



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA – TERMOFLUIDOS**

Diseño de un Laboratorio para Evaluar Emisiones Contaminantes  
y Prestaciones de Vehículos y Motores

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
González Pineda Francisco

TUTOR  
DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA,  
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. ABRIL 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## Índice

### Introducción

### Objetivo

### Justificación

<b>Capitulo</b>	<b>1</b>	<b>Distribución y características de las Salas de Ensayo</b>	<b>10</b>
1.1		Introducción.	10
1.2		Distribución y dimensiones	12
1.2.1		Sala de ensayos o celda para vehículos pesados	13
1.2.2		Sala de ensayos o celda para vehículos ligeros.	15
1.2.3		Sala de ensayos o celda para motores.	16
1.2.4		Sala de ensayos o celda para motocicletas.	17
1.2.5		Sala de Gases de Calibración.	18
1.2.6		Sala del Cuarto de máquinas.	20
1.3		Elementos constitutivos básicos de una sala de ensayos.	21
<b>Capitulo</b>	<b>2</b>	<b>Equipamiento.</b>	<b>28</b>
2.1		Introducción.	28
2.2		Dinamómetros.	28
2.2.1		Unidad de Absorción de Potencia (freno).	30
2.2.2		Celda de Carga.	31
2.2.3		Estructura o Chasis.	31
2.2.4		Plataforma.	32
2.2.5		Rodillos.	32
2.2.6		Consola o Panel de Control.	33
2.2.7		Componentes principales del dinamómetro de chasis.	33
2.3		Dinamómetro de Chasis para vehículos ligeros.	34
2.4		Dinamómetro de chasis para vehículos pesados.	35
2.5		Dinamómetro de banco.	36
2.5.1		Dinamómetro de banco hidráulico.	36
2.5.2		Dinamómetro de banco de corrientes parásitas.	37
2.6		Dinamómetro de Motocicletas.	38
2.7		Medición de los gases de escape.	38

2.7.1 Analizador de opacidad de humos:	43
2.8 Medición de Partículas Diesel.	45
2.9 Sistema de Muestreo a Volumen Constante CVS (Constant Volume Sample).	48
2.9.1 Principio de operación del CVS	50
2.9.2 Venturi de Flujo Crítico	50
2.10 PEMS (Portable Emission Measurement System)	51
2.11 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR	53
2.12 Banco de flujo	56
<b>Capitulo 3 Dimensionamiento de la extracción y suministro de aire, y del circuito hidráulico.</b>	<b>61</b>
3.1 Introducción	61
3.2 Renovación de aire en la sala de pruebas	61
3.3 Circuito Hidráulico	66
3.3.1 Refrigeración del freno	68
3.3.2 Refrigeración del motor	69
3.3.3 Torre de refrigeración	70
3.4 Medición del suministro y consumo de combustible	71
3.4.1 Medición del consumo	75
3.5 Tanques de almacenamiento	76
3.5.1 Alimentación de combustible	77
<b>Capitulo 4 Acondicionamiento acústico del Laboratorio.</b>	<b>79</b>
4.1 Introducción.	79
4.2 Características del ruido	81
4.2.1 Frecuencia	82
4.2.2 Velocidad del sonido	83
4.2.3 Longitud de onda	83
4.2.4 Amplitud de onda	84
4.2.5 Decibeles	84
4.2.6 Presión sonora y nivel de presión sonora	85
4.2.7 Potencia sonora y nivel de potencia sonora	85
4.2.8 Intensidad sonora y nivel de intensidad sonora	85
4.3 Ruido en motores de combustión interna alternativos	86
4.3.1 Efecto del régimen de giro del motor en el ruido resultante	88

4.3.2 Efecto del tamaño del motor sobre el ruido	89
4.3.3 Efectos de la carga del motor	90
4.3.4 Efecto del número de cilindros	91
4.3.5 Relación longitud-radio del pistón.	92
4.3.6 Vibración de la estructura del motor.	92
4.3.7 Cilindros con camisa húmeda y seca.	93
4.3.8 Pistones con falda larga.	93
4.3.9 Motores con o sin apoyo en el cigüeñal.	94
4.3.10 Vibración de las cubiertas del motor.	94
4.4 Ruido en el motor Diesel.	95
4.5 Absorción del ruido.	97
4.6 Aislamiento acústico	99
4.6.1 Ventanas	99
4.6.2 Puertas	100
4.6.3 Trasmisión estructural.	101
4.6.4 Paredes.	102
<b>Conclusiones.</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>104</b>
<b>Referencias.</b>	<b>108</b>
<b>Anexo.</b>	<b>110</b>

Planos de ubicación del Laboratorio en el campus, características técnicas de los equipos, cotizaciones, propuestas de distribución de las salas, esquema final del laboratorio, distribución de superficies y tabla de servicios.

## INTRODUCCIÓN

La situación geográfica donde se construirá el “Laboratorio para evaluar emisiones contaminantes y prestaciones de vehículos y motores” (Juriquilla Querétaro) (ver anexo pag. 109) permitirá a la industria automotriz y a la UNAM, tener un centro de investigación científica, de educación superior, de desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos de alto nivel. Se ha pensado que estas instalaciones permitirán vincular a la Universidad con la Industria, y dar respuesta principalmente a las necesidades de este corredor industrial de nuestro país, entre Querétaro-Aguascalientes.

Con esta oferta de tecnología y aunado a la creciente demanda de vehículos automotores, se puede intuir fácilmente que el proyecto de este Laboratorio, tiene expectativas muy interesantes e importantes para diferentes sectores a quienes va dirigido, a nuestra Máxima Casa de Estudios para formar recursos humanos de alto nivel como ya se dijo anteriormente, para la industria de autopartes que es muy grande y muy variada, a las mismas plantas automotrices, y por supuesto a instancias gubernamentales como la Secretaría de Energía, El Gobierno del Distrito Federal, Procuraduría Federal de Protección al Medio Ambiente, etc., entre otros.

Para llevar a cabo dichas ensayos se requiere que el “Laboratorio de pruebas y prestaciones de vehículos y motores” cuente con los elementos para muestreo, procedimientos de medición y equipo de ensayo, requeridos para la correcta ejecución, deberá cumplir con la normatividad vigente expresada en la norma: NMX-EC-17025-IMNC-2006, que establece las condiciones para la acreditación para laboratorios con reconocimiento oficial de la competencia técnica de Laboratorios de Pruebas para generar resultados confiables.

Ciclos de recorrido normalizados.

Sistema de muestreo a volumen constante (CVS)

Dinamómetro de chasis.

Dinamómetro de banco.

Dinamómetro de Motocicletas.

Analizador de gases para motores de encendido provocado.

Analizador de gases para motores de encendido por compresión.

PEMS (Portable Emission Measurement System)

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometry).

En este caso debe existir una evaluación de tercera parte relativa a un organismo de evaluación de la conformidad, un Laboratorio externo que manifiesta la demostración formal de su competencia para llevar a cabo tareas específicas de evaluación de la conformidad.

La acreditación es el acto que da la seguridad y avala que los laboratorios de calibración y/o ensayo, unidades de verificación (organismos de inspección) y organismos de certificación ejecutan las regulaciones, normas o estándares correspondientes con precisión para que comprueben, verifiquen o certifiquen los productos y servicios que consume la sociedad

La certificación es la evaluación de los procesos administrativos y técnicos apegados a las normas ISO. Estas certificaciones la evalúan organismos internacionales y algunos nacionales.

Dicho laboratorio debe cumplir con las características particulares de un centro de investigación en el área de ingeniería automotriz, el cual debe contar además con procedimientos debidamente normalizados, que se encuentren dentro de los estándares de competencia nacional e internacional. Los requisitos técnicos según la norma Nacional Mexicana arriba mencionada, deben de ser los siguientes:

- Personal: capacitación, evaluación, desempeño
- Instalaciones y condiciones ambientales
- Métodos de ensayo y calibración. Validación de métodos
- Equipos: Mantenimiento, calibración, calificación
- Trazabilidad de las mediciones.
- Muestreo.
- Muestras. Manejo, almacenamiento, disposición.
- Aseguramiento de la calidad de los resultados. Indicadores, cumplimiento de estándares, gráficos, pruebas de intercomparación o aptitud
- Material y reactivos, estándares y materiales de referencia: Calidad, especificidad, trazabilidad,
- Informes de resultados

Es importante mencionar que el Laboratorio además de los equipos mencionados también debe contar con las dimensiones adecuadas y con los siguientes sistemas auxiliares en cada una de las salas y para el laboratorio en general donde así se requiera:

Sistema eléctrico.

Sistema de tierras físicas.

Sistema de alimentación de combustible.

Red de agua de refrigeración.

Instalación de aire comprimido.

Sistema de ventilación y aspiración de gases.

Sistemas de seguridad.

Sistema de gases de calibración.

Además las salas deben estar aisladas es decir deben contar con insonorización acústica.

El diseño final del laboratorio cumplirá con los requerimientos necesarios para realizar ensayos en vehículos y en motores, de tal forma que se garantice su uso como un centro de investigación y desarrollo, así como centro de docencia en el área automotriz.

## Objetivo

Diseñar un laboratorio de pruebas automatizado, para aportar conocimientos actualizados en ingeniería automotriz en las áreas de fluidos, térmica, combustión, y especialmente consumo de energía y su impacto ambiental. Que proporcione servicios a la industria automotriz para vehículos y motores de combustión interna alternativos, y además que proporcione la evaluación de dispositivos anticontaminantes y combustibles alternos.

Algunos de los ensayos que se pretende realizar en este laboratorio, son los siguientes:

- Ensayos de durabilidad de partes (principalmente del motor)
- Rendimientos.
- Pruebas de componentes del motor.
- Envejecimiento del catalizador.
- Pruebas de gases de escape.
- Análisis de la aplicación de sistemas de inyección y las unidades de control del motor.
- Control de carga de los dinamómetros.
- Monitoreo de los parámetros seleccionados.
- Pruebas de preparación y evaluación de los vehículos.

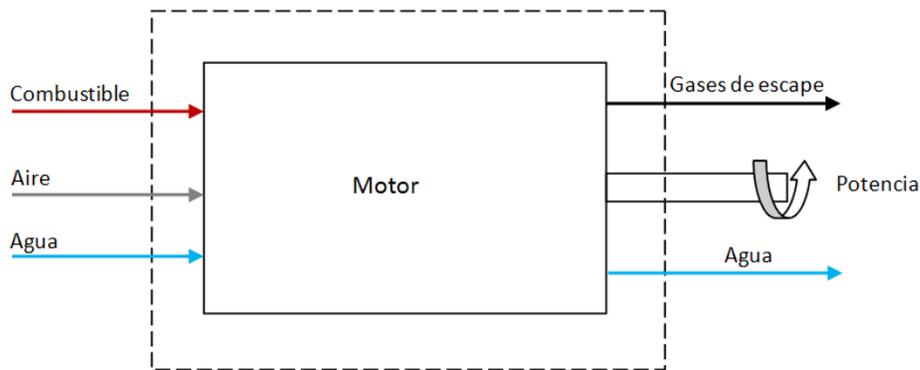
## **Justificación**

La razón para la realización de este trabajo es presentar una opción de diseño de un laboratorio que satisfaga los requerimientos a nivel nacional e internacional. Orientado a las actividades de investigación, desarrollo tecnológico y prestación de servicios a la industria automotriz en el ámbito de los motores de combustión interna alternativos (MCIA), generando como resultado una capacitación permanente en los docentes para promover el aprendizaje y la formación integral de alumnos.

## Capítulo 1 Distribución y características de las salas de ensayo

### 1.1 Introducción.

Una sala de ensayos, en este tipo de laboratorios, es un recinto en el cual, se somete a un motor o vehículo, a una serie de pruebas con el fin de analizar sus características físico-mecánicas, dichos ensayos permiten realizar un diagnóstico sobre el estado de dicho motor o vehículo y consecuentemente, tener un registro de su comportamiento en diferentes condiciones de funcionamiento. Se puede observar a la sala de ensayos como un sistema cerrado, el cual debe de entenderse como un espacio que está aislado de las condiciones exteriores, es decir presión, humedad, y temperatura, pueden ser diferentes del exterior de la sala con las características que se muestra en la *figura 1.1*.



*Figura 1.1. Esquema de una sala de ensayos*

Para llevar a cabo un correcto diseño de una sala de ensayos, en primer lugar se debe conocer cuál va a ser la función de dicha sala, y poder hacer una previsión de las necesidades que se requieran en cuanto a espacio e instalaciones.

Conociendo los tipos de ensayos a realizar, las características constructivas de la celda, y los parámetros de funcionamiento del motor térmico, se podrá hacer una estimación de la cantidad de agua de refrigeración, aire de ventilación, combustible, instalación eléctrica y aire comprimido que será necesaria.

La sala debe cumplir una serie de características según los ensayos que se vayan a realizar en ella. Para que su diseño sea un éxito debe cumplir las siguientes condiciones:

1. La estructura de la sala no debe de transmitir las vibraciones ocasionadas por la operación del motor o del vehículo al resto del edificio.
2. Las paredes deben ser de fácil limpieza y con colores que no reflejen la luz.
3. Sus dimensiones deben de ser suficientes, no solo para el montaje de todos los elementos, sino también para el acoplamiento de futuros equipos no previstos en el diseño inicial.
4. Debe de poseer la suficiente insonorización acústica para que el ruido que llegue al exterior sea mínimo. Ya que, en el área de control, el nivel de ruido debe ser lo suficientemente bajo como para poder hablar con toda normalidad.
5. La seguridad de la sala ha de ser máxima, bien por el peligro de trabajar con combustibles potencialmente explosivos, por el riesgo de desprendimiento de piezas mecánicas a altas velocidades, por las altas temperaturas que se alcanzan, o por los gases que desprende la máquina térmica.
6. Cumplir la normativa local vigente sobre prevención de fuegos y sistemas antiincendios, manejo y almacenamiento de combustibles.
7. Protección con alarmas visuales y acústicas de presencia de gases tóxicos como son: Monóxido de Carbono procedente de la combustión y de Metano por la presencia de combustible.
8. Instalación de redes de electricidad, agua, desagüe, aire comprimido y combustible para el funcionamiento del motor, del freno, de los acondicionadores de agua, de aceite, de combustible y otros elementos auxiliares que puedan necesitar de alguna de estas redes.
9. El agua de suministro debe ser de suficiente calidad y con la presión necesaria para el buen funcionamiento de todos los equipos.
10. La iluminación no ha de provocar sombras ni reflejos sobre el cristal. Debe ser lo suficientemente potente y además, los focos deben ser de fácil limpieza y no deben moverse por el aire del sistema de ventilación.
11. El suministro eléctrico debe ser suficiente e incluso de ser posible contar con planta de emergencia.
12. El acceso a la salas se realizará a través de una puerta, de al menos 1 metro de ancho, para permitir el paso de los equipos, y con apertura hacia el exterior de la sala. Además, dichas salas han de disponer de una salida directa al exterior, y ser lo más corto posible y estar siempre expedito.
13. Para el dimensionado de las salas se recurrió a la normatividad nacional vigente.

## 1.2 Distribución y dimensiones

Como se ha mencionado en el apartado anterior, una sala de ensayos tiene que tener espacio suficiente para poder realizar las maniobras adecuadas de montaje del motor o del vehículo, así como los dispositivos de calibración (brazo y masas de calibración) o la misma instrumentación de estos, es decir la colocación de los diferentes sensores que las instalaciones requieran. La distancia recomendable alrededor del banco debe ser cuando menos de un metro, esto con la finalidad de permitir la instrumentación de forma cómoda y segura. Además es importante tomar en cuenta la altura entre el motor o el vehículo y el techo, que permita el acoplamiento del conducto de los gases de escape. Se debe considerar además, un polipasto o grúa viajera que permita el montaje y desmontaje en el caso de la celda de banco.



*Fig. 1.2 Imagen de una sala de control*

El arreglo más común de una sala de ensayos observada en los laboratorios de Volkswagen, General Motors y Ford Motor Company, visitados para la realización de este trabajo, sin tomar en cuenta las dedicadas a líneas de producción, es la siguiente:

Aunque se considera de forma general una sola sala, en realidad son dos y está integrada en dos secciones, una denominada sala de control, *figura 1.2*, y la otra sala de ensayos, *figura 1.3*. Estas, a su vez, se encuentran separadas por una pared en donde existe una ventana de cristal de observación para que, el operador del equipo pueda poner en funcionamiento de manera automática y a distancia, por medio de una computadora, cada uno de los

dispositivos o sensores acoplados al motor o al vehículo como son: el ciclo de manejo, el freno (hidráulico o eléctrico), el suministro y medición del combustible, analizadores de gases de escape, sensores de presión y temperatura, etc. Y que, dicho sea de paso, se recomienda que los cables de conexión se instalen en la parte superior del vehículo o del motor, es decir colgados como se muestra en la *figura 1.3*.



*Figura 1.3 Imagen de una sala de ensayos*

Para el caso del laboratorio en cuestión, en cual se pretenden evaluar niveles de emisiones contaminantes y prestaciones de vehículos y motores, se tiene cuatro tipos de salas con sus dimensiones propias, características básicas, tipo de prueba a que están destinados y equipos instalados:

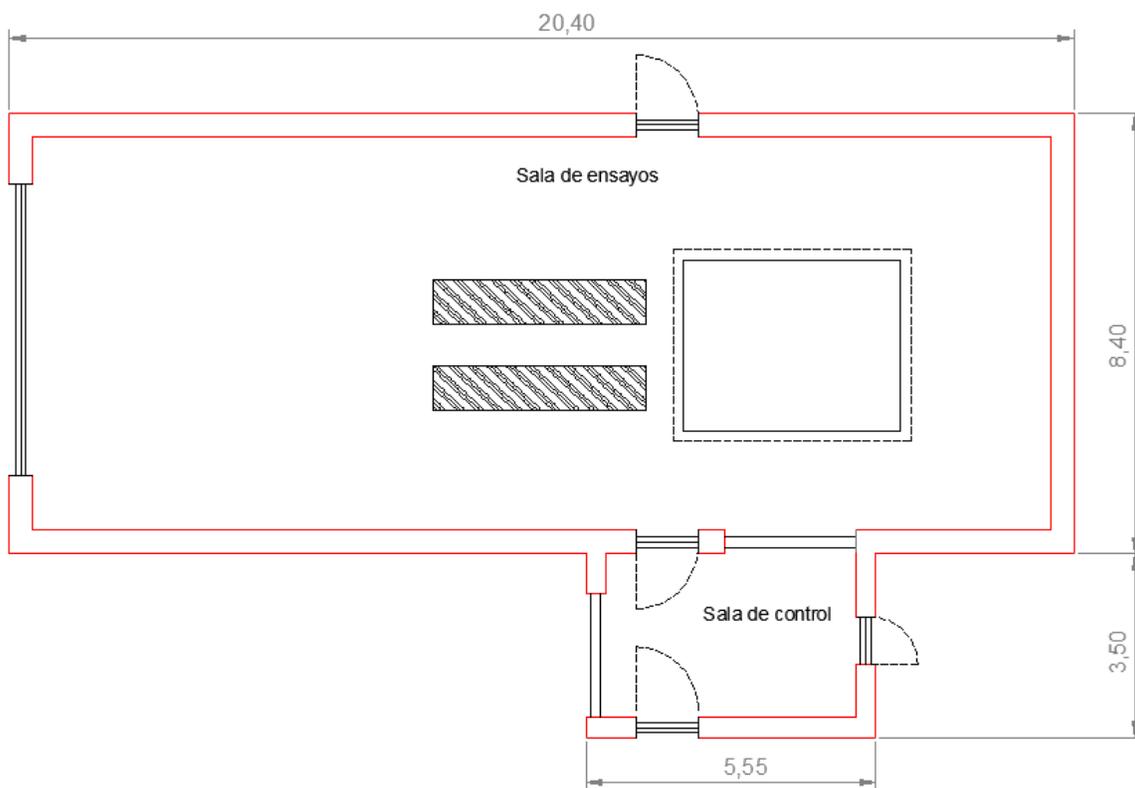
### **1.2.1 Sala de ensayos o celda para vehículos pesados**

Para el diseño de esta sala se tomaron a consideración diferentes fuentes como son: Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008 sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. Página 20, numeral 5 que establece la clasificación de vehículos, 6.2 que establece las dimensiones máximas autorizadas y tabla “C” que establece el largo máximo autorizado por tipo de vehículo y camino.

Sala de ensayos de autobuses de pasajeros y tractocamiones de Mercedes Benz en Santiago Tianquistenco Toluca.

Las dimensiones interiores de la sala de ensayos para vehículos pesados, *figura 1.4*, son de 7.50 m x 19.50 m (1), cuenta con dos puertas laterales para el acceso de personal, una ventana de observación lateral. La puerta de acceso vehicular está orientada hacia el sur. Dicha sala está reservada para: vehículos con chasis de tres o más ejes, destinado para el transporte de carga, con peso bruto vehicular desde 3.5 toneladas y hasta 15 toneladas, o carga máxima de 2 toneladas hasta menos de 13 toneladas (Camión mediano), vehículos con chasis de 3 ó más ejes, destinado para el transporte de mercancías o para aplicaciones de la industria de la construcción, con peso bruto vehicular de más de 15 toneladas o carga máxima de más de 13 toneladas (Camión pesado de carga), vehículo automotor destinado a soportar y arrastrar semirremolques y remolques (Tracto camión de 2 y 3 ejes), y vehículo destinado al transporte público.

Estos vehículos cuentan con longitudes de 7 metros, hasta 16 metros. La altura se encuentra en un rango de 2.5 a 4.25 metros y el ancho en un rango de 2.5 a 2.6 metros.



*Figura 1.4 Sala de ensayos o celda para vehículos pesados, diseño propuesto.*

El recuadro con línea punteada que se observa en la *figura 1.4* es una fosa con una profundidad de 40cm x 4.16 m de largo x 3.28 m de ancho. En esta fosa se sitúan los

cimientos de los puntos de anclaje del dinamómetro. Estos cimientos son de concreto armado y reforzado con malla de acero y tienen un espesor de 0.20 m de pared como mínimo x 0.45 m de piso. Además cuenta en su perímetro con perfiles en “L” de ¼’ de espesor x 3 x 3’ de lado, fijados al suelo para reforzar la cimentación. En distintos puntos de este cimiento se encuentran soportes simétricamente colocados que servirán de anclaje y soportarán al conjunto de freno y rodillos *(ver anexo pagina 113)*.

La sala de control para vehículos pesados es un espacio que comparte con la sala de ensayos para vehículos ligeros, y sus dimensiones interiores son de 3.15m x 4.80 m, en ella se controlará el dinamómetro de chasis con freno de corrientes parásitas, además se monitorean los sensores instalados en el vehículo, así como los gases de escape y se registrarán los datos obtenidos por el sistema de adquisición.

### **1.2.2 Sala de ensayos o celda para vehículos ligeros.**

Este tipo de salas aunque son más comunes, su número se reduce solo unas cuantas en el país y se concentran básicamente en algunas instituciones educativas y en los centros de desarrollo tecnológico de las principales armadoras, de las que ya se menciono en el punto 1.2. del presente trabajo.

Las dimensiones interiores de esta sala son de 6.90 m x 9.45, *figura 1.5*, cuenta con dos puertas para el acceso del personal. La ventana de observación está orientada hacia el norte y el acceso vehicular está orientado hacia el sur. Esta sala estará equipada con un dinamómetro de chasis de de corrientes parásitas de la marca Mustang <sup>(8)</sup> de 250 hp de potencia al freno.

Dicha sala está diseñada para vehículos con motor de 4, 6, 8 ó 12 cilindros, destinado al transporte de hasta diez personas, y el peso bruto vehicular va de 820 a 2,200 kg; la distancia entre ejes de 2,475 a 3,000 mm. De estas características podemos citar algunos tipos de vehículos conocidos comúnmente como: compactos, subcompactos, de lujo, deportivos, y aquellas camionetas y minivans que no rebasen el peso bruto vehicular mencionado, para este caso los vehículos 4x4 quedan excluidos.

En esta sala también se acondiciona una fosa *(ver anexo pág. 113)* semejante a la citada anteriormente para colocar el dinamómetro, sus dimensiones son de 3.40 m x 1.20 m x 0.40 m de profundidad. Los espesores de la pared de la fosa son de 0.20 m como mínimo y el piso es de 0.30 m de espesor como mínimo como en el caso anterior, es de concreto armado reforzado con malla y con la debida cimentación para evitar la trasmisión de vibraciones al resto de la sala. Lleva protección perimetral de perfil de acero de tipo “L” de ¼’ de espesor x 2 ½’ x 2 ½’ de lado.

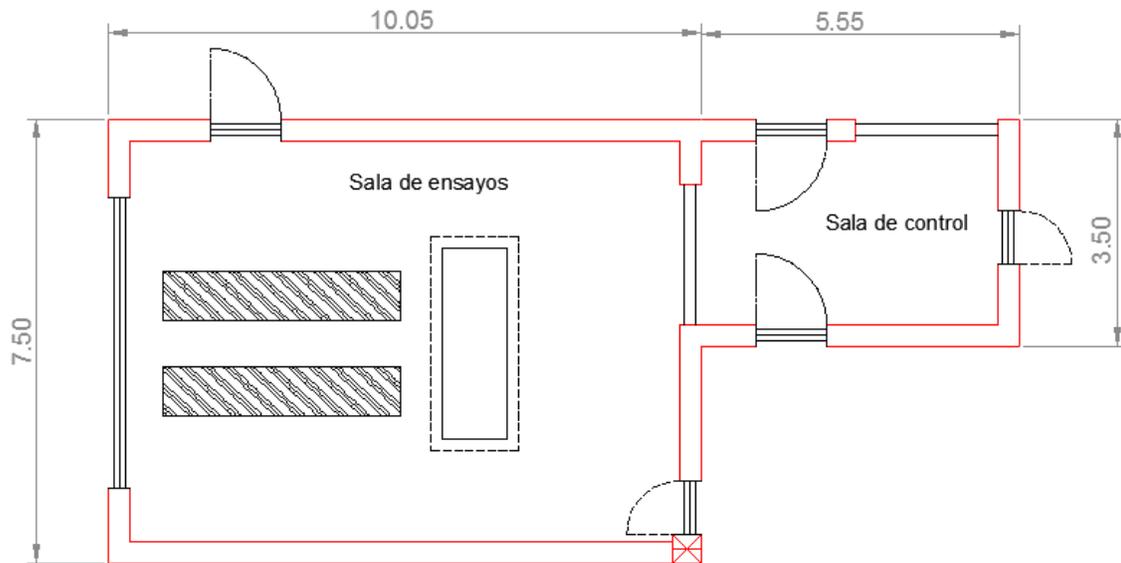


Figura 1.5 Sala de ensayos o celda para vehículos ligeros, diseño propuesto.

Las pruebas que se realizarán en esta sala, son las mismas que para la sala anterior.

La sala de control, como se mencionó en apartado anterior, es compartida a con la de los vehículos pesados. En ésta, la vista que se tiene de la sala es frontal, mientras que en la otra es lateral.

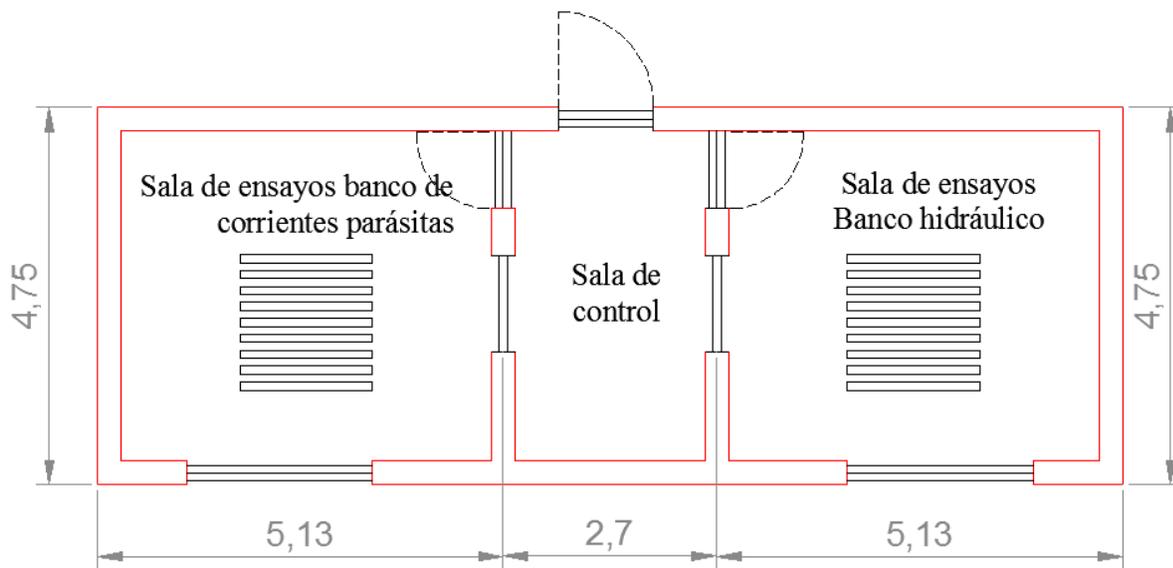
### 1.2.3 Sala de ensayos o celda para motores.

En el diseño de estas salas se han considerado además de las ya incluidas en el punto 2.1, la distribución y dimensiones del laboratorio de la Cátedra de Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia *(ver anexo pág. 114)*.

Para este tipo de salas se considero que fueran de dos tipos: banco de corrientes parasitas y banco hidráulico, dichas salas están situadas una enfrente de la otra, *figura 6.1*, separadas por la zona de control, donde se colocarán sus respectivos consolas de mando con su ventana de observación cada una. Las dimensiones interiores tanto para la sala del banco hidráulico como para la sala del banco de corrientes parásitas son de 4.05 m x 4.65 m y el cuarto de control es de 4.05 m x 2.40 m, el acceso del personal será a través de la sala de control, que se sitúa sobre el pasillo principal. La entrada de los motores y así como todos los suministros se realizan por la parte exterior del edificio y ambas puertas se encuentran orientadas hacia el oeste.

Para este tipo de salas es importante que la bancada, es decir la superficie donde se colocan tanto el motor como el banco de ensayos ya sea hidráulico o de corrientes parásitas, tenga

una cimentación adecuada (antisísmica) para evitar que las vibraciones que pueda producir el conjunto de freno-motor afecten al entorno, o a la inversa. En este caso el método empelado es conocido como “silent block” que es prácticamente una caja de hormigón armado de 3.6 m x 2.20 m x 1.2 m de profundidad con un espesor de pared de 0.12 m como mínimo incrustado en el piso de la sala de ensayos. De esta manera se garantiza que la bancada este apoyada en una superficie lo bastante resistente para soportar los esfuerzos de motores de hasta 250 hp y con regímenes de giro de aproximadamente 9000 rpm, además del peso del conjunto freno-bancada-motor estimado entre 2200 y 2500 kg.

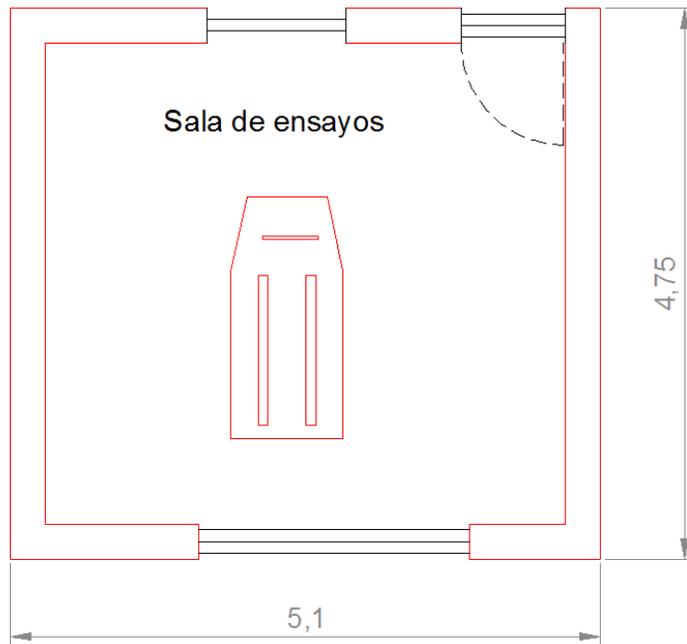


*Figura 1.6 Sala de ensayos o celda para motores, diseño propuesto.*

#### **1.2.4 Sala de ensayos o celda para motocicletas.**

Esta sala es un recinto con dimensiones interiores de 3.45 m x 4.50 con una puerta de acceso peatonal sobre el pasillo principal así como una ventana de observación y la puerta trasera de entrada de equipos y vehículos, *figura 1.7*. No requiere para este caso, de alguna cimentación especial como en las salas mencionadas con anterioridad.

El equipo a instalar será un dinamómetro para motocicletas que se controla desde el mismo banco <sup>(2)</sup>, donde el conductor de la moto puede realizar la operación completa, que consiste básicamente en encender la motocicleta, seleccionar la opción a ensayar, seguir el protocolo o ciclo de manejo y la captura de datos respectiva.



*Figura 1.7 Sala de ensayos o celda para motocicletas, diseño propuesto.*

### **1.2.5 Sala de Gases de Calibración.**

En todos los procesos experimentales, medir es una acción esencial, la que tiene mayor importancia en dicho proceso, de ahí que, la calibración de los equipos de medición es vital ya que hace referencia al proceso de establecer y registrar el error de medición. En el caso en que la medición esté sujeta o dependa de la observación en la escala de los instrumentos de medición, la diferencia entre lo visto u observado y el valor correcto, o el valor que se supone que es correcto, se determina y registra usando factores o funciones. A diferencia del ajuste, el instrumento de medición no se modifica de ninguna forma durante la calibración.

La calibración es un elemento fundamental del aseguramiento de calidad en el control de las emisiones. Para la calibración de los analizadores, se usan gases de referencia cuya composición es conocida y con mucha exactitud. Como en todo proceso de calibración, estos gases de referencia son conocidos como gases patrón <sup>(3)</sup>, *figura 1.8.*



*Figura 1.8 Imagen de la calibración de un equipo mediante un gas patrón.*

Calibración oficial:

Este tipo de calibraciones sólo pueden llevarlas a cabo laboratorios de calibración Acreditado. Las acreditaciones a nivel nacional las realiza la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación). Otras entidades acreditadas en otros países -DKD en Alemania, COFRAC en Francia, UKAS en Reino Unido, etc. - y firmantes del acuerdo de reconocimiento mutuo.

