anexo 4: Ensayo de tipo I (control de emisiones en una zona urbana obstruida)	82
6.3.1.1	Ciclo de funcionamiento del banco.	83
6.3.1.2	Vehículo.	84
6.3.1.3	Banco dinamométrico.	84
6.3.1.4	Material de ensayo y análisis de gases.	84
6.3.1.5	Condiciones particulares de la ejecución del ciclo.	84
6.3.1.6	Análisis de los patrones contenidos en bolsa.	85
6.3.2	Anexo 5, Ensayo del tipo II (Control de la emisión de monóxido de carbono en régimen de ralentí.	86
6.4	Normas de la Comunidad Europea para control de gases producto de la combustión.	86
6.4.1	Anexo I (Disposiciones relativas a las medidas contra la contaminación).	86
6.4.1.1	Ensayo tipo I.	87
6.4.1.1.1	Ciclomotor y combustible.	88
6.4.1.1.2	Material de ensayo.	88
6.4.1.1.3	Preparación del ensayo y realización del mismo.	89
6.4.1.1.4	Forma de efectuar la toma de muestra y análisis.	91
6.4.1.2	Ensayo del tipo II (Control de emisiones de monóxido de carbono en régimen de ralentí).	91
6.4.1.2.1	Condiciones de medición.	91
6.4.1.2.2	Toma de muestra de los gases.	91
6.5	Cálculo de las emisiones de los gases contaminantes.	92
6.5.1	Cálculo de gases contaminantes en la normativa de USA.	93
6.5.2	Cálculo de gases contaminantes en la normativa de CE y ONU.	94
6.6	Comparación de las normas nacionales e internacionales para control de gases producto de la combustión.	96
<b>7</b>	<b>PROPUESTA DE NORMATIVA PARA MOTOCICLETAS.</b>	<b>98</b>
7.1	Norma para control de emisiones de gases producto de la combustión.	98
7.1.1	Definiciones.	98
7.1.2	Generalidades.	100
7.1.3	Especificaciones.	100
7.1.4	Comentarios a los apartados 7.1 a 7.3	101
7.2	Norma de procedimiento de prueba de emisiones de gases producto de la combustión.	102
7.2.1	Definiciones.	102
7.2.2	Generalidades.	102
7.2.3	Especificaciones.	102
7.2.3.1	Ciclo de funcionamiento del ciclomotor en el banco de ensayo	102
7.2.3.2	Respecto del ciclomotor.	103
7.2.3.3	Banco de ensayo.	104
7.2.3.4	Equipo de medición de gases.	104
7.2.3.5	Tolerancias.	104
7.2.3.6	Forma de realizar los ensayos.	105
7.2.3.7	Medición de Emisiones.	106
7.2.4	Comentario de los puntos 7.2 a 7.2.3.7	107
7.3	Ciclo de manejo propuesto.	109
7.4	Método propuesto para la obtención de los niveles permisibles.	109

<b>8</b>	<b>DESARROLLO PARALELO, RESULTADOS Y CONCLUSIONES.</b>	<b>111</b>
8.1	Desarrollo de un sistema de filtrado de emisiones en motores a dos tiempos.	111
8.2	Resultados.	112
8.2.1	Resultados de emisiones de CO.	113
8.2.2	Resultados de emisiones de CO <sub>2</sub> .	116
8.2.3	Resultados de emisiones de HC.	118
8.2.4	Resultados de emisiones de O <sub>2</sub> .	121
8.2.5	Resultados de par o potencia	123
8.3	Conclusiones.	124
8.4	Trabajo o investigaciones sugeridas a futuro.	125
8.4.1	Obtencion de los niveles permisibles indicados en la tabla 7.1	125
8.4.2	Medición de emisiones Sonoras.	126
8.4.3	Revisión al Ciclo de Manejo Expofeso para Motocicletas.	126
8.4.4	Estudio en los Sistemas de Admisión y Escape.	127
8.4.5	Desarrollo de filtro para emisiones de motor Diesel.	128
	<b>APENDICE</b>	<b>129</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA &amp; REFERENCIAS</b>	<b>132</b>



## **1. INTRODUCCIÓN**

Esta tesis ha sido desarrollada en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la División de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante los años 1995-1997. En su ejecución han colaborado decisivamente, a parte del propio director de la tesis, varios elementos del Laboratorio de Control de Emisiones, así como Profesores de la Universidad Politécnica de Valencia, quienes apoyaron con información a este proyecto.

El desarrollo de esta tesis se llevó a cabo primeramente recabando la información necesaria en fuentes nacionales y extranjeras, con el fin de analizarla y compararla en su caso con los trabajos previamente realizados a fin de realizar un banco de pruebas para motocicletas en donde se corra una prueba, para así después concluir con una propuesta de protocolo de normativa mexicana para el control de emisiones de gases de escape.

La intención de construir un banco de pruebas no sólo se restringe al control de emisiones sino también para posteriormente ser utilizado como una herramienta para la investigación y desarrollo en nuevos modelos, y modelos de producción de forma simple y con bajo costo.

Este trabajo dedica atención al estudio a los tipos de motores que usan las motocicletas, se hace referencia de los equipos comerciales para describir los bancos de prueba y su diseño básico, así como la descripción de los equipos de medición auxiliares que son empleados y de los que pudieran emplearse en futuras investigaciones, también se hace indispensable el análisis de las normas existentes a nivel mundial y una propuesta de normalización de emisiones de gases, de la que se generen conclusiones que puedan servir de base a futuras investigaciones, incluyendo recomendaciones en nuevos campos de investigación.

### **1.1. OBJETIVOS.**

El presente trabajo tiene por objetivo fundamental proponer un protocolo de Normativa Nacional para el Control de Emisiones Contaminantes, provenientes de las motocicletas de modelos recientes y de modelos anteriores, de 2 y 4 tiempos.

Se pretende aportar una propuesta de protocolo para normativa con las siguientes condiciones:

- Construir un banco de pruebas, en donde se puedan medir las prestaciones y el desempeño de las motocicletas de 2 ruedas.
- Buen control de emisiones de gases producto de la combustión en motocicletas de 2 y 4 tiempos, estableciendo la forma de obtener los niveles permisibles para las sustancias tóxicas que se emiten.
- Establecer los procedimientos de medición y el equipo de medición más adecuados, con el propósito de que con éstos se puedan establecer los límites de emisión de gases contaminantes, de forma que se puedan adoptar sin problema alguno, en verificentros y laboratorios para homologación, sin que se tenga pérdida de generalidad en las motocicletas que se encuentran en circulación.
- Simplicidad. El contenido de la norma debe ser claro, evitando confusiones tanto en la aplicación del control de emisiones, así como en la forma de aplicar el procedimiento de prueba. Dentro de este inciso cabe mencionar que el equipo de medición y el banco no solo son de fácil uso sino también seguros y durables.

## **1.2 ANTECEDENTES**

Desde hace tiempo el gobierno del D.F. ha implantado medidas para el control de emisiones de los gases producto de la combustión de los vehículos automotores, con la finalidad de bajar los índices de los contaminantes que se producen, de igual manera la F.I. crea un laboratorio para investigar métodos para reducir dichos contaminantes, actualmente la normativa que rige los niveles de emisión por parte de los vehículos, contemplan automóviles con ciclo Otto, camiones con ciclo diesel y que utilizan combustibles alternativos, y motocicletas con motores de 2 y 4 tiempos.

En lo que respecta a las motocicletas, se puede observar un cierto rezago en la normativa mexicana para motocicletas, pues los procedimientos de prueba y niveles de emisión resultan no ser los adecuados, los fabricantes extranjeros e importadores regularmente no prueban el vehículo sobre

un banco de rodillos cuando quieren homologar sus productos, y se amparan en las normas y pruebas realizadas en el lugar de origen.

Debido a esta situación, es de fundamental importancia para este trabajo la determinación experimental de los niveles permisibles de emisión de gases para las motocicletas de 2 y 4 tiempos, de manera que sean los más adecuados para la ciudad de México.

### **1.3 DESARROLLO**

Para lograr las condiciones del objetivo previsto se requiere fundamentalmente de:

-Realizar un análisis exhaustivo de las diversas normas para el control de emisiones contaminantes provenientes de motocicletas de 2 y 4 tiempos, que actualmente se encuentran en vigor en los Estados Unidos, la Comunidad Europea y Las Naciones Unidas.

- Incluir los elementos básicos de motores para motocicletas y equipos de medición para realizar el tipo de pruebas en las normas a proponer.

-Realizar investigación de los diversos tipos de servicios y equipos de prueba de motocicletas que existen en la actualidad.

-Llevar acabo la construcción de un banco de pruebas para motocicletas de acuerdo con el análisis de las normas anteriores y equipos de prueba que se utilizan en la actualidad. Dentro de los requisitos para este banco de pruebas se tiene: adaptabilidad para todo tipo de motocicleta de 2 ruedas, buena modulación que permita futuras modificaciones y ampliaciones, un sistema de adquisición de datos y que este equipo tenga el más bajo costo posible, dicho banco también debe cumplir con las normas internacionales.

-Obtener la mayor cantidad de datos técnicos de motocicletas de 2 y 4 tiempos, así como las pruebas que se realizan sobre dichos vehículos.

Una vez que se tenga construido el banco de pruebas, se procederá a calibrarlo, para realizar pruebas en la mayor cantidad de modelos posible, tomando algún ciclo de manejo para

motocicletas ya existente, para establecer así los niveles de emisión de contaminantes y ruidos. Establecer una trayectoria de trabajos e investigaciones en el banco de pruebas.

#### **1.4 ALCANCES**

Dentro de los alcances de esta tesis se tienen:

- 1- Crear un equipo de pruebas para motocicletas tan versátil como sea posible, con un costo accesible a cualquier taller.
  
- 2- Proponer un protocolo de normativa para el control de emisiones contaminantes acorde a las necesidades de la ciudad de México y áreas conurbadas.

## CAPÍTULO 2

### MOTORES DE 2 Y 4 TIEMPOS PARA MOTOCICLETAS

#### 2.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LOS MOTORES

El motor de dos tiempos fue inventado en Inglaterra por Sir Dugald Clerk en el siglo XIX. El primero que patentó un motor de este tipo, utilizando el cárter para dar presión a los gases de entrada al cilindro y controlar la apertura de las lumbreras de transferencia, admisión y escape por el movimiento del pistón, fue el inglés Joseph Day en 1891. Los primeros motores fueron construidos por Edward Butler en 1887 y por J. D. Roots en 1892, ambos por compresión en el cárter como el modelo patentado por Day, siendo utilizados para la propulsión de triciclos. Posteriormente Alfred Scott consiguió un considerable desarrollo con sus ingeniosos Flying Squirrel, utilizados en carreras todo terreno en el primer cuarto del siglo XX. Los motores de dos tiempos volvieron a recibir un nuevo impulso en los años treinta con los sobrealimentados DKW siendo esta empresa líder en el desarrollo de motores de dos tiempos<sup>[18]</sup>.

Tras la Segunda Guerra mundial los motores de dos tiempos dejaron de utilizarse en las competencias hasta 1959 con los motores MZ. Estos introducían cámaras de expansión en el escape y válvula de disco. Este sistema ha seguido en vigor prácticamente hasta nuestros días. El futuro de los motores de dos tiempos depende, en gran medida, del desarrollo de técnicas que permitan disminuir su efecto contaminante. El uso de los motores de dos tiempos en los automóviles comenzó en los años sesenta<sup>[18]</sup>.

Los motores diesel de dos tiempos han sido muy utilizados en camiones, locomotoras, grandes barcos y vehículos de uso militar, muy recientemente estos motores se han reducido para ser utilizados en pequeños aviones-robot espías, con el fin de que al no utilizar sistemas eléctricos para el encendido, dicho sistema no contamina con ondas electromagnéticas a la electrónica que realiza el espionaje. Por lo anterior no debe descartarse el hecho de que estos motores de dos tiempos diesel se lleguen a utilizar en motocicletas, por la economía del combustible y su bajo consumo específico de combustible, su alto rendimiento térmico y alta potencia específica<sup>[18]</sup>.

En la actualidad las investigaciones sobre motores de dos tiempos reciben gran impulso por las empresas automotrices, como Ford, General Motors, Chrysler, Mazda, Toyota, Honda y Subaru

pues gracias a la electrónica, los sistemas de control de combustible, combustión estratificada y dilución de los gases de escape hacen que este tipo de motor prometa ser bajo en emisiones de  $\text{NO}_x$ . Este tipo de motor sólo requeriría un catalizador de 2 vías (con platino y paladio) en vez de uno de tres vías (platino, paladio y rodio). Esto se logra mediante la inyección directa del combustible (Strich) que permite el barrido con puro aire, mejorando el sistema de renovación de la carga y el uso de cargas estratificadas<sub>[30]</sub>.

En lo que se refiere a los motores de 4 tiempos encendidos por chispa nos podemos remontar en su origen a Nicolás Otto en 1876, empezaron a construirse por simplicidad motores monocilíndricos, pero daban muchos problemas, después se observó que el arreglo bicilíndrico mejoraba, a continuación se observó una mejora cuando en vez de ser 2 cilindros eran 4, y de esta forma se fueron incrementando el número de cilindros hasta 16 (para Cadillacs en 1930), sin embargo el primer motor usado para una motocicleta fue hecho por Daimler y Maybach en 1885, este motor tenía una especie de válvulas deslizantes en su sistema de renovación de la mezcla fresca, la cámara de combustión tenía forma semiesférica<sub>[31] & [34]</sub>.

Con la intención de mejorar el desempeño del motor, la disposición de las cabezas (culatas) de cilindros se fabricaron en T, F, L e I (sopa alfabética de cabezas de cilindros), éstas fueron desplazando a sus predecesoras por la economía de fabricación, la última de éstas es la que se encuentra en uso. En cuanto a la disposición de los cilindros podemos encontrar a los motores, como monocilíndricos, policilíndricos en línea, en V, y la posición a  $180^\circ$  (Boxer de BMW en 1923), en un principio la refrigeración era comúnmente por aire y algunos fabricantes aun lo usan, pero los altos desempeños de los motores hicieron que muchos optaran por la refrigeración con agua en los 80's, así como el uso de 4 válvulas por cilindro en los 90's y un catalizador de 3 vías (sólo en BMW)<sub>[31] & [34]</sub>.

### 2.2 MOTORES MEP DE 2T Y 4T<sub>[21]</sub>

Los motores de combustión interna permiten obtener trabajo a partir de la energía térmica almacenada en un fluido a causa de un proceso de combustión. Cuando la transmisión de trabajo se efectúa mediante el desplazamiento lineal de un émbolo, el motor se denomina alternativo. La

## 2 MOTORES DE DOS Y CUATRO TIEMPOS PARA MOTOCICLETAS

evolución de fluido en este tipo de motores es: admisión del fluido en el cilindro, compresión del mismo, combustión, expansión y por último, expulsión de los productos quemados (escape).

El llenado y vaciado de los cilindros son las fases que llamamos proceso de renovación de la carga, la compresión, combustión y expansión integran lo que comúnmente se define como proceso termodinámico básico, que permite transformar el estado térmico generado en el proceso de combustión, en trabajo mecánico. Si bien, para el proceso de combustión no es necesaria una fase previa de compresión, ésta es muy importante para el rendimiento térmico del motor, pues mientras más alta sea la temperatura del fluido en el que se aporta calor por el proceso de combustión, se tendrá un estado termodinámico potencialmente más alto y consecuentemente, rendimiento más elevado.

En cuanto a la combustión, ésta se puede generar por encendido provocado (por chispa), presentándose un frente de flama una vez que se inicia la combustión. De encendido por compresión, mediante la auto-inflamación del combustible que es inyectado a elevadas presiones.

Para estudiar los motores de 2T y 4T en las motocicletas se han revisado los respectivos diagramas de distribución de dichos motores, así como sus respectivos diagramas PV (diagramas del indicador).

Un motor de dos tiempos simple se caracteriza fundamentalmente por que todos los procesos son controlados por el movimiento del pistón dentro del cilindro. El cárter actúa como bomba impulsora para introducir la carga fresca en el interior del cilindro y el lubricante va mezclado con el combustible.

### 2.2.1 Diagramas P-V

Como se mencionó anteriormente, el ciclo Otto estándar de aire de 4 tiempos, se desarrolla en 4 carreras, las cuales no coinciden con el ciclo termodinámico, por facilidad de estudio se comenzará el estudio en el PMS antes de la succión del aire.

Primera Carrera (admisión):

0 - 1 : El pistón desciende al PMI y aspira una mezcla de aire y combustible, en este momento la válvula de admisión está abierta y la válvula de escape cerrada.

La admisión se puede observar fácilmente en el diagrama de la figura 2.1. Cuando el pistón comienza la carrera de admisión, el espacio de compresión contiene gases residuales, estos gases se expanden a la presión de succión, después de esto, al retroceder el pistón comienza a fluir la nueva carga dentro del cilindro. La diferencia de presión es requerida para vencer la resistencia de la válvula de admisión, dicha resistencia se incrementa con la velocidad del motor o con los incrementos de velocidad del motor. La línea de succión no es una línea horizontal y el factor más importante es la presión en el punto 1.

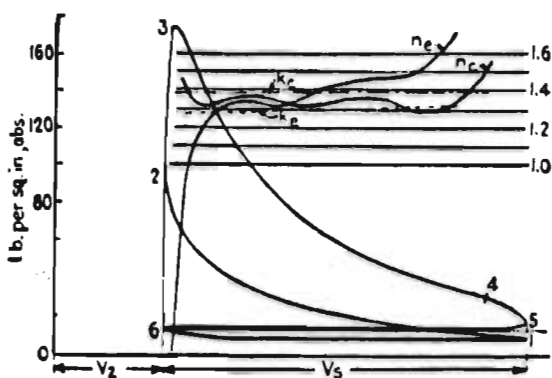


Fig 2.1: Diagrama indicador de un motor de 4T

La temperatura de los gases en el cilindro al final de la carrera de succión, es mayor que la temperatura ambiente. Los gases admitidos se mezclan con los residuos de la combustión incrementando la temperatura aun más y el contacto de los gases con el pistón y las paredes del cilindro elevan en otro tanto la temperatura. El área sombreada que se muestra en la figura 2.1 equivale a una potencia negativa, que es la requerida para el bombeo de los gases en la entrada y salida, esta potencia varía de 5 a 10 % de la potencia indicada, y se conoce como pérdidas por bombeo. La tabla 2.1 da algunos ejemplos indicativos para los motores actuales (con una válvula para admisión y otra para escape).



Segunda Carrera (compresión):

1 - 2 : Se cierra la válvula de admisión y permanece cerrada la válvula de escape, el pistón sube al PMS comprimiendo el aire isentrópicamente. La línea real de compresión no es adiabática pero si lo bastante semejante a una curva politrópica

TABLA 2.1

DATOS DE ADMISIÓN PARA MOTORES ENCENDIDOS POR CHISPA					
TIPO DE MOTOR	RELACIÓN DE COMP. $r$	PRESIÓN DE ADMISIÓN kPA	$\eta_{volumétrica}$	$\eta_{carga}$	$\eta_{carga} / \eta_{vol}$
Baja vel.	4.0 - 5.8	13.3 - 14.0	0.88 - 0.95	0.85 - 0.90	0.90 - 0.95
Vel. media	4.0 - 5.8	12.4 - 13.4	0.84 - 0.91	0.75 - 0.85	0.85 - 0.94
Baja vel.	6.0 - 8.5	13.3 - 14.0	0.91 - 0.96	0.84 - 0.89	0.88 - 0.93
Vel. media	6.0 - 8.5	12.4 - 13.5	0.87 - 0.92	0.72 - 0.84	0.82 - 0.91
Alta velocidad	6.0 - 8.5	11.5 - 13.0	0.83 - 0.89	0.60 - 0.79	0.76 - 0.89

El calor transmitido durante la carrera de compresión no es uniforme. Durante la primera parte de la compresión, parte del trabajo empleado en la compresión se fuga como calor por las paredes del cilindro al medio refrigerante por lo que la temperatura de los gases se incrementa lentamente. En forma gradual al igual que la superficie del cilindro en contacto con los gases decrece (ya que la carga es confinada a un espacio menor) la transmisión de calor también y es cuando la temperatura de la carga se incrementa rápidamente (en las inmediaciones del PMS). Los diagramas de indicador, muestran de acuerdo con la primera parte de la curva de compresión, un exponente  $n$  menor que  $k$ ; aproximadamente a la mitad de la compresión,  $n$  se aproxima a  $k$  pero posteriormente decrece de nuevo.

Para la mayoría de los cálculos,  $n$  se puede asumir como constante con un cierto valor promedio que depende de la forma de la cámara de combustión, la velocidad del motor, y el radio de compresión  $r$ . Los valores promedio de  $n$  varían entre 1.36 y 1.40, incrementándose con la velocidad del motor y disminuyendo con la relación de compresión  $r$ . En caso de tenerse una refrigeración deficiente, es decir, elevadas temperaturas en la pared de cilindro,  $n$  puede llegar a exceder el valor de 1.4, mostrando un incremento en la temperatura de la mezcla aire-combustible.

Las fugas a través de los anillos del pistón o de las válvulas de admisión, reducen la curva de compresión y aparentemente el valor de  $n$  previamente calculado. Las fricciones excesivas producen a su vez distorsión en el diagrama del indicador.

**2 - 3 :** Se agrega calor (combustión en forma instantánea a volumen constante) y sube la presión.

La combustión debe de efectuarse lo más rápidamente posible en un volumen constante y de esta manera, obtener el máximo trabajo útil. Dado que transcurre un periodo de tiempo entre la ignición y la máxima presión obtenida cerca del PMS, la ignición debe de ocurrir antes de que el pistón alcance dicho punto, una ignición muy temprana resultaría en la creación de trabajo negativo en la carrera de compresión. La combustión debe de estar acompañada de una gran turbulencia, si está no es suficiente o no es uniforme, como es frecuente en los motores a gasolina (menos frecuente en sistemas de inyección) harán que las curvas de los ciclos sucesivos, en el diagrama del indicador no se superpongan, es decir los ciclos de trabajo serán distintos. En este caso el avance de la chispa ayudará un poco. Véase que el diagrama del indicador puede servir para analizar el tiempo de encendido (por achatamiento en el diagrama, ver figura 2.2) y duración de la combustión, así como la homogeneidad de la mezcla.

Teniendo una combustión instantánea en el PMS obtendríamos una eficiencia ideal. Si ocurre una combustión después del PMS la relación de expansión será menor a la teórica y la eficiencia disminuirá, en caso contrario cuando se tiene un adelanto con una combustión instantánea, se tendrá una expansión que se opone a la compresión y una baja en la eficiencia. Como la combustión requiere de cierto tiempo, diferentes puntos de mezcla se quemaran a distintos tiempos, pero cualquier eficiencia será menor comparada con el caso de que toda la mezcla se quemara en el PMS. La combustión es lenta en un principio y toma el 75 % del total del tiempo de combustión el quemar la mitad de la mezcla.

Sí la combustión es lenta, se asumirá que la curva de combustión es una recta, línea inclinada 2-3 (ver figura 2.1), que en realidad es una línea politrópica con un exponente  $n$ , que puede ser encontrada del diagrama del indicador.

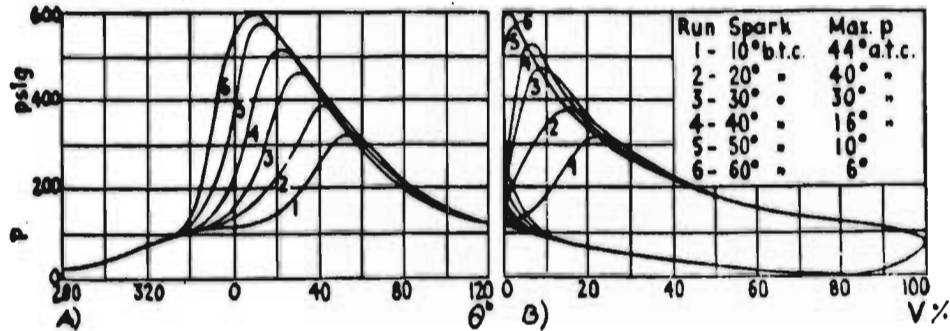


Fig 2.2a) Efecto del tiempo de la chispa en la presión máxima

2.2b) Efecto del tiempo en el diagrama del indicador

Tercera carrera (expansión o carrera de fuerza):

**3 - 4 :** El gas se expande isentrópicamente, descendiendo el pistón al PMI (única carrera que aporta trabajo en el ciclo). Las válvulas de admisión y escape están cerradas.

Esta curva tampoco es adiabática, y se aproxima a una curva politrópica. Como en el caso de la compresión, la transmisión de calor no es constante. Durante la primera parte de la esta carrera existe una considerable pérdida de calor por las camisas de agua lo que resulta en un exponente  $n$  mayor a  $k$ . De cualquier forma, en la mayoría de los motores, la combustión no es completada cuando el pistón se desplaza al PMI y la presión comienza a descender. Se presentará un post-quemado sobretodo cuando no exista la suficiente turbulencia, retardando la disminución de la temperatura, en esta parte también baja el valor de  $n$ , inclusive por debajo de 1 y siempre cercano a éste valor. Posteriormente se incrementa el valor de  $n$  y el valor promedio de toda la curva varía entre 1.30 y 1.39 con un valor medio de 1.34. Las fugas de gas a través de los anillos del pistón, y las válvulas incrementan en forma aparente el valor de  $n$  y la excesiva fricción en el pistón indicador distorsiona la curva.

**4 - 1 :** Primer periodo de escape. El proceso de escape de los gases quemados se puede dividir en dos periodos, se abre la válvula de descarga, baja la presión y se pierde calor a volumen constante.

Durante el primer periodo, los gases de escape bajo la influencia de la diferencia de presiones en el cilindro y en la salida a la atmósfera. Ésta comienza antes de que el pistón alcance el PMI con el propósito de obtener una presión de bombeo menor al iniciar el movimiento de retorno del pistón hacia el PMS. La apertura de la(s) válvula(s) de escape en el punto 4, figura 2.2, ocurre aproximadamente entre 10 y 20 % y en algunos motores de avión con supercargador arriba del 35 % antes del PMI. Éste periodo dura desde el punto de la apertura de válvula(s) de escape y hasta que el pistón ha recorrido aproximadamente la misma cantidad de esta carrera.

Generalmente, la apertura de válvula(s) de escape es hecha tempranamente con el incremento de la velocidad de rotación del motor. Durante este periodo, del 50 al 80 % de los gases de escapan del cilindro.

Cuarta carrera (llamada de escape)

**1 - 0** : Segundo periodo de escape. Con la válvula de escape abierta, el pistón se desplaza hacia el PMS para desalojar los gases por completo. Considerado como trabajo de bombeo.

Durante el segundo periodo, que dura el resto o al rededor del 90 % de la carrera de escape, los gases en equilibrio son empujados hacia afuera por el pistón, el cual se mueve hacia el PMS.

Todos los diagramas indicadores, tomados de distintos motores, tienen características similares. El diagrama de la figura 2.3 corresponde a un motor de gas natural, en este se observa que la liberación de los gases ocurre en  $a$  hasta el punto  $b$ ; el segundo periodo se extiende de  $b$  al final de la carrera. La línea  $a - b$  siempre tiene una doble curvatura, la primera parte es cóncava y la segunda es convexa a la línea de las abscisas. Durante el periodo  $a - b$ , la velocidad de los gases de escape es una función de dos variables: el área de apertura de la válvula de salida, que se incrementa gradualmente, y la diferencia de presión, la cual decrece.

El incremento de la presión del escape es indeseable, porque se incrementan las pérdidas por bombeo e inclusive incrementa la temperatura de las paredes de los cilindros, así decrece la eficiencia de la recarga en la carrera de admisión. Si además se cuenta con un tubo largo sin dobleces afilados, la inercia de la columna de gas, puestas en movimiento por el impacto de las

altas presiones y velocidades al momento de la apertura de la(s) válvula(s) pueden producir un vacío temporal en el cilindro.

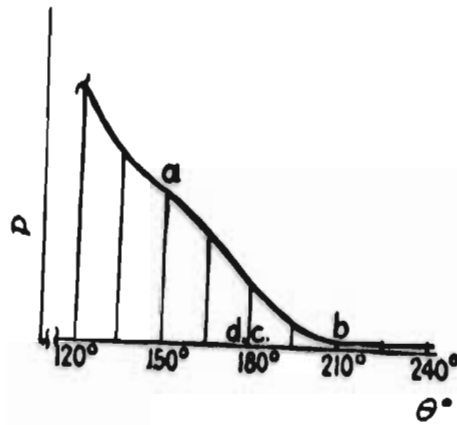


Fig 2.3 Curva de presión en el proceso de escape

Ahora se considera el ciclo para el motor de dos tiempos, este ciclo se resuelve en dos carreras del pistón, que equivalen a una vuelta del cigüeñal y como las etapas no coinciden con los tiempos. Por comodidad se empezará a explicar el ciclo cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS). (ver figura 2.4).

**8 - 1** : ignición instantánea provocada; transformación isométrica;  $V_c = \text{constante}$ ; suministro de calor.

Primera carrera.

**1 - 2** : expansión adiabática de gases;  $S = \text{constante}$ . El pistón realiza su fase de trabajo, la cual termina cuando se abre la válvula de admisión.

**2 - 3** : abatimiento instantáneo de presión y temperatura al descubrir el pistón la lumbrera de escape, transformación isométrica; pérdida de calor inevitable.

**3 - 4 - 5** : principio del escape de gases; transformación isobárica e isotérmica,  $P_a$  y  $T_a = \text{constantes}$ .

**4 - 5** : principio de la admisión de la mezcla aire combustible, las mismas condiciones del escape, puesto que se realizan simultáneamente.

Segunda carrera:

**5 - 6** : término de la admisión de mezcla bajo las mismas condiciones.

**5 - 6 - 7** : término del escape de gases bajo las mismas condiciones.

**7 - 8** : compresión adiabática de la mezcla,  $S = \text{constante}$ .

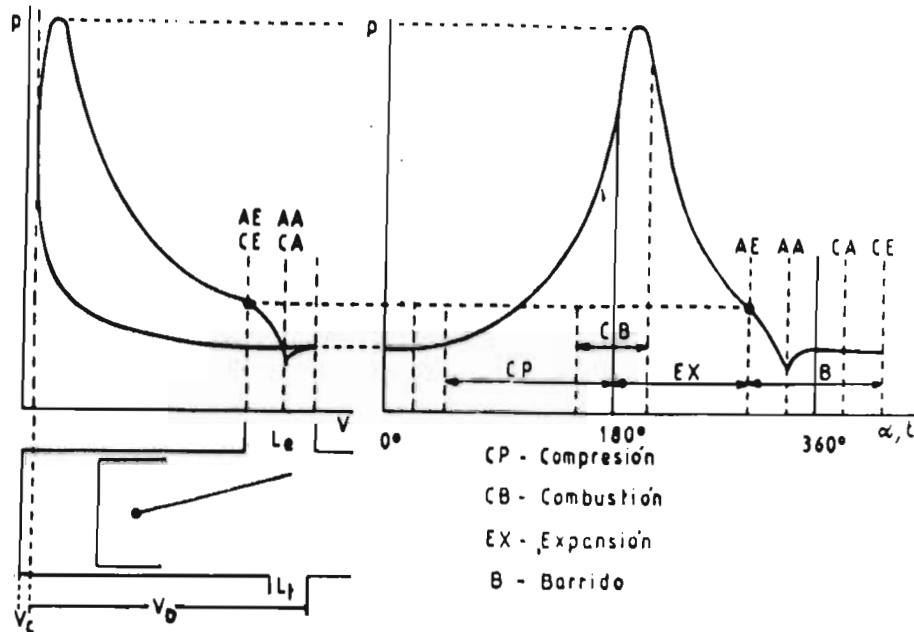


Fig 2.4: Proceso real del ciclo de dos tiempos

La figura 2.4 ilustra el diagrama P-V correspondiente al ciclo. Este ciclo se completa en dos carreras y por consiguiente tiene una carrera efectiva por cada vuelta del cigüeñal. Es fácil de comprender que a igual cilindrada y velocidad, un motor de dos tiempos tendrá casi el doble de potencia que uno de cuatro tiempos, el cual requiere de dos vueltas para completar su ciclo. La energía no se duplica exactamente, porque la expansión de los gases se ve limitada por la posición de la lumbrera de escape en el cilindro y no continúa hasta el PMI, como en un ciclo de cuatro tiempos. Además de otras imperfecciones.

### 2.2.2 Diagramas de Distribución<sup>[20]</sup>.

Este tipo de diagramas tiene como finalidad de mostrar los procesos de renovación de carga, compresión y expansión que ocurren en los ciclos de los motores de combustión alternativos. En dichos diagramas se indican:

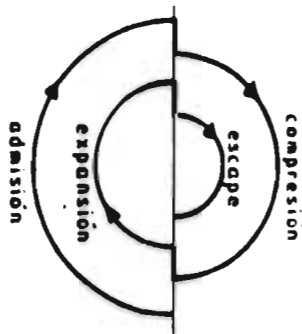
**AAA:** Avance de la apertura de la admisión.

**AAE:** Avance a la apertura de escape.

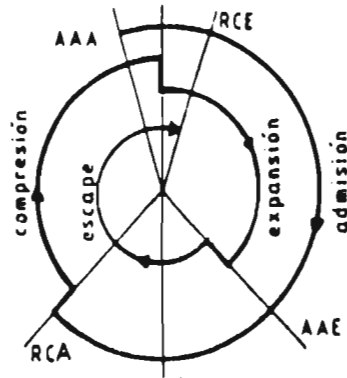
**RCA:** Retraso al cierre de la admisión.

**RCE:** Retraso al cierre del escape.

La figura 2.5a muestra un diagrama angular, en donde se muestra un ciclo Otto ideal de 4 tiempos, nótese como los puntos de apertura y cierre se superponen cada 180°. La figura 2.5b Representa el diagrama de distribución de un ciclo Otto de 4 tiempos real, en el cual se pueden observar los defasamientos de cierre y apertura de válvulas para el proceso de renovación de la carga, así como la duración de los procesos del ciclo en forma angular.

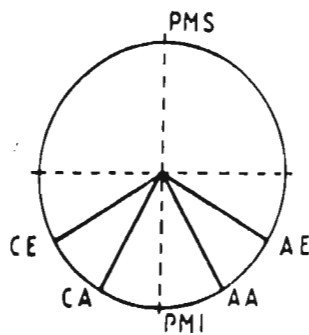


**Figura 2.5a)** Presenta un diagrama angular del ciclo Otto Teórico

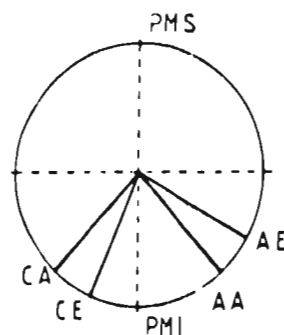


**Figura 2.5 b)** Presenta un diagrama angular del ciclo Otto real

La figura 2.6a muestra un diagrama angular para ciclo Otto de dos tiempos teórico. La figura 2.6b muestra un diagrama angular para ciclo Otto de dos tiempos real<sup>[20]</sup>.



**Figura 2.6a)** Diagrama angular simétrico para motor de 2 tiempos



**Figura 2.6b)** Diagrama angular asimétrico Para motores de 2 tiempos

## 2 MOTORES DE DOS Y CUATRO TIEMPOS PARA MOTOCICLETAS

En los diagramas angulares reales para ambos tipos de motores se nota el hecho de que se adelantan las aperturas y cierres de las válvulas y lumbreras. El objetivo primordial de que exista una apertura temprana y un cerrado tardío de las válvulas es reducir la resistencia al flujo en los puertos de entrada y salida de los puertos. La apertura de la válvula de admisión ocurre poco antes de que el pistón llegue al PMS pero el cerrado siempre se retarda para tener mayor velocidad en los gases de entrada y obtener una mayor carga en el cilindro. Para la descarga de los gases en la válvula de salida, las condiciones se invierten esta se cierra poco después de pasar el PMS, pero se abre antes de llegar al PMI para que se pueda reducir la presión en el cilindro lo más cercanamente a la presión atmosférica, antes que empiece la carrera de descarga. Los tiempos o ángulos de apertura apropiados dependen fundamentalmente de la velocidad del motor. Algunos diagramas típicos se muestran en las figuras 2.9 (motor lento) y 2.10 (motor rápido), para motores de ciclo Otto de 4 tiempos, también se anexa la tabla 2.2 que indica los rangos comunes para apertura de válvulas en los motores de 4 tiempos según su aplicación<sup>[21]</sup>.

TABLA 2.2

RANGO DE TIEMPO DE VALVULAS EN MOTORES DE 4 TIEMPOS						
MOTOR	ADMISIÓN			ESCAPE		
	ABRE	CIERRA	DURACIÓN	ABRE	CIERRA	DURACIÓN
Avión	35 a - 10 d	35 - 90 d	215 - 305	80 - 42 a	0 - 45 d	233 - 305
Automóvil	15 a - 15 d	35 - 70 d	215 - 261	65 - 38 a	5 - 30 d	225 - 285
Motocicleta	28 - 20 a	50 - 62 d	245 - 285	65 - 50 a	10 - 37 d	240 - 280
Estacionario de gas	20 a - 10 d	20 - 40 d	200 - 240	55 - 30 a	5 - 20 d	210 - 240
Diesel IA	30 a - 0	5 - 40 d	210 - 243	50 - 30a	0 - 20 d	210 - 240
Diesel SIA	20 - 8a	20 - 40 d	210 - 230	45 - 20 a	5 - 25 d	210 - 240
Diesel SIA alta vel.	20 - 10a	30 - 55 d	225 - 245	50 - 35a	10 - 25 d	225 - 250

IA: Inyección de aire

SIA: Sin inyección de aire

Degradados girados por el cigüeñal (a) antes (d) después del punto muerto

Los tiempos de apertura y cierre son importantes, pero aclaramos que es más importante la apertura de la válvula. La forma para determinar la mejor distribución es en forma experimental, esta depende fundamentalmente de la geometría de los conductos de admisión y escape.



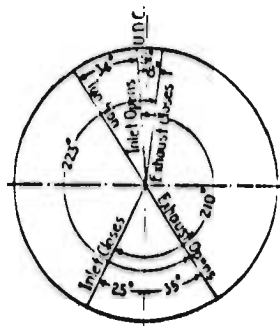


Fig 2.7: Diagrama angular de un motor lento

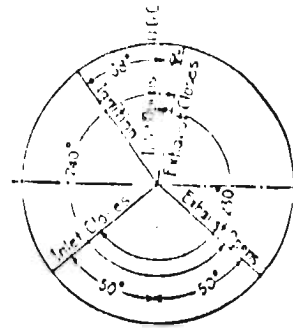


Fig 2.8: Diagrama angular de un motor rápido

### 2.3 MOTORES DE 2 TIEMPOS<sub>[18]</sub>

Los motores de dos tiempos varían en general en dos cosas, el método en que se produce el barrido (scavenge) del aire y el método de admisión dentro del cilindro del motor. De cualquier forma, prácticamente todos los motores tienen una característica en común, que tanto los gases de escape son descargados o la mezcla de barrido es admitida, o ambas operaciones son desarrolladas a través de puertos cubiertos por el pistón.

Para mezclar el combustible con el aire se emplean varios métodos; colocar un carburador en el conducto de admisión, suministrar el combustible en el conducto de admisión, suministrar el combustible en el cárter o en los conductos de transferencia y suministrar el combustible en el cilindro, antes o después del cierre de las lumbreras de escape.

Sobre el barrido podemos decir que es el periodo durante el cual los gases del cilindro, generados en la combustión, son reemplazados por la mezcla fresca. También se denomina periodo de renovación de la carga. El proceso comienza en el interior en el momento en que se abre la lumbrera de escape y termina cuando se cierra la última de ellas. Puede dividirse en dos periodos: el escape espontáneo y la transferencia de la carga.

A) *Escape espontáneo* : comienza cuando se abre la lumbrera de escape. Debido a que la presión en el cilindro es superior a la del conducto de escape los gases quemados salen espontáneamente.

B) *Transferencia de la carga fresca*: Se inicia en el instante en que se abre la lumbrera de transferencia. Para que el flujo de mezcla fresca entre al cilindro es necesario el uso de un elemento que aumente su presión.

Un diseño adecuado de los conductos de escape mejorara substancialmente las características de los motores de dos tiempos. Se hace necesario el determinar la posición adecuada de los cambios de sección y la magnitud a de estos para que las ondas de choque vuelvan en el momento preciso. En los motores de velocidad constante esto es bastante sencillo ya que las condiciones son fijas. Sin embargo en motores de velocidad variable resulta más complicado ya que el diseño ideal solo puede hacerse para una determinada velocidad, en estos casos lo mejor es un diseño flexible que permita un buen comportamiento en un amplio margen de velocidades.

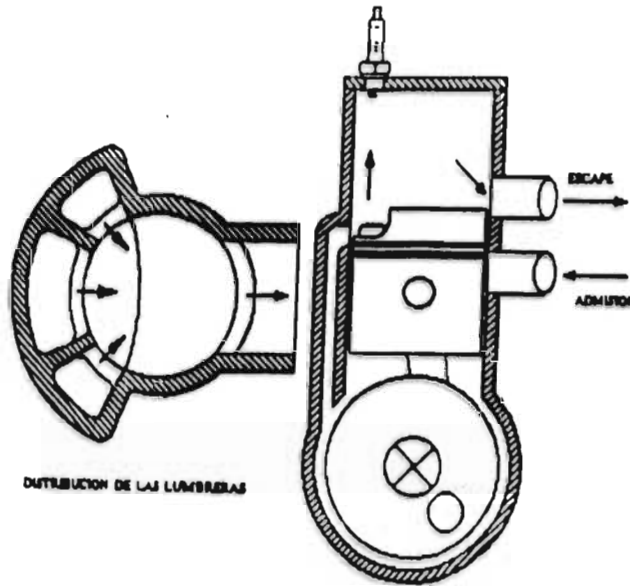
### 2.3.1-Tipos de barrido

Existen diversos tipos de barrido en función de la trayectoria que los gases describen en el interior del cilindro durante el proceso. Los más utilizados son los que se pasa a estudiar a continuación:

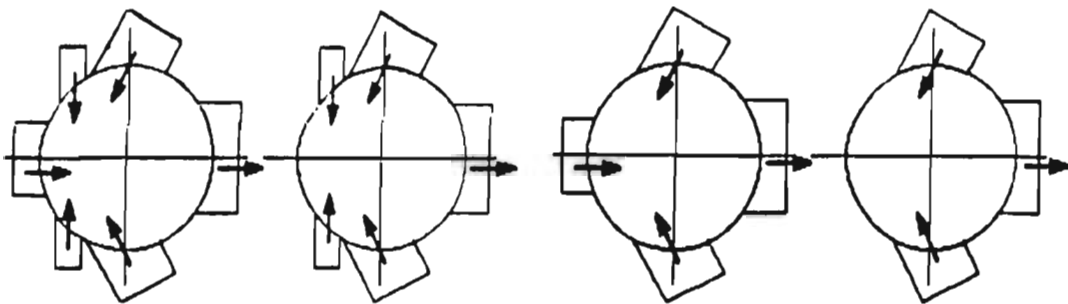
a) *Barrido transversal* : Las lumbreras de admisión y escape se encuentran enfrentadas en el cilindro, por ello es muy fácil que parte de la mezcla que entra circule directamente hacia la lumbrera de escape produciéndose un cortocircuito de carga fresca, para evitarlo se coloca un deflector en el pistón que obliga a la mezcla entrante a dirigirse hacia la cabeza del cilindro. Este método de barrido tiene buenas características para pequeñas aperturas de las lumbreras, lo cual se corresponde con bajas velocidades y pequeñas potencias, para aperturas de lumbrera más altas la eficiencia no es muy buena debido a que el llenado de la cámara de combustión es disperso y el deflector demasiado protuberante. El motor pierde potencia específica y aumenta el consumo. La figura 2.9 muestra el barrido transversal.

b) *barrido de lazo (debida a Schnurle)*: En este tipo de barrido el cilindro tiene dos o más lumbreras de admisión dirigidas hacia el lado contrario donde se encuentra la lumbrera de escape y un pistón liso. Anteriormente, las lumbreras de admisión estaban situadas justo debajo de la de escape. En este caso la corriente de aire que entra se dirige hacia la parte contraria del cilindro, donde no hay lumbreras, chocando contra la pared. Esto hace que tome una dirección ascendente y recorra gran parte del cilindro antes de alcanzar la lumbrera de escape. El modelo de Schnurle

consiste en colocar dos lumbreras de admisión simétricas respecto a la de escape, su mismo nivel y con el flujo orientado hacia el otro lado del cilindro. El Curtis aumenta el número de lumbreras de admisión. Con el pistón liso se tiene una cámara de combustión más pequeña lo que permite un proceso de combustión más rápido y eficiente. La Figura 2.10 muestra este tipo de barrido.



*Fig 2.9: Barrido transversal tipo QUB.*



*Fig 2.10 : Disposiciones de lumbreras en el barrido por lazo*

c) *Barrido uniflujo*: Consiste en ir introduciendo mezcla fresca por un extremo del cilindro e ir extrayendo los gases quemados por el otro, de modo que el flujo de barrido sigue una única dirección. Las lumbreras de admisión confieren a la carga que entra al cilindro un movimiento de giro que ayuda al desplazamiento de los gases quemados. Normalmente las lumbreras situadas en la parte baja del cilindro son de apertura por pistón y las de la parte alta llevan una válvula de plato, lo cual complica de forma importante el motor, es el tipo de barrido más eficiente, aunque en ocasiones la parte central del cilindro tiene problemas de renovación de la carga. Ver figura 2.11

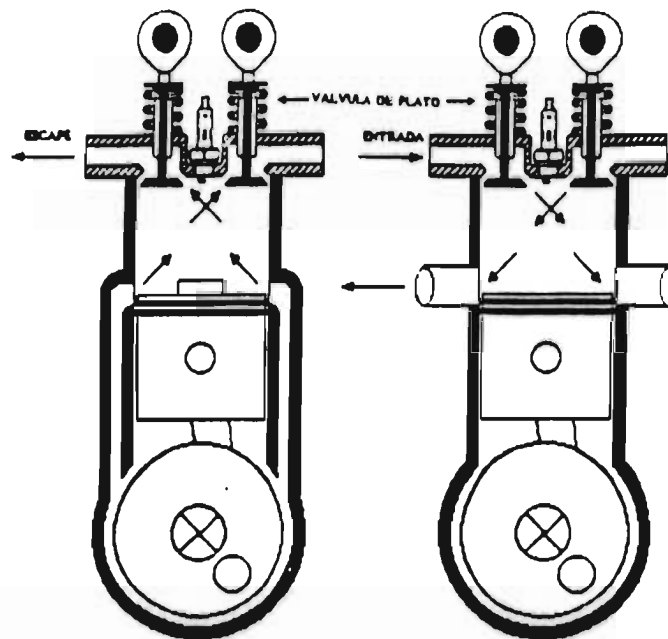
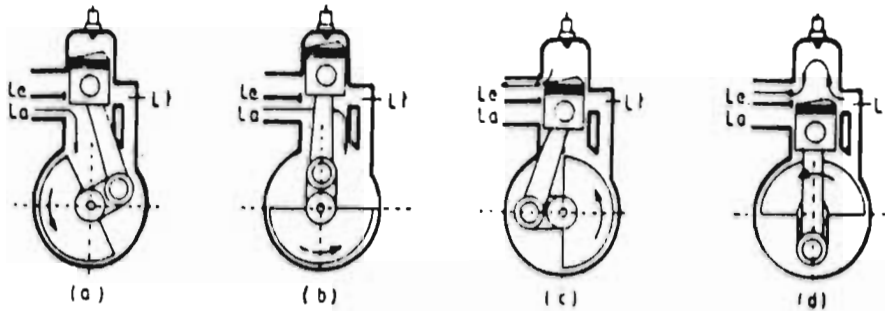


Fig 2.11: Barridos en uniflujo más comunes

### 2.3.2 Tipos de bombas de barrido

Se entiende por bomba de barrido al sistema que proporciona a los gases de entrada la presión necesaria para que desplacen a los gases quemados del interior del cilindro. En los motores de dos tiempos es necesario un elemento específico, a diferencia de los de cuatro tiempos en la que esta función la realiza el propio cilindro. Dependiendo del elemento a utilizar se tienen dos tipos de bombeo por cárter y con bomba auxiliar.

a) *Bombeo por cárter*: El funcionamiento de este elemento es muy sencillo. El movimiento alternativo del pistón provoca variaciones en su volumen produciendo la admisión y la compresión de la mezcla fresca. Ver figura 2.12<sub>[20]</sub>.

