



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS ARAGÓN

“ANÁLISIS DE LOS NIVELES CONTAMINANTES EN MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA POR ABSORCIOMETRÍA INFRARROJA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PRESENTA:

**JOSÉ ARTEMIO TRINIDAD CRUZ**

ASESOR: ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ



San Juan de Aragón, Estado de México.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Objetivos</b> .....	5
<b>Resumen de Capitulo</b> .....	6
<b>Capitulo 1.Generalidades</b> .....	7
1.1 Naturaleza de la luz.....	7
1.1.1 La teoría corpuscular.....	7
1.1.2 La teoría ondulatoria.....	9
1.1.3 La teoría electromagnética.....	11
1.2 La luz infrarroja.....	15
1.2.1 Características de la luz infrarroja.....	18
1.2.2 Uso de los rayos infrarrojos.....	18
1.2.3 La espectroscopia infrarroja.....	20
1.3 Velocidad de la luz.....	21
1.4 Transductores.....	25
1.4.1 Tipos de Transductores.....	25
1.5 Gases.....	29
1.6 Gases tóxicos.....	34
1.6.2 Seguridad en los envases que contienen gases.....	35
1.6.3 Gases tóxicos en el ambiente.....	36
1.7 Señal eléctrica.....	39
1.7.1 Conversión analógica a digital.....	40
1.8 Amplificación de señales.....	43
<b>Capitulo 2. Desarrollo de los motores de Combustión interna y la evolución hacia nuevas tecnologías para la sustentabilidad ambiental</b> .....	47
2.1 Evolución del motor de combustión interna.....	47
2.2 Elementos del motor a gasolina.....	51
2.3 Operación del motor a gasolina.....	55
2.4 Sistemas de inyección de combustible.....	58

2.4.1 Desarrollo.....	58
2.4.2 Funcionamiento.....	60
2.4.3 Ventajas.....	65
2.5 El convertidor catalítico.....	68
2.5.1 Descripción.....	68
2.5.2 Funcionamiento.....	68
2.6 Tecnologías alternativas.....	72
2.6.1 Desarrollo.....	72
2.6.2 Panorama de los vehículos eléctricos.....	74
2.6.3 La tecnología del hidrogeno y las celdas de combustible.....	77
2.6.4 Aplicación del combustible diesel en vehículos automotores.....	80
2.6.5 Automóviles híbridos.....	82
<b>Capitulo 3. La contaminación: Como afecta el entorno.....</b>	<b>85</b>
3.1 Antecedentes.....	85
3.2 Las fuentes de contaminación.....	89
3.2.1 Compuestos inorgánicos del carbono.....	90
3.2.2 Compuestos derivados del azufre.....	91
3.2.3 Hidrocarburos.....	91
3.2.4 Compuestos del Nitrógeno.....	92
3.2.5 Contaminantes con partículas metálicas.....	94
3.2.6 Partículas y cenizas.....	95
3.3 Impacto ambiental.....	97
3.3.1 Efecto de los principales contaminantes.....	99
3.4 Evaluación de los niveles de contaminación en la ciudad de México.....	103
3.5 Estrategias del gobierno.....	107
3.6 Laboratorios de emisiones vehiculares.....	111
<b>Capitulo 4. Método de análisis por absorciometría infrarroja.....</b>	<b>114</b>
4.1 Antecedentes.....	114

4.2 Análisis infrarrojo.....	115
4.2.1 Principio de operación.....	116
4.2.2 Especificaciones.....	118
4.2.3 Instalación.....	120
4.2.3.1 Condiciones de instalación.....	120
4.2.3.2 Conexiones externas.....	121
4.2.4 Configuración interna.....	124
4.2.5 Tarjeta Principal de Control AIA-M.....	128
4.2.5.1 Ajuste del desplazamiento del sistema amplificador.....	128
4.2.5.2 Ajuste de $f_0$ (alineación de la frecuencia central pasa banda).....	130
4.2.5.3 Ajuste de los potenciómetros de rango.....	131
4.2.5.4 Ajuste de la constante de tiempo.....	131
4.2.5.5 Ajuste de ganancia del amplificador de la tarjeta del panel frontal (Displays).....	132
4.2.6 Panel frontal.....	132
4.2.6.1 Control a un valor cero (Zero).....	133
4.2.6.2 Control de Ganancia (Span).....	133
4.2.6.3 Pantalla digital (Display).....	133
4.2.6.4 Interruptor de selección de rango (Range).....	133
4.2.6.5 Pantalla digital de rango (Display Range).....	134
4.2.7 Puesta en operación.....	134
4.2.8 Compensación por interferencia.....	135
4.2.9 Calibración.....	136
4.2.10 Ajustadores.....	137
4.2.11 Elementos de ajuste del sistema óptico.....	137
4.2.12 Revisiones del sistema óptico.....	139
4.2.12.1 Para el componente sencillo.....	140
4.2.12.2 Para el componente doble.....	140
4.2.13 Ajustes ópticos.....	142
4.2.13.1 Del detector para el componente sencillo y principal del detector doble.....	142

4.2.13.1.1 Del detector de compensación (COMP).....	144
4.2.13.1.2 Del analizador de componente doble.....	145
4.3 Ajustes en la operación y aspectos de mantenimiento.....	146
4.3.1 Procedimiento de mantenimiento preventivo y correctivo.....	149
<b>Conclusiones.....</b>	<b>152</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>155</b>
<b>Mesografía.....</b>	<b>156</b>

# INTRODUCCIÓN

El automóvil, en el largo camino de su evolución, ha pasado a ser un elemento necesario para la vida moderna en el rubro del transporte; forma parte importante de la maquinaria que mueve la economía de un país, sin duda está entre los más importantes inventos del hombre. Sin embargo, la actual demanda en el uso del automóvil ha provocado importantes cambios que afectan nuestro medio ambiente y en general la calidad del aire que está cada vez más deteriorada, sin considerar a los otros desechos provenientes del uso de los automotores en todas sus versiones, como son: las llantas, fluidos automotrices, aceite de desecho, etc. Los cuales, si no son manipulados en forma correcta, forman un foco de contaminación al suelo, ríos, lagos y océanos, que sin duda derivan en consecuencias más graves. Si bien es cierto que se trata de aspectos sujetos a la cultura de un país, en México hace falta recorrer un largo camino para poder alcanzar una verdadera conciencia ambiental.