Las dimensiones de la sala se muestran en la *figura 1.9*. esta sala es de suma importancia ya que de ella depende la validación de las mediciones de los equipos de gases de escape de cada una de las salas donde estos se encuentran. La conexión a los cilindros de los gases patrón se realiza por medio de tuberías de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro conectadas a cada uno de los analizadores de las diferentes salas. La calibración se realiza de forma semiautomática cuando el equipo lo demande es decir que ha cumplido con el ciclo de muestras permitidas por la normatividad vigente. En el caso de los opacímetros la calibración se realiza por medio de filtros patrón también certificados por la EMA, Entidad Mexicana de Acreditación (4).

Cabe mencionar que en esta sala también involucra lo siguiente:

Calibración y ajuste de equipos como:

- Analizadores

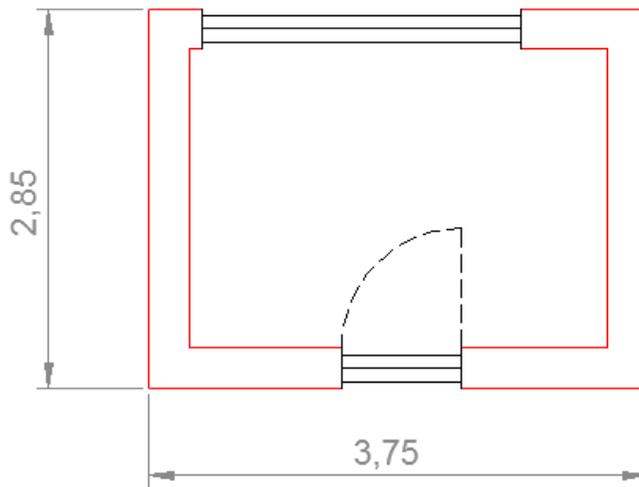
- Dinamómetros de chasis y de banco.
- Celdas CVS.

Mantenimiento preventivo.

Aseguramiento de la calidad.

Homologación de vehículos.

Control de normas nacionales e internacionales



a)



b)

Figura 1.9 a) Sala de Gases de Calibración, diseño propuesto. b) Imagen de una sala de gases de calibración (5).

### 1.2.6 Sala del Cuarto de máquinas.

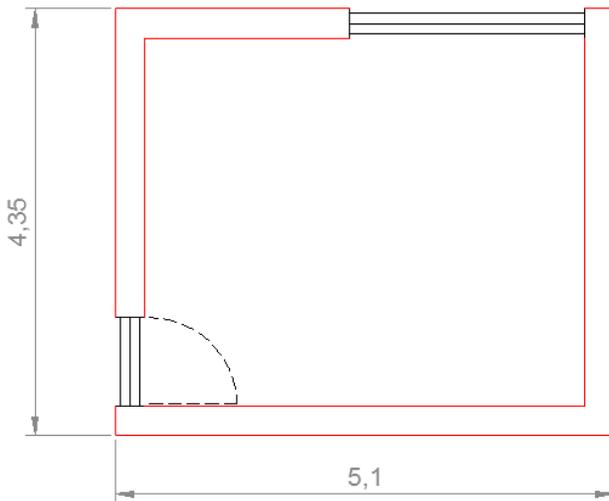
El cuarto de máquina es un recinto donde se albergan máquinas que darán algún servicio a las salas de ensayos, una de las máquinas principales es el compresor que surtirá de aire presurizado a todas las salas e incluso en los pasillos. Todo el sistema está abastecido por un conjunto compresor-secador-remanso cuyas dimensiones se muestran en *figura 1.10*.

La instalación de aire comprimido está formada por tuberías de 1/2 pulgada que conducen el aire comprimido desde un depósito remanso hasta cada una de las salas.

Una vez en las salas, cada una de ellas dispone de una estación de servicio que consiste en dos reguladores de presión para adecuar la presión a la demandada por cada uno de los equipos de la instalación, todos ellos con sistema de conexión rápida.

El sistema cuenta con un compresor tipo alternativo de pistones. Una vez que el aire abandona el compresor, se le hace circular por un sistema de filtros de aceite y es

conducido a un secador donde se le elimina la humedad. A continuación el aire pasa a un depósito remanso para evitar cualquier pulso de presión que pudiese surgir. Las principales características de estos elementos se detallan a continuación:



*Figura 1.10 Sala del Cuarto de máquinas*

- Marca: Alanza
- Número de Serie: 4632.
- Año Fabricación: 1997.
- Presión: 9 bar.
- Potencia: 7,5 Kw.
- Tensión: 220 V
- 

En esta sala también se encuentran las bombas de combustible que lo succionan desde el exterior y lo llevarán hasta cada una de las salas. El almacén de combustibles se localiza fuera de las instalaciones.

### **1.3 Elementos constitutivos básicos de una sala de ensayos.**

A continuación se detallan los elementos fijos en la sala de ensayos, tanto los que forman la propia cabina como los necesarios para la colocación y adaptación del vehículo o motor en prueba.

**a) Paredes**

Han de cumplir con una serie de normas de instalaciones industriales. Los materiales que las componen han de soportar el peso de los equipos que deban de ir montadas en ellas. Deben también cumplir con las normativas vigentes de insonorización y retención de incendios. Actualmente las paredes suelen estar recubiertas con paneles hechos con material absorbente de ruido entre láminas de metal, siendo generalmente el lado de la cabina perforado. El material base de que están hechas para nuestro caso son muros de concreto revestidos con muros de tabique.



*Figura 1.11 Puertas de sellado magnético*

**b) Puertas.**

Deben cumplir varios propósitos: por un lado han de atenuar el ruido (al igual que las paredes de las salas), así como ser antideflagrantes para evitar un incendio. Hay que tener también en cuenta que el diseño del sistema de ventilación puede dificultar la apertura o cierre de las mismas. Es aconsejable (aunque no es obligatorio) que dispongan de una pequeña ventana y de las debidas señalizaciones de “Salida” (6).

En *Figura 1.11* se pueden observar el tipo de puertas de acceso a la sala de pruebas. Éstas han de ser dimensiones tales que permitan la entrada del motor o el vehículo cómodamente.

**c) Iluminación.**

Es necesario que la luminaria no sufra movimientos provocados por la ventilación de la sala y dé una iluminación suficiente (7), que a su vez no provoque deslumbramientos al operario que se encuentra en la sala de control. Para realizar el diseño de iluminación hay que tener en cuenta las dimensiones de la sala y la iluminación mínima necesaria. También es necesaria una iluminación de emergencia tanto en la sala de pruebas como en la sala de control.



*Figura 1.12 Imagen de un botón de paro de emergencia del dinamómetro Mustang*

**d) Paros de emergencia.**

Puesto que en ocasiones es necesario que un operario entre la sala con el motor en marcha para comprobar algunos parámetros del motor o, incluso, hacer alguna modificación (en cuyo caso es recomendable que permanezca un segundo operario en la sala de control), es necesario que se disponga dentro de la misma de un sistema eficaz de paro de emergencia, cuya disposición y cantidad será en función de las dimensiones y del diseño de la sala. El sistema tradicional del circuito de paro de emergencia es cortar la red eléctrica, así como el suministro de combustible a todos aquellos equipos relacionados con el funcionamiento del motor sin que esto afecte a las instalaciones de las demás salas. *Figura 1.12*. Además de los botones de paro que haya en dicha sala (uno o varios en función de las dimensiones de la misma) los hay también en la sala de control, que actúan del mismo modo.

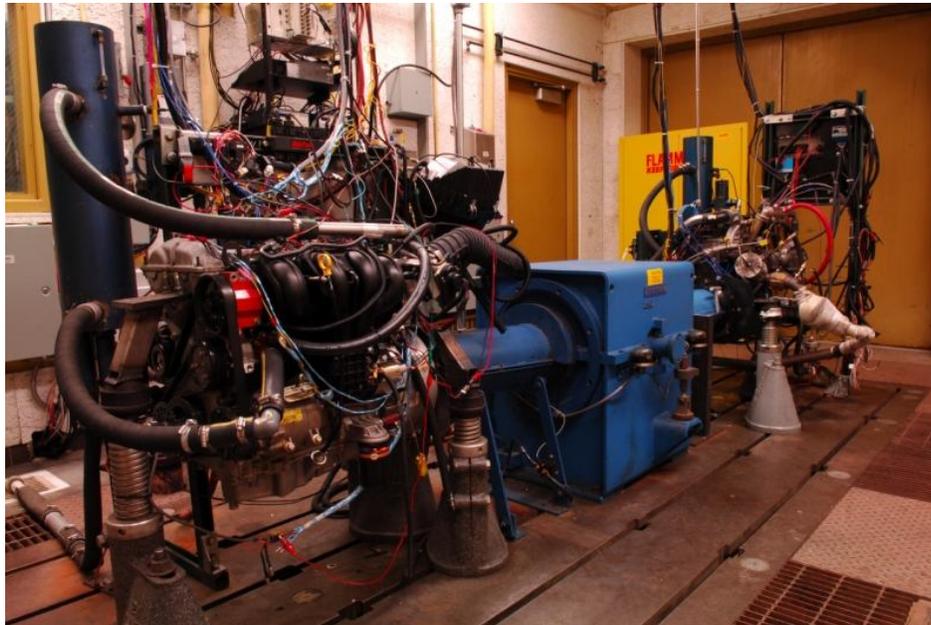
**e) Control de incendios**

La alarma de incendios debe de ser independiente al sistema de paro de emergencia y ha de provocar la desactivación total de los equipos que se encuentren en cada una de las salas de ensayos, especialmente el de ventilación, puesto que en caso de incendio puede ser uno de

los medios de propagación a otra zona del Laboratorio. Para ello, es habitual la colocación de compuertas automáticas en los conductos de entrada y salida de aire de la sala, de forma que en caso de incendio se cierren y eviten su propagación.

**f) Bancada**

La bancada es propiamente una plancha de acero, *figura 1.13*, sobre la que va montado el dinamómetro, se presenta un ejemplo cuyas dimensiones son; (ancho x largo x alto) 1.10 x 2.65 x 0.01 m. Lleva soldadas 8 planchas de 8 cm x 15 cm repartidas a lo largo de sus lados mayores y una plancha de 8 cm x 36 cm en cada uno de los lados menores. Estas orejas están colocadas simétricamente y en ellas sirven de anclaje a la bancada con el cemento. Sobre la plancha descansan cuatro perfiles IPN 180<sub>(ver anexo pag. 115)</sub> y dos perfiles UPN 180<sub>(ver anexo pag. 116)</sub> fijados todos mediante soldadura. La disposición de estos perfiles puede verse en la *figura 1.14*.

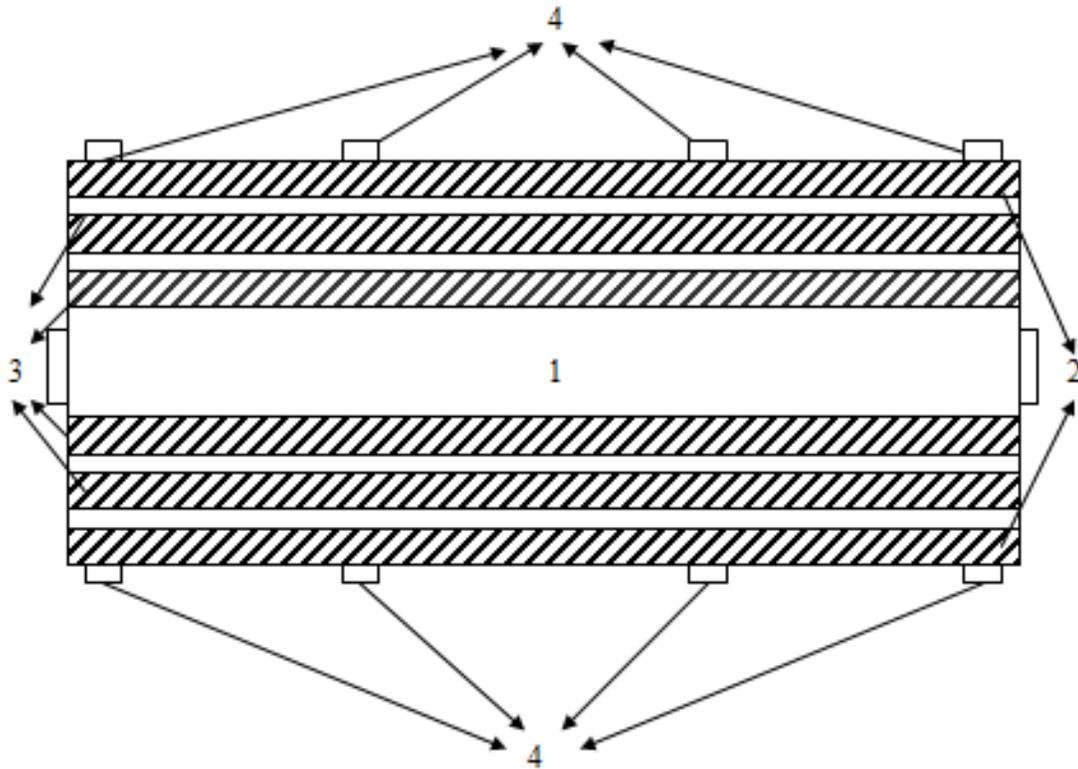


*Figura 1.13 Imagen de una Bancada (plancha de acero)*

Los perfiles están colocados longitudinalmente con una separación entre extremos de alas de 50 mm, Existiendo un espacio libre en el centro de la bancada de 430 mm.

Esta separación entre perfiles permite anclar el motor y el freno.

Además disponemos de cierto juego longitudinalmente para poder colocar estos dos elementos en la posición más favorable.



*Figura 1.14 Componentes de la bancada*

- 1- Plancha de acero.
- 2- Perfiles UPN 180.
- 3- Perfiles IPN 180.
- 4- Orejas para el anclaje.

**g)** Transmisión y guarda de protección.

La guarda es una protección que evita el contacto físico con las partes móviles del motor *figura 1.15*. Ha de ser resistente a los golpes que tendría que soportar en caso de una rotura de la transmisión y a su vez, ligera para facilitar su colocación y su extracción cuando sea necesario para la manipulación del motor.



*Figura 1.15 Guarda de protección (6).*

**h) Conexiones al motor**

Para instrumentar en cada uno de los casos, ya sea para la sala de vehículos ligeros como para la de motores, es necesario realizar un número considerable de conexiones al vehículo o al motor antes de realizar las pruebas: transmisión, combustible, agua de refrigeración y gases de escape. Es por eso que resulta importante que en la sala de ensayos se puedan realizar de forma práctica las conexiones necesarias, abastecer al freno y al motor de agua para su refrigeración, disponer de un sistema que suministre combustible al motor en pruebas y realizar la extracción de los gases de escape al exterior de la sala.

En el caso de la sala de dinamómetro de banco, el montaje de los motores se debe de realizar utilizando un polipasto, o en su defecto una grúa viajera. Para la extracción de gases de escape y suministro de agua como de combustible, se conducirán mediante tuberías de acero, siendo conveniente que éstas acaben en una válvula manual que permita su conexión mediante un tubo flexible al motor, facilitando así su conexión y desconexión.

**i) Unidad de control electrónica.**

La unidad de control electrónica por lo general esta instala en una caja colgante en la sala. Dicha caja dispone, internamente, de los módulos de adquisición de datos para las magnitudes que se deseen medir, tanto para el propio motor o el vehículo, como en otros elementos de la sala o para medir las condiciones ambientales durante la realización de las pruebas. En la parte frontal de la caja están disponibles diferentes tipos de conectores para cualquiera de las sondas utilizadas, *figura 1.16*.

Se recomienda que la unidad de control electrónica se fije a la pared mediante dos articulaciones. La primera de ellas entre la propia unidad y un brazo-soporte. Esta posición permite la rotación en el eje perpendicular al suelo, principalmente para poderla orientar hacia el motor o encima del vehículo. La segunda de las articulaciones deberá estar situada entre el propio brazo-soporte y la pared, permitiendo el acercamiento de la unidad hacia la zona de trabajo, en caso de ser necesario, permite retirar dicha unidad de esta posición y colocarla paralela a la pared, principalmente para evitar interferencias durante la entrada o salida del vehículo (motocicleta) o del motor de la sala. Cabe mencionar que dicha unidad solo se usa en las salas de motores y de motocicletas.



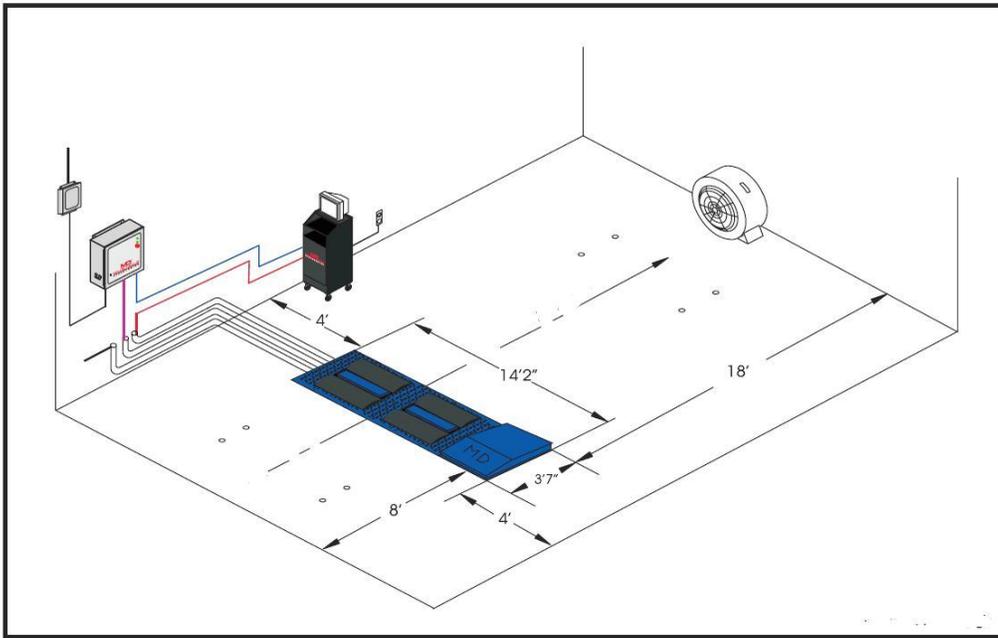
*Figura 1.16 Unidad de control electrónica (ver anexo pág. 117).*

**Nota:** En el anexo, página 124 se muestra un esquema completo del Laboratorio propuesto con todas sus salas.

## Capítulo 2 Equipamiento

### 2.1 Introducción

En la actualidad, los automóviles y camiones están obligados a cumplir con las regulaciones de los países de origen y destino, de tal forma que los niveles de emisiones y las normas de seguridad, así como el diseño de sus componentes son cada vez más estrictas. Para este cumplimiento existen pruebas dinámicas y estáticas, dependiendo de la parte a evaluar. En el caso que nos ocupa (motores y vehículos completos) las pruebas se realizan de manera dinámica con un dinamómetro de chasis, *figura 2.1*, o dinamómetro de banco. Es el único modo de medir, de manera inmediata y precisa sus prestaciones, rendimiento o sus emisiones, adecuadamente. Sin embargo el dinamómetro no es el único instrumento, aunque sí el primordial, que se requiere dentro de un laboratorio.



*Figura 2.1 Dibujo esquemático de una sala de dinamómetro de chasis*

### 2.2 Dinamómetros.

Un dinamómetro de banco o de chasis, es un equipo que se utiliza para simular el comportamiento del motor o el vehículo en sus condiciones, digamos, cotidianas de operación, dicho de otro modo, es un instrumento de medida para conocer algunos de los parámetros vehiculares en forma dinámica, al simular, reproducir, o imitar las circunstancias que se presentan cuando un vehículo o un motor se encuentran en condiciones reales de circulación u operación. Su ventaja principal radica en poder realizar

las pruebas en un lugar fijo, sin que el motor o vehículo esté en movimiento. En estas circunstancias, se puede tener mucho mejor control de las condiciones del ensayo.

Uno de los usos de mayor importancia, ya sea en los centros de investigación o de la industria automotriz principalmente, está en el desarrollo de mejores prestaciones en los motores y en los vehículos en general, como una mayor potencia, un menor consumo de combustible, un mayor par-motor a determinado régimen de giro, control de calidad de fabricación, reparaciones, homologaciones y por supuesto el relacionado con las emisiones contaminantes. En las instituciones de educación superior es un magnifico recurso didáctico y también de investigación. Es bien sabido que una buena parte de los desarrollos automotrices se gestan en algunas universidades. Como se puede intuir, dicho equipo es sumamente útil incluso en vehículos eléctricos, y por supuesto híbridos.



*Figura 2.2 Dinamómetro de chasis (8)*

Existen parámetros que se miden de forma directa en el dinamómetro, y otros que requieren de algoritmos o ecuaciones que relacionan dichos parámetros entre sí, por ejemplo se puede medir la velocidad de forma inmediata, puntual, instantánea, y calcular la velocidad promedio, la distancia recorrida, la aceleración o desaceleración, y consecuentemente la potencia demandada al motor a través de las relaciones mencionadas.

Otro ejemplo que es pertinente mencionar es, la “carga de camino” que se aplica al vehículo de pruebas, mediante el freno o la unidad de absorción de potencia (PAU),

calculándola con el perfil aerodinámico del vehículo, la fricción en los rodillos, según el tipo de neumático que utilice, o las pérdidas por fricción en los rodamientos del dinamómetro.

Ya que se ha mencionado de forma indistinta a los dinamómetros de banco (para motores) y dinamómetros de rodillos o de chasis (para vehículos), se comenta a continuación las partes que constituyen los dinamómetros de chasis, aunque por supuesto, muchos de estos elementos los contienen uno y otro tipo de dinamómetros:

### 2.2.1 Unidad de Absorción de Potencia (freno).

La Unidad de Absorción de Potencia o PAU (Power Absortion Unit), *figura 2.3*, es la parte fundamental de los bancos dinamométricos, y el principio de funcionamiento puede ser hidráulico (ya muy poco usado para dinamómetros de chasis), electro-magnético (corrientes de Eddy, o parásitas, de los más populares) o eléctrico (de corriente continua).

La PAU está compuesta de dos partes fundamentales: el rotor y el estator. El sistema motriz del vehículo a evaluar, normalmente se acopla al rotor de la PAU para que sea frenado por medio del estator. La forma en que éste frena al rotor depende de la tecnología que se utilice, puede ser mecánica (por fricción), magnética o eléctrica.

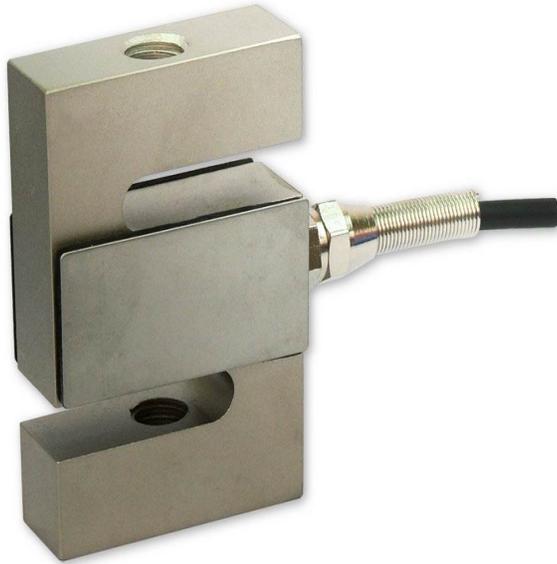


*Fig. 2.3 PAU de Corrientes de Eddy marca Telma (ver anexo pág. 118)*

El “estator” de una PAU está instalado en un montaje basculante, el cual está soportado por rodamientos unidos al eje o flecha del rotor. El estator cuenta a su vez con una extensión en la que se apoya un dispositivo denominado *celda de carga*.

### 2.2.2 Celda de Carga.

La celda de carga, *figura 2.4*, es un instrumento que sirve para medir de forma directa la fuerza producida por la acción del momento o par de oposición de la PAU. Cuando el estator frena al rotor, éste tiende a girar en el mismo sentido que el rotor, debido a que es un elemento *flotante*; dicho movimiento es impedido por la celda de carga que se opone al giro ya que ésta se encuentra anclada, provocando con ello una deformación que es absorbida por la misma.



*Figura 2.4 Celda de carga tipo "S" tracción-compresión (9)*

La deformación que sufre la celda de carga es longitudinalmente proporcional a la fuerza que se ejerce sobre ella. La celda de carga es un transductor de forma geométrica que pueden ser de tipo S o C, la cual cuenta con un cristal piezoeléctrico, que se encarga de convertir una señal de origen mecánico en señal eléctrica, es decir que al estar sometida a tensión o compresión genera una diferencia de potencial, muy pequeña, cuyo valor depende de la fuerza ejercida. Cuando se evalúa el frenado de un motor, o en este caso de las ruedas motrices, se puede conocer el "par efectivo" del motor o vehículo que se está evaluando, conociendo el brazo de palanca del mismo freno.

### 2.2.3 Estructura o Chasis.

La estructura es el componente donde van montados todos los elementos del dinamómetro como lo son: la plataforma, la PAU y en algunos casos la consola de mando, de modo tal, que es la que define la forma, tipo de material con el cual está construido y el uso (fijo o móvil).

## 2.2.4 Plataforma.

La plataforma constituye el acceso para que pueda montarse adecuada y fácilmente el vehículo en el dinamómetro. En esta parte van colocados los elementos de sujeción del vehículo. Dicha plataforma va montada sobre la estructura, y por lo regular tiene la misma forma geométrica de la estructura. En el caso de los dinamómetros de chasis estacionarios, aquellos que van colocados en una fosa, el piso del recinto funciona como plataforma.

## 2.2.5 Rodillos.

Los rodillos sirven de plataforma de manejo y están constituidos por cilindros de acero con tapas montadas en un eje o flecha y apoyadas en chumaceras o rodamientos. El rodillo de arrastre o accionamiento, está acoplado a la unidad de absorción de potencia (freno), el rodillo trasero o loco, regularmente es usado para la medición de la velocidad angular del mismo rodillo, que a su vez permite calcular la velocidad del vehículo. Dichos cilindros se encuentran normalizados, en este caso, se tomó como referencia el Código Federal de Regulaciones (Code of Federal Regulations) 40 parte 1066 subparte C Dynamometers Specifications (1066.201, 1066.210) de los Estados Unidos de Norteamérica.

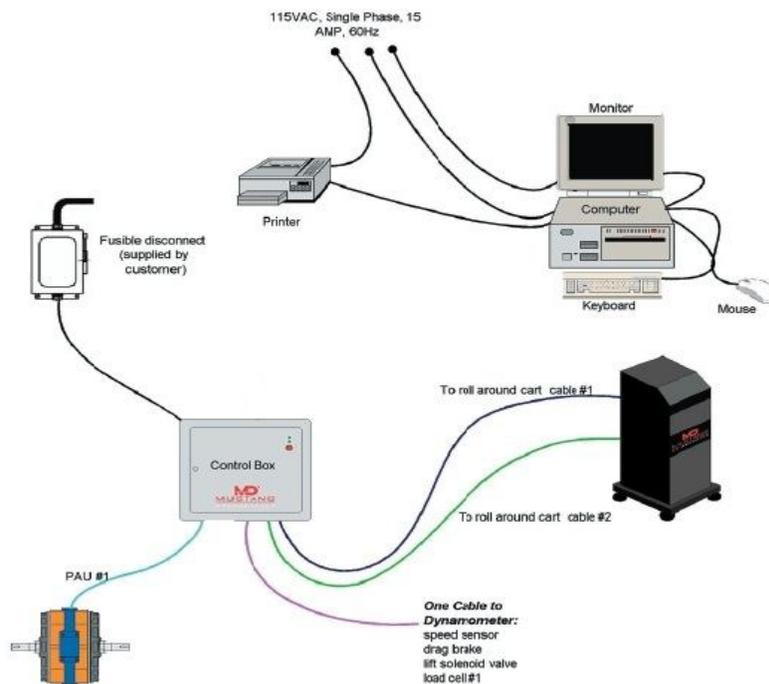


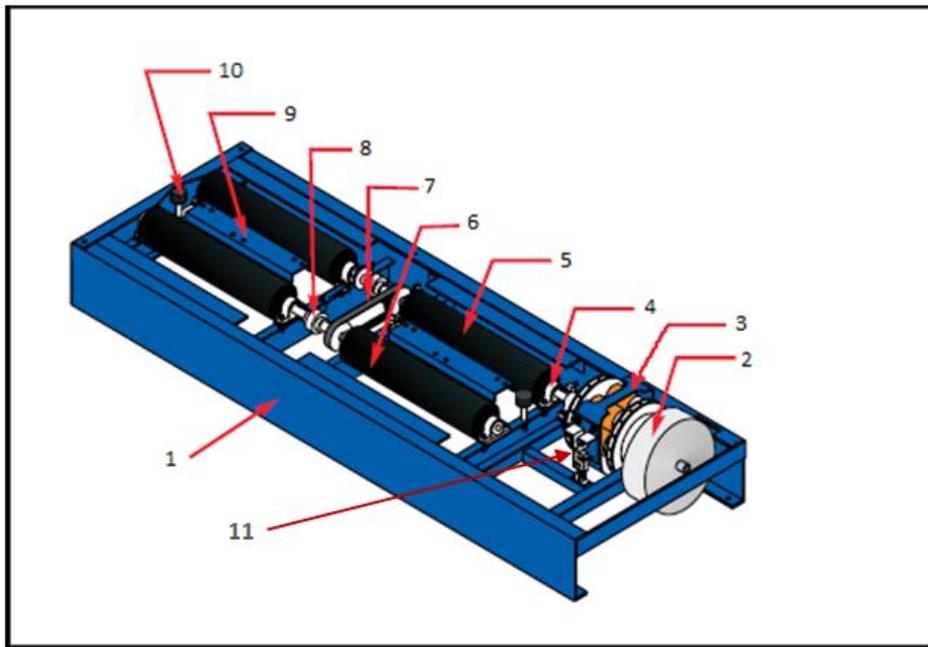
Figura 2.5 Esquema general del la consola o panel de Control.

### 2.2.6 Consola o Panel de Control.

Normalmente es un gabinete, *figura 2.5*, que incluye una computadora personal, una tarjeta de adquisición de datos y los dispositivos de control, mediante los cuales se pueden aplicar diferentes niveles de frenado, accionamiento de los sistemas de sujeción y posicionamiento; así como el monitoreo de los parámetros de velocidad y revoluciones por minuto del motor del vehículo, potencia, distancia equivalente recorrida y par motriz (Torque)

### 2.2.7 Componentes principales del dinamómetro de chasis.

- 1 Chasis, marco de acero estructural.
- 2 Masas Inerciales.
- 3 Unidad de Absorción de Potencia. Freno de corrientes parásitas



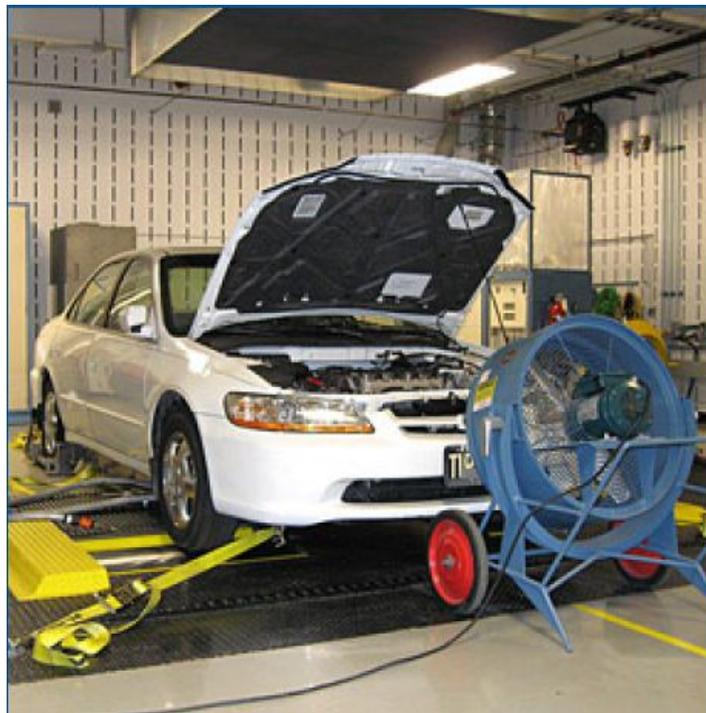
*Figura 2.6 Componentes del dinamómetro de chasis (8)*

- 4 Chumaceras, rodamientos de alta resistencia.
- 5 Rodillos de accionamiento.
- 6 Rodillos locos.
- 7 Banda dentada.
- 8 Brida de acoplamiento.

- 9 Placa de izamiento.
- 10 Soporte de contención.
- 11 Celda de carga.

### 2.3 Dinamómetro de Chasis para vehículos ligeros.

Los ensayos de vehículos ligeros requieren de un de equipo resistente, que aplique una carga de camino correcta y segura. Como ya se explicó, es un conjunto integrado de subsistemas mecánicos, electro-mecánicos, eléctricos y electrónicos que ofrecen la posibilidad de simular cargas reales de carretera siguiendo un ciclo de manejo. Además de la información del vehículo, también permite conectar instrumentos y equipos de diagnóstico al motor para monitorear características específicas del motor.



*Fig. 2.7 Dinamómetro de chasis, laboratorio de pruebas Delphi (10).*

El vehículo de prueba debe de mantenerse dentro de los límites especificados para cada ensayo y se controla desde la sala de mando.

Los dinamómetros de chasis, *figura 2.7*, se pueden utilizar para realizar una amplia variedad de pruebas, como son:

- Sistemas Calefacción y de refrigeración de los vehículos.

- Evaluación y desempeño del motor.
- Evaluación de los componentes del tren motriz.
- Componentes de la Transmisión.
- Pruebas de neumáticos.
- Simulación de ciclos de manejo.
- Diferentes tipos de simulación de carretera.
- Simulación de arrastre de remolque.
- Rendimiento del combustible.
- Los componentes auxiliares.
- Análisis de Fallas.

#### 2.4 Dinamómetro de chasis para vehículos pesados.



*Fig. 2.8 Dinamómetro de chasis para vehículos pesados (ver anexo pág. 119 y 120)*

Para los vehículos pesados se debe tener en cuenta una potencia promedio considerablemente mayor al de vehículos ligeros, aunque eso depende de las características de cada vehículo, es decir los coeficientes de arrastre y de fricción son propios para cada

camión o autobús, y por supuesto, una inercia diferente relacionada con el peso bruto vehicular que normalmente será más 15,000 kg de peso.

Para este tipo de dinamómetros es necesario contar con equipos especiales y altamente reforzados, de tal forma que se pueda garantizar la seguridad de los operadores, es decir los técnicos que realizan las pruebas.