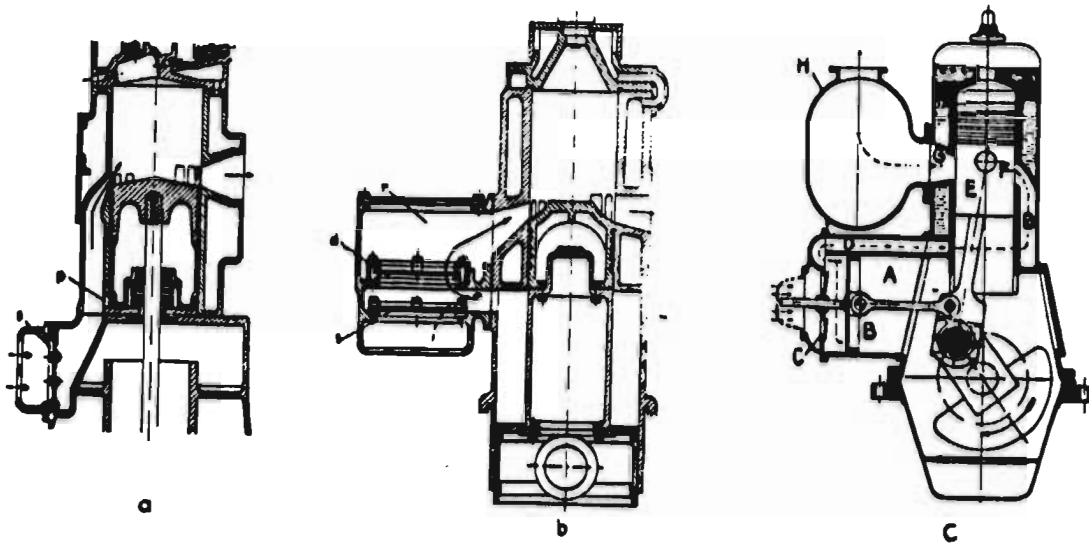


**Fig 2.12:** A) Admisión al cárter y compresión en cámara. B) Fin de admisión en el cárter y combustión en cámara. C) Expansión en cámara y compresión en cárter. D) Bombeo del cárter y barrido en la cámara.

La lubricación se realiza mezclando el lubricante con el combustible en proporciones que pueden variar entre 25:1 y 100:1. Es por tanto una lubricación a pérdida total que no necesita un sistema de engrase independiente. Este tipo de motor destaca ante todo por su sencillez y economía de construcción. Sus desventajas son la emisión de aceite, total o parcialmente inquemado, por el escape y la limitación en la presión de barrido. Para limitar el problema de las emisiones, algunos constructores de motocicletas o fuerabordas instalan una bomba de aceite independiente que disminuye el consumo de lubricante. Se ha conseguido que la relación entre el aceite consumido y el carburante sea 1:200 ó 1:300, que son los valores más próximos a los de los motores de 4 tiempos.

b) *Bombeo independiente*: Todos los motores grandes con encendido por compresión van equipados con una bomba de barrido independiente, lo que se busca aumentar la presión de barrido y reducir la pérdida de lubricante. Las opciones son la utilización de un compresor alternativo de dientes o un compresor centrífugo movidos desde el cigüeñal, o un turbocompresor. Ver figura 2.13<sub>[21]</sub>. Estos motores llevan un sistema de engrase independiente a presión que elimina las pérdidas de lubricante.

En el caso de la bomba movida a través del cigüeñal se tiene como ventaja que el barrido se da en exceso además de que se da en el momento apropiado para la renovación de la carga, aunque el motor es un poco más pesado y robusto la potencia específica aumenta.



*Fig 2.13: Bombeo independiente; A) Usando La espalda del pistón, B) Pistón diferencial, C) Pistón independiente.*

### 2.3.3 Desempeño del cilindro<sub>[18]</sub>.

a) *Compresión*: La línea de compresión no difiere de la de su similar de motores de cuatro tiempos. Desde que los puertos de salida o válvulas están cerradas como un 20 % después del PMI, las relaciones de compresión se reducen actualmente en esa misma proporción; de cualquier forma, la presión del cilindro al comienzo de la compresión es mayor a la presión de escape, en comparación al vacío que se forma en el motor de cuatro tiempos cuando se aspira lo que alluda considerablemente el efecto de la baja relación de compresión. Como resultado, la relación de compresión nominal, debe ser solamente entre 5 y 10 % mayor que en los motores de cuatro tiempos.

b) *Combustión y expansión*: Estos no difieren en casi nada de las que se presentan en los motores de cuatro tiempos.

c) *Escape*: El escape y el barrido se dan cuando el pistón se encuentra cercano al PMI, y solo una pequeña porción del trabajo de expansión se pierde por el hecho de que la liberación de los gases de escape ocurre por los  $60^\circ$  de el recorrido del cigüeñal antes del PMI y el periodo de escape ocupa cerca de un tercio de cada revolución. La presión de los gases en el momento de la liberación del escape es de unos 240 a 340 kPa. El periodo requerido para que la presión baje a la presión de escape (de unos 14 a 28 kPa) depende del área y la velocidad del motor y puede variar de  $15$  a  $25^\circ$ . Con estos datos se pueden calcular cerca del 50 % de los gases, en peso, que han escapado, y el descenso de la temperatura de los gases restantes, asumiendo una expansión adiabática, la densidad de los gases remanentes es mucho menor que aquellos de los gases barridos.

d) *Barrido*: Se supone que la mezcla recién admitida barrerá los remanentes de los gases quemados y llenarán el cilindro con una carga de mezcla pura. De cualquier forma siempre existirá, una cierta cantidad de gases quemados. Además siempre se tendrá una cierta cantidad de flujo de gases no quemados por cortocircuito del flujo de entrada.

Con la intención de contrarrestar este efecto y en particular con la intención de permitir la primera porción de mezcla que hace el barrido, se prevé un exceso de barrido de aire. La relación del desplazamiento de la bomba de barrido al desplazamiento del cilindro es usualmente de 1.4, y algunas veces de 1.6. Aun así la carga fresca renovada siempre contendrá de un 5 a 20 % de gases quemados, dependiendo del método de barrido, el tamaño y forma de los puertos de admisión (lunbreras y válvulas), y la presión de barrido.

Para mejorar el barrido se han desarrollado diversos dispositivos para el control del flujo en el cilindro; la apertura y cierre de las lunbreras en motores de 2 tiempos se realiza utilizando diversos sistemas, que a continuación se exponen todos ellos indicando sus características y uso más extendido.

- El primer sistema en comentarse es el control por pistón que fue el primero en usarse en los motores de 2 tiempos. El grado de apertura de la lunbrera depende de la posición del pistón, siendo el sistema más sencillo e incontrolable, la apertura de la lunbrera siempre es simétrica respecto al PMS. Esto limita el funcionamiento del motor en algunas fases.

- Las válvulas de plato se emplean comúnmente en los motores de 4 tiempos. Tienen un área efectiva inferior al área que ocupan, por ello es muy difícil el diseño adecuado de este tipo de válvulas para motores de dos tiempos en los que los requerimientos de llenado son mucho más estrictos que en los de 4 tiempos. Estos se suelen utilizar en los cilindros uniflujo para el control de las lumbreras situadas en la parte alta del cilindro.

- Las válvulas de disco, permite ángulos de apertura de la válvula de admisión independientes de la posición del cilindro, tiene la dificultad de adaptarse a los distintos regímenes de operación del motor.

- Las válvulas de lámina son muy utilizadas en motocicletas de competición. estas se abren cuando la presión en el cárter es inferior a la atmosférica y se cierran en caso contrario. Se adaptan automáticamente a los regímenes del motor sin necesidad de un sistema externo de guiado. Tiene problema a altas velocidades por la inercia de las láminas por lo que hay una pérdida de efectividad.

### 2.4 COMPARACIÓN DE MOTORES DE 2 Y CUATRO TIEMPOS

De las discusiones anteriores es obvio que los dos motores anteriores no difieren mucho termodinámicamente, la diferencia es puramente mecánica.

Las ventajas del motor de dos tiempos en teoría son:

La mitad de desplazamiento del pistón para una misma potencia, dando por resultado un motor de la mitad de peso aproximadamente y más barato, el volante de inercia también sería de la mitad para la misma uniformidad de rotación por el doble del número de vueltas de trabajo efectivo, y un sistema de sobrecarga se puede instalar de forma más fácil. De cualquier forma el desempeño de los motores actuales de 2 tiempos no es siempre tan satisfactorio como se esperaría. La mayor dificultad se presenta en obtener un buen barrido, a menos de que se use una gran cantidad de barrido de aire. Un pobre barrido representa una reducción en la cantidad de oxígeno en la carga, y consecuentemente de la cantidad de combustible que puede ser quemado, esto trae como resultado el que la  $p_{me}$  sea menor de lo esperada. El barrido con bombeo del cigüeñal siempre será más baja en que los motores de cuatro tiempos.



Existen otras dificultades, particularmente con respecto a la construcción de motores de dos tiempos de alta velocidad y pequeño calibre. Parece que únicamente las cámaras abiertas son aplicables para los motores de dos tiempos, esto no es muy deseable pues por esto mismo no tienen una operación silenciosa y suave. El pistón tiene el problema de no tener buen enfriamiento, resuélvese que en el motor de 4T existe una carrera en donde no hay combustión. El peligro del sobrecalentamiento del pistón y otras partes limitan la potencia máxima del motor de dos tiempos.

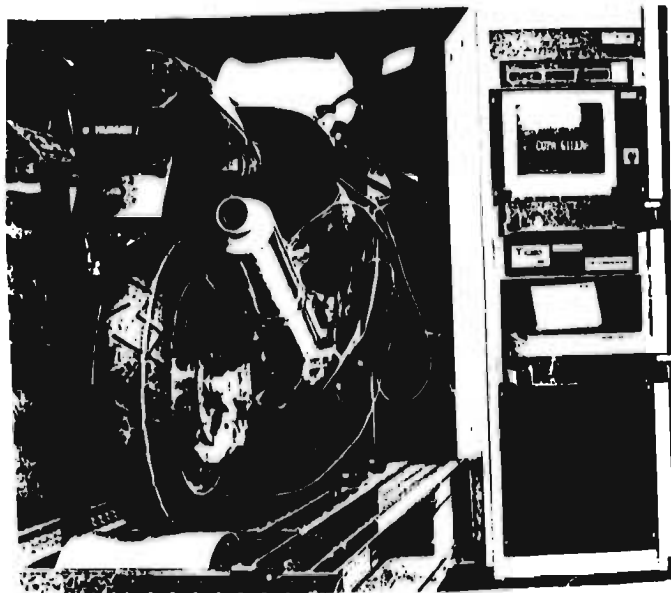
En general, los motores de dos tiempos se construyen como motores de compresión. En general los motores de 745.699 kW y mayores se construyen de cuatro cilindros, en este rango los motores de dos tiempos compiten en forma exitosa con los motores de cuatro tiempos.

## CAPÍTULO 3

### BANCOS DE PRUEBA

#### 3.1 TIPOS DE BANCO PARA PRUEBA DE MOTOCICLETAS Y COMPONENTES

En la actualidad existe una gran variedad de bancos de prueba para motocicletas, de diversos fabricantes, como los que se muestran en las figuras [23] 3.1 y 3.2, algunos de estos modelos son bastante comerciales, compactos, portátiles, mientras que otros son estacionarios, estos últimos muy utilizados para trabajo pesado, pues el hecho de estar perfectamente fijos les permite absorber cualquier tipo de vibraciones, resultando de muy bajo costo y con mayor seguridad. Estos se adaptan a las necesidades y las posibilidades económicas de los usuarios, cabe mencionar que estos instrumentos algunas veces son utilizados para dar apariencia de seriedad, en talleres y centros de verificación. A continuación se presentaran algunos bancos de prueba para motocicletas de los más populares.



*Figura 3.1 banco de prueba Inercial Tecner*

**3.1.1 Banco inercial :** Este tipo de banco resulta ser de los más económicos pues no cuenta con algún tipo de freno disipador de potencia, puede ser estacionario o portátil y contar con rodillo ó cople para la transmisión de la motocicleta. En general son de manejo sencillo y pueden ser

operados por una sola persona, la motocicleta se fija al banco en la rueda delantera, además de contar con los siguientes aditamentos:

- Actuadores electromagnéticos para posicionar la motocicleta.
- consola de mando de control y obtención de resultados desde la propia motocicleta.
- Posibilidad de probar directamente el motor.
- Sondas de temperatura (con capacidad de hasta 1000 °C).
- Medida directa de velocidad por captador magnético.
- Medida directa de régimen del motor por captador inductivo.
- Pantallas digitales de régimen de velocidad.
- Computadora con procesadores 386 a 586 con amplia capacidad de memoria
- Impresoras

Este equipo permite la obtención de datos en forma precisa, de velocidad, aceleración, potencia en la rueda, potencia del motor, pérdidas de la transmisión, par motor, empuje en la rueda, recuperación inmediata de cualquier ensayo realizado con anterioridad. La mayoría de estos equipos se fabrican en módulos, lo que permite la incorporación de aditamentos extra.

Este tipo de bancos se utiliza para medir la potencia del motor en forma indirecta como lo indican algunas normas internacionales , este método consiste en :

- Medir la variación de velocidad de rotación del rodillo en que se posiciona la motocicleta.
- Enganchar al rodillo la masa de inercia equivalente, tomando en cuenta la masa del rodillo.
- Poner a funcionar el vehículo a una velocidad de 50 km/h en un intervalo de tiempo.
- Calcular la potencia absorbida.
- Acelerar el vehículo a 60 km/h.
- Medir el tiempo en que el vehículo se desacelera de 55 km/h a 44 km/h

La potencia absorbida se calculará como :

$$P = m (V_1^2 - V_2^2)/2000t \quad (3.1)$$

donde P es la potencia, m es la inercia equivalente en kg,  $V_1$  y  $V_2$  son la velocidad inicial y final, y t el intervalo de tiempo entre esas velocidades, 2000 es una constante (ver obtención en 4.4.1)<sub>[4]</sub>.

**3.1.2 Dinamómetro de chasis para motocicletas:** Este tipo de banco tiene la virtud de ser el método más fiable para reproducir las condiciones de marcha de un vehículo en carretera, evitando riesgos, en forma un tanto objetiva y al margen de factores de riesgo. Regularmente estos bancos se fabrican a partir de bancos inerciales, además de presentar las siguientes prestaciones:

- Simulación de carga real mediante dinamómetro de absorción balanceado. Reproducción de cualquier condición de marcha.
- Lectura directa y precisa de par, potencia, velocidad, régimen de giro, empuje y en general del estado del vehículo.
- Posibilidad de estabilizar el vehículo a cualquier régimen para evaluación de parámetros deseados.
- Obtención exacta de curvas de diseño, investigación, homologación, desarrollo de nuevos productos o modificaciones importantes.



*Figura 3.2 Banco Dinamométrico*

Gracias a la posibilidad de reproducir condiciones reales y poder estabilizar al motor con carga, ayudado por la instrumentación adecuada, incluyendo instrumental del banco inercial además de otros implementos más sofisticados, es posible obtener información y resultados impensables, en conjunto con ensayos en vacío, como lo son:

- Lectura de curvas características.
- Velocidad máxima.

- Reglaje y optimización de carburadores y encendidos.
- Medida de consumo
- Emisiones de gases contaminantes
- Opacidad.
- Soplado del Cáster (blow-by)
- Temperatura en bujías, escape, etc.
- Vibraciones.
- Optimización de escapes.
- Simulación de conducción y desarrollo de ciclos urbanos.
- Comportamiento del embrague.
- Fugas a elevadas sollicitaciones
- etc.

Las características técnicas varían dependiendo del fabricante y sus modelos, regularmente las potencias máximas a medir se encuentran entre 200 y 250 kW. con velocidades máximas de 300 Km/h, Variando el diámetro del rodillo de 250 a 400 mm, siendo este último el mínimo exigido por la EPA, debido a que se evitan las pérdidas generadas por la deformación del neumático contra el rodillo. Anteriormente los dinamómetros de este tipo se fabricaban con 2 rodillos, sin embargo por las exigencias de las normas, se han popularizado aquellos que cuentan con un solo rodillo, resistiendo un peso por eje de 500 kg, el cual puede estar conectado a inercias y freno, a un freno que simule inercias o más aun, el propio freno ser el rodillo el cual simula las inercias con ayuda de campos magnéticos.

El freno de este tipo de banco puede ser hidráulico, pero generalmente es eléctrico. Adicionalmente el equipo cuenta con medidores de temperatura, extensómetros, instrumentación digital, y las dimensiones varían según la capacidad del equipo, el largo (sin rampa de acceso) varía entre 1.6 y 2 m, un ancho de 1 m y una altura de unos 0.4 a 0.5 de metro. El control de carga del freno puede ser manual o automático. Se hace necesario un sistema de refrigeración adicional para la motocicleta el cual pueda simular el flujo de viento que incide según la velocidad, además de que este se encuentre en una cabina insonora.

### 3.2 TIPOS DE ENSAYO

Los ensayos o pruebas que se realizan con estos tipos de bancos son muy variados, y esencialmente dependen de los fines que persiga el usuario, y de la instrumentación extensiva del laboratorio, aunque en general se presentan los siguientes tipos de prueba.

**3.2.1 Pruebas de emisiones:** En este tipo de pruebas se miden los contenidos de contaminantes en los gases de escape, en ppm o porciento en volumen. La muestra es enfriada para eliminar elementos que contaminen los instrumentos. Dado que los ciclos de prueba cuentan con transitorios, se hace necesario diluir las emisiones del escape con una cantidad controlada de aire, el cual es posteriormente almacenado en bolsas. Para este tipo de prueba se deben tener esencialmente los siguientes instrumentos:

- Dinamómetro de chasis con rodillo de 400 mm para motocicletas, capacidad de absorción de 200 KW y velocidad máxima de 300 km/h.
- Unidad de muestreo a volumen constante (CVS).
- Unidad de análisis y dilución de muestras de emisiones.
- Sistemas de análisis de emisiones para gases de comparación, equipados con líneas especialmente calentadas para análisis de hidrocarburos.
- Area de temperatura y humedad controlada
- Cámara de medición de emisiones evaporativas.
- Herramientas en general.

**3.2.2 Pruebas de durabilidad :** Este tipo de pruebas tiene como finalidad estudiar el comportamiento mecánico de las partes del motor y transmisión, así como su resistencia al desgaste, por lo mismo estas pruebas, son ideales para analizar y mejorar lubricantes, combustibles, y materiales de fabricación de las partes mecánicas. Para este caso los instrumentos requeridos son:

- Dinamómetro de chasis con rodillo de 400 mm para motocicletas, capacidad de absorción de 200 KW y velocidad máxima de 300 km/h.
- Robot para manejo, con acumulación de kilometraje.
- Inercias mecánicas de 70 a 900 kg
- Control por computadora
- Adquisición de datos automáticos.

### 3 BANCOS DE PRUEBA PARA MOTOCICLETAS

- Ventilador de velocidad variable.
- Area de temperatura y humedad controlada
- Cámara de medición de emisiones evaporativas.
- Herramientas en general.

#### 3.3 COMENTARIO DE LOS BANCOS DE ENSAYOS

Es importante hacer notar en éste capítulo, que prácticamente no se cuenta con alguna información bibliográfica referente a los bancos de ensayo para motocicletas, salvo los manuales de operación y la propaganda de los fabricantes, de lo cual se han comentado algunas de sus características, sin embargo la mayoría de los bancos de ensayos que existen en la actualidad son sistemas “cerrados” que no permiten observar tan fácilmente su constitución física, lo mismo que sus controladores, y programas de operación, lo que dificulta el desarrollo de éste equipo.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS PARA MOTOCICLETAS**

De acuerdo a lo comentado en el último apartado del capítulo 3, el desarrollo de este equipo representa un reto, pues en México no se cuenta con algún desarrollo de este tipo, lo que dificulta la labor y al mismo tiempo, es un incentivo para alcanzar los objetivos planteados.

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

En el diseño del banco de pruebas se plantearon las siguientes prioridades según su importancia:

1. Seguridad en el ensayo.
2. Versatilidad de desempeño
3. Fiabilidad
4. Costo

Cumplir con la primera de las prioridades, representó diseñar una estructura suficientemente fuerte, para soportar una motocicleta y su ocupante con un peso total de mas de 500 kg. El banco cuenta además con elementos niveladores y absorbedores de vibraciones (8 tornillos de 3/4") con superficie de contacto antiderrapante para el momento de efectuar la prueba, un sistema de fijación de la motocicleta por medio de la rueda delantera mediante mordazas especialmente diseñadas. Dichas mordazas cuentan con superficie de contacto especial para prensar el neumático y el rin, sin que este último se dañe y tienen tres frentes de contacto con la rueda además, todas las soldaduras en el banco de ensayo son de doble chafán. Cabe notar que el propio peso del banco simula una cimentación del mismo.

La versatilidad del banco se puede observar claramente en su construcción por módulos, los cuales permiten incrementar la capacidad de aplicación del banco, pues facilita su transportación y almacenamiento cuando éste no se utiliza y está pensado ergonómicamente para las labores que se efectuarán en él. Ver las figuras 4.1 a 4.6.

El módulo central permite acoplar el rodillo (de 0.4 m de diámetro diámetro mínimo requerido por la normativa internacional) con gran facilidad a bancos de inercias, frenos, etc. También cuenta



con soporte para dos baterías, un motor de arranque y otro de arrastre junto con un volante de inercia con cremallera en la periferia. Este módulo está pensado para facilitar el reemplazo de: rodillo, motor de arranque, baterías y cualquier tipo de sensor, así como para su mantenimiento. Éste módulo cuenta con dos ganchos de propósito múltiple, para movilización del módulo y para fijación de la motocicleta.

La plataforma donde se fija la motocicleta, cuenta con dos rieles que permiten desplazar las mordazas según el tamaño de la motocicleta, las dimensiones de la plataforma permiten probar motocicletas de cualquier tamaño comercial, tanto en peso como en longitud. La altura y ancho de la plataforma permiten un fácil acceso al motor en una posición descansada, además cuenta con seis ganchos para asegurar el vehículo al banco mediante tensores, ajustables a cualquier tipo de motocicleta. Cabe mencionar que tanto la plataforma de fijación como el módulo de absorción de potencia cuentan con 4 tornillos niveladores, cada uno tiene la propiedad de absorber las vibraciones generadas, dichos tornillos tienen una capacidad de carga de 140 kg c/u (560 kg de capacidad de carga del módulo de potencia, más 560 kg de capacidad de carga en el módulo para fijación de la motocicleta). Además cada uno de estos módulos cuentan con 4 ruedas, con una capacidad de carga de 160 kg c/u, para facilitar su desplazamiento dentro y fuera del laboratorio.

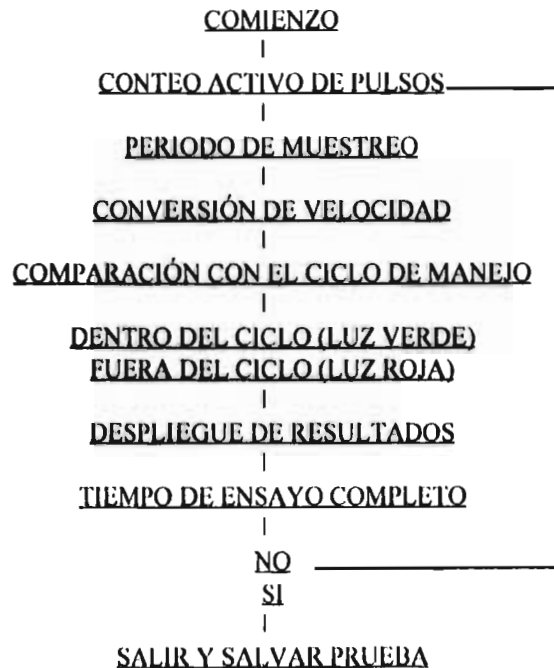
La rampa de acceso tiene la longitud suficiente para subir con poco esfuerzo a la motocicleta que se ensayará y evitar que alguna parte de la misma tenga contacto con cualquier dispositivo del banco de prueba. La rampa cuenta con ruedas propias (4 en total) de manera que también faciliten su transportación, estas ruedas también tienen una capacidad de carga de 160 kg c/u.

La fiabilidad del banco está supeditada al sistema electrónico de medición, el cual cuenta con un sensor óptico que lanza una señal luminosa que es reflejada por calcomanías con acabado a espejo para, en seguida, ser recibida y analizada por un sistema de computo. Las calcomanías se encuentran equidistantemente espaciadas y la cantidad máxima de estas, depende de la velocidad máxima de la motocicleta y del diámetro exterior del rodillo; en nuestro caso estimamos una velocidad máxima de 250 km/h, instalándose un total de 15 calcomanías.

El sistema de adquisición de datos con el que se cuenta, no puede desarrollarse en un ámbito distinto del resto del banco, es decir si deseamos hacer crecer la capacidad del banco para evitar la

obsolescencia, entonces el sistema de computo también deberá crecer con el conjunto, sin que deba de reemplazarse por obsolescencia o falta de capacidad. La solución a este problema se dio con ayuda de un lenguaje de programación de alto nivel (cuarta generación) y su equipo electrónico correspondiente, éste equipo es mejor conocido en el mercado con el nombre de lab-view<sub>127</sub>; a diferencia del software comercial (C y basic) en donde se utiliza un lenguaje de programación, este software utiliza imágenes en ambiente Windows (iconos), por lo que la programación se considera gráfica, siguiendo algoritmos sumamente sencillos (ver diagramas 4.1 y 4.2), este lenguaje tiene una gran cantidad de funciones y subrutinas que permiten la adquisición de datos en forma sumamente eficaz, también cuenta con la instrumentación serial (virtual), capaz de realizar control, análisis de datos, presentación de datos y almacenamiento de los mismos. El software recibe instrucciones de un diagrama de bloque que se ha construido y que se presenta en un panel frontal el cual simula un instrumento o varios a la vez, permitiendo la interacción entre ellos.

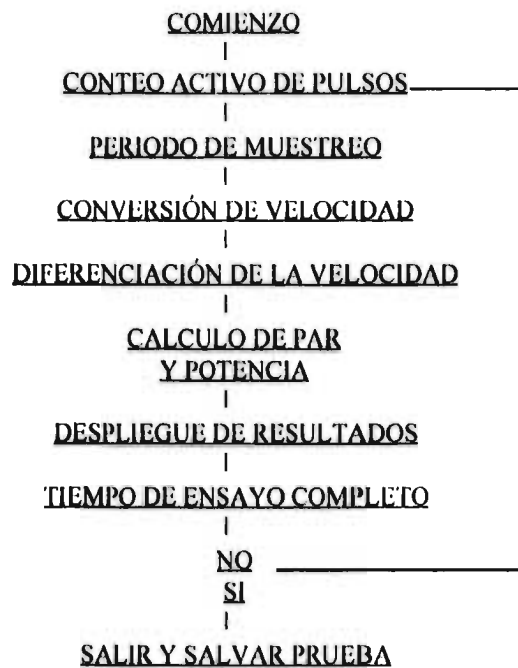
**DIAGRAMA 4.1: ALGORITMO PARA PROGRAMA DE CICLO DE MANEJO EN ENSAYOS DE EMISIONES**



La otra parte del sistema es una tarjeta electrónica que se coloca en la computadora, esta tarjeta recibe el nombre comercial de Lab-PC+, está tarjeta es de bajo costo (considerando a los

instrumentos convencionales), multifuncional (análoga-digital) y mide el tiempo, tiene una aproximación sucesiva de 12 bits ADC, con 8 entradas analógicas, que pueden desembocar en 4 canales, también contiene DACS de 12 bits con salida de voltaje, 24 líneas de TTL (para 12 sensores) y 6 canales (timers/contadores) de 16 bits para tiempo. Lo anterior hace a esta tarjeta ideal para las mediciones en laboratorio.

**DIAGRAMA 2: ALGORITMO PARA PROGRAMA DE ENSAYO DE POTENCIA**



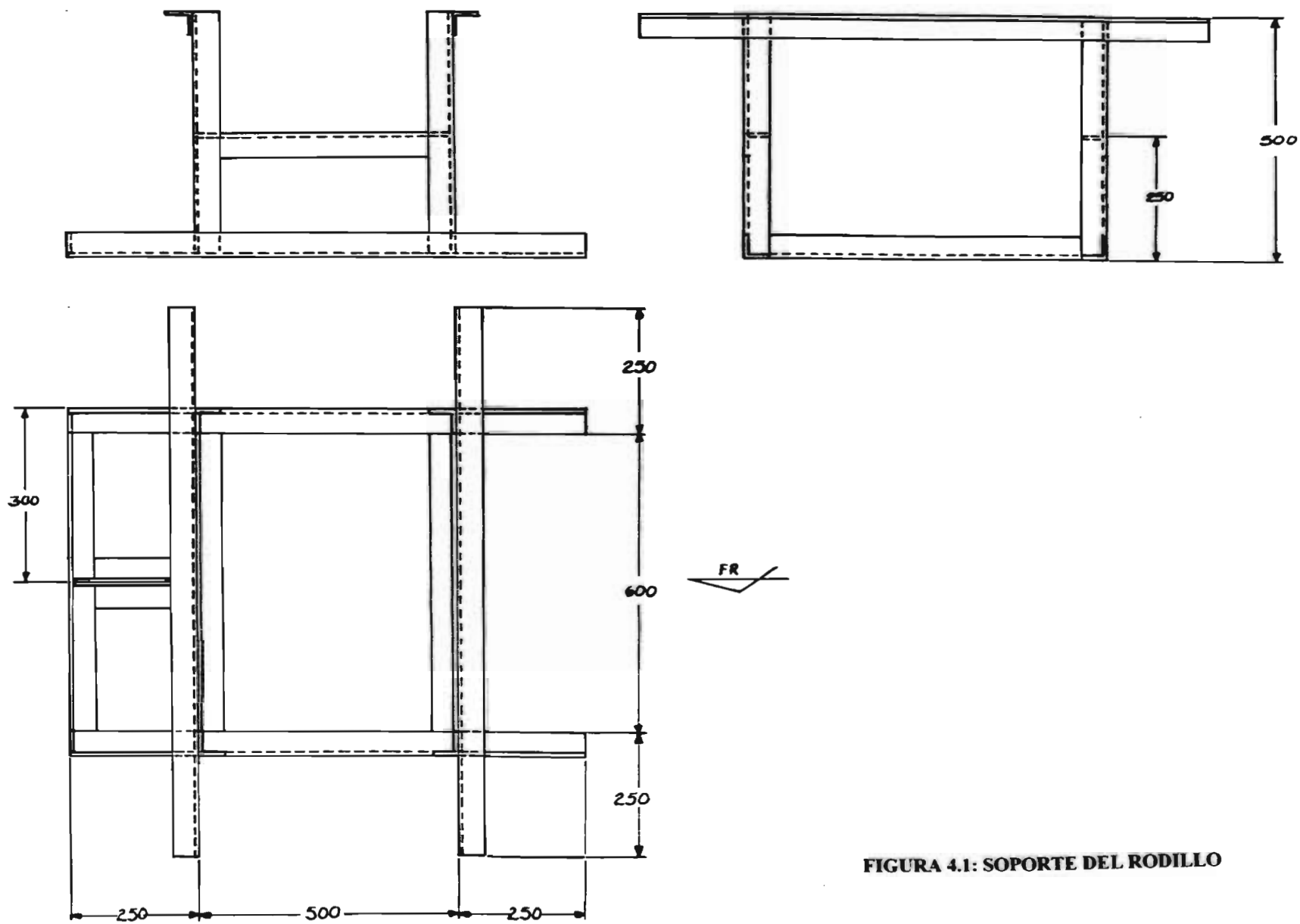
#### 4.2 - PLANOS DE FABRICACIÓN DEL BANCO DE PRUEBA.

4.2.1 Planos de fabricación: se presentan en las figuras 4.1 a 4.6.

- Soporte del rodillo, figura 4.1, escala 1:7.5.
- Rodillo, figura 4.2, escala 1:4.
- Plataforma del soporte del rodillo, figura 4.3, escala 1:5.
- Plataforma de fijación de rueda delantera de la motocicleta, figura 4.4, escala 1:8.
- Mordazas para fijación de rueda delantera de la motocicleta, figura 4.5, escala 1:6.
- Plataforma de acceso, figura 4.6, escala 1:8.

**Notas generales:** Las siguientes notas son válidas para los planos listados en el punto 4.2.1.

- Todas las dimensiones longitudinales están dadas en mm.



**FIGURA 4.1: SOPORTE DEL RODILLO**

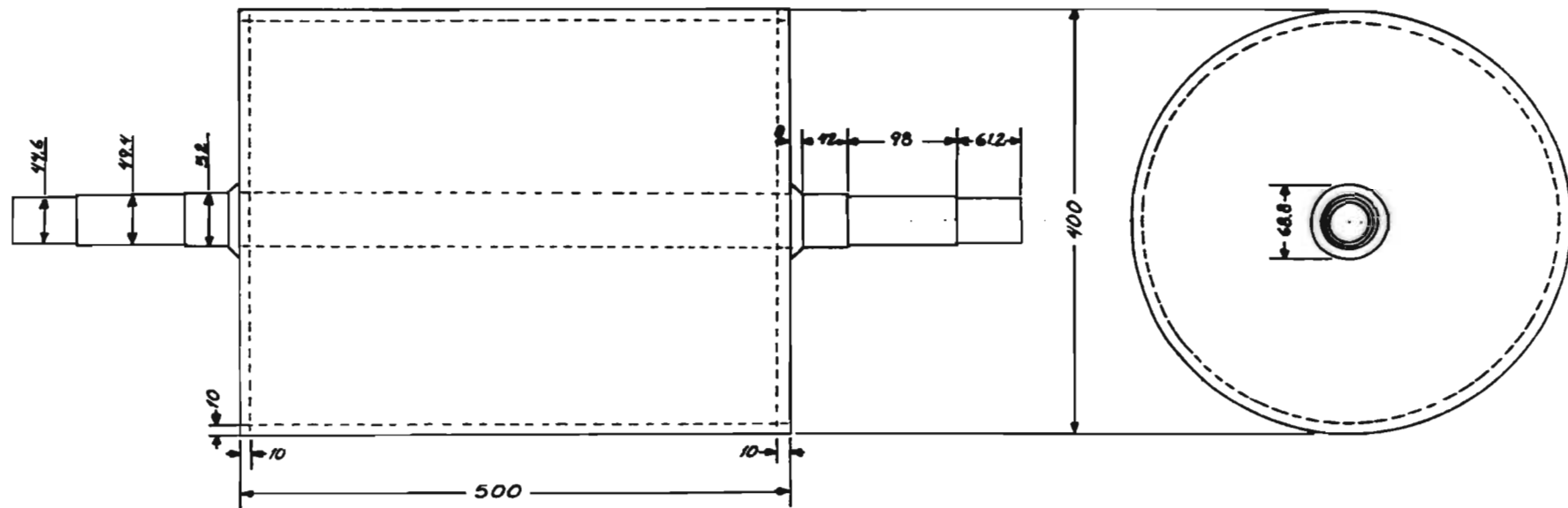


FIGURA 4.2: RODILLO

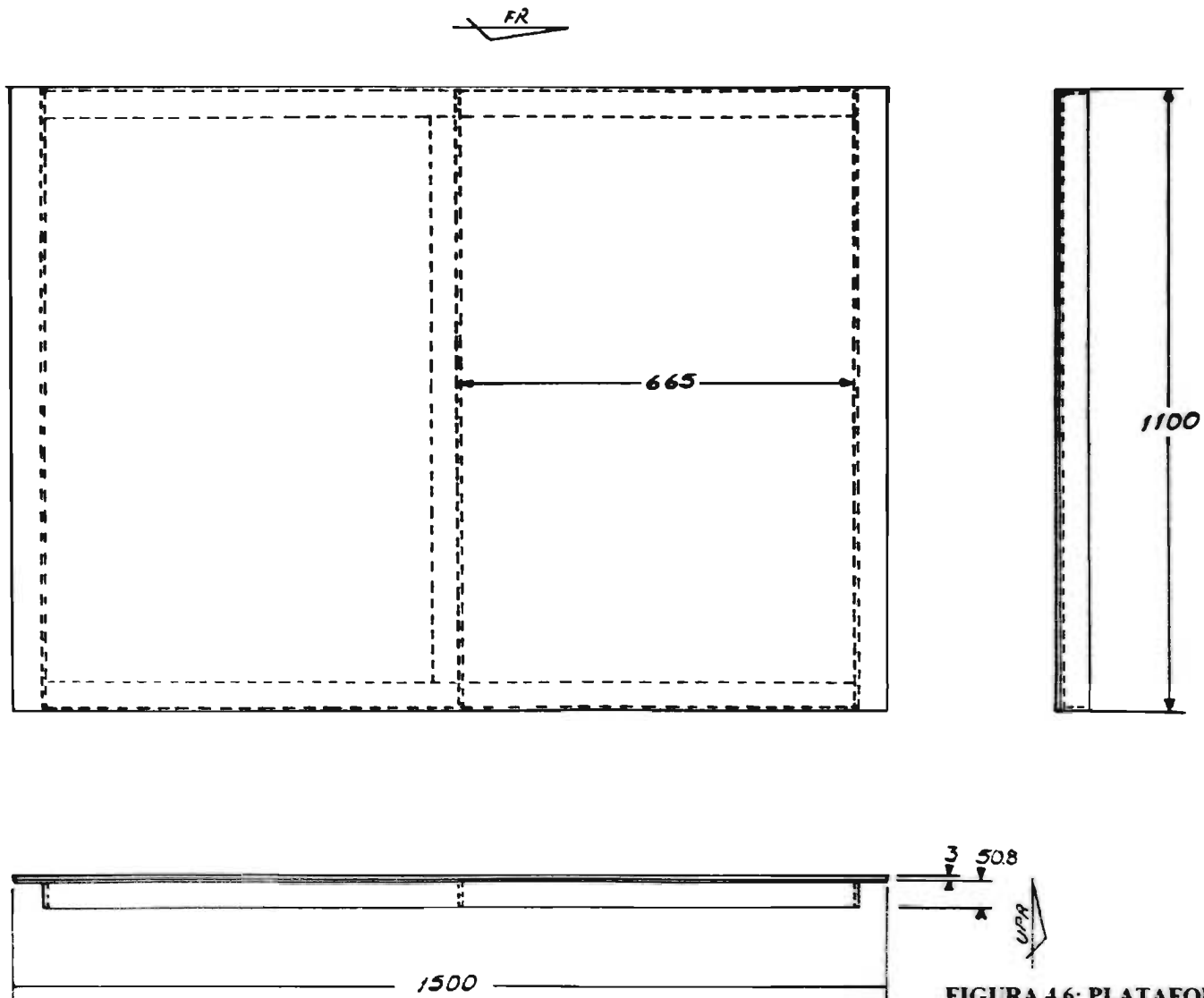


FIGURA 4.6: PLATAFORMA DE ACCESO

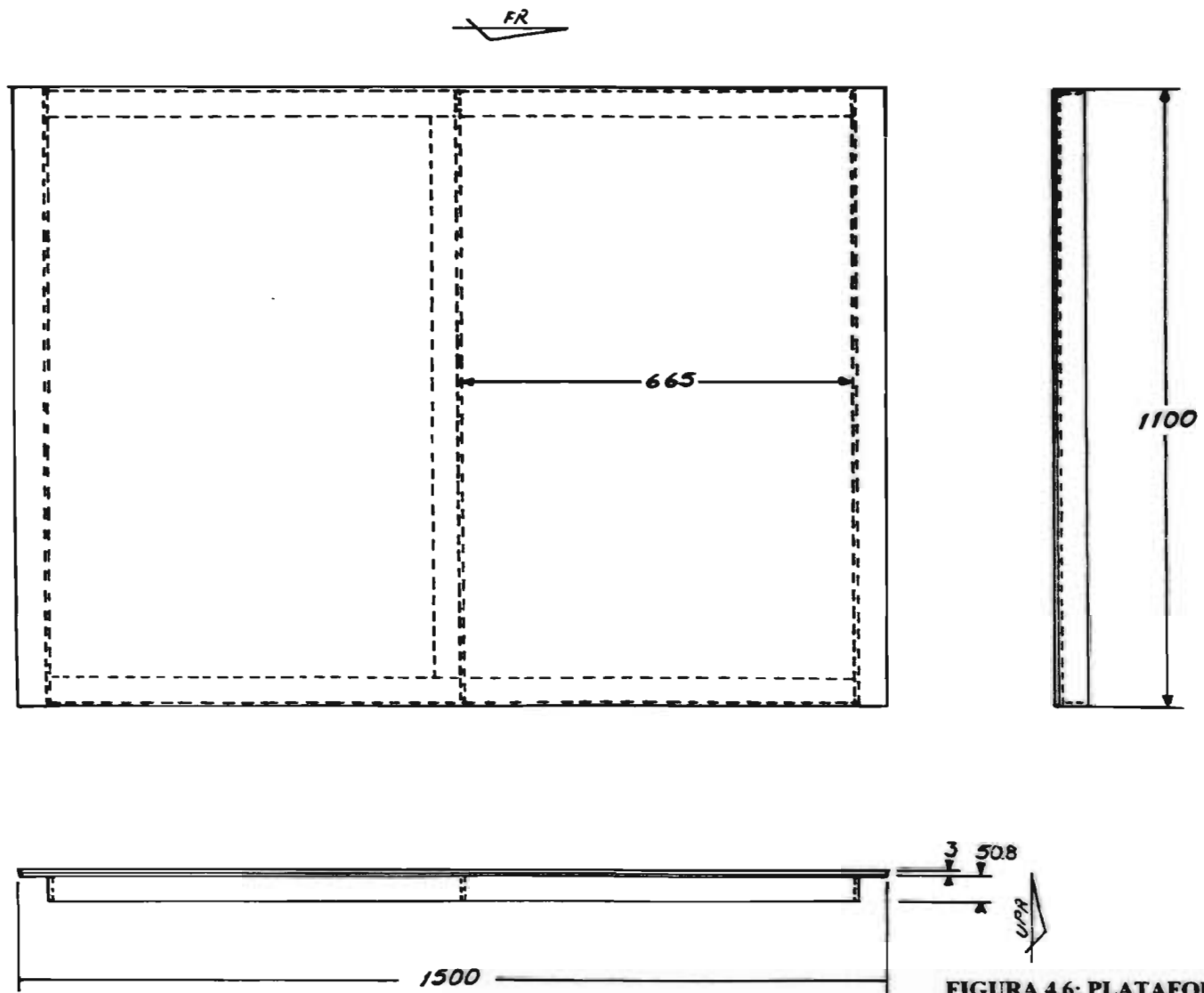


FIGURA 4.6: PLATAFORMA DE ACCESO

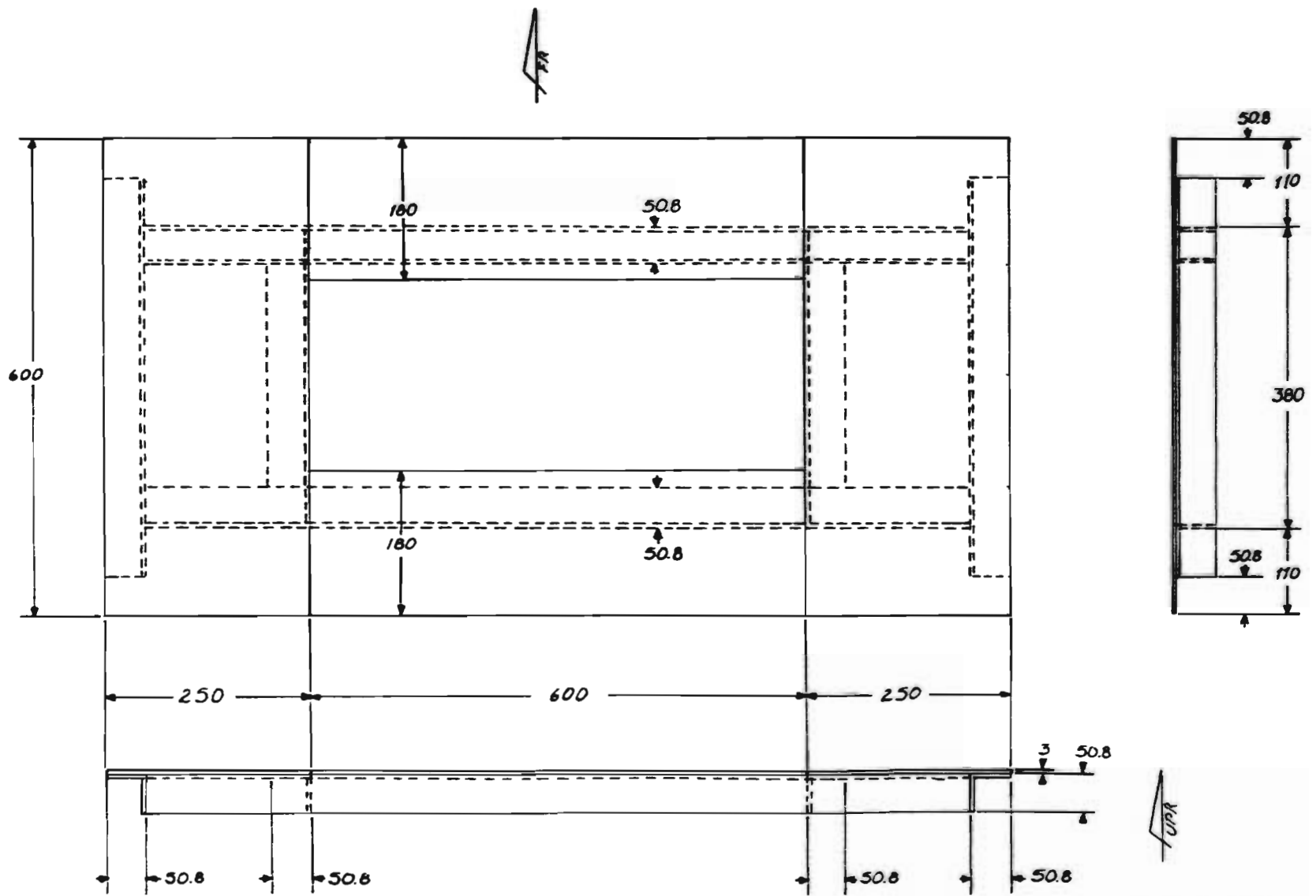
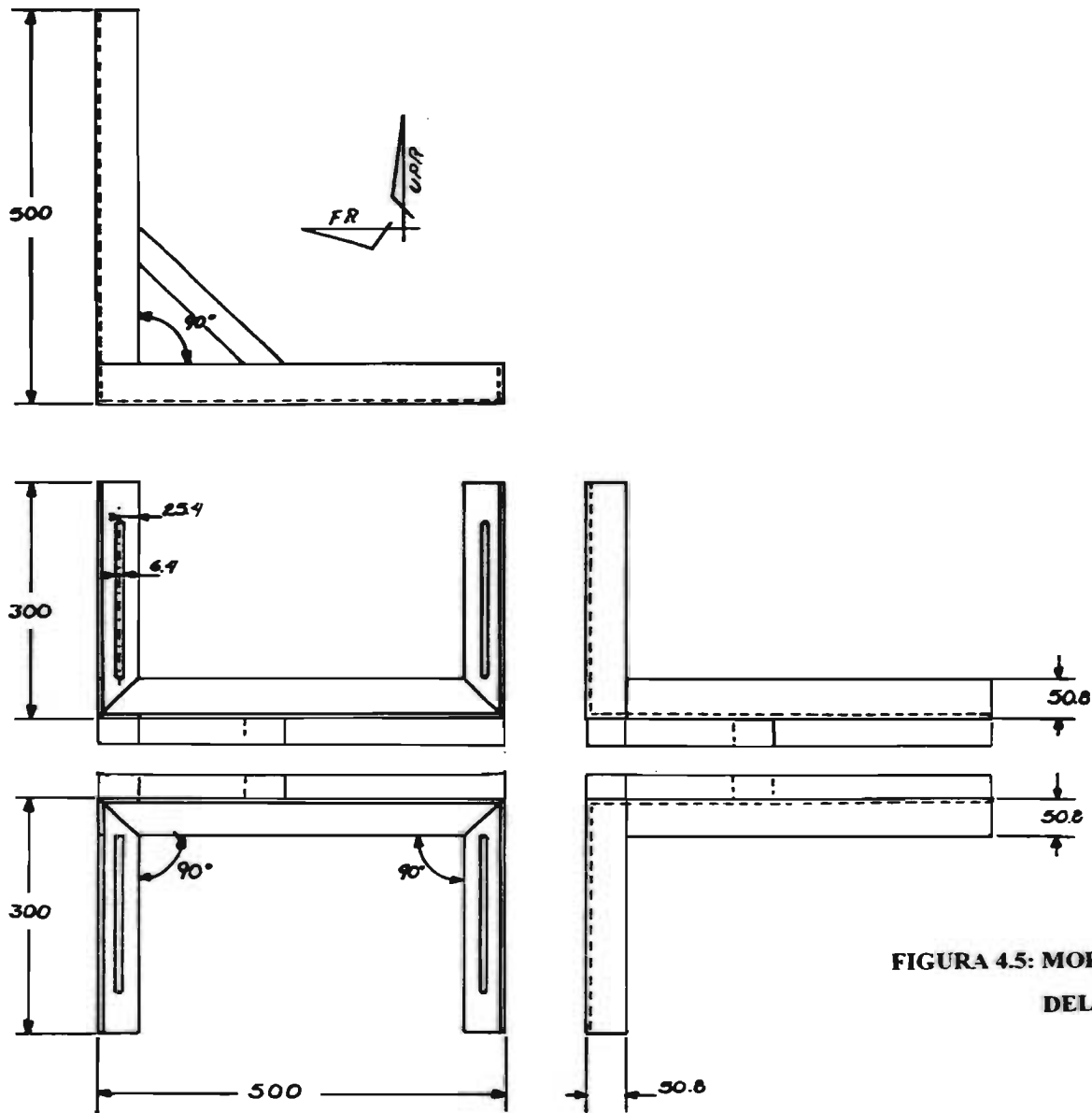
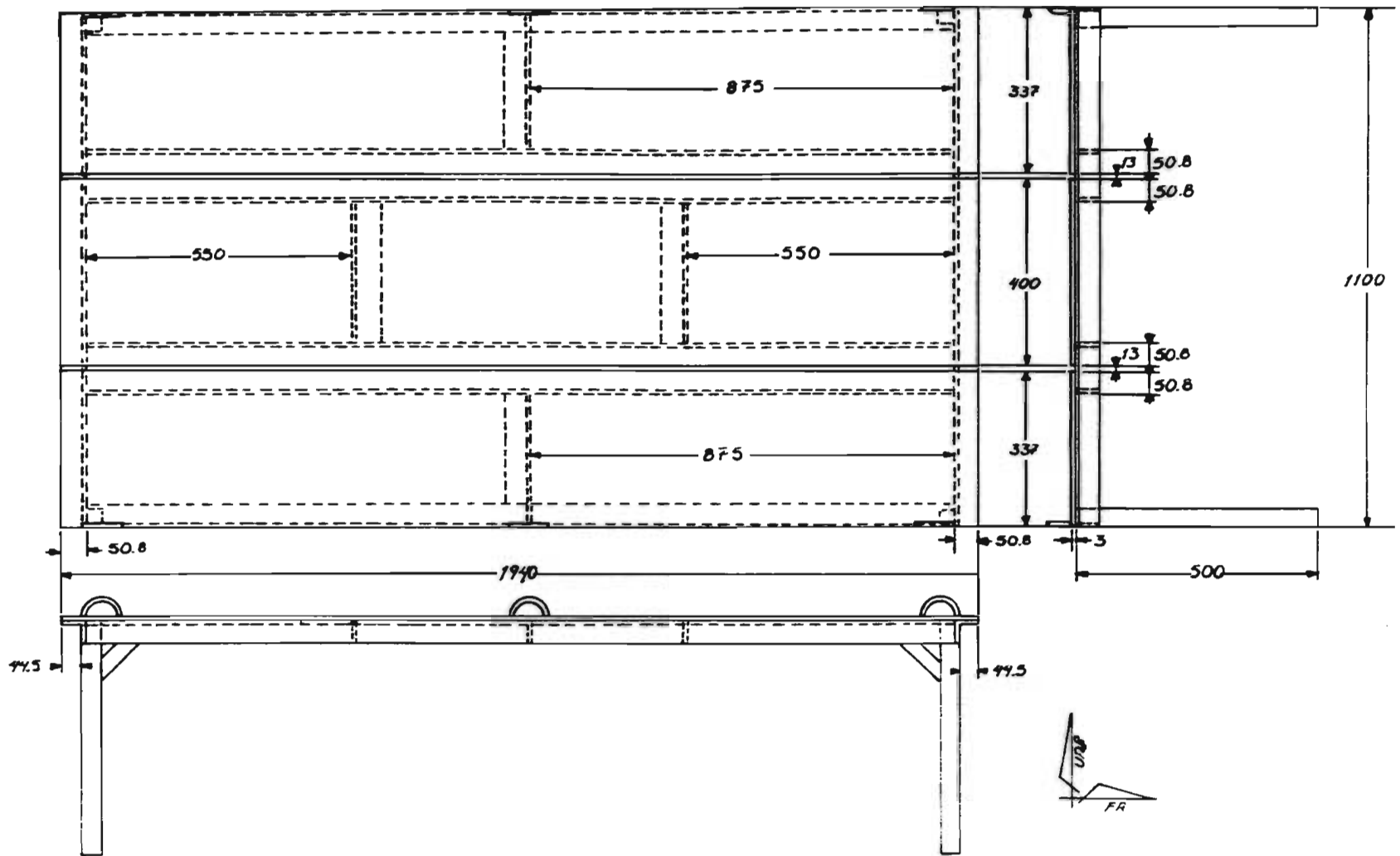