Debido a la urgente necesidad en el aspecto ambiental por mejorar las condiciones de nuestro entorno, se han propuesto innovaciones tecnológicas que intentan ser más amigables con el medio ambiente. Por su parte, las compañías armadoras automotrices en forma simultánea trabajan en el desarrollo de nuevas tecnologías, para reducir al máximo el gran problema de la contaminación al ambiente. En general, la investigación en el ámbito automotriz se ha concentrado en un aspecto muy importante: la idea de una mejor eficiencia en el automóvil.

En forma ideal, un vehículo debe despedir por el sistema de escape: oxígeno, vapor de agua y muy pequeñas cantidades de bióxido de carbono y otros componentes, los cuales serían relativamente inofensivos. En forma real, el alto contenido de partículas nocivas que son arrojadas a la atmósfera por un automóvil, después de la reacción que se realiza dentro de la cámara de combustión del motor, ha sido el principal motivo del desarrollo y la fabricación de motores con un mejor desempeño.

Con la aplicación de otro tipo de tecnologías, como los motores eléctricos, vehículos híbridos, combustibles alternos y nuevas formulaciones en convertidores catalíticos, se intenta disminuir la contaminación ambiental y mejorar al medio ambiente.

Cabe mencionar la importancia que tienen los convertidores catalíticos como un elemento que contribuye en el control de emisiones contaminantes y permiten la disminución de los elementos nocivos.

Además, resulta inevitable todavía el uso de combustibles fósiles en un alto grado de consumo, por que aún existen demasiados vehículos que utilizan gasolina o algún otro hidrocarburo, y agregado a esto, la tendencia en la industria automotriz de seguir construyendo motores que utilizan gasolina por algunos años más; incluso aquellos que cuentan con la tecnología de híbridos, a pesar de ser la que se perfila como la de mayor viabilidad.

Hoy en día, existen miles de automóviles circulando diariamente en lugares donde existen pocas alternativas de dispersión de partículas contaminantes, como es el caso de la ciudad de México. En esta situación, es importante la existencia de los laboratorios de investigación, que están dedicados al análisis de las emisiones en vehículos automotores. A través de ellos se desarrollan nuevas formulaciones en los combustibles para el estudio en la industria petroquímica, en particular en la industria automotriz, logrando realizar los ajustes y cambios adecuados en la producción de los vehículos antes de lanzarlos al mercado, obligando a las marcas automotrices, el cumplimiento en el marco normativo de la legislación ambiental.

Las normas vigentes en cada país establecen los métodos de prueba, el equipo que debe utilizarse, las condiciones y los límites de emisiones a los cuales deben estar sujetos los vehículos de producción para su comercialización. En México, las normas que obliga el gobierno como requisito y que se deben cumplir por parte de los laboratorios de ensayo son: la NMX-AA-11-1993-SCFI, la cual refiere el método de prueba para la evaluación de emisiones de gases de escape de los vehículos automotores nuevos en planta que usan gasolina como combustible, y la NOM-042-SEMARNAT-2003, la cual establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, no metanos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape. Los automóviles deben utilizar gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel como combustible. Por otro lado, también considera las emisiones de hidrocarburos en pruebas de emisiones evaporativas estáticas provenientes del sistema de combustible.



El conocimiento, manejo y mantenimiento de los equipos de análisis de los laboratorios de investigación de emisiones vehiculares implica para los usuarios una capacitación más completa para realizar dicha tarea. Los operarios que realizan esta actividad, por lo general cuentan con pocos o nulos conocimientos respecto a los equipos de prueba, sin tomar en cuenta la complejidad que tienen, aunado a la consideración de que el personal solo se encarga de la sola operación del equipo y no es necesario realizar una tarea que va más allá, como lo es un ajuste electrónico u óptico, incluso el reemplazo de alguna pieza dañada, debido a que estas actividades por lo regular están a cargo del fabricante o algún proveedor de servicio.

En la investigación de los combustibles para automotores y con el fin de reducir componentes considerados como nocivos, surgen los biocombustibles, que son productos derivados de procesos orgánicos, y en la práctica generan menor cantidad de elementos tóxicos en el resultado de la combustión. Sin embargo, el uso de estos combustibles aun está limitado, sumado al hecho de que para ser aprobados sería necesario someterlos a un proceso de evaluación para determinar su acción inofensiva al ambiente, en conjunto con el elevado costo que implicarían los complejos procesos de fabricación. En México, como en muchos otros países, en la actualidad, no se cuenta con una investigación y desarrollo comprometido, por lo menos no al grado de la implementación de nuevas fuentes de energía, hablando de combustibles, así como los medios suficientes para la aplicación de estas alternativas, tristemente no existe el interés para la inversión en este tipo de investigaciones. De cualquier forma, aun existe mucho tiempo de uso para los combustibles derivados del petróleo y finalmente esta opción no resulte ser la más adecuada. Los laboratorios de investigación en emisiones, por medio de sus equipos de análisis, permiten apoyar el desarrollo de estos nuevos combustibles por un lado, pero también la aplicación de nuevas tecnologías, componentes de motores para automóviles y elementos de regulación eficaces por otro lado, por lo que necesitan estar en perfectas condiciones de operación los diferentes equipos en todo momento. Dentro de este argumento, podemos enfatizar la importancia que tiene el mantenimiento y calibración de los analizadores. En esta situación resulta de gran importancia el tener un material de referencia para llevar a cabo dicha tarea. Este trabajo de tesis se orientó al apoyo en la aplicación de los mantenimientos, calibraciones y, sobre todo, en la sensibilización de los operarios con el funcionamiento interno del equipo de análisis con el que cuentan los

laboratorios de emisiones vehiculares para medir niveles de CO y CO<sub>2</sub>, conocido como analizador por absorciometría infrarroja.