Ya se ha cotizado un dinamómetro para esta sala (ve anexo pág. 121), es de de la marca DYNomite, figura 2.8, de corrientes parásitas, con un bastidor tubular de acero reforzado con rodillos de 30'' de diámetro, plataforma con placa diamante antiderrapante, anclas de piso, calzas para ruedas y amarres de seguridad para el vehículo.

## 2.5 Dinamómetro de banco.

Un dinamómetro de banco, como ya se comentó, es un dispositivo que se utiliza para equilibrar el par y absorber la potencia generada por un motor determinado. De entre los frenos más utilizados en la actualidad, destacan dos de ellos: el freno hidráulico y el electromagnético. La principal diferencia entre ambos es cómo se genera la fuerza aplicada para frenar al motor.

### 2.5.1 Dinamómetro de banco hidráulico.

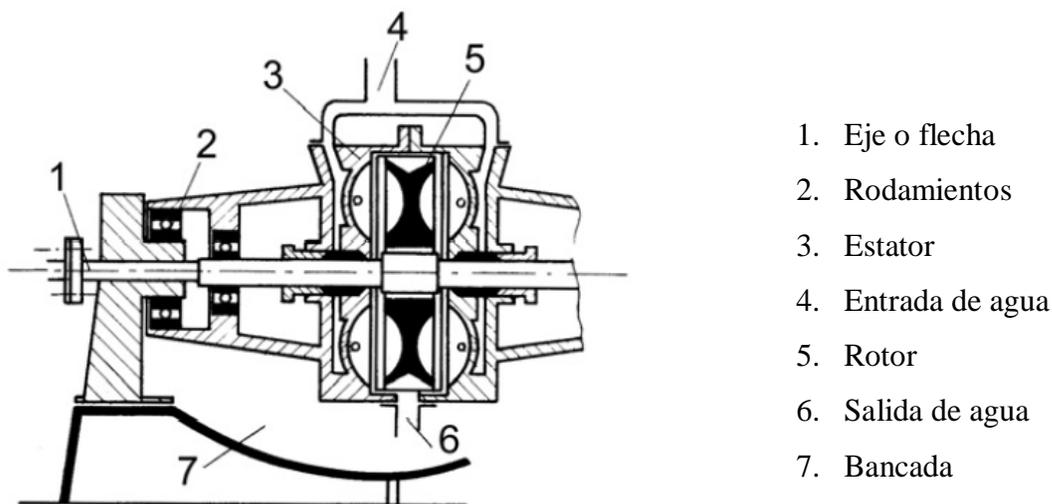


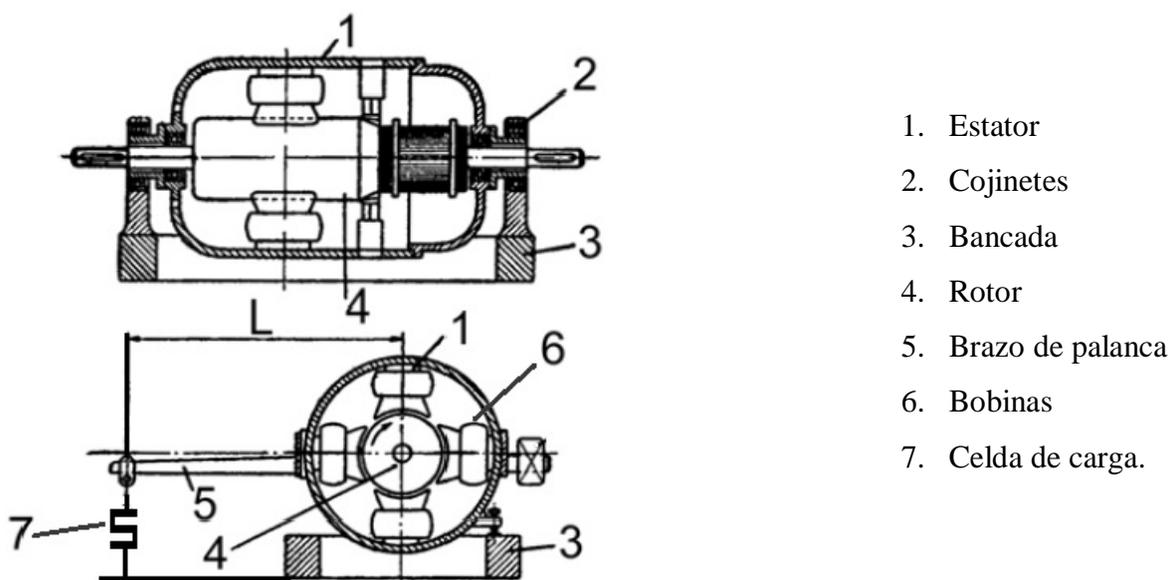
Fig. 2.8 Elementos constitutivos de un dinamómetro hidráulico

En los frenos hidráulicos, la acción de frenado es producida por la fricción de un fluido (habitualmente agua) entre los dos elementos sólidos (rotor y estator). La regulación se efectúa mediante la variación del nivel del líquido en la cámara hidráulica. La potencia generada se transforma en calor aumentando la temperatura del agua, dicho calor se disipa mediante la renovación del fluido. El agua es, por tanto, el fluido de trabajo en este tipo de frenos, y al mismo tiempo refrigerante.

En algunos casos se trabaja con un circuito cerrado con un intercambiador de calor, o con una torre de enfriamiento, dependiendo de las circunstancias de la instalación y objetivos de la misma ya que se puede recuperar la energía que disipa el motor y el freno. En la *figura 2.8*, se muestra una sección de un freno hidráulico, con los elementos que lo componen.

Como la fuerza de oposición al giro del motor es proporcional al flujo de agua, la carga aplicada se controla con dicho flujo, a través del colector de entrada donde es dirigido hacia el centro del rotor en cada sección de absorción. Este flujo es expulsado radialmente por la fuerza centrífuga y alojado dentro de las cavidades estacionarias de las placas fijas del estator, en esta parte el agua es desacelerada. La aceleración y desaceleración continua, provoca la generación de calor también antes mencionada.

### 2.5.2 Dinamómetro de banco de corrientes parásitas.



*Fig. 2.9 Elementos constitutivos de un dinamómetro de corrientes parásitas*

En el caso de los frenos electromagnéticos *figura 2.9*, la acción de frenado se produce mediante la variación del flujo electromagnético, creado por bobinas situadas en el estator y que concentran el campo magnético sobre el rotor. La potencia absorbida genera corrientes parásitas de Foucault (también llamadas parásitas o de Eddy) que se oponen al campo que las produce (Ley de Lenz), y finalmente esta energía se disipa en forma de calor.

Mediante la variación de la alimentación de las bobinas del estator se consigue la regulación del par. Este tipo de frenos regularmente son enfriados por aire pero en algunos casos también dispone de un sistema hidráulico cuya única finalidad es la de evitar el excesivo calentamiento del rotor. La medición del par se realiza mediante el uso de una celda de carga, que básicamente es un transductor de fuerza, y un brazo de palanca “L”. También en dicha figura se enlistan los componentes que lo integran.

## 2.6 Dinamómetro de Motocicletas.



*Figura 2.10 Imagen de un dinamómetro de motocicletas (2).*

El banco de ensayos para motocicletas es un método fiable para reproducir las condiciones de marcha de una motocicleta en carretera, sin riesgo, de forma objetiva y al margen de factores externos. Este dinamómetro se diseñó y se construyó en su totalidad por el grupo

de trabajo del Laboratorio de Control de Emisiones, debido a la instrumentación que en él se ha implementado, es un banco móvil. Se pueden medir las prestaciones del vehículo de una forma concisa, con una velocidad de respuesta muy rápida y de un gran número de parámetros. Dicho banco posee características de diseño y construcción semejantes a las de un dinamómetro de chasis, como por ejemplo: plataforma, estructura o chasis, rodillo, unidad de absorción de potencia (PAU) etc. A continuación se describen sus componentes principales:

- **Plataforma.** Está compuesta por dos placas de acero antiderrapante, de 2500 mm de largo, 900 mm de ancho, por 1/8” de espesor. La placa delantera tiene dos ranuras que sirven para guiar al sistema de sujeción.
- **Estructura o chasis.** La estructura está construida con perfil estructural de 38.1 mm por lado y 4.7 mm espesor de pared. Tiene una altura de 500 mm y se divide en dos partes, la delantera que corresponde a la zona de las mordazas y la trasera que corresponde al rodillo. Esta parte está reforzada con perfil estructural de 50.8 mm por lado y una pared de 4.7 mm de espesor.
- **Mordazas de sujeción de la rueda delantera.** Éste sistema sirve para sujetar a la motocicleta mediante la rueda delantera, la cual debe resistir la fuerza de empuje, constituido por un carro que se desplaza a través de las ranuras de la plataforma. El sistema cuenta con un husillo acoplado a un motor universal, que permite desplazar el carro a la posición adecuada para cada motocicleta, éste va colocado en la parte inferior de la plataforma, dichas mordazas cuentan con un recubrimiento de uretano para evitar daños a la rueda, además de proporcionar una mayor adherencia.
- **Unidad de absorción de potencia.** Este sistema proporciona la carga de camino y está constituido por dos arreglos de 6 bobinas cada uno. El principio de funcionamiento es el de inducción de corrientes parásitas o de Eddy, que generan un par de oposición sobre los discos de frenado.
- **Rodillo.** El rodillo es parte de la plataforma de manejo y por medio de éste elemento se transmite el par de la motocicleta o viceversa. Dicho rodillo está constituido por un cilindro cédula 80 y dos tapas internas colocadas en ambos extremos, en una de ellas está montada una corona dentada la cual sirve para acoplarla al motor de arranque; de esta forma se proporciona movimiento al rodillo.

## 2.7 Medición de los gases de escape.

Para medir la concentración de los gases contaminantes que emite un motor de combustión interna, se usa un analizador de gases, ya sea que el motor esté instalado en un vehículo o en un banco dinamométrico. La medición se hace en una muestra o fracción del caudal de los gases de escape, existiendo 2 formas o procedimientos para hacerlo:

*El primero*, el más sencillo, se realiza introduciendo una sonda que no es más que un tubo flexible, de material que no reaccione químicamente con los gases extraídos, y que tiene por un extremo una boquilla de metal, con una longitud de entre 30 a 40 cm, la cual se introduce en el tubo al final del sistema de escape, y por el otro extremo está conectado a la banca, que es el corazón del analizador de gases. La gran mayoría de los analizadores mide hidrocarburos totales ( $HC_T$ ), monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono ( $CO_2$ ), oxígeno (O) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), y las partes que lo componen son los siguientes:

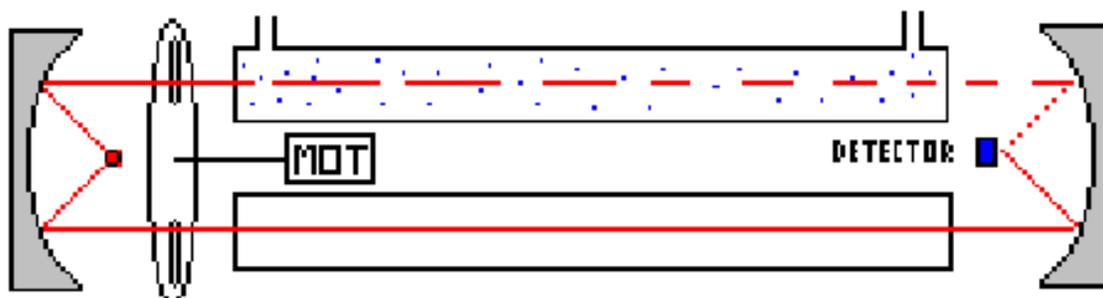
- a) Elementos de filtrado. Se encargan de eliminar los elementos sólidos y moléculas de agua que se encuentran suspendidos en el gas. Esto permite mantener limpios los conductos del sistema y permite el correcto funcionamiento de los sensores a los que generalmente el agua y las partículas sólidas causan estragos.
- b) Sistema neumático de transporte. Son los dispositivos responsables del transporte de la muestra de gas por los conductos del sistema. Generalmente está compuesto por bombas, válvulas, mangueras, etc.
- c) Conjunto de sensores. Son los elementos que se encargan de la detección y análisis de los gases dependiendo de su naturaleza.
- d) Dispositivos electrónicos de control y despliegue. Es la instrumentación que se encarga del acondicionamiento de señales para el despliegue de datos, ya sea en el analizador mismo o a través de la comunicación con una computadora (interface).

Estos analizadores de gases funcionan con ciertos principios, físicos y químicos que se describen a continuación:

**Método de Infrarrojo No Dispersivo (NDIR)**, *fig. 2.11*. Se utiliza para medir muchos gases, incluyendo CO,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , NO,  $SO_2$ , e hidrocarburos. Este método se utiliza principalmente para determinar CO y  $CO_2$ . El CO absorbe la radiación infrarroja de 4,6

$\mu\text{m}$ . Especial cuidado se debe tener al emplear este tipo de analizador en la determinación de HC, dado que no tiene la sensibilidad suficiente para distinguir el tipo de hidrocarburo que está en la celda.

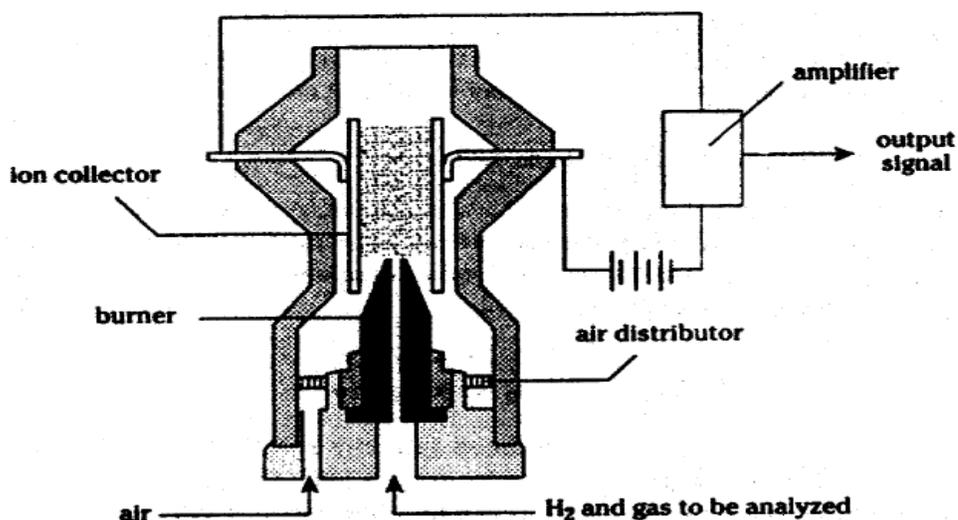
La energía infrarroja pasa a través de dos tubos idénticos y termina en un detector. El primer tubo es la celda de referencia y es llenada con un gas no absorbente como el nitrógeno. El segundo tubo es la celda de medición y contiene la muestra de gas que va a ser analizado. La energía en la región de interés es absorbida por el gas en la celda de medición, atenuando la energía que pasa a través de la celda, terminando en el detector.



*Fig. 2.11. Infrarrojo No Dispersivo*

Esta atenuación de energía es comparada con la señal no atenuada de la celda de referencia. la diferencia es proporcional a la cantidad de gas absorbente en la celda de medición.

### Método De Ionización De Llama (FID) *fig. 2.12.*



*Fig. 2.12 Detector de Ionización de llama*

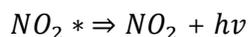
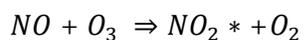
La introducción de compuestos de carbono en una llama de hidrógeno / aire no ionizado, produce iones y electrones que pueden conducir electricidad a través de la llama.

El analizador FID se utiliza para medir los HC emitidos por el motor, incluyendo los compuestos de carbono reportados como ppm de volumen de carbono medida en comparación con un hidrocarburo alifático de referencia (propano o hexano). Entre un electrodo colector, situado por encima de la llama y el extremo del quemador, el cual representa el segundo electrodo, se aplica una diferencia de potencial de unos pocos cientos de voltios (100 a 300), para la medición de la corriente que resulta ( $10E-12$  A) se utiliza un amplificador operacional de alta potencia.

Los compuestos orgánicos se pirolizan a la temperatura de una llama de H<sub>2</sub>/aire produciendo iones y electrones que conducen la electricidad a través de la llama. La señal depende del número de átomos de carbono que entra en el detector por unidad de tiempo. Se aplica a compuestos orgánicos pero es poco sensible a grupos como carbonilo, aminas, alcoholes y halógenos. El detector es insensible a gases no combustibles como H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

**Método De Quimioluminiscencia, fig. 2.13.** En este método la determinación del monóxido de Nitrógeno, NO, de la muestra, es transformado en NO<sub>2</sub> por una reacción de oxidación de fase gaseosa con ozono molecular, producido en el analizador, a partir de aire u Oxígeno proporcionado por un cilindro externo. Una característica de esta reacción es la excitación de las moléculas a un estado energético superior, seguido de una inmediata vuelta al estado no excitado acompañada de una emisión de fotones. Éstos inciden en un detector fotomultiplicador, generando una corriente continua de baja intensidad. Esta corriente es amplificada para indicar en un dispositivo de medida.

La reacción que se produce es:



Donde h es la constante de Planck, y  $\nu$  es la frecuencia en Hertz

Al medir NO la energía lumínica se filtra, con el fin de eliminar las interferencias de otros gases tales como el CO, SO<sub>2</sub>, y los hidrocarburos etilénicos. El ozono necesario para la reacción de quimioluminiscencia, se produce en una cámara de flujo donde la corriente de

aire u Oxígeno se expone a una radiación ultravioleta proveniente de una lámpara. La reacción es:

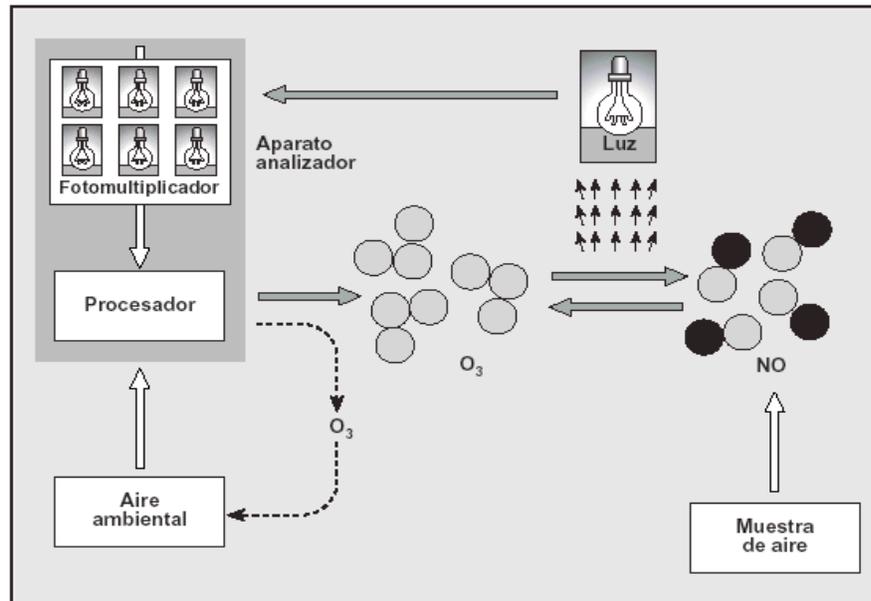
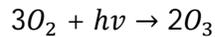


Fig. 2.13 Método de Quimioluminiscencia

*El segundo* procedimiento para medir los gases provenientes del escape es, diluir dichos gases de escape con “aire cero” antes de tomar la muestra, que será conducida hacia los analizadores y hacia las bolsas de recolección. Este procedimiento será descrito en el siguiente apartado (2.4), cuando se explique en qué consiste una celda de muestreo a volumen constante (constant volume sample, CVS).

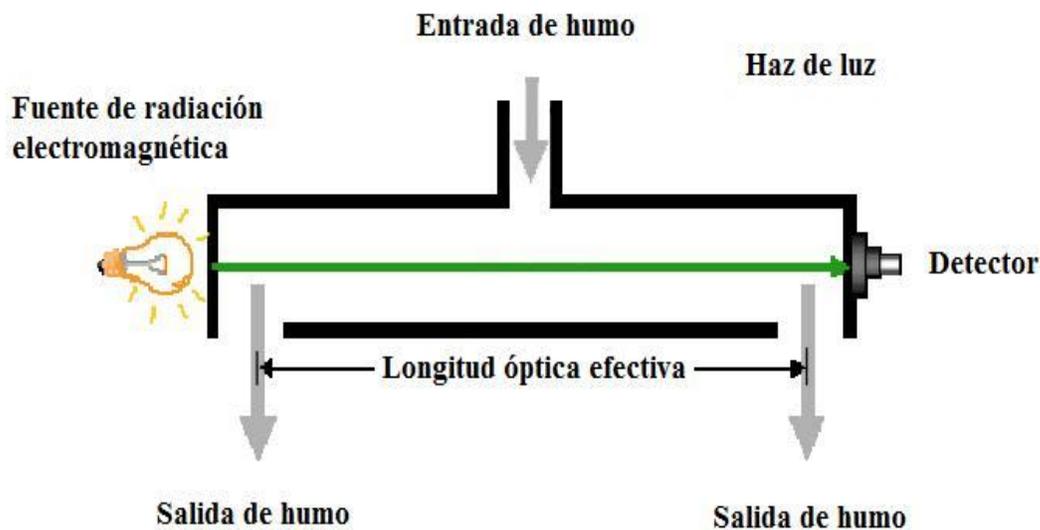
En los motores diesel, además de medir los gases descritos anteriormente, se mide la opacidad del humo que sale por el escape y las partículas que conforman dicho humo.

### 2.7.1 Analizador de opacidad de humos:

Este tipo de analizadores se utiliza principalmente en los muestreos de motores que usan como combustible diesel, quien con sus emisiones generan una mayor contaminación ambiental por partículas en suspensión.

Aunque existen una gran variedad de instrumentos para medir humos básicamente se clasifican en tres tipos que se describen a continuación:

- Opacímetros de flujo total en línea, analiza el total del humo que pasa por el tubo de escape. La medición es realizada dentro del tubo de escape.
- Opacímetros de flujo total tipo estela o fin de línea, analiza el total del humo que sale del escape en forma de estela. La medición es realizada a la salida del escape.
- Opacímetros de flujo parcial o muestreo, analiza una fracción del humo que pasa por el escape. La medición es realizada en una cámara especialmente diseñada *Figura 2.14*.



*Figura 2.14 Esquema típico de un opacímetro de flujo parcial*

El Opacímetro, posee una fuente de radiación visible, un detector y un camino óptico específico. La fuente es usada para generar la radiación que atravesará la muestra. Puede ser una lámpara incandescente o un LED verde con pico espectral entre 550 nm y 570 nm. El detector es usado para evaluar la propiedad del medio para atenuar la radiación, puede ser una fotocelda o un fotodiodo. Cuando el detector es empleado junto con una fuente incandescente debe incluir, en el detector, un filtro que tenga una respuesta espectral similar a la curva fotópica del ojo humano con una respuesta máxima entre 550 nm a 570 nm. El opacímetro tienen dos escalas de medición: Una de ellas en unidades de absorción de luz, expresada en  $m^{-1}$  y la otra lineal de 0 % a 100 % de opacidad, ambas escalas de medición se extienden desde cero con el flujo total de luz hasta el valor máximo de la escala con obscurecimiento total.

## 2.8 Medición de Partículas Diesel.

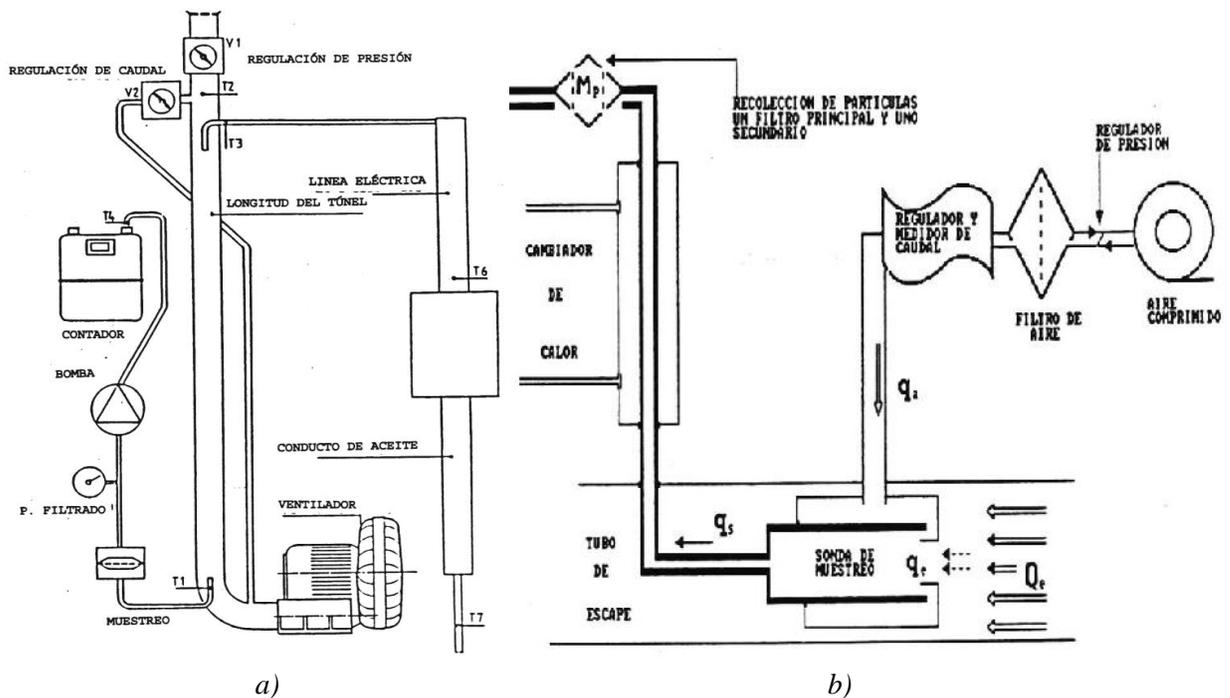


Figura 2.15 a) Equipo de medición de partículas, b) Diagrama de toma de muestra (11)

La medición de partículas, se describe brevemente con un equipo, figura 2.15, similar a los mini túneles de dilución, para dar una idea al lector del protocolo que se emplea en la cuantificación de este tipo de emisiones, muy peligrosas por cierto, que presentan los motores de encendido por compresión.

Se recoge la muestra mediante 2 filtros en serie, una electroválvula de 3 vías orienta al flujo de aire hacia el circuito de dilución o al de purga, pasa por el cambiador de calor aire-gas para acondicionar la muestra como si estuviera en el medio ambiente. Una bomba de vacío succiona la muestra así como al aire de dilución y se controla de manera conjunta con los medidores y reguladores de caudal, otra electroválvula de 3 vías controla el flujo aspirado por la bomba.

Parte del circuito neumático se utiliza para inyectar aire en sentido inverso al de la línea de aspiración, el objetivo es evitar que en la boquilla se acumule carbón y demás componentes de los gases de escape, cuando no se realicen ensayos de muestreo. Este modo de operación funciona permanentemente a menos que se inicie la toma de muestras, en cuyo caso, la electroválvula correspondiente cerrará esta parte del circuito.

El perfil de los frentes de inyección del aire suministrado, favorece la homogeneización de la mezcla. Las partículas son depositadas en los filtros, mismos que se pesan antes y después del muestreo en condiciones de humedad y temperatura controladas.

La toma de muestras deberá ser de un flujo continuo y no pulsante así que, para amortiguar las pulsaciones se calcula, mediante las recomendaciones SAE[95], un remanso y se instala entre el escape del motor y el equipo de medición. Además, para intentar que el flujo sea aún más estable, se determinó mediante las normas ISO[50], ISO [11614], NOM-045 SEMARNAT 210, la longitud necesaria de un conducto, después del remanso, para mantener un flujo laminar.

Para recoger la muestra de los gases de escape diluidos, se utilizan membranas Pall T60A20 con una alta eficiencia de filtrado, fabricadas con fibra de borosilicato y una cubierta de fluorocarbono que es un material hidrófobo. Su diámetro es de 47 mm y el tamaño del poro es de 0,3  $\mu\text{m}$ .

La disposición de los 2 filtros es en serie, quedando separados 7 cm; el primero que hace contacto con los gases muestreados se denomina primario y al posterior, secundario.

Como se dijo anteriormente, los filtros se pesan antes y después del ensayo, de esta manera se garantiza que la diferencia de peso, se deba exclusivamente a la masa de partículas recolectada.

Existe, dentro de la normativa [68], especificaciones que permiten discriminar la masa de partículas recogida por del filtro secundario, a saber:

- si  $0,95 (m_1 + m_2) < m_1 \Rightarrow m = m_1$
- si  $0,95 (m_1 + m_2) > m_1 \Rightarrow m = m_1 + m_2$
- si  $m_2 > m_1$ , la prueba debe repetirse.

La experiencia indica que  $m_2$  se desprecia para la mayoría de los ensayos, excepto para largos períodos de muestreo

Dentro del equipo de medida, es fundamental contar con una balanza de alta resolución para evitar errores de precisión, que pueden ocasionar resultados erróneos al calcular la masa de partículas emitidas por el motor. La resolución debe ser de al menos 0.01 mg, algunos fabricantes indican una reproducibilidad (que es la desviación típica) de 0,02 mg con una linealidad de  $\pm 0,03$  mg y una desviación de la sensibilidad entre 10 y 30°C de:  $\pm 2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , por ejemplo.

Una vez que las partículas han sido recolectadas, se dispone de varios medios para medirlas, individual o colectivamente. El método depende del tamaño y de la naturaleza de la superficie sobre la cual fueron depositadas

La materia que compone a las partículas puede ser higroscópica y tener componentes volátiles o fácilmente oxidables. Para evitar riesgos, el procedimiento de muestreo y el de medida debe ser normalizado

La medición de partículas mediante microscopio electrónico, normalmente se hace con fotografías ya sea en película o en impresiones. Para la caracterización de las partículas diesel, es más apropiado el microscopio electrónico de barrido puesto que el campo visual es mayor y además, permite conocer su morfología y su composición elemental con el sistema de rayos X que tiene integrado

La caracterización de las especies químicas, asociada con la materia de las partículas, es una tarea complicada. Dichas especies, cubren un amplio rango de compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos. Los compuestos orgánicos son especialmente numerosos y puede esperarse que, varíen en tipo y cantidad conforme cambien las condiciones de operación del motor, así como las características del combustible.

El hecho de que los compuestos orgánicos sean numerosos, garantiza que la cantidad de alguna especie, en una muestra, será pequeña.

Un buen método de análisis debe ser sensible para las especies concernientes, específicamente para alguna que se desee conocer. Las técnicas que utilizan cromatografía, son muy populares entre los trabajos de investigación que se realizan en este campo.

Cada sustancia pura, elemento o compuesto, tiene un espectro único de radiación electromagnética, la cual puede absorber o emitir. Las longitudes de onda o energías particulares, son relativas a la configuración electrónica y a los movimientos de vibración y rotación, asociados con los enlaces de las moléculas.

Todos los dispositivos espectrales tienen los siguientes componentes:

**Espectrometría visible**, que es apropiada para el análisis de compuestos orgánicos o inorgánicos que absorben, naturalmente o por tratamiento químico, una cierta intensidad.

**Espectrometría infrarroja**, en esta técnica existe una condición para que haya absorción. Ésta es que, previamente (a la absorción) debe ocurrir un cambio en el dipolo durante una vibración. Dicha condición, es una limitante para moléculas simétricas como el CH<sub>4</sub> y el CCl<sub>4</sub> que no absorben luz infrarroja.

**Espectrometría ultravioleta.** Tiene una banda de absorción más estrecha y más intensa. Dentro de sus grupos cromatográficos se encuentran los aromáticos policíclicos como los benzopirenos.

Otra técnica complementaria es la **Cromatografía de Masas**, en ella las moléculas de la muestra son ionizadas por un bombardeo de electrones; los iones son concentrados y su masa es determinada. El uso más amplio del espectrómetro, está basado en el tiempo que duran los iones en recorrer una cierta trayectoria dentro de un campo eléctrico o magnético. Conocido el valor del campo o la trayectoria recorrida, la corriente iónica del colector da una medida del número de iones con una cierta masa y carga respectivamente

Es común que el espectrómetro se use conjuntamente con un cromatógrafo el cual, separa los componentes de una mezcla en compuestos casi puros, antes de introducirlos al espectrómetro de masas. Frecuentemente, este arreglo se combina con una computadora para ayudar en el análisis de datos.

## **2.9 Sistema de Muestreo a Volumen Constante CVS (Constant Volume Sample).**

Este método consiste en diluir los gases de escape con aire limpio del ambiente. Donde dicho aire es filtrado para mantener el flujo total constante (*gases de escape + aire*) manteniendo las mismas condiciones de prueba durante el ciclo. Para medir el flujo másico de aire diluido se usan flujómetros de gas seco, por lo tanto, restando de la cantidad anterior, se puede conocer el volumen real de los gases de escape. Con esto se pretende simular las condiciones reales de dilución de los gases de escape en el aire de la atmósfera. El flujo másico total puede ser determinado de dos maneras:

- Ya sea calculando las rotaciones totales de la bomba de desplazamiento positivo con características conocidas, que hace fluir la mezcla.
- Haciendo fluir la mezcla a través de un venturi en condiciones críticas.

Durante la prueba de CVS, se dispone de un conjunto de bombas que permiten recolectar continuamente fracciones constantes de gases de escape y aire de dilución en bolsas plásticas de fluorocarbón (Tedlar) y acumular así las emisiones durante la secuencia. Los contaminantes regulados (CO, HC, NOx) y partículas, son analizados al final de cada secuencia tanto en los gases de escape como en el aire de dilución.

En los MEC, dado el riesgo de condensación de los hidrocarburos más pesados en las bolsas es necesario hacer un análisis continuo de HC. Los gases diluidos son transferidos a un analizador por una línea calentada a  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$  según norma y se utiliza un integrador para calcular las emisiones acumulativas durante el tiempo que dure el ciclo. El ensayo de los MEC incluye la medición de la emisión de partículas, para lo que se dispone de un montaje especial. Dado que las partículas son retenidas en un papel de fieltro especial los gases de escape no podrían ser totalmente filtrados, porque la onda de contrapresión producida podría alterar las condiciones de funcionamiento del motor y sus correspondientes emisiones. Por lo tanto es necesario hacer un muestreo con una fracción representativa conocida de los gases de escape emitidos por el motor. Para realizar esto, se utiliza un "túnel" de dilución de longitud suficiente que permite homogeneizar la mezcla de aire aerosol -dilución del sistema CVS. De tal modo que el sistema de muestreo total, como se muestra en la *figura 2.16*, extrae una fracción extremadamente pequeña del escape del motor y luego la diluye y la filtra, esta muestra representa una aproximación adecuada.