FIGURA 4.3: PLATAFORMA DEL SOPORTE DEL RODILLO





**FIGURA 4.5: MORDAZAS PARA FIJACIÓN DE RUEDA DELANTERA DE LA MOTOCICLETA**



**FIGURA 4.4: PLATAFORMA DE FIJACIÓN DE RUEDA DELANTERA DE LA MOTOCICLETA**

- Todas las dimensiones angulares están dadas en “degrados”.
- Todas las superficies se recubrirán con prymer gris en 2 capas y pintura negra mate en una capa.
- A menos que se especifique lo contrario en las figuras, las partes indicadas serán totalmente simétricas.
- Para el caso de las mordazas, éstas se verán a espejo a menos que se indique lo contrario.
- Como material estructural de los pilares y largueros se tiene especificado: ángulo de 2x2x1/4” de hierro laminado.
- En ningún caso se permiten rebabas y filos cortantes en los bordes de ninguno de los elementos.
- Las tolerancias en las dimensiones están dadas según la norma ISO/R 286-1963. Calidad 5 en diámetros, y H6 para los ajustes.
- A menos que se especifique lo contrario en el dibujo. Todas las uniones de las partes estructurales (pilares-largueros) se soldarán mediante arco eléctrico con electrodo E-6013VD, en cualquier lugar en donde se tenga contacto.
- A menos que se especifique lo contrario en el dibujo. Todas las uniones de elemento estructural con placa antiderrapante se soldarán mediante arco eléctrico con electrodo E-6013VD, los cordones serán de 50 a 75 mm. y estarán espaciados por distancias de 200 a 400 mm. según se considere necesario, tratando de evitar deformaciones en la placa.
- Se deberá cuidar en todo momento, la perpendicularidad, paralelismo y colinealidad de los ejes de los elementos estructurales (largueros - pilares) en todas las uniones.
- En todo momento se utilizarán roscas americanas NC, según ISO/R 263 1962.

#### **4.3 - COSTO DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DEL BANCO DE PRUEBA .**

Una de las principales razones por las que se tiene rezago en la normativa mexicana, es el costo de elaboración de la misma y su aplicación en los centros de verificación, pues para elaborarla se requiere de infraestructura, como lo son elementos sensores, analizadores y el banco de pruebas para las motocicletas. El presentar un diseño versátil de un nuevo tipo de banco, que ofrezca un buen desempeño para ser utilizado en centros de verificación, homologación y talleres especializados, cuyo costo de inversión resulte privativo o no sea capaz de competir comercialmente con los ya existentes, redundaría en trabajo inútil, siendo un serio impedimento para realizar adecuadamente las pruebas a efectuar en una normativa.

Un banco de pruebas inercial de fabricación europea para motocicletas, que incluya la instrumentación básica, cuya potencia máxima es de 200 kW, con velocidad máxima de operación de 300 Km/h, y que aguanten un peso por eje de 500 kg., tiene un costo de inversión de \$ 218,400.00 (unos 28,000.0 USD) a este precio hay que agregar gastos de importación, transporte e impuestos aduanales.

**TABLA 4.1**

COTIZACIÓN DE MATERIALES		
PIEZA \ MATERIAL	HIERRO	ALUMINIO
Perfil L 2''*2''*1/4''	34 pesos / m	91.45 pesos / m
Placa antiderrapante 4' * 10' * 1/8''	170.33 pesos / m <sup>2</sup>	255.64 pesos / m <sup>2</sup>
Lámina calibre 18, 4' * 10'	* 341.98 pesos	312 pesos
Bisagras	10 pesos c/u	15 pesos c/u
Soldadura	13.41 pesos / kg.	124.05 pesos / kg.
PTR 2''*2''* 1/4	60 pesos / m	180 pesos / m
Tornillo y tuerca niveladora	25 pesos c / juego	-
Ruedas de Nylon	** 100 y 90 pesos c/u	-

\* Con agujeros de 2 mm de diámetro espaciados 5 mm.

\*\* 100 pesos las ruedas giratorias, y 90 las ruedas fijas.

Estas son cotizaciones al mes de Julio de 1996, precio de menudeo.

Para la fabricación de la estructura del banco se puede disponer de dos materiales principalmente, de hierro laminado estructural, o aluminio laminado estructural. El primero tiene la ventaja de ser más barato y comercial como se puede observar en la tabla 4.1, mientras que el segundo presenta ventajas anticorrosivas y es más liviano.

A partir de la tabla 4.1 y las dimensiones establecidas en las figuras 4.1 a 4.6 se puede establecer el costo de inversión de materiales para el banco de pruebas según el material a utilizar, y en donde no es de sorprender que el banco fabricado en aluminio sea el más costoso, dentro de éstos materiales no se han incluido el costo de la pintura y mano de obra, para el rodillo se utiliza como material únicamente acero, véanse las tablas 4.2 y 4.3.

Hay que notar que gran parte del costo depende del rodillo tratándose de un banco inercial, y que el costo de material de las partes estructurales sólo asciende a 2,740.47 pesos, si se utiliza hierro laminado, para el caso de los paneles en aluminio estos no se fabrican perforados (las perforaciones sólo tienen propósito estético) por lo que su costo no es muy comparativo.

TABLA 4.2

COSTO DE LOS MÓDULOS DEL BANCO DE PRUEBA POR USO DE HIERRO						
MÓDULO	ANGULO L	PLACA	PTR	SOLDADURA	PESO kg.	COSTO \$
SopORTE del rodillo	7 m 32.9 kg. \$ 238.0	-	-	1000 cm 1.714 kg. \$ 22.985	34.614	261.0
Plataforma del rodillo	3.8 m 17.86 kg. \$ 129.2	0.54 m <sup>2</sup> 34.2 kg. \$ 91.97	-	400 cm 0.685 kg. \$ 9.18	52.745	230.35
Mordazas	3.1 m 14.57 kg. \$ 105.4	0.1 m <sup>2</sup> 6.33 kg. \$ 17.03	-	290 cm 0.497 kg. \$ 6.66	21.397	129.09
Rampa de acceso	6.3 m 29.61 kg. \$ 214.2	1.65 m <sup>2</sup> 104.49 kg. 281.04	-	480 cm 0.822 kg. \$ 11.036	134.93	506.276
Plataforma para motocicleta	8.534 m 40.11 kg. \$ 209.156	2.084 m <sup>2</sup> 131.95 kg. \$ 354.88	3 m 28.2 kg. \$ 204	1780 cm 3.051 kg. \$ 40.914	203.31	889.79
Rodillo	-	-	-	-	125	5000.0
Pancles laterales	-	4.4 m <sup>2</sup> 70.9 kg. \$ 683.96	-	-	70.9	683.96
Bisagras	-	-	-	-	0.5	40
TOTAL	28.734 m	4.374 m <sup>2</sup> * 4.4 m <sup>2</sup>	3 m	3950 cm	643.396	7740.466

\* Con agujeros de 2 mm de diámetro espaciados 5 mm y distinto espesor.

Éstas son cotizaciones al mes de Julio de 1996, precio de menudeo.

Los costos de operación y fabricación (tabla 4.4) se obtienen estimando las operaciones básicas a realizar para la construcción de la estructura del banco, en estos se incluyen los tiempos y movimientos inclusive prorrateados, los costos de consumo de energía, los costos por depreciación de herramientas y máquinas herramientas (fresadora, máquina de soldar, taladrado de banco, sierra cinta sin fin, etc.) y por supuesto el costo del área de trabajo. En estos costos de operación no se han incluido el costo del proceso de pintura el cual se estima en 1,500.00 pesos incluyendo el material.

En el caso de un banco dinamométrico la mayor parte del costo estará representada por la inversión en el dinamómetro y sus elementos controladores, un dinamómetro portátil que se agregue al banco elevará el costo en \$ 109,636.8 (14,056.0 USD). La computadora y el programa controlador

generalmente representan un valor similar por agregar. Los cables para interconectar el sistema agregan unos \$ 2,823.6 (362 USD).

**TABLA 4.3**

COSTO DE LOS MÓDULOS DEL BANCO DE PRUEBA POR USO DE ALUMINIO						
MÓDULO	ÁNGULO L	PLACA	PTR	SOLDADURA	PESO kg.	COSTO \$
Soporte del rodillo	7 m 11.963 kg. \$ 640.14	-	-	1000 cm 0.623 kg. \$ 77.317	12.586	717.45
Plataforma del rodillo	3.8 m 6.494 kg. \$ 347.5	0.54 m <sup>2</sup> 12.94 kg. \$ 138.05	-	400 cm 0.249 kg. \$ 30.89	19.18	516.45
Mordazas	3.1 m 5.298 kg. \$ 283.48	0.1 m <sup>2</sup> 2.302 kg. \$ 25.56	-	290 cm 0.18 kg. \$ 22.42	7.781	331.467
Rampa de acceso	6.3 m 10.767 kg. \$ 576.12	1.65 m <sup>2</sup> 37.996 kg. \$ 421.81	-	480 cm 0.299 kg. \$ 37.12	49.06	1035.05
Plataforma para motocicleta	8.534 m 14.58 kg. \$ 780.42	2.084 m <sup>2</sup> 47.983 kg. \$ 532.63	3 m 10.25 kg. \$ 540	1780 cm 1.109 kg. \$ 137.63	73.93	1990.67
Rodillo	-	-	-	-	125	5000.0
Paneles laterales	-	4.4 m <sup>2</sup> 25.782 kg. \$ 624	-	-	25.782	624
Bisagras	-	-	-	-	0.182	60
<b>TOTAL</b>	<b>28.734 m</b>	<b>4.374 m<sup>2</sup></b> <b>* 4.4 m<sup>2</sup></b>	<b>3 m</b>	<b>3950 cm</b>	<b>313.501</b>	<b>10,275.1</b>

\* Con agujeros de 2 mm de diámetro espaciados 5 mm y distinto espesor.

Éstas son cotizaciones al mes de Julio de 1996, precio de menudeo.

En cuanto a los sensores, uno de tipo óptico estará costando entre 700.00 y 2,000.00 pesos, dependiendo del fabricante y tiempo de respuesta, lo mismo para sensores de temperatura y presión. En cuanto a la tarjeta controladora ésta se puede encontrar desde unos 1,500.00 US. dólares, hasta unos 3,000.00 US dólares. El costo de desarrollo del programa depende de la magnitud y capacidad del mismo.

#### 4.4 - CALIBRACIÓN DEL BANCO DE PRUEBA.

Dado que el banco de prueba es inercial, habrá que conocer el principio de funcionamiento del mismo, con la finalidad de determinar el mejor método de medición y calibración del mismo. A

continuación se presentará el principio de operación en forma rigurosa, para a continuación presentar el método de calibración.

**4.4.1 - Principio de funcionamiento<sub>[13]</sub>** : Para conocer la potencia que desarrolla una motocicleta se deben considerar como parámetros importantes la velocidad angular  $\omega_{Motor}$  (rad/s), y un momento de inercia del motor (principalmente del cigüeñal, caja de velocidades, y demás partes móviles) que denominaremos como  $J_{Motor}$  (Nm\*S<sup>2</sup>); resultando un par  $M_{Motor}$  (N-m) y una potencia  $N_{Motor}$  (kW), siendo su aceleración angular  $\alpha_{Motor} = (d\omega_{Motor}/ dt)$  (rad/s<sup>2</sup>).

En el banco de ensayos se tendrá una velocidad angular  $\omega_{Banco} = (\omega_{Motor}/Z)$  (rad/s), un momento de inercia (del rodillo del banco, cremallera, coples y demás partes móviles)  $J_{Banco}$  (Nm S<sup>2</sup>) y la motocicleta desarrollará un par  $M_{Banco}$  (N-m) y una potencia  $N_{Banco}$  (kW) para mover dichas inercias, siendo su aceleración angular  $\alpha_{Banco} = (d\omega_{Banco}/ dt)$  (rad/s<sup>2</sup>). Con su par  $M_{Motor}$  el motor tiene que acelerar sus propias inercias rodantes ( $J_{Motor}$ ) desde  $\omega_{Motor}$  mínimo hasta  $\omega_{Motor}$  máximo (aproximadamente 13,000 rpm). Asimismo tendrá que acelerar las masas del banco inercial ( $J_{banco}$ ) desde  $\omega_{Banco}$  mínimo hasta  $\omega_{Banco}$  máximo. Pero

$$\omega_{Banco} = Z \omega_{Motor} \quad (4.1)$$

en donde Z es una relación que existe entre la velocidad angular del motor y la velocidad angular del rodillo (aproximadamente  $8 < Z < 4$ ). De los parámetros anteriores se puede establecer lo siguiente:

$$M_{Banco} (t) = Z M_{Motor} (t) \quad (4.2)$$

por otra parte de la ecuación 4.1 se puede inferir:

$$d\omega_{Banco} (t)/ dt = (1/Z) * d\omega_{Motor} (t) / dt \quad (4.3)$$

como

$$M = J d\omega/dt \quad (4.4)$$

se puede inferir que el par desarrollado por la motocicleta en el banco es:

$$M_{\text{Banco}}(t) = J_{\text{banco}} d\omega_{\text{Motor}} / dt \text{ (rad/s}^2\text{)} \quad (4.5)$$

Aplicando las ecuaciones 4.3 y 4.2 tenemos que:

$$Z M_{\text{Motor}}(t) = (J_{\text{banco}} / Z) * d\omega_{\text{Motor}}(t) / dt \quad (4.6)$$

así el par del motor será:

$$M_{\text{Motor}}(t) = (J_{\text{Banco}} / Z^2) * d\omega_{\text{Motor}}(t) / dt \quad (4.7)$$

y la potencia del motor será:

$$N_{\text{Motor}}(t) = \omega_{\text{Motor}}(t) (J_{\text{Banco}} / Z^2) * d\omega_{\text{Motor}}(t) / dt \quad (4.8)$$

El par de la motocicleta en la rueda es observable en el banco mediante la ecuación (4.5) y la potencia en la rueda será:

$$N_{\text{Banco}}(t) = \omega_{\text{Banco}}(t) J_{\text{Banco}} d\omega_{\text{Motor}}(t) / dt \quad (4.9)$$

La diferencia entre las ecuaciones (4.5) y (4.9) con sus correspondientes ecuaciones (4.7) y (4.8) se deben a la relación de  $Z^2$  con respecto a  $\omega_{\text{Banco}}(t)$  y  $\omega_{\text{Motor}}(t)$ , haciendo uso de la inercia en el banco.

Nótese que la inercia del banco debe ser siempre (como lo es en este caso) mayor a la inercia de las partes móviles de la motocicleta, aproximadamente de 8 a 10 veces mayor y que para poder medir la potencia en una motocicleta se debe utilizar una relación de velocidades en la caja de engranes de 1:1, de lo contrario las curvas de par y potencia estaría en proporción de la relación de los engranes, lo cual no es práctico y puede conducir a errores. El ensayo se realiza partiendo preferentemente de una velocidad angular mínima en el motor:  $\omega_{\text{Motor}} \text{ mínimo} = 2 \omega_{\text{Ralentí Motor}} \text{ desembragado}$  hasta la  $\omega_{\text{Motor}} \text{ máxima}$  de la motocicleta.



Otra forma para determinar la potencia de la motocicleta y las pérdidas de la misma en el banco es haciendo uso de la siguiente ecuación<sub>(4.1)</sub>:

$$N_{\text{banco}} = m (V_1^2 - V_2^2) / 2000 t \quad (4.10)$$

donde m es la masa del rodillo,  $V_1$  es la velocidad inicial,  $V_2$  es la velocidad final y t es el tiempo en que tarda en acelerarse la motocicleta.

Esta ecuación se obtiene partiendo de que:

$$N = W / t \quad (4.11)$$

donde W = trabajo y t es el tiempo, si además se considera que:

$$W = F * x \quad (4.12)$$

donde F = fuerza y x = distancia, sustituyendo 4.12 en 4.11

$$W = F * x / t \quad (4.13)$$

Pero como  $F = m a$ , entonces la ecuación 4.13 toma la forma:

$$N = m * a * x / t \quad (4.14)$$

Pero como la aceleración se puede calcular como:

$$a = (V_1^2 - V_2^2) / 2x \quad (4.16)$$

que sustituida en la ecuación 4.14 resulta:

$$N_{\text{banco}} = m (V_1^2 - V_2^2) / t \quad (4.10)$$

Para está ecuación las unidades en sistema internacional dan Watts, si se requiere medir en kW, entonces habrá que dividir entre 1000 resultando la ecuación 4.10. Hay que observar que la ecuación 4.10 da la potencia en la rueda ( $N_{\text{banco}}$ ) como lo haría la ecuación 4.9.

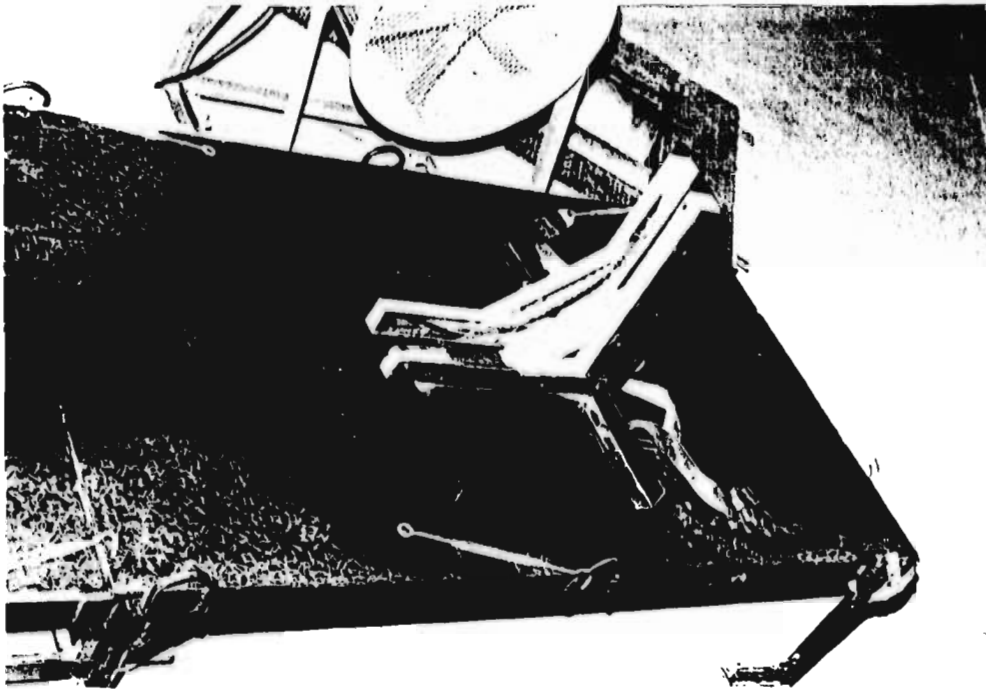
**4.4.2 Medidas y calibración del banco de prueba:** Para calibrar el banco de ensayos se requiere:

- Determinar la masa total o la inercia total del rodillo, en este caso la masa total del rodillo son 115 kg., mientras que la masa estimada por diseño es de 90.67 kg y el momento de inercia del rodillo es de 2.2644 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ) ó 22.214 ( $\text{N}\cdot\text{m}^2$ ).
- Determinar la señal del sensor a utilizar, en este caso el sensor es óptico (OPTEX CO,LTD tipo KD-L09D) y cuenta con 15 marcas reflejantes equidistantes, las marcas y el sensor están separados una distancia de 5 cm, y la intensidad de luz del sensor se regula manualmente hasta tener la señal deseada, el sensor tiene un tiempo de respuesta de 1.5 ms, para un rango de velocidad que va de 1.5 km/h hasta 250 km/h. Esto satisface sin problema los requerimientos del ciclo de manejo y la prueba de potencia.

#### **4.5 - PRUEBA DEL BANCO CON UNA MOTOCICLETA.**

En el laboratorio de control de emisiones se cuenta con una motocicleta carabela con motor de dos tiempos monocilíndrico de 125  $\text{cm}^3$  la cual fue instalada en el banco, con el propósito de probar la resistencia estática y dinámica del banco de ensayos, para esto se accionó la motocicleta hasta su velocidad máxima, para poder confirmar si se tenían vibraciones generadas por el rodillo en movimiento y si éste requeriría de un balanceo dinámico. También se probó el sistema de arranque de motocicletas mediante el rodillo, a partir de baterías automotrices.

De éstas pruebas se determinó pintar en el banco una línea central tanto en rodillo como en plataformas, sobre la cual se encuentren ambas ruedas de la motocicleta de manera que se pueda asegurar una posición vertical y colinealidad de las dos llantas de la motocicleta a ensayarse. También se mejoro el sistema de fijación mediante tensores, los cuales ahora facilitan el posicionamiento del vehículo y aseguran con mayor confianza la motocicleta al banco de ensayos, como lo muestran las figuras 4.7 y 4.8.



*Figura 4.7: Sistema de mordazas, ganchos y tensores*

En lo que respecta al programa de análisis de la prueba no se tuvo ningún problema, el único problema que se presentó fué el hecho de que inicialmente se calcularon 30 calcomanías a espejo, sin embargo se sobre estimo la capacidad del sensor, por lo que dicha cantidad de reflejantes se redujo a la mitad, como se observa en las figuras 4.7 a 4.10.

4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO  
DE ENSAYOS PARA MOTOCICLETAS



*Figura 4.8: Elementos tensores , ganchos y sistema de arranque en rodillo.*

## CAPÍTULO 5

### EQUIPO DE MEDICIÓN

#### 5.1 ANALIZADORES DE GASES<sup>[6]</sup>

Los gases de escape se han analizado desde hace 60 años, desde entonces las regulaciones de las emisiones para los vehículos se han incrementado, un aparato que en un principio dio buenos resultados para el análisis de contenido de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_2$  en condiciones estacionarias, es el analizador de Orsat, dando lecturas con errores de 1 %, teniendo la limitante de tomar muestras en bolsas de aire. Actualmente se tiende a regulaciones para vehículos de bajas y muy bajas emisiones, por lo que estas limitaciones obligan a tener mayor precisión de las mediciones, se han conseguido con el advenimiento de nuevas técnicas de análisis de gases, tales como, la infrarroja no dispersiva, ionización de flama, quimioluminiscencia y otros tipos de analizadores; que hacen posible la medición en flujos de gases, los cuales se describirán a continuación.

**5.1.1 Analizador Infrarrojo no dispersivo (NIDR)** <sup>[6]</sup> Este se utiliza para medir concentraciones de  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  de las emisiones del escape. No es muy recomendado para la medición de  $\text{NO}$  y  $\text{HC}$ , aunque puede ser utilizado para dichos fines. El NIDR detecta la energía infrarroja absorbida entre 2 columnas de gases. La concentración del gas que se estudia se compara contra una muestra calibrada. En un instrumento no dispersivo no hay problema al separar la energía infrarroja para discretizar las longitudes de onda, este ardid se usa para aprovechar el principio de que las moléculas de gas absorben bandas de energía infrarroja en forma discreta.

La radiación infrarroja pasa por la muestra y por el gas calibrado, cuando el gas recibe la radiación se incrementa la presión, ambos reciben la misma cantidad de energía y la presión originalmente es idéntica, los contenedores de la muestra y el gas calibrado se encuentran conectados con un diafragma, el cual se deformará por acción de la variación de presión, debido a que en uno de los contenedores, la muestra o el gas de calibración absorberán más energía (por el % de contenido de  $\text{CO}_x$ ), el diafragma actúa como un elemento capacitivo dentro de un circuito eléctrico previamente estabilizado. Dicho diafragma se hace oscilar interrumpiendo la energía infrarroja periódicamente, siendo la amplitud de oscilación del diafragma una medida de la concentración del gas en las emisiones.

## CAPÍTULO 5

### EQUIPO DE MEDICIÓN

#### 5.1 ANALIZADORES DE GASES<sub>[6]</sub>

Los gases de escape se han analizado desde hace 60 años, desde entonces las regulaciones de las emisiones para los vehículos se han incrementado, un aparato que en un principio dio buenos resultados para el análisis de contenido de CO<sub>2</sub>, CO y O<sub>2</sub> en condiciones estacionarias, es el analizador de Orsat, dando lecturas con errores de 1 %, teniendo la limitante de tomar muestras en bolsas de aire. Actualmente se tiende a regulaciones para vehículos de bajas y muy bajas emisiones, por lo que estas limitaciones obligan a tener mayor precisión de las mediciones, se han conseguido con el advenimiento de nuevas técnicas de análisis de gases, tales como, la infrarroja no dispersiva, ionización de flama, quimioluminiscencia y otros tipos de analizadores; que hacen posible la medición en flujos de gases, los cuales se describirán a continuación.

**5.1.1 Analizador Infrarrojo no dispersivo (NIDR)** <sub>[6]</sub> Este se utiliza para medir concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> de las emisiones del escape. No es muy recomendado para la medición de NO y HC, aunque puede ser utilizado para dichos fines. El NIDR detecta la energía infrarroja absorbida entre 2 columnas de gases. La concentración del gas que se estudia se compara contra una muestra calibrada. En un instrumento no dispersivo no hay problema al separar la energía infrarroja para discretizar las longitudes de onda, este ardid se usa para aprovechar el principio de que las moléculas de gas absorben bandas de energía infrarroja en forma discreta.

La radiación infrarroja pasa por la muestra y por el gas calibrado, cuando el gas recibe la radiación se incrementa la presión, ambos reciben la misma cantidad de energía y la presión originalmente es idéntica, los contenedores de la muestra y el gas calibrado se encuentran conectados con un diafragma, el cual se deformará por acción de la variación de presión, debido a que en uno de los contenedores, la muestra o el gas de calibración absorberán más energía (por el % de contenido de CO<sub>x</sub>), el diafragma actúa como un elemento capacitivo dentro de un circuito eléctrico previamente estabilizado. Dicho diafragma se hace oscilar interrumpiendo la energía infrarroja periódicamente, siendo la amplitud de oscilación del diafragma una medida de la concentración del gas en las emisiones.

Este método de medición presenta interferencia por la absorción de energía por otros gases que transponen sus longitudes de onda, esto se elimina utilizando filtros ópticos. Los NIDR se presentan en las siguientes variantes:

- Se pueden encontrar con fuentes de energía separada., la radiación es puenteada por un regulador en forma separada, además de pasar por un sistema de filtrado (celdas filtrantes y filtros ópticos) que reduce los efectos de interferencia por vapor de agua y otros gases, este dispositivo se presenta en la figura 5.1.
- Se tiene otro dispositivo con fuentes infrarrojas paralelas, el detector cuenta con dos conjuntos de cámaras, las líneas infrarrojas entran en el primer conjunto de cámaras y pasan a través de ellas por un fondo transparente al segundo conjunto. La señal detectada en el primer conjunto consiste de la parte mayor de IR absorbida por los componentes de interés más una fracción bastante pequeña absorbida por otros gases componentes de la muestra, en la segunda cámara se tiene una detección de menor nivel de IR en los gases de interés, pero también se absorbe aproximadamente la misma proporción en los elementos que interfieren, por lo que se restan ambas señales obteniendo la señal adecuada, esta señal inclusive se pasa por filtros para afinarla. Este dispositivo se presenta en la figura 5.2
- Un tercer dispositivo cuenta con una unidad de radiación teniéndose dos celdas de medición en serie nuevamente. La absorción del espectro de gases es una banda compuesta de un número de líneas de absorción, en la cámara pequeña, la absorción toma lugar en la parte central de la banda para el CO, mientras que en la cámara grande, se da en los extremos de la banda, la absorción de energía por los gases que interfieren se da entre los extremos y el centro. Este dispositivo se muestra en la figura 5.3.

En cualquiera de estos dispositivos el diafragma oscilador puede ser reemplazado por un sensor de gas de microflujo. La velocidad de respuesta del NIDR está limitada por el flujo, la celda de muestra y la constante de tiempo de la parte electrónica. Si se incrementa el volumen de la celda de muestra se debe incrementar el flujo para tener un mismo tiempo de respuesta. La respuesta E de salida es no lineal y se relaciona con la concentración "c" del gas de muestra por la expresión:

$$E = A(1 - e^{-kcx}) \quad (5.1)$$

donde A es un factor de amplificación, k es un factor de absorción para un gas en particular y x la longitud de la celda de muestra, la expresión es útil para calificar el instrumento.

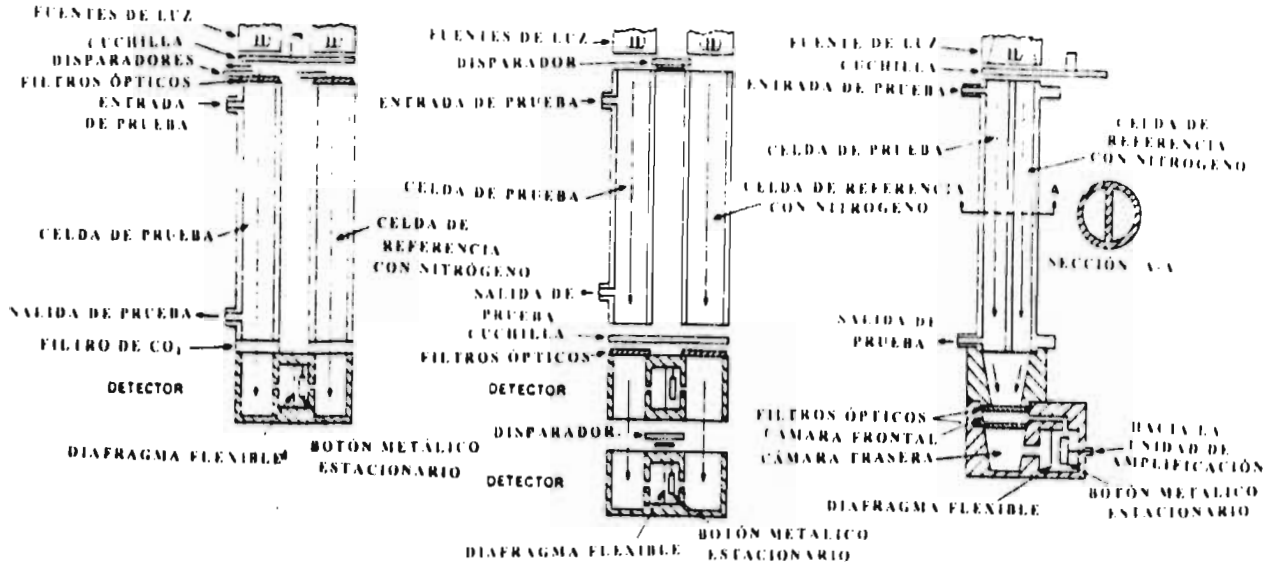


Fig 5.1 Analizador de fuente de energía separada

Fig 5.2 Analizador de fuentes paralelas

Fig 5.3 Analizador de una fuente de energía

Otras señales de ruido se presentan por: desalineamiento de la celda, detectores de señales de salida baja, celdas secas, malas conexiones eléctricas, mal alineamiento del regulador, mala sincronización y por fluctuaciones de presión debidos a cambios en el flujo.

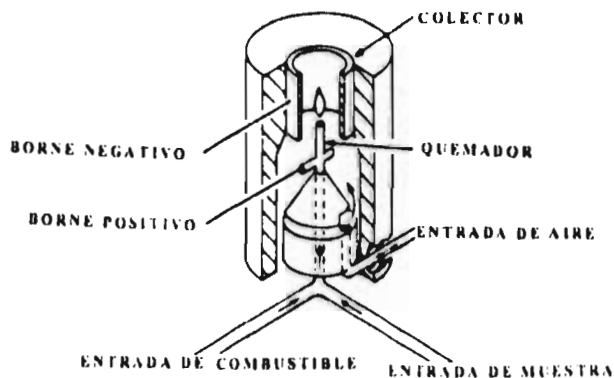
**5.1.2 Detector de Ionización de Flama (para hidrocarburos) FID<sub>[6]</sub>.** Se usa para medir el contenido de hidrocarburos de las mezclas complejas de los mismos con base en la masa de carbono que se encuentre contenido. Esta medida puede ser convertida a una base de masa de hidrocarburos asumiendo una relación específica de carbono a hidrógeno. Bajo condiciones normales de operación, un FID no tiene respuesta significativa a algo que no sea hidrocarburo en los gases de escape.



Para que se obtengan resultados correctos del análisis de una mezcla de hidrocarburos, es necesario que el FID responda a cada átomo de carbono, como si este fuera un átomo de carbono simple en su calibración. Es recomendable evitar la presencia de  $O_2$  y es preferible oxidar los hidrocarburos antes de la muestra, ya que la oxidación puede ser preferencial según el tipo de hidrocarburo. Para tener respuestas más uniformes se recomienda :

- Mantener a un mínimo el flujo en el FID, para reducir el  $O_2$  de acuerdo con la flama disponible para la preoxidación.
- Usar un gran flujo de combustible en el FID para diluir cualquier concentración de  $O_2$ .
- Usar  $H_2He$  mezclado con el combustible en vez de  $H_2-N_2$  para cambiar la respuesta de los hidrocarburos .
- Calibrar a 0 con un gas que contenga aproximadamente la misma cantidad de  $O_2$

La respuesta del FID esta directamente ligada a la muestra volumétrica y al quemador. El quemador de un FID es parecido al de la figura 5.4, una pequeña línea de combustible e hidrógeno diluido en gas inerte es premezclada con la muestra de gas y quemada a la salida de la tobera en una flama de difusión.



El FID opera bajo el principio de que la introducción de un gas de muestra contiene hidrocarburos en una flama de hidrógeno difusiva, y se incrementan los iones en la flama. Este incremento en la ionización es inclusive proporcional al flujo de masa de carbono en la flama. Un voltaje de CD. entre la cima del quemador y el electrodo colector, que rodea la flama, recolecta los iones de la flama induciéndolos a que circulen por el circuito electrónico que los mide.

*Figura 5.4 Quemador de detector de ionización de flama típico.*

**5.1.3 Analizador Quimioluminiscente (QL)** [6]. Se usa para la medición directa de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), puede medir concentraciones continuas o en bolsas. Los analizadores de QL solamente miden las concentraciones de óxidos de nitrógeno NO en una muestra gaseosa, mediante el uso de un convertidor de alta eficiencia que cambia todo el  $\text{NO}_2$  en NO y se puede determinar la combinación total de ( $\text{NO} + \text{NO}_x$ ).

El analizador mide la luz de la reacción quimioluminiscente del NO y el  $\text{O}_3$ . Cuando un gas es analizado éste se mezcla con el  $\text{O}_3$  en una cámara y algo del  $\text{NO}_2$  producido existe en un estado excitado, el  $\text{NO}_2$  excitado regresa a su estado original emitiendo un fotón, cuando el  $\text{O}_3$  se encuentra en exceso la luz emitida por esta reacción es proporcional a la concentración de NO. Esta luz puede ser detectada por un filtro fotomultiplicador dando una salida lineal con el NO. Para medir la concentración de  $\text{NO}_x$  en una muestra se requiere de un convertidor eficiente para obtener NO.

Como la respuesta de este instrumento es lineal, bastan 2 puntos para calibrarlo y debe ser verificado periódicamente, esta se hace partiendo de gases conocidos.

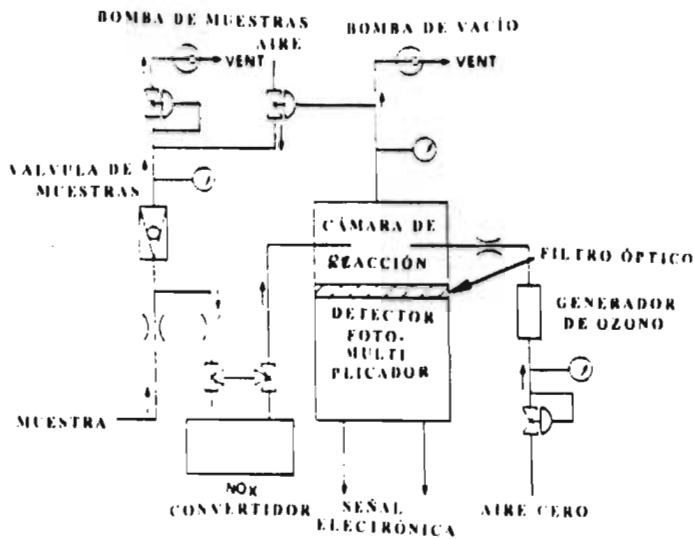


Figura 5.5A) Analizador QL al vacío

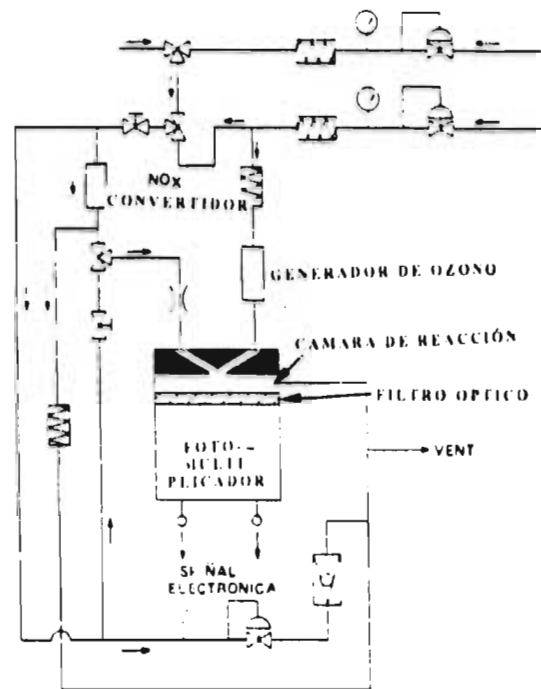


Figura 5.5B) Analizador QL atmosférico

La respuesta de un analizador de QL es directamente proporcional al volumen del flujo en la cámara de reacción de dicho analizador, haciendo un riguroso control del flujo que rige en la respuesta, es como se logra controlar la propia respuesta del analizador. Dado que el analizador de QL utiliza un sistema de control de presión capilar, el flujo de la muestra depende de la presión y viscosidad, esto obliga a que el gas de calibración tenga la misma viscosidad que aquel que se mide. Ver figuras 5.5A y 5.5B.

Antes de usarse el analizador de QL debe de calibrarse con gases de concentración conocida, pasar gas cero a través del analizador y ajustar a cero los instrumentos. Una concentración conocida de NO se aplica al fotomultiplicador ajustando el amplificador a una respuesta apropiada de los instrumentos.

#### 5.1.4 Analizadores de Oxígeno<sup>[6]</sup>

**5.1.4.1 Analizador Polarigráfico:** Este tipo de analizador opera bajo el principio de que diferentes gases se reducen al aplicárseles diferentes voltajes. De los gases comúnmente encontrados en el escape, el oxígeno es reducido al menor potencial y se puede medir. El instrumento mide la presión parcial de oxígeno en la muestra pero para condiciones de operación fijas se puede calibrar en unidades de volumen de oxígeno.

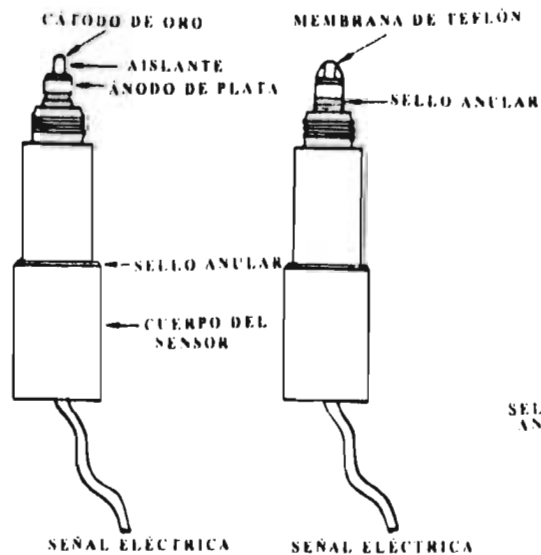


Figura 5.6 Sensor de oxígeno polarigráfico

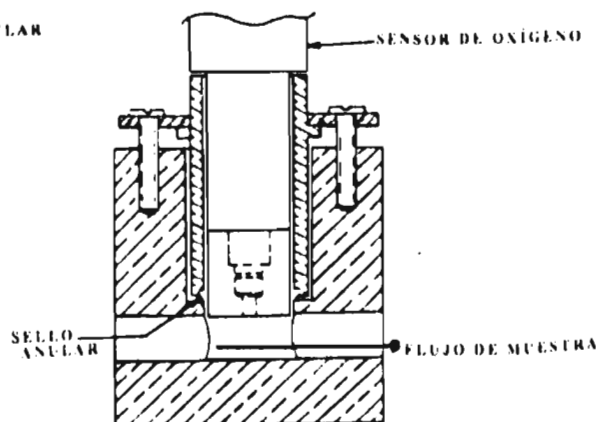


Figura 5.7 Instalación del sensor de oxígeno

El analizador consiste de 2 unidades básicas, un sensor y un amplificador, el sensor (figura 5.6) que detecta el contenido de oxígeno en la muestra, normalmente consiste de un cátodo de oro aislado de un ánodo de plata, entre los cuales se aplica un potencial de aproximadamente de 0.8V. El ánodo está conectado eléctricamente al cátodo mediante un gel de cloruro de potasio. El ensamble completo del ánodo-cátodo está separado de la muestra por una membrana de teflon permeable al gas.