En el proceso evolutivo del automóvil se ha podido ver el uso de la electrónica para realizar algunas de sus funciones. En un principio, por ejemplo, los sistemas que formaban parte de un vehículo habían sido solo mecánicos y unos cuantos de operación eléctrica y electrónica muy simple. Sin embargo, con la importancia de la seguridad y considerando la confiabilidad que puede aportar la electrónica, se han implementado modelos de control para los sistemas de un automóvil. Se desarrollaron sistemas que ayudan al conductor en la operación de su vehículo, como el sistema de frenos antibloqueo (ABS), el cual asiste al conductor con un frenado que permite continuar en línea recta sin que se pierda el control del vehículo, y que, finalmente es controlado por un módulo electrónico. El sistema de inyección de combustible es controlado en la actualidad, para todos los vehículos de nueva fabricación, por un sistema electrónico que permite la dosificación de combustible en los tiempos adecuados, pero el aspecto más importante de estos sistemas, es que se ha logrado obtener un mejor nivel de aprovechamiento en el uso de los combustibles, lo que se ve reflejado en una mayor eficiencia energética, que sin duda ayuda al mejoramiento ambiental. En la actualidad, los elementos que administran el encendido de las luces de un vehículo son controladas a través de un módulo electrónico con variables de entrada, incluso existen para la operación de la transmisión y los cambios de velocidad conocidas en el medio como transmisiones robotizadas.

## **OBJETIVOS**

Incorporar un material de apoyo en la utilización, el mantenimiento y reparación del sistema de análisis conocido como analizador de niveles de monóxido de carbono y dióxido de carbono modelo AIA-220, que funciona bajo el principio de absorciometría Infrarroja, adquiriendo el conocimiento en el principio de operación y funcionamiento. El operador del analizador podrá realizar el diagnóstico de las posibles fallas y los ajustes necesarios en el equipo cuando se presentan mediciones incorrectas, así como sensibilizar a los usuarios del banco de emisiones diluidas, en el contexto de las emisiones vehiculares como parte fundamental en el proceso de la certificación de vehículos nuevos, desarrollo de nuevos componentes y a si mismo de las nuevas tecnologías en la que está involucrada la industria automotriz, tomando en cuenta la importancia que tiene la realización confiable de la pruebas de emisiones y el correcto funcionamiento de los equipos.

## RESUMEN DE CAPITULADO

En el capítulo 1 se consideran aspectos relacionados a la naturaleza de la luz y de la inquietud del hombre por develar los secretos de la naturaleza, encontrándose con la existencia de un espectro donde se ubica todo tipo de luz, incluso la que no es visible. A través del espectro electromagnético se descubren las características del Infrarrojo, el cual a lo largo de la historia ha recibido diferentes aplicaciones en la investigación, por ejemplo, la aplicación que tiene en la determinación de niveles de CO y CO<sub>2</sub> por el método de absorciometría infrarroja en los laboratorios de emisiones vehiculares.

El capítulo 2 se desarrolla en el contexto de la industria automotriz y a lo largo de la historia del hombre por encontrar una solución de transporte, desde los primeros proyectos y su evolución hasta los sorprendentes avances tecnológicos con que se cuentan hoy en día. Sin embargo, en el tema ambiental la industria automotriz ha colaborado en buena parte en su deterioro, por lo cual los gobiernos están enfocados a buscar una buena estrategia para controlar la situación, obligando a los grandes corporativos de la industria automotriz a trabajar en el desarrollo de tecnologías ambientalistas.

En el capítulo 3 se mencionan los temas relacionados con la contaminación ambiental. La aportación de elementos nocivos que tiene el uso diario de vehículos, por ejemplo, en la ciudad de México representa un estimado del 85% del total de los contaminantes en el ambiente. Aquí, el trabajo de los laboratorios de investigación en emisiones vehiculares ayuda en el desarrollo de nuevos combustibles, tecnologías y dispositivos que permiten el mejoramiento en la calidad del aire, por lo menos hasta que la dependencia en los combustibles de origen mineral deje de ser la principal fuente de abastecimiento.

El uso de instrumentación para medición de los niveles contaminantes es la principal forma de obtener un resultado confiable. En el capítulo 4 se desarrolla un método enfocado al uso del analizador de niveles de CO y CO<sub>2</sub>, que se utiliza en laboratorios de emisiones vehiculares, abarcando los aspectos importantes de mantenimiento, calibración y los ajustes necesarios al momento que es sustituido algún componente.

# CAPITULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 Naturaleza de la luz

#### 1.1.1 La teoría corpuscular

La naturaleza física de la luz ha sido uno de los grandes problemas de la ciencia desde la antigua Grecia; la luz era considerada como un fenómeno de la naturaleza corpuscular. Se llamaban corpúsculos a las partículas que formaban el rayo luminoso. Los antiguos filósofos ya tenían conocimientos acerca de la naturaleza de la luz y su propagación. De esta forma se le atribuye a Euclides (300 a. C.) el descubrimiento de las leyes de la reflexión de la luz. Por otro lado, el prominente físico inglés Isaac Newton descubre en siglo XVII que la luz natural al pasar a través de un prisma es separada en una gama de colores que van desde el rojo al azul, concluyendo por medio de este experimento que la luz blanca o natural esta compuesta por todos los colores del arcoíris. Newton propuso la teoría corpuscular para la luz, en oposición al modelo ondulatorio propuesto por Christian Huygens y que se vera más adelante. La teoría corpuscular de Newton establece que la luz está compuesta por una granizada de corpúsculos o partículas luminosas, los cuales se propagan en línea recta, que pueden atravesar medios transparentes y ser reflejados en materias opacas. Con esta teoría se explicaba la propagación rectilínea de la luz, la refracción y la reflexión, pero no aportaba una explicación acerca de la interferencia, la difracción y el fenómeno conocido como los anillos de Newton. Los cuales se manifiestan como irisaciones en las láminas delgadas de los vidrios. En cambio la teoría de Huygens si aportó una explicación acerca del fenómeno de los anillos.

Newton demostró en forma experimental que la luz blanca al traspasar un prisma se dispersa en rayos de colores, y que estos a su vez, al pasar por un segundo prisma, no se descomponen, sino que son homogéneos. Mediante el experimento de la descomposición de la luz deduce y demuestra que al dejar caer los rayos monocromáticos sobre un prisma, estos se recombinan para transformarse en luz blanca. Por lo que concluye que la luz blanca es el resultado de la combinación de varios rayos coloreados que poseen

diferentes grados de refrangibilidad, desde el violeta, el cual es el más refrangible, hasta el rojo, que tiene menor índice de refracción. Así se establece que la banda de los colores prismáticos forma el espectro luminoso como se observa en la figura 1.1.