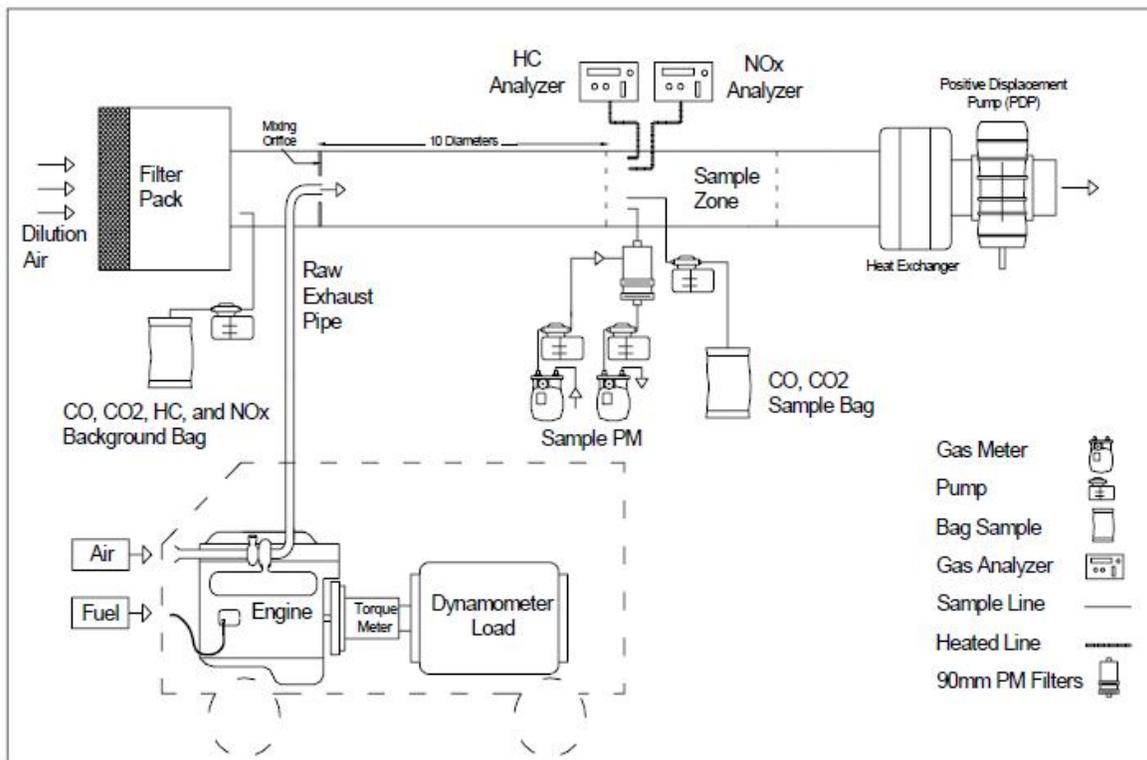


Figura 2.16 Esquema de un sistema de muestreo CVS (11).

- En su forma más simple el sistema CVS consta de:
- Sistema de dilución del aire.
- Separador ciclónico.
- Venturi de flujo crítico (CFV).
- Bombas de muestreo.
- Ventilador.
- Sensores de presión y temperatura.
- Líneas de tubería.

### 2.9.1 Principio de operación del CVS

Siguiendo la línea de flujo de los gases de escape, *figura 2.15*, el tubo de escape es conectado al túnel de dilución donde dichos gases se diluyen con el aire ambiente en el conjunto de mezclado. Los gases de escape diluidos se mantienen en el conducto de muestreo donde una porción del flujo total se extrae por medio de un venturi de flujo crítico (CFV). Un sistema de electroválvulas y tuberías asegura que la muestra llene la bolsa de muestra. La tasa de extracción de la muestra es proporcional al flujo del CVS, siempre y cuando la bomba de muestra y el soplador del sistema proporcionen suficiente vacío para mantener el flujo sónico dentro del Venturi de Flujo Crítico.

### 2.9.2 Venturi de Flujo Crítico.

El venturi de flujo crítico (CFV) está diseñado para mantener la masa de flujo constante cuando opera bajo condiciones de flujo crítico (sónico). El diseño de su geometría está orientado para proporcionar un flujo crítico cuando se aplica vacío a la cara de trasera de dicho venturi. Las mediciones de presión y temperatura se realizan en la entrada del venturi para, verificar el caudal de CVS. Como se muestra en la Ecuación (1), la relación de flujo volumétrico es proporcional a la presión CFV e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura del CFV.

$$Q_{CFV}^{Std} = K_{CFV} \frac{P_{CFV}^{inlet}}{\sqrt{T_{CFV}^{inlet}}} \quad \left[ \frac{m^3}{min} \right] \quad - - - - ec (2.1)$$

**Donde:**

$K_{CFV}$  Coeficiente de calibración del Venturi de Flujo Crítico

$P_{CFV}^{inlet}$  Presión absoluta en la entrada del CFV [kPa]

$T_{CFV}^{inlet}$  Temperatura absoluta en la entrada del CFV [°C]

El volumen total se determina por la integral el coeficiente de flujo volumétrico, tal como se muestra en la ecuación (2), durante el ciclo de prueba.

$$V_{CFV}^{Total} = \int_0^t CFV \frac{P_{CFV}^{inlet}}{\sqrt{T_{CFV}^{inlet}}} dt \quad \text{--- ec (2.2)}$$

## 2.10 PEMS (Portable Emission Measurement System)

El PEMS es un sistema de medición de emisiones de vehículos automotores que se realiza a bordo y en condiciones de manejo reales. Una de las características principales de este sistema de medición o monitoreo a bordo es el ser instalado fácilmente en una amplia variedad de vehículos de combustión interna ya sean MEC o MEP.



Figura 2.16 a) Imagen de archivo, Sistema de Medición de Emisiones Portátil, PEMS-OEM-2100AX Axion (12).

Estos sistemas son diseñados para la medición de emisiones en uso y en tiempo real, en carretera bajo cualquier operación y condiciones ambientales, condiciones de tráfico, y durante los ciclos operativos. Las conexiones del sistema en el vehículo son reversibles, es decir, en la mayoría de los casos no es necesario realizar modificaciones al vehículo, al motor o al sistema de escape.

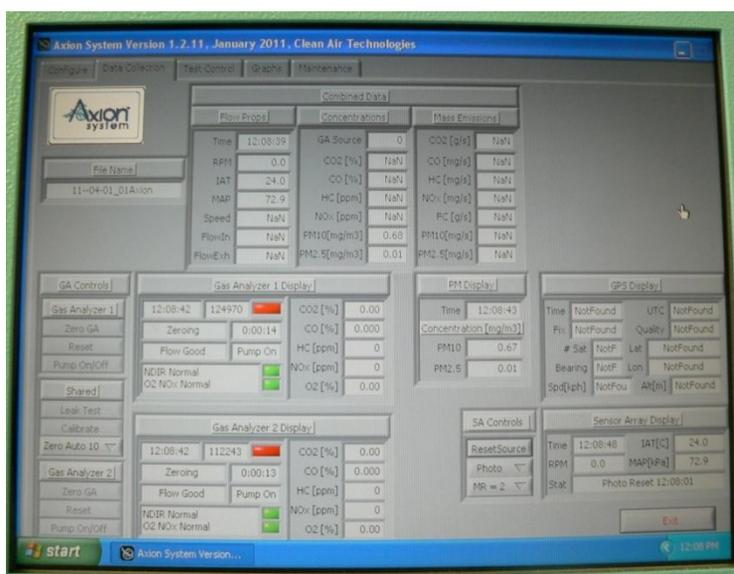


Figura 2.16 b) Imagen de archivo ampliada de la pantalla del PEMS-OEM-2100AX Axion (12).

El equipo por lo general está compuesto de dos a cinco analizadores de gas, un escáner de diagnóstico del motor y un ordenador de a bordo que se encarga de registrar segundo a segundo los datos obtenidos como son: consumo de combustible, la velocidad del vehículo, rpm del motor, temperatura del motor, temperatura de los gases de escape, presión del múltiple de admisión, posición del acelerador, y emisiones.

Los gases de escape que mide este tipo de equipos principalmente son: Hidrocarburos totales (HCT), monóxido de carbón, (CO), dióxido de carbón (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), oxígeno (O) y también monitorea partículas menores a 10 micras (PM10). Algunos equipos están diseñados para conectarse al puerto de diagnóstico a bordo (OBD) del vehículo, del que se pueden obtener directamente, en tiempo real, datos del motor y del vehículo mientras este está en operación.

Para el Laboratorio en estudio se eligió un equipo denominado PEMS-OEM-2100AX (figuras 2.16 a, 2.16 b). Dicho equipo puede ser instalado en casi cualquier parte del

vehículo donde se permita hacer las conexiones necesarias; en el asiento del copiloto, en el piso del mismo, o incluso en el exterior. En la *tabla 2.1* se indican sus características así como las especificaciones de construcción.

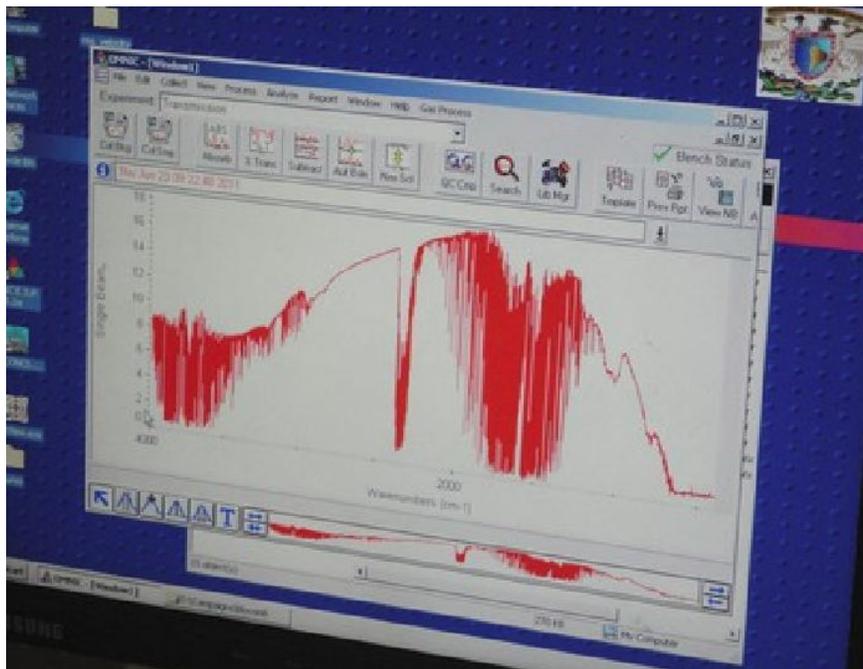
Características	Especificaciones
Dimensiones	58 x 46 x 23
Peso (aproximado)	17 kg
Energía	12-14 v CD
Frecuencia de muestreo del gas	1 Hertz
Caudal de muestreo: - Analizadores de gases GA1, GA2 - Detector de PM	5.0 litros por minuto 4.0 litros por minuto
Analizadores: - NDIR - Sensor de O <sub>2</sub> - Sensor de NO <sub>2</sub> - Detector de PM dispersor de luz LASER	Contaminantes monitoreados: CO, CO <sub>2</sub> , HCT O <sub>2</sub> NO <sub>x</sub> PM <sub>10</sub>
Sensores monitoreados: - MAP - Tacómetro óptico - Temperatura del aire de admisión	Parámetros medidos: Presión Absoluta del Múltiple (kPa) RPM del Motor Termocoples
Parámetros calculados: - Contaminante - Contaminante - Flujo de aire de admisión - Flujo de gases de escape	Unidades: Gramos por segundo (g/s) Gramos por distancia (g/m) Gramos por segundo (g/s) Gramos por segundo (g/s)
Condiciones de operación: Temperatura - Humedad relativa - Temperatura sin condensación - Humedad relativa sin condensación	-5°C a 40°C (25°F a 100°F) 0-90 % 5°C a 35°C (40°F a 95°F) 0-90

*Tabla 2.1 Características Técnicas del PEMS (12).*

### **2.11 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR.**

Uno de los equipos que han adquirido gran importancia en el análisis de muestras de gases de escape es el denominado FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometry). Son espectrómetros infrarrojos que basan su funcionamiento en la teoría de absorción de radiación infrarroja molecular, donde se menciona que a temperaturas superiores al cero

absoluto todos los átomos que forman parte de las moléculas están en una vibración continua unos respecto a otros. Cuando la frecuencia de una de las vibraciones es igual a la frecuencia de radiación infrarroja específica que incide sobre esa molécula, dicha molécula absorbe la radiación.



*Figura 2.17 Imagen de archivo de un Interferograma obtenido durante las pruebas de una mezcla de combustible en el LC.E.*

Su funcionamiento consiste en: un haz colimado, proveniente de una fuente que emite en toda la región infrarroja, incide sobre un divisor de haz. El haz incidente se divide en dos haces perpendiculares de igual energía, uno de los cuales incide sobre el espejo móvil y el otro sobre el espejo fijo. Los haces son reflejados por ambos espejos y se re combinan al llegar al divisor de haz. Esto da lugar

a una interferencia, la cual puede ser constructiva o destructiva dependiendo de la posición relativa del espejo móvil con respecto del espejo fijo. El haz resultante pasa a través de la muestra, en donde sucede una absorción selectiva de longitudes de onda y, finalmente, llega al detector.

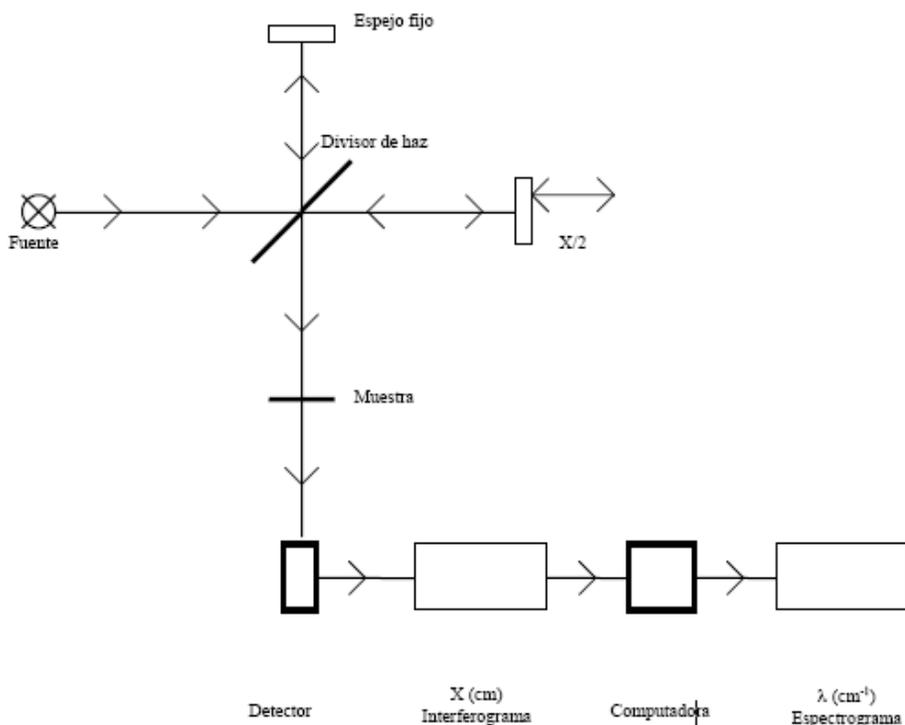
Inicialmente el espejo móvil se encontrará en la posición en la que la diferencia de camino óptico de los dos haz es cero. La información recabada por el detector se utiliza para obtener el interferograma, el cual es digitalizado. Una computadora desarrolla el cálculo

aproximado de la transformada de Fourier del interferograma, *figura 2.17*, debido a que después de digitalizar la información ya no se puede trabajar con variables continuas.

Un espectrómetro por transformada de Fourier, *figura 2.18*, consta de tres elementos básicos: una fuente luminosa, un interferómetro de Michelson y un detector.

Las características más relevantes de esta espectroscopia son las siguientes:

1. Si dos moléculas están constituidas por átomos distintos, o tienen distinta distribución isotópica, o configuración, o se encuentran en ambientes distintos, los espectros infrarrojos serán distintos.
2. Una sustancia definida puede identificarse por su espectro infrarrojo. Estos espectros pueden ser considerados como las huellas digitales de dicha sustancia.
3. Los espectros muestran bandas que son típicas de grupos funcionales particulares y que tienen localizaciones e intensidades específicas dentro de los espectros infrarrojos
4. A partir de los espectros se pueden inferir las estructuras moleculares. Para ello se requiere un modelo en el cual basar los cálculos.



*Figura 2.18 Diagrama simplificado de un espectrómetro por transformada de Fourier.*

5. Las intensidades en las bandas del espectro de una mezcla, son generalmente proporcionales a las concentraciones de las componentes individuales. Por lo tanto, es posible determinar la concentración de una sustancia y realizar análisis de muestras con varias componentes.
6. Es posible, mediante el uso de dispositivos experimentales adecuados, obtener espectros infrarrojos sin alteración de la muestra, lo que constituye a esta espectroscopia como una herramienta de análisis no destructiva.
7. El tiempo necesario para obtener y almacenar un espectro infrarrojo es del orden de minutos.

## 2.12 Banco de flujo

Este equipo, *figura 2.19*, basa su principio de funcionamiento en la teoría de la obstrucción. Cuenta con instrumentos para medir el coeficiente de flujo por medio de las caídas de presión que se tiene al hacer circular un flujo de aire a través de accesorios y dispositivos a evaluar.

El banco de flujo está constituido por los siguientes equipos y accesorios:

- Equipo generador de flujo de aire, (turbo soplador) que tiene una capacidad de caudal máximo de  $0.222 \text{ m}^3/\text{s}$  y una presión máximo de 508 milímetros de columna de agua ( $\text{mm H}_2\text{O}$ ). Tiene la dualidad de aspirar e impulsar el flujo de aire.
- Dos líneas de conducción de aire. Cada una tiene acoplada por medio de bridas, una placa de orificio. Las secciones reducidas de cada línea (1 y 2) son 12.5 mm y 27 mm respectivamente.
- Una toma de aire, que se regula con una válvula de bola que permite el paso de aire hacia el depósito de remanso y, posteriormente, a los elementos a caracterizar.
- Un depósito de remanso cuya función es atenuar los efectos pulsatorios y disipar las turbulencias que produzca el generador de flujo; de este modo se evita generar errores en la toma de lecturas. En este depósito se colocan los dispositivos a evaluar.
- Tres paneles de válvulas de control compuestos de circuitos de aire conectados a los manómetros y controlados por válvulas de bola de precisión, que modifican el flujo de aspiración o de impulsión y para cambiar la línea de conducción de aire.
- Un módulo de control de temperatura, que consta de un conjunto de termopares crómel-alumen, multímetro digital de canal múltiple y sensores situados aguas abajo de la válvula de cada línea, aguas arriba de la válvula previa al depósito de remanso.

- Tres paneles con manómetros de tubos de cristal, donde se mide la presión en columnas de agua.



*Figura 2.19 Banco de flujo desarrollado en el Laboratorio (13).*

El banco de flujo tiene un programa que nos ayuda a procesar los datos obtenidos de dichas pruebas y, de esta manera, obtener el coeficiente de flujo. Este programa está desarrollado expresamente para la estructura del Banco de Flujo Estacionario del Laboratorio, en función de los parámetros geométricos y las consideraciones termodinámicas del equipo como son las dimensiones de sus componentes, los diámetros de conductos, las dimensiones de las placas de orificio utilizadas para medir el flujo y otras consideraciones particulares de cada caso.

Las pruebas que se desarrollan en él tienen como objetivo conocer y cuantificar la obstrucción que ocasiona el componente a evaluar (convertidor catalítico, múltiple de escape, múltiple de admisión, etc.).

Considerando al flujo unidimensional y no viscoso, entonces el coeficiente de descarga se define como:

$$C_D = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{teorico}} \quad \text{---ec (2.3)}$$

Donde:

$C_D =$  Coeficiente de descarga

$\dot{m}_{real} =$  gasto másico real

$\dot{m}_{teorico} =$  gasto másico teórico

Para establecer el modelo base de funcionamiento del banco de flujo se consideró una tobera una tobera isentrópica cuya sección de salida es igual a la sección de referencia, descargando desde las condiciones de estancamiento aguas arriba (donde las líneas de corriente no están afectadas por el orificio y hasta la presión estática aguas abajo correspondientes al flujo real). El flujo se supone compresible y unidimensional, (figura 2.20). Este gasto teórico puede calcularse por la expresión (2.4) de la misma figura tomamos las condiciones de flujo iniciales y finales para sustituir.

$$\dot{m}_{teorico} = A_2 \frac{P_{01}}{\sqrt{T_0}} \sqrt{\frac{2k}{R(k-1)} \left( \left( \frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)} \quad \text{---ec (2.4)}$$

Donde  $A_2$  es el área de referencia. Y el subíndice 01 indica condiciones de estancamiento. Es evidente que el valor del coeficiente de descarga estará fuertemente influenciado por el valor de  $A_2$ . Para que el coeficiente de descarga tenga sentido como medida de capacidad de un orificio, es necesario que la sección de referencia se acerque lo más posible a la sección mínima del conducto que limita el caudal. Sustituyendo (2.4) en (2.3)

$$C_D = \frac{\dot{m}_{real}}{A_2 \frac{P_{01}}{\sqrt{T_{01}}} \left[ \frac{2k}{(k-1)R} \left( \left( \frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{---ec (2.5)}$$

Cuando el flujo es supersónico, en lugar de  $P_2$  se toma la presión crítica correspondiente a las condiciones iniciales de estancamiento:

$$P_2 = P_{01} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{--- --ec (2.6)}$$

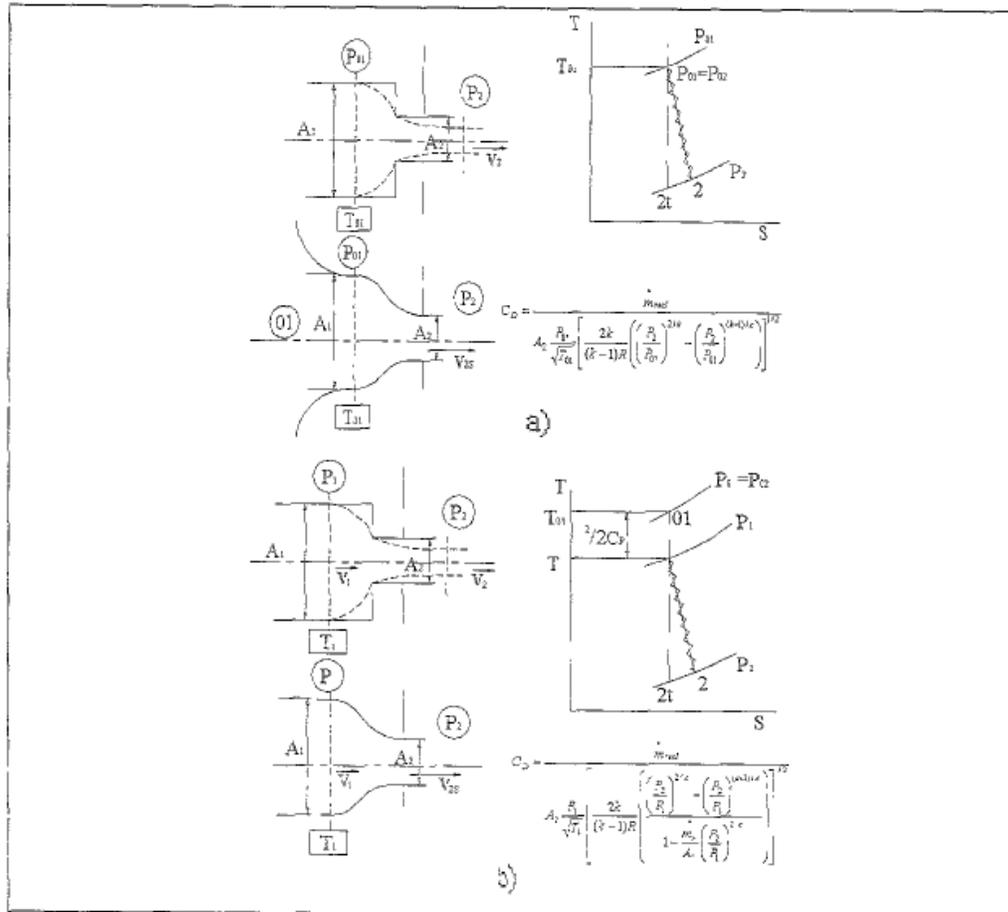


Figura 2.20 Tobera isentrópica con flujo compresible y unidimensional (13).

Cuando las condiciones de estancamiento aguas arriba del orificio no son conocidas pero si las condiciones estáticas (figura 2.17) el gasto teórico puede expresarse:

$$\dot{m}_{\text{teórico}} = A_2 \frac{P_{01}}{\sqrt{T_{01}}} \left[ \frac{2k}{(k-1)R} \left( \left( \frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_2}{P_{01}} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} \right) + \frac{\dot{m}_r T_1 R (k-1)}{2k A_1 P_1^2} \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{--- --ec (2.7)}$$

$$\dot{m}_{teorico} = A_2 \frac{P_1}{\sqrt{T_1}} \left[ \frac{2k}{(k-1)R} \left( \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(k-1)}{k}}}{1 - \frac{\dot{m}}{A_1} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{----- (2.8)}$$

Sustituyendo (2.8) en (2.3)]:

$$C_D = \frac{\dot{m}_{real}}{A_2 \frac{P_1}{\sqrt{T_1}} \left[ \frac{2k}{(k-1)R} \left( \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(k-1)}{k}}}{1 - \frac{\dot{m}}{A_1} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}}} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{-----ec (2.9)}$$

Ecuación que se aplica al análisis experimental de los dispositivos a prueba en el banco de flujo.

## **Capítulo 3 Dimensionamiento de la extracción y suministro de aire, y del circuito hidráulico.**

### **3.1 Introducción**

Algunos cálculos sencillos y especificaciones concretas de los servicios que requiere este laboratorio, harán que tenga una funcionalidad adecuada y con márgenes de operación que se necesitan para la gran variedad de motores y vehículos que se someterán a ensayos diversos, con protocolos o procedimientos distintos, dependiendo de los objetivos y metas que se quieran alcanzar.

El sistema de renovación de aire de las salas es de vital importancia, ya que dentro de las características de funcionamiento del motor de prueba están la presión, la temperatura y la humedad relativa del aire atmosférico.

Es importante mencionar que, de las cuatro celdas de banco con que contará el laboratorio, dos de ellas serán para motores de vehículos ligeros y semipesados, de hasta 270 hp de potencia efectiva (200 kW), y las otras dos para motores pesados, de 270 hp en adelante, más o menos hasta 500 hp (375 kW). Una de estas celdas o salas se instrumentará con dinamómetro de corrientes parasitas y la otra con dinamómetro hidráulico. El freno electromagnético para aplicar carga transitoria y el hidráulico para pruebas de larga duración, o pruebas en estado permanente.

En el caso del dimensionamiento para el circuito hidráulico, es importante estimar las capacidades de la torre de enfriamiento que abastecerá de agua, tanto a los motores como a los dinamómetros hidráulicos, dicha torre de enfriamiento al igual que la cisterna son esenciales para el funcionamiento de estas salas.

En el caso de la renovación del aire de las salas, el objetivo es determinar el tamaño de los ventiladores que proporcionarán la cantidad de aire adecuada, para el buen funcionamiento de los motores a ensayar.

### **3.2 Renovación de aire en la sala de pruebas**

Existen dos métodos mediante los cuales se puede dimensionar el sistema de ventilación de la sala:

-El primero, consiste en determinar el caudal en función del número de renovaciones del aire de la sala necesarias cada hora (entre 30 y 60 renovaciones por hora en salas de máquinas con ambientes nocivos <sup>(15)</sup>). Este número se multiplica por el volumen de la sala y se obtiene el caudal de aire necesario en la sala de ensayos.

-El segundo, mucho más preciso, consiste en determinar el caudal de aire necesario para disipar el calor generado por el motor. Este es el que se utilizará, como se describe a continuación.

Tipo de motor	mediano	grande	Unidades
Poder calorífico inferior	42,800	42,800	kJ/kg
Potencia nominal del motor	200	375	kW
Consumo típico a plena carga	0.0127	0.02086	Kg/s
Calor liberado por el combustible	540	893	kW
Potencia efectiva	199	374	kW
Rendimiento efectivo	37	42	%
Calor disipado por el agua de enfriamiento	27	24	%
Calor irradiado del agua y del aceite del motor, hacia el ambiente de la instalación	3	2	%
Calor que sale con los gases de escape	26	24	%
Calor irradiado al ambiente de instalación por los gases de escape	2	2	%
Calor irradiado del motor al ambiente	5	6	
Total	100	100	%

*Tabla 3.1 Distribución de la potencia <sup>(14)</sup>*

Para estimar los valores máximos del calor que se trasmite al ambiente, dentro de la sala de ensayos, se recopiló información de los motores de máximo tamaño que se pueden montar en cada sala (de pequeños a medianos, y de medianos a pesados), así como la cantidad de combustible que puede consumir cada uno de estos motores, operando a máxima carga, es decir con el acelerador a fondo, o la válvula del cuerpo de aceleración completamente

abierta, y aplicando el Par de frenado máximo que el motor es capaz de soportar, a máximo régimen, antes del corte de gobernador.

Los datos que se muestran en la tabla 3.1 son de los motores que se escogieron de entre 6 de tamaño mediano y de entre 8 de servicio pesado, ambos para automoción.

Considerando la potencia calorífica generada por la combustión en el motor de pruebas, se realizan los siguientes cálculos, tomando el poder calorífico inferior del combustible (42,800 kJ/kg) para el diesel, tal y como se muestra en la “Tabla 3.1”, ya que los motores de mayor tamaño serán de encendido por compresión, y se debe dimensionar para este caso extremo.

La temperatura del aire en la sala de ensayos aumentará hasta un valor en el que haya un equilibrio entre el calor generado por el motor operando a plena carga, y el calor disipado por el sistema de ventilación, que es función de la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida ( $\Delta T$ ).

El caudal de aire necesario ( $Q_a$ ) dado por la ecuación 3.1

$$Q_a = \frac{H_L}{C_p \rho_a \Delta T} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad \text{---ec (3.1)}$$

Donde:

$C_p$  .- es el calor específico del aire a presión constante

$\rho_a$  .- es la densidad del aire a presión y temperatura ambientales

$H_L$  .- es la carga térmica que debe removerse

Se utiliza el calor específico a presión constante porque, el sistema termodinámico que se quiere acondicionar es un sistema abierto, es decir, realmente la carga térmica es la diferencia de entalpías del aire, operando en régimen permanente.

$$\begin{aligned} \dot{Q} + \dot{W} &= \dot{m} (h_s - h_e) \\ \dot{Q} &= \dot{H}_s - \dot{H}_e = \dot{H}_L \end{aligned}$$

Se considera una variación de temperaturas de 15°C entre la entrada y la salida del aire, producto de la experiencia del Laboratorio de Control de Emisiones y de otras instalaciones conocidas, no reportadas como tal, pero si medidas por el personal encargado en el Departamento de Motores Térmicos en la Universidad de Valencia, en el Instituto Nacional de Investigación de Transportes y su Seguridad en Lyon Francia, y en el Laboratorio de Termodinámica de la Universidad de Brookes en Oxford Inglaterra.

De la ecuación general de los gases ideales (el aire se comporta de acuerdo a este modelo para las condiciones de presión y temperatura ya mencionados), se tiene:

$$P v = R T \quad \text{o bien} \quad P = \rho R T \quad \text{---ec (3.2)}$$

De aquí que la densidad del aire  $\rho_a = \frac{P}{R T}$  tiene una variación por efecto del cambio de temperatura de aire, a saber:

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{25^\circ} = 1.1847 \frac{kg}{m^3} \\ \rho_{40^\circ} = 1.1279 \frac{kg}{m^3} \end{array} \right\} \rho_{prom} = 1.1563 \frac{kg}{m^3}$$

donde :

El valor de la presión atmosférica se toma como la estándar (101.325 kPa) y la constante particular del aire como:

$$R_{aire} = \frac{\bar{R}}{M_{aire}} = \frac{8.314}{28.97} = 0.28698 \frac{kJ}{kg K}$$

Por otra parte, de las tablas de propiedades termodinámicas se ha tomado el valor de  $C_p$ :

$$C_{p,aire} = 1.0047 \frac{kJ}{kg K}$$

Así que finalmente:

Para la carga térmica ( $H_L$ ) para el motor mediano, de la *Tabla 3.1*, tenemos:

$$H_L = \text{Calor Liberado} \frac{\sum \% \text{ calor ambiente}}{100} = 540 [kW] \frac{(2 + 3 + 5)}{100} = 54 [kW - h]$$

La carga térmica ( $H_L$ ) para el motor grande:

$$H_L = \text{Calor Liberado} \frac{\sum \% \text{ calor ambiente}}{100} = 893 \text{ [kW]} \frac{(2 + 2 + 6)}{100} = 89.30 \text{ [kW - h]}$$

De tal forma que, para el cálculo del caudal de aire necesario para realizar la ventilación de la sala de pruebas, utilizando la ecuación 3.1 se tiene:

$$Q_a = \frac{H_L}{C_{P,aire} \cdot \rho_{prom} \cdot \Delta T} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = \frac{54 \text{ [kW]} 3600 \text{ [kJ]}}{1.0047 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] 1.1563 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] 15 \text{ [K]}} = 11,155.732 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_a = \frac{H_L}{C_{P,aire} \cdot \rho_{prom} \cdot \Delta T} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = \frac{89.3 \text{ [kW]} 3600 \text{ [kJ]}}{1.0047 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] 1.1563 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] 15 \text{ [K]}} = 18,448.275 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Una vez determinado el caudal de aire necesario, hay que analizar el sistema de ventilación utilizado. Lo más apropiado es utilizar un sistema mixto de impulsión-extracción. La impulsión provoca la introducción de aire del exterior en la sala, y la extracción es para la expulsión del aire caliente. Considerando este sistema de renovación de aire, existe una depresión provocada por los extractores y una sobre presión provocada por los impulsores o ventiladores. Para que la instalación de resultado, los ventiladores deben de dar más aire del que desalojan los extractores, estimándose en un 20% más (recomendación de las empresas que suministran los ventiladores y extractores, para vencer las pérdidas de carga a lo largo de la conducción del flujo de aire).