Algunos gases como el  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$  y  $\text{NO}$  que se reducen a 0.8V interfieren en forma insignificante por su bajo contenido en los gases de escape. El sensor en operación se coloca en una corriente de muestra y el oxígeno se difunde a través de la membrana de teflon y es reducido por el potencial de 0.8V en el cátodo. Esta reducción causa un flujo que es proporcional a la presión parcial de oxígeno en la muestra.

Un ejemplo de este tipo de sensor se muestra en la figura 5.7. El sensor se diseña en pequeñas dimensiones para disminuir el tiempo de respuesta. Aun cuando este instrumento mide presiones parciales de oxígeno, es capaz de medir la presión total de la muestra. Como el sensor es lineal sólo se requieren de 2 puntos para su calibración.

**5.1.4.2 Analizadores paramagnéticos:** Estos miden la presión parcial de oxígeno de una muestra de gases mediante la susceptibilidad magnética. Esta propiedad de la muestra se debe en gran parte al oxígeno contenido en ella. Esto se debe a que el oxígeno es altamente paramagnético, a diferencia de los otros gases (excepto  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ). La susceptibilidad magnética del oxígeno puede concebirse como la habilidad de una molécula de oxígeno a convertirse temporalmente en magnética, cuando ésta es colocada en un campo magnético.

La medida de la susceptibilidad se realiza en la celda de análisis donde el cuerpo analizado que es montado en una fibra de cuarzo, es suspendido en un campo magnético uniforme. Así, como cambia la presión parcial de oxígeno en la muestra de gas que rodea al cuerpo probado, este rotará. Un sistema óptico censará la rotación causando a su vez un potencial que será aplicado al cuerpo de prueba para mantenerlo estático en una posición, dicho voltaje será el requerido para evitar la rotación provocada por el campo magnético. El voltaje es una medida de la concentración el oxígeno.

La respuesta causado por otros gases como CO, CO<sub>2</sub> y NO no es despreciable, por lo que la lectura requiere de ciertas correcciones. Además, este instrumento depende de la rotación de una masa relativamente grande por lo que su velocidad de respuesta es lenta, y no es adecuado para la medición en ciclos y su uso se restringe a análisis estacionarios. Este instrumento es calibrado a cero con ayuda del nitrógeno.

**5.1.5 Circuitos para los analizadores de gases<sup>[39]</sup>:** Los circuitos de los analizadores modernos, consisten de un mínimo de amplificación para dar la señal en un amplio rango. Regularmente estos cuentan con convertidores analógico-digital, en donde la señal se cambia a un valor de alta resolución, con esto se obtienen medidas precisas a bajas frecuencias, del orden de 1 ppm. y a altas frecuencias de 1 parte por 65,000, valores que corresponden a chips de 20 y 16 bits respectivamente. Los analizadores actuales son capaces de medir concentraciones de 0.01 a 1,000 ppm, sin necesidad de cambiar la ganancia del amplificador eliminando los problemas causados por los interruptores.

Los convertidores actuales no sólo pueden dar una resolución de 20 bits y están equipados con filtros que proveen reducción de ruido de 90 dB a 60 HZ, cuando son operados a 5 HZ. Esto trae consigo que las mediciones dependen ahora más de los elementos sensores que de los circuitos. El procesamiento digital permite recopilar datos de alta calidad, eliminando los errores causados por los circuitos análogos, mediante algoritmos filtrantes. De esta forma los analizadores pueden ser equipados con procesadores matemáticos comerciales de aplicación general, como lo son, el 68020 ó 68332 de Motorola, que pueden soportar con gran facilidad la paquetería para la mayoría de los requisitos de procesamiento de señales digitales, en caso de necesidad se puede adicionar un coprocesador 2211 para incrementar la capacidad de análisis.

Estos nuevos equipos requieren de mejores dispositivos de filtrado de señales, esto se logra mediante un número de rutinas de filtrado. Algunos detectores usados en aparatos quimioluminiscentes, como el foto-diodo, presentan gran sensibilidad a los rayos cósmicos. Ocasionalmente dichos rayos inciden en el detector y los datos se contaminan con picos de hasta 100 ppm que no existen, dichos picos deben ser reducidos a menos de 0.01 ppm, los filtros lineales no son capaces de eliminarlos, por lo que se hace necesario usar un convertidor analógico-digital

(A/D) de 16 bits, procesando 100 muestras por segundo, y un algoritmo filtrante. El algoritmo toma 31 muestras, las ordena en forma ascendente en la memoria y obtiene un valor medio, cada 0.01 segundo la última muestra es reemplazada por otra y se obtiene nuevamente el valor medio, desechando los demás.

La tendencia es que los dispositivos sean lo más flexibles y automatizados posible, haciendo uso de redes de computo comerciales que puedan soportar hasta 5 analizadores, con frecuencia de 30 Hz cada uno, presentando inmunidad a los ruidos externos. La construcción de estos equipos en módulos permite que sean colocados en donde sean más convenientes, reduciendo los costos de líneas de comunicación entre sensor y analizador. Además de que son elementos autoconfigurables según las variables a medir.

### 5.2 MEDIDORES DE COMBUSTIBLE

El consumo del combustible es uno de los parámetros más importantes a medir en las pruebas de investigación y desarrollo. En el mercado se puede encontrar una gran variedad de instrumentos de medición, existen los medidores volumétricos y los gravimétricos. Con los métodos volumétricos el volumen consumido se convierte a su masa equivalente, con ayuda de otros parámetros medidos, este tipo de equipo presenta errores en la medición ocasionadas por burbujas de aire y vapor.

**5.2.1 Gravimétrico<sub>[14]</sub>:** El principio gravimétrico presenta la ventaja de leer directamente la masa de combustible consumido, las diferencias de temperatura y presión no influyen en la lectura, por lo que la mayoría de los equipos comerciales se basan en este principio. Particularmente se describirá como se utiliza este principio de operación en los equipos de AVL, estos equipos no sólo son capaces de medir el consumo de combustible en un intervalo de tiempo dado, sino también el consumo instantáneo en forma precisa según las prestaciones del motor. Ver figura 5.8

El equipo consta de un depósito de medición (3), suspendido en una viga (2), la cual es soportada por un resorte plano sin fricción, el cual también soporta al sensor capacitivo, que sólo permite el cambio de posición en un planon, además de estar elaborado con materiales especiales para evitar problemas de histéresis. La variación de la posición de este resorte se compensa con la ayuda de

un resorte de suspensión (7), que está paralelo al anterior, y que también sostiene al depósito de combustible.

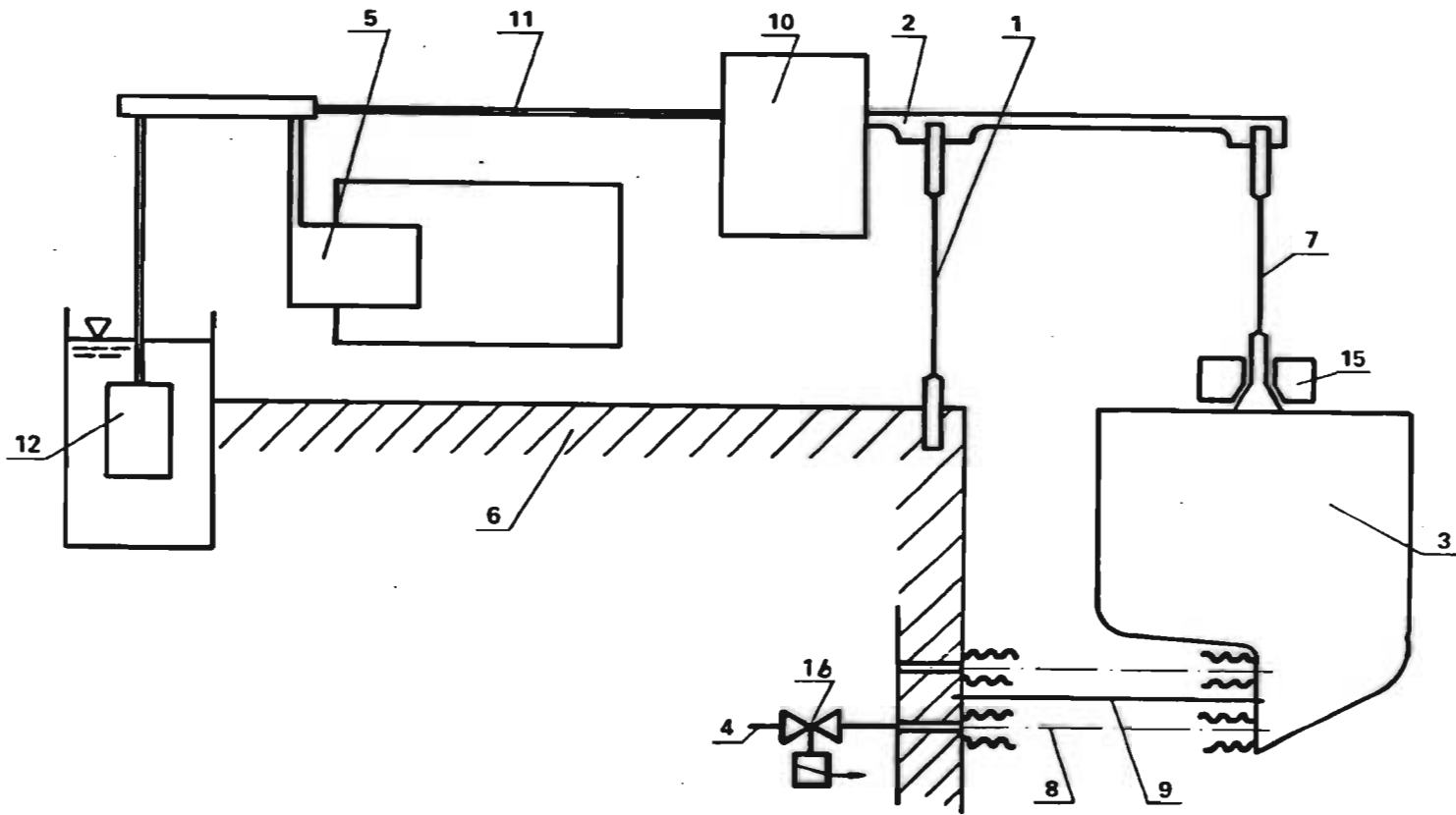
Para evitar cambios de posición no deseados, el depósito está conectado a un sistema de tubos flexibles (8) y un resorte (9), dado que los esfuerzos son conocidos y pequeños se tiene un coeficiente del resorte bien definido. Las cantidades máximas y mínimas de combustible a medir varía según el tipo de resorte. El equipo cuenta con dispositivos que evitan errores de medición por vibraciones externas (10). El brazo de medición (11) que está conectado a la viga de medición del sensor funciona como un filtro. Adicionalmente está equipado con un amortiguador hidráulico para filtrar oscilaciones dentro del rango de frecuencia de la medición.

El corazón del sensor de posición capacitivo es el puente (ver figura 5.9) que tiene la particularidad de respuesta a altas frecuencias. Esto permite compensar el puente aplicando un voltaje. Así el sistema convierte variaciones de capacitancia en voltaje. Este equipo permite medir masas de 1800 gr. con cualquier tipo de consumo de combustible. Según los requerimientos de un laboratorio el equipo permite:

- Medida gravimétrica independientemente de las propiedades del combustible.
- El balance es libre de histéresis con una resolución de 15 bits.
- El equipo cuenta con líneas de retorno de combustible.
- Las burbujas de vapor y aire se liberan en el depósito de medición.
- El equipo es compatible a un equipo de computo.

**5.2.2 Volumétrico<sub>[21]</sub>:** La figura 5.10 muestra un dispositivo para la medición volumétrica de la gasolina que consiste de dos bulbos de vidrio o metálico a y b conectados con tubos de vidrio, la cámara c de flotación mantiene el nivel 0 constante el tiempo en que el reloj no opera. Para determinar el consumo se activa el reloj y se mide el tiempo entre los niveles 1, 2 y 3 deteniendo el reloj ya sea en el nivel 2 ó 3.

**5.2.3 De orificio<sub>[21]</sub>:** La figura 5.11 muestra un medidor de orificio, en donde el combustible fluye a través de un pequeño orificio “a” manteniéndose un nivel de presión constante mediante una cámara de flotación y la diferencia “h” de las presiones estáticas antes y después de la medida del orificio. La cantidad de combustible medida se tiene de la curva de calibración para un tamaño de



*Fig 5.8 Esquema ilustrativo del medidor gravimétrico.*

*1- Resorte elástico; 2- Barra medidora; 3- Basoja medidora; 4- Línea de suministro de combustible; 5- Sensor capacitivo de posición; 6- Soporte del instrumento; 7- Resorte de suspensión; 8-tubo extensor flexible; 9- Resorte espaciador; 10- Contador de peso equivalente; 11- Brazo medidor; 12 Amortiguador; 13- Área del puente; 14- Electrodo Fork; 15 Masas de calibración; 16 Válvula solenoide.*



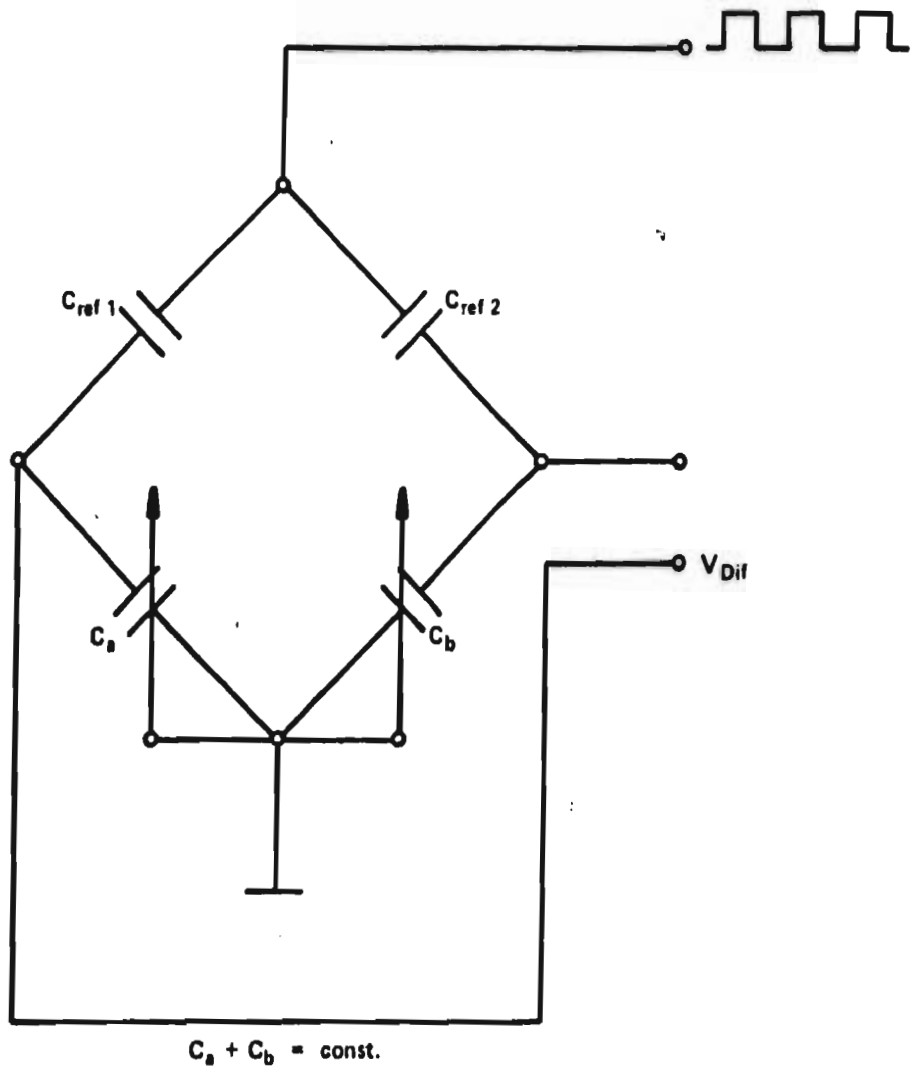


Fig 5.9: Esquema del sensor capacitivo.

orificio y tipo de combustible dado. La carga de presión depende esencialmente del gasto, lo mismo la precisión de la medición, por lo que es conveniente tener tres diferentes tamaños de orificios que puedan ser combinados en siete diferentes áreas y se pueda tener un amplio rango de flujo.

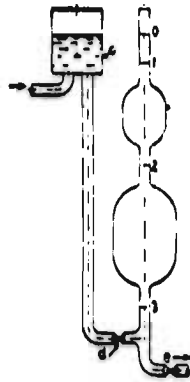


Figura 5.10 Medidor volumétrico de combustible

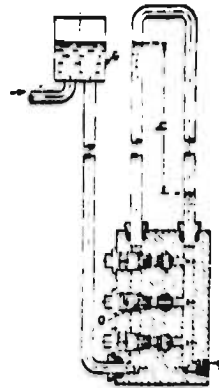


Figura 5.11 Medidor de combustible de orificio

### 5.3 MEDIDORES DE AIRE (CAUDALIMETROS)

Se conocen varios métodos para la medida de flujo ya sea en volumen o en masa, por lo que se discutirán algunos de estos métodos.

**5.3.1 Por velocidad promedio<sub>(16)</sub>:** Una forma general para conocer el flujo másico es mediante la siguiente ecuación :

$$G = \sum_{i=1}^n \rho_i A_i V_i = \rho V_{\text{prom}} A_{\text{tot}} \quad (5.2)$$

de forma que conociendo la velocidad promedio del flujo a lo largo y ancho de la sección (tubo) y estimando la densidad del aire (o mezcla aire combustible), podemos conocer el gasto másico, el problema se reduce a conocer la velocidad en la sección, esto se puede lograr con ayuda de un tubo de Pitot, anemómetro de hilo caliente o cinta caliente, etc. A continuación mencionaremos algunos de estos métodos de medición de velocidad.

**5.3.1.1. Tubo de Pitot (para flujo compresible)** [17]: su funcionamiento es sencillo aunque requiere de la ecuación de movimiento para flujo compresible, consideraciones de energía y descripción del proceso de flujo siendo la ecuación para conocer la velocidad como sigue:

$$V_0^2/2 = c_p T_s (1 - p_0/p_s)^{(k-1)/k} \quad (5.3)$$

con  $p_0$  la presión estática,  $T_s$  la temperatura de estancamiento y  $p_s$  la presión de estancamiento para flujo Subsónico. La figura 5.12 muestra un esquema de un tubo de Pitot.

**5.3.1.2 Anemómetros de hilo y cinta caliente**[17]: Estos son unos elementos que se pueden usar para medir tanto velocidad como fluctuaciones de la misma, los elementos típicos son como los mostrados en la figura 5.13. Estos sensores se fabrican comúnmente de platino, platino tungsteno, o platino iridio, por lo que el hilo es extremadamente frágil y se usan solamente en aire limpio, los sensores de cinta caliente son más resistentes, pues el hilo se recubre con una capa de cuarzo o de alúmina la cual tiene gran resistencia a la abrasión y alta conductividad, las capas de cuarzo se pueden usar para aislarlos eléctricamente, estos elementos miden la velocidad en forma indirecta, relacionándola con la potencia eléctrica suministrada por el sensor. Mediante la ecuación de King se conoce la cantidad de calor retirada por el fluido, además de que la resistencia eléctrica del sensor cambia con la temperatura, por lo que la velocidad se puede relacionar en forma indirecta mediante la variación de la resistencia ó de la corriente.

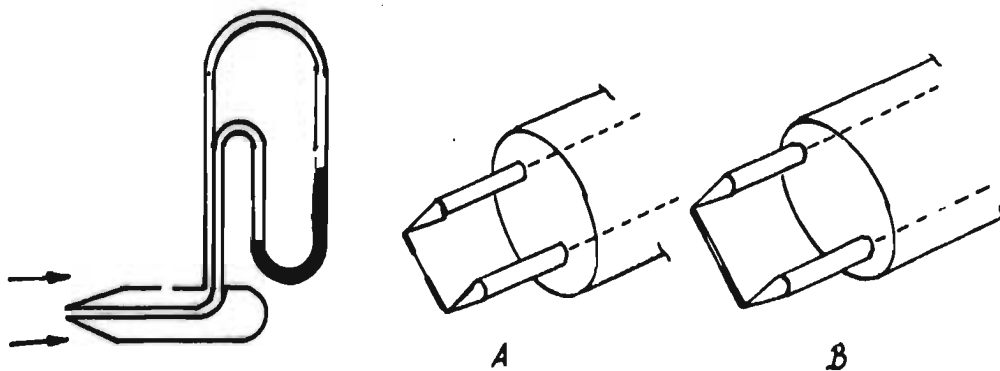


Figura 5.12 Tubo de pitot.

Figura 5.13 A) anemómetro de hilo caliente ,B) Anemómetro de cinta caliente

En la práctica, ésto se realiza tomando como elemento activo a un sensor en un puente de Wheatstone, y se pueden tener dos tipos de arreglo para el puente:

- Circuito de anemómetro de Corriente constante como el mostrado en la figura 5.14A , el principio de funcionamiento es balancear el puente con ayuda de una  $R_4$  variable, que ajusta las condiciones a 0, para mantener la corriente constante  $R_2 \gg R_1$ , cuando el puente esté desbalanceado por un flujo de aire en  $R_1$  , por decremento de la resistencia, produciendo un potencial que se relaciona con la velocidad del flujo. Este arreglo tiene bajo nivel de ruido y excelente sensibilidad.
- Circuito de Temperatura constante, como el mostrado en la figura 5.14B, en este caso el sensor nuevamente es el elemento activo del puente de Wheatstone, el cual se balancea en  $R_4$  bajo condiciones de  $V = 0$ . Cuando el flujo pasa por el sensor el desbalanceo se observa en el galvanómetro B-D, el balanceo se obtiene ajustando el reostato incrementando el potencial de entrada del puente. Bajo condiciones de balanceo se tiene la ecuación :

$$V = C_0((I/I_0)^2 - 1)^2 \quad (5.4)$$

donde  $C_0$  es la constante de calibración,  $I_0$  e la corriente de  $V = 0$  a la temperatura deseada e  $I$  es la corriente a la velocidad 0. En cada caso el usuario determinará dichas constantes, logrando mejores resultados con resistencias de precisión.

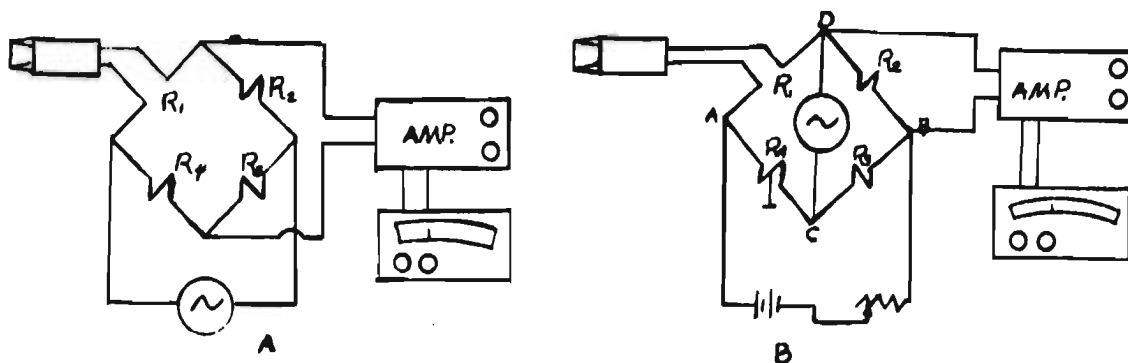


Figura 5.14A) Circuito de corriente constante, B) Circuito de temperatura constante

**5.3.1.3 Transductores de Velocidad a base de fuerzas de arrastre**<sub>[17]</sub>: Los transductores de fuerza arrastre operan en el principio de que las fuerzas de arrastre  $F_D$  en un cuerpo en flujo uniforme es relacionado con la velocidad  $V$ , la densidad  $\rho$  y el área frontal  $A$  de un cuerpo normal a la dirección del flujo, que se da por la expresión:

$$F_D = C_D \rho V^2 A / 2 \quad (5.5)$$

donde  $C_D$  es un parámetro adimensional. Entre los aparatos que se rigen por estos métodos están:

- **Rotámetros:** es un elemento común, consistente en un tubo estrecho y un flotador sólido que este libre de moverse verticalmente en el tubo. La medición se puede efectuar en un rango determinado por las fuerzas de arrastre, flotación, etc. y se puede estimar la velocidad con la ecuación:

$$G = k \rho_b y / 2 \quad (5.6)$$

pues el flujo está indicado por la posición "  $y$  " del flotador donde  $\rho_b$  es la densidad del flotador.

- **Medidor de flujo de turbina:** Consiste en una propela axial miniatura suspendida de un tubo donde la rotación de la turbina es proporcional a la velocidad del flujo, la velocidad de la turbina se obtiene con un rollo de alambre que responde al paso de los alabes de la turbina, con pulsos de potencial que son contados para conocer la cantidad de flujo, este aparato tiene errores de 0.05% en líquidos y 0.5 % en gases.

**5.3.2 Medición mediante variación de presión**<sub>[17]</sub>. Entre los medidores de velocidad y gasto más comunes, se encuentran los de venturi, las toberas calibradas, y los orificios calibrados. La operación de cada uno de estos elementos se basa en el hecho de que un cambio en la geometría del tubo causa un correspondiente cambio de velocidad y presión del fluido en el tubo, aplicando el teorema de Vernoulli y la ecuación de continuidad se tiene que el gasto es:

$$G = C_v A_2 (2g(p_1/\gamma + z_1 - p_2/\gamma - z_2))^{0.5} / (1 - (A_2/A_1)^2)^{0.5} \quad (5.7)$$

A continuación se detallan dichos tipos de medidores.

- **Venturi:** Consiste en un cono de entrada con un ángulo de  $21^\circ$  una garganta corta y un cono difusivo de entre  $5$  y  $15^\circ$  como se muestra en la figura 5.15, en donde se muestran algunas dimensiones recomendadas, y donde  $C_v$  varía entre .97 y .99.
- **Tobera de flujo:** Básicamente se comporta como el venturi, mostrándose en la figura 5.16 las dimensiones recomendadas, siendo la variación de  $C_v$  función de  $d/D$  y el número de Reynolds.
- **Placa de orificio:** Consiste de una placa de orificio circular de canto afilado en dirección aguas arriba, insertado en un tubo, aquí se da un área mínima aguas abajo llamada vena contracta, por lo que se agrega un coeficiente de contracción a la ecuación anterior.

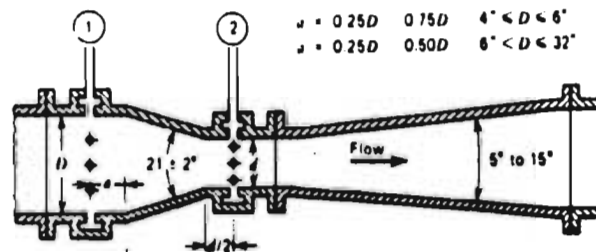


Figura 5.15 Medidor de gasto de Venturi

## 5.4 MEDIDORES DE TEMPERATURA

**5.4.1 Termómetros Resistivos**<sup>[17]</sup>: Consisten en un sensor que exhibe cambio en la resistencia a un voltaje de salida, de este tipo se tienen dos clases:

- **Resistivos:** Son resistencias de platino níquel o cupro-níquel, tienen gran repetibilidad y un coeficiente de resistividad positivo (es decir se incrementa con la temperatura).
- **Termistores:** Son fabricados a partir de semiconductores, como óxidos de magnesio, óxidos de níquel y cobalto, estos tienen un coeficiente de resistencia negativo, cuando se requieren de termistores de precisión estos se fabrican de germanio o de silicio dopado.

En ambos casos gran parte de la precisión y el tiempo de respuesta depende de la electrónica auxiliar utilizada.

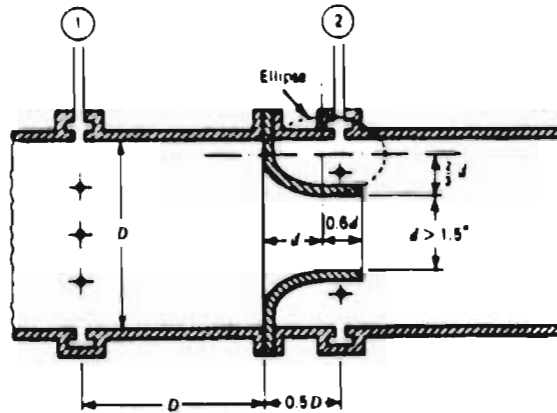


Figura 5.16 Medidor de gasto de tobera de flujo

**5.4.2 Termopares<sub>[17]</sub>:** Es un sensor muy simple, consiste esencialmente de dos alambre de distinto material en contacto, como se muestra en la figura 5.17. Su operación se basa en el efecto Seebeck que resulta en la generación de un potencial eléctrico. El efecto se produce por difusión de electrones a lo largo de la interface entre los dos materiales. El potencial eléctrico del material aceptando electrones se convierte negativo en la interface y el material que provee electrones se convierte en positivo, así se establece un campo eléctrico. Cuando este campo eléctrico es suficiente para balancear las fuerzas difusivas se establece un equilibrio migratorio y la magnitud de la fuerza de difusión es controlada por la temperatura y el potencial eléctrico, que a su vez provee una medida de la temperatura. Regularmente se utiliza un dispositivo dual y se mide el voltaje en el circuito entre M y N donde

$$E_0 = C_1 (T_1 - T_2) + C_2 (T_1^2 - T_2^2) \quad (5.8)$$

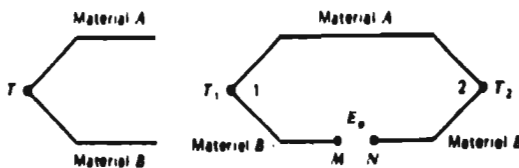
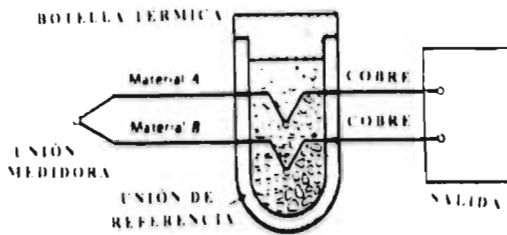


Figura 5.17 Arreglo de termopares

donde  $C_1$  y  $C_2$  son constantes termoeléctricas que dependen del material y  $T_1$  y  $T_2$  son temperaturas en las uniones. La respuesta no es lineal, por lo que se calibran en un amplio rango.



Como el termopar responde a la diferencia de temperaturas se hace necesario que se mantenga a una temperatura de referencia, la técnica más simple es con agua y hielo, como se ilustra en la figura 5.18, pues el baño con agua y hielo está a  $0^{\circ} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ .

Figura 5.18 baño del termopar

**5.4.3 Sensores comerciales de temperatura**<sup>[36]</sup>: Dadas las altas regulaciones que pesan en la actualidad sobre las emisiones los instrumentos comerciales requieren de una gran precisión, pues se requiere de conocer la temperatura de los gases de escape en dispositivos tales como catalizadores, múltiples de escape, etc. En los 70's y 80's los equipos presentaban ya un tiempo de respuesta aceptable de 30 segundos, siendo este el tiempo requerido para alcanzar el 64% del total del valor del cambio de temperatura, en la actualidad este tiempo se ha reducido a 10 segundos. Para lograr esto los sensores tienen espesores de 3 mm. Ver figura 5.19 .

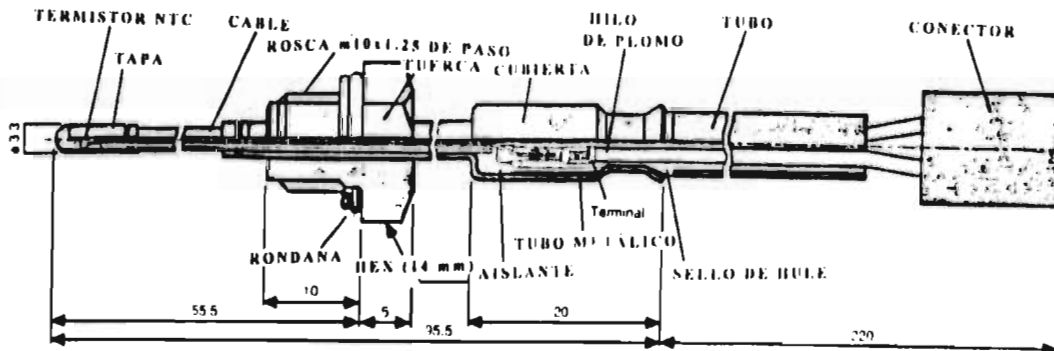


Fig 5.19 Sensor comercial de Temperatura

Nótese que el sistema en donde es colocado el sensor también contribuye al tiempo de respuesta del sensor, pues el tiempo se reducirá si el sensor es colocado en zonas de gran turbulencia. Entre los dispositivos más utilizados en los sensores se encuentran los termistores y termocoples. Los sensores más apropiados resultan ser los resistivos, pues presentan una salida proporcional a la temperatura en rangos de aplicación menores a los  $600^{\circ}\text{C}$ , aunque su rango se puede extender



hasta los 1,000 °C, estos últimos hechos a base de elementos cerámicos, algunos otros usan láminas de platino muy delgadas. Los sensores de alambre de platino, se usan comúnmente para temperaturas superiores a los 850 °C, estos son simples y robustos, pero su manufactura es compleja y tienen un alto costo, por lo que su producción y demanda es baja. Los sensores de moda presentan un alma cerámica y un recubrimiento de platino extremadamente delgado, presentan gran estabilidad, pero a mayor rango de temperatura se presenta un mayor tiempo de respuesta, pues el sensor es más robusto y por lo general tienen una vida más corta.

La sensibilidad de los sensores varía según el tipo. Los termocoples se encuentran en un rango de 40 mV/°C, mientras que los termistores es de 100 mV/°C. Hay que notar que este tipo de sensores son inapropiados cuando circula una gran cantidad de corriente a través de ellos. Los sensores a base de platino tienen una respuesta cuasi lineal por abajo de los 500 °, con coeficientes de temperatura-resistencia de 0.0039  $\Omega / \Omega ^\circ\text{C}$ , lo que significa que una resistencia de 100  $\Omega$  a 0 °C variará a unos 400  $\Omega$  a 1,000 °C. El recubrimiento externo de estos sensores será parecido al de los sensores resistivos y termocoples. La tabla 5.1 presenta algunos materiales para sensores. Si se requiere conocer la temperatura de combustión en forma instantánea, se requiere de otro tipo de elementos sensores, entre varios se considera como el de mayor aplicación el pirómetro infrarrojo, pese a que requiere de una ventana óptica, este elemento es capaz de medir la temperatura si se conoce la absorción por parte del CO<sub>2</sub> o se puede estimar dicha absorción. En el caso del pirómetro infrarrojo de absorción se requieren de dos ventanas. También se puede hacer uso de un diafragma de temperatura el cual da buenos resultados, para longitudes de onda de 4.3 mm (considerada casi constante), para analizar el proceso de combustión presentando temperaturas medias de combustión.

TABLA 5.1

MATERIALES TERMISTORES		
CLASE	COMPOSICION DEL MATERIAL	SISTEMA DEL CRISTAL
Baja temp. <300°C	MnO-CoO-NiO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CuO	Forma girada
Temp. media 500°C	MnO-NiO-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Forma girada
Alta Temp. 1000°C	ZrO <sub>2</sub> Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -NiO-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CoO-MnO	Forma fluorizada Forma girada

**5.4.4 Sistemas de procesamiento de señales<sub>[36]</sub>:** Comúnmente estos sistemas cuentan con convertidores analógico-digitales de 8 Bits de resolución, estos instrumentos miden el voltaje que se presenta en el circuito. La tabla 5.2 presenta un resumen de los sistemas usados para medir temperaturas, estos sistemas protegen a los sensores con la ayuda de resistencias, de manera que los sensores operen adecuadamente.

TABLA 5.2

PARÁMETROS DE SISTEMAS SENSORES DE TEMPERATURA			
CRITERIO	TERMOCOPLE	TERMISTOR	RTD DE PLATINO
Interface electrónica requerida	De unión y voltaje compensado, amplificador o circuito A/D de muy alta resol.	Interface resistiva estandar, resolución A/D estandar ó amplificador	Interface resistiva estandar, alta resolución A/D ó amplificador
Sensibilidad	Muy baja	Media -alta	media
Costo del sensor (unit.)	0.8	1.0	1.0 - 1.5
Característica resistiva	Salida de voltaje	Exponencial	Lineal
Autocalentamiento	no	10 - 20 mW/°C	1 - 100 mW/°C
Robustes	Leve	Buena	Buena
Desempeño a alta temperatura	Manufacturabilidad Largo arrastre térmico Sensible al medio amb.	Muy preciso	elemento terminado RTD Gran rango de temp. Gran estabilidad termica

## 5.5 MEDIDORES DE PRESIÓN

La medida de la presión se fundamenta en tres principios ampliamente conocidos estos son:

- La presión estática está fuertemente influenciada por la posición del punto de medición en un fluido estático, e independiente de la dirección, de tal forma que se puede expresar la variación de la presión como:

$$dp = - \gamma dh \quad (5.9)$$

donde  $\gamma$  es el peso específico del fluido y  $h$  representa la altura del fluido.

- La presión no se afecta por la forma de las paredes que contienen al fluido.

- Una presión aplicada a un fluido confinado mediante una superficie móvil se transferirá por el fluido en todas las paredes circundantes. Es cuando los instrumentos de medición hacen su aparición.

**5.5.1 Transductores de presión**<sup>[17]</sup>

**5.5.1.1 Fuelles:** Un elemento elástico usado en transductores de presión toman la forma de fuelles, la presión es aplicada en un lado a los fuelles y la deflección resultante está parcialmente contrabalaceada por un resorte (ver figura 5.20).

**5.5.1.2 Diafragma:** Un elemento elástico de muy amplio uso en los transductores de presión son los diafragmas, dichos elementos se encuentran como formas plana, corrugados o en forma de plato, la elección depende de la fuerza y cantidad de deflección deseada, en instrumentos de alta precisión un par de diafragmas son usados espalda con espalda para formar una cápsula elástica, aquí se aplica una presión al interior de la cápsula la cual es rodeada por fuera por otra presión. Ver figura 5.21.

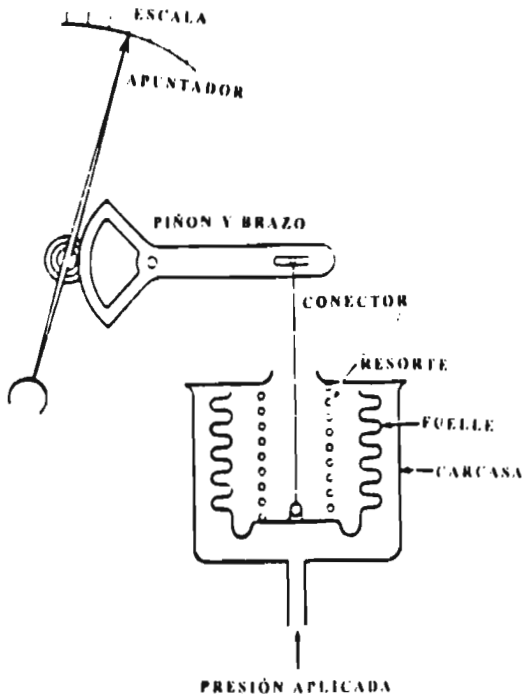


Figura 5.20 Transductor de Fuelle

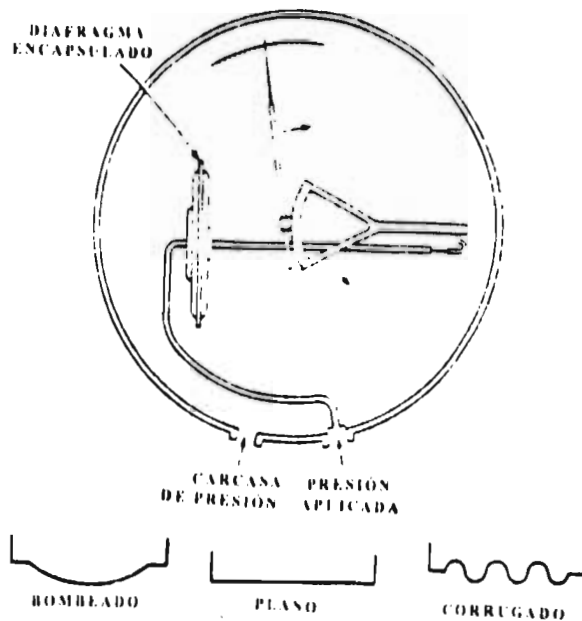


Figura 5.21 Transductor de diafragma

### 5.5.2 Transductores eléctricos<sub>[17]</sub>

**5.5.2.1 Transductor de presión eléctricamente activo:** En estos transductores un elemento piezoeléctrico provee la base de medición, el principio consiste en que ciertos cristales producen una diferencia de potencial superficial cuando son sometidos a esfuerzos en las direcciones apropiadas, los elementos que exhiben dicha propiedad son el cuarzo, la sal de Rochelle, titanato de bario y titanio-zirconio-plomo. Se diseñan de manera que se orienta la estructura cristalina en la dirección que se desea obtener la máxima respuesta piezoeléctrica, mientras que dicha respuesta sea nula o despreciable en otras direcciones. Por ser instrumentos con buena resistencia a la presión, estos se aplican en cilindros discos y demás se usan para medir fluctuaciones de presión en transitorios como golpes de ariete. Aunque la fuerza electromotriz inducida por estos elementos es proporcional a la presión no es difícil calibrarlos por medios estáticos.

#### 5.5.2.2 Transductores de presión eléctricamente pasivos<sub>[17]</sub>:

- **Piezo resistivos:** Es el de uso más común, estos elementos operan bajo el principio de que la resistencia eléctrica de un alambre varía con su longitud bajo carga. En el tipo no ligado se tienen 4 alambres que corren libres entre 4 puntos aislados, 2 de ellos localizados en forma fija sobre un cuadro y otros 2 en una armadura movable, los alambres están pretensados y conforman las patas activas de un circuito convencional. Bajo tensión el elemento elástico desplaza la armadura causando que 2 de los alambres se alarguen cuando reduce la tensión en los otros dos, este cambio en resistencia causa un desbalanceo en el puente proporcional a la presión, siendo estas cantidades relacionadas por calibración. El uso de los alambres en esta forma aumenta la sensibilidad y evita que los alambres estén libres entre los puntos causando una alta frecuencia natural para el transductor. En el transductor de tipo ligado el medidor de esfuerzo toma la forma de un alambre fino envuelto en papel o plástico y fijado con cemento a un plato flexible, que toma la carga del elemento elástico, regularmente se conectan dos elementos resistivos en un puente para intentar nulificar los efectos de temperatura. La corriente eléctrica de entrada requerida para todos los transductores pasivos, es en este caso la excitación voltaica en el puente. La impedancia nominal en los puentes es de  $350\Omega$  y el voltaje nominal es de 10 V (ac o dc). La frecuencia puede ser tan grande como 50,000 Hz. La resolución es infinita y la resolución de estos elementos por calibración es de 1% de la escala total. Ver figura 5.22.

- **Potenciométrico:** Otro transductor de presión de resistencia variable opera en el principio de contactos móviles, como aquellos encontrados en los reostatos deslizables. En un arreglo el elemento elástico es un tubo helicoidal de Bourdon y un potenciómetro de precisión sirve como elemento eléctrico. Según se aplica la presión el tubo se desenrolla y causa un recorrido para mover sobre el potenciómetro, así varía la resistencia de un circuito que la mide y graba.
- **Capacitivo:** En este transductor el elemento elástico es usualmente un diafragma de metal que sirve como un plato capacitor. Si se aplica la presión el diafragma se mueve con respecto a otro plato fijo al cambiar el espesor del dieléctrico entre los platos varía la capacitancia, la que se mide por medio de un circuito apropiado, esta variación puede ser relacionada con la presión.

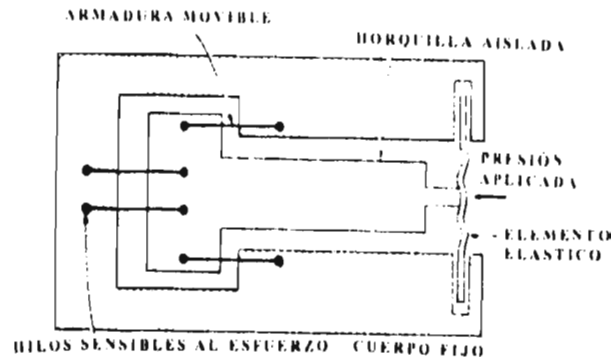


Figura 5.22 Transductor de presión eléctrico pasivo.

- **Transductor de reluctancia variable:** en estos transductores la salida eléctrica se deriva de la inductancia variable, operando en el principio de una corredera magnética movable en un campo magnético. En un tipo el elemento elástico se tiene en un diafragma magnético localizado entre entre dos arrollamientos magnéticos de salida, resultando un voltaje de salida proporcional a la presión aplicada. También los hay con elementos elásticos en tubo plano enrollado de tipo de Bourdon. Un armazon magnético plano se conecta directamente a la parte cerrada del tubo que rota cuando la presión se aplica. Los pequeños cambios que acompañan la regilla de aire entre la armazon y la salida electromagnética del arrollamiento, alteran la inductancia en un circuito de puente. Esta variación es usada para modular la amplitud o frecuencia del voltaje acarreado, con el resultado neto de una respuesta eléctrica que es proporcional a la presión aplicada.

**5.5.3 Sensores de presión comerciales**<sup>[40] & [41]</sup>: Los sensores de presión son muy solicitados en muchas de las aplicaciones de investigación automotriz, como lo es en múltiples de admisión y escape, en las cabezas de los cilindros, tanques de combustible, sistemas de frenos, etc. Estos pueden utilizar alguno de los transductores ya mencionados. A partir de la década de los 80's se comenzaron a utilizar sensores de silicio maquinados, los cuales cuentan en la actualidad con circuitería inteligente integrada, esto ha propiciado que el arreglo del sensor (circuito-transductor) sea tan importante como el acondicionamiento de la señal, un arreglo adecuado determinara la capacidad de respuesta del sensor, su precisión, costo, etc. Los trisores planos de los circuitos integrados actúan como elementos multifuncionales dentro de los sensores. En sí el sensor regularmente consiste de un transductor de fuelle o diafragma, y un circuito completo para la evaluación, el tamaño del circuito es de 3.9 por 3.6 mm. Un proceso bipolar estandar es usado para fabricar tanto la señal del circuito condicionado y el elemento sensor. El espesor de la membrana suele ser de  $18\mu\text{m}$ , y de 1 por 1 mm, para un rango de presiones de 100kPa.

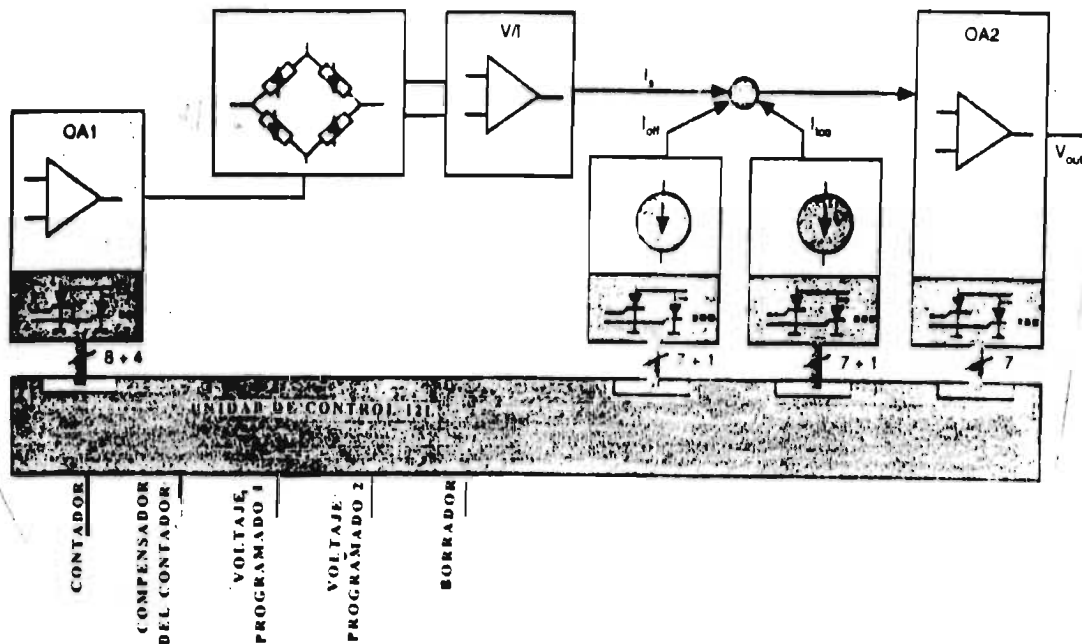


Fig 5.23 Diagrama de bloque completo del circuito evaluador.