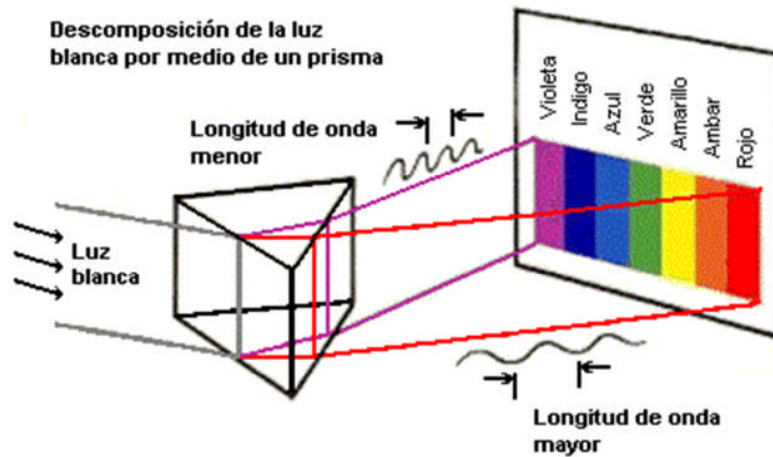


Figura 1.1 Newton demostró que la luz blanca es resultado de la combinación de varios colores.

Newton consideró a la luz como un flujo de proyectiles, que son emitidos por un cuerpo que genera luminosidad, y supuso con esto que la visión era consecuencia de la colisión de granizadas de proyectiles que impactaban en los ojos. Por medio de su hipótesis corpuscular, intentó explicar también el interesante fenómeno de los anillos de colores engendrados por láminas delgadas (los anillos de Newton), e interpretó de igual manera el fenómeno de la refracción de la luz, aceptando que las partículas luminosas, al pasar de un ambiente poco denso como el aire a otro más denso como los cristales, aumentan su velocidad debido a una atracción más fuerte. Esta conclusión no coincide en ningún caso con la teoría ondulatoria de la luz, que establece una propagación más lenta de la luz al pasar de un medio menos denso a materiales más densos.

La teoría acerca de la naturaleza corpuscular de la luz, que estuvo sustentada por el enorme prestigio de Newton, prevaleció durante el siglo XVIII, sin embargo, debió ceder, al surgir la teoría ondulatoria en el siglo XIX debido a que fue contrastada con gran éxito por los experimentos de Huygens. Aunque más adelante, con el descubrimiento de nuevos fenómenos en relación a la luz, se logró conciliar en parte la ponencia de ambas teorías.

### 1.1.2 La teoría ondulatoria

La teoría ondulatoria, propuesta por el matemático holandés Christian Huygens en 1678, describe y explica lo que se conoce como leyes de refracción y reflexión de la luz. En su trabajo, define a la luz como un movimiento ondulatorio semejante al que se produce con el sonido. En aquella época, los físicos consideraban que todas las ondas requerían de algún medio que las transportara en el vacío. Para las ondas de luz, se atribuyó un medio de transporte que consistía de una materia insustancial e invisible, la cual recibió el nombre de Éter. Pero justamente la presencia de esta sustancia fue el principal medio cuestionador de la teoría ondulatoria. Esta teoría establecía que era necesario igualar las vibraciones luminosas con las vibraciones elásticas transversales de los sólidos, para obtener vibraciones longitudinales. La mayor contradicción de dicha teoría aparece en esta parte, debido a la presencia del Éter como medio de transporte de ondas. Se necesitaba que el Éter reuniera alguna característica sólida pero que a su vez no opusiera resistencia al libre tránsito de cuerpos sólidos, y sabiendo que, las ondas transversales sólo se propagan a través de medios sólidos, esto no es posible. En el esquema de la figura 1.2 se observa el movimiento de las ondas de luz según Huygens.

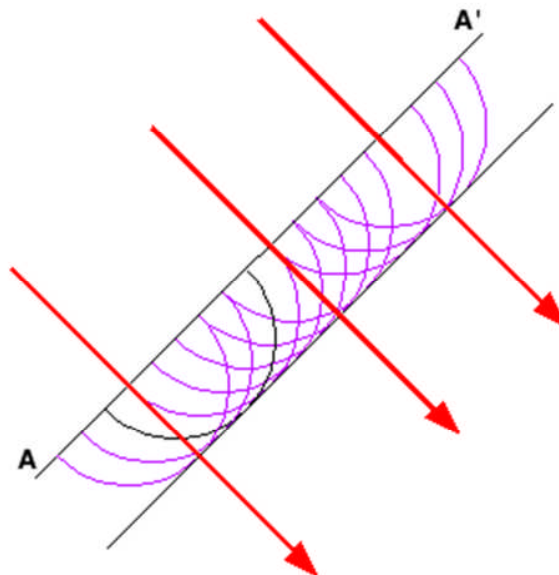


Figura 1.2 Para Huygens el frente de la onda de luz es perpendicular a las direcciones de propagación.

En aquella época la teoría de Huygens no fue considerada muy relevante, sobre todo por el prestigio y fama que alcanzó Newton, por lo que tuvo que transcurrir más de un siglo para que la teoría ondulatoria de la luz fuera considerada relevante. En este contexto, los experimentos del médico inglés Thomas Young, acerca de los fenómenos de interferencias luminosas, y los del físico francés Auguste Jean Fresnel sobre la difracción de la luz, fueron decisivos para que Huygens y su teoría ondulatoria figurara en la lista de los físicos que aportaron estudios acerca de los fenómenos luminosos.

Por otro lado, Young demostró experimentalmente un fenómeno paradójico con la teoría corpuscular, en el que afirmaba que la suma de dos fuentes luminosas puede producir menos luminosidad que por separado. El experimento que realizó para demostrarlo consistía en hacer dos pequeños orificios en una pantalla, muy próximos entre sí, de tal forma que al acercarla al ojo, la luz de un pequeño y lejano foco aparece en forma de anillos brillantes y oscuros que se ubican alternativamente. Surge la pregunta de cómo darle una explicación al efecto de los dos agujeros, que separados dan un campo iluminado y combinados se observan sombras en ciertas zonas. Young logra dar una explicación a la alternancia de las franjas por medio del concepto de las ondas acuáticas, esto es, si las ondas suman sus crestas hallándose estas en concordancia de fase, la vibración resultante será intensa, en cambio, si la cresta de una onda se encuentra coincidiendo con el valle de otra, la vibración resultante será nula. Esta deducción de simple explicación se le atribuye a la interferencia, y se concibe la idea de la luz como un estado vibratorio de una materia insustancial e invisible. Se vuelve a utilizar el concepto del Éter para darle nombre a esa materia.