Para tal efecto y tomando en cuenta el análisis del punto anterior, se considera que el ventilador para cada sala tenga un 20% más de caudal que el extractor, así que:

$$Q_{vent} = Q_{ext} + 20 \% = 11,155.732 \left[ \frac{m^3}{h} \right] + 20 \% = 13,386.878 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Para el motor grande se realiza la misma operación.

$$Q_{vent} = Q_{ext} + 20 \% = 18,448.275 \left[ \frac{m^3}{h} \right] + 20 \% = 22,137.93 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

En función de la trayectoria del fluido, los ventiladores se clasifican en tres tipos: de flujo radial, de flujo semiaxial y de flujo axial. Para el caso en estudio se ha seleccionado los de tipo axial debido a que su montaje es intramuros, es decir va directamente en la pared donde se requiere la ventilación o extracción.

Con los datos obtenidos, se puede seleccionar el mismo ventilador tanto para la sala de motor mediano como para la sala de motor grande. De las curvas de funcionamiento del fabricante de ventiladores, se escogen los que se muestran a continuación:

Para la sala de motores chicos a medianos, las mejores condiciones de operación van de 12,000 a 16,650 m<sup>3</sup> / h, de acuerdo a la fig. 3.1 que proporciona el fabricante.

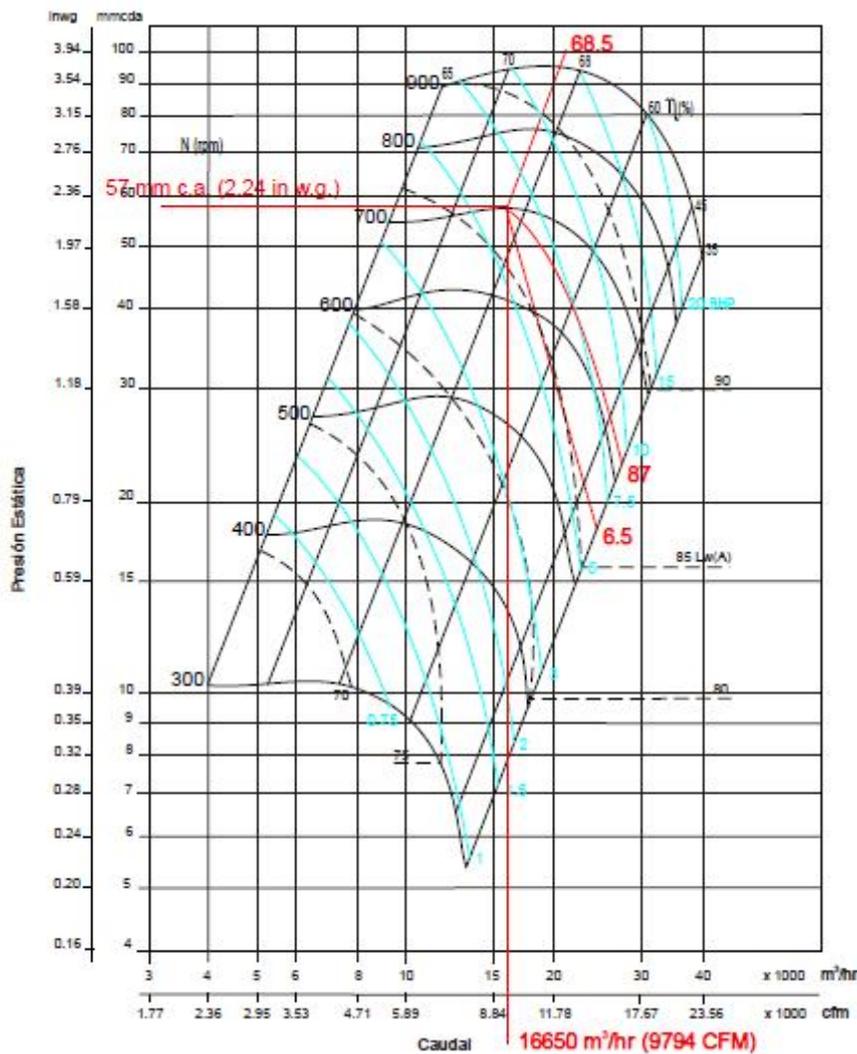
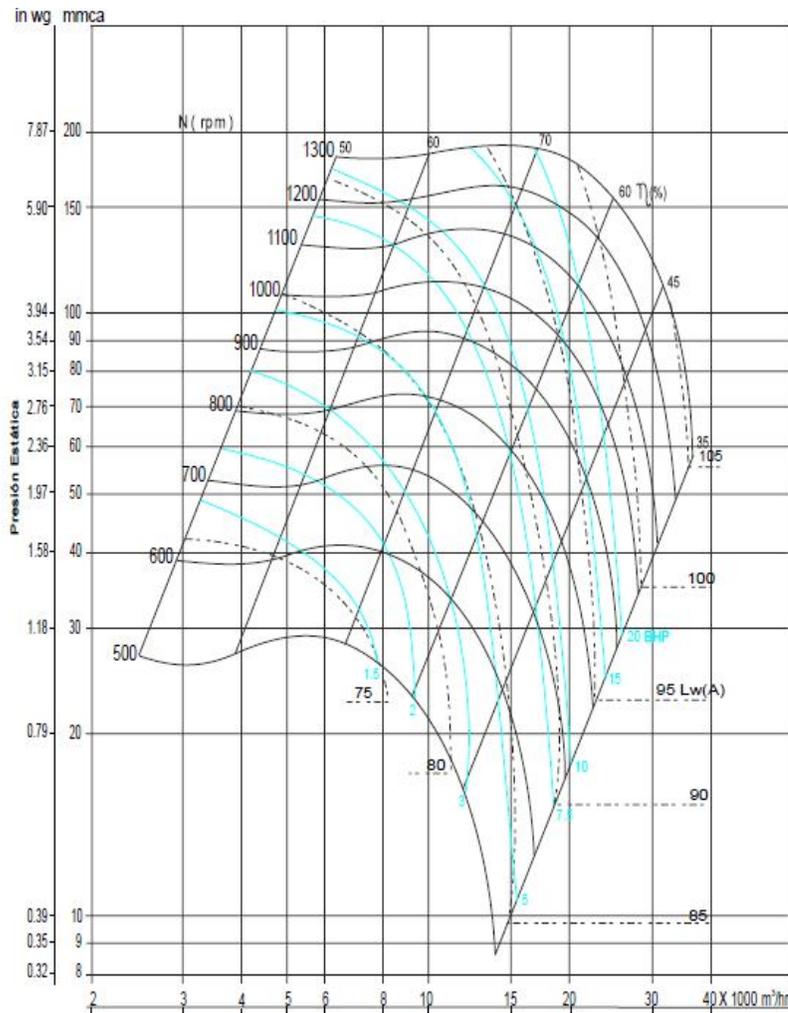


fig. 3.1 Curvas características de los ventiladores (impulsión y extracción) para la sala de motores ligeros a medianos (15).



**fig. 3.2** Curvas de los ventiladores para la sala de motores grandes (15)



Se puede observar la presión estática que es capaz de vencer (57 mm de agua), la eficiencia (68.5%), la potencia demandada (de 5 y 4 hp para impulsión y extracción, respectivamente), el ruido provocado (85 dB) y el régimen de giro (700 rpm) manejando un caudal de 16,650 m<sup>3</sup>/h.

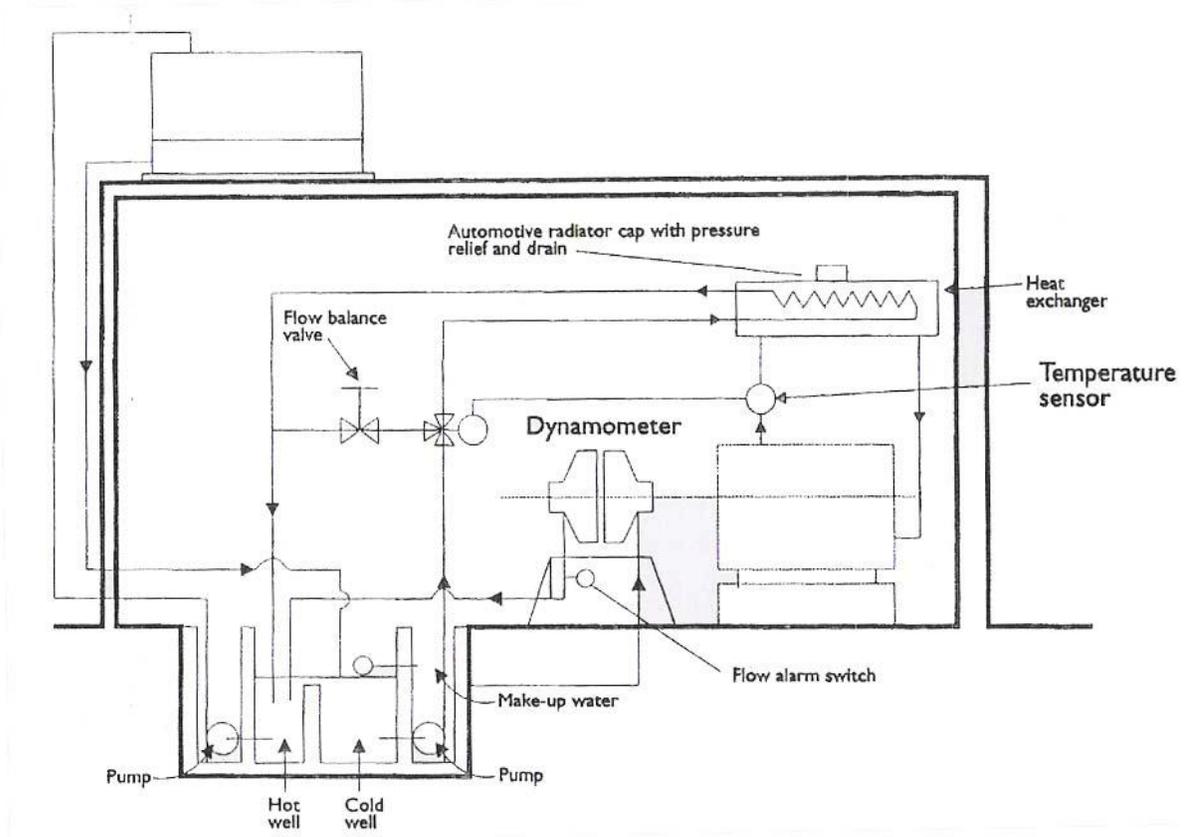
Las necesidades de la sala son menores, así que, si se reduce el caudal en un rango de 10 a 15,000 m<sup>3</sup>/h, se tendrán aproximadamente las mismas condiciones de operación, descritas anteriormente.

Para la sala de motores más grandes, se eligen extractor y ventilador de la fig. 3.2, donde la eficiencia cae ligeramente de la máxima que tiene este equipo, para el caudal máximo requerido (22,138 m<sup>3</sup>/h), sin embargo el caudal de extracción (18,500 m<sup>3</sup>/h) opera con la máxima eficiencia, ambos a 1200 rpm, venciendo una columna de agua de 150 mm de presión estática, generando un ruido entre 95 y 100 dB, y demandando una potencia de 20 y 15 hp aproximadamente, para impulsión y extracción respectivamente.

### 3.3 Circuito Hidráulico.

Los circuitos hidráulicos utilizados para refrigerar tanto el motor de pruebas como el freno respectivo, se puede establecer de tres maneras diferentes:

- Columnas de refrigeración: Se trata de la solución más sencilla y, también, más económica. Se coloca junto al motor en prueba y cuando este alcanza una determinada temperatura intercambia agua caliente por agua fría.
- Circuito abierto de refrigeración (sin presión): En la *Figura 3.3* se puede ver el diseño usual de este tipo de instalaciones.



*Figura 3.3 Esquema de un circuito abierto.*

Consta de una plataforma donde reposa un depósito para el agua dividido en dos zonas, la caliente y la fría (también es habitual utilizar depósitos independientes). Una bomba envía el agua caliente a un intercambiador de calor, que enfría el agua y la lleva hasta el depósito de agua fría. El agua, tanto para el freno como para el motor, se envía mediante una segunda bomba desde el depósito de agua fría y, después, se vuelve a llevar al depósito de agua caliente. En este tipo de instalaciones hay pequeñas pérdidas producidas en la torre de

refrigeración, con lo que resulta necesario disponer de una entrada adicional de agua (habitualmente de la propia red) para compensar dichas pérdidas.

- Circuito cerrado de refrigeración: este sistema puede ser utilizado en los frenos eléctricos. Se trata de un sistema hidráulico cerrado y puede ser necesario realizar un tratamiento al agua para cumplir con las especificaciones dadas por el fabricante del dinamómetro. El diseño debe garantizar un caudal constante a través del dinamómetro, independientemente de las variaciones de temperatura que se puedan producir.

### 3.3.1 Refrigeración del freno

Es de conocimiento general que, el agua es un fluido de trabajo extraordinario para refrigerar, entre otros usos, por ello se emplea en infinidad de instalaciones y equipos, su calor específico puede variar ligeramente con la temperatura (de 25 a 75°C, de 4.18 a 4.19) pero el valor que prevalece en el rango es de  $C_{H_2O} = 4.186 \frac{kJ}{kg K}$ , se puede apreciar una gran capacidad térmica para almacenar energía y transmitirla, tiene un valor bajo de viscosidad (comparada con otros fluidos), no es corrosiva y resulta sencillo disponer de ella.

La relación entre el caudal de agua necesario para disipar una determinada cantidad de calor, para el caso del freno hidráulico, viene dado por la ecuación 3.3, que se deduce nuevamente de un sistema termodinámico abierto bajo régimen permanente, como se ha explicado anteriormente.

$$Q_w = \frac{H_L}{C_{p,w} \cdot \rho_w \cdot \Delta T} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad \text{--- ec(3.3)}$$

*Donde:*

$C_{p,w}$ : *Calor específico del agua*

$\rho_w$ : *densidad el agua*

$H_L$ : *Potencia calorífica máxima a disipar del freno*

Para el caso en estudio se considera un salto térmico aproximadamente de 20° C, entre la salida de agua de refrigeración del freno y la entrada del mismo para cada una de las salas, es decir cuando se tiene un motor mediano y motor grande, por lo tanto se tiene:

$$(C_{p,w} = 4.186 \frac{kJ}{kg \cdot K})$$

$$\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$H_L = 200 \text{ kW para el caso de los motores medianos}$$

$$H_L = 375 \text{ kW para motores grandes}$$

Así que, de la ec. 3.3 se obtiene:

$$Q_w = \frac{200 [kW] \cdot 3600 [KJ]}{4.186 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 20 [K]} = 8.6 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 2.389 \frac{\text{litros}}{s}$$

$$Q_w = \frac{375 [kW] \cdot 3600 [KJ]}{4.186 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 20 [K]} = 16.125 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 4.48 \frac{\text{litros}}{s}$$

### 3.3.2 Refrigeración del motor

Para la refrigeración del motor, debemos tener en cuenta los datos que se han recopilado en la tabla 3.1, donde el valor del calor disipado por el agua de enfriamiento para el motor mediano, es el 27% del calor liberado por el combustible, y de 24% para el motor más grande, así que calculando los caudales respectivos para cada sala:

$$H_L = 0.27 (540) = 146 [kW] \text{ para la sala de motores chicos a medianos}$$

$$H_L = 0.24 (893) = 215 \text{ kW para motores grandes}$$

de esta forma,

$$Q_w = \frac{146 [kW] \cdot 3600 [KJ]}{4.186 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 20 [K]} = 6.278 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Para el motor grande, se tiene:

$$Q_w = \frac{215 [kW] \cdot 3600 [KJ]}{4.186 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 20 [K]} = 9.245 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

### 3.3.3 Torre de refrigeración

Las torres de enfriamiento son utilizadas en un gran número de instalaciones, tales como: plantas de energía, sistemas de aire acondicionado e industrias que generan grandes cantidades de calor residual.

Son utilizadas para evitar situaciones en las se rechaza al agua de refrigeración hacia lagos o ríos cercanos, y donde el suministro de agua de refrigeración provoca contaminación térmica ocasionando una preocupación seria.

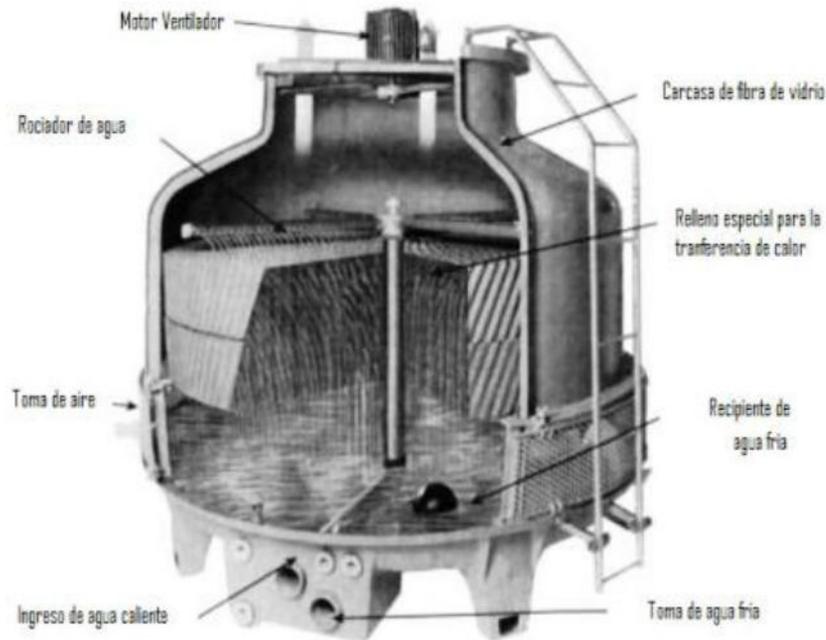
En tales casos, los residuos el calor debe ser rechazado a la atmósfera, con el agua de refrigeración re-circulante y sirviendo como medio de transporte para la transferencia de calor entre la fuente y sumidero (la atmósfera).

Una torre de refrigeración húmeda es, esencialmente, un sistema termodinámico semi-cerrado evaporativo, como se muestra en la *figura 3.4*.

En las torres de refrigeración se consigue la disminución de la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de refrigeración, mediante la transferencia de calor al aire por el interior de la torre. A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado “relleno”. El agua caliente entra a la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores. De esta forma se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico.

Una vez establecido el contacto entre el agua y el aire, tiene lugar la transferencia de calor por convección y la transferencia de vapor desde el agua al aire, con el consiguiente enfriamiento del agua debido a la evaporación. Teniendo en cuenta las condiciones del aire, cuando entra en la torre de refrigeración, sólo entre el 10% y el 15% del calor se elimina

por convección. Por otro lado, la masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido. Este calor latente es cedido al aire, obteniéndose un enfriamiento del agua y un aumento de la temperatura del aire.



*Figura 3.4 Imagen esquemática de una torre de enfriamiento típica para las salas de prueba mencionadas*

La forma más habitual de clasificar las torres de enfriamiento es según la forma en que se mueve el aire a través de éstas. Según este criterio, existen torres de circulación natural (el movimiento del aire sólo depende de las condiciones climáticas y ambientales) y torres de tiro mecánico (utilizan ventiladores para mover el aire a través del relleno). Estas últimas son las utilizadas en los bancos de ensayo de motores puesto que proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado, además de por ser de unas dimensiones mucho más reducidas que las torres de tiro natural.

El diseño propuesto es del tipo de tiro mecánico, como se muestra en la *figura 3.5*, para tal efecto y por el trabajo que he venido realizado anteriormente considere la temperatura de salida de la celda de 35°C. A continuación se presenta un análisis de la torre de enfriamiento en discusión.

La entalpia de saturación del agua a 22 [°C] es de 92.28  $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$  y de 146.64  $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$  a 35 [°C]

De Tabla de la carta psicométrica tenemos.

$$h_1 = 42.2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right] \text{ aire seco}$$

$$h_2 = 100 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right] \text{ aire seco}$$

$$\omega_1 = 0.0087 \left[\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg aire seco}}\right]$$

$$\omega_2 = 0.0273 \left[\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg aire seco}}\right]$$

$$v_1 = 0.842 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg de aire seco}}\right]$$

Observamos que la tasa de flujo de masa de agua líquida disminuye en una cantidad igual a la cantidad de agua que se vaporiza en la torre durante el proceso de enfriamiento. El agua que se pierde por evaporación debe ser recuperarse más tarde en el ciclo para mantener un funcionamiento estable.

a) La aplicación de balances de masa y energía en la torre de enfriamiento da.

*Balance de masa de aire seco:*  $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$

*Balance de masa del agua:*  $\dot{m}_3 + \dot{m}_{a1} \omega_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{a2} \omega_2$

o  $\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_a + (\omega_2 - \omega_1) = \dot{m}_{reposición}$

*Balance de energía:*  $\sum_{ent} \dot{m}h = \sum_{sal} \dot{m}h \rightarrow \dot{m}_{a1}h_1 + \dot{m}_3h_3 = \dot{m}_{a2}h_2 + \dot{m}_4h_4$

o  $\dot{m}_3h_3 = \dot{m}_a(h_2 - h_1) + (\dot{m}_3 - \dot{m}_{reposición})h_4$

*Resolviendo para  $\dot{m}_a$ :* 
$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_3(h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1) - (\omega_2 - \omega_1)h_4}$$

Sustituyendo :

$$\dot{m}_a = \frac{100 \left[ \frac{kJ}{s} \right] \cdot (146.64 - 92.28) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{\left[ (100 - 42.2) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \right] - \left[ (0.0273 - 0.0087) (92.28) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \right]} = 96.69 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Entonces, la velocidad de flujo de volumen de aire en la torre de refrigeración:

$$\dot{v}_1 = \dot{m}_a v_1 = 96.9 \left[ \frac{kg}{s} \right] \cdot 0.842 \left[ \frac{m^3}{kg} \right] = 81.6 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

b) La velocidad de flujo de la masa del agua de reposición necesaria se determina a partir de:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{reposición} &= \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) = 96.9 \left[ \frac{kg}{s} \right] \cdot (0.0273 - 0.0087) \left[ \frac{kg H_2O}{kg \text{ aire seco}} \right] \\ &= 1.80 \left[ \frac{kg}{s} \right] \end{aligned}$$

Tomamos en cuenta que más del 98 por ciento del agua de refrigeración es regresada al depósito para su recirculación.

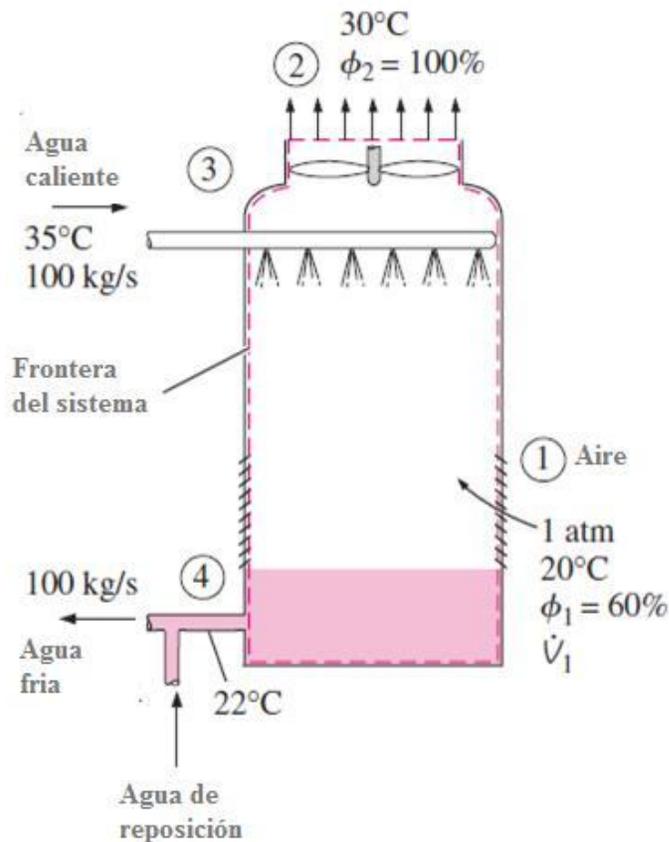


Figura 3.5 Torre de enfriamiento tipo de tiro mecánico

### 3.4 Medición del suministro y consumo de combustible

Los medidores de combustible permiten conocer el consumo que tienen los motores, siendo un parámetro de operación fundamental en el funcionamiento del motor. Este valor permite conocer otros que no se pueden medir directamente, incluso permite determinar la autonomía del vehículo en función de la capacidad del depósito, entre otros factores.

Existen dos tipos de medidores de consumo en función de su principio de funcionamiento: los volumétricos y los másicos.

#### 3.4.1 Medición del consumo

##### Método volumétrico

Es el método más sencillo de determinación de consumo de combustible en un banco de ensayos. Consiste en medir el tiempo necesario para consumir un volumen conocido de combustible. Por lo tanto, para determinar el consumo del motor bastará con una probeta graduada en paralelo con el depósito de combustible, una llave que permita dosificar el paso de uno u otro depósito y un reloj. Esto es posible realizarlo tanto mecánica como electrónicamente. El problema que presenta este tipo de medidores es que para conocer el consumo es necesario multiplicar el volumen por la densidad, siendo ésta función de la temperatura y variable entre diferentes muestras de combustible utilizado. Es por este motivo por lo que este tipo de ensayos se utiliza en bancos donde no es necesaria la precisión de la medida. El consumo viene determinado por la siguiente ecuación (Ec.3.4):

$$m_c = \frac{V}{\Delta t} \rho_c \left[ \frac{kg}{h} \right] \quad \text{--- ec(3.4)}$$

donde:

$\rho_c$ : densidad del combustible  $\left[ \frac{kg}{l} \right]$

$V$ : volumen de la probeta  $[l]$

$\Delta t$ : tiempo de vaciado de la probeta  $[h]$

### Medición de masa (Medidor gravimétrico)

Este método es utilizado para ensayos de certificación o cuando el banco de pruebas está destinado a la investigación y desarrollo del motor. Este método consiste en medir el tiempo empleado en consumir una masa conocida de combustible existente en una balanza de precisión. Por lo general el dispositivo se encarga de realizar la cuantificación del combustible y la determinación del tiempo que tarda en consumirse el mismo. La principal ventaja de dicho dispositivo radica en que la medición no se ve afectada por las variaciones de temperatura del combustible, que provocan también variaciones en su densidad.

Para medir el consumo se tiene:

$$m_c = \frac{M_0 - M_f}{\Delta t} \left[ \frac{kg}{h} \right] \quad \text{--- --ec(3.5)}$$

donde:

$M_0$ : masa inicial del combustible [kg]

$M_f$ : masa final del combustible [kg]

$\Delta t$ : tiempo de vaciado de la probeta [h]

En la actualidad existen medidores electrónicos que trabajan de forma continua, indicando el caudal másico instantáneo. Este tipo de medidores se llaman gravimétricos dinámicos.

### 3.5 Tanques de almacenamiento

El sistema más utilizado para el almacenamiento de combustibles, gasolina y diesel, para el motor de pruebas en las salas de ensayo es el de un recipiente rectangular, puesto que permite un mejor aprovechamiento del espacio con respecto al tanque cilíndrico. Éstos pueden ser simples o múltiples, puesto que en algunos casos como lo son las mezclas de combustible, gasolina-alcohol, diesel-biodiesel, etc. es necesario disponer de varios de ellos para alimentar al motor o a los vehículos de prueba.

En la *figura 3.6* se puede observar las características típicas de algún de estos tanques de almacenamiento. La figura mostrada es de un depósito de diesel de doble cuerpo, con una cara exterior que da robustez y seguridad al depósito interior.



### Composición de los depósitos

1. Carcasa metálica galvanizada
2. Depósito interior de una pieza sin soldaduras PEHD
2. Depósito exterior capaz de recoger el 100% del volumen
4. Indicador de nivel
5. Palet metálico
6. Indicador de fugas
7. Orificios conexión accesorios

Figura 3.6 Detalle de un depósito de diesel (ver anexo pág. 121)

#### 3.5.1 Alimentación de combustible

En el circuito del combustible hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- El sistema de alimentación es por gravedad, es decir normalmente los depósitos del combustible van colocados, empotrados en la pared por lo general, a determinada altura ( $2 \pm 0.3$  mnp).
- Cada línea de combustible que entra en la sala debe ir provista de una válvula automática conectada al sistema de paro automático para que dado el caso de alguna irregularidad en el funcionamiento del motor ésta se dispare y se interrumpa la alimentación de combustible hacia el motor.
- Considerar la necesidad de instalar diversos circuitos de combustible. Es necesario disponer de un buen sistema para el vaciado de los circuitos a la hora de cambiar el tipo de combustible, puesto que en caso contrario podrían quedar impurezas. Para minimizar este riesgo es necesario que el circuito común esté lo más próximo posible al motor.
- Disponer en un mismo cuadro las válvulas para la selección del combustible a utilizar.
- Es necesario disponer de un medidor de nivel en cada uno de los depósitos para poder prever las recargas.

Para realizar la selección del depósito del combustible se considera una autonomía de 4 horas a plena carga. Y para el caso en estudio, las salas de los motores arriba mencionados en la *tabla 3.1*, motor mediano de 200 kW de potencia y motor grande de 375 kW de potencia, el consumo del combustible a plena carga es; 0.0127 Kg/s y 0.02086 Kg/s respectivamente.

$$\rho_{diesel} = 820 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] = 0.82 \frac{kg}{litro}$$

$$m_{diesel} = \left( 0.0127 \frac{kg}{s} \right) (4 h) \left( 3600 \frac{s}{h} \right) = 183 kg$$

$$V_{diesel} = \frac{m_{diesel}}{\rho_{diesel}} = \frac{183}{0.82} = 223 \text{ litros}$$

$$V_{diesel 2} = \frac{(0.02086)(4)(3600)}{0.82} = 366 \text{ litros}$$

Para el motor de 200 kW se necesitaría un recipiente de 225 lt aproximadamente para 4 horas de trabajo continua y para el motor de 375 kW se necesitaría un recipiente de 370 lt aproximadamente. Sin embargo los tanques de día se sugiere que sean de 50 lt debido a que como se menciona anteriormente van empotrados en la pared. Es recomendable implementar un sistema de llenado automático hacia los tanques de día desde la sala de control.

**Nota** La medición de la humedad relativa es importante en las salas de ensayos, puesto que este parámetro influye en el comportamiento del motor, en caso de tener una baja humedad del aire (baja concentración de vapor de agua) hay más cantidad de oxígeno y esto incrementa la potencia del motor. En caso contrario, con una humedad del aire superior, la potencia decrece. Por esta razón es importante que cada una de las salas cuente con una estación meteorológica para estar monitoreando este parámetro.

## Capítulo 4 Acondicionamiento acústico del Laboratorio

### 4.1 Introducción

El sonido se debe a fluctuaciones de ondas de presión en el aire y son registradas por nuestro oído y el sistema nervioso. Se propaga en forma de ondas que se extienden hacia afuera de la fuente que la produce, de manera uniforme, en todas direcciones y decreciendo en amplitud a medida que se aleja de dicha fuente. Posee tres cualidades principalmente: intensidad, tono y timbre.

El sonido adquiere características de contaminación cuando resulta dañino para la salud o tiene repercusiones en la calidad de vida. De tal forma que el ruido es un sonido o un conjunto de sonidos que el receptor o los receptores no son capaces de identificar o comprender.

Particularmente, el ruido es un sonido molesto, para distinguirlo de los sonidos agradables. No deseado o molesto, van a depender de la situación y ocasión en que son percibidos. Se clasifica de diferentes formas y básicamente son:

Ruido de banda amplia, son los sonidos que se producen en los lugares en donde existe una variedad indefinida de estos es decir se encuentran mezclados.

Ruido blanco, es el sonido que tiene la misma frecuencia y el mismo orden de magnitud, distribuidas exclusivamente dentro del intervalo audible.

Ruido de fondo, es el sonido que se escucha en un segundo plano y su percepción debe permitir entender los sonidos cercanos.

El umbral auditivo es la intensidad mínima de percepción, varía en cada persona con la edad y depende de la frecuencia del sonido. La máxima intensidad que puede soportar el oído humano sin dañarse se denomina umbral del dolor varía también en cada persona, es independiente de la frecuencia del sonido y en promedio se manifiesta partir de los 140 decibeles.

El efecto del ruido en las emociones humanas va desde insignificante, pasando por molesto, hasta psicológicamente perturbador. Fisiológicamente el ruido puede ser inocuo o hasta doloroso y físicamente dañino. El ruido también puede tener efectos económicos al disminuir la eficiencia de un trabajador, afectando así su rendimiento. Existen algunas características que diferencian al ruido de otros contaminantes, como el que este no deja

residuos, por lo general no tiene efectos acumulativos, es de efecto local y no se traslada de medios.

El ruido ambiental producido por las actividades humanas ha aumentado de forma espectacular en los últimos decenios, extendiéndose en el tiempo y en el espacio, especialmente en los grandes centros urbanos densamente poblados.

Durante los últimos veinte años la cantidad total de energía acústica producida se ha duplicado en los países miembros de la OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico). Este aumento está estrechamente ligado al incremento de la población en zonas urbanas, a la mecanización de la mayor parte de las actividades y a la utilización creciente de vehículos a motor para el transporte de personas y mercancías.

Según fuentes de la OCDE, la circulación de automóviles se ha triplicado entre los años 1990 y 2010 y el tráfico aéreo se ha multiplicado un 10 % en el mismo período. Este crecimiento del parque vehicular y su uso generalizado han originado un incremento muy importante de la contaminación ambiental por ruido, presentándose con mayor incidencia principalmente en zonas urbanas, extendiéndose posteriormente a las zonas conurbadas y en la actualidad en algunos casos a las áreas rurales.

El incremento del ruido ambiental unido a que cada vez es mayor la población que tiene que soportarlos, sobre todo en el medio urbano, ha dado lugar a que el ruido sea considerado como uno de los contaminantes más molestos y que más directamente inciden sobre el bienestar de los ciudadanos.

La exposición al ruido ambiental es causa de preocupación en la actualidad por las graves molestias que origina y por sus efectos dañinos sobre la salud, sobre el comportamiento de los individuos, sobre las actividades del hombre, así como las consecuencias psicológicas y sociales que conlleva.

La población en general está expuesta a unos niveles de ruido que oscilan entre los 35 y los 85 decibeles (dB (A)), pero no todos los individuos de la población perciben la molestia causada por el ruido de la misma forma; ello se debe tanto a las propias condiciones físicas del ruido como a las complejas reacciones subjetivas, que no permiten prever de antemano la importancia de las molestias para una persona determinada. No obstante, estudios realizados muestran que por debajo de los 45 dB (A) nadie se siente molesto; cuando el ruido alcanza los 55 dB (A) un 10% siente molestias y todas las personas las sienten por encima de los 85 dB (A).