El diagrama del circuito para el acondicionamiento de la señal se muestra en la figura 5.23. El circuito consiste de un puente de Wheatstone, dos amplificadores operacionales, un convertidor de

corriente-voltaje y dos fuentes de corriente, la sensibilidad a la temperatura se compensa con un amplificador OA1 que produce un voltaje de temperatura variable, así la señal resultante del puente, se convierte en una señal de corriente dirigida a un punto de suma, otras dos fuentes de corriente se conectan al punto de suma para compensar el efecto de la temperatura, un segundo amplificador OA2 actúa como un convertidor de corriente-voltaje amplificando la señal de salida. El arreglo de los trisores planos representan el corazón del circuito integrado, los cuales alimentan en serie la información binaria al circuito de análisis, donde los bits son codificados individualmente y se seleccionan las características del rango, el voltaje programado de los datos de salida se incrementa y posteriormente es almacenado.

En la figura 5.24 se muestra una salida típica de un sensor completamente montado y compensado para medir presión de aire en un múltiple de entrada. El voltaje se ha ajustado de 0.4 a 4.6 V, para presiones de 20 a 115 kPa a un voltaje de excitación de 5V. La figura 5.25 muestra una gráfica para distintos rangos de presión.

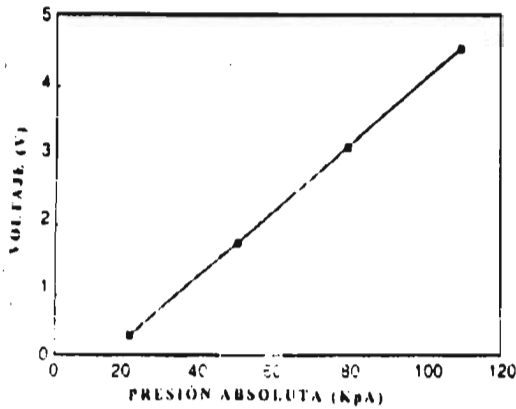


Fig. 5.24 Salida de un sensor MAP

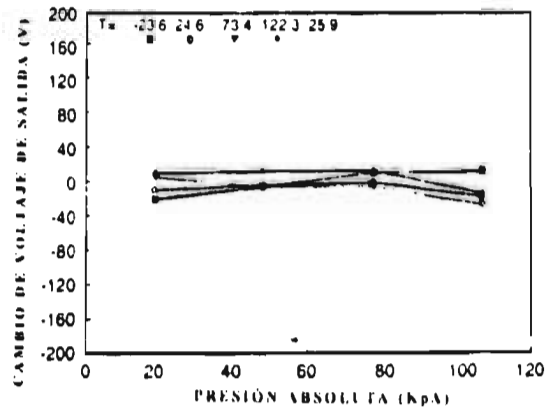


Fig. 5.25 Respuesta según la temperatura

### 5.6 MEDIDORES DE PAR

Dada la relación que existe entre el par y la potencia, estos instrumentos, son los mismos que se usan para cuantificar la potencia como sigue :

$$N = 2\pi nT \quad (5.10)$$

corriente-voltaje y dos fuentes de corriente, la sensibilidad a la temperatura se compensa con un amplificador OA1 que produce un voltaje de temperatura variable, así la señal resultante del puente, se convierte en una señal de corriente dirigida a un punto de suma, otras dos fuentes de corriente se conectan al punto de suma para compensar el efecto de la temperatura, un segundo amplificador OA2 actúa como un convertidor de corriente-voltaje amplificando la señal de salida. El arreglo de los trisores planos representan el corazón del circuito integrado, los cuales alimentan en serie la información binaria al circuito de análisis, donde los bits son codificados individualmente y se seleccionan las características del rango, el voltaje programado de los datos de salida se incrementa y posteriormente es almacenado.

En la figura 5.24 se muestra una salida típica de un sensor completamente montado y compensado para medir presión de aire en un múltiple de entrada. El voltaje se ha ajustado de 0.4 a 4.6 V, para presiones de 20 a 115 kPa a un voltaje de excitación de 5V. La figura 5.25 muestra una gráfica para distintos rangos de presión.

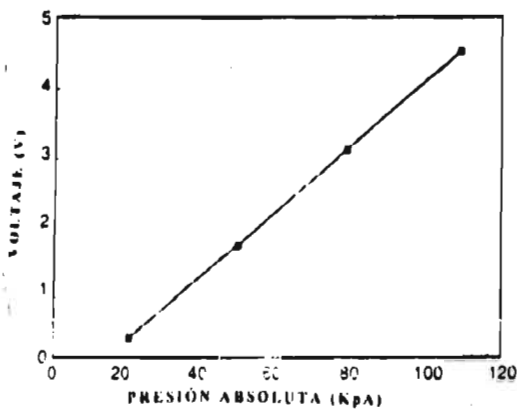


Fig. 5.24 Salida de un sensor MAP

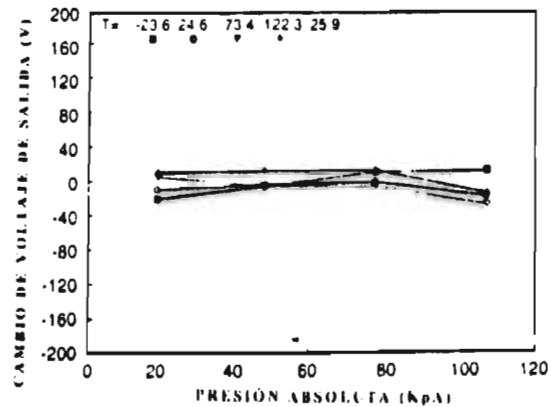


Fig. 5.25 Respuesta según la temperatura

## 5.6 MEDIDORES DE PAR

Dada la relación que existe entre el par y la potencia, estos instrumentos, son los mismos que se usan para cuantificar la potencia como sigue :

$$N = 2\pi nT \quad (5.10)$$



donde  $N$  es la potencia,  $n$  el número de revoluciones del motor,  $T$  el par aplicado. Por lo que se hablará de estos en la sección 5.7.

### 5.7 MEDIDORES DE POTENCIA<sub>[20]</sub>

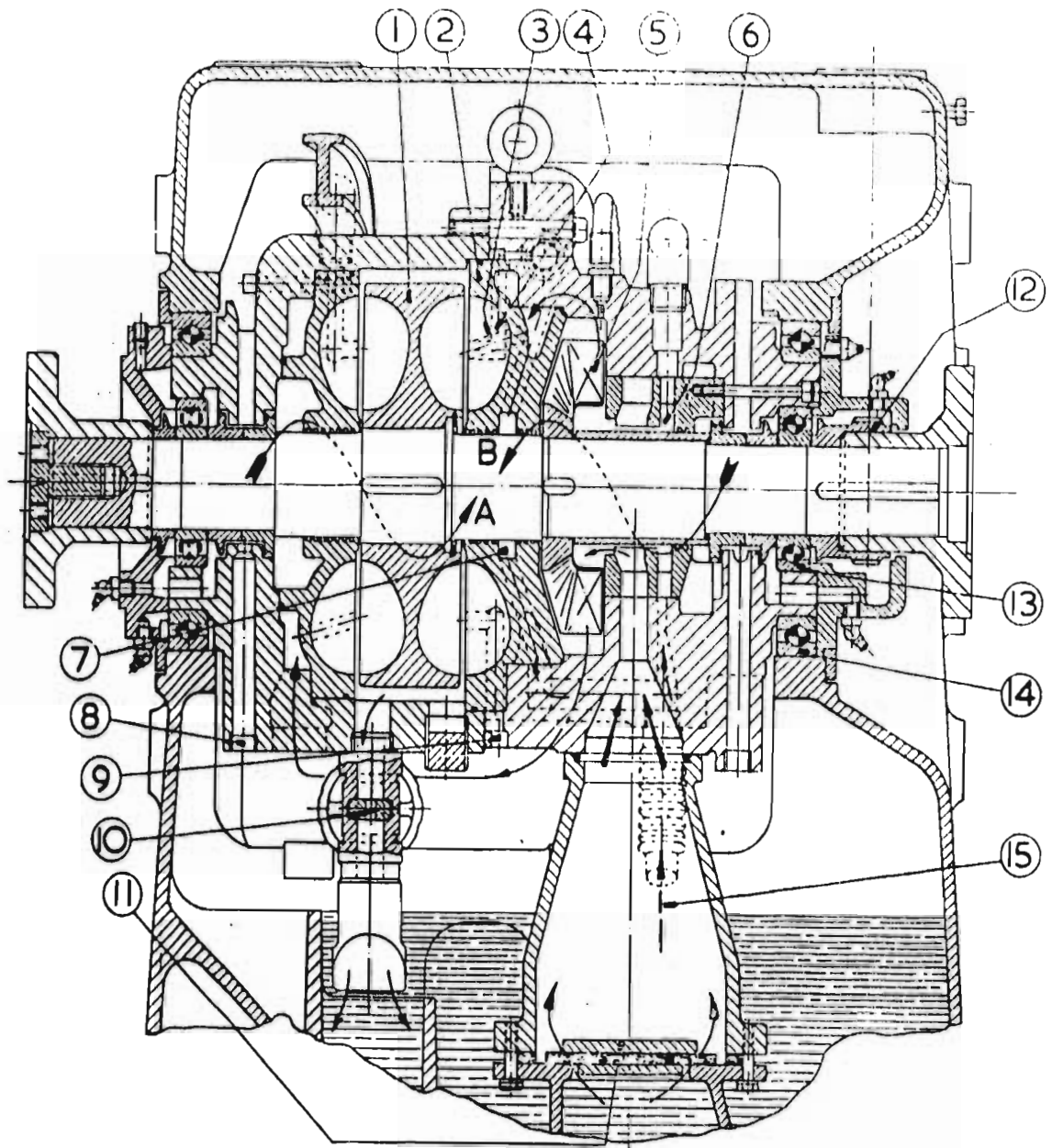
Históricamente para medir la potencia (y el par) se han utilizado los frenos, siendo en sus inicios el freno de Prony el más popular. Sin embargo por la necesidad de obtener medidas más precisas y con el fin de poder analizar en forma efectiva a los motores, éste ha sido desplazado por otros tipos de frenos, los que a continuación analizaremos.

**5.7.1 Freno Hidráulico<sub>[24]</sub>:** El arreglo típico de este dinamómetro es el que se muestra en la figura 5.26, en este tipo de dinamómetro se presentan diversas fuerza que son las que disipan potencia, dichas fuerzas son las creadas por el rotor, la bomba impulsora, la fricción de los rodamientos y la potencia consumida por el tacómetro.

El dinamómetro consta de una carcasa, copas disipadoras de potencia y una bomba que hace circular el agua a través del mismo, este rara vez funciona con la carcasa llena, y es a través del nivel del agua en la carcasa que varía la potencia consumida por el dinamómetro. La cantidad de agua en las copas depende de dos factores, 1- La cantidad de agua que entra en la carcasa, 2- La cantidad de agua que abandona la carcasa.

La acción del vórtice en las copas absorbedoras de potencia producen, en la carcasa, una presión de agua que se eleva en el exterior. la presión generada hace que el agua fluya en la válvula de salida, enviándola a un sumidero de agua caliente, parte del agua que escapa por los sellos también es conducida al mismo sumidero, alguna parte de esta agua se mezcla con agua fría y es recirculada para posteriormente ser drenada. El dinamómetro puede girar en cualquier sentido, horario o contrario a este, pero debido a la forma de las copas, este tendrá mayor capacidad de disipación en un sentido que en otro.

Dado que la flecha del impulsor está directamente conectada a la del dinamómetro, se tiene para una posición dada de la válvula de control, que la cantidad del agua suministrada en el freno es proporcional a la velocidad de rotación y la potencia absorbida del orden del cuadrado de la velocidad.



*Fig 5.26 Sección típica de un dinamómetro hidráulico*

**1- Rotor; 2- Estator; 3- Puertos de suministro de agua (en estator); 4- Puertos de ventilación (en estator); 5- Impulsor; 6- Compartimiento del sello del impulsor; 7- Sello anular en el estator; 8- Puertos de prevención de fugas de agua; 9- Puertos de ventilación; 10- Válvula de salida de agua; 11- Válvula de la bomba de succión; 12- Engranajes del tacómetro; 13- Rodamientos de la flecha; 14- Rodamientos en la carcasa; 15- Sello de la entrada del agua .**

Los componentes del dinamómetro regularmente son de acero, sin embargo para altas velocidades se utilizaran chumaceras especiales de bronce. Regularmente este tipo de dinamómetros cuenta con accesorios adicionales que pueden ser incorporados para aumentar el rango de operación y su flexibilidad, estos son enfriadores de agua, soportes de motor, flechas cardan, arrancadores de motores, medidores gravimétricos de combustible y paneles de control.

El par puede ser medido mediante resortes de constante conocida, que balancean un brazo conectado a la carcasa del dinamómetro, y la ayuda de masas conocidas que también contra balancean el dinamómetro. Así al potencia puede ser calculada como.

$$\text{BHP} = W N / K \quad (5.11)$$

donde  $W$  es el peso neto levantado por el dinamómetro y la fuerza del resorte,  $N$  la velocidad del dinamómetro, y  $K$  una constante que depende del dinamómetro (rotor, bomba, chumaceras, etc), como todo dispositivo de medición debe ser previamente calibrado.

**5.7.2. Dinamofreno<sub>[20]</sub>:** Están constituidos por una dínamo que absorbe la potencia del cigüeñal, generando corriente eléctrica y provocando un par de vuelco sobre la carcasa que, como en los demás casos, está balanceada.

La potencia se puede medir con una balanza o celda de carga como en casos anteriores, o bien midiendo la energía eléctrica generada. En el segundo caso, tratándose de un generador de corriente continua, la potencia vendrá dada por :

$$N_e = V I / 1000 \eta_g \quad (5.12)$$

Donde  $N_e$  es la potencia en kW,  $V$  es la tensión en Volts,  $I$  la intensidad de corriente en Amperes,  $\eta_g$  el rendimiento del generador eléctrico.

La regulación de la carga se consigue variando la tensión en el inducido y la excitación de la dinamofreno. Como inconvenientes de este freno pueden citarse el alto precio, pequeña gama de

utilización, régimen máximo reducido y gran volumen para la potencia absorbida. Sin embargo, presentan la ventaja de que se puede aprovechar la energía eléctrica generada para, convenientemente transformada, aportarla a la red de energía eléctrica, en caso contrario se hace necesario disponer de un sistema de disipación regulable de energía. Como ventaja fundamental está la posibilidad de utilizar la dinamofreno como motor eléctrico para realizar pruebas de arrastre del motor térmico con el mismo equipo empleado para su frenado. Así pues, este tipo de freno es muy versátil por su capacidad de frenado y arrastre del motor, pudiendo en ambos casos medir el par efectivo.

**5.7.3 Freno electromagnético**<sup>[20]</sup>: Consta de un rotor con aspecto de engranaje de dientes anchos con un elevado paso. En el estátor existen una o varias bobinas de campo que son excitadas mediante una pequeña corriente continua. La aplicación de la corriente produce un flujo magnético que une el rotor con el estator. En las cabezas de los dientes se producen fuertes concentraciones de flujo, las cuales al girar el rotor en cualquier sentido, dan lugar a corrientes de Foucault cerca de la periferia interna del estator.

Los campos magnéticos así creados por las corrientes de Foucault obran recíprocamente a las concentraciones del campo principal, de tal forma que tienden a impedir el giro del rotor. Esta acción es la que confiere al freno su capacidad de absorción de potencia que puede modificarse mediante la variación de la corriente de excitación. La potencia del motor se convierte en calor, evacuado por una corriente de agua que circula por el estator, lugar en donde debido al dentado del rotor se generan las corrientes de Foucault. Las características más sobresalientes de este tipo de freno son las siguientes:

Por su principio de funcionamiento son susceptibles de ser automatizados con gran variedad de leyes de control, no contienen elementos mecánicos importantes sujetos a desgaste y finalmente su precio es elevado con respecto a los frenos hidráulicos.

## **5.8 MEDIDORES DEL RÉGIMEN DE GIRO**<sup>[40] & [41]</sup>

Normalmente los frenos o bancos de ensayos suelen llevar incorporado un tacómetro de tipo magnético. Estos trabajan usando el efecto Hall, en dicho efecto se presenta un voltaje perpendicular a un flujo de corriente y a un campo magnético externo, aplicado en ángulo recto al

flujo de corriente. Para una cantidad de corriente constante la magnitud del voltage Hall es directamente proporcional a la magnitud del campo magnético. Se requieren sensores especiales fabricados con materiales de alta resistencia, circuitos sensibles a la detección de voltage y amplificadores, que comparan dicho voltage con uno de referencia. La figura 5.27 muestra un sensor diseñado para detectar la posición de rotación de una rueda dentada, la presencia o ausencia del metal ferroso alterara la orientación y magnitud del campo magnético, obligando al sensor a emitir un pulso. Estos sensores pueden operar en rangos de temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ , teniendo sensibilidad para funcionar con variaciones de  $\pm 15$  Gauss, sin que las variaciones de la corriente alterna o imperfecciones de manufactura de la rueda induzcan ruido.

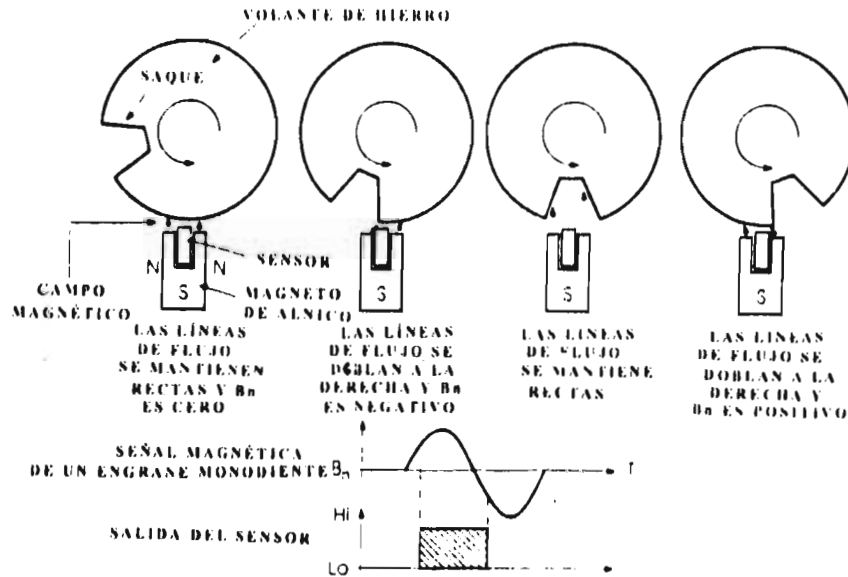


Fig. 5.27 Sensor magnético tipo Hall.

Existen otros tipos de tacómetros, como los que utilizan señales luminosas, estos son independientes del freno por lo cual dan lecturas más precisas. Finalmente conviene referirse en este apartado a los totalizadores, que miden las vueltas que gira el motor durante un tiempo determinado, lo cual tiene interés, por ejemplo para determinar el combustible inyectado por cilindro, o el consumo específico de combustible.

## 5.9 MEDIDORES DE HUMO

La medida de las emisiones de humo en forma adecuada y consistente ha sido un serio problema para los fabricantes de motores **Diesel**, para los usuarios, y las agencias encargadas de establecer los límites pertinentes para tal efecto, para esto se han desarrollado diversos instrumentos basados en distintos principios y usando diferentes escalas, adicionalmente la percepción de los sentidos humanos son comúnmente usados para relacionar al humo con una serie de estándares. Los instrumentos comúnmente usados son los OPACÍMETROS, los hay de flujo completo, de muestra, y del método de filtrado<sup>[7]</sup>.

**5.9.1 Opacímetro del tipo de flujo completo<sup>[7]</sup>:** Un ejemplo de este tipo de opacímetro es el USPHS (EPA) medidor de humos de la figura 5.28, en este la fuente de luz y la fotocelda se colocan en lados opuestos de el paso del humo, a unos cuantos centímetros de la salida de los gases de escape, la señal de salida de la fotocelda será leída en un sistema de adquisición de datos previamente calibrado, o cualquier sistema de grabación, el instrumento se calibrara de un 0 a 100% del total de la luz no recibida por la fotocelda, mediante el uso de filtros con referencia a los estándares NBS. El dispositivo puede usar baterías, y debe de contar con cortinas de aire limpio en la fuente de luz y la fotocelda receptora para garantizar que estas no se ensucien. El dispositivo debe ser sensible a la densidad del humo y diámetro de las partículas. Los cambios de la opacidad debidos a cambios en la longitud del trayecto del haz de luz se calcularan haciendo uso de la ley de Beer-Lambert

$$T = \text{Luz transmitida} / \text{Luz incidente} = e^{-KL} \quad (5.13)$$

y

$$N = 100 (1 - e^{-KL}) \quad (5.14)$$

donde el coeficiente de absorción K del conducto se define como :

$$K = \ln(1 - N/100) / L \quad (5.15)$$

donde L es la longitud efectiva del paso del humo en metros, ln el logaritmo natural, T la transmisibilidad, K el coeficiente de absorción (densidad del humo) en  $m^{-1}$ , e la base del logaritmo

natural,  $N$  la opacidad en % . En todos los casos se recomienda no montar este instrumento en el escape pues la vibración del motor destruiría el filamento. El método de operación se puede ver en la figura 5.29. También se puede contar con opacímetros que se colocan entre los tubos de los gases de escape.

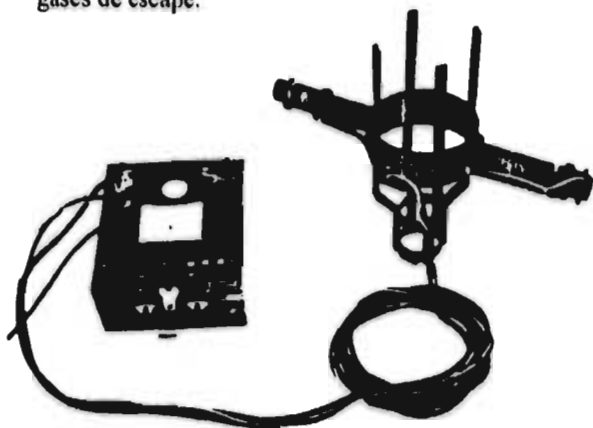


Fig 5.28 Medidor de humos USPHS

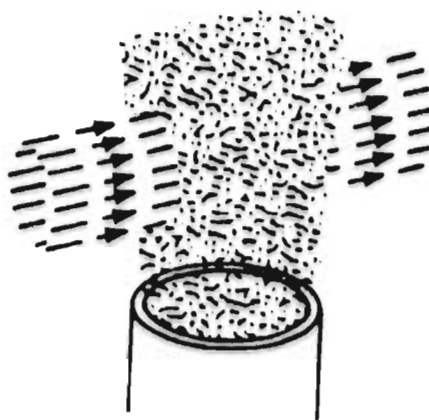


Fig. 5.29 Método de medición

**5.9.2 Opacímetro del tipo de toma de muestra<sub>[7]</sub>:** La figura 5.30 muestra un opacímetro de este tipo en su modo de operación, el principio contempla la medida de una porción de los gases de escape, que fluyen continuamente através del tubo de muestreo. El cero se logra mediante un tubo paralelo que contiene aire limpio. Un ventilador purga los gases del tubo y nuevamente un sensor óptico mide de aire claro en 0 a 100 % opacidad completa. Este aparato no está afectado por el diámetro del tubo y tiene un tiempo de respuesta de 0.2 a 0.6 s , que es el tiempo en que tarda en llenarse el aparato. El aparato deberá contar con un manómetro para mantener la presión de la muestra dentro de los estándares establecidos, lo mismo que la temperatura, la cual debe mantenerse de manera que se prevenga la condensación del agua. Este tipo de instrumento no es recomendable para medir transitorios de humos por su lenta respuesta, así como por no tener la capacidad de mantener los niveles de presión y temperatura en el transitorio.

**5.9.3 Opacímetro de filtro<sub>[7]</sub>:** Un ejemplo de este tipo de opacímetro es el bosch de la figura 5.31, consta de una bomba de muestreo operada manualmente, que extrae un volumen determinado de los gases de escape y los obliga a atravesar un papel filtro circular de densidad controlada, causando que este papel se oscurezca con cierta concentración. Luego un dispositivo por separado mide la luz reflejada por el filtro oscuro, en una escala de 0 a 10 unidades. La

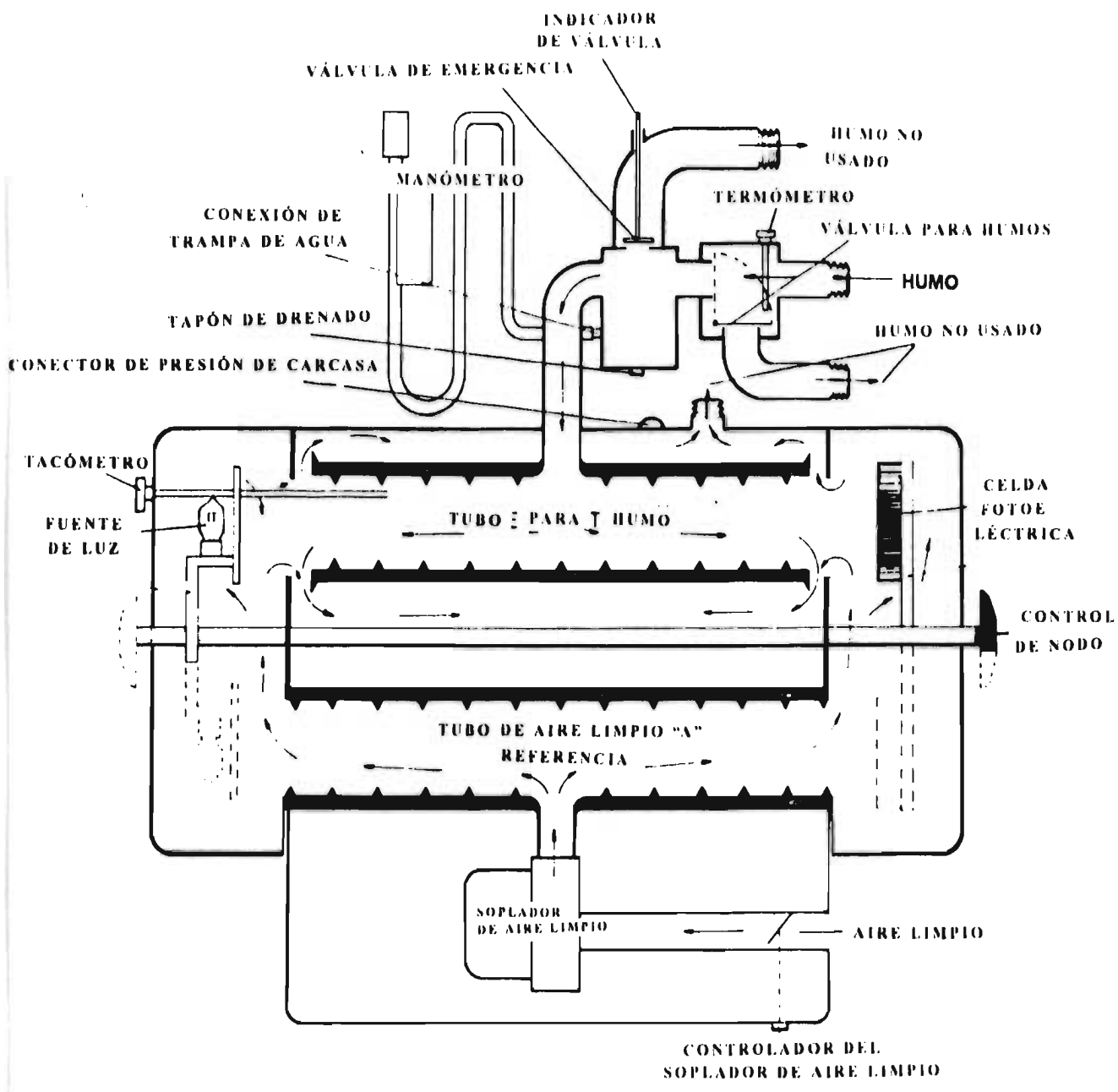


Fig 5.30 Opacimetro del tipo de toma de muestra (Hartridge)



calibración a cero se da con el papel filtro claro, el punto medio de calibración corresponde a un papel que da la escala 5.0 de bosch, y la escala a 10 se da con la fuente de luz apagada. Como precauciones se debe tratar de evitar que las pulsaciones del gas interfieran la medición. Los porta filtros deben estar libres de agua y suciedad. Se deben tomar tres muestras de cada condición de operación del vehículo, la primera muestra limpiará y recolectará cualquier acumulación de agua y suciedad de la línea y bomba, y deberá ser descartado. Antes de calibrar el aparato a lamidad de la escala se deberá verificar la salida de la lectora fotoeléctrica. Este tipo de opacímetro no deberá utilizarse para humos blancos y azules, y no se recomiendan las mediciones en los transitorios.



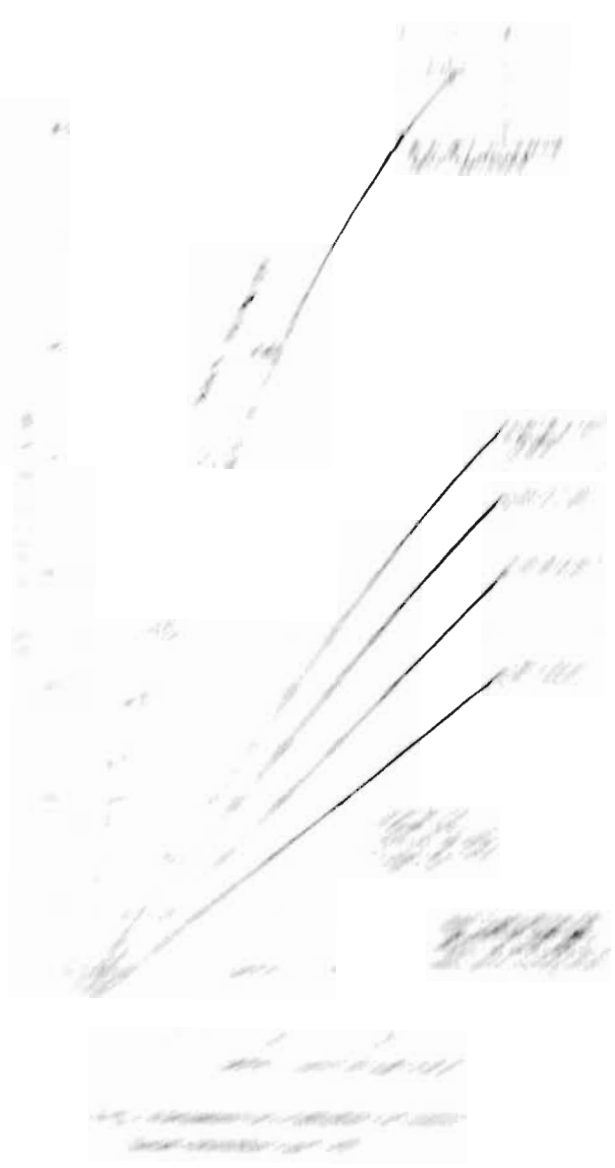
*Fig.5.31 Opacímetro de filtro*

#### **5.9.4 Correlacion de mediciones en estado estable<sup>[7]</sup>:**

En 1967 un estudio de mediciones de humos de SAE condujo a una serie de pruebas para establecer correlaciones entre los principales métodos de medición en estado estable de humos usados por los investigadores y las organizaciones de desarrollo de vehículos. Se encontró que se podían tener correlaciones entre estos métodos cuando la medida era tomada en la salida del tubo de escape, de lo contrario estas deberían contemplar la velocidad y carga del motor. Los resultados pueden sumarse en las figuras 5.32 y 5.33.

Handwritten notes and a table. The table has several columns and rows of text, possibly representing a schedule or a list of items. The text is written in a cursive or shorthand style.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



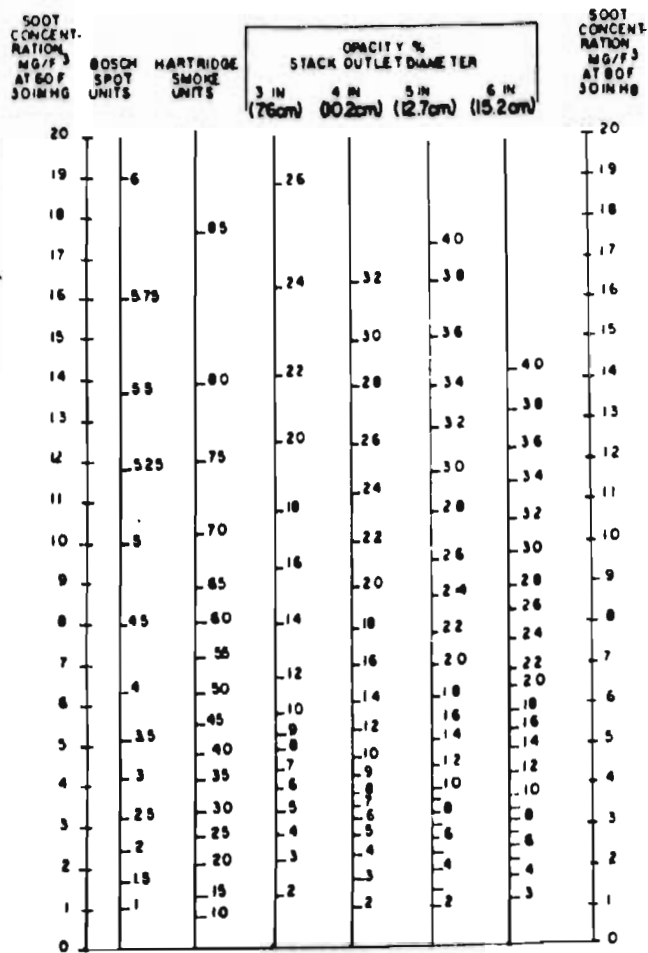


Fig 5.32 Carta de alineación de unidades

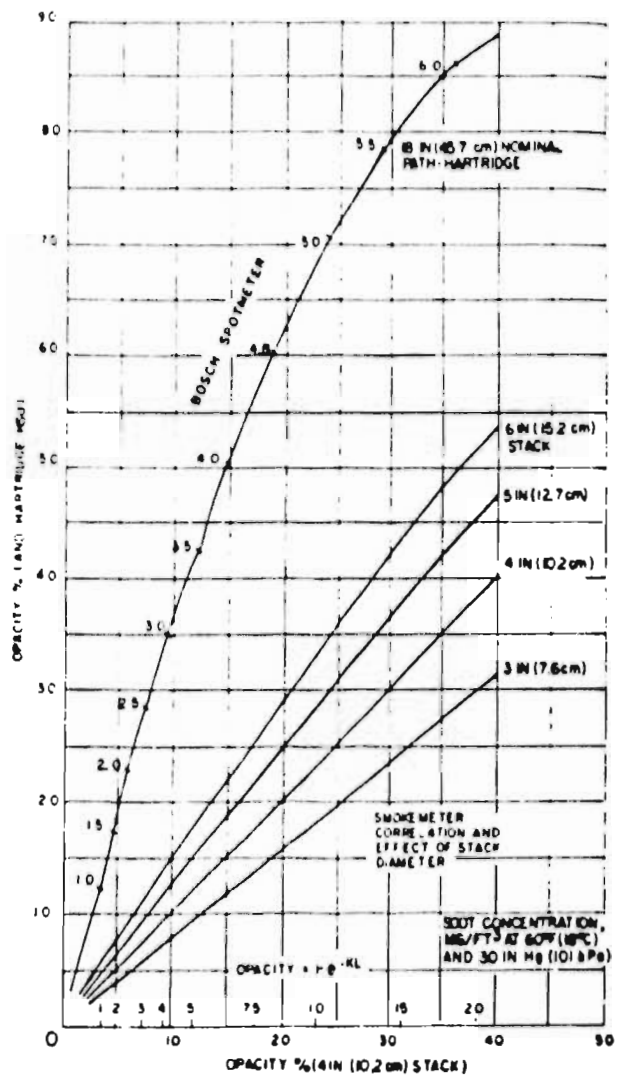


Fig 5.3 Resumen de resultados de humos Diesel obtenidos por S.A.E.

**CAPÍTULO 6**  
**NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA**  
**EL CONTROL DE EMISIONES EN MOTOCICLETAS**

Dada la necesidad de reducir y controlar las emisiones contaminantes, los respectivos organismos nacionales e internacionales han establecido normativas, y niveles permisibles, de acuerdo con sus necesidades y capacidad tecnológica, así pues este capítulo es una revisión de las más representativas normas internacionales, incluyendo la actual normativa mexicana.

**6.1 NORMA MEXICANA PARA CONTROL DE GASES DE LA COMBUSTIÓN**

La normativa que al respecto rige en la actualidad está compuesta de dos normas estas son: **NOM CCAT-012-ECOL-1993<sub>[1]</sub>** y **NOM CCAT-013-ECOL-1993<sub>[2]</sub>**.

**6.1.1 NOM CCAT-012-ECOL-1993:** Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de las motocicletas en circulación. La tabla 6.1 establece los niveles máximos permisibles de opacidad de humo para motores a gasolina y aceite, la tabla 6.2 establece los niveles máximos permisibles de emisiones para motores a gasolina.

TABLA 6.1

<b>NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO</b>			
<b>Vol. de Desplazamiento nominal C.C.</b>	<b>Opacidad %</b>	<b>Unidades Hartridge</b>	<b>Unidades Bosch</b>
<b>0 - 100</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>4.2</b>
<b>101 - 175</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>4.5</b>
<b>176 - en adelante</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>4.5</b>

TABLA 6.2

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN		
Vol. de Desplazamiento nominal C.C.	CO % Vol.	HC p.p.m.
50 - 249	3.5	450
250 - 749	4.0	500
750 - En adelante	4.5	550

**6.1.2 NOM CCAT-013-ECOL-1993:** Establece, las características del equipo y procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes, provenientes de motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina y aceite, esta norma únicamente se aplica en centros de verificación. El método de prueba es estático en todos los casos, ya sea en marcha lenta o a velocidad crucero ( $2500 \pm 250$  r.p.m.), realizando las lecturas en un periodo de 10 a 20 segundos. También se establecen algunas características del equipo analizador de emisiones, como el tiempo de respuesta de 10 segundos para el 90% de la lectura final, precisión de 3 %, interferencia menor al 1 %, y repetibilidad del 2% en cinco mediciones sucesivas para la misma fuente; referente a los aditamentos internos y externos, deberán tener trampas de agua y resistencia a la corrosión, la sonda debe de ser flexible, de más de 3 metros de largo y menor a 9 m , un tacómetro con precisión de al menos  $\pm 50$  r.p.m. Los medidores de humo pueden ser en unidades Bosch, Hartridge o expresarse en %.

Se establece que los instrumentos se calibren cuando menos cada 6 meses de 0 al 90% de la escala total. La calibración se efectúa con tres lecturas una alta, una mediana y una baja, con lo que se obtienen las curvas de calibración, el método de medición en cada caso se realiza según el manual del fabricante.

Para poner a prueba la motocicleta, esta debe estar a su temperatura normal de operación, con selector en estacionamiento y manguera de respiradero del cárter a las cajas del filtro de aire esté desconectada. Además el escape en buenas condiciones y sin modificación en su construcción

original, así como también en buen estado los tapones de gasolina y aceite, y el nivel correcto de aceite en el cárter.

El procedimiento de medición de humo, se realiza con el motor operando en vacío inicialmente, después se acelera a la velocidad recomendada en la tabla 6.3, soltando después el acelerador hasta llegar a la velocidad en vacío, esto se realiza cinco veces y se toman las tres lecturas más cercanas sin que varíe en 4 unidades Hartridge o equivalente, y se determina el promedio, si se tiene más de un sistema de escape esta medición deberá realizarse en cada uno de ellos.

TABLA 6.3

VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO NOMINAL	
Vol. de Desplazamiento nominal C.C.	Revoluciones por minuto
0 - 100	7000 ± 500
101 - 175	8000 ± 500
176 - En adelante	9000 ± 500

## 6.2 NORMAS DE USA PARA EL CONTROL DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN<sub>[3]</sub>.

La normativa, al respecto en los Estados Unidos de Norteamérica es la 40 CFR en sus subpartes E y F para motocicletas de 1978 a la fecha.

**6.2.1 Subparte E:** La subparte E se refiere a los niveles de emisiones permisibles, que en cualquiera de los casos es 5.0 g/km de hidrocarburos no quemados, 12 g/km para el monóxido de carbono, y para unidades de 1980 a la fecha no se permite ninguna emisión por el cárter. Además clasifica a los vehículos según su capacidad como sigue: Clase I, de 50 a 169 CC, clase II, de 170 a 279 CC y clase III por encima de 280 CC. Por la vida útil de los vehículos se pueden clasificar como sigue: Clase I, con 5 años ó 12,000.0 km, clase II, con 5 años ó 18,000.0 km. y clase III con 30,000.0 km.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**6.2.2 Subparte F:** La subparte F describe el equipo requerido y el procedimiento de prueba y acondicionamiento del vehículo como sigue:

**6.2.2.1 Respecto al dinamómetro,** éste deberá tener un rodillo de al menos 400.0 mm de diámetro, equipado con un contador de revoluciones, además de ser capaz de emplear volantes de inercia u otros medios que puedan simular la inercia necesaria. Se debe tener un ventilador de velocidad variable con un área de al menos 0.4 m<sup>2</sup> y estar posicionado a escuadra 0.3 m y 0.45 m frente al vehículo con una velocidad variable como se indica en la tabla 6.4, a si mismo los valores de las inercias deben estar de acuerdo con la tabla 6.5.

TABLA 6.4

VELOCIDAD DEL RODILLO	VELOCIDAD DEL AIRE PERMITIDA
0 a 5 km/h	0 a 10 km/h
5 a 10 km/h	0 a la velocidad del rodillo + 5 km/h
10 a 50 km/h	Velocidad del rodillo $\pm$ 5 km/h
50 a 70 km/h	Velocidad del rodillo $\pm$ 10 %
Arriba de 70 km/h	Al menos 63 km/h

**6.2.2.2 Respecto al muestreo de gas:** En los medidores de CVS se deben cumplir 2 condiciones: A) El total del volumen de la mezcla de gases diluidos será medida y una proporción de ésta recolectada para su análisis, esto con ayuda de una bomba de desplazamiento positivo del CVS (BDP-CVS), midiendo la presión y la temperatura a través de la bomba. Esta bomba no debe tener variaciones de más de  $\pm 1.25$  kPa y la temperatura de la muestra de gases no debe entrar a más de  $\pm 5^\circ\text{C}$  de la temperatura de diseño, y a lo largo de la prueba los transductores de presión deben tener una precisión de al menos  $\pm 0.4$  kPa. Así mismo el equipo deberá tener capacidad de eliminar el agua condensada en el sistema. Las bolsas de recolección deben tener el espacio suficiente para no impedir el paso de flujo.

**6.2.2.3 El procedimiento de prueba,** está diseñado para determinar con toda precisión los hidrocarburos no quemados, metanol, formaldehidos, monóxidos de carbono, y óxidos de nitrógeno, dicho procedimiento consiste en someter el vehículo a una prueba en dinamómetro, bajo

TABLA 6.5

PESO DEL VEHICULO	INERCIA EQUIVALENT MASA kg	COEFICIENTES DE FUERZA		FUERZA A 65 km/h (nt)	TIEMPO DE CALIBRACION DE 60-70 km/h		
		A (nt)	C(nt/(km/h)^2)		TIEMPO MEDIDO s	TOLERANCIA PERMITIDA	
						t + PERMITID	t - PERMITIDO
95 - 105	100	0	0.0224	94.8	2.95	3.1	2.8
106 - 115	110	0.82	0.0227	96.8	3.18	3.3	3
116 - 125	120	1.7	0.023	98.8	3.39	3.6	3.2
126 - 135	130	2.57	0.0233	100.9	3.6	3.8	3.4
136 - 145	140	3.44	0.0235	102.9	3.8	4	3.6
146 - 155	150	4.32	0.023	104.9	3.99	4.2	3.8
156 - 165	160	5.19	0.0241	107	4.1	4.4	4
166 - 175	170	6.06	0.0244	109	4.36	4.6	4.2
176 - 185	180	6.94	0.0246	111	4.53	4.7	4.3
186 - 195	190	7.81	0.0249	113.1	4.69	4.9	4.5
196 - 205	200	8.69	0.0252	115.1	4.85	5.1	4.6
206 - 215	210	9.56	0.0255	117.1	5	5.2	4.8
216 - 225	220	10.43	0.0257	119.2	5.15	5.4	4.9
226 - 235	230	11.31	0.026	121.2	5.3	5.5	5.1
236 - 245	240	12.18	0.0263	123.2	5.43	5.7	5.2
246 - 255	250	13.06	0.0266	125.3	5.57	5.8	5.4
256 - 265	260	13.93	0.0268	127.3	5.7	5.9	5.5
266 - 275	270	14.8	0.0271	129.3	5.82	6.1	5.6
276 - 285	280	15.68	0.0274	131.4	5.95	6.2	5.7
286 - 295	290	16.55	0.0277	133.4	6.06	6.3	5.8
296 - 305	300	17.43	0.0279	135.4	6.18	6.4	6
306 - 315	310	18.39	0.0282	137.5	6.29	6.5	6.1
316 - 325	320	19.17	0.0285	139.5	6.4	6.6	6.2
326 - 335	330	20.05	0.0288	141.6	6.5	6.7	6.3
336 - 345	340	20.92	0.029	143.6	6.6	6.8	6.4
346 - 355	350	21.8	0.0293	145.6	6.7	6.9	6.5
356 - 365	360	22.67	0.0296	147.7	6.8	7	6.6
366 - 375	370	23.54	0.0299	149.7	6.89	7.1	6.7
376 - 385	380	24.42	0.0301	151.7	6.98	7.2	6.8
386 - 395	390	25.29	0.0304	153.8	7.07	7.3	6.9
396 - 405	400	26.17	0.0307	155.8	7.16	7.4	6.9
406 - 415	410	27.04	0.031	157.8	7.24	7.5	7
416 - 425	420	27.91	0.0312	159.9	7.33	7.6	7.1
426 - 435	430	28.79	0.0315	161.9	7.41	7.6	7.2
436 - 445	440	29.66	0.0317	163.7	7.49	7.7	7.3
446 - 455	450	30.54	0.0318	164.9	7.61	7.8	7.4



TABLA 6.5

PESO DEL VEHICULO	INERCIAS		COEFICIENTES DE FUERZA		FUERZA A 65 km/h (nt)	TIEMPO DE CALIBRACION DE 60-70 km/h			
	EQUIVALENT MASA kg		A (nt)	C(nt/(km/h)^2)		TIEMPO MEDIDO s	TOLERANCIA PERMITIDA		
							t + PERMITID	t - PERMITIDO	
456	-	465	460	31.41	0.0319	166	7.73	8	7.5
466	-	475	470	32.28	0.0319	167.1	7.84	8.1	7.6
476	-	485	480	33.16	0.032	168.3	7.95	8.2	7.7
486	-	495	490	34.03	0.032	169.4	8.06	8.3	7.8
496	-	505	500	34.9	0.0321	170.5	8.17	8.4	7.9
506	-	515	510	35.78	0.0322	171.7	8.28	8.5	8
516	-	525	520	36.65	0.0322	172.8	8.39	8.6	8.2
526	-	535	530	37.53	0.0323	173.9	8.49	8.7	8.3
536	-	545	540	38.4	0.0323	175.1	8.6	8.8	8.4
546	-	555	550	39.27	0.0324	176.2	8.7	9	8.5
556	-	565	560	40.15	0.0325	177.3	8.8	9.1	8.6
566	-	575	570	41.02	0.0325	178.5	8.9	9.2	8.7
576	-	585	580	41.9	0.0326	179.6	9	9.3	8.8
586	-	595	590	42.77	0.0327	180.8	9.1	9.4	8.9
596	-	605	600	43.64	0.0327	181.9	9.19	9.5	8.9
606	-	615	610	44.52	0.0328	183	9.29	9.5	9
616	-	625	620	45.39	0.0328	184.2	9.38	9.6	9.1
626	-	635	630	46.27	0.0329	185.3	9.47	9.7	9.2
636	-	645	640	47.14	0.033	186.4	9.56	9.8	9.3
646	-	655	650	48.01	0.033	187.6	9.65	9.9	9.4
656	-	665	660	48.89	0.0331	188.7	9.74	10	9.5
666	-	675	670	49.76	0.0332	189.8	9.83	10.1	9.6
676	-	685	680	50.64	0.0332	191	9.92	10.2	9.7
686	-	695	690	51.91	0.0333	192.1	10.01	10.3	9.8
696	-	705	700	52.38	0.0333	193.2	10.09	10.4	9.8
706	-	715	710	53.26	0.0334	194.4	10.17	10.4	9.9
716	-	725	720	54.13	0.0335	195.5	10.26	10.5	10
726	-	735	730	55.01	0.0335	196.6	10.34	10.6	10.1
736	-	745	740	55.88	0.0336	197.8	10.42	10.7	10.2
746	-	755	750	56.75	0.0336	198.9	10.5	10.8	10.2
756	-	765	760	57.63	0.0337	200.1	10.58	10.9	10.3

un ciclo de manejo específico, recolectando una parte proporcional de las muestras diluidas en forma constante, para su subsecuente análisis usando un volumen constante.