La colaboración de Auguste Fresnel, para el rescate de la teoría ondulatoria, estuvo basada en la aportación matemática que dio sustento a las ideas propuestas por Young, y la explicación que presentó éste acerca del fenómeno de la polarización fue que debía transformarse el movimiento ondulatorio en longitudinal. Young consideraba que las vibraciones luminosas se concebían en dirección paralela a la propagación de la onda luminosa en ondas transversales. Sin embargo, en esta parte queda descubierta una gran contradicción, pese a las explicaciones de Fresnel para el rescate de la teoría ondulatoria, ya que no es posible que se pueda propagar la luz en el Éter por medio de ondas transversales, debido a que éstas sólo se propagan en medios sólidos. En sus estudios,



Fresnel da la explicación a múltiples fenómenos manifestados por la luz polarizada, en uno de ellos observa que dos rayos polarizados ubicados en un mismo plano se interfieren, pero no lo hacen si están polarizados entre si cuando se ubican perpendicularmente. A través de este descubrimiento determina que con un rayo de estas características debe ocurrir algo en forma perpendicular en dirección a la propagación, y ese algo no puede ser otra cosa que la propia vibración luminosa. La conclusión es determinante: las vibraciones en la luz no pueden ser longitudinales, como Young lo propusiera, sino perpendiculares a la dirección de propagación, es decir, transversales.

Las investigaciones desarrolladas acerca de la naturaleza de la luz, hasta esa época, concibieron aportaciones de mayor conocimiento, entre las que se pueden encontrar, el poder medir la velocidad de la luz con mayor exactitud que la permitida por las observaciones astronómicas. El físico francés Hyppolyte Fizeau terminó el estudio en el año de 1849 con un experimento que consistía en dejar pasar la luz reflejada por dos espejos por los intersticios (espacios) de una rueda girando rápidamente. Determinó la velocidad que podría tener la luz en su trayectoria, calculó en una cifra aproximada de 315, 000 km/seg. Después de estos acontecimientos, el también físico francés León Foucault logró hacer unas mediciones a través del agua. El experimento fue de gran interés, pues iba a servir como criterio entre la teoría corpuscular y la ondulatoria. La primera, requería que la velocidad fuera mayor en el agua que en el aire, contrario a lo que exigía la teoría ondulatoria. En el año de 1851, Foucault logró comprobar que la velocidad cuando pasa por el agua es inferior a la que alcanza cuando viaja por el aire. Debido a estos hechos, la teoría ondulatoria adquiere más popularidad sobre la corpuscular y fortalece el camino para los estudios de Maxwell en relación a la gran síntesis de la teoría electromagnética.

### **1.1.3 La teoría electromagnética**

Esta teoría fue desarrollada por el físico inglés James Clerk Maxwell, quien es considerado el más imaginativo de los físicos teóricos del siglo XIX. En el año de 1865 aportó el sustento matemático a los estudios sobre los fenómenos luminosos que anteriormente había dado a conocer el químico y físico inglés Michael Faraday, y por otro

lado, logró reunir los fenómenos ópticos y electromagnéticos que hasta entonces se identificaban dentro del marco de una teoría sorprendente pero sin estructura alguna, como lo era la teoría ondulatoria. La investigación que desarrolla Maxwell propone que cada cambio en el campo eléctrico provoca en su proximidad un campo magnético, y de manera contraria, cada variación en el campo magnético origina un campo eléctrico como se puede observar en la figura 1.3. Ahora bien, considerando que las acciones eléctricas se propagan con velocidad finita de un lugar a otro, se pueden analizar los cambios periódicos, es decir, los cambios en dirección e intensidad de un campo eléctrico como una propagación de ondas. Esas ondas magnéticas están forzosamente acompañadas por ondas eléctricas inevitablemente ligadas a ellas. Los dos campos, el eléctrico y el magnético los cuales son periódicamente variables están constantemente perpendiculares entre si y a la dirección común de su propagación. Se trata entonces de ondas transversales similares a las de la luz. Por otro lado, se establece que las ondas electromagnéticas se transmiten de acuerdo al criterio de los físicos alemanes Eduard Weber y Georg Kohlrausch, con la misma velocidad que la luz. Considerando la anterior propuesta y a manera de especulación, Maxwell concluye que la luz se constituye de una perturbación electromagnética que se propaga en el Éter. Por lo que las ondas eléctricas y las ondas luminosas son consideradas como fenómenos idénticos.

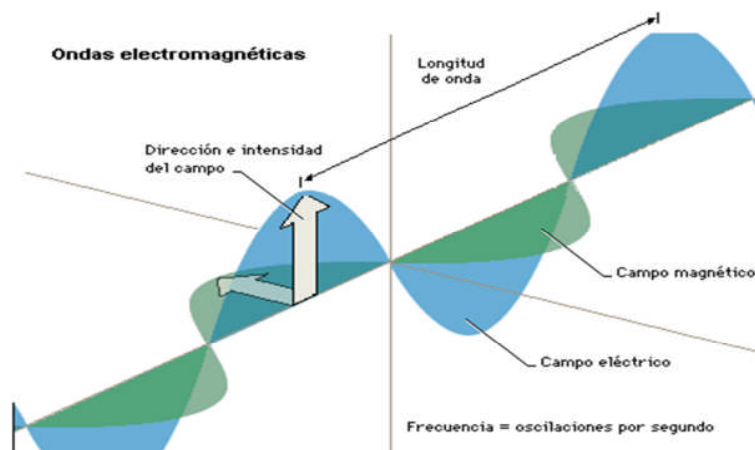


Figura 1.3 El campo eléctrico y el campo magnético son constantemente perpendiculares entre si.

En el año de 1885, el físico alemán Heinrich Hertz comprueba que las ondas hertzianas de origen electromagnético tienen las mismas propiedades que las ondas luminosas, confirmando con sus experimentos en forma definitiva la identidad de ambos

fenómenos. Para el año de 1888, Hertz logró reproducir ondas por medios exclusivamente eléctricos y de esta forma demostrar que esas ondas poseen todas las características de la luz visible, con la única diferencia de que las longitudes de sus ondas son visiblemente mayores. Con lo anterior, se puede comprobar que las ondas eléctricas tienen la propiedad de refractarse, reflejarse y polarizarse, y que su velocidad de propagación es igual a la de la luz. Así, quedaba confirmada la propuesta de Maxwell acerca de la existencia inequívoca de las ondas electromagnéticas. Una vez establecido lo anterior es posible la transmisión de las oscilaciones eléctricas inalámbricas, se abría entonces el panorama para el desarrollo de múltiples invenciones que han sido de gran utilidad en las diferentes etapas del progreso de la humanidad.