## 4.2 Características del ruido.

Las ondas mecánicas con frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz son especialmente importantes, pues causan la sensación de audición en el ser humano, por lo que se denominan ondas sonoras.

La mayoría de los sonidos que escuchamos se transmiten a través del aire, sin embargo, el sonido puede también propagarse en fluidos y sólidos. De manera que, cualquier perturbación producida en el seno de un medio homogéneo, se transmite a través de éste, llegando a alcanzar al cabo del tiempo a todos los puntos de una superficie esférica con centro en el punto perturbado. Cuando la dirección del movimiento de las partículas en el medio es perpendicular a la dirección de propagación, se dice que las ondas son transversales.

En aquellos casos, donde el movimiento de las partículas en el medio tiene lugar en la misma dirección de la propagación, se dice que las ondas son longitudinales. Las ondas longitudinales representan un cambio de volumen, pudiéndose propagar en cualquier medio, tanto fluido como sólido, dado que ambos medios poseen elasticidad de volumen, un caso típico son las ondas sonoras.

Las ondas transversales sólo pueden propagarse en los medios sólidos, pues en los fluidos no se es posible, al no haber ninguna fuerza que se oponga al desplazamiento de unas moléculas sobre otras, no existen las necesarias reacciones elásticas que tienden a llevar de nuevo la partícula desplazada a su posición de equilibrio. Ejemplos típicos son la transmisión de ondas electromagnéticas y las ondas en los sólidos.

El “frente de onda”, en la propagación de un movimiento ondulatorio es definido como el lugar geométrico de todos los puntos del medio que están en el mismo estado de vibración, los cuales se hallan formando una superficie.

Las ondas acústicas planas pueden definirse como ondas progresivas libres unidimensionales que viajan en dirección “x” y que sus frentes de ondas son planos infinitos perpendiculares al eje “x” y paralelos entre sí en todo momento.

En la *Figura 4.1*, se representa el movimiento periódico del émbolo en el interior de un tubo rígido y su repercusión en el fluido, produciendo a lo largo del eje longitudinal de dicho tubo, pequeñas variaciones con respecto a la posición de equilibrio de la presión y la densidad.

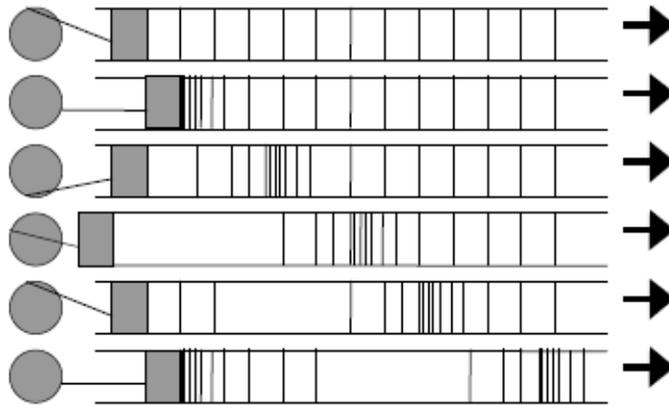


Fig. 4.1 Generación de ondas de presión <sup>(16)</sup>.

Si estudiamos el aire en la proximidad del pistón observamos una serie de compresiones y expansiones producidas por el movimiento del émbolo, generador de la onda sonora, con una frecuencia que vendrá definida por la velocidad de oscilación del mismo. Cuando la oscilación se repite continuamente, el movimiento va completando ciclos sucesivos.

#### 4.2.1 Frecuencia (f)

Se denomina frecuencia al número de ciclos o vibraciones por segundo característicos de una onda. Generalmente la frecuencia se mide en “Hertz”, abreviadamente “Hz”, siendo 1 Hertz = 1 ciclo/s. El tiempo transcurrido en un ciclo se conoce por “período”, que se simboliza por “T”.

$$f = \frac{1}{T}$$

El sonido tiene un margen muy amplio de frecuencia, sin embargo se considera que el margen audible por un ser humano oscila, como máximo, entre 20 Hz y 20.000 Hz. En baja frecuencia, las partículas de aire vibran lentamente produciendo tonos graves, mientras que en alta frecuencias vibran rápidamente originando tonos agudos.

A menudo la frecuencia suele venir referida en términos de frecuencia angular. Para una frecuencia de vibración f, le corresponde una frecuencia angular  $\omega$ , dada por:

$$\omega = 2\pi.f$$

### 4.2.2 Velocidad del sonido

La velocidad de propagación de las ondas sonoras depende de la masa y de la elasticidad del medio en el que se propagan.

Para el aire, la elasticidad es función de la presión atmosférica, la cual a su vez está relacionada con la temperatura y las condiciones higrométricas. Para condiciones normales de transmisión del sonido en el aire, la expresión de cálculo de la velocidad de transmisión de una onda viene dada por:

$$c = \sqrt{\frac{1.4 p_0}{\rho}}$$

$c$  : velocidad del sonido en  $\frac{m}{s}$

$p_0$  : presión atmosférica en  $\frac{N}{m^2} = Pa$

$\rho$  : densidad del aire en  $3 \text{ kg m}^{-3}$

$$\gamma = 1.4 = \frac{C_p}{C_v}$$

Para  $0^\circ \text{ C}$  y 1 atmósfera, la velocidad de transmisión del sonido en el aire es de 331,20 m/s. Para otras condiciones de temperatura, la velocidad de transmisión viene dada por la expresión:

$$c = 331.2 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Para condiciones normales, la velocidad del sonido es prácticamente 340 m/s.

### 4.2.3 Longitud de onda

Se define por “longitud de onda”,  $\lambda$ , a la distancia entre dos picos máximos sucesivos de presión o entre dos picos mínimos sucesivos de presión de una onda plana. La relación de  $\lambda$ ,  $c$  y  $f$  viene dada por la expresión:

donde  $k$  es el “número de onda”.

$$\lambda = \frac{c}{f} = c.T = \frac{2\pi.c}{\omega} = \frac{2\pi}{k}$$
$$c = \lambda.f$$

#### 4.2.4 Amplitud de onda

La amplitud se define como el desplazamiento máximo que experimenta una partícula en vibración.

La amplitud de vibración del sonido ambiental es prácticamente despreciable, del orden de  $10^{-7}$  mm. Las amplitudes más pequeñas corresponden a sonidos que son prácticamente imperceptibles, mientras que las amplitudes más altas corresponden a sonidos molestos.

#### 4.2.5 Decibeles

Dado que el sonido son variaciones de la presión del aire debido a que las partículas que lo forman están vibrando, las unidades de medida del sonido serán las unidades de presión, que en el Sistema Internacional es el Pascal ( $Pa$ ).

$$Pa = \frac{N}{m^2}$$

Sin embargo, el oído humano registra presiones que oscilan entre  $20 \cdot 10^{-6} Pa$  y  $100 Pa$ , es decir con una relación entre ellas mayor de un millón a uno, por lo que la aplicación de escalas lineales no es viable. En su lugar se utilizan las escalas logarítmicas cuya unidad es el decibelio (dB) y que tiene la siguiente definición:

$$n = 101 \log \frac{R}{R_0}$$

$n$ : número de decibeles

$R$ : magnitud que se está midiendo [Pa]

$R_0$ : magnitud de referencia [Pa]

Otro motivo para utilizar esta escala logarítmica se basa en el hecho de que el oído humano tiene una respuesta al sonido que se parece a una función logarítmica, es decir, la sensación que se percibe es proporcional al logaritmo de la excitación recibida.

#### 4.2.6 Presión sonora y nivel de presión sonora

Se define como la variación de la presión atmosférica en un punto, consecuencia de la propagación a través del aire de una onda sonora. Las variaciones de presión producidas por la propagación de una onda sonora a través del aire son muy pequeñas comparadas con la presión estática atmosférica. La mínima presión audible es de  $20 \cdot 10^{-6} Pa$ , y esta presión está superpuesta a la presión ambiente atmosférica que es del orden de  $10^5 Pa$ .

El concepto de nivel de presión sonora, NPS, o SPL en inglés, se define como:

$$L_p = NPS(dB) = 20 \log \frac{p_m}{p_0}$$

$p_m$ : valor cuadrático medio de la presión que estamos midiendo.

$p_0$ : presión de referencia ( $20 \cdot 10^{-6} Pa$ )

#### 4.2.7 Potencia sonora y nivel de potencia sonora

La potencia sonora es una propiedad física de la fuente de ruido y constituye el parámetro más importante.

El nivel de potencia sonora es una medida de la energía acústica emitida por la fuente sonora, y se define como:

$$L_p = SWL(dB) = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

$W_0$ : potencia de referencia ( $W_0 = 10^{-12} W$ )

#### 4.2.8 Intensidad sonora y nivel de intensidad sonora

La intensidad sonora o flujo de energía es un vector que describe la dirección y el flujo neto de energía acústica en una posición dada. Por tanto, sus unidades son energía por unidad de tiempo y por unidad de área, es decir, potencia sonora por unidad de área:

$$\frac{W}{m^2}$$

La intensidad sonora es una magnitud vectorial (módulo y dirección) en contraposición a la presión sonora que es una magnitud escalar (módulo).

Analíticamente, responde a la expresión:

$$I(t) = p(t) \cdot u(t)$$

$I(t)$  : vector intensidad sonora.

$p(t)$  : presión sonora.

$u(t)$  : vector velocidad de la partícula en movimiento.

Una de las propiedades de la intensidad sonora es que permite distinguir entre la parte del campo sonoro que se propaga (parte activa), y la que no se propaga (parte reactiva), propiedad que la presión sonora no posee.

Así, un medidor de intensidad sonora sólo responde a la parte activa ignorando la parte reactiva del campo sonoro.

El nivel de intensidad sonora se define como:

$$L_i = NI(dB) = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$I$  : intensidad sonora medida.

$I_0$  : intensidad de referencia ( $10^{-12} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ ).

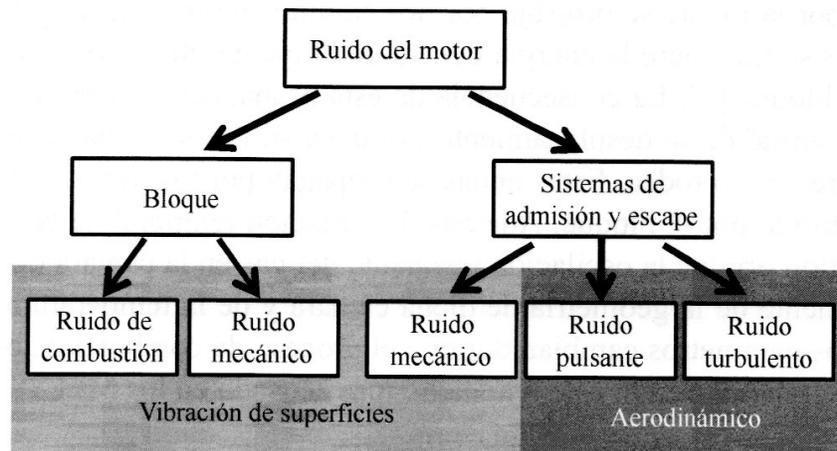
### 4.3. Ruido en motores de combustión interna alternativos.

Tradicionalmente los vehículos de uso privado, en su mayoría, han funcionado con motores de gasolina. Los motores Diesel pequeños no eran suficientemente competitivos, aunque el combustible fuera considerablemente más barato, debido fundamentalmente al mayor costo en comparación con un coche de gasolina de la misma potencia y las mismas prestaciones, y al mantenimiento, también más costoso que en coches con motor de gasolina (además de las emisiones de ruido y partículas).

Al entrar en vigor nuevas normativas medioambientales sobre ruido y emisiones, se empezó a tomar en serio este tema en los motores diesel, ya que se buscaba el hacerlos más competitivos.

A principios de la década de los 90 se empezaron a comercializar de forma masiva los motores diesel de inyección directa en turismos, ya que el desarrollo de nuevas tecnologías había permitido un gran avance en cuanto a consumos y rendimientos. Los nuevos motores,

llamados Turbo Diesel de Inyección Directa, ya que también llevaban incorporado un turbocompresor para aprovechar la energía de los gases de escape, tenían una eficiencia térmica de más del 40%, y en cuestión de consumo eran más económicos que los diesel de inyección indirecta y a los motores de gasolina. Sin embargo, estos motores son más ruidosos debido principalmente al mayor gradiente de presión durante la combustión, siendo la diferencia más notable, fundamentalmente, a carga parcial.



#### 4.2 Fuentes de ruido en motores (17)

La aparición de un nuevo sistema de inyección, conocido como "common rail", el cual ha permitido que las prestaciones del motor se optimicen de manera espectacular, ha permitido solventar en cierto grado el problema del ruido a bajo régimen del motor; las características principales de este sistema que afectan al ruido son, por un lado, el control de la presión de inyección, y por otro, la introducción de la preinyección, una inyección piloto antes de la inyección principal que permite que la cámara de combustión tenga condiciones favorables para la combustión principal y hace que el aumento de presión no sea tan brusco durante la combustión.

La estructura y funcionamiento de los motores de combustión interna alternativos otorgan a sus estructuras características especiales en lo concerniente a mecanismos de generación de vibraciones, y el ruido generado por las mismas, figura 4.2. El sonido emitido por los motores diesel se caracteriza por un ligero golpeteo, que lo diferencia claramente del motor de gasolina, el cual opera con un proceso de combustión de la mezcla más progresivo que el de los motores diesel. Además de este sonido producido por el proceso de combustión, el ruido de origen mecánico también desempeña un papel importante en la caracterización del nivel acústico total emitido por el motor. Las fuerzas que producen estas categorías

diferenciadas de ruido (ruido de combustión y ruido mecánico) tienen orígenes y características diferentes. La fuerza producida por los gases de combustión se puede considerar como la fuerza de excitación directa más importante. Adicionalmente a la acción de los gases de combustión, existen otras fuerzas de excitación indirecta aplicadas a la estructura del motor. Estas fuerzas dependen de la fuerza de excitación, y están determinadas por la geometría del motor. Un ejemplo de este tipo de fuerzas sería la excitación creada por el impacto lateral de los pistones en las paredes de los cilindros tras sobrepasar el punto muerto superior, durante la fase de combustión. Finalmente, la tercera forma de excitación importante se crea por las denominadas fuerzas secundarias, las cuales no están relacionadas con las fuerzas de excitación directa. Este tipo de fuerzas son las generadas en los trenes de engranaje, bombas de inyección, bombas de aceite, alternadores y articulaciones en general, quedando abarcadas por el conjunto de fuerzas generadoras de ruido mecánico.

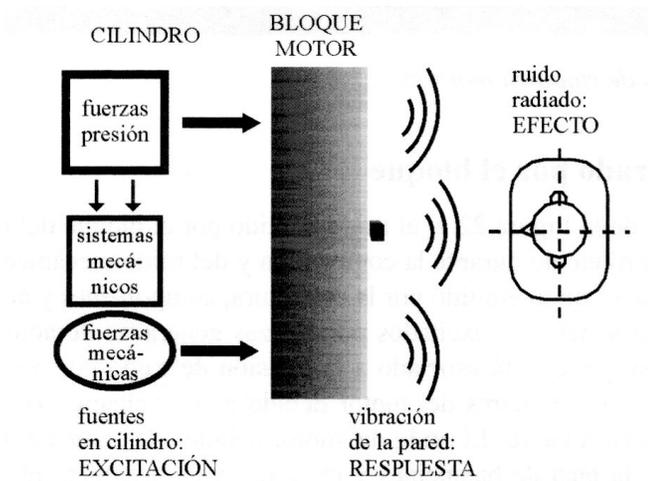


Figura 4.3 Mecanismos básicos de emisión del ruido de combustión (18).

Los tres tipos de fuerzas descritos, figura 4.3, excitarán la estructura básica resistente del bloque del motor, forzándolo a que vibre, y por lo tanto a emitir ruido. El nivel acústico producido y su espectro dependen tanto del tipo de fuerza excitadora como de la susceptibilidad de la estructura a vibrar según sus modos naturales de vibración. Estos modos básicamente son; la velocidad de giro del cigüeñal, el tamaño del motor y la carga a soportar.

#### 4.3.1 Efecto del régimen de giro del motor en el ruido resultante

De forma generalizada los motores pequeños, a pesar de su elevada velocidad de giro, tienen un nivel de ruido similar a los grandes motores, a bajo régimen.

Un factor importante para comparar el motor como fuente de ruido es el rango de nivel de ruido sobre su rango de operación habitual, esto es, desde 1000 rpm hasta la velocidad máxima.

#### 4.3.2 Efecto del tamaño del motor sobre el ruido.

El ruido que emite un motor podría pensarse que va asociado al tamaño, es decir que conforme más grande sea un motor el ruido va a ser mayor, pero no siempre sucede así. Primero habrá que anotar que los motores de encendido provocado debido a que la combustión es suave y progresiva el ruido generado es de baja frecuencia, por debajo de los 1000 Hz, y en los motores de encendido por compresión la combustión es premezclada el ruido generado oscila en la frecuencia media, por debajo de los 10 kHz.

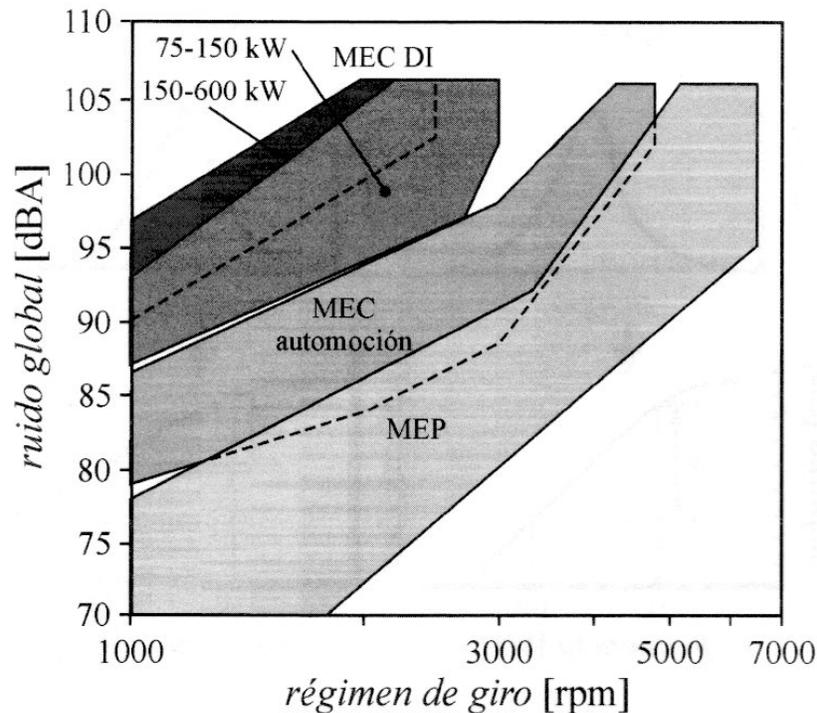


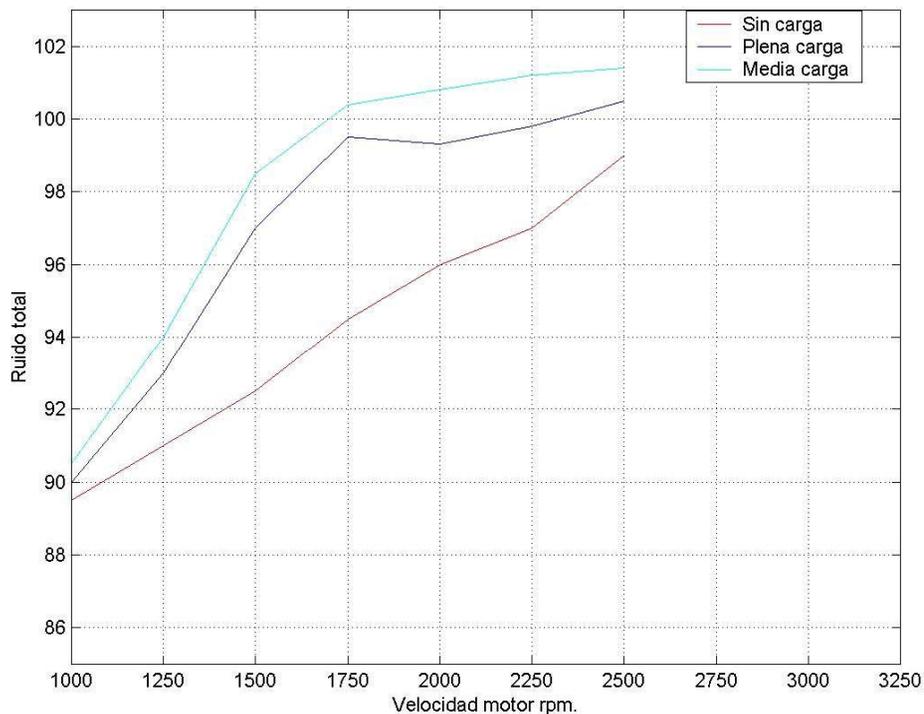
Figura 4.4 Efectos del régimen de giro y el tamaño del motor sobre el ruido emitido (19).

Aparte del sistema de combustión y el tamaño de motor, el régimen de giro es el parámetro de funcionamiento del motor que tiene una mayor influencia sobre el ruido de combustión. El grado de carga tiene un efecto menos significativo sobre el ruido emitido. En la figura 4.4. se muestra un mapa con rangos de niveles de ruido de distintos tamaños y prestaciones.

### 4.3.3 Efectos de la carga del motor

La carga influye en el ruido del motor a través de variaciones del tiempo de inyección al variar la carga en motores diesel, y a través del tiempo de inyección en motores gasolina. La variación total de ruido a una velocidad determinada rara vez supera los 4 dB, independientemente de la carga. La *figura 4.5* muestra la variación de ruido con la carga para un motor diesel con aspiración natural.

Una vez explicados los efectos que tiene el tamaño, la carga y el régimen de giro sobre la generación de ruido dentro del bloque del motor, se puede hablar, para el motor en general, e independientemente de estos 3 parámetros, de la influencia que tiene la estructura y la geometría del motor en la generación de ruido. En cuanto a la estructura del motor, el ruido emitido está provocado por la vibración de varios elementos estructurales del motor, y se encuentra en la banda de 100 a 10000 Hz.



*Figura 4.5 Ruido de motor a diferentes cargas (20).*

Los elementos principales de un motor están divididos en 4 grupos:

1. Cámara de combustión.

2. Partes móviles, las cuales se mueven libremente dentro del bloque, como pueden ser el cigüeñal, árbol de levas, pistones y bielas.
3. Bloque motor, cilindros, cárter y culata.
4. Tapas y accesorios (tapa del árbol de levas, bomba inyección, bomba del agua, etc).

Es posible simplificar la estructura del motor, para el estudio del ruido, en dos partes básicas:

- Estructura interna del bloque, es decir, pistón-biela-cigüeñal.
- Estructura externa del bloque.

Además de los efectos estructurales del motor, están los efectos debidos a la geometría del mismo, los cuales tienen también una influencia significativa dentro de la generación de ruido. Dentro de la geometría del motor se tienen en cuenta fundamentalmente, el número de cilindros y la relación longitud-radio del pistón.

#### 4.3.4 Efecto del número de cilindros

Si se compara espectros de motores con diferente número de cilindros se aprecia que la forma de los mismos difiere, ya que las frecuencias naturales de cada uno son diferentes;

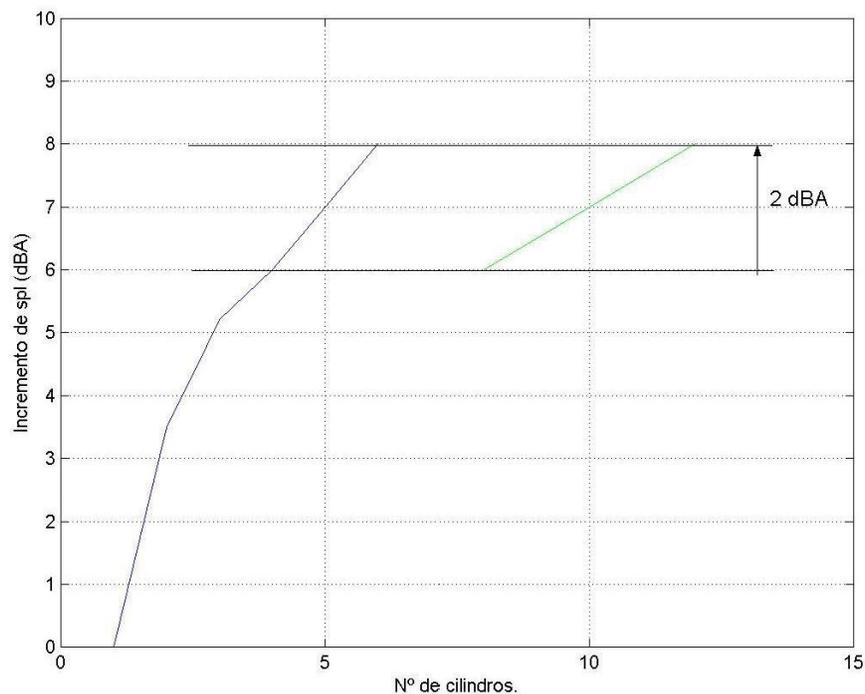


Fig.4.6 Efecto teórico del número de cilindros con el nivel de ruido radiado (20).

sin embargo, el nivel total en el espectro de ruido se diferencia entre ellos en 2 dBA como máximo, *figura 4.6*.

Por lo tanto se puede concluir que el hecho de añadir cilindros al motor incrementará la potencia del mismo, y el incremento del ruido cuando mucho es del orden de 2 dBA.

#### **4.3.5 Relación longitud-radio del pistón.**

Una relación longitud-radio menor que 1 es una opción muy buena desde el punto de vista de las prestaciones del motor, ya que se consiguen motores más pequeños con la misma potencia que si esta relación es mayor que 1. Pero, sin embargo, el incremento de ruido suele ser bastante más elevado, a pesar de su pequeño tamaño. Por ejemplo, la diferencia entre 2 motores con la misma potencia y relaciones  $S/B=2$  o  $S/B=0.5$  es de 5 dBA aproximadamente.

Después de estas observaciones se puede concluir que el ruido dependerá básicamente de 2 parámetros, la velocidad de giro del motor y el diámetro del cilindro.

#### **4.3.6 Vibración de la estructura del motor.**

Las presiones alcanzadas por en el cilindro durante el proceso de combustión afectan a la culata y, a través del mecanismo de la biela, llegan a afectar al cigüeñal, produciendo fuerzas y tensiones que, a su vez, afectan al bloque en su conjunto. El motor vibra debido a las fuerzas aplicadas, y estas vibraciones son las que provocan el ruido. Se sabe que pequeñas amplitudes de vibración hacen aumentar el ruido hasta niveles altos. Por ejemplo, un motor diesel de 4 cilindros en línea y 2 litros de desplazamiento volumétrico, cuya superficie tenga una media de amplitud de vibración de 1 micrón a 1000 Hz produce un nivel de ruido de aproximadamente 100 dB a un metro del mismo.

Tratando el tema concreto de la vibración en la estructura del motor y su respuesta, se va a comentar diferente rigidez existente en los distintos componentes del motor. Todos los diseños de motores convencionales son similares, al igual que su construcción. Los motores en línea consisten en una caja dividida en compartimentos;

La parte superior de la caja se cierra con la culata, que se puede considerar rígida, y la parte inferior se cierra por un "relativamente flexible" cárter de aceite. Además, en la parte superior y por la mitad del bloque hay apoyos horizontales que sujetan los cilindros. Aunque estos apoyos son bastante gruesos, su rigidez se ve disminuida por el radio del

cilindro. Como su estructura es flexible a torsión sobre un eje paralelo al cigüeñal, principalmente a causa del cárter de aceite, no es suficientemente rígido para "cerrar la caja" efectivamente. Considerando el motor como una viga, es mucho más rígido en el plano vertical que en el horizontal.

Los motores con cilindros colocados en V y con pistones opuestos consisten en dos ramas de cilindros en línea "siamesas". En el caso de motores en V hay una pequeña diferencia entre la rigidez horizontal y vertical, y la rigidez global del motor varía bastante de unos diseños a otros.

Los motores se construyen con una amplia variedad de formas y tamaños; por lo tanto, la respuesta de los diferentes diseños a una presión de cilindro determinada sufre variaciones considerables.

Se va a enumerar a continuación varios de los efectos de las variables de diseño de motores en línea en las características de las vibraciones.

#### **4.3.7 Cilindros con camisa húmeda y seca.**

Si se considera un motor en línea, se puede deducir que la parte inferior del cárter sólo tiene una pequeña rigidez lateral. La rigidez es independiente del hecho de considerar o no los soportes como parte del bloque del cilindro. Los bloques de camisa húmeda tienen una rigidez mayor que los de camisa seca. Esto hace que la vibración sea mayor que en los cilindros de camisa seca. La mayor diferencia se aprecia en el primer modo de vibración del bloque.

#### **4.3.8 Pistones con falda larga.**

Los pistones con falda larga se extienden por debajo del nivel del cigüeñal. Observando estudios a diferentes frecuencias, en concreto a 250 Hz y a 1250 Hz, se observa que a 250 Hz el bloque con falda larga presenta, en general, un mayor nivel de ruido. A mayor frecuencia, 1250 Hz, el nivel de ruido del pistón con falda larga es claramente superior.

En la *figura 4.7* podemos ver la diferencia entre estos dos pistones. El de la izquierda pesa más por lo tanto produce más roce en las paredes del cilindro, pero será más estable en su interior y será "más seguro". El de la derecha se le ha recortado la falda, por lo tanto se le ha quitado peso, produce menos roce pero oscila más. La falda con una mayor superficie le sirve de apoyo en el movimiento de la biela que hace subir y bajar el pistón.



*Figura 4.7 Pistón de falda larga y Pistón de falda corta*

#### **4.3.9 Motores con o sin apoyo en el cigüeñal.**

Hay diferencias significantes en los niveles de ruido entre los motores con apoyo en el cigüeñal y sin él, las cuales se pueden atribuir a sus características de diseño. La mayor diferencia en la utilización de apoyos es que reduce drásticamente el nivel de vibración en el rango de frecuencias de 1000 a 2000 Hz.

#### **4.3.10 Vibración de las cubiertas del motor.**

La misión de las tapas o cubiertas es cubrir los mecanismos de trabajo del motor, y contener tanto al agua como al aceite. Normalmente no se incluyen dentro de los elementos resistentes del motor, y no contribuyen al desarrollo de potencia en el mismo.

Dichas cubiertas se diseñan básicamente de forma que se tenga acceso a las partes del motor que necesiten mantenimiento durante su funcionamiento: árbol de levas, correa de distribución, cojinetes, etc. Cuando se construyen estas cubiertas, se utilizan materiales que, aunque no sean de la misma calidad que el bloque, tengan suficiente resistencia para no estropearse fácilmente, que soporten las temperaturas de trabajo, y que se puedan sellar bien para evitar fugas. Se suelen utilizar 2 tipos de materiales, metal laminado y prensado, o bien metal fundido. Los metales son ligeros, como aluminio o magnesio. El hecho de usar estos materiales hace que el nivel de vibración sea mayor.

A pesar que desde hace años se piensa que las cubiertas constituyen una de las principales fuentes de radiación de ruido, y que se podrían buscar diseños que lo redujeran, lo cierto es que en la mayoría de los casos no se toma en consideración a la hora de diseñar un motor.

La vibración es transmitida a las cubiertas desde la estructura del motor. Las características de las vibraciones de la estructura controlan las características de vibración de las cubiertas.

La zona donde se amplifican más las vibraciones del bloque es en el cárter, donde se deposita el aceite, puesto que se trata de una zona menos rígida, como se comentará a continuación, donde se va a realizar una exposición de la valoración de la rigidez horizontal del bloque y de las características de la vibración en el mismo.

#### 4.4 Ruido en el motor Diesel.

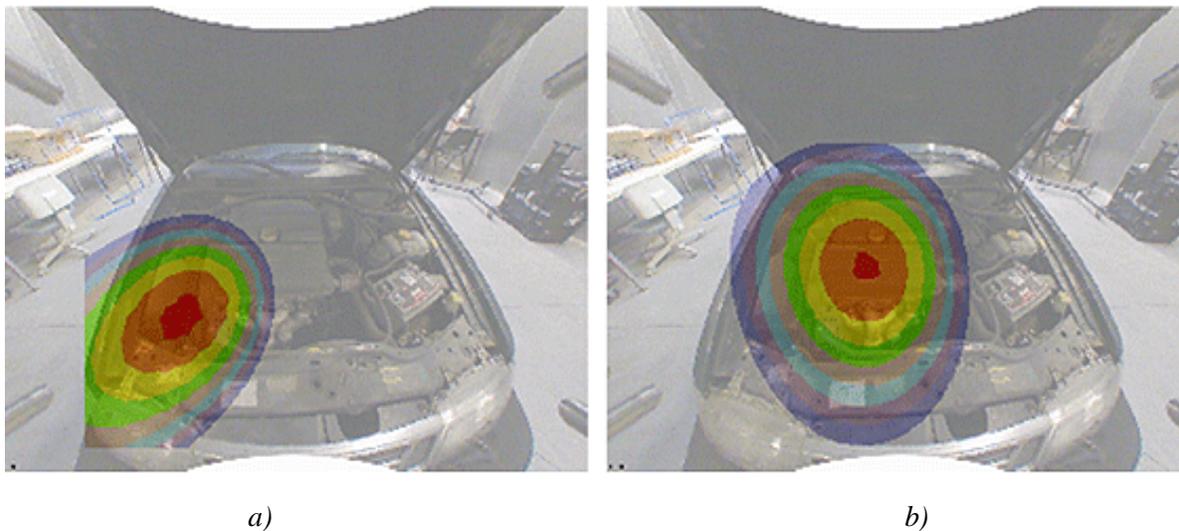


Figura 4.8 Localización exacta de fuentes de sonido en un motor, de 925 Hz a) y 1250 b) (21).

El ruido y la vibración han llegado a ser un asunto clave en el desarrollo de nuevas tecnologías en el mundo del automóvil, y, en la última década se han hecho enormes progresos en este rubro.

Los avances en disminución de ruido han estado marcados por dos factores fundamentales. El primero empieza por el endurecimiento de la legislación en materia de contaminación ambiental, en este sentido, para la reducción del ruido del tráfico vehicular. Además el hacer cumplir, cada vez con mayor rigor, los límites de emisiones de ruido y actualizar la normatividad. Por otra parte, el mercado cada vez es más exigente en cuestiones de ruido y

vibraciones en los motores diesel, ayudados con Ingeniería de Sonido que ha permitido desarrollar tecnología para el estudio y la valoración de la calidad del sonido del motor, *figura 4.8*, y de los vehículos en general.