Todas las pruebas serán realizadas utilizando el mayor de los engranes, y las transmisiones automáticas serán manejadas en directo o semimanual según la opción del fabricante. El vehículo será manejado con un mínimo de movimiento en el acelerador con el fin de mantener la velocidad deseada, no estando permitido el uso simultáneo de acelerador y freno. Se presentan en las tablas 6.6 y 6.7 los puntos de cambio de la velocidad según el tipo de vehículo. Las cargas en función de la velocidad están dadas por  $F = A + CV^2$ , donde A y C son constantes establecidas en la tabla 6.5, y V es la velocidad, de modo que el dinamómetro deberá ser ajustado para reproducir estas cargas.

TABLA 6.6

<b>MOTOCICLETAS CLASE I Y II</b>	
<b>CAMBIO</b>	<b>VELOCIDAD</b>
1° a 2° engrane	19 km/h (11.8 mi/h)
2° a 3° engrane	33 km/h (20.5 mi/h)
3° a 4° engrane	44 km/h (27.3 mi/h)
4° a 5° engrane	53 km/h (32.9 mi/h)

TABLA 6.7

<b>MOTOCICLETAS CLASE III</b>	
<b>CAMBIO</b>	<b>VELOCIDAD</b>
1° a 2° engrane	30 km/h (18.6 mi/h)
2° a 3° engrane	45 km/h (28.0 mi/h)
3° a 4° engrane	60 km/h (37.3 mi/h)
4° a 5° engrane	75 km/h (46.6 mi/h)

**6.2.2.4** El acondicionamiento del vehículo se realizará de la siguiente manera; el vehículo se cargará con un combustible especial para la prueba, y será colocado sobre el dinamómetro y será sometido a un ciclo de manejo sin que éste se encuentre originalmente frío, usándose para establecer la potencia requerida por la motocicleta. Después, el vehículo es retirarlo sin funcionar

del dinamómetro y permanecerá en reposo al menos por 6 horas, si es vehículo tipo I, 8 horas para el tipo II y 12 horas para el tipo III, en ningún caso se excederán más de 36 horas (según su capacidad en CC.).

Antes de la prueba se verificará la presión de las llantas según el fabricante  $\pm 15$  kPa. La corrida se realiza en el dinamómetro, previo calentamiento de 15 minutos, si no se ha utilizado en un lapso de al menos 2 horas, dicha corrida se divide en dos partes esenciales, una corrida de arranque en frío, con una zona transitoria de 505 segundos y una zona estable, un paro por 10 minutos, y un arranque en caliente, con su respectiva zona de transitorio y su zona estable. Durante este tiempo se recolectan las emisiones. Se agrega una secuencia para el análisis de la muestra, en donde se verifican las presiones y temperaturas, se establecen los ceros y entonces se miden HC, CO, CO<sub>2</sub> y ocasionalmente NO<sub>x</sub>.

### **6.3 NORMA ONU PARA EL CONTROL DE EMISIONES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN [4].**

Para efecto de controlar las emisiones de los gases producto de la combustión provenientes de motocicletas, la Organización de las Naciones Unidas, emiten un acuerdo concerniente a la adopción de condiciones uniformes de homologación de vehículos a motor, en el Adendum 39, reglamento 40, relativa a la homologación de motocicletas, normatividad concerniente a la emisión de gases tóxicos del motor. En esta norma se establecen los reglamentos, sanciones y trámites para homologación de motocicletas, especificando en los anexos a esta norma tipo de pruebas, metodología, documentos, niveles de emisiones, etc., siendo en el Anexo 4 en donde se establece el ensayo de tipo I, el anexo 5 en donde se establece el ensayo de tipo II, el anexo 6 especifica el combustible a utilizar en la prueba y el anexo 7 en donde se establece un método de calibración del banco de prueba. A continuación se presentan las emisiones permisibles en las tablas 6.8 y 6.9.

**6.3.1 Anexo 4: Ensayo de tipo I (control de emisiones en una zona urbana obstruida):** En este ensayo el vehículo deberá colocarse en un banco dinamométrico con un freno y un volante de inercia, procediendo a un ensayo ininterrumpido de 13 minutos, en un ciclo con 4 comportamientos, cada ciclo se compone de 15 modos (ralentí, aceleración, velocidad constante, desaceleración, etc.), los gases capturados son diluidos con aire para la obtención de un volumen

constante de mezcla, el cual es recolectado en bolsas especiales para analizar las concentraciones de CO, HC, óxidos de azufre y bióxido de carbono.

TABLA 6.8

LÍMITES DE EMISIONES PARA MOTOCICLETAS CON MOTOR DE 2T EN FUNCIÓN DEL PESO "R"		
	DE ACUERDO AL TIPO	CONFORME A PRODUCCION
CO		
R ≤ 100 kg	CO = 16 g/km	CO = 20 g/km
100 kg ≤ R ≤ 300 kg	CO = 16 + 24(R-100)/200 g/km	CO = 20 + 30(R-100)/200 g/km
R > 300 kg	CO = 40 G/KM	CO = 50 G/KM
HC		
R ≤ 100 kg	HC = 10 g/km	HC = 13 g/km
100 kg ≤ R ≤ 300 kg	HC = 10 + 5(R-100)/200 g/km	HC = 13 + 8(R-100)/200 g/km
R > 300 kg	HC = 15 g/km	HC = 21 g/km

TABLA 6.9

LÍMITES DE EMISIONES PARA MOTOCICLETAS CON MOTOR DE 4T EN FUNCIÓN DEL PESO "R"		
	DE ACUERDO AL TIPO	CONFORME A PRODUCCION
CO		
R ≤ 100 kg	CO = 25 g/km	CO = 30 g/km
100 kg ≤ R ≤ 300 kg	CO = 25 + 25(R-100)/200 g/km	CO = 30 + 30(R-100)/200 g/km
R > 300 kg	CO = 50 G/KM	CO = 60 G/KM
HC		
R ≤ 100 kg	HC = 7 g/km	HC = 10 g/km
100 kg ≤ R ≤ 300 kg	HC = 7 + 3(R-100)/200 g/km	HC = 10 + 4(R-100)/200 g/km
R > 300 kg	HC = 10 g/km	HC = 14 g/km

**6.3.1.1 Ciclo de Funcionamiento en Banco:** Este ciclo es como el indicado en la tabla 6.10 ó en la figura 6.1, se tendrá entre el 50 y 90 % de la velocidad correspondiente a la pulsación máxima del motor, y cuando menos será del 30% de la velocidad máxima del motor, las motocicletas con cajas automáticas, se probarán con la caja en "DRIVE" o el engrane mayor y se aplicaran las siguientes tolerancias; de ± 1 km/h a la velocidad teórica en todas las fases del ciclo, la duración de los

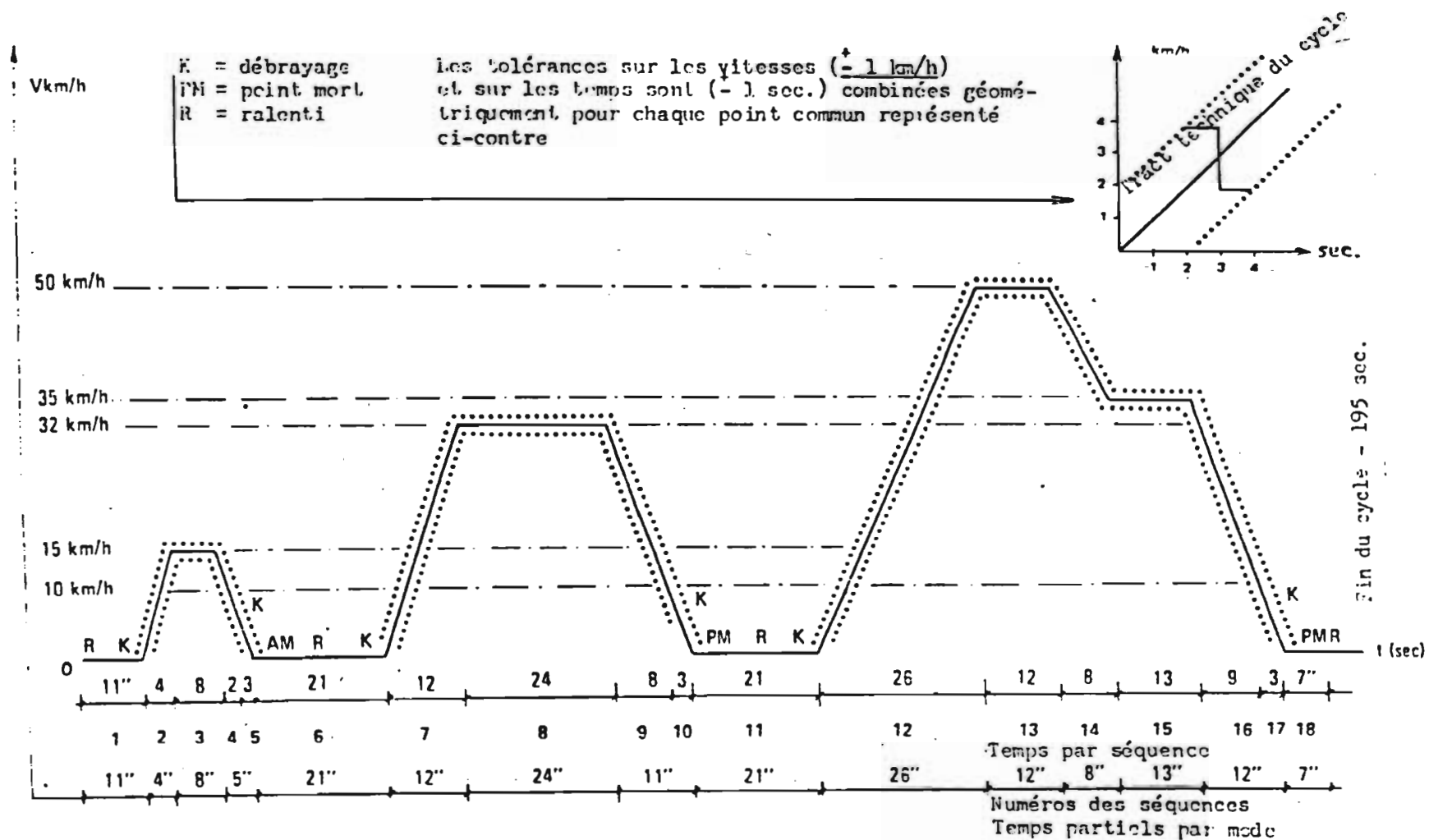


Fig6.1 Ciclo de manejo para motocicletas, establecido en la normativa de la ONU.

TABLA 6.10

No	Secuencia	Modos	Aceleración m/s <sup>2</sup>	Velocidad km/h	Duración		Tiempo Acumulado sec.	Relaciones de cajas a utilizar en caso de cajas manuales
					Secuencia sec.	Modo sec.		
1	Ralenti	1			11	11	11	6 sec. PM, 5 sec.K
2	Aceleración	2	1.04	0 a 15	4	4	15	Previsto por el constructor
3	Velocidad estable	3		15	8	8	23	
4	Desaceleración	4	-0.69	15 a 10	2	5	25	
5	Desaceleración, MDE		-0.92	10 a 0	3		28	
6	Ralenti	5			21	21	49	16 sec. PM, 5 sec.K
7	Aceleración	6	0.74	0 a 32	12	12	61	Previsto por el constructor
8	Velocidad estable	7		32	24	24	85	
9	Desaceleración	8	-0.75	32 a 10	8	11	93	
10	Desaceleración, MDE		-0.92	10 a 0	3		96	
11	Ralenti	9			21	21	117	16 sec. PM 5 sec. K
12	Aceleración	10	0.53	0 a 50	26	26	143	Previsto por el constructor
13	Velocidad estable	11		50	12	12	155	
14	Desaceleración	12	-0.52	50 a 35	8	8	163	
15	Velocidad estable	13		35	13	13	176	
16	Desaceleración	14	-0.68	35 a 10	9	12	185	
17	Desaceleración, MDE		-0.92	10 a 0	3		188	
18	Ralenti	15			7	7	195	7 sec. PM

PM Caja en punto muerto, motor embragado

K motor desembragado

MDE Motor desembragado

cambios de velocidad no será mayor de 0.5 segundos, y en general la tolerancia para los tiempos es de  $\pm 0.5$  s. La tolerancia del recorrido del ciclo en total es de 2%.

**6.3.1.2 Vehículo:** Esté deberá haberse corrido al menos 1,000.0 km. antes de la prueba, los equipos adicionales al escape que reduzcan los contaminantes y que no sean de línea deberán ser eliminados para la prueba y no se admitirán modificaciones en el sistema de admisión de aire, el combustible a utilizar se establece en el anexo 6 de la norma. El vehículo se acondicionará a una temperatura de 20 a 30°C, la presión de los neumáticos será la indicada por los fabricantes, si el diámetro del rodillo es inferior a los 500 mm. la presión de los neumáticos se aumentará de un 30 a 50%, el conductor de la motocicleta no debe de pesar más de 75 kg.

**6.3.1.3 Banco dinamométrico:** debe tener un rodillo con un diámetro de 0.4 m cuando menos, la potencia absorbida se calcula como sigue:

$$P_d = M_1 (V_1^2 - V_2^2) / 2,000t = 0.03858M_1/t \quad (6.1)$$

donde  $P_d$  es la potencia,  $M_1$  la inercia equivalente,  $V_1$  la velocidad inicial,  $V_2$  la velocidad fina,  $t$  el tiempo que tarda en pasar de 45 a 55 km/h. Las inercias se dan de 10 kg. en 10 kg., el método de medición de combustible es volumétrico. La prueba debe representar el funcionamiento de un vehículo y se debe auxiliar con un tacómetro de precisión. La adaptación de las inercias equivalentes se hará de acuerdo con la tabla 6.11.

**6.3.1.4 Material de ensayo y análisis de gases:** HC usando el método de ionización de flama, CO y CO<sub>2</sub> con el método de absorción infrarroja, NO<sub>x</sub> con el método de quimioluminiscencia, todos con una precisión de  $\pm 2$  %.

**6.3.1.5 Condiciones particulares de la ejecución del ciclo:** El vehículo deberá estar en plano para evitar una distribución no uniforme en el tanque de combustible, El sistema de ventilación debe de comprender un mecanismo controlado por la velocidad del rodillo con aproximaciones del 10%, a velocidad menor a los 10 Km/h la velocidad del aire podrá ser nula. El flujo del aire deberá comprender un área de 0.4 m<sup>2</sup> a una distancia de entre 0.35 y 0.45m . Se debe de registrar el diagrama de velocidades para validar el ciclo, lo mismo que las temperaturas del agua de

refrigeración y del cárter. El vehículo se arranca de acuerdo con las instrucciones del fabricante manteniendo el motor 40 s en ralentí, el inicio del primer ciclo coincide con la toma de muestras de acuerdo con la medida de la bomba rotatoria. Con caja manual el primer ralentí será como sigue; 6 s en punto muerto, 5 s en 1ª velocidad con motor desembragado, luego 16 s en punto muerto y 5 s etc. Con las cajas semiautomáticas se seguirán las instrucciones del fabricantes, con caja automática no se tocará el selector. Las aceleraciones deberán ser continuas, mientras que las desaceleraciones no deberán bajar de los 10 km/h. y sólo se podrán usar los frenos si ésta es tardada y al final, se colocara en punto muerto y el motor embragado.

TABLA 6.11

PESO DE REFERENCIA			INERCIA EQUIVALENTE	POTENCIA ABSORBIDA
(kg)			(kg)	(kw)
	R	< 105	100	0.88
105	< R	< 115	110	0.9
115	< R	< 125	120	0.91
125	< R	< 135	130	0.93
135	< R	< 150	140	0.94
150	< R	< 165	150	0.96
165	< R	< 185	170	0.99
185	< R	< 205	190	1.02
205	< R	< 225	210	1.05
225	< R	< 245	230	1.09
245	< R	< 270	260	1.14
270	< R	< 300	280	1.17
300	< R	< 330	310	1.21
330	< R	< 360	340	1.26
360	< R	< 395	380	1.33
395	< R	< 435	410	1.37
435	< R	< 475	450	1.44

**6.3.1.6** *Análisis de los patrones contenidos en las bolsas:* El análisis se realizará inmediatamente después de terminada la prueba y, a más tardar 20 minutos después del final de los ensayos. Para determinar las concentraciones de los gases tóxicos, tanto en las bolsas de el ciclo en frío y el ciclo en caliente, la distancia recorrida se calcula como la suma del total de vueltas, por el perímetro del rodillo, y deberá expresarse en km.



**6.3.2 Anexo 5: Ensayo de tipo II (Control de la emisión de monóxido de carbono en régimen de ralentí).** Este ensayo se realizará con el combustible especificado por la norma, las mediciones de las emisiones se realizarán antes de llevar a cabo el ensayo de tipo I con el motor funcionando en ralentí. Para los vehículos con transmisión manual o semiautomática el ensayo se efectúa en punto muerto con el motor embragado, para los vehículos automáticos se operará con el selector en cero o estacionario. Si la motocicleta tiene muchas salidas de escape se juntarán los tubos para tener uno solo, el resultado de la medición será la media aritmética de sus contenidos. La concentración de los gases deberá ser corregida según el tipo de motor que usen.

#### **6.4 NORMA DE LA COMUNIDAD EUROPEA PARA CONTROL DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN.**

“Capítulo 5 MEDIDAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA CAUSADA POR LOS VEHÍCULOS DE MOTOR DE DOS O TRES RUEDAS”. Esta norma tiene como finalidad el homologar el control de emisiones de gases contaminantes provenientes de ciclomotores en dos, tres y cuatro ruedas, dicha norma se compone de 6 anexos, los tres primeros se refieren a las disposiciones relativas a las medidas contra la contaminación atmosférica causada por los ciclomotores, como sigue: Anexo 1 para motocicletas, anexo 2 para ciclomotores de 3 y 4 ruedas, anexo 3 para ciclomotores con motores de encendido por compresión, el anexo 4 se refiere a la especificación de la formulación del combustible de la prueba, los restantes se refieren a la papelería y los trámites a realizar para la homologación de dichos vehículos.

Dado que la cantidad de ciclomotores de más de dos ruedas es mucho menor a la cantidad de motocicletas, que las pruebas son similares y que además no se utilizan motores de encendido por compresión en las motocicletas nacionales, se prescindirá de hacer un análisis de los anexos 2 y 3, y como no es del interés de este estudio los trámites y documentos relacionados a la prueba, se prescindirá de revisar los anexos 5 y 6. Una vez especificado esto procederemos a analizar esta norma.

**6.4.1 Anexo I (Disposiciones relativas a las medidas contra la contaminación atmosférica causada por los ciclomotores).** Con respecto a este anexo se entenderá por masa de referencia a

la masa del vehículo más una masa de 75 kg, entendiendo por masa del vehículo a la masa en vacío más los depósitos de combustible y aceite llenos a más de un 90% de su capacidad. El ciclomotor se someterá a ensayos de los tipos 1 y 2 como se describen a continuación:

**6.4.1.1: Ensayo tipo 1** (control de emisiones, medición de gases contaminantes en una zona urbana congestionada): este ensayo se efectuará sin interrupción durante 488 segundos en 4 ciclos, cada ciclo se compondrá de siete operaciones (Ralentí, aceleración, velocidad constante, desaceleración y ralentí) según la tabla 6.12 y la figura 6.2, y durante el ensayo se diluirán los gases del escape para obtener un volumen constante de mezcla, de donde se tomarán también volúmenes constantes de mezcla para ser analizados, al finalizar el ensayo se determinará la distancia recorrida según el cuenta revoluciones. El ensayo a de realizarse tres veces a menos de que el vehículo muestre en el primero de éstos un buen desempeño (emita contaminantes por debajo del 70 % de lo estipulado). En cada ensayo los contaminantes no deben exceder lo estipulado en la tabla 6.13:

**TABLA 6.12**

<b>CICLO DE FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DINAMOMÉTRICO</b>					
<b>FASE No</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>ACELERACIÓN</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>DURACIÓN ACUMULADA</b>
		(m/s <sup>2</sup> )	(m/s)	(s)	(s)
1	Ralentí	-	-	8	8
2	Aceleración	a fondo	0 - máx.		-
3	Velocidad constante	a fondo	máx.	57	-
4	Desaceleración	- 0.56	máx. - 20		65
5	Velocidad constante	-	20	36	101
6	Desaceleración	- 0.93	20 - 0	6	107
7	Ralentí	-	-	5	112

**TABLA 6.13**

<b>LIMITES PERMISIBLES DE EMISIONES (HOMOLOGACIÓN Y CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN)</b>		
<b>ETAPAS</b>	<b>CO (g/km) L1</b>	<b>HC + NO<sub>x</sub> (g/km) L2</b>
01.01.1997	6 (1)	3 (1)
01.01.1999	1 (2)	1.2

(1) En el caso de los ciclomotores de 3 y 4 ruedas, se multiplicarán los valores límite de las masas de CO y HC + NO<sub>x</sub> por el factor 2.

(2) En el caso de los ciclomotores de 3 y 4 ruedas, el valor límite de la masa de CO será de 3.5 g/km.

Uno de los tres resultados obtenidos con respecto a cada uno de los agentes contaminantes mencionados anteriormente, puede superar en un 10% o más del valor límite, a condición de que la media aritmética de los tres resultados sea inferior al valor límite prescrito

Si es preciso se realizarán ciclos de ensayos preliminares, para determinar la mejor forma de accionar el vehículo, utilizando los cambios en la forma que lo prescribe el fabricante. Durante la aceleración se usará la marcha que permita la aceleración máxima, en la desaceleración se pasará a la marcha inferior antes de que el motor vibre y cuando muy tarde, cuando el régimen del motor descienda al 30% del régimen de potencia máxima. La caja automática se utilizará en posición de carretera. Las tolerancias de tiempo serán de  $\pm 0.5$  s en relación con las velocidades teóricas.

**6.4.1.1.1** Ciclomotor y Combustible: El vehículo se presentará en buen estado mecánico, habiéndose recorrido al menos 250 km. El dispositivo de escape no puede presentar fugas capaces de disminuir la cantidad de gases recogidos, que deberá ser la totalidad de los que salen del motor. También se debe comprobar la estanqueidad del sistema de admisión de forma que la carburación no se altere por una toma accidental. El motor será regulado según lo especificado por el fabricante, esto también se aplicará a ralentí, y el laboratorio podrá comprobar previamente si el vehículo se comporta según lo prescrito por el fabricante. Para el ensayo se utilizará un combustible de referencia, cuyas características se definen en su anexo 4.

**6.4.1.1.2** Material de ensayo: El banco dinamométrico deberá tener las siguientes características; reproducir con tolerancia de  $\pm 15\%$  a partir de la velocidad de 12 km/h, la potencia que alcance el motor por carretera llana con velocidad del viento nula. En caso contrario, la potencia absorbida por los frenos y los rozamientos internos del banco (PA) será para  $0 < v \leq 12$  km/h de  $0 \leq PA \leq kV^3_{12} + 5\% P_{v50}$  si la velocidad es de  $V > 12$  km/h  $PA = kV^3 + 5\% kV^3 + 5\% P_{v50}$  esto usando un rodillo de 0.4 m de diámetro. La inercia base debe ser de 100 kg, las masas equivalentes se incrementarán de 10 en 10 kg. Éstas últimas pueden ser sustituidas por un circuito equivalente, a condición de que se muestre su equivalencia. La inercia total de las masas de rotación tendrán una tolerancia de  $\pm 5$  kg, la distancia total recorrida una tolerancia de  $\pm 10$  m, la velocidad del ciclomotor de  $\pm 1$  km/h en las velocidades superiores a 10 km/h. La temperatura ambiente se medirá con una precisión de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , la presión atmosférica con una precisión de  $\pm 5\%$ . La velocidad del aire de enfriamiento se medirá con una precisión de  $\pm 5$  km/h.

Para la recogida de los gases de escape, se tendrá un dispositivo que además de recoger todos los gases de escape, mantenga la presión atmosférica a las salidas de dicho escape. Además el conducto no deberá interactuar con los gases de escape modificando su composición, se debe tener un dispositivo que aspire los gases diluidos a caudal constante durante todo el ensayo para después mandarlos a las bolsas de análisis, las cuales deben ser inertes a los gases contaminantes. Los analizadores serán de los siguientes tipos; no dispersivo de absorción infrarrojo para el monóxido de carbono, del tipo de ionización de llama para los hidrocarburos, del tipo de quimioluminiscencia para los óxidos de nitrógeno. La precisión exigida con relación al contenido en varios contaminantes, sin tener en cuenta la precisión de la toma de muestra es de  $\pm 3\%$ , con tiempo de respuesta global menor a 1 min. Los gases de calibración tendrán una precisión de  $\pm 2\%$  a su respectivo valor de referencia. El volumen del total de los gases diluidos se medirá con una precisión de  $\pm 3\%$ . El caudal total y el caudal de toma de muestras serán constantes con una precisión de  $\pm 5\%$ .

**6.4.1.1.3 Preparación del ensayo y realización del mismo:** El freno se regulará de forma que la velocidad del ciclomotor en el banco, a fondo, sea igual a la velocidad máxima que pueda alcanzar en carretera, con una tolerancia de  $\pm 1$  km/h, sin desviarse de  $\pm 2$  km/h, el freno podrá regularse siguiendo otro método si el fabricante demuestra su equivalencia, las inercias equivalentes se darán según la tabla 6.14, el ciclo motor se refrigerará mediante un ventilador en donde la velocidad del flujo del aire será de  $25 \pm 5$  km/h. El orificio de salida del ventilador tendrá una sección de  $0.2 \text{ m}^2$ , como mínimo, su plano será perpendicular al eje longitudinal del ciclomotor y se situará entre 30 y 45 cm por delante de la rueda delantera del mismo. El ventilador puede ser regulado de tal manera que en la zona de funcionamiento, comprendida entre 10 km/h (la velocidad del aire puede ser nula por debajo de 10 km/h) y la velocidad del rodillo, dicha velocidad del aire a la salida del ventilador será igual a la velocidad equivalente del rodillo, y su borde inferior estará situado entre 15 y 20 cm encima del suelo.

Antes de iniciar el primer ciclo de ensayos, se realizarán con el ciclomotor cuatro ciclos de ensayos preliminares consecutivos de 112 s cada uno para calentar el motor. La presión de los neumáticos será la recomendada por el fabricante para un uso normal en carretera. Si el diámetro del rodillo fuese inferior a 500 mm, la presión de los neumáticos podría aumentarse entre un 30% y un 50%.

La carga de la rueda motriz será la que soportaría el ciclomotor (con tolerancia de  $\pm 3$  kg.) durante una utilización normal en carretera con un conductor que pese 75 kg.

TABLA 6.14

PESO DE REFERENCIA				INERCIA EQUIVALENTE
(kg)				(kg)
	P	$\leq$	105	100
105	<	P	$\leq$ 115	110
115	<	P	$\leq$ 125	120
125	<	P	$\leq$ 135	130
135	<	P	$\leq$ 145	140
145	<	P	$\leq$ 165	150
165	<	P	$\leq$ 185	170
185	<	P	$\leq$ 205	190
205	<	P	$\leq$ 225	210
225	<	P	$\leq$ 245	230
245	<	P	$\leq$ 270	260
270	<	P	$\leq$ 300	280
300	<	P	$\leq$ 330	310
330	<	P	$\leq$ 360	340
360	<	P	$\leq$ 395	380
395	<	P	$\leq$ 435	410
435	<	P	$\leq$ 475	-

La temperatura del local estará entre los 20° y 30°C. El asiento del ciclomotor estará lo más horizontal posible para evitar una distribución anormal en el tanque de combustible o del aceite del motor. El comienzo del primer ciclo de ensayo coincidirá con el comienzo de la toma de muestras y de la medición del caudal que pasa por el aspirador. Durante el ensayo, las aceleraciones se efectuarán accionando al máximo el acelerador de tal forma que se alcance la velocidad máxima lo más rápidamente posible. La velocidad constante máxima se efectuará manteniendo en su posición hasta la fase de desaceleración. En la fase de velocidad constante a 20 km/h, la posición del acelerador deberá mantenerse fija, siempre que ello sea posible. La desaceleración se hará con el acelerador completamente suelto y el motor embragado y se desembragará cuando se llegue a la velocidad de 10 km/h. Si el ritmo de desaceleración fuera menor que el requerido se utilizarán frenos.

**6.4.1.1.4.** Forma de efectuar la toma de muestra y el análisis: Las bolsas se cerrarán herméticamente cuando estén llenas y al finalizar el último ciclo, se cerrará el sistema de recogida de los gases de escape diluidos, los gases contenidos en las bolsas se analizarán antes de que transcurran 20 minutos de transcurrido el ensayo. El valor del contenido en cada uno de los gases contaminantes de los gases analizados que se tendrá en cuenta, será el valor leído después de la estabilización del instrumento de medición. Los resultados se presentarán en g/km.

**6.4.1.2** *Ensayo del tipo II* (control de emisiones de monóxido de carbono en régimen de ralentí):

**6.4.1.2.1** Condiciones de medición: El combustible será el de referencia, el contenido en volumen de monóxido de carbono y de hidrocarburos no quemados se medirá inmediatamente después de el ensayo tipo I, con el motor a ralentí.

**6.4.1.2.2** Toma de Muestras de los gases: La salida del escape llevará una prolongación suficientemente hermética para que la sonda de toma de muestras de los gases de escape puedan introducirse por lo menos 60 cm sin que aumente la contrapresión en más de 125 mm de H<sub>2</sub>O y sin que se vea perturbado el funcionamiento de la motocicleta o del vehículo de tres ruedas. Las concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> se determinarán según los valores indicados o registrados por el aparato de medida, utilizando curvas de calibrado adecuadas. En el caso de motor de dos tiempos, la concentración corregida de monóxido de carbono se calculará según la ecuación:

$$C_{CO \text{ corr}} = C_{CO} \cdot 10 / (C_{CO} + C_{CO_2}) \text{ (vol - \%)} \quad (6.2)$$

En el caso de un motor a cuatro tiempos, la concentración corregida de monóxido de carbono se determinará según la ecuación:

$$C_{CO \text{ corr}} = C_{CO} \cdot 15 / (C_{CO} + C_{CO_2}) \text{ (vol - \%)} \quad (6.3)$$

Si con los motores de dos tiempos el valor total de las concentraciones medidas (CO + CO<sub>2</sub>) fuese de al menos 10, y con los motores a cuatro tiempos de al menos 15, no será necesario corregir la concentración de C<sub>CO</sub>.

### 6.5 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE LOS GASES CONTAMINANTES<sub>[20]</sub>

Los equipos analizadores de gases de escape usualmente proporcionan la fracción molar  $\phi_i$  definida como:

$$\phi_i = n_i / n_{cs} \quad (6.4)$$

donde  $n_i$  es el número de kilomoles del contaminante  $i$ ,  $n_{cs}$  el número del total de kilomoles de los gases de escape. El valor suele darse en % o en ppm (1 % = 10,000.0 ppm), se ha de tomar en cuenta si el gas medido es húmedo o seco, ya que existe un 10% de agua en los gases de escape. De la fracción molar  $\phi_i$  y de la masa de los gases de escape  $m_{cs}$  se puede calcular la emisión total  $m_i$  de la especie, en efecto:

$$\phi_i = n_i / n_{cs} = (m_i / M_i) / (m_{cs} / M_{cs}) = m_i M_{cs} / m_{cs} M_i \quad (6.5)$$

despejando

$$m_i = \phi_i (M_i m_{cs} / M_{cs}) \quad (6.6)$$

Así mismo la emisión de una especie  $y$  se puede expresar en función del dosado y de la masa de combustible, si la masa de gases es la masa de aire y de combustible,  $m_{cs} = m_m = m_a + m_f = m_f (1 + 1/F)$ , con  $F_R = F / F_e$ , ( $F$  es el dosado,  $F_R$  es el dosado relativo y  $F_e$  el dosado estequiométrico) se tiene:

$$m_{cs} = m_f (1 + 1/F_R F_e) \quad (6.7)$$

que sustituido en (6.6) da:

$$m_i = \phi_i M_i m_f (1 + 1/F_R F_e) / M_{cs} \quad (6.8)$$

Como la contaminación se suele referir a la potencia suministrada por el motor, a la distancia recorrida por el vehículo se obtienen de (6.8) las siguientes expresiones:

- Contaminación en función de la potencia del motor.

$$m_i / N_e = \phi_i M_i g_{cf} (1 + 1/F_R F_e) / M_{cs} \quad (6.9)$$

- Contaminación en función de la distancia recorrida:

$$m_i / l = \phi_i M_i m_f (1 + 1/F_R F_e) / l M_{cs} \quad (6.10)$$

- Contaminación respecto al combustible empleado:

$$m_i / m_f = \phi_i M_i ( 1 + 1/F_R F_E ) / M_{es} \quad (6.11)$$

En seguida se procederá a revisar el método de cálculo de gases contaminantes en las normativas extranjeras, dado que la normativa mexicana no establece método de cálculo alguno.

**6.5.1 Cálculo de gases contaminantes en la normativa de USA<sub>[3]</sub>:** Este cálculo se realiza como especifica en la norma ASTM E 29-67, tomando 3 dígitos significativos después del punto, y es como sigue:

$$Y_{WM} = 0.43((Y_{CT} + Y_S)/(D_{CT} + D_S)) + 0.57((Y_{HT} + Y_S)/(D_{HT} + D_S)) \quad (6.12)$$

donde  $Y_{WM}$  es la masa de las emisiones de  $CO_2$ , CO, HC,  $NO_X$  en g/km.  $Y_{CT}$  es la masa de emisiones como se calcula del transitorio en la fase de encendido en frío en g/fase,  $Y_{HT}$  es la masa de emisiones como se calcula del transitorio en la fase de encendido en caliente en g/fase,  $D_{CT}$  es la distancia medida manejada en el transitorio en frío,  $D_{HT}$  es la distancia medida manejada en el transitorio en caliente,  $D_S$  es la distancia desde la fase estabilizada del arranque en frío.

La masa de cada contaminante en cada fase (encendidos en frío y caliente) se determina como sigue, para el CO, HC y  $NO_X$  :

$$X_{masa} = V_{mix} * Densidad_X * X_{xconc} / 10^6 \quad (6.13)$$

y para el  $CO_2$ :

$$CO_2 \text{ masa} = X_{masa} * 10,000 \quad (6.14)$$

donde  $X_{masa}$  es la masa de emisiones en g/prueba,  $Densidad_X$  es la densidad del  $CO_2$ , CO, HC,  $NO_X$  en los gases de escape a 20° C y 101.325 kPa, así en cada caso se tiene  $Densidad_{CO} = 1,164 \text{ g/m}^3$ ;  $Densidad_{NO_X} = 1,913 \text{ g/m}^3$ ;  $Densidad_{CO_2} = 1,830.0 \text{ g/m}^3$ ;  $Densidad_{IC} = 576.8 \text{ g/m}^3 / \text{átomo de carbono}$ .  $X_{xconc}$  es la concentración de la muestra diluida (en ppm) de carbono equivalente o propano\*3, corregida de la atmosférica.

$$X_{xconc} = X_c - X_d (1 - 1/DF) \quad (6.15)$$



donde  $X_e$  es la concentración del gas  $CO_2$ , CO, HC,  $NO_x$  como se mide de la muestra.  $X_d$  es la concentración del gas  $CO_2$ , CO, HC,  $NO_x$  como se mide del ambiente.

$$DF = 13.4 / (CO_{2c} + (HC_c + CO_c) \cdot 10^{-4}) \quad (6.16)$$

con

$$CO_c = (1 - 0.01925 CO_{2c} - 0.000323R) CO_{cm} \quad (6.17)$$

con  $CO_{cm}$  concentración de monóxido de carbono del gas medido en ppm en el escape.  $CO_{2c}$  % de concentración medida en el escape, R la humedad relativa de aire de dilución en %.

$$CO_d = (1 - 0.00323R) CO_{dm} \quad (6.18)$$

con  $CO_{dm}$  la concentración de CO en el gas medido en el escape en ppm.  $V_{mix}$  es el total del volumen de los gases de escape diluidos en  $m^3$  por fase de prueba corregido a las condiciones de 293.15 K y 101.325 kPa.

$$V_{mix} = V_0 \cdot N (P_b - P_i) (293.15 \text{ k}) / (T_p \cdot 101.325 \text{ kPa}) \quad (6.19)$$

donde  $V_0$  es el volumen de gas bombeado por la bomba de desplazamiento positivo en  $m^3/rev$ . este volumen es dependiente de la presión diferencial que actúa en la bomba, N es el número de rpm de la bomba,  $P_b$  es la presión barométrica en kPa,  $P_i$  la presión depresiva abajo de la atmosférica, medida en el interior de la bomba de desplazamiento positivo.  $T_p$  el promedio de temperatura de los gases diluidos entrando en la bomba mientras están en ella, k es el factor de corrección de humedad en  $g_{H_2O} / kg_{aire \text{ seco}}$  y se calcula como:

$$k = 6.211 R_a \cdot P_d / (P_b - (P_d \cdot R_a / 100)) \quad (6.20)$$

donde  $R_a$  es la humedad relativa del aire en %, y  $P_d$  es la presión de vapor saturado en kPa a la temperatura de bulbo seco.

**6.5.2 Cálculo de gases contaminantes en las normativas de CE<sub>[5]</sub> y ONU<sub>[4]</sub>:** La masa de CO, HC y  $NO_x$  se calcula de la siguiente manera:

$$X_m = V d_x X_c / s 10^6 \quad (6.21)$$

donde  $X_m$  es la masa de CO, HC o  $NO_x$  emitida durante el ensayo en g/km,  $s$  es la distancia recorrida durante el ensayo y se obtiene como  $s = nr$ , siendo  $r$  el radio del rodillo, y  $n$  el número de vueltas que da el mismo,  $d_x$  es la densidad del CO, HC o  $NO_x$  a 0°C y 1013.3 mbar, o sea  $d_{CO} = 1.250 \text{ kg/m}^3$ ,  $d_{HC} = 0.619 \text{ kg/m}^3$ , y  $d_{NO_x} = 2.05 \text{ kg/m}^3$ .  $X_c$  es la concentración en volumen en ppm, recogida para tomar en cuenta la contaminación del aire en dilución, y se calcula:

$$X_c = X_e - X_d (1 - 1/DF) \quad (6.22)$$

donde  $X_e$  es la concentración de CO, HC,  $NO_x$  en la bolsa SA,  $X_d$  es la concentración de CO, HC,  $NO_x$  en la bolsa SB.

$$DF = 14.5 / (CO_2 + 0.5 CO + HC) \quad (6.23)$$

donde el CO, HC y  $CO_2$  son las concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados y bióxido de carbono expresada en %, de la muestra de gases diluido, contenidos en la bolsa SA,  $V$  es el volumen total en  $m^3$ /ensayo de gases diluidos en las condiciones de referencia a 0°C (273 K) y 1013.3 mbar, calculándose como sigue:

$$V = V_0 N (P_a - P_i) 273 / (1013.3(T_p + 273)) \quad (6.24)$$

donde  $V_0$  es el volumen de gases desviado por la bomba P1 por rotación en  $m^3$ /rev,  $N$  el número de rotaciones de la bomba,  $P_a$  es la presión atmosférica en mbar,  $P_i$  es el valor medio de la presión en la sección de entrada en mbar,  $T_p$  es el valor de la temperatura de los gases diluidos medido en la bomba P1. Exclusivamente para el caso de los productos de  $NO_x$ , la masa de gases se corrige como sigue:

$$NO_{Xm} = X_m * Kh \quad (6.25)$$

donde  $Kh$  es un factor de corrección por humedad, la cual se calcula:

$$Kh = (1 - 0.0329(H - 10.7))^{-1} \quad (6.26)$$

Donde H es la humedad absoluta que se calcula como:

$$H = (6.2111 U P_d (\text{g/kg})) / (100 (P_a - P_d) (U/100)) \quad (6.27)$$

donde U es el % de humedad y  $P_d$  es la presión de vapor de agua a saturación a la temperatura del ensayo.

## 6.6 COMPARACIÓN DE LAS NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA CONTROL DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN

En principio comenzaremos por comentar la normativa mexicana, respecto a los niveles permisibles de emisiones NOM CCAT-012-ECOL-1993, en esta normativa se establecen los niveles máximos permisibles de **opacidad de humos** para las motocicletas con motor de dos tiempos a gasolina y aceite, ya sea opacidad en %, en unidades Hartridge o unidades Bosch, que si bien en el reporte SAE J255a, se presenta una tabla de equivalencias entre ellas (valido únicamente con el motor estable), en este documento se indica claramente que los opacímetros Bosch y los Hartridge no son los instrumentos más adecuados para la medición de humos azules, pues su propósito principal es medir humos negros (exclusivos de los motores Diesel), los cuales son ostensiblemente cancerígenos (no comprobado al 100%). En la actualidad, solamente la normativa europea contempla la medición de humos en motocicletas, pero esto se realiza **exclusivamente en motocicletas con motores Diesel**, por lo que el medir humos azules es totalmente incoherente. Respecto a los niveles de emisiones en los motores a 4 tiempos estos no son un indicativo real de lo que contamina el vehículo, y está sujeto en gran medida a la apreciación de la persona que realiza la prueba. En cuanto a la norma NOM CCAT-013-ECOL-1993, podemos decir que especifica un método de prueba estático muy burdo que no representa la conducción de una motocicleta en la vida real, además de que permite muchas libertades en el uso del equipo de prueba, además de que el tiempo de lectura es muy corto y, algunos tiempos de respuesta son un poco grandes. **Sobre todo las normas anteriores sólo tienen aplicación en centros de verificación**, lo que significa que en México no existe normativa alguna para la homologación de motocicletas, lo que confirma que los importadores y fabricantes nacionales certifican su producto con pruebas en el extranjero.

## 6 NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL CONTROL DE EMISIONES EN MOTOCICLETAS

Respecto a la normativa de USA, ésta se establece para certificación de las motocicletas, en la subparte E se establecen los niveles de contaminante permisibles como  $g_{\text{contaminante}}/\text{km}$ , para CO, NO<sub>x</sub> y HC, ya sea motor de dos o cuatro tiempos, y no se miden humos para nada. La subparte F dedica sus páginas a establecer con toda claridad el tipo de prueba a realizar, la cual exige rigurosamente un banco dinamométrico con un rodillo de al menos 0.4 m de diámetro, en el cual se aplica un ciclo de manejo como fue indicado, para realizar la prueba. Esta prueba simula lo más apegado a la realidad el funcionamiento de una motocicleta en las calles y carreteras. El cálculo de los contaminantes contempla la presencia de la humedad en todos los gases de la combustión medidos, la cual contempla una presión atmosférica a nivel del mar, y una temperatura de 0°C la cual es fácil de conseguir (punto de congelamiento del agua). Se hace notar que esta normativa también contempla el uso de combustibles alternativos como el metanol, pero no motores Diesel.

Las Normativas de la CE y la ONU, son muy similares, el equipo de prueba se especifica de igual forma, sin embargo varían los niveles permisibles de los contaminantes como se observa en las respectivas tablas, y también en los ciclos de manejo, la preparación del vehículo es propiamente la misma y en general está expuesta en forma muy sencilla, aún cuando se miden tres gases, dos de ellos se promedian; NO<sub>x</sub> y HC, y los niveles permisibles también se dan en  $g_{\text{contaminante}}/\text{km}$ , nuevamente exigen el uso de un banco de rodillos con un rodillo de un diámetro de 0.4m como mínimo y sólo contemplan la humedad en los óxidos de nitrógeno.

De esto podemos concluir que la normativa de USA es la más rigurosa, sin embargo la normativa de la CE y la ONU se puede decir que mantiene el rigor necesario, mientras que la normativa mexicana necesita una pronta y adecuada revisión.

## CAPÍTULO 7

### PROPUESTA DE NORMATIVA PARA MOTOCICLETAS

En éste capítulo se presenta una propuesta de protocolo de normativa tanto para verificación como para homologación de motocicletas con motores de dos y cuarto tiempos. La cual se compone de dos partes, una donde se establecen los niveles permitidos y otra en donde se establezcan los equipos y procedimiento de la normativa.

#### 7.1 PROPUESTA DE PROTOCOLO DE NORMA PARA EL CONTROL DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN.

Esta propuesta de protocolo de normativa establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de las motocicletas nuevas (**homologación**) y en circulación (*verificación*) que usan motores de encendido por chispa de 2 y 4 tiempos, y será de observancia obligatoria para las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación o en su caso, para los particulares que cuenten con la autorización correspondiente, así como para los laboratorios de ensayos para homologación. Estará a la vista una copia de ésta normativa en cualquiera de los establecimientos anteriormente mencionados en donde se realicen ensayos para motocicletas.

**7.1.1. DEFINICIONES<sub>[9]</sub>.** Las definiciones en esta sección se aplican al contenido de la norma.

- **Emisiones por cárter:** Emisión de gases a la atmósfera provenientes por cualquier porción del cárter o sistemas de lubricación.
- **Masa de referencia:** La masa del ciclomotor, aumentada con una masa fija de 75 kg.
- **Masa del ciclomotor:** La masa correspondiente al vehículo con todos los depósitos llenos a su nivel nominal o en su defecto al 90 % de la capacidad máxima de dichos depósitos.
- **Ciclomotor:** Vehículo de 2 ruedas impulsado por un motor de combustión interna alternativo.
- **Emisiones de Escape:** Emisión de sustancias a la atmósfera proveniente del puerto de escape de un vehículo.
- **Objetivo de la prueba:** se refiere al propósito de realización de la prueba y puede ser para *verificación* u *homologación*.
- **Año modelo:** se refiere al calendario de producción de dicho modelo por el fabricante, en caso de no existir se asignará al calendario normal según la fecha de fabricación.