Las investigaciones de Maxwell y Hertz no solo quedaron limitadas a los usos prácticos, sino que trajeron consigo importantes consecuencias teóricas. Todas las radiaciones quedaron establecidas bajo las mismas características físicas, diferenciándose unas de otras únicamente en la longitud de onda en la que se producen. En la figura 1.4 la escala comienza con las largas ondas hertzianas y, pasando por la luz visible, se llegan a la de los rayos ultravioleta, los rayos X, los radioactivos y los rayos cósmicos.

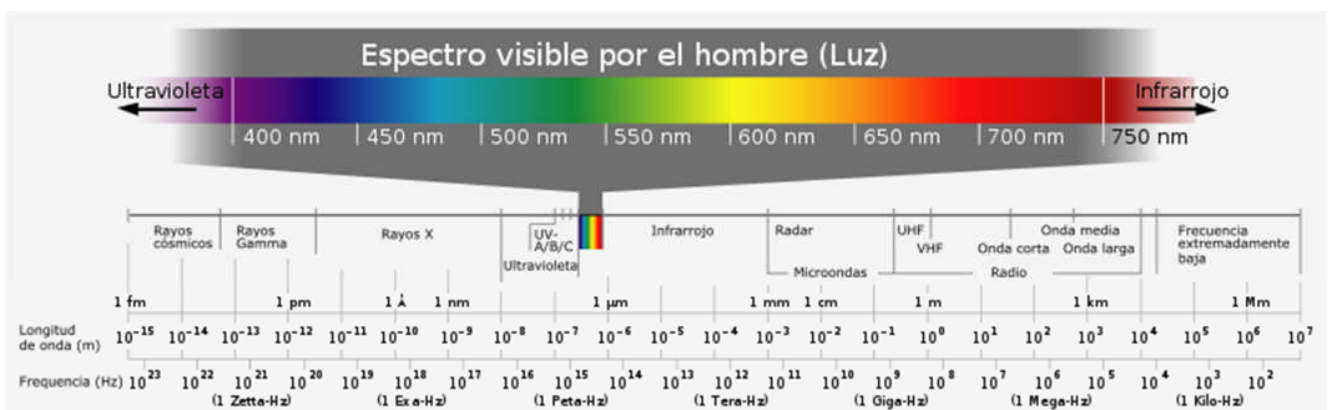


Figura 1.4 El espectro electromagnético.

Sin embargo, la teoría electromagnética propuesta por Maxwell, pese a su gran contenido, presenta aspectos débiles porque deja sin explicación manifestaciones tan evidentes como el fenómeno fotoeléctrico y la emisión de luz por cuerpos incandescentes. Las consecuencias fueron que, una vez terminada la euforia inicial se consideró necesario para los físicos de la época retomar la teoría corpuscular.

La solución a los problemas que se presentaban al consultar las diferentes teorías acerca de la naturaleza de la luz, comenzó a tomar forma en el año de 1895, en la mente de un estudiante alemán de dieciséis años. Albert Einstein, en el año de 1905 en un ensayo publicado por el periódico alemán, Anales de la física, abre el camino para eliminar las diferencias en las consideraciones hechas acerca de la luz, al establecer el principio de la relatividad, que mas tarde alcanzaría mucho prestigio.

En la actualidad, la luz visible es considerada como una onda, es decir, una oscilación electromagnética que se propaga libremente en el vacío o en un medio transparente, cuya longitud de onda es muy pequeña, unos 6,500 Å (Angstroms, un Å= una décima de milimicra, esto es, una diezmillonésima de milímetro) para la luz roja, y unos 4, 500 Å para la luz azul. Por otro lado, la luz visible es una parte insignificante en el espectro electromagnético; más allá del rojo esta la radiación infrarroja, con longitudes de onda aún más largas se encuentra la zona del infrarrojo lejano, las microondas de radio y luego toda la gama de las ondas de radio, que incluye las ondas centimétricas, métricas, decamétricas, hasta llegar a las largas ondas de radiocomunicación con longitudes de cientos de metros o más. Por ejemplo, la señal del dial de amplitud modulada de onda media que va desde los 550 a los 1,600 kilociclos por segundo y corresponde a una longitud de onda de 545 a 188 metros respectivamente.

En física, se identifica a las ondas por su longitud de onda y frecuencia, que se refiere al número de oscilaciones por segundo o ciclos por segundo. El producto de ambas cantidades es igual a la velocidad de propagación de la onda. En el otro extremo del espectro electromagnético se ubica la radiación ultravioleta, los rayos X y luego las longitudes de onda muy diminutas como las de los rayos gamma. Con base en lo anterior, se establece que la atmosfera terrestre solo es transparente en la región óptica, muy poco en el rango del infrarrojo y en la zona de ondas de radio. Es por eso que la mayor información acerca del universo ha sido a través de la ventana óptica. Así, en las últimas décadas, la radioastronomía ha sido de gran importancia para la entrega de conocimientos acerca del cosmos. Las distintas observaciones en el rango del los rayos ultravioleta, rayos X, rayos Gamma e incluso en una parte del infrarrojo, deben ser realizadas con instrumentos ubicados fuera de la atmosfera terrestre, aunque también es posible obtener

resultados en el infrarrojo con instrumentación ubicada en observatorios terrestres empotrados a gran altura sobre el nivel del mar, o con tecnología puesta en aviones o globos que se elevan sobre la baja atmosfera donde esta contenida la mayor parte del vapor de agua, que es la principal causa de la absorción atmosférica en el infrarrojo.

## **1.2 La luz infrarroja**

Nacido en Alemania, el astrónomo y músico Frederick William Herschel, realizó un descubrimiento muy importante en el año de 1800, utilizando unos dispositivos que llamó filtros coloreados con los que observaba el sol, advirtió que la cantidad de calor que transmitían dependía del color. Hizo pasar luz a través de un prisma de cristal para generar un espectro: el arcoíris, el cual se forma cuando la luz se divide en los colores que la forman, luego midió la temperatura de cada color. Al medir las temperaturas de la luz violeta, azul, verde, amarilla, naranja y roja, notó que cada color tenía una temperatura diferente. La temperatura de los colores del espectro aumentaba al ir del violeta al rojo. Después decidió medir la temperatura en una zona ubicada un poco más allá de la luz roja del espectro, al parecer desprovista de luz, descubriendo que esta región tenía la temperatura más alta de todas.