Los límites de ruido también varían según las distintas legislaciones de diferentes países. Dicha legislaciones, en lo que se refiere a niveles de ruido de vehículos, no menciona de manera particular el ruido en el motor, sino del vehículo en general. La mayor fuente de ruido, como ya se ha mencionado, en un coche es el motor del mismo. Sin embargo hay que tener en cuenta el ruido producido por otros sistemas del vehículo, como lo son el sistema de admisión o el de escape, la transmisión, el rodamiento, etc. En la *Tabla 4.1* se muestra el porcentaje de ruido emitido de algunos componentes de dos diferentes tipos de motores.

Componente	Porcentaje de la potencia acústica total	
	Motor Cummins	Motor GM
Carter	15	8
Múltiple de escape, turbo y culatas	22	4
Intercooler	20	16
Frente del motor	10	9
Filtro de aceite y radiador de aceite	7	2
Block	24	11
Bombas de agua y combustible	2	6
Transmisión		23
Filtro de aire		18
Otros		3

*Tabla 4.1 Componentes emisores de ruido en vehículos Diésel (22).*

El concepto más decisivo a la hora de estudiar el ruido es el tipo de inyección diesel, el cual está optimizado en función de las exigencias, fundamente, en las emisiones de los gases de escape y en las demandas del mercado en cuestión de consumos. Los últimos avances han permitido el desarrollo de nuevos sistemas de inyección basados en la introducción del combustible a alta presión, lo que ha permitido una reducción importante de los niveles de ruido, aunque no sea éste el objetivo fundamental.

Para motores diesel de alta velocidad (para utilitarios y vehículos pequeños), los sistemas de inyección de alta presión típicos son las bombas rotativas y los sistemas de common-rail.

Este sistema tiene la ventaja, respecto a la bomba de inyección, de que la contribución de ruido de la superficie de inyección es menor. Además no solo controla el ruido generado por el propio sistema, sino también el ruido de combustión, está ya totalmente implantado en los motores diesel pequeños y se está usando en algunos camiones. Una de los objetivos de estos sistemas es el que los motores Diesel de alta velocidad alcancen los niveles de refinamiento de los motores de gasolina.

Respecto al diseño del bloque, se han satisfecho varios aspectos, principalmente la funcionalidad de los componentes del mismo. Pero aún hay algunas vicisitudes, como, la disminución de peso, del rozamiento, obviamente para este caso de estudio, del ruido, el costo, y mayor durabilidad, que deben seguir siendo consideradas y mejoradas.

Además de esto, en los diseños convencionales se puede disminuir el ruido utilizando, no sólo materiales avanzados y de mayor calidad, sino también herramientas de simulación para la optimización de la dinámica de la estructura y de la emisión de ruido.

En los diseños convencionales se pueden observar algunas tendencias para mejorar el control de ruido:

- Incrementar el uso de aislamientos en las zonas donde se produce la vibración.
- Compensación de los pernos de los pistones.
- Particularmente para motores diesel de alta velocidad: motor refrigerado por agua.
- Incrementar el uso de nuevos materiales, como el plástico.

#### **4.5 Absorción del ruido.**

En una sala de ensayos la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre superficies límite es determinante en la calidad acústica final del mismo.

Básicamente dicha reducción de energía, en orden de mayor a menor importancia, es debida a una absorción producida por:

- Equipos y maquinaria y operadores.
- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores) expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimiento del recinto.
- Todas aquellas superficies límite de la sala susceptibles de entrar en vibración (puertas, ventanas, y paredes separadoras ligeras).

- El aire.
- Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto (hormigón)

Por lo general los materiales muy rígidos y con una baja porosidad dan lugar a una mínima absorción del sonido. Si bien, desde el punto de vista físico, la disipación de energía en forma de calor y por tanto la absorción del sonido, se produce en capas de aire adyacentes a cada una de las superficies consideradas, a efectos prácticos, dicho fenómeno habitualmente se presenta en forma de coeficientes de absorción asignados a dichas superficies. En la *tabla 4.2* se indican los valores de los coeficientes de absorción  $\alpha_{SAB}$  de una serie de materiales usados comúnmente en la construcción de recintos.

En esta tabla se observa que si bien los valores son extremadamente bajos, el material con una rugosidad mayor presenta unos coeficientes de absorción ligeramente más elevados. Ello es debido a que su superficie es mayor y por lo tanto la capa de aire adyacente donde se produce la disipación de energía también lo es.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón macizo	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
Bloques de hormigón pintados	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Ladrillo revestido con yeso.	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04

*Tabla 4.2 Coeficientes de absorción generablemente usados en la construcción de recintos (23).*

Las características de absorción de los materiales absorbentes y de los resonadores dependen no solo de sus propiedades físicas, sino también en gran parte de un sinnúmero de condicionantes y de detalles constructivos, que varían sustancialmente de un caso a otro y que no se pueden representar mediante una expresión matemática. Es por ello que, para realizar cualquier diseño acústico, resulta imprescindible disponer de los coeficientes de absorción  $\alpha$ . Para determinar dichos coeficientes de absorción se obtienen en un recinto denominado cámara reverberante. Esta sala es asimétrica, presenta superficies límite revestidas con materiales totalmente reflectantes y dispone de un conjunto de elementos convexos suspendidos en el techo con una orientación y distribución completamente irregulares cuya misión es crear un campo sonoro difuso. (354 /UNE-EN 20354)

## 4.6 Aislamiento acustico

Como ya se ha venido comentando en este capitulo el ruido que emiten los motores y los vehiculos en la calle, aparte de resulta dañino para la salud, resulta molesto. De tal forma que el laboratorio proyectado debe contar con un el aislamiento acustico adecuado en las salas de ensayo de los bancos de motores. Ya que el uso que tendran dichas salas en la mayoria de las ocasiones produce ruido muy fuerte y constante debido al tipo de pruebas que se realizan en ellas.

Se toma como parametro la Norma oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, la *tabla 4.3* menciona los niveles máximos permisibles de exposocición al ruido de una persona en un recinto de trabajo.

Nivel de Exposición a Ruido	Tiempo
90 dB(A)	8 horas
93 dB(A)	4 horas
96 dB(A)	2 horas
99 dB(A)	1 horas
102 dB(A)	30 minutos
105 dB(A)	15 minutos

*Tabla 4.3 Límites máximos de exposición al ruido (24).*

Es preciso recordar que los elementos que acontinuación se mencionan se recomiendan para diferentes recientos, dentro de ellos se ha considerado a las salas de ensayo como cuartos destinados a talleres de fabriación metal mecánica. Para aislar un recinto se debe tomar en cuenta los siguientes elementos:

### 4.6.1 Ventanas

El aislamiento acústico de las ventanas se rige por los mismos principios físicos que afectan a las paredes. Los valores de aislamiento están influidos por las propiedades del cristal y las

características de los montajes de las ventanas. Las ventanas con un solo cristal siguen razonablemente la ley de masas para las frecuencias medias, por lo que al aumentar el espesor aumenta el aislamiento (6dB cada vez que duplicamos el espesor), pero a frecuencias altas, la frecuencia crítica de coincidencia, limita las prestaciones acústicas. Para un cristal de 4 mm de espesor la frecuencia crítica aparece a los 3200 Hz aproximadamente, lo que provoca una pérdida de aislamiento importante a dicha frecuencia, para un cristal de 8 mm de espesor resulta a los 1600 Hz y cristales más gruesos la tienen más baja.

Si se requiere un aislamiento global superior a los 35 dB un solo cristal no es una alternativa práctica. Un cristal laminado de dos o más capas de cristal unidas mediante finas láminas de plástico puede proporcionar un aislamiento más alto que el cristal sólido para frecuencias próximas a la crítica. En nuestro caso para las ventanas de observación de las cabinas de control es necesario tomar la recomendación anterior debido fundamentalmente al amortiguamiento del plástico entre las capas por disipación de la energía vibratoria. Con estos cristales se pueden conseguir aislamientos globales superiores a los 40 dB. Las ventanas con doble cristal aumentan el aislamiento a frecuencias altas, pero la mejora global depende de la separación de los cristales, en general, cuanto mayor es el espacio entre los dos cristales, mayor es el aislamiento. El sistema funciona como un elemento mecánico simple, masa-muelle-masa, en el que el aire atrapado en el espacio entre los dos cristales actúa como muelle, transfiriendo energía vibratoria de un cristal al otro.

#### **4.6.2 Puertas**

El aislamiento acústico de una puerta no solo depende del material, sino también del tipo, el arco y en especial de las juntas alrededor del perímetro.

Las puertas las podemos clasificar por su uso en puertas para interiores y puertas para exteriores. Las primeras se caracterizan por ser más simples que las de exteriores y por la diversidad de formas como son las de una o más hojas, las plegables, las correderas etc., y las segundas se caracterizan por tener mayor masa superficial y mejor ajuste perimetral.

Las puertas de exteriores de una o dos paneles suelen tener un bajo índice de aislamiento global, en general no superan los 20 dB, ello es debido al deficiente ajuste de las puertas con los marcos, normalmente aparecen holguras de 4 a 5 mm por los lados de la misma. Por ello, a menos que se reduzcan las fugas de aislamiento alrededor de la puerta, no se puede conseguir una mejora del índice de aislamiento, sea cual sea la mejora que se realice en los paneles de las puertas.

Soluciones como aumentar el peso de la puerta, utilizando maderas de núcleo sólido de alta densidad, no aumenta sustancialmente el índice de aislamiento acústico, debido a los escapes de sonido a través de las aberturas alrededor de la puerta. El sellado de estas aberturas por medio de juntas de espuma o neopreno comprimido entre una puerta y el marco son muy eficaces, pero pueden aumentar el esfuerzo necesario para cerrar la puerta. Las puertas simples especialmente diseñadas para aislamiento acústico pueden lograr valores de índice de aislamiento global superiores a los 35 dB si el sellado del perímetro es adecuado.

Para el caso del laboratorio proyectado se recomienda puertas de cierre magnético, como los empleados en las puertas de los frigoríficos. Se puede decir que una junta está lo suficientemente ajustada cuando se requiere un gran esfuerzo para insertar una tarjeta de crédito entre la junta y la puerta.

#### **4.6.3 Transmisión estructural**

El ruido transmitido por las estructuras es aquel que se origina por la vibración de las mismas. Una estructura puede comenzar a vibrar debido a fuentes fijas, en este caso, los motores de combustión interna.

Un ejemplo de este tipo de ruido lo pudimos observar en Laboratorio de Control de Emisiones donde la vibración del motor conectado al banco dinamométrico era transmitida principalmente hacia el tubo de gases de escape, el cual estaba anclado en una de las paredes. La transmisión de vibraciones del tubo de escape hacia la estructura del edificio, (paredes y ventanas), generaba mucho ruido en la construcción.

Una de las medidas para evitar la propagación de las vibraciones se puede conseguir interrumpiendo la vía de transmisión. Es decir utilizando suelos flotantes, entendiendo como tales, aquellos que se apoyan sobre el suelo estructural, pero que están completamente aislados de éste, mediante elementos de apoyo elásticos, de manera que en ningún punto están en contacto rígido con el suelo.

En el capítulo 2 de este trabajo se menciona el tipo de cimentación para estas salas. La construcción más típica de un suelo flotante es una losa de hormigón, de espesor suficiente para soportar la carga aplicada, que se apoya elásticamente sobre muelles metálicos, tacos de resinas comprimidas, mantos elásticos de neopreno o fibra de vidrio.

Así, cuando se utiliza una capa continua de aislamiento semirrígido de fibra de vidrio para apoyar el suelo flotante de forma elástica, se debe tener presente que la fibra de vidrio está sometida a deterioro por la humedad, por lo que se deben utilizar láminas de plástico, para sellar todas las juntas, como barreras contra la humedad y el vapor.

Los bordes de la losa flotante se deben unir con las paredes perimetrales con elementos elásticos tales juntas de caucho o neopreno. Se deben considerar también otros detalles tales como entradas de conductos o elementos de instalación, con el fin de evitar la conexión entre el suelo flotante y el estructural.

#### 4.6.4 Paredes

Para el aislamiento de las paredes de las salas se puede citar un sinfín de aislantes, algunos de ellos conocidos como resonadores que prácticamente consisten en paneles perforados que pueden ser de diversos materiales como madera, yeso, ladrillo, plástico, metal. Estos paneles van montados en una pared rígida como se muestra en la *figura 4.9*. Es recomendable que el material a colocarse sea de forma zigzag con la finalidad de una distancia variable entre el mismo y la pared y de este modo suavizar el coeficiente de absorción

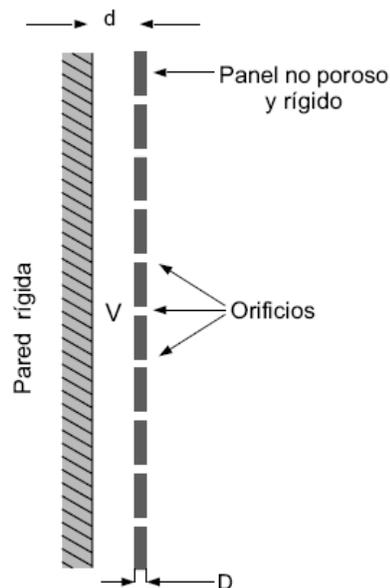


Figura 4.9 Esquema de un resonador múltiple de cavidad a base de paneles perforados (25).

## Conclusiones

La industria automotriz mexicana ha posicionado al país como uno de los principales exportadores del sector, debido a diferentes factores como son su situación geográfica y su mano de obra, entre algunos otros. De tal forma que resulta de sumo interés contar con un Laboratorio para Evaluar Emisiones de Contaminantes y Prestaciones de Vehículos y Motores.

En diseño el presente trabajo se han considerado los elementos más comunes, de forma global, que integran; tanto la sala de pruebas para motores, como las sala de pruebas para vehículos, así como su cabina de control, con cada una de sus características particulares. Considerando que no existe un modelo universal el diseño final del laboratorio cumplirá con los requerimientos necesarios para realizar ensayos en vehículos y en motores, de tal forma que se garantice su uso como un centro de investigación y desarrollo, así como centro de docencia en el área automotriz.

El diseño de dicho laboratorio ha contemplado, con base en las referencias mencionadas en este trabajo, aplicar los procesos normalizados, en la fase de investigación y desarrollo como son los protocolos de pruebas internacionales, siendo posible realizar modificaciones que admitan su mejora, para el caso específico de nuestro país. Por ejemplo; para la fase de producción se pueden realizar pruebas de revisión y control de tal forma que cada vehículo que sale al mercado cumpla los requisitos de calidad correspondientes para su certificación; en el caso de los motores Diésel se puede obtener dicha certificación según requerimiento EPA o EURO<sub>5</sub> mediante el uso de dinamómetro de banco.

Cabe decir que en materia de normatividad con referente al ruido necesitamos ponernos a la vanguardia. La normatividad vigente sobre los niveles máximos permisibles de fuentes móviles y fijas en México han sido rebasadas por exigencias constrictivas de los vehículos a nivel mundial.

Cabe mencionar que dicho Laboratorio pretende ser uno de los estén a la vanguardia en el país y que las especificaciones de diseño y construcción están orientadas a la posterior certificación y acreditación por parte de las autoridades competentes para poder competir a nivel nacional e internacional con centros de estas características.

## Bibliografía

- [1] Aquino Cortéz Juan Manuel, Arenas Ramos Oscar, Dominguez Salinas José Gilberto, Olguín Mejía Andres Aarón. **Sustento técnico para modificar las normas oficiales mexicanas ecológicas, 045 y 077, a fin de mejorar las emisiones de humo de los vehículos que usan diesel como combustible.** Tesis de licenciatura, UNAM México D.F. 2006.
- [2] Consultores Ambientales LTDA. **Informe final elaboración de estudios y antecedentes para la revisión de la Norma Sobre Contaminación Acústica Para Vehículos de Locomoción Colectiva contenida en el DS N° 122/91 MINTRATEL.** Contrato CONAMA N° 22-0023-013/99, Chile.
- [3] European Comission. **PARTICULATES Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles.** January 2001
- [4] F. Payri, J.M. Desantes. **Motores de Combustión Interna Alternativos, UPV-CMT .** Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Reverté-UPV 2<sup>da</sup> reimpresión 2012, 1002 pp.
- [5] Galván Zacarías Antonio, Navarro Sandoval Lilia. **Restauración y Modernización del Dinamómetro de Chasis del Laboratorio de Control de Emisiones.** Tesis de Licenciatura, UNAM México D.F. 1998
- [6] Goto, Yuichi; Tsukamoto, Yujiro. **PM Measurerent with Partial Dilution Tunnel - Influence of Sampling Line on PM Measurement.** International Fall Fuel & Lubricants Meeting & Exposition, SAE Technical Paper 2001-01-3580.
- [7] Instituto Nacional de Ecología SEMARNAT. **Manual Técnico de Verificación Automotriz.** México 2002, 402 pp.
- [8] Isella, L, Et,Aal. **2D Particle Transport in a Full Dilution Tunnel of Diesel Vehicle Emissions.** . European Aerosol Conference 2007, Salzburg.
- [9] John B. Heywood, **International Combustion Engine Fundamentals,** Mc Graw Hill Editions 1998, 930 pp.
- [10] John R. Richards, Ph.D., P.E. **Control of Gaseous Emissions Student Manual,** APTI Course 415 Third Edition. Air Control Techniques, P.C.
- [12] Leopoldo García- Colin Scherer, Juan Rubén Varela Ham. **Contaminación Atmosférica Volumen IV.** 1<sup>ra</sup> Edición. El colegio Nacional 2007, 224 p.

- [13] **Manual de la Técnica del Automóvil**, Bosch 2° Edición. Editorial Reverté S.A, 1987, 710 pp.
- [14] Manuel Cascajosa. **Ingeniería de Vehículos, Sistemas y Cálculos** 2<sup>da</sup>, Edición Alfaomega, 557 pp.
- [15] Maricq, M. Matti; Chase, Richard E.; Podsiadlik, Diane H. **Vehicle Exhaust Particle Size Distributions: A Comparison of Tailpipe and Dilution Tunnel Measurements**. . SAE Technical Paper 1999-01-1461.
- [16] Norma Oficial Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006. **Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**.
- [17] **Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008**. Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal .
- [18] **Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1999** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos en circulación a gasolina.
- [19] **Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999** Que establece los límites máximos permisibles de Hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos evaporativos provenientes del escape de vehículos en planta a gasolina o gas.
- [20] **Norma Oficial Mexicana NOM-044-ECOL-1993** Que establece los límites máximos permisibles de Hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humos provenientes de vehículos en planta a diesel.
- [21] **Norma Oficial Mexicana NOM-045-ECOL-1996** Que establece los límites máximos permisibles de opacidad del humo en vehículos en circulación a diesel.
- [22] **Norma Oficial Mexicana NOM-047-ECOL-1993** Que establece las características de equipo y procedimientos de medición para la verificación de contaminantes en vehículos a gasolina, gas LP y gas natural.
- [23] **Norma Oficial Mexicana NOM-048-ECOL-1993** Que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos, monóxido de carbono y humos en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite.
- [24] **Norma Oficial Mexicana NOM-049-ECOL-1993** Que establece las características de equipo y procedimiento de medición para la verificación de contaminantes en

motocicletas a gasolina o gasolina-aceite.

- [25] **Norma Oficial Mexicana NOM-050-ECOL-1993** Que establece los límites máximos permisibles de Emisión de gases contaminantes provenientes de vehículos en circulación a gas LP o gas natural.
- [26] **Norma Oficial Mexicana NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999.** Transporte terrestre-servicio de autotransporte económico y mixto-midibús características y especificaciones técnicas y de seguridad.
- [27] **Norma Oficial Mexicana NOM-076-ECOL-1995** Que establece los límites máximos permisibles de Emisión de gases contaminantes provenientes de vehículos nuevos en planta de peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos.
- [28] **Norma Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995** Que establece las Características de equipo y procedimiento de medición para verificar los niveles de opacidad en vehículos automotores que usan diesel.
- [29] **Norma Oficial Mexicana NOM-079-ECOL-1994,** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición.
- [30] **Norma Oficial Mexicana NOM-080-SEMARNAT-1994** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.
- [31] **Norma Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994,** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- [32] **Norma Oficial Mexicana NOM-082-ECOL-1994,** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y su método de medición.
- [33] Oscar Díaz González Palomas. **Transporte Urbano y Medio Ambiente.** Christian Jamet Editores, Abril 2000, 920 pp.
- [34] Ralbovsky, E. **Motores Diesel.** Ed. Paraninfo. España 1999, 288 pp.
- [35] Sánchez García Gregorio, Suárez Guzmán Ubaldo. **Dinámica de un Dinamómetro de chasis y unidad de volantes de inercia.** Tesis de licenciatura, UNAM México D.F. 2000.

- [36] Trujillo Quintero Juan José, Huertas José Ignacio. **Diseño, Cconstrucción y Pruebas de un Colector de Partículas para las Emisiones de los Vehículos Diésel.** Universidad de Los Andes, Bogotá Colombia. Enero de 2002.
- [37] **U.S. EPA Handbook Control Technologies for Hazard Air Pollutants**
- [38] Weaver and L.E. Petty. **Reproducibility and Accuracy of On-Board Emission Measurements Using the RAVEM™.** System RAVEM C.S. , SAE Paper No. 2004-01-0965, March, 2004.
- [39] Willard W. Pulkrabek, **Engineering Fundamentals of the Internal Combustión Engine,** Pretince Hall Editors, Second Edition 2003, 504 pp.

## Referencias

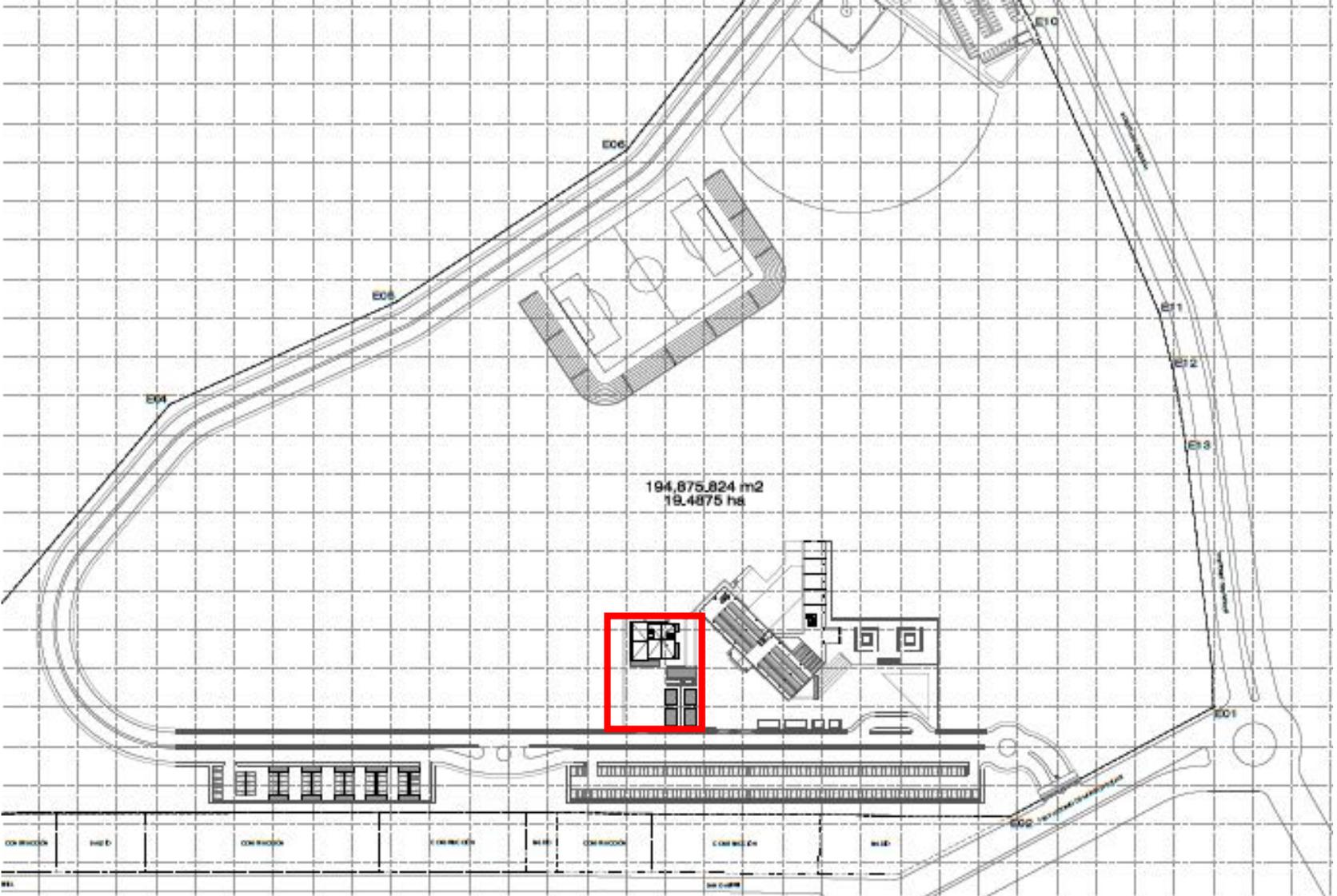
- (1) Estudio de pesos y dimensiones de los vehículos que circulan sobre las carreteras mexicanas, Documento Técnico No. 8 Sanfandila, Qro, 1992. Tabla 2.5, pág. 20.
- (2) Diseño y Construcción de un Banco de Ensayos para Motocicletas, Tesis Francisco González Pineda, Septiembre 2006.
- (3) Diario Oficial de la Federación DOF: 07/01/2013, PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-047-SEMARNAT-1999, Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos (numerales 8.9.2.4 al 8.11.2 de gases patrón).
- (4) Publicación, 15 de enero de 1999, en el Diario Oficial de la Federación, autorización de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, EMA comienza a operar como el primer órgano acreditador en México.
- (5) [www.praxair.com.bo/sa/bo/bol.nsf/.../CuadernilloGasesEspeciales.pdf](http://www.praxair.com.bo/sa/bo/bol.nsf/.../CuadernilloGasesEspeciales.pdf), pagina 3.
- (6) NOM-001-STPS-2008 Seguridad en Edificios, Locales, Instalaciones y Áreas en los Centros de Trabajo-Condicion de Seguridad, numerales; 7, 8, 9, 10 y 11.
- (7) NOM-025-STPS-1994 Niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo, págs. 3-4.
- (8) <http://www.mustangdyne.com/mustangdyne/wp-content/uploads/downloads/2011/04/MD-250-Manual.pdf>. Figura 2.1 página 2-3
- (9) [http://www.caipe.com/docs/especificaciones\\_celda\\_de\\_carga.pdf](http://www.caipe.com/docs/especificaciones_celda_de_carga.pdf). Págs. 10, 11 y 12.
- (10) <http://www.delphi.com/manufacturers/testing-services/michigan-technical-center/vehicle-emissions-testing-laboratory/>
- (11) Análisis Paramétrico de la Emisión de Partículas en un Motor Diesel de Inyección Directa Mediante Sonda de Muestra, Rogelio González Oropeza, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- (12) OEM-2100AX Axion System Overview, Features and Specifications. Clean air Technologies International, Inc. Remote On Board Emissions Monitor.

- (13) Medición de los coeficientes de flujo de un sistema de admisión mediante un Banco de Flujo Estacionario. Tesis, Luis Manuel Díaz Cano, Gerardo Ramírez Sánchez, págs. 1.21-1.23, UNAM México D.F. 2001.
- (14) Engine Testing Theory and practice. Michel Plint, antonhy Martyr. 2<sup>da</sup> Edición, SAE International. págs. 201, 203,208, 210, 211.
- (15) Ventiladores centrífugos y extractores en línea, Catalogo SODECA, Barcelona España. Información proporcionada por el proveedor. [www.sodeca.com](http://www.sodeca.com)
- (16) Manual de Acústica, Ruido y vibraciones, Fundamentos básicos y sistemas de control, 3<sup>ra</sup> Edición. Pedro Flores Pereita, figura 1, pág 11.
- (17) Motores de combustión Interna Alternativos. Francisco Payri, J.M. Desantes, Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverte, fig. 22.1, pág. 689.
- (18) Motores de combustión Interna Alternativos. Francisco Payri, J.M. Desantes, Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverte, fig. 22.2, pág. 690.
- (19) Motores de combustión Interna Alternativos. Francisco Payri, J.M. Desantes, Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverte, fig. 22.6, pág. 692.
- (20) Relation between noise and basic structural vibration of Diésel engines. Society Automotive Engineers, Chicago, paper 690450, 1969. T. Priede, E. C. Grover N. Lalor - University of Southampton.
- (21) Noise Source Location in an Engine, Indian Institute of Technology Delhi 2007. Pág. 79.
- (22) Elaboración de estudios y antecedentes para la revisión de la norma sobre contaminación acústica para vehículos de locomoción colectiva contenida en el DS N° 122/91 MINATREL. Ambiente Consultores, 1999. Tabla 4.6, pág. 4-8.
- (23) Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Antoni Carrión Isbert. Universidad Politécnica de Cataluña, Primer Edición, 1998. Tabla 2.1 pág. 3, Capitulo 2.
- (24) NOM-011-STPS-2001, Norma Oficial Mexicana, condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Tabla A.,1 pág. 12.
- (25) Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Antoni Carrión Isbert. Universidad Politécnica de Cataluña, Primer Edición, 1998. Fig. 2.4 pág. 26 Capitulo 2.

# Anexo

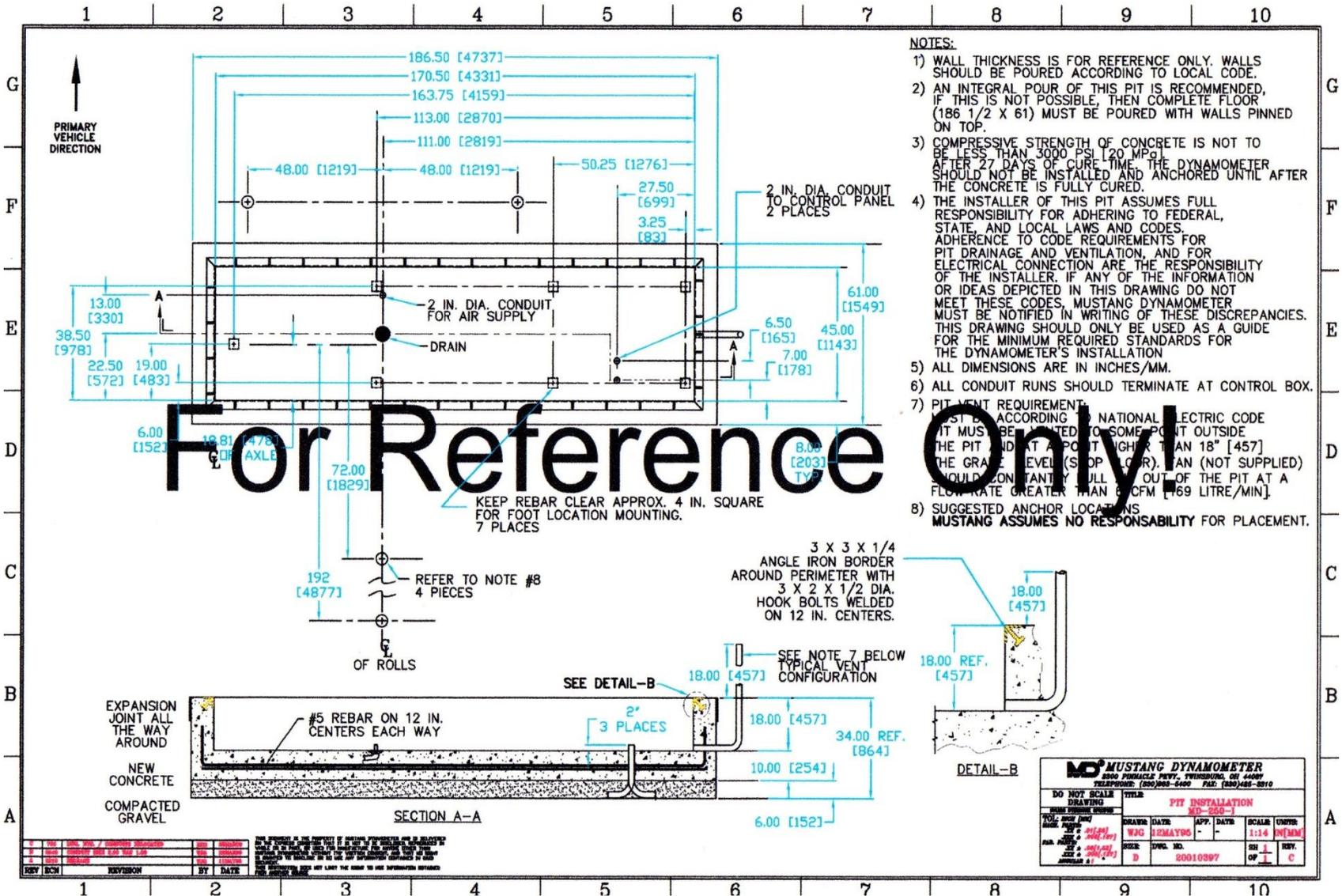


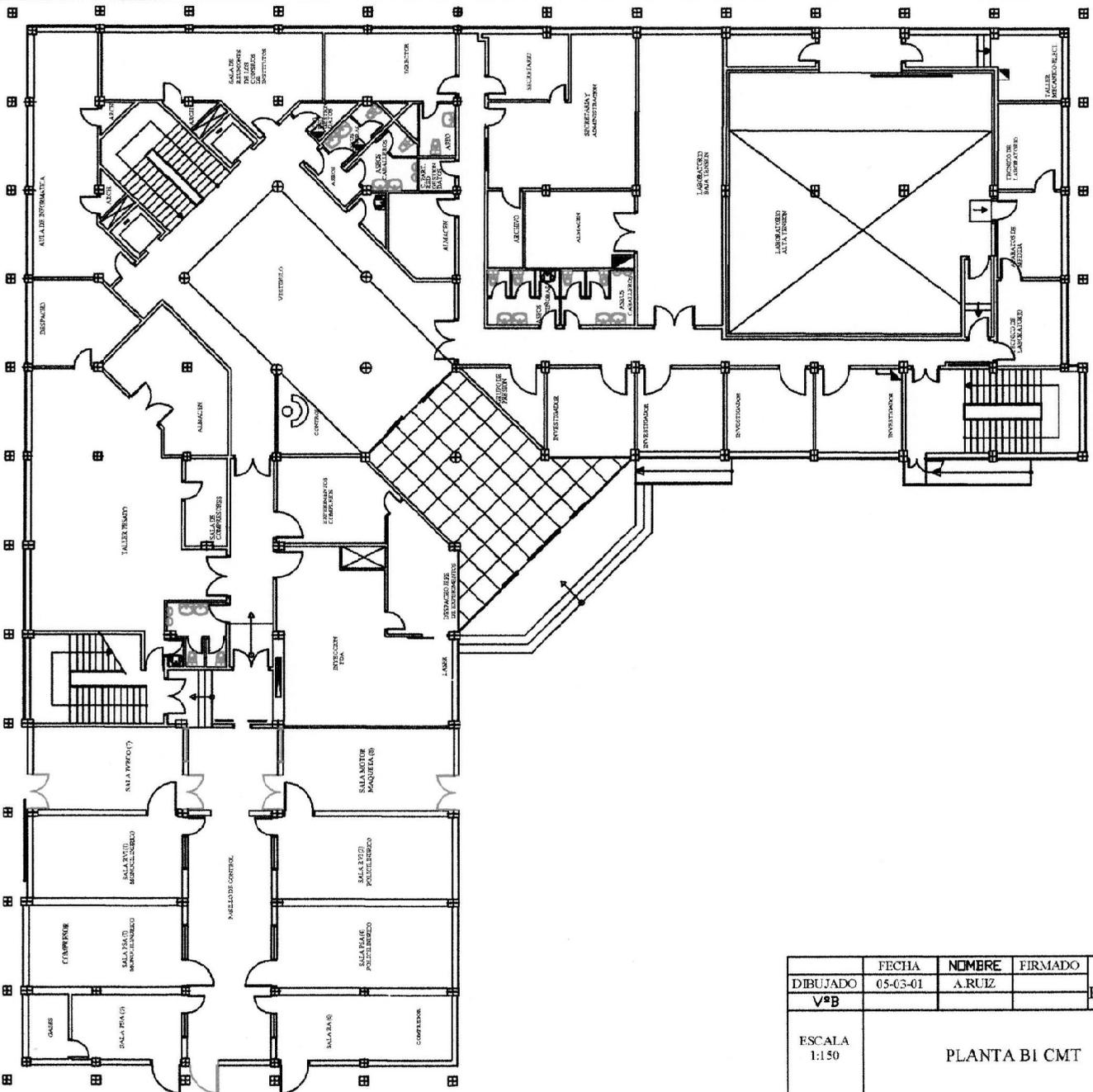
1. **Ubicación geográfica en Juriquilla Querétaro donde se pretende construir el Laboratorio para Evaluar Emisiones Contaminantes y Prestaciones de Vehículos y Motores.**



2. Ubicación del Laboratorio en el Campus.

3. Marco de acero del dinamómetro de chasis y detalles de anclaje al piso, información proporcionada directamente del proveedor.