## CAPÍTULO 7

### PROPUESTA DE NORMATIVA PARA MOTOCICLETAS

En éste capítulo se presenta una propuesta de protocolo de normativa tanto para verificación como para homologación de motocicletas con motores de dos y cuarto tiempos. La cual se compone de dos partes, una donde se establecen los niveles permitidos y otra en donde se establezcan los equipos y procedimiento de la normativa.

#### 7.1 PROPUESTA DE PROTOCOLO DE NORMA PARA EL CONTROL DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN.

Esta propuesta de protocolo de normativa establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de las motocicletas nuevas (**homologación**) y en circulación (*verificación*) que usan motores de encendido por chispa de 2 y 4 tiempos, y será de observancia obligatoria para las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación o en su caso, para los particulares que cuenten con la autorización correspondiente, así como para los laboratorios de ensayos para homologación. Estará a la vista una copia de ésta normativa en cualquiera de los establecimientos anteriormente mencionados en donde se realicen ensayos para motocicletas.

**7.1.1. DEFINICIONES**<sup>[9]</sup>. Las definiciones en esta sección se aplican al contenido de la norma.

- **Emisiones por cárter:** Emisión de gases a la atmósfera provenientes por cualquier porción del cárter o sistemas de lubricación.
- **Masa de referencia:** La masa del ciclomotor, aumentada con una masa fija de 75 kg.
- **Masa del ciclomotor:** La masa correspondiente al vehículo con todos los depósitos llenos a su nivel nominal o en su defecto al 90 % de la capacidad máxima de dichos depósitos.
- **Ciclomotor:** Vehículo de 2 ruedas impulsado por un motor de combustión interna alternativo.
- **Emisiones de Escape:** Emisión de sustancias a la atmósfera proveniente del puerto de escape de un vehículo.
- **Objetivo de la prueba:** se refiere al propósito de realización de la prueba y puede ser para *verificación* u **homologación**.
- **Año modelo:** se refiere al calendario de producción de dicho modelo por el fabricante, en caso de no existir se asignará al calendario normal según la fecha de fabricación.

- **Vida útil:** tiempo de duración económica del vehículo, se define con el tipo de vehículo como se indica.

VU Tipo I	5 años ó 12,000.00 km
VU Tipo II	5 años ó 18,000.00 km
VU Tipo III	5 años ó 30,000.00 km

- **Tipo de vehículo:** se establece mediante el desplazamiento del motor.

TV Tipo I	50	a	249 cc
TV Tipo II	250	a	549 cc
TV Tipo III	550 cc y superiores		

- **Sistema de combustible:** se compone del tanque de combustible, bomba de combustible, medidor de combustible, carburador (o sistema de inyección) y los sistemas de ventilación del combustible.
- **Óxidos de nitrógeno:** es la suma del NO y el bióxido de nitrógeno contenido en el gas.
- **Gas de muestra:** es un gas de concentración conocida, el cual se utiliza para calibrar un Analizador.
- **Distancia total de prueba:** es la distancia que el vehículo tiene que recorrer en el banco de ensayos.
- **Gases Contaminantes:** se consideran como tales al monóxido de carbono, bióxido de carbono, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno.
- **Humo negro:** Partículas formadas por varios compuestos, principalmente de carbono (hollín) y usualmente menores a 1 mm de diámetro, que han escapado del proceso de combustión.
- **Humo azul:** Partículas compuestas de líquido incoloro (gotas atomizadas de aceite) que reflejan y refractan la luz, dando una coloración azul.
- **Humo blanco:** Partículas compuestas de líquido incoloro (gotas atomizadas de agua) que reflejan y refractan la luz, dando una coloración blanca.
- **Quimiluminiscencia:** método para determinar la concentración de NO<sub>x</sub> en una muestra de gases.
- **Banco de Eusayos:** unidad de prueba de laboratorio capaz de determinar la potencia y simular el comportamiento del ciclomotor al circular por zonas urbanas y carretera.
- **Detector de ionización de flama:** instrumento usado para determinar la concentración de hidrocarburos en una muestra de gases.

- **Masas de inercia:** Serie de masas rotatorias acopladas al banco de prueba, las cuales representan la masa de referencia.
- **Masa de referencia:** Es la suma de la masa de la motocicleta ( con todos sus componentes de línea), la masa del combustible (cuando menos 90 % de la capacidad del tanque), la masa de lubricante (cuando menos 90 % de la capacidad del tanque) y la masa del conductor del vehículo.
- **Ciclo de prueba:** Secuencia de modos de operación del vehículo, designados para simular el uso cotidiano del vehículo.
- **Gas cero:** Un gas, como el nitrógeno puro, usado para determinar el cero de un Analizador.
- **Muestreo:** selección de una o varias cantidades, en este caso de gases de escape, para su análisis. Puede ser en bolsa de aire, o mediante un método continuo.

**7.1.2 GENERALIDADES:** Todos los elementos del ciclomotor que influyen en las emisiones de los gases contaminantes deberán satisfacer las disposiciones de la presente norma. En condiciones normales de utilización a pesar de las vibraciones a que pueda estar sometido el vehículo. En todo momento se utilizará el sistema internacional de unidades.

**7.1.3 ESPECIFICACIONES:** El ciclomotor se someterá a ensayos de:

- Inspección visual. En el caso de motocicletas con motor de dos tiempos si se presentan humos azules en forma excesiva se abortará la prueba, considerando al vehículo como en mal estado, por lo que es responsabilidad del usuario dosificar en forma correcta la cantidad del aceite, de preferencia el recomendado por el fabricante, (si la motocicleta no lo efectúa en forma automática).
- Verificación de potencia en banco de ensayo inercial.
- Emisiones de gases contaminantes en una zona urbana, el cual se efectuará en un banco de ensayo inercial y sin interrupción. Durante el ensayo se medirán discontinuamente los gases del escape. En cada caso, los niveles de monóxido de carbono y la de los hidrocarburos no quemados habrá de ser inferior a los valores límite indicados en la tabla 7.1.

Dependiendo del objetivo la prueba se realizará como sigue:

- *Para el caso de verificación vehicular el ciclo de manejo se correrá 1 vez.*
- **Para el caso de homologación el ciclo de manejo se correrá 10 veces.**



Cada ciclo se compondrá de 9 operaciones de manejo (ralentí, aceleración, velocidad constante, desaceleración, ...).

Para el caso de la **homologación**; se permite que en uno de los ensayos rebase el valor permisible de alguno de los gases siempre y cuando, el promedio aritmético de las mediciones en dicho gas no se rebase.

Para el caso de **homologación**; se tomará un ciclomotor de la producción, en caso de que éste no apruebe se tomará una muestra de 10 vehículos, incluido el primero, tomándose el promedio aritmético de las mediciones, para cada gas respectivamente.

TABLA 7.1

NIVELES PERMISIBLES DE GASES CONTAMINANTES EMITIDOS POR MOTOCICLETAS CON MOTORES DE DOS Y CUATRO TIEMPOS				
	VERIFICACIÓN		HOMOLOGACIÓN	
TIPO	CO	HC	CO	HC
I	XXX	XXX	XXX	XXX
II	XXX	XXX	XXX	XXX
III	XXX	XXX	XXX	XXX

**7.1.4 Comentarios a los apartados 7.1 a 7.3:** Estos incisos representan la propuesta de la normativa. En cuanto al punto 7.1 se considera la importancia de señalar que la normativa tiene 2 aplicaciones homologación y verificación, además de que debe ser del dominio público en cualquier centro de ensayos en donde tenga aplicación. Las definiciones establecidas en el punto 7.1.1 tienen la intención de aclarar el significado de los términos usados en la normativa y en el medio. En cuanto al apartado 7.1.2 tiene por objeto que se pretexto por cualquier condición el resultado del ensayo cuando fuese negativo. El apartado 7.1.3 Especifica los ensayos propuestos para el vehículos y ejemplifica una tabla cuyos valores se pueden obtener como se indica en el apartado 7.4. Dentro de los ensayos se aplica una inspección visual en donde se revise que las emisiones de las motocicletas con motor a dos tiempos no contengan una cantidad exagerada de aceite quemado, pues esto sería un indicativo de que el motor requiere de un combustible con muchísimo aceite para poder desempeñar la potencia requerida y que pro lo tanto está en malas condiciones, la prueba de par o potencia tiene como finalidad evitar que los mecánicos castiguen el

carburador para pasar la prueba de emisiones y por supuesto se establece una prueba de emisiones en banco para poder determinar en desempeño real del vehículo, si aun se encuentra en condiciones de operar dentro de los límites permitidos por la normativa.

## **7.2 PROPUESTA DE PROTOCOLO DE NORMA PARA PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN.**

Esta propuesta de protocolo de normativa establece el procedimiento de verificación de los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de las motocicletas nuevas y/o en circulación que usan motores encendidos por chispa de 2 y 4 tiempos, y será de observancia obligatoria para las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación o en su caso, para los particulares que cuenten con la autorización correspondiente. Es obligatorio colocar a la vista una copia de ésta normativa en cualquiera de los establecimientos anteriormente mencionados.

**7.2.1 DEFINICIONES:** Se aplican las establecidas en la sección 7.1.1

**7.2.2 GENERALIDADES:** Se aplican las de la sección 7.1.2

**7.2.3 ESPECIFICACIONES:**

**7.2.3.1 Ciclo de funcionamiento del ciclomotor en el banco de ensayo;** El vehículo se someterá a un ciclo de manejo como el descrito en la tabla 7.2 y la figura 7.1, durante el cual se medirán las emisiones contaminantes.

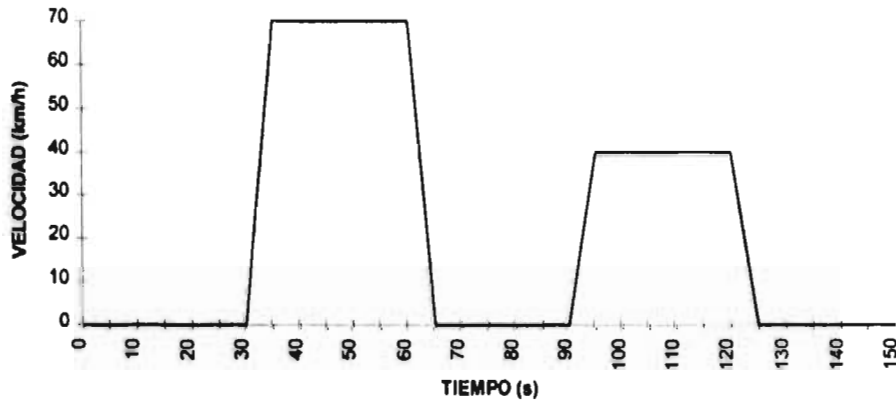
En el caso de la **homologación** se podrán realizar ciclos de práctica para determinar la mejor forma de accionar el mando del acelerador y de ser necesario, de la caja de cambios y del freno.

La caja de cambios se accionará como lo ha prescrito el fabricante, en el caso de que la caja sea automática se usará en posición de carretera. En cualquier caso si el motor del ciclomotor no opera dentro de las tolerancias indicadas se considerará que dicho vehículo se encuentra en mal estado y deberá ser rechazado.

TABLA 7.2

CICLO DE FUNCIONAMIENTO DEL CICLOMOTOR EN EL BANCO DE PRUEBA					
Fase	Operación	Aceleración	Velocidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
1	Ralentí	-	0	30	30
2	Aceleración	A fondo	0 - 70	5	35
3	Vel. constante	Mantener	70	25	60
4	Desaceleración	-	70 - 0	5	65
5	Ralentí	-	0	25	90
6	Aceleración	A fondo	0 - 20	5	95
7	Vel. constante	Mantener	20	25	120
8	Desaceleración	-	20 - 0	5	125
9	Ralentí	-	0	25	150

*Velocidad en km/h, Tiempo en segundos.*



*Figura 7.1 Ciclo de manejo para motocicletas*

### 7.2.3.2 Respecto del ciclomotor:

- Se presentará en buen estado mecánico, en el caso de homologación este deberá haber sido rodado y haber recorrido un mínimo de 1000 km.
- El dispositivo de escape no deberá presentar fugas capaces de disminuir la cantidad de gases emitidos por el vehículo, siempre deberá ser la totalidad de los que salen del motor.
- Se comprobará la estanqueidad del sistema de admisión a fin de que la carburación no se altere por una toma accidental de aire.
- Para el caso de la prueba de **homologación**, el laboratorio deberá revisar que el ciclomotor se comporte y se encuentre construido bajo las especificaciones de diseño del fabricante.

- En las pruebas se utilizará el combustible comercial recomendado por el fabricante, en el caso de los motores a dos tiempos se agregará en calidad y cantidad el aceite al combustible que señale el fabricante.
- La presión en las ruedas de la motocicleta, deberá ser la especificada por el fabricante o importador, por lo que se verificará esta antes de realizar la prueba.
- Para la prueba de **homologación**, el combustible a emplearse durante las pruebas se obtendrá de 3 centros de servicio autorizados de PEMEX, los cuales serán elegidos al azar. Dicho combustible se mezclará previamente a utilizarse en el ciclomotor en partes iguales.
- Para la prueba de *verificación*, se considera como responsabilidad del usuario que el ciclomotor se encuentre y comporte bajo las especificaciones del fabricante.
- Para la prueba de *verificación*, será responsabilidad del usuario utilizar el combustible comercial recomendado por el fabricante, y en el caso de motores de 2 tiempos el utilizar en calidad y cantidad el aceite recomendada por el fabricante.

**7.2.3.3 Banco de ensayos:** Las características principales son un rodillo de 0.4 m de diámetro como mínimo y un ancho de pista de 0.4 a 0.6 m, el cual debe estar balanceado y cuya masa (en kg.) o inercia (en  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ) sea conocida. Además deberá contar con un sensor óptico o magnético así como un sistema de adquisición de datos de manera que se puedan cumplir con las tolerancias, el sistema de adquisición de datos debe tener capacidad para almacenar los datos requeridos en la prueba, tal es el caso las curvas de potencia, par y velocidad.

**7.2.3.4 Equipo de medición de gases:** Se utilizará un sistema de medición de análisis de gases Bar 90, que sea capaz de medir CO %, HC ppm, CO<sub>2</sub> %, NO<sub>x</sub> en ppm. y O<sub>2</sub> %. Este equipo deberá ser calibrado y se le dará mantenimiento de acuerdo a lo indicado por el fabricante, por lo que se deberá presentar una tabla, en el centro de verificación, que indique la periodicidad del mantenimiento y el estado actual del mismo. El tiempo de respuesta del equipo deberá ser de cuando mucho 10 segundos.

**7.2.3.5 Tolerancias:** éstas se darán de la siguiente manera:

- Los gases de calibración no deberán desviarse más de  $\pm 2\%$  del valor de referencia de cada uno de ellos.

- La velocidad del aire de enfriamiento del ventilador será de 70 km/h, con una tolerancia de  $\pm 5$  km/h .
- La distancia previa recorrida por el ciclomotor será de 1000 km,  $\pm 100$  km.
- La velocidad del ciclomotor se determinará por la velocidad de rotación del rodillo, con una precisión de  $\pm 1.5$  km./h.
- La presión de las llantas del ciclomotor será la indicada por el fabricante  $\pm 47.85$  Pa (1 lb/pulg<sup>2</sup>).
- Se tolera una desviación de  $\pm 5$  segundos en relación con la duración teórica del ciclo de manejo.
- La tolerancia de temperatura del local será de  $\pm 5$  °C para homologación y  $\pm 10$ °C para verificación.
- La tolerancia del intervalo de tiempo para muestreo es de  $\pm 1$  s.
- La tolerancia del tiempo de respuesta del analizador es de  $\pm 5$  s.
- Para la *verificación* se compararan las curvas de par y potencia medidas, con las curvas dadas por el fabricante/importador, con una tolerancia de  $\pm 20$  % (dato a verificarse con un número representativo de motocicletas).
- Para la **homologación** se compararan las curvas de par y potencia con una tolerancia de  $\pm 5$  % (dato a verificarse con un número representativo de motocicletas).

#### 7.2.3.6 Forma de realizar los ensayos:

- Antes de comenzar con los ensayos, se deben verificar las siguientes condiciones ambientales. Para la **homologación** la temperatura del local se encuentre a 25 °C. Para la **homologación** la humedad relativa del local se encuentre entre 25 y 45 %. Para la *verificación* se revisará que la temperatura del local se encuentre a 25 °C.
- El ciclomotor estará lo más horizontal posible para evitar cualquier distribución anormal del combustible o aceite del motor.
- En todo el ensayo se registrarán la velocidad con intervalos de 1 segundo a fin de poder controlar la exactitud de los ciclos.
- El vehículo se pondrá en marcha según las indicaciones del fabricante. Colocando la motocicleta en el banco de ensayos, haciendo coincidir el eje de la rueda trasera de la motocicleta y el eje del rodillo en un mismo plano vertical.

- En el comienzo de la prueba se medirán las curvas de par o potencia, para ser en ambos casos comparadas con las originales presentadas por el fabricante.
- La curva de par o potencia, se obtendrá de la siguiente forma. El ciclomotor se pondrá en marcha a velocidad de ralenti, estando la caja de velocidades en la relación 1:1, se procederá a acelerar la motocicleta hasta la velocidad máxima de forma que no se apague el motor (mientras esté en baja velocidad). En todo momento se medirá la velocidad del motor de la motocicleta y se aplicaran las ecuaciones 4.7 o 4.8 para determinar las curvas de par o potencia.
- Una vez obtenidas las curvas de par o potencia, se regresará al ralenti y se procederá con el ciclo de prueba para medir las emisiones (véase Medición de emisiones).
- Todas las desaceleraciones se realizaran soltando el acelerador por completo y con el motor desembragado cuando se tenga motocicleta con transmisión manual.
- Si se requiere desacelerar excesivamente rápido se podrá hacer uso de los frenos, de otra forma no se podrá cumplir con el ciclo de manejo.

#### **7.2.3.7 Medición de emisiones:**

- Antes de realizar la toma de muestras se verificara que la concentración de aceite en la gasolina (sólo motocicletas con motor de dos tiempos) sea la correcta (no excesiva), de la siguiente manera; el tubo de escape se conectara a un sistema de filtrado (como se muestra en la figura 7.2), que cuenta con un filtro de protección (fibra de vidrio y fieltro empaquetados en una malla de acero), y el segundo un filtro de fieltro color blanco. Si dicho filtro se mancha visiblemente por partículas de aceite, se abortará inmediatamente la prueba considerándose al vehículo en mala condición y deberá ser rechazado.
- En todo momento del ensayo se enfriará la motocicleta con un ventilador, que de una velocidad de aire de 70 km/h.
- En el caso de motocicletas con motor de dos tiempos se utilizará el filtro de fibra de vidrio precalentado (como protección a los instrumentos de medición), el cual se reemplazará en cada prueba.
- En todo momento del ensayo la sonda estará colocada en el sistema de escape o en el sistema de filtrado post escape en motocicletas con motores de dos tiempos.
- Si el ciclomotor cuenta con más de 1 sistema de escape se deberán medir las emisiones en ambos sistemas de escape y tomar el promedio aritmético de los tubos de escape, o se podrá utilizar una sonda bifurcada para tal efecto.

- Para la *verificación* se tomarán 5 valores de muestreo de gases cada 30 segundos con  $\pm 1$  segundo, y se promediarán aritméticamente para cada uno de los gases indicados en la tabla 7.1. El muestreo se realizará a los 25, 55, 85, 115 y 145 segundos.
- Para la **homologación** se tomarán 50 valores de muestreo de gases cada 30 segundos con  $\pm 1$  segundo, y se promediarán aritméticamente para cada uno de los gases indicados en la tabla 7.1. El muestreo se realizará a los 25, 55, 85, 115, 145, 175, 205, 235, 265, 295, 325, 355, 385, 415, 445, 475, 505, 535, 565, 595, 625, 655, 685, 715, 745, 775, 805, 835, 865, 895, 925, 955, 985, 1015, 1045, 1075, 1105, 1135, 1165, 1195, 1225, 1255, 1285, 1315, 1345, 1375, 1405, 1435, 1465 y 1495 segundos. Esto significa que el ensayo de **homologación** tiene una duración 10 veces mayor al de *verificación*.

**7.2.4 Comentario de los puntos 7.2 a 7.2.3.7:** En estos puntos se presenta el protocolo de la normativa que establece con detalle la forma en que se realizaran las pruebas, el apartado 7.2 indica una presentación, en donde se obliga a presentar en su totalidad la norma en todos los centros de ensayos, con la finalidad de hacerla del dominio público, los apartados 7.2.1 y 7.2.2 tienen la misma finalidad que los apartados 7.1.1 y 7.1.2.

El apartado 7.2.3 especifica ya en detalle las pruebas, comenzando por el ciclo de manejo, en que se presenta tanto en forma tabular como gráfica para evitar confusiones, pues solo con el esté podemos emular el desempeño de la motocicleta en el camino. También se especifican las condiciones en que se presente el ciclomotor, en este caso el recorrido previo es importante pues se requiere de un motor acentado para lograr una homologación correcta. El buen estado del sistema de escape tiene la finalidad de evitar la dilución de los gases antes de que se efectúe la medición. Se exige el uso del combustible comercial, a diferencia del recomendado en el CFR 40 (para automóviles) debido a que se busca obtener valores reales y representativos, de lo que emiten las motocicletas cuando queman el combustible nacional. La presión en la rueda trasera, garantiza una cara de contacto con el rodillo similar a la que se presenta con el pavimento.

En cuanto al banco de ensayos se especifica un único rodillo, por garantizar la misma cara de contacto de la llanta, también se especifican que sensores pueden utilizarse, de manera que la velocidad y distancia recorrida sean lo más precisas posible. Se especifica un sistema de bar 90 por economía, ya que el parque vehicular de estos vehículos es muy reducido y un ensayo con un

sistema CVS resultaría demasiado costoso y privativo, para éste analizador se enfatiza el presentar el estado actual en operación del mismo, ya que según el número de pruebas que estos efectúan se descalibran, y no es conveniente que se realicen las pruebas con un analizador en mal estado.

En cuanto a las tolerancias, éstas se tomaron en la mayoría de los casos , de los gases de calibración, mientras que la tolerancia en la velocidad del aire se obtuvo con las motocicletas andando a una velocidad de 70 km/h, observando una variación promedio de 10 km/h, por lo que para el ventilador destinamos  $\pm 5$  km/h . se exige la velocidad de 70 km/h, por ser la velocidad máxima en el ciclo de manejo. La distancia previa recorrida de 1000 km se toma por recomendación de la norma CFR 40 ya que la recomendación de 500 km/h dada en la normativa europea se consideró insuficiente pues algunas motocicletas ensayadas habían rebasado los 500 km de recorrido y presentaban resultados igualmente variables a las motocicletas que tenían 0 a 150 km como máximo de recorrido. Las tolerancias de presión en las llantas se dan por recomendación de los fabricantes. El resto de las tolerancias de tiempo se supeditan al tiempo de respuesta de los equipos de medición disponibles. Respecto a las curvas de par o potencia y su tolerancia se tomo un valor que se consideró adecuado, pero que estará sujeto a un número mayor de ensayos.

Para realizar los ensayos se considera importante un control de la temperatura y la humedad del local, pues esto afecta tanto a la refrigeración por aire como a la combustión realizada por el motor. Se pide un buen control de los ciclos , siendo importante que los ejes del rodillo y rueda trasera coincidan en un plano vertical, de forma que no se creen fuerzas o momentos adicionales sobre el rodillo y que se mantenga la cara de contacto del rodillo lo más fiel posible.

Se considera que si una motocicleta no pasa el ensayo de par o potencia, entonces se podrá ver si la moto fue castigada y sería inútil realizar el de emisiones, por lo que se alargaría la vida útil del analizador, la intención de correr la prueba en la relación 1:1 es para probar el motor de la motocicleta lo más directamente posible, pues con ésta relación el valor de Z en las ecuaciones 4.7 y 4.8 tiene un valor aproximado a  $Z = 10.6$ . Y es más difícil obtener un amplio rango de velocidad en la curva de par ó potencia. La intención de promediar las emisiones en el ciclo es por obtener un valor promedio de lo que contaminan estos vehículos, como se comenta con más detalle en los apartados 7.3 y 7.4.



### 7.3 CICLO DE MANEJO PROPUESTO

El ciclo de manejo propuesto tiene la finalidad de representar las condiciones de manejo en la mayoría de las motocicletas que circulan por la ciudad de México (motocicletas para reparto y mensajería). Este consta de 3 etapas de ralentí, 2 etapas de aceleración, 2 etapas de velocidad constante y 2 etapas de desaceleración.

El primer ralentí representa un primer arranque en frío, el segundo ralentí representa las emisiones arrojadas por la motocicleta al momento de parar en un alto desde una velocidad de cruceo (70 km/h), el último de los ralentíes representa las emisiones arrojadas al momento de parar desde una velocidad con tráfico pesado (40km/h). Las velocidades constantes representan la generación de emisiones a velocidad de cruceo (70 km/h) y a velocidad con tráfico pesado (40 km/h). En cada caso las aceleraciones son prácticamente a fondo y representan un arranque rápido, que se da cuando los motociclistas se encuentran al frente del resto de los vehículos en un alto (luz roja).

En este ciclo también se establecen los puntos en que se debe hacer el cambio de velocidad en las aceleraciones, 0 km/h 1ª, de 1ª a 2ª a los 25 km/h, de 2ª a 3ª a los 40 km/h y de 3ª a 4ª a los 55 km/h, de forma que todos los conductores manejen en la misma forma el ciclo.

### 7.4 MÉTODO PROPUESTO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS NIVELES PERMISIBLES

Como se puede observar en la propuesta de normativa, no se indican valores límites en la tabla 7.1 (Niveles Permisibles de Gases Contaminantes Emitidos por Motocicletas con Motores de 2 y 4 Tiempos). Esto ocurre debido a que la forma en que deban obtenerse dichos valores límite, debe de seguir un procedimiento estadístico muy riguroso, en donde se tomen todos los modelos de motocicletas que existen en México, también se puede pensar en penalizar con mayor rigor alguna(s) etapa(s) en el ciclo de manejo. Sin embargo no se ha querido dejar en forma arbitraria la libre obtención de estos valores, por lo que proponemos la siguiente forma de establecer los límites permisibles.

Dado que todas las etapas del ciclo de manejo se consideran relevantes dentro de la prueba, la norma contempla un peso del 20% para cada una de las 5 etapas en donde se miden emisiones (3 ralentíes y 2 marchas), cada modelo de motocicleta será sometido a una prueba según la propuesta

de normativa, realizándose, al menos 20 ensayos en cada una, con los datos recopilados se obtendrá un promedio aritmético de cada uno de los gases emitidos, para posteriormente promediar los resultados de todos los modelos según su tipo, dichos promedios globales podrán ser tomados como los valores límite. Nótese que no se distingue entre tipos de motores (2 y 4 tiempos), solamente hay distinción entre los desplazamientos de los motores.

TABLA 7.3

<b>VALORES PROMEDIO DE GASES EMITIDOS POR MOTOCICLETAS ENSAYADAS</b>					
<b>VEHICULO</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>ENSAYOS</b>
CG	1.823	4.1025	155.76	13.375	24
CG	2.33	4.395	169.256	12.53	25
BONUS	3.844	6.53	778.7	8.5184	20
ST	2.715	4.99	3441.25	17.303	8
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.678</b>	<b>5</b>	<b>1136.24</b>	<b>12.9316</b>	<b>19.25</b>

Según lo anterior y la disposición que se tuvo de motocicletas se presenta un ejemplo de los niveles límites al final de la tabla 7.3. Para realizar dicho ejemplo se utilizaron 3 motocicletas con motor a 4 tiempos de 125 c.c. y una motocicleta con motor a dos tiempos con 50 c.c. y sistema de filtrado, en cada caso se midieron emisiones para cuatro gases CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y HC, cuyos resultados se registraron simultáneamente como se indica en la tabla 7.3, y se resumen para cada gas/modelo de motocicleta en las figuras 8.1 a 8.16 (considerando que los vehículos se encontraban en óptimas condiciones pero con 0 km de recorrido). Las mediciones se efectuaron 25 veces en una motocicleta CG con motor a 4 tiempos de 125 c.c., 24 veces en otra motocicleta CG con motor a 4 tiempos de 125 c.c., 20 veces en una motocicleta BONUS con motor a 4 tiempos de 125 c.c. y 8 veces en la motocicleta ST con motor a dos tiempos de 50 c.c. (por el número de filtros disponibles). Se recuerda que para cada una se tomó el promedio aritmético en cada uno de los gases emitidos, que se presentan en la tabla 7.3 y éstos a su vez se promediaron dando el valor que se presenta como promedio al final de la misma tabla.

## **CAPÍTULO 8**

### **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

#### **8.1 ENSAYOS PREVIOS A LA PROPUESTA DE NORMATIVA**

Para poder realizar el protocolo de ensayos previsto en la normativa, hubo que analizar previamente el comportamiento de las motocicletas, así como las características de los instrumentos de medición disponibles, de manera que los resultados fuesen representativos del funcionamiento real del vehículo. por tal motivo se decide como primera instancia que los ensayos se realicen sobre un banco de ensayos para motocicletas, dicho banco fue diseñado y construido en el LCE del Departamento de Termoeenergía.

Los primeros ensayos realizados en el banco, se concretaron a analizar el desempeño de la estructura del banco, de sus partes móviles y de la motocicleta en él, estos ensayos determinaron algunas mejoras efectuadas en el banco de ensayos y en el sistema de encendido externo (en el banco).

El siguiente tipo de ensayos realizados, se enfocaron al desarrollo de un sistema de filtración de gases de escape provenientes de motocicletas con motores de 2 tiempos, dichos ensayos presentaron diversos problemas a lo largo del desarrollo, como lo son; condensación de gases producto de la combustión, arrastre de materiales, incineración del material filtrante, baja retención de aceite en los gases y otros problemas de menor importancia, por supuesto que cada uno de ellos fue superado en su momento luego de probar una gran diversidad de filtros, sus variantes y fabricando un sistema de filtrado con control de temperatura. De lo anterior se pueden generalizar dos tipos de ensayos principales, ensayos de absorción y adsorción de aceite y ensayos de resistencia de materiales a altas temperaturas (200 a 300 °C).

Vencidos los obstáculos que se presentaron previamente y teniendo el equipo indispensable se realizan ensayos para determinar un primer ciclo de manejo, que permita evaluar las emisiones contaminantes de las motocicletas bajo las mismas condiciones de operación.

Por último se realizaron ensayos de Par, con la finalidad de que en conjunto con los ensayos de emisiones se determine apropiadamente el estado mecánico de cada motocicleta. Este ensayo

consiste en acelerar la motocicleta desde la velocidad de ralenti (o próxima a esta) hasta su velocidad máxima midiendo el tiempo a cada instante que ésta tarda en hacerlo.

## 8.2 RESULTADOS

Como se comentó previamente en el punto 7.4 los resultados presentados se refieren a 3 motocicletas con motor de 4 tiempos y 125 cc. y una motocicleta con motor de 2 tiempos y 50 cc.

Antes de presentar de lleno los niveles de emisiones que se obtuvieron, presentaremos algunos datos referentes a las condiciones en que se encontraban las motocicletas al momento de realizar el ensayo. Los datos presentados en la tabla 8.1 son un promedio de todas las lecturas obtenidas para cada motocicleta.

**TABLA 8.1**

<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS MOTOCICLETAS ENSAYADAS</b>				
	BONUS	CG N°1	CG N°2	ST
TEMP.AMB.	19 °C	18.92 °C	18.74 °C	18.6 °C
HUMEDAD REL.	36.8 %	36.2 %	38.8 %	37.05 %
TEMP. ACEITE	85.74 °C	74.58 °C	81.63 °C	*

\* Este valor no se tiene por el hecho de que la gasolina y el aceite se mezclan para los motores de dos tiempos

Si tomamos la temperatura promedio en las pruebas esta es de 18.86 °C, la humedad relativa de 37.05 % y la temperatura del aceite en las motocicletas de 4 tiempos de 80.56 °C.

En general la temperatura del aceite sirvió como un indicativo para establecer la estabilización de los motores de las motocicletas, se notaba una estabilización a partir de los 60°C, durante el tiempo de estabilización no se corrió ningún ciclo con la finalidad de medir las emisiones de los gases.

Hay que mencionar que las motocicletas CG y la ST, casi no tenían recorrido, por el hecho de ser facilitadas por el fabricante con 0 km de recorrido (totalmente nuevas), mientras que la motocicleta Bonus, contaba en su odómetro con 570 km de recorrido. Hay que recordar que en la normativa internacional se requiere de un recorrido mínimo, de 500 km en la normativa Europea y de 1000 km de recorrido mínimo en la de USA, para las pruebas de homologación, con la finalidad de que los motores estén perfectamente asentados. Lo anterior indica que según la última de las

normativas todos los motores se encontraban en su periodo de asentamiento. Cabe mencionar que todos los motores utilizaban el aceite recomendado por el fabricante.

Durante los ensayos con las motocicletas con motor a 4 tiempos se emplearon 2 conductores distintos para seguir el ciclo de manejo (Antonio Galvan y Porfirio Franco). Se noto que aun cuando ambos seguían el ciclo de manejo, uno de ellos forzaba más la máquina, pues en las aceleraciones operaban el ciclo en forma diferente dentro de las tolerancias, por lo que se calentaba el motor en forma diferente. Como la motocicleta ST 50 tiene transmisión automática, independientemente del operador.

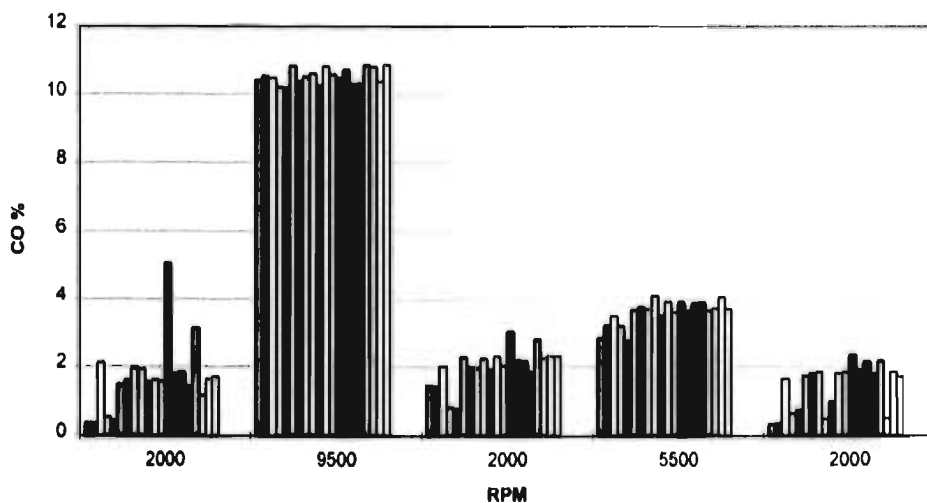
Dado que la normativa exige una prueba de par o de potencia, se agrega una curva de par de una motocicleta de 4 tiempos y 125 cc.

### 8.2.1 Resultados de emisiones de CO

La formación de CO se debe fundamentalmente a una mezcla rica en combustible, en donde el oxígeno contenido en el aire es insuficiente para quemar todo el carbono en CO<sub>2</sub>, el CO también se presenta por la interacción de la fama con las paredes de la cámara de combustión, las películas de lubricante y los depósitos que provocan la combustión parcial de la mezcla<sub>[19]</sub>.

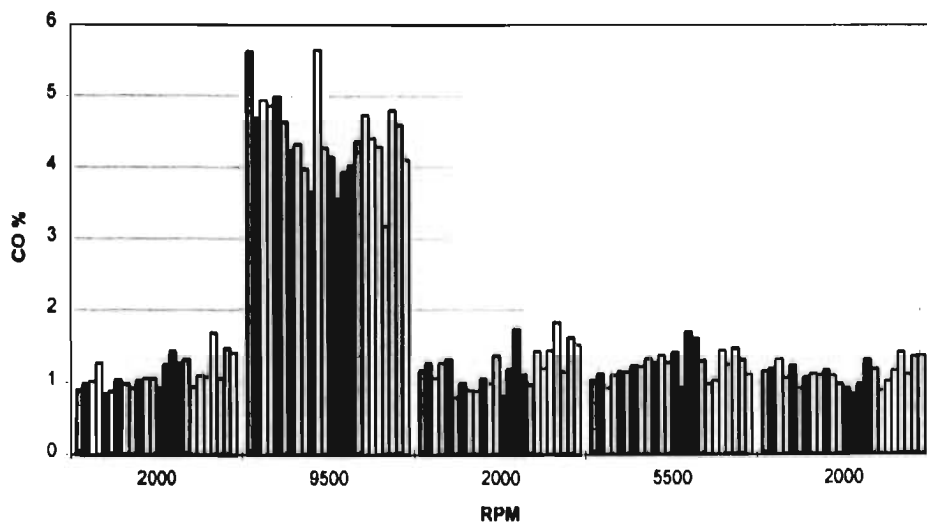
Observando lo anterior es fácil notar que las mezclas más ricas se presentan en los periodos de marcha a 60 km/h (9500 rpm del motor) en todos los modelos, siendo los valores más altos los de la motocicleta Bonus (10.5 % CO), mientras que los modelos CG 125 presentaron los más bajos (4.5 % y 5.5 % de CO), se hace notar que la ST 50 también presento en estas emisiones un valor bajo (5 % CO) para ser un motor de dos tiempos.

En el primer ralentí, de arranque en frío, con velocidad de recorrido de 0 km/h (2000 rpm en el motor) notamos algunos valores disparados en la motocicleta Bonus, lo mismo que algunas pequeñas diferencias en el resto del los ralentís, los cuales son atribuibles a la falta de asentamiento del motor. En las motocicletas CG 125 y ST 50 también se pueden notara algunas diferencias (dispersión de valores) debidas a la falta de asentamiento del motor, notándose además como afecta el lubricante en el combustible en la ST con motor a 2 tiempos, por lo que los valores tienen mayor dispersión en los ralentís en este tipo de motor.

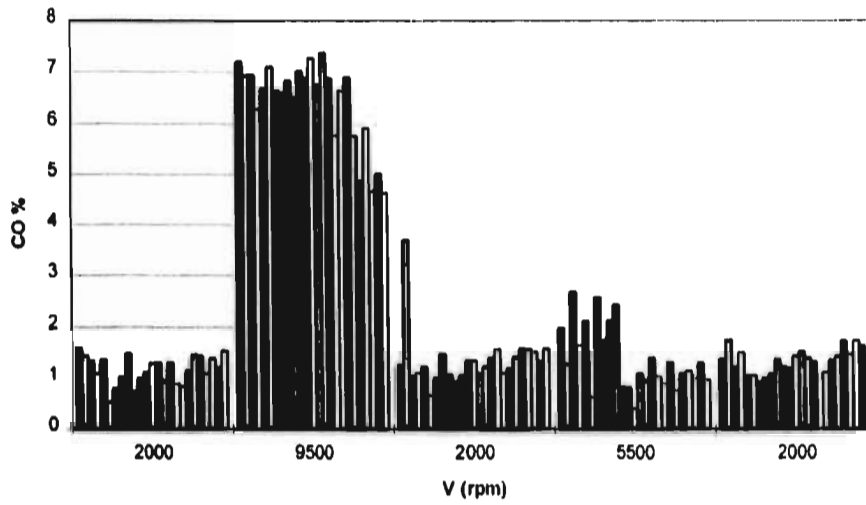


**Figura 8.1:** Emisiones de CO (%) de Motocicleta Bonus 125 c.c. 4T

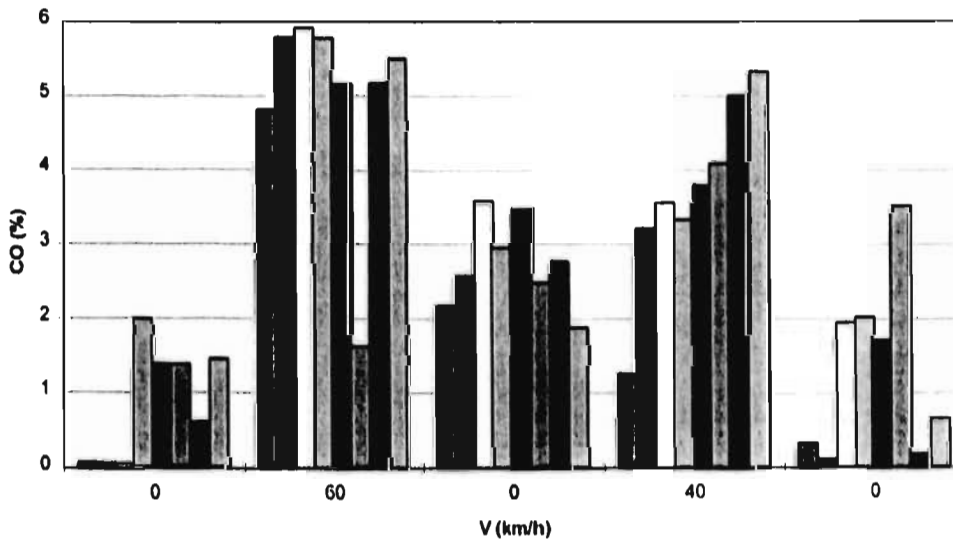
Cabe mencionar en el segundo cruceo de 40 km/h (5500 rpm en el motor), los valores del CO permanecieron prácticamente al mismo nivel que en los ralentís en las motocicletas CG 125, mientras que en la motocicleta Bonus se presentaron valores de casi 4 % de CO y en la ST se presentaron valores de hasta 5 %.



**Figura 8.2:** Emisiones de CO (%) de Motocicleta CG N°1 125 c.c. 4T



**Figura 8.3:** Emisiones de CO (%) de Motocicleta CG N°2 125 c.c. 4T



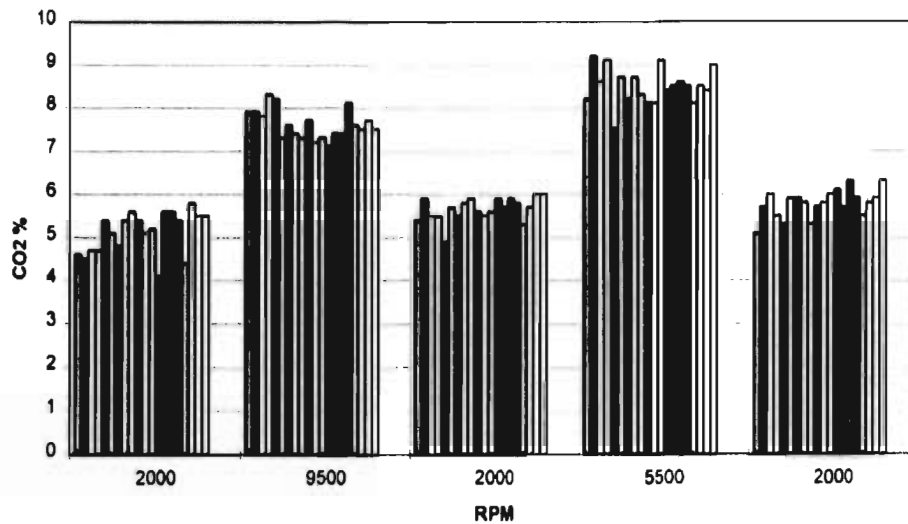
**Figura 8.4:** Emisiones de CO (%) de Motocicleta ST 50 c.c. 2T

### 8.2.2 Resultados de emisiones de CO<sub>2</sub>

Regularmente este gas no se considera nocivo para la salud humana por ser un gas inerte el cual es aprovechado por las plantas, solamente es peligroso en grandes cantidades tal es el caso del efecto invernadero en el planeta.

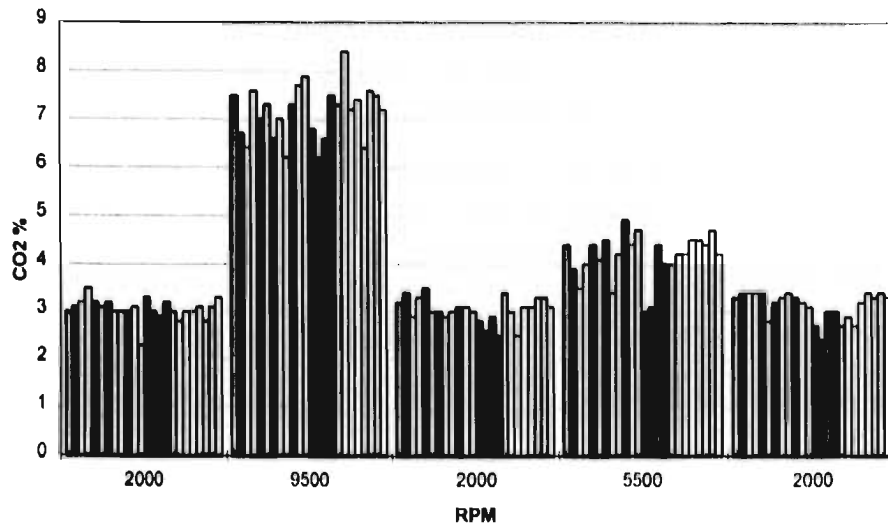
Analizando los resultados de la motocicleta Bonus para el caso del CO<sub>2</sub> observamos que se presentan los datos con valores más altos en comparación al resto de las motocicletas ensayadas, en los ralentís este valor es de 5.5 % y en los cruceros de 7.5 % y 8.3 %, mientras que las otras motocicletas valores altos (7.5 % de CO<sub>2</sub>) en la velocidad de crucero de 60 km/h, en el resto de las etapas del ciclo, los valores se mantienen en unos 4.1 % .

En la ST a 2 tiempos las emisiones de CO<sub>2</sub> se mantuvieron del orden del 5 % en casi todas las etapas y con algunos valores eventuales del 8% durante el crucero de 40 km/h (5500 rpm del motor).