Herschel realizó otros experimentos en esta región y llamó a los rayos que se ubicaban allí como rayos caloríficos, encontrando que eran reflejados, refractados absorbidos y transmitidos igual que la luz visible. Había descubierto una forma de luz o radiación ubicada más allá de la luz roja. Esos rayos caloríficos fueron llamados rayos infrarrojos o radiación infrarroja (IR). El descubrimiento de Herschel representa gran importancia, no solo por que llevo al descubrimiento de los rayos infrarrojos, sino por que demostró que había formas de luz imposibles de percibir a simple vista.

Los ojos del ser humano son considerados como detectores que han ido evolucionando para percibir las ondas de luz visible, siendo está considerada como uno de los pocos tipos de radiación que puede penetrar la atmósfera y es posible detectar desde la superficie de la tierra. También existen otros tipos de luz que se conocen como radiaciones pero con la diferencia de que no se pueden percibir a simple vista, de hecho la

parte visible corresponde a una fracción muy pequeña comparada con toda la gama de radiación, a la que se le conoce como espectro electromagnético, el cual, está formado como ya se mencionó anteriormente por los rayos gamma, los rayos X, los rayos ultravioleta, la luz visible, los rayos infrarrojos, las microondas y las ondas de radio. La única diferencia entre estos distintos tipos de radiación es su longitud de onda y su frecuencia.

A medida que se pasa de los rayos gamma a las ondas de radio, la longitud de onda aumenta y la frecuencia disminuye, de igual forma disminuyen la energía y la temperatura. Todos estos tipos de radiación tienen una velocidad de propagación igual a 300, 000 km/s en el espacio vacío, que ciertamente es la velocidad de la luz, aparte de ésta, también llegan a la superficie de la tierra desde el espacio ondas de radio, una parte del espectro infrarrojo y una parte muy pequeña de radiación ultravioleta. Aquí, las capas de la atmósfera juegan un papel muy importante ya que bloquean el resto de la radiación que es muy peligrosa para las formas de vida en la tierra. La radiación infrarroja se encuentra comprendida en el espectro entre la luz visible y las microondas. Las ondas infrarrojas tienen longitudes de onda más largas pero frecuencias menores que la luz visible y más cortas pero frecuencias mayores que las de las microondas. Existen dos formas de diferenciar en el espectro a la radiación infrarroja: el infrarrojo cercano se refiere a la parte del espectro que se encuentra más próximo a la luz visible, y el infrarrojo lejano, el cual se ubica en la sección más cercana a la región de las microondas. La longitud de una onda medida en metros se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\lambda = c / f.$$

Donde:  $\lambda$  = longitud de la onda

$c$  = velocidad de la luz en el vacío

$f$  = frecuencia de la onda

La principal fuente de la radiación infrarroja se manifiesta en forma de calor o radiación térmica, tomando en cuenta que cualquier objeto que tenga una temperatura superior al cero absoluto (-273°C o 0° Kelvin) irradia ondas en la banda infrarroja, incluidos los objetos que se consideran muy fríos, como lo sería un trozo de hielo. Cuando un objeto no

es lo suficientemente caliente para irradiar ondas en el espectro visible, emite la mayoría de su energía como ondas infrarrojas. Así, es posible que un trozo de carbón encendido no emita luz visible, pero en cambio puede emitir la radiación infrarroja que se percibe en forma de calor. Por lo que se puede afirmar que, mientras más caliente se encuentra un objeto más radiación infrarroja emitirá.

Diariamente se sienten los efectos de la radiación infrarroja del día, el calor de la luz del sol, del fuego, de un radiador de calefacción o de una acera caliente. Aunque no puede verse esta radiación, en cambio, en la superficie de la piel si se puede sentir como calor, debido a que las terminaciones nerviosas de la piel son sensibles a la temperatura y pueden detectar la diferencia entre la temperatura interior del cuerpo y la temperatura exterior de la piel. El espectro electromagnético de la luz se puede dividir de manera general en tres categorías, de acuerdo a la tabla 1.1.

		Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Longitud de onda ( $\text{\AA}$ )
Luz ultravioleta (UV)		menor a 0.4	menor a 4000
Luz visible	Violeta	0.46	4600
	Azul	0.5	5000
	Verde	0.56	5600
	Amarillo	0.59	5900
	Ámbar	0.61	6100
	Rojo	0.66	6600
Luz infrarroja (IR)		mayor a 0.7	mayor a 7000

Tabla 1.1 Espectro electromagnético de Luz.

El ojo humano, a pesar de la evolución que ha tenido para la detección de la luz visible, aún conserva una capacidad limitada y no es capaz de ver radiaciones con longitudes de onda mayores a la de la ultravioleta (UV) ni menores a la de la infrarroja. La luz que el ser humano percibe se descompone en los colores: violeta, azul, verde, amarillo, ámbar, rojo. La luz blanca es la combinación de todos los colores y la negra es la ausencia de ellos.

### **1.2.1 Características de la luz infrarroja**

El nombre de la luz infrarroja significa por debajo del color rojo, ya que su comienzo se encuentra adyacente a un valor menor del color rojo del espectro visible.

El rango de los infrarrojos se puede dividir en 3 categorías como sigue:

1. Infrarrojo cercano (0.78 – 1.1  $\mu\text{m}$ )
2. Infrarrojo medio (1.1 -15  $\mu\text{m}$ )
3. Infrarrojo lejano (15 – 100  $\mu\text{m}$ )

La materia, desde el punto de vista energético (también es conocida como cuerpo negro), emite radiación y, en general la longitud de onda donde un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a su temperatura; principio establecido por el físico alemán Wilhelm Wien. De esta forma la mayoría de los objetos a temperaturas cotidianas tienen su máximo de emisión en el infrarrojo. Los seres vivos, en particular los mamíferos, emiten una gran proporción de radiación en la parte del espectro infrarrojo debido a su calor corporal.

### **1.2.2 Uso de los rayos infrarrojos**

Un rayo infrarrojo tiene muchas aplicaciones interesantes en la investigación y en la industria, por ejemplo, en la aplicación de detectores infrarrojos que pueden ver objetos en la oscuridad gracias a que éstos irradian calor. La radiación se recibe y después se refleja en una pantalla, los objetos con mayor calor se convierten en los más luminosos, incluso aquellos que no es posible observar con luz visible. En el campo de la astronomía se están realizando cada vez más nuevos descubrimientos sobre el universo, en medicina, la radiación infrarroja es una herramienta de diagnóstico muy útil, las cámaras fotográficas con tecnología de infrarrojos son utilizadas en actividades militares, policiales y de seguridad. Las imágenes infrarrojas se emplean por ejemplo: para detectar pérdidas de calor en edificios o detectar componentes de mayor emisión en sistemas electrónicos. Los satélites con capacidad de infrarrojos monitorean el clima terrestre, estudian modelos de



vegetación, llevan a cabo estudios geológicos y miden las temperaturas oceánicas como se observa en la Figura 1.5.

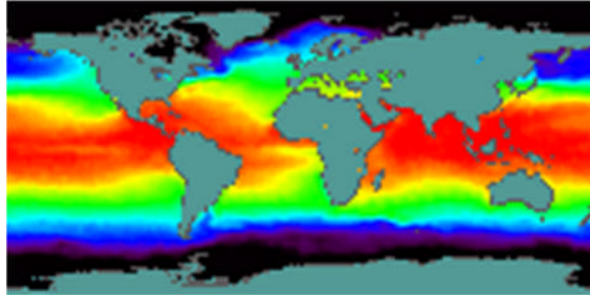


Figura 1.5 La Imagen térmica infrarroja tomada por satélites muestra la temperatura de los océanos.

Un uso muy común de la radiación con infrarrojos es el que se encuentra en los comandos a distancia (telecomandos), éstos generalmente utilizan infrarrojos en vez de ondas de radio, debido principalmente a que no interfieren con otras señales como las de televisión. Los infrarrojos también se utilizan para comunicar a corta distancia sistemas de cómputo con sus periféricos. Los aparatos que utilizan esta tecnología deben estar reglamentados y deben cumplir con un estándar que está establecido en una asociación americana conocida como: Infrared Data Association.

Por otro lado, la luz utilizada en comunicaciones con fibra óptica es generalmente de origen infrarrojo. Existen también equipos que utilizan tecnología infrarroja para su aplicación, conocidos como emisores de infrarrojo industriales. Son equipos utilizados en el secado de pinturas o barnices, secado de papel, termofijación de plásticos precalentamiento de soldaduras, curvatura, templado y laminado de vidrio, entre otras aplicaciones. El uso de los rayos infrarrojos en cualquier material puede ser prolongada o momentánea, teniendo en cuenta la distancia entre el emisor y el material, la velocidad de paso del material (en el caso de cadenas de producción) y la temperatura que se desee conseguir. Existe una clasificación de los equipos emisores de infrarrojos en función de la longitud de onda que utilizan se dividen en:

1. Emisores de infrarrojo de onda corta
2. Emisores de infrarrojo de onda media rápida

3. Emisores de infrarrojo de onda media
4. Emisores de infrarrojo de onda larga

### **1.2.3 La espectroscopia Infrarroja**

La espectroscopia infrarroja es la rama de la espectroscopia que trata con la parte infrarroja del espectro electromagnético y cubre un conjunto de técnicas, siendo la más común la forma de espectroscopia de absorción. Al igual que otras técnicas espectroscópicas, se utiliza para identificar un compuesto en específico e investigar la composición de una muestra. La porción infrarroja del espectro electromagnético se divide en tres regiones: el infrarrojo cercano, medio y lejano, nombrados así por su relación con el espectro visible. El infrarrojo lejano se encuentra adyacente a la región de microondas, posee una baja energía y puede ser usado en espectroscopia rotacional, la cual consiste en provocar un movimiento rotatorio de las moléculas por medio de un haz de luz infrarroja y se aplica en el estudio de los gases principalmente. El infrarrojo medio puede ser usado en el estudio de las vibraciones fundamentales y en la estructura rotacional vibracional, mientras que el infrarrojo cercano es utilizado para excitar sobretonos y vibraciones armónicas.

La espectroscopia infrarroja basa su estudio en el hecho de que las moléculas tienen frecuencias, a las cuales rotan y vibran, es decir, los movimientos de rotación y vibración moleculares tienen niveles de energía discretos conocidos como modos normales vibracionales. Las frecuencias resonantes o vibracionales se determinan por la forma de las superficies de energía potencial de las moléculas, las masas de los átomos y eventualmente por el acoplamiento en un modo vibracional con una molécula activa al infrarrojo, que debe estar asociado con cambios en el dipolo permanente. La explicación sin duda es un tanto compleja y en realidad lo que se requiere saber es que, en forma general, para medir una muestra de gas en este caso, un rayo de luz infrarroja atraviesa la muestra y se registra la cantidad de energía absorbida en cada longitud de onda. Esto puede lograrse revisando el espectro con un rayo monocromático, el cual cambia de longitud de onda en función del tiempo. A partir de lo anterior, se puede trazar un espectro de transmitancia o absorbancia, el cual muestra cuales longitudes de onda son absorbidas

por el infrarrojo y así permite una interpretación de cuales enlaces moleculares están presentes y cuales no, para obtener una diferencia medible.

Esta técnica funciona únicamente con enlaces covalentes y es de gran utilidad en química orgánica. Así, los enlaces que dan origen a espectros nítidos se obtienen de muestras con pocos enlaces activos al infrarrojo y altos niveles de pureza. Estructuras moleculares más complejas llevan a más bandas de absorción y a un espectro más complejo.

Hablando de las muestras en estado gaseoso, estas requieren poca preparación, más allá de su purificación, pero se usa una celda de muestra con una larga longitud relativa (usualmente de 5 a 10 cm), ya que los gases presentan fenómenos de absorción relativamente débiles, por lo que, es importante destacar que los espectros obtenidos a partir de preparaciones distintas de una misma muestra serán ligeramente distintos entre si, debido a las interferencias de las moléculas de otros componentes que también son absorbidos en el infrarrojo.

La espectroscopia infrarroja es ampliamente usada en investigación y en la industria como una simple y confiable práctica para realizar mediciones. Así, en algunas máquinas se indica automáticamente cual es la concentración que está siendo medida a partir de muchos