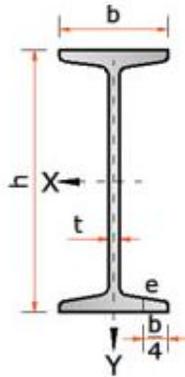




				E.U.I.T.I POLITECNICA DE VALENCIA	
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMADO		
VºB	05-03-01	A.RUIZ			
ESCALA 1:150	PLANTA B1 CMT			PLANO Nº 2	

4. Distribución de las celdas de ensayo de motores del laboratorio de la CMT de la Universidad Politécnica de Valencia.

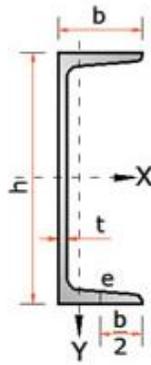
# IPN VIGAS EUROPEAS NORMALES I DE ALAS INCLINADAS



IPN	Peso	DIMENSIONES						Sección	Momento de Inercia		Módulo Resistente		Radio de Giro	
		h	b	t	e	R	R1		Ix	Iy	Wx	Wy	ix	iy
	Kg/m	mm						cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>		cm <sup>3</sup>		cm	
IPN80	5,95	80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	7,57	77,8	6,29	19,5	3,00	3,20	0,91
IPN100	8,32	100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	10,6	171	12,2	34,2	4,88	4,01	1,07
IPN120	11,2	120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	14,2	328	21,5	54,7	7,41	4,81	1,23
IPN140	14,4	140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	18,2	573	35,2	81,9	10,7	5,61	1,40
IPN160	17,9	160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	22,8	935	54,7	117	14,8	6,40	1,55
IPN180	21,9	180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	27,9	1.450	81,3	161	19,8	7,20	1,71
IPN200	26,3	200	90	7,5	11,3	7,5	4,5	33,4	2.140	117	214	26,0	8,00	1,87
IPN220	31,1	220	98	8,1	12,2	8,1	4,9	39,5	3.060	162	278	33,1	8,80	2,02
IPN240	36,2	240	106	8,7	13,1	8,7	5,2	46,1	4.250	221	354	41,7	9,59	2,20
IPN260	41,9	260	113	9,4	14,1	9,4	5,6	53,3	5.740	288	442	51,0	10,4	2,32
IPN280	47,9	280	119	10,1	15,2	10,1	6,1	61,0	7.590	364	542	61,2	11,1	2,45
IPN300	54,2	300	125	10,8	16,2	10,8	6,5	69,0	9.800	451	653	72,2	11,9	2,56
IPN320	61,0	320	131	11,5	17,3	11,5	6,9	77,7	12.510	555	782	84,7	12,7	2,67
IPN340	68,1	340	137	12,2	18,3	12,2	7,3	86,7	15.700	674	923	98,4	13,5	2,80
IPN360	76,2	360	143	13,0	19,5	13,0	7,8	97,0	19.610	818	1.090	114	14,2	2,90
IPN380	84,0	380	149	13,7	20,5	13,7	8,2	107	24.010	975	1.260	131	15,0	3,02
IPN400	92,6	400	155	14,4	21,6	14,4	8,6	118	29.210	1.160	1.460	149	15,7	3,13
IPN450	115	450	170	16,2	24,3	16,2	9,7	147	45.850	1.730	2.040	203	17,7	3,43
IPN500	141	500	185	18,0	27,0	18,0	10,8	179	68.740	2.480	2.750	268	19,6	3,72
IPN550	167	550	200	19,0	30,0	19,0	11,9	212	99.180	3.490	3.610	349	21,6	4,02
IPN600	200	600	215	21,6	32,4	21,6	13,0	254	139.000	4.670	4.630	434	23,4	4,30

## 5. Vigas "I" normalizadas sistema internacional

## UPN VIGAS EUROPEAS NORMAL EN U DE ALAS INCLINADAS



UPN	Peso Kg/m	DIMENSIONES						Sección cm <sup>2</sup>	Momento de Inercia		Módulo Resistente		Radio de Giro	
		h	b	t	e	R	R1		I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>
		mm							cm <sup>4</sup>		cm <sup>3</sup>		cm	
UPN80	8,64	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	11,0	106	19,4	26,5	6,36	3,10	1,33
UPN100	10,6	100	50	6,0	8,5	8,5	4,5	13,5	206	29,3	41,2	8,49	3,91	1,47
UPN120	13,4	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	17,0	364	43,2	60,7	11,1	4,62	1,59
UPN140	16,0	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	605	62,7	86,4	14,8	5,45	1,75
UPN160	18,8	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	24,0	925	85,3	116	18,3	6,21	1,89
UPN180	22,0	180	70	8,0	11,0	11,0	5,5	28,0	1.350	114	150	22,4	6,95	2,02
UPN200	25,3	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0	32,2	1.910	148	191	27,0	7,70	2,14
UPN220	29,4	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5	37,4	2.690	197	245	33,6	8,48	2,30
UPN240	33,2	240	85	9,5	13,0	13,0	6,5	42,3	3.600	248	300	39,6	9,22	2,42
UPN260	37,9	260	90	10,0	14,0	14,0	7,0	48,3	4.820	317	371	47,7	9,99	2,56
UPN280	41,8	280	95	10,0	15,0	15,0	7,5	53,3	6.280	399	448	57,2	10,9	2,74
UPN300	46,2	300	100	10,0	16,0	16,0	8,0	58,8	8.030	495	535	67,8	11,7	2,90
UPN320	59,5	320	100	14,0	17,5	17,5	8,8	75,8	10.870	597	679	80,6	12,1	2,81
UPN350	60,6	350	100	14,0	16,0	16,0	8,0	77,3	12.840	570	734	75,0	12,9	2,72
UPN380	63,1	380	102	13,5	16,0	16,0	8,0	80,4	15.760	615	829	78,7	14,0	2,77
UPN400	71,8	400	110	14,0	18,0	18,0	9,0	91,5	20.350	846	1.020	102	14,9	3,04

### 6. Vigas “U” normalizadas sistema internacional

**6.1.5 Additional Fluid Connections**

For equipping additional pallets with corresponding nipples for quick docking at the fluid interface on the test stand side.

Scope of Supply	Titan T 250	Titan T 460	Titan TH 460
Quick-connect nipples for coolant, inlet and outlet	2	-	-
Quick-connect nipples for fuel, inlet and outlet	2		
Quick-connect nipples for engine oil, inlet and outlet	2		

**6.1.6 Manual Control Panel for the SPARC Digital Test Stand Controller**

Control panel for SPARC test stand controller for manual operation via potentiometer and buttons,. Measurement display with status bar on LCD monitor.

Scope of Supply	Titan T 250	Titan T 460	Titan TH 460
Control panel	19" panel, 4 HU	19" panel, 4 HU	19" panel, 4 HU
Cable set	1	1	1

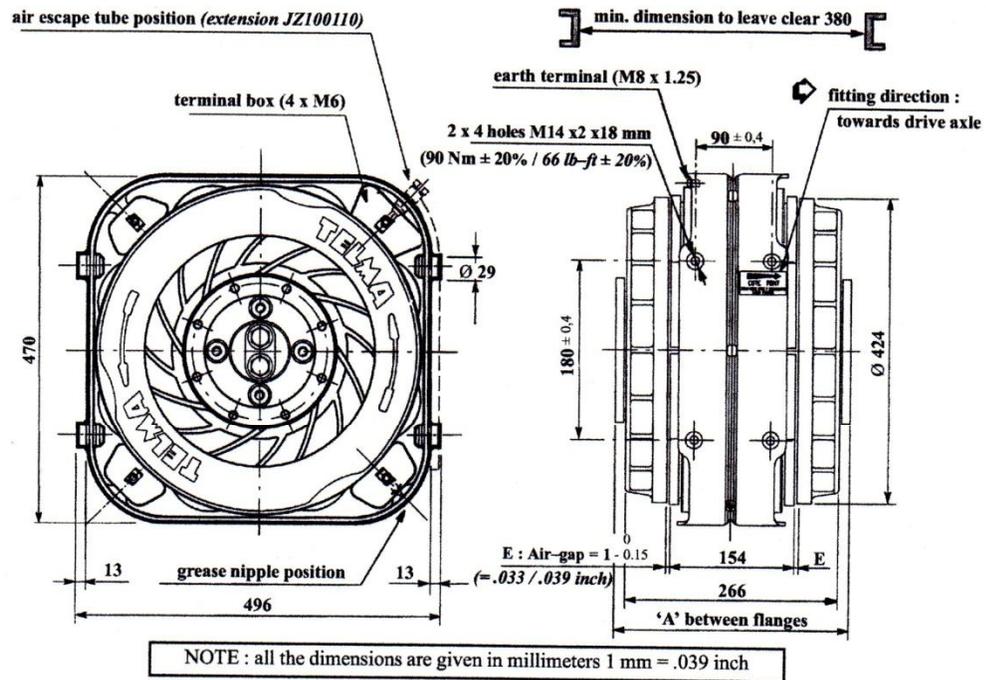


figure 20: manual control SPARC

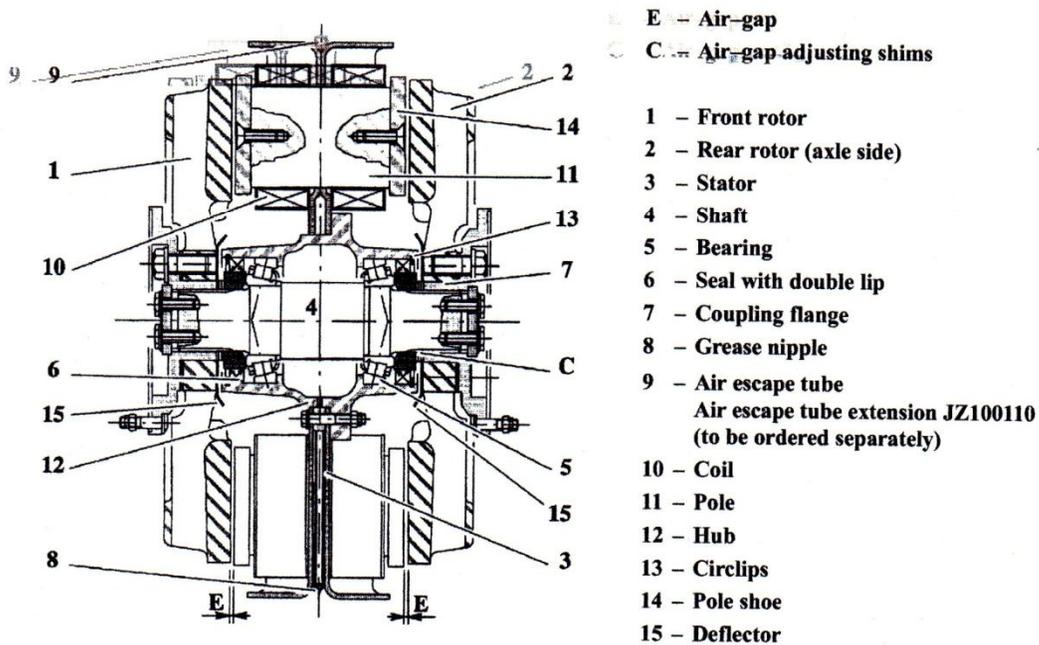
**7. Panel de control marca Horiba.**

# Dimensions

AC 61 – 25 



## Cross-section view



OC442077 - 09/2000

3

8. Dimensiones y componentes de un freno de corrientes parásitas.

## DYNOmite™ Truck Chassis Dynamometer Specifications

### **DYNOmite Data-Acquisition Computer:**

Expandable, hybrid surface-mount and thru-hole, board system  
120-volt 60-Hz, 240-volt 50-Hz, or 12-volt DC CE and/or UL approved (per locale)  
*Pro* PC-based 28, 56, or 112+ channel capable board sets, require DYNO-MAX software  
*Lite* 3-channel (upgradeable to *Pro* above)  
Up to 1,000 recordings per second (per channel)  
Quick-disconnect data harness  
Non-volatile setup memory  
*Smart-Record™* automated recorder triggering  
RS-232 and USB ports – for output to a PC with DYNO-MAX software options

### **Torque Transducer:**

1% of full-scale accuracy – typical  
Environmentally sealed  
S-beam load cell Semi-automatic calibration of zero offset  
Temperature compensated

### **SAE (contact-patch ratio) Hp Capacity:\***

\* *Power capacity is unlimited, but subject to roll diameter-induced tire deformation (safety) and traction (efficiency) limits. Continuous capacity depends on selected absorber and test speeds. Higher torque transfer requires tie downs.*

20" 2WD = 900 Hp ( $1000 / 2.2 \text{''deform} * \mu * 2\text{wd}$ )  
24" 2WD = 1,000 Hp ( $1000 / 2.0 \text{''deform} * \mu * 2\text{wd}$ )  
30" 2WD = 1,350 Hp ( $1000 / 1.5 \text{''deform} * \mu * 2\text{wd}$ )  
44" 2WD = 1,650 Hp ( $1000 / 1.2 \text{''deform} * \mu * 2\text{wd}$ )  
60" 2WD = 2,000 Hp ( $1000 / 1.0 \text{''deform} * \mu * 2\text{wd}$ )  
13" 4WD = 1,480 Hp ( $1000 / 2.7 \text{''deform} * \mu * 4\text{wd}$ )  
20" 4WD = 1,800 Hp ( $1000 / 2.2 \text{''deform} * \mu * 4\text{wd}$ )  
30" 4WD = 2,700 Hp ( $1000 / 1.5 \text{''deform} * \mu * 4\text{wd}$ )  
44" 4WD = 3,300 Hp ( $1000 / 1.2 \text{''deform} * \mu * 4\text{wd}$ )  
60" 4WD = 4,000 Hp ( $1000 / 1.0 \text{''deform} * \mu * 4\text{wd}$ )  
20" 6WD = 2,700 Hp ( $1000 / 2.2 \text{''deform} * \mu * 6\text{wd}$ )  
30" 6WD = 4,050 Hp ( $1000 / 1.5 \text{''deform} * \mu * 6\text{wd}$ )

Note:  $\mu = 1.00$  (coefficient of friction for typical 32"-diameter rubber tire on grooved steel roll).

### **Steady-State Power (absorption units):**

Actual load capacity depends on selected (AC, eddy-current, or water-brake) absorber and roll speed (including any overdrive ratio). See online load charts for curves..

### **Engine and Absorber Tachometers:**

0 - 32,000+ RPM display  
Quartz-crystal calibrated  
RPM pulse type is selectable from ½ to 12 PPR  
Clamp-on inductive pickup (standard)  
Optional "cigarette lighter" RPM pickup  
Optional OBD-II tachometer interface

### **Dyno Speedometer:**

0.0 - 255.0 MPH display  
Magnetic RPM/MPH pickup (standard)

### **MPH Range (tire-deformation limited):**

13" multi-twin rolls (linked) = 7 - 120 MPH  
20" multi-twin rolls (linked) = 7 - 125 MPH  
24" wide roll or 24" twin rolls = 8 - 130 MPH  
30" wide roll = 10 - 140 MPH  
30" multi-twin rolls (linked) = 7 - 140 MPH  
44" twin rolls = 15 - 150 MPH  
60" twin rolls = 18 - 160 MPH

### **Load Control (absorption units only) :**

Electronic auto-load control (with road simulation)  
Integral drag-race tree, with patent-license options

### **Absorber (except inertia-only models):**

Adjustable load – (bidirectional) with AC, eddy-current, or toroid water-brake absorber options  
Dual heavy-duty bearings – Zerk grease fittings

### **Rolls:**

Machined in "traction grooves" for maximum grip and tire life under high-power testing  
Medium inertia (to allow absorber simulations)

### **Roller Frame:**

Heavy-duty steel frame, leveling pads or anchors, greaseable bearings, pit-plate or ramp options  
AWD multi-twin linked rolls 13" or 20" (HD)

ramps)  
AWD 30", & 44" upgrade, 89"-130" range (or longer) electric wheelbase adjustment  
Twin-roll 24", 44", or 60" (high speed - tie down)  
Quad-roll 24" (with super-duty frame and bearings)  
Wide-roll 24" & 30" (dually model is 96"W)  
Custom multi-roll wheelbases available

#### ***Axle Weight Capacities:***

24" twin roll = 8,000 pounds (per axle)  
24" quad roll = 45,000 pounds (per axle)  
24" & 30" wide roll = 6,000 pounds (per axle)  
44" & 60" twin roll = 10,000 pounds (per axle)

#### ***Roller Frame:***

Heavy-duty steel frame, heavy-duty floor anchors, greaseable bearings, pit-plate or ramp options  
Multi-twin linked rolls 13" or 20" (HD ramps)  
Twin-roll 24", 44", or 60" (tie down – high speed)  
Wide-roll 24" or 30" (*dually* model is 96" wide)  
Custom multi-roll wheelbases available  
AWD 30" or 44" upgrade, 99" - 140" range (or longer) electric wheelbase adjustment

#### ***Axle Weight Capacities:***

13" HD multi roll = 12,000 lbs (per axle)  
20" HD multi roll = 20,000 lbs (per axle)  
24" HD twin roll = 24,000 lbs (per axle)  
30" wide roll = 10,000 lbs (per axle)  
30" HD twin roll = 24,000 lbs (per axle)  
44" or 60" HD twin roll = 24,000 lbs (per axle)

#### ***Approximate Dimensions and Weight:***

13" 2WD tandem quad roll (absorber, less ramps)  
133"W x 34"L x 18"H – 3,200 lbs  
20" 2WD tandem roll (with absorber, less ramps)  
133"W x 48"L x 24"H – 5,600 lbs

24" 2WD twin roll (absorber, less lift or pit plate)  
89"W x 52"L x 25"H – 3,700 lbs  
30" 2WD wide roll (inertia only, less lift or pit plate)  
112"W x 38"L x 30"H – 4,800 lbs  
44" 2WD twin roll (absorber, less lift or pit plate)  
89"W x 54"L x 48"H – 5,500 lbs  
60" 2WD twin roll (absorber, less lift or pit plate)  
112"W x 70"L x 64"H – 6,500 lbs  
30" 4WD dual-axle pair (2 absorbers, less pit plate)  
120"W x 158"L x 30"H – 12,000 lbs  
30" 4WD twin-roll sets (2 absorbers, less pit plate)  
114"W x 180"L x 14"H – 8,700 lbs  
44" 4WD twin-roll sets (2 absorbers, less pit plate)  
91"W x 185"L x 48"H – 13,000 lbs  
20" 4WD tandem multi roll (4 absorbers, less pit plate)  
138"W x 234"L x 24"H – 19,000 lbs  
30" 6WD tandem multi roll (3 absorbers, less pit plate)  
120"W x 252"L x 30"H – 20,000 lbs

#### ***Control Console and PC Options:***

Enclosed (RFI resistant) rolling PC cabinet  
Pocket DYNO-MAX - wireless control software  
"Pro" Console with PC and 17" LCD display

#### ***Data Collection Options:***

5-gas analyzer with digital RS232 interface  
Air/fuel ratio exhaust gas module (with pump)  
Atmospheric "Weather Station"  
DYNO-MAX "Pro" software  
OBD-II interfaces (RPM, MPH, TPI, etc.)  
Oil temperature "dip stick" thermocouples

#### ***Other Options:***

42" 13,300 CFM test bay cooling fan (120 volt)  
Above ground mounting 4-post lift kit  
Starter motor and drive kit  
Principio del formulario



**Terms of sale, prices, specifications subject to change, call 603-226-3966**  
**Telephone hours: Monday thru Friday, from 8:00 am to 6:00 pm - Eastern Time**

For DYNO-mite Dynamometer technical assistance — phone, or e-mail: [sales@land-and-sea.com](mailto:sales@land-and-sea.com)  
© 6 Jan 2013 Land & Sea, Inc.; 25 Henniker Street; Concord, NH 03301-8528 USA +1-603-226-DYNO

---

## **9. Características técnicas del dinamómetro de chasis para vehículos pesados.**



QUOTE

DYNOMite Dynamometer
25 Henniker Street
Concord, NH 03301
www.land-and-sea.com

Shipping Address:
25 Henniker Street
Concord, NH 03301

Phone: (603) 226-3966
Fax: (603) 226-4329
E-mail: sales@land-and-sea.com

QUOTE NUMBER: 0051008
ORDER DATE: 10/19/2011
QUOTE EXPIRATION: 11/21/2011
ESTIMATED LEAD TIME: 14 to 18 Weeks ARO
SALESPERSON: Thomas H. Nestor
tom@land-and-sea.com
CUSTOMER NUMBER: 0402547

Table with 2 columns: SOLD TO and SHIP TO. Both contain UNAM Engineering Dept Mexico City, Mexico.

Contact: M.I. Fernando Garcia Puertos

Main quote table with columns: PO NUMBER, SHIP VIA, F.O.B., TERMS, PAYMENT TYPE, ITEM, UNIT, QTY. ORDERED, QTY. SHIPPED, BACK ORDERED, UNIT NET, AMOUNT. Includes item descriptions for dynamometer systems and training.

10. Cotización de un dinamómetro de chasis para vehículos pesados.



## Depósitos galvanizados para combustibles: de doble pared homologado para gasóleo



- Capacidad de 1.000 l

Depósitos de combustible de gasóleo homologados según la Norma UNE 53432 - 92 y anexos. Mayor seguridad en el almacenamiento de gasóleo sin riesgos de corrosión.

Depósitos que combinan una gran robustez y estabilidad. Están tratados con recubrimiento impermeabilizante SMP, impidiendo que el olor del gasoil se note en el ambiente y reduciendo al mínimo las pérdidas por evaporación.

Muy ligero y fácil de transportar e instalar. No requiere mantenimiento.

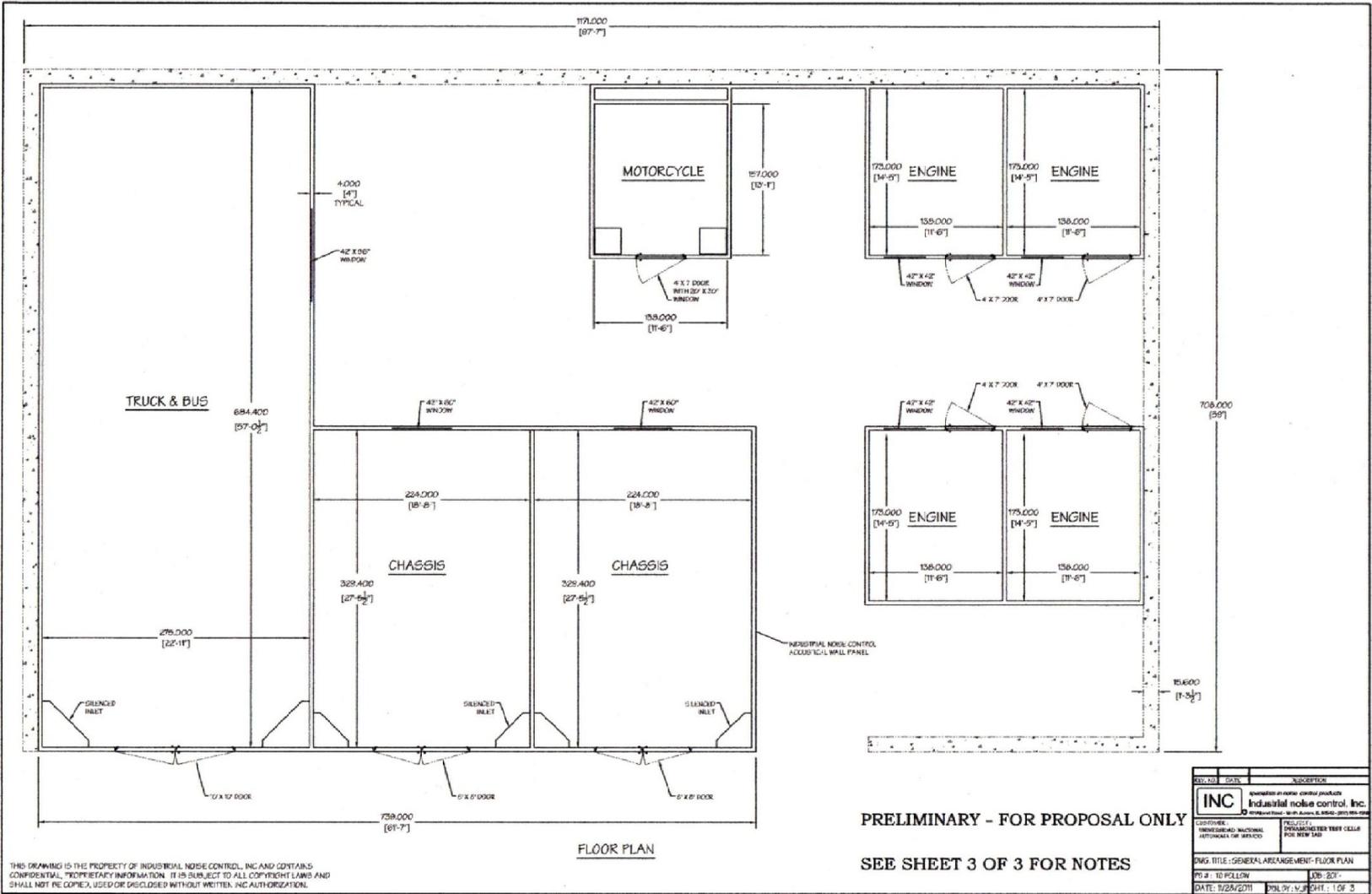
Forma compacta ideal para economizar espacio. Idóneo para espacios de baja altura.

Doble seguridad del depósito dentro del depósito.

Cubeto externo de chapa galvanizada que hace la función bandeja de seguridad y protector de depósito interior.

### **11. Características técnicas del tanque de almacén para combustibles**

12. Dimensiones para cada una de las salas, propuesta de INC Industrial Noise Control Inc. 401 Airport Road, North aurora Il. 60542,





## LABORATORIO DE CONTROL DE EMISIONES

Boulevard Juriquilla S/N, Juriquilla, Querétaro, Qro., 76230, México

Nombre:	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, UNAM	12.0525-LCE-G-MEM-SUP-01
Dirección:	Av. Universidad 3000, Copilco Universidad, Cojocacán, México, 04360, DF	Fecha: Mayo 25 de 2012
Responsable:	Dr. Rogelio González Oropeza	CLAVE: AP.SUP-01

### TABLA DE SUPERFICIES DE CONSTRUCCIÓN

#### ETAPA 01

NIVEL	SUPERFICIE DESPLANTE	SUPERFICIE HABITABLE	SUPERFICIE CIRCULACIÓN	SUPERFICIE SERVICIOS	SUPERFICIE VOLADOS	SUPERFICIE TOTAL	SUPERFICIE VACÍOS	SUPERFICIE CONSTRUIDA
PLANTA NIVEL PB	432.000 m <sup>2</sup>	354.127 m <sup>2</sup>	42.863 m <sup>2</sup>	35.010 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	432.000 m <sup>2</sup>	21.240 m <sup>2</sup>	410.760 m <sup>2</sup>
PLANTA NIVEL AZ	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>432.000 m<sup>2</sup></b>	<b>354.127 m<sup>2</sup></b>	<b>42.863 m<sup>2</sup></b>	<b>35.010 m<sup>2</sup></b>	<b>0.000 m<sup>2</sup></b>	<b>432.000 m<sup>2</sup></b>	<b>21.240 m<sup>2</sup></b>	<b>410.760 m<sup>2</sup></b>
<b>PORCENTAJE</b>		81.97 %	9.92 %	8.10 %	0.00 %	100.00 %	4.92 %	95.08 %

#### ETAPA 02

NIVEL	SUPERFICIE DESPLANTE	SUPERFICIE HABITABLE	SUPERFICIE CIRCULACIÓN	SUPERFICIE SERVICIOS	SUPERFICIE VOLADOS	SUPERFICIE TOTAL	SUPERFICIE VACÍOS	SUPERFICIE CONSTRUIDA
PLANTA NIVEL PB	178.200 m <sup>2</sup>	160.515 m <sup>2</sup>	10.800 m <sup>2</sup>	6.885 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	178.200 m <sup>2</sup>	10.800 m <sup>2</sup>	167.400 m <sup>2</sup>
PLANTA NIVEL AZ	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>178.200 m<sup>2</sup></b>	<b>160.515 m<sup>2</sup></b>	<b>10.800 m<sup>2</sup></b>	<b>6.885 m<sup>2</sup></b>	<b>0.000 m<sup>2</sup></b>	<b>178.200 m<sup>2</sup></b>	<b>10.800 m<sup>2</sup></b>	<b>167.400 m<sup>2</sup></b>
<b>PORCENTAJE</b>		90.08 %	6.06 %	3.86 %	0.00 %	100.00 %	6.06 %	93.94 %

#### RESÚMEN

NIVEL	SUPERFICIE DESPLANTE	SUPERFICIE HABITABLE	SUPERFICIE CIRCULACIÓN	SUPERFICIE SERVICIOS	SUPERFICIE VOLADOS	SUPERFICIE TOTAL	SUPERFICIE VACÍOS	SUPERFICIE CONSTRUIDA
ETAPA 01	432.000 m <sup>2</sup>	354.127 m <sup>2</sup>	42.863 m <sup>2</sup>	35.010 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	432.000 m <sup>2</sup>	21.240 m <sup>2</sup>	410.760 m <sup>2</sup>
ETAPA 02	178.200 m <sup>2</sup>	160.515 m <sup>2</sup>	10.800 m <sup>2</sup>	6.885 m <sup>2</sup>	0.000 m <sup>2</sup>	178.200 m <sup>2</sup>	10.800 m <sup>2</sup>	167.400 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>610.200 m<sup>2</sup></b>	<b>514.642 m<sup>2</sup></b>	<b>53.663 m<sup>2</sup></b>	<b>41.895 m<sup>2</sup></b>	<b>0.000 m<sup>2</sup></b>	<b>610.200 m<sup>2</sup></b>	<b>32.040 m<sup>2</sup></b>	<b>578.160 m<sup>2</sup></b>
<b>PORCENTAJE</b>		84.34 %	8.79 %	6.87 %	0.00 %	100.00 %	5.25 %	94.75 %

## LABORATORIO DE CONTROL DE EMISIONES

Boulevard Juriquilla S/N, Juriquilla, Querétaro, Qro., 76230, México

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, UNAM  
 Dirección: Av. Universidad 3000, Copilco Universidad, Coyoacán, México, 04360, DF  
 Responsable: Dr. Rogelio González Oropeza

12.0525-LCE-G-MAT-SER-01

Mayo 25 de 2012

CLAVE: AP.MAT-01

### MATRIZ DE SERVICIOS

SALIDAS DE SERVICIOS	EQUIPAMIENTO DINAMÓMETROS								
	TRACTO CAMIONES	VEHÍCULOS LIGEROS	BANCO HIDRÁULICO	CORRIENTES PARÁSITAS	MOTOS	CUARTO DE CONTROL 01	CUARTO DE CONTROL 02	CUARTO DE MÁQUINAS	CIRCULACIÓN
1 INYECCIÓN DE AIRE	-	-	1	1	-	-	-	-	-
2 EXTRACCIÓN DE AIRE	2	1	1	1	1	-	-	-	-
3 EXTRACCIÓN DE GASES DE ESCAPE - Tubo de 6"	2	2	1	1	1	-	-	-	-
4 AIRE ACONDICIONADO Ambiente Controlado	-	4	-	-	1	1	1	-	-
5 AIRE PRESURIZADO	2	1	1	1	1	-	-	1	-
6 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA a 220 VCA	5	8	2	2	4	4	3	3	2
7 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA a 127 VCA	5	4	2	2	3	5	4	3	2
8 ALIMENTACIÓN DE AGUA (LLAVE DE NARÍZ)	2	1	1	1	1	-	-	1	-
9 ARRANCADOR   PARO DE VENTILADOR	-	1	-	-	1	-	-	-	-
10 AISLAMIENTO ACÚSTICO	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Nota:

"X" indica el suministro del servicio en el local.

"#" indica el número de salidas en el local.