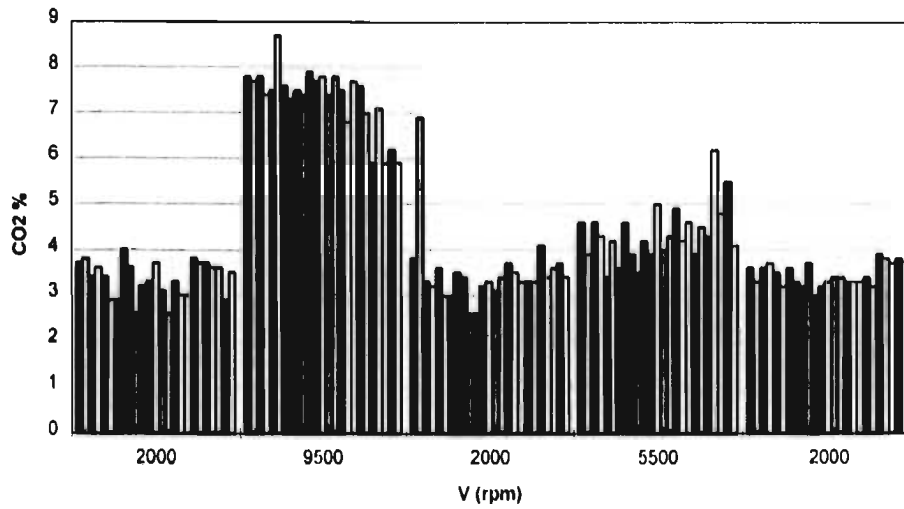


**Figura 8.5:** Emisiones de CO<sub>2</sub> (%) de Motocicleta Bonus 125 c.c. 4T

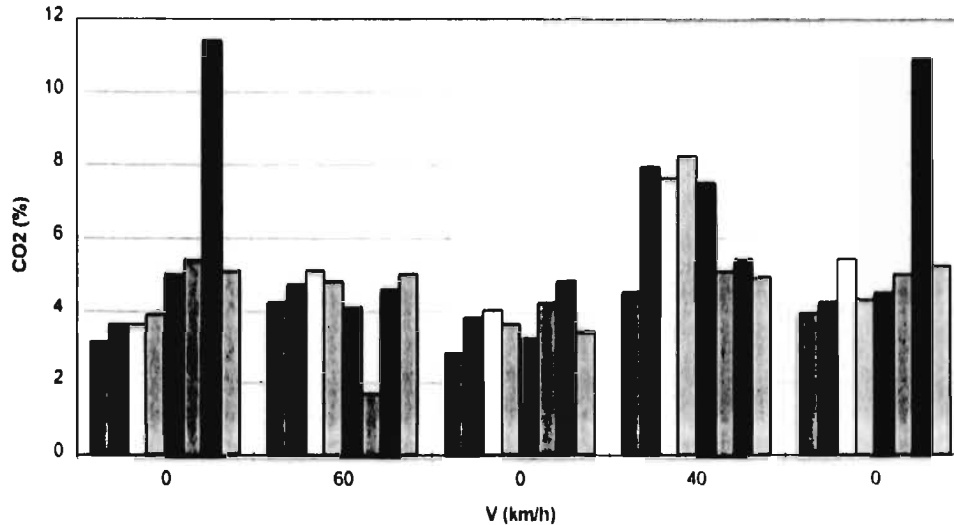




*Figura 8.6: Emisiones de CO<sub>2</sub> (%) de Motocicleta CG N°1 125 c.c. 4T*



*Figura 8.7: Emisiones de CO<sub>2</sub> (%) de Motocicleta CG N°2 125 c.c. 4T*

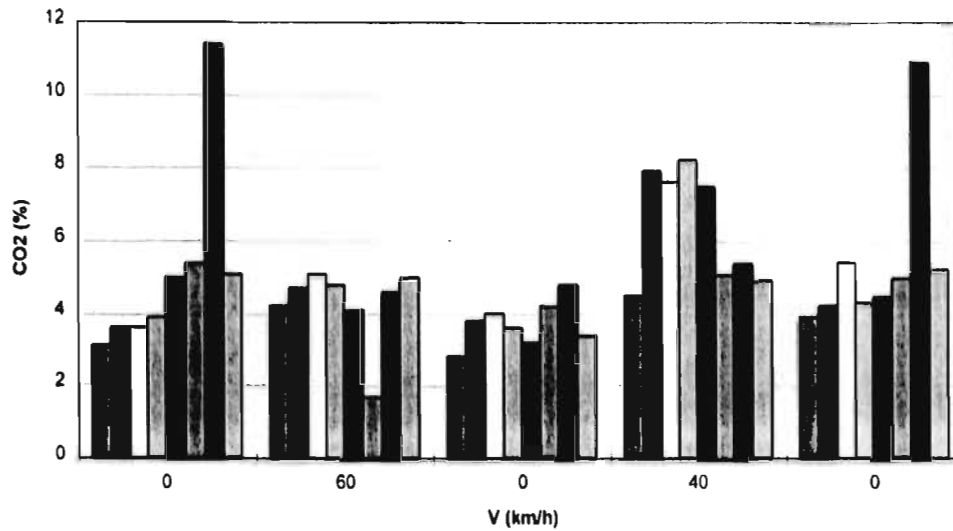


*Figura 8.8: Emisiones de CO<sub>2</sub> (%) de Motocicleta ST 50 c.c. 2T*

### 8.2.3 Resultados de emisiones de HC

Estos resultados generalmente significan combustibles no quemados. Estos productos regularmente son dañinos a la salud y son precursores del ozono, los combustibles regularmente se contiene de 10 a 20 componentes importantes y de 100 a 200 componentes secundarios. La mayoría de estos componentes aparecen en los gases de escape pero su estructura ha sido modificada en parte por el proceso de combustión, esto se debe a varios factores; flama escasa, presencia de capas de combustible y aceite en la cámara de combustión, tal es el caso de los motores de dos tiempos cuando la relación de aceite en el combustible es excesiva o no se utiliza el aceite apropiado, también cuando se utilizan gasolinas con plomo. Otros factores que afectan este proceso en los motores es una bujía mojada dando un arco eléctrico deficiente<sup>[19]</sup>.

Las emisiones de HC se presentaron de la siguiente manera; en la motocicleta Bonus los niveles fluctúan de 1000 hasta 3700 ppm, en la velocidad de cruceo de 60 km/h, manteniendo un valor de entre 250 y 450 ppm en el resto de las etapas del ciclo. Las motocicletas CG 125 presentan ambas niveles de entre 220 y 370 ppm en la velocidad de cruceo de 60 km/h, y valores de 100 a 150



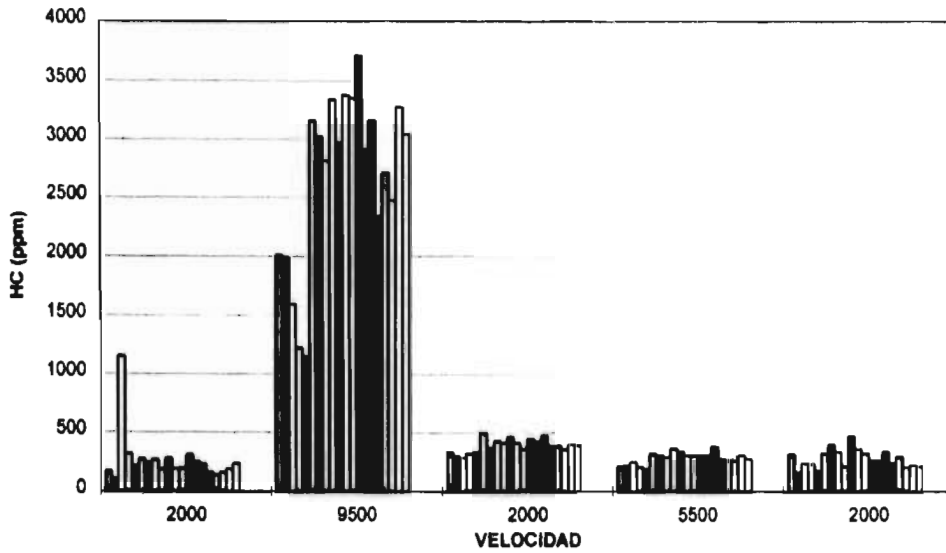
*Figura 8.8: Emisiones de CO<sub>2</sub> (%) de Motocicleta ST 50 c.c. 2T*

### 8.2.3 Resultados de emisiones de HC

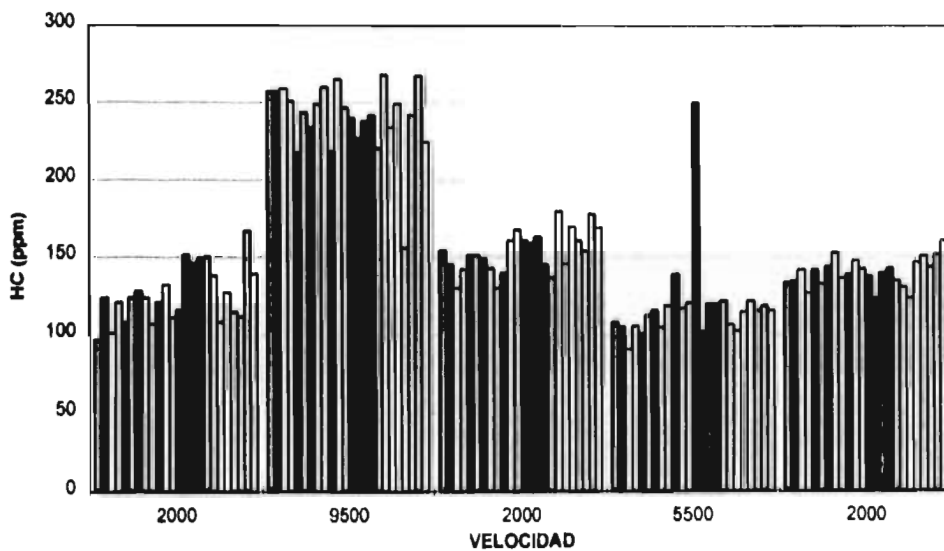
Estos resultados generalmente significan combustibles no quemados. Estos productos regularmente son dañinos a la salud y son precursores del ozono, los combustibles regularmente se contiene de 10 a 20 componentes importantes y de 100 a 200 componentes secundarios. La mayoría de estos componentes aparecen en los gases de escape pero su estructura ha sido modificada en parte por el proceso de combustión, esto se debe a varios factores; flama escasa, presencia de capas de combustible y aceite en la cámara de combustión, tal es el caso de los motores de dos tiempos cuando la relación de aceite en el combustible es excesiva o no se utiliza el aceite apropiado, también cuando se utilizan gasolinas con plomo. Otros factores que afectan este proceso en los motores es una bujía mojada dando un arco eléctrico deficiente<sup>[19]</sup>.

Las emisiones de HC se presentaron de la siguiente manera; en la motocicleta Bonus los niveles fluctúan de 1000 hasta 3700 ppm, en la velocidad de cruceo de 60 km/h, manteniendo un valor de entre 250 y 450 ppm en el resto de las etapas del ciclo. Las motocicletas CG 125 presentan ambas niveles de entre 220 y 370 ppm en la velocidad de cruceo de 60 km/h, y valores de 100 a 150

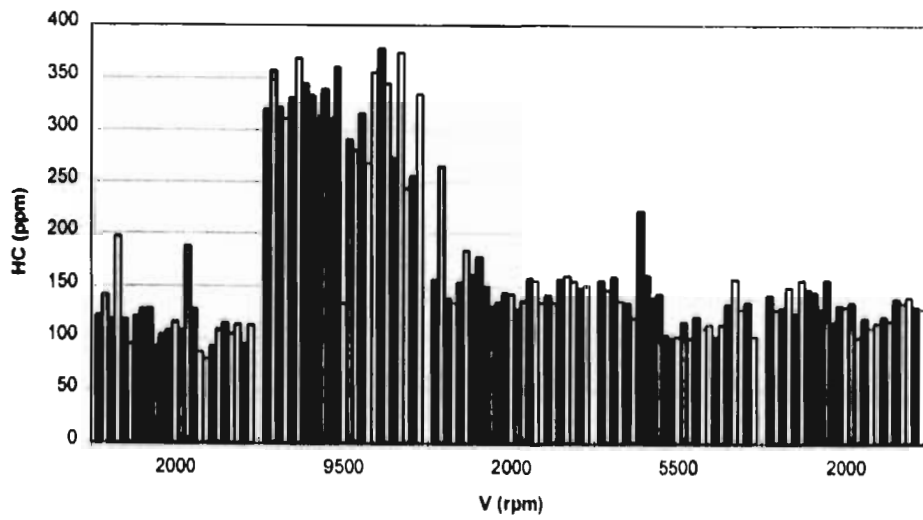
ppm en el resto de las etapas, salvo en ciertos ensayos esporádicos. En cuanto a la motocicleta ST 50, se observan niveles muy dispares en todas las etapas del ciclo y que van desde 1400 hasta 4700 ppm.



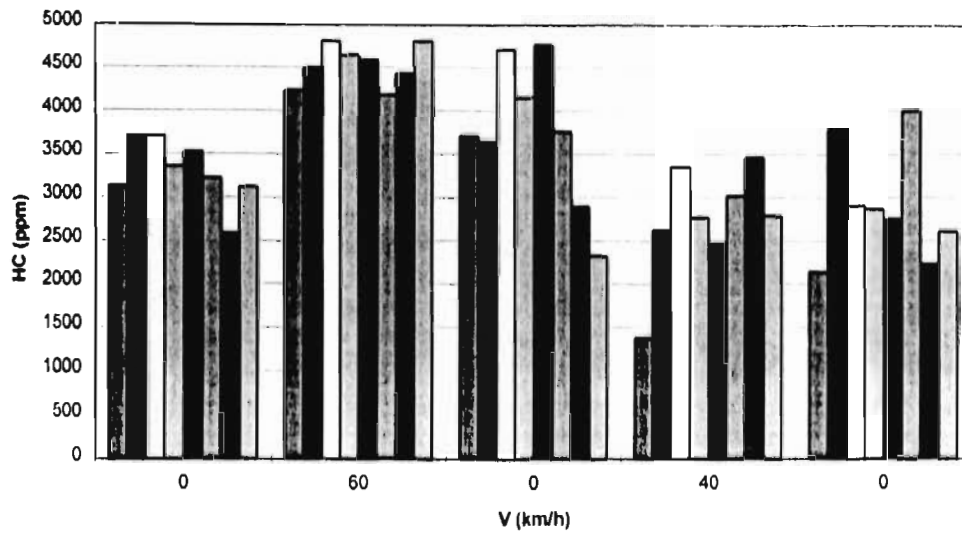
**Figura 8.9:** Emisiones de HC (ppm) de Motocicleta Bonus 125 c.c. 4T



**Figura 8.10:** Emisiones de HC (ppm) de Motocicleta CG N°1 125 c.c. 4T



*Figura 8.11: Emisiones de HC (ppm) de Motocicleta CG N°2 125 c.c. 4T*

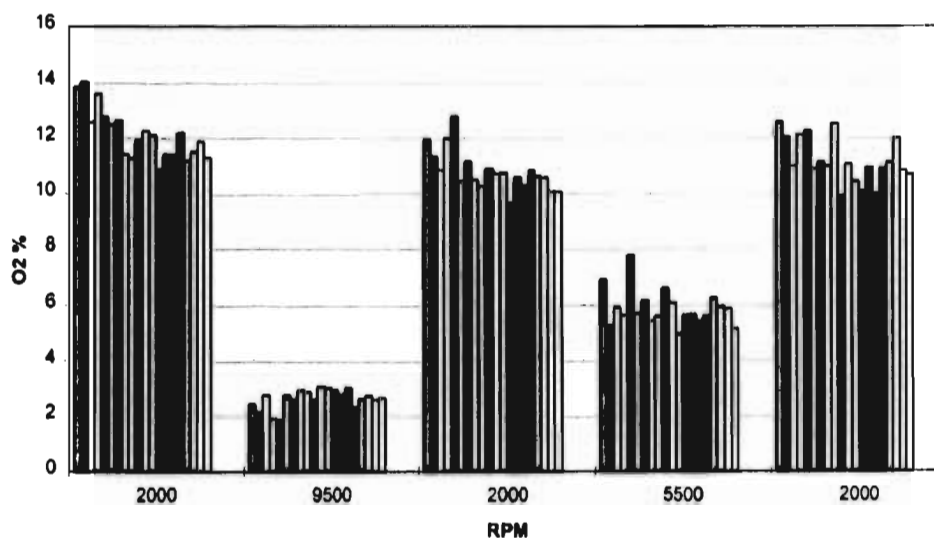


*Figura 8.12: Emisiones de HC (ppm) de Motocicleta ST 50 c.c. 2T*

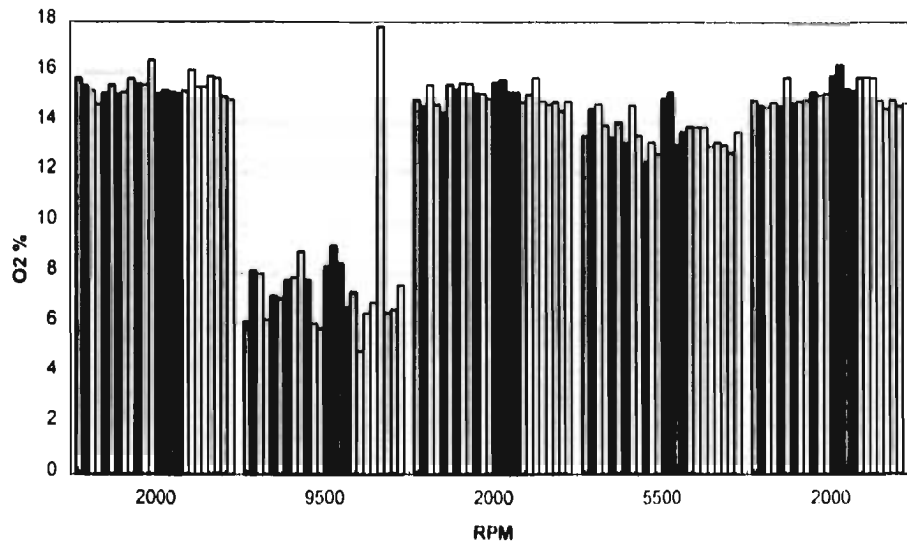
### 8.2.4 Resultados de emisiones de $O_2$

Las emisiones de  $O_2$  representan regularmente un exceso de aire en la mezcla de aire combustible, o también aire que no interactuó con el combustible en el proceso de combustión<sup>[19]</sup>.

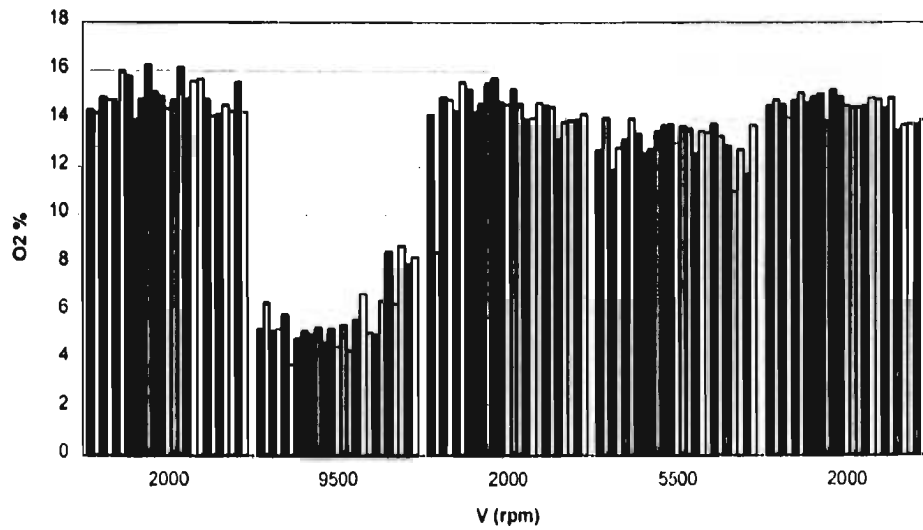
En este caso, se observa en los ralentís de la motocicleta Bonus que el % de  $O_2$  fluctúa entre 10% y 20 %, salvo en alguno de los ensayos, en la marcha a 60 km/h (9500 rpm en el motor) los niveles bajan a 2% y 3%, en la marcha a 40 km/h (5500 rpm en el motor) de 5% a 6%. En las CG 125 se mantiene un nivel de 10 % a 15 % en la marcha de cruceo a 40 km/h y en los ralentís, niveles más altos que los que presenta la motocicleta Bonus, en la marcha de 60 km/h los niveles fluctúan entre el 5 % y 7 % , los cuales también son más altos que en la Bonus. En la ST se observan valores que tienden a estar entre el 15 % y 20 % a lo largo de todas las etapas del ciclo.



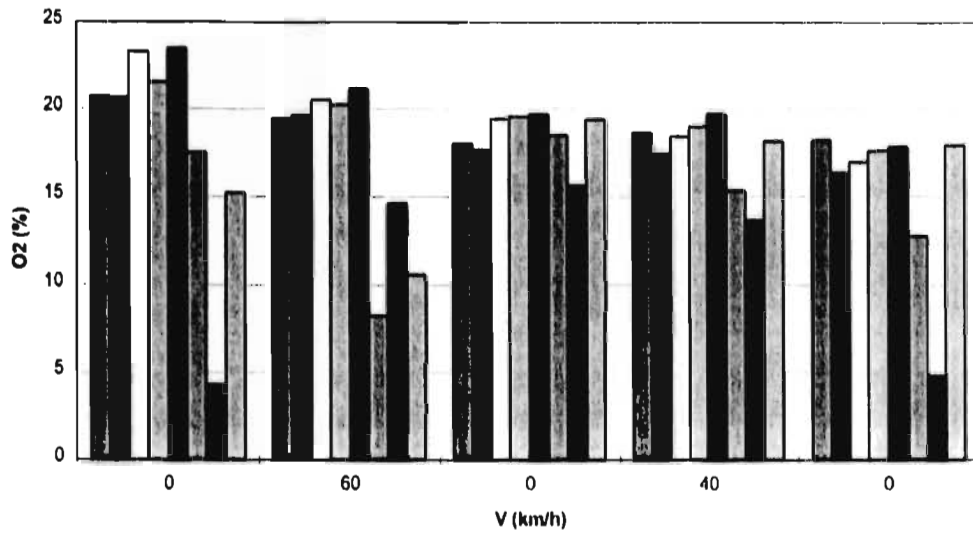
**Figura 8.13:** Emisiones de  $O_2$  (%) de Motocicleta Bonus 125 c.c. 4T



**Figura 8.14:** Emisiones de O<sub>2</sub> (%) de Motocicleta CG 125 c.c. 4T No 1



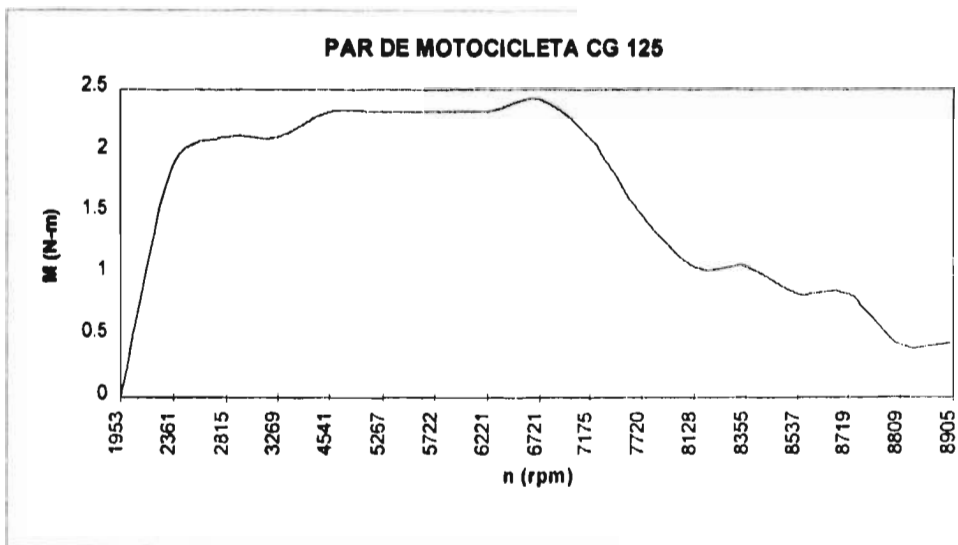
**Figura 8.15:** Emisiones de O<sub>2</sub> (%) de Motocicleta CG 125 c.c. 4T



**Figura 8.16:** Emisiones de O<sub>2</sub> (%) de Motocicleta ST 50 c.c. 2T

**8.2.5 Resultados de par o de potencia**

Esta prueba solamente se efectuó en una motocicleta CG 125, por el hecho de que hubo que regresar la motocicleta Bonus al fabricante antes de poder medir Par o Potencia en el banco de ensayos. Para la motocicleta probada podemos observar una curva de par muy buena entre los 2000 y 7200 rmp, con un par ligeramente superior a los 2 Nm. Pasando los 7200 rpm este decrece en las 9000 rpm por abajo de 0.5 Nm. Ver figura 8.17.



**Figura 8.17:** Curva de par de una motocicleta medida en el banco de ensayos



### 8.3 CONCLUSIONES

- La normativa mexicana NOM CCAT-012-ECOL-1993 establece erróneamente los niveles máximos permisibles con **opacidad de humos** para las motocicletas con motor de dos tiempos, ya sea opacidad en %, en unidades Hartridge o unidades Bosch. Pues en el reporte SAE J255a, se indica claramente que los opacímetros Bosch y los Hartridge no son los instrumentos más adecuados para la medición de humos azules, pues su propósito principal es medir humos negros (exclusivos de los motores Diesel). En la actualidad solamente la normativa europea contempla la medición de humos en motocicletas, pero esto se realizaría **exclusivamente en motocicletas con motores Diesel**, si existieran en el mercado, por lo que el medir humos azules es totalmente incoherente. Respecto a los niveles de emisiones en los motores de 4 tiempos éstos no son un indicativo real de lo que contamina el vehículo, porque la prueba es estática, y está sujeto en gran medida a la apreciación de la persona que realiza la prueba y los instrumentos no están sincronizados en forma automática, para medir tiempos y velocidades de la prueba, dichos instrumentos dependen de la persona que realiza la prueba.
- En cuanto a la norma NOM CCAT-013-ECOL-1993, podemos decir que especifica un método de prueba estático muy burdo que no representa la conducción de una motocicleta en la vida real, además de que permite muchas libertades en el uso del equipo de prueba, siendo el tiempo de lectura corto, y algunos tiempos de respuesta un poco grandes.
- **Las normas mexicanas sólo tienen aplicación en centros de verificación**, lo que significa que en México no existe normativa alguna para la homologación de motocicletas, lo que confirma que los importadores y fabricantes certifican su producto con pruebas en el extranjero, si es que los certifican realmente.
- La propuesta de normativa ofrece un método de prueba más representativo del comportamiento de las motocicletas con el rigor necesario, además de extender su aplicación para la homologación mientras que no es así en la actual normativa mexicana.
- Los valores establecidos en esta propuesta sólo tienen la función de ejemplificar el resultado de aplicar la media aritmética propuesto para determinar los niveles límite, en ningún momento se pondera con mayor peso las emisiones en alguna etapa del ciclo.
- Los costos de fabricación del banco de ensayos y del sistema de filtrado, no representan en ningún caso un gasto muy honoroso para los centros de verificación o para los usuarios. Este equipo puede también encontrar mercado en los centros de servicio para motocicletas.
- El equipo desarrollado también proporciona seguridad y fiabilidad en las pruebas efectuadas, y su diseño modular lo hace fácil de movilizar y almacenar, además de que el usuario lo puede hacer crecer según sus necesidades y posibilidades. El desarrollo del banco de ensayos a un costo accesible de muestra ampliamente que invertir capital para desarrollar equipos y tecnología es sumamente redituable.
- Los resultados de CO nos indican que se debe esperar un periodo de asentamiento o rodaje de más de 500 km, 1000 km serán adecuados para la homologación (que es un recorrido recomendado en la normativa de USA, y en cualquier tipo de vehículo), y que

es conveniente muestrear más de 25 veces cada modelo para eliminar los efectos de la dispersión. Los valores también hacen pensar que medir emisiones para verificación en una moto nueva, con 1 sólo ensayo puede ser herrado, pues puede representar el valor con mayor dispersión.

- Respecto a los valores de CO<sub>2</sub> podemos concluir que en la motocicleta Bonus se está quemando mucho más combustible que en el resto de las motocicletas, para desarrollar el mismo ciclo bajo la misma carga inercial, que sus similares.
- Los grandes niveles de HC de la motocicleta ST 50 con motor de dos tiempos incrementan el valor promedio en la tabla 7.3. Estos niveles demuestran el efecto del efecto de pared en la cámara de combustión de la ST 50, pero también pueden significar un cortocircuito, de mezcla sin quemar, entre las lumbreras de transferencia y escape. Hay que notar que estos niveles se dan por el hecho de que los motores de las motocicletas no están aún asentados y quizás alguno de ellos presente ralladuras en su cámara de combustión, particularmente la Bonus de 4 tiempos.
- Los bajos niveles del oxígeno en la motocicleta Bonus, concuerdan con los altos niveles de CO<sub>2</sub>, también nos dice que no se está realizando en forma correcta la combustión pues una parte considerable de los hidrocarburos como el oxígeno salen sin reaccionar. También existe la posibilidad de que este motor tenga un amplio cruce de válvulas, como los mostrados en los diagramas del indicador.
- Los valores de las emisiones en general indican que para la homologación el fabricante deberá recorrer previamente su vehículo 1000 km antes de efectuar el ensayo.
- El realizar ensayos de par o potencia al tiempo en que se miden las emisiones en forma inmediata evitará que circulen motocicletas en mal estado pues, no podrán castigarse los carburadores y solamente podrán pasar la prueba las motocicletas en mal estado.

#### 8.4 TRABAJOS O INVESTIGACIONES SUGERIDAS A FUTURO

En éste apartado se ha decidido incluir los subsecuentes temas relacionados con la investigación desarrollada hasta ahora.

##### 8.4.1 Obtención de los niveles permisibles indicados en la tabla 7.1

Como se observó en la tabla 7.1 no se indican valores propuestos, esto como ya se ha mencionado, se debe a que la obtención de dichos valores requiere de un gran número de ensayos, con todos los modelos de motocicletas que se encuentran en el mercado mexicano. Se hace notar que al realizar los ensayos, no bastará con tomar una motocicleta de cada modelo, sino que habrá que realizar un estudio estadístico, que determinará para cada modelo cuantas de ellas deban ensayarse, y el número de veces que cada una de ellas deba ensayarse, con la finalidad de obtener una repetibilidad. Por supuesto que también se requerirá de otro estudio estadístico detallado para determinar los límites permisibles tanto para **homologación** como para *verificación*.

### **8.4.2 Medición de emisiones sonoras.**

En los sonidos como en todo, tarde o temprano estamos expuestos a sonidos que se consideran desagradables y de hecho es poca la protección que existe contra el elemento irritante llamado ruido. Los sonidos demasiado fuertes pueden dañar el oído, 60 dB son suficientes para causar sordera total y permanente.

La regulación de los ruidos no está cubierta por nuestra normativa, e inclusive la normativa Norteamericana (USA) tiene sus carencias al respecto, pues la EPA creó una oficina con tales fines en 1972, pero 10 años más tarde fue cerrada. Las regulaciones contra el ruido se dan en USA y México en forma indirecta (hasta cierto punto) por las normativas extranjeras.

Este tipo de regulación tiene su origen en los años 60 y culminaron con la recomendación R362-1964, en las prácticas recomendables SAE J986 aprobada en 1967, SAE J366 en 1969 y en lo particular para motocicletas en la SAE J47 en 1986, SAE J331 en 1987 y SAE J1287 en 1988, y últimamente con motivo de renovar esfuerzos, en la norma SAE J1470 en 1991<sup>[10],[11],[12] & [33]</sup>.

En general estas pruebas se realizan en espacios abiertos en unos intervalos de distancia definida, con pruebas de aceleración y desaceleración, captando los ruidos con sonómetros y rara vez son pruebas estáticas. Esto permite evaluar la intensidad del ruido de una fuente móvil y estática para determinar el daño a la salud.

Siendo el sentido del oído tan importante como cualquier otro, se hace indispensable el realizar la investigación correspondiente para obtener la regulación correspondiente.

### **8.4.3 Revisión al ciclo de manejo expofeso para motocicletas.**

El ciclo de manejo propuesto en la presente tesis obedece en parte a la observación de los conductores de éstos vehículos (repartidores en su mayoría) y a la experiencia de varios de nuestros colaboradores manejando las motocicletas que los fabricantes e importadores nos facilitaron.

Pero el ciclo de manejo debe ser representativo del modo de conducir estos vehículos, por parte de nuestros usuarios, este ciclo de manejo debe estar fundamentado bajo bases experimentales y un posterior estudio estadístico de los mismos, también debe adecuarse a los instrumentos para medir emisiones. Las bases experimentales requieren de la instrumentación de vehículos representativos del parque vehicular y en ellos se han de considerar los siguientes aspectos:

- Las marcas de motocicletas que circulan.
- Los modelos de motocicletas (deportivas, turismo, trabajo).
- La cilindrada del motor ( desde 50 hasta 1600 cc.).
- El tipo de motor (2 y 4 tiempos).
- El tipo de caja de velocidades (Automática y manual, en éste último caso el número de velocidades de dicha caja).
- El uso del vehículo (trabajo, turismo, transporte, etc).
- Tipo de usuario (situación psicológica, económica, etc.).

En éste estudio habrá de tomarse en cuenta los siguientes parámetros fundamentales:

- Velocidad del vehículo en todo momento.
- Velocidad del motor en todo momento.
- Grado de carga (tipo y número de carburadores).
- Voltaje de la batería.
- Peso del vehículo junto con el del conductor.

Se hace notar que medir estos parámetros, es un verdadero reto, pues en ningún momento se debe interferir con las prestaciones del vehículo, sobre todo en los de baja cilindrada, además de que el sistema de adquisición de datos estará sometido a condiciones adversas durante todo el tiempo de circulación.

#### **8.4.4 Estudios en los sistemas de Admisión y escape de las motocicletas.**

El desempeño de los modernos motores de combustión interna, asociados a la producción de potencia útil y los niveles de emisión de contaminantes producidos, no solo dependen del tamaño del motor, del sistema de suministro y mezcla de combustible (inyección o carburación), del tiempo (adelanto de la chispa), y de las condiciones físicas de la cámara de combustión (ajuste,

lubricación etc.) también intervienen en ellos la geometría de los sistemas de admisión y escape, pues inciden directamente en la eficiencia volumétrica del motor.

Para desarrollar estos sistemas se requiere de instrumentar el motor con medidores de combustible en función del flujo de aire, también dependerá en gran medida el tipo de motor a estudiar, pues un estudio completo requerirá de conocer aspectos como la caída de presión en las válvulas, modelando un flujo unidimensional y cuasi-estable, a través de un banco de flujo con pequeños tubos de admisión y escape, para conocer la caída de presión en las válvulas. En el caso de motores de 2 tiempos es la posición del cilindro en el motor el que determinará las nuevas modificaciones tanto en las lumbreras como en los tubos de escape.

### **8.4.5 Desarrollo de filtro para emisiones de motor Diesel.**

Regularmente se observa en las emisiones de motores diesel, humos negros, los cuales se valoran haciendo uso de opacímetros, lo cual es correcto pues las partículas son negras, sin embargo las altas prestaciones de estos motores dependen de su relación de compresión, y según dicha relación de compresión se tienen emisiones de  $\text{NO}_x$ , por la eficiencia de combustión las emisiones de CO, y por la cantidad de combustible suministrado la emisión de HC y partículas, etc. La mayoría de estas emisiones no se miden ni castigan, por el hecho de que las partículas arrojadas también perjudican a los analizadores convencionales, y los equipos diseñados expresamente para las emisiones de motores diesel son económicamente privativos para los centros de verificación. Por tal motivo es indispensable el poder retirarlas con un dispositivo eficiente y rentable, de manera que se pueda verificar este tipo de motor sin problema alguno, dicho dispositivo es un sistema de filtrado expresamente diseñado para emisiones de motores Diesel.

## APÉNDICE

### DESARROLLO DE UN SISTEMA DE FILTRADO DE EMISIONES EN MOTORES DE DOS TIEMPOS

Se ha mencionado mucho sobre la necesidad de filtrar las emisiones provenientes de motores de dos tiempos, para evitar que se dañen los costosos equipos analizadores con que cuentan los centros de verificación y homologación<sup>[8]</sup>. Por tal motivo, en un principio la investigación se enfocó a recopilar información sobre los métodos, los tipos de sistemas de filtrado que deberían utilizarse en este caso y de los sistemas de filtrado (incluyendo los propios filtros) que se encuentran disponibles en el mercado; respecto de la información referente a los métodos de filtrado de gases azules únicamente se pudo localizar una práctica recomendable de SAE (SAE J255a)<sup>[8]</sup> en donde se establece un filtro de fibra de vidrio precalentado entre los 190-200 °C. Bajo estas condiciones, la investigación se enfocó a revisar los sistemas de filtrado comerciales, dichos sistemas no solamente resultaron inaccesibles en costo (de unos 150 a 5000 pesos por prueba) sino que provocaban grandes caídas de presión en el flujo, esto representaba una obstrucción en el sistema de escape de la motocicleta alterando el funcionamiento de la misma. Frente a estas perspectivas se decidió desarrollar el filtro y su respectivo sistema de filtrado para retirar el exceso de aceite en las emisiones provenientes de los motores de dos tiempos.

Se probaron más de 10 filtros de diferente configuración, con diferentes materiales y en diferentes condiciones de operación, mediante un sistema de filtrado consistente de un tubo con una longitud de 70 cm y un diámetro  $\phi$  de 12.7 cm (5"); en su interior se alojaba el material filtrante. Como ejemplo se comentan dos situaciones.

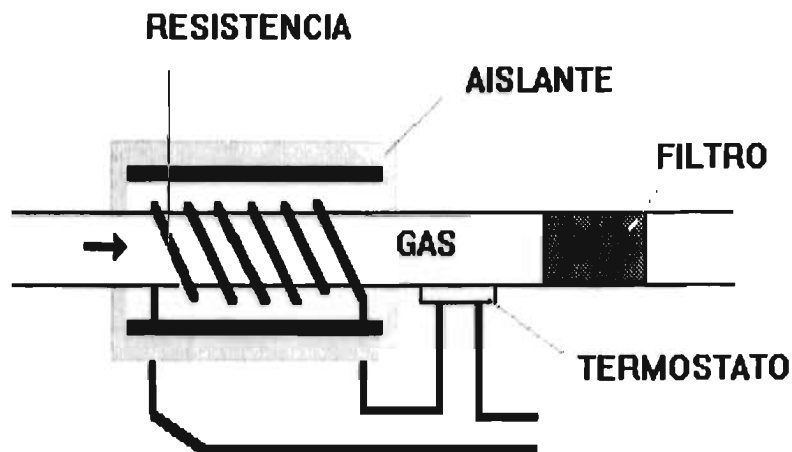
- Filtro de fibra de vidrio, no retiene el aceite de los gases, ya sea con una, dos o tres etapas de filtrado, aunque la caída de presión no era importante.
- Filtro de fibra de vidrio y fieltro, en este caso el fieltro retiene el aceite en pequeñas cantidades, pero provoca una caída de presión considerable, además de que se quema el hule sellador y la propia caída de presión provoca condensación de aceite y HC en las emisiones. Si el fieltro se mantiene por más de 5 minutos también se quema.

Después de las pruebas anteriores se desarrolló un sistema con gases precalentados, el cual tiene la finalidad de eliminar los condensados causados por el filtro, para esto se utiliza un tubo de acero de

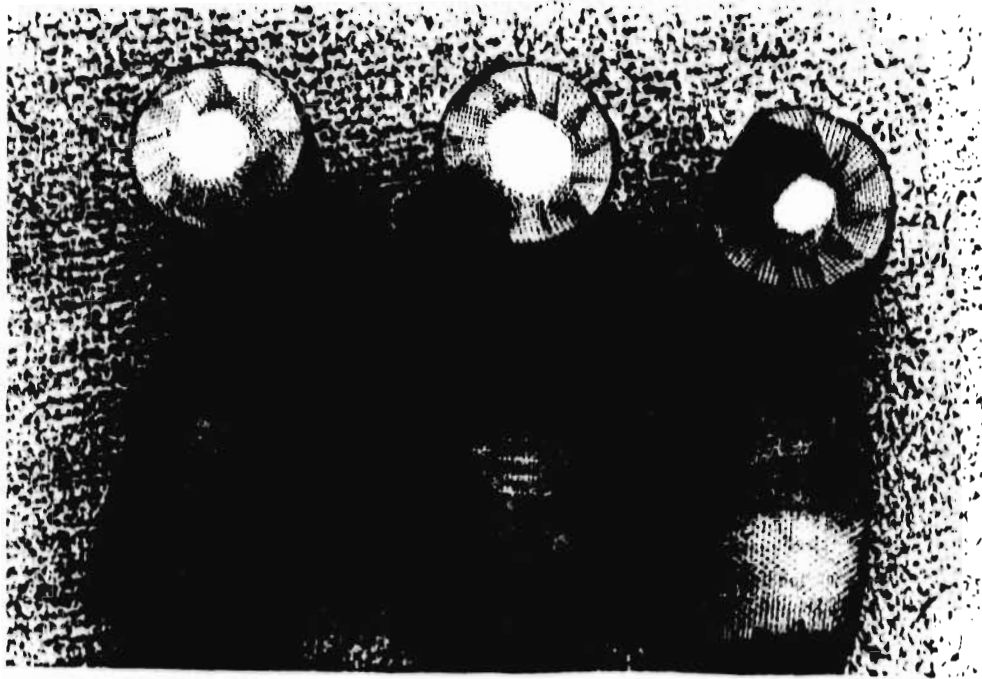
$\phi = 6.3$  cm. (2.5") y con un metro de longitud, también se cuenta con una resistencia eléctrica a 110 V y 300 Watts, la resistencia rodea al tubo en una longitud de 30 cm y se encuentra aislada por un tubo de  $\phi = 12.7$  cm. (5"), recubierto con una capa de lana mineral, dos capas de fibra de vidrio y dos capas de papel aluminio. Cuenta además con un termostato para el control de la temperatura. Al pasar los gases dentro del tubo anular, este se calienta hasta unos 400 °C, con esta temperatura no se alcanzan al quemar los hidrocarburos contenidos en las emisiones y se evita que la temperatura de las emisiones decaiga por abajo de 190°C. Temperatura suficiente para evitar que condensen los hidrocarburos.

Otro de los compromisos que se cumplieron con este desarrollo fue el bajo costo del sistema de filtrado y aun de los propios filtros, pues el costo de fabricación del prototipo ascendió a 2,500 pesos mientras que el costo de fabricación de los filtros será cuando mucho de 25 pesos cada uno.

En las figuras A.1 y A.2 se muestran un esquema y forma final de los filtros respectivamente.



*Figura A.1 Componentes del sistema de filtrado*



*Figura A.2: Componentes del filtro*



## REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA

A continuación se presentan las referencias en negrita y la bibliografía en letra normal.

1. **Norma Oficial Mexicana NOM CCAT-012-ECOL-1993, Diario Oficial de la Federación. Viernes 22 de Octubre de 1993.**
2. **Norma Oficial Mexicana NOM CCAT-013-ECOL-1993, Diario Oficial de la Federación. Viernes 22 de Octubre de 1993.**
3. **Agencia de Protección al Ambiente USA (Protection of Environment). Code of Federal Regulation, Subpart E & F, Revisado para Julio 1, 1990.**
4. **ONU, Adendum 39 Reglamento 40. 20 de Marzo de 1958 (ECE 40).**
5. **Capítulo 5 Medidas Contra la Contaminación Atmosférica Causada por los Vehículos de Motor de Dos o Tres Ruedas. (ECE 47).**
6. **SAE J254 AUG 84 Instrumentation & Techniques For Exhaust Gas Emissions Measurements.**
7. **SAE Information Report SAE J255a. Diesel Engine Smoke Measurement.**
8. **SAE Recommended Practice. SAE J1088 JUN83. Test Procedure For The Measurement of exhaust Emissions from Small Utility Engines.**
9. **SAE Recommended Practice. SAE J1145a. Emissions Terminology and Nomenclature.**
10. **SAE Recommended Practice. SAE j47 JUN 86. Maximum Sound Level Potential For Motorcycles.**
11. **SAE Recommended Practice. SAE J331 MAY 87. Sound Levels For Motorcycles.**
12. **SAE Standard. SAE J1287 JUN 88. Measurement of Exhaust Sound Levels of Stationary Motorcycles.**
13. **Salavert J.M. González F, Arregle J. Departamento de Maquinaria y Motores Térmicos. Instalación de un Banco de Pruebas Para Ensayo de Motores de 2 y 4 Tiempos de Altas Prestaciones. Universidad Politécnica de Valencia España.**
14. **W.A. Krachler, M. Berg & A Rossen Kranz. Dynamic Gravimetric Fuel Consumption Measurement. AVL LIST. Austray.**
15. **Donald Schilling & Charles Belobe. Circuitos Electrónicos (Discretos e Integrados). Marcombo 2º Edición 1985.**

16. Robert P. Benedict. **Fundamentals of Temperature and Flow Measurement. 3ª De. Cap 15 & 16. Wiley.**
17. Dally, Riley / Ma Connell. **Engineering Measurements. 1ª De. Wiley. Caps 8 & 9.**
18. Gordon P. Blair. **Basic Design of Two-Stroke Engines. Cap 1 p.p. 1-48, Cap 3 p.p. 115-165**
19. Colin R. Ferguson. **Internal Combustion Engines applied Thermosciences. Wiley 1986, Cap 9. P.p. 371-413.**
20. Payri F. & Muñoz M. **Motores de Combustión Interna Alternativos. Fundación General - U.P.M. Cap 1 p.p. 1-26, Cap 18, p.p. 479-522, Cap 19 P.p. 523-550.**
21. V.L. Malcev. **Internal Combustion Engines. Mc Graw Hill 1945. Cap. 8 p.p. 151-171; Cap 13, p.p. 253-260; Cap 15 p.p. 270-290; Cap 18 p.p. 318-319.**
22. Heywood. **Internal Combustion Engines Fundamentals. Mc Graw Hill 1988. Cap 11 p.p. 596-625.**
23. Tecner Ingeniería. **Equipos Para Ensayo y Medida. Banco Inercial y Estacionario Tecner TX-200, 1990.**
24. Froude. **Hydraulic Dynamometer Instruction Manual. p.p. 5-10.**
25. Texas Instruments. **Linear Circuits. Amplifiers, Comparators and Special Functions Data Book. Vol 1, 1989.**
26. NTE. **Technical Guide & Gross Reference, Semiconductors and Components for Industrial, Entertainment, Comercial and MRU Applications. 1990-9.**
27. National Instruments. **Lab View. Graphical Programing for Instrumentation. Cap 1 p.p. 1.1 - 1.13, 1995**
28. Michael a. Pendlebury & Christoper O. Nwagboso. **Sensor Technology Up Date. Automotive Engineering. Septiembre 1996 Vol 104 No 9. P.p. 123-128.**
29. Kelly S. Betts. **Mass Flow Sensors Measure Up. Mechanical Engineering. May 1990 Vol 112 No 5. P.p. 72-75.**
30. Bill Siuru. **Two Stroke Engines Clear and Cleaner. Mechanical Engineering. Junio de 1990 Vol 112 No 5, p.p. 66-69.**
31. Charles A. Mann. **Power to Burn: A History Of The Spark Ignition Engine. Mechanical Engineering. Abril 1990 Vol 112 No 4. P.p. 46-54.**
32. Greg Paula. **Sensors Reduce Car Emissions. Mechanical Engineering. Noviembre de 1996 Vol 118 No 11. P.p. 99-100.**

33. Kevin Jost. **Measuring Vehicle Pass By Noise. Automotive Engineering. Marzo 1995, Vol 103 No 3. P.p. 28-32.**
34. Gordon L. Rinshler & Tom Asmus. **Power Plant Perspectives Part I. Automotive Engineering. Abril 1995 Vol 103, No 4. P.p. 37-42.**
35. Gordon L. Rinshler & Tom Asmus. **Power Plant Perspectives Part II. Automotive Engineering. Mayo 1995 Vol 103, No 5. P.p. 37-41.**
36. J. Le Gare & T Tamai. **Temperature Sensor For On Board Diagnosis of LEV/ULEV Systems. Automotive Engineering. Abril 1995 vol 103, No 4. P.p. 61-64.**
37. H.J. Kess, J Marek M., Mast p. Schatz & J Muchow. **Integrated Pressure Sensor With Electronic Trimming. Automotive Engineering. Abril 1995 Vol 103, No 4 . p.p. 65-68.**
38. Kristin Dinsmore. **Automobiles That Make Sense. Automotive Engineering. Abril 1995 Vol 103 No 4 p.p.65-68.**
39. Roland Aldridge & Al Roddan. **Gas Analyzers For Low-Emission Vehicle Testing. Automotive Engineering. Julio 1994 Vol 102, No 7, p.p. 26-28.**
40. Hisamitsu Takgi & Toshihisa Ohno. **Measuring Combustion Chamber Parameters Part 2. Automotive Engineering. Abril 1990 Vol 98 No 4 . p.p. 59-64.**
41. Donald J. Rem, Steven L. Plee & Jay k Martin. **Optical Sensor For Combustion Analysis And Control. Automotive Engineering. Junio de 1990. Vol 98, No 4 p.p. 45-48.**
42. Motorcycle Mechanics Institute. **Manual de Servicio, Mantenimiento y Reparación de Motocicletas. Prentice Hall Vol 1 & 2. 1994. P.p. 29-102, 159-192,215-242.**
43. Donald E. Baxa. **Noise Control in Internal Combustion Engines. Krieger 1989. p.p.24-28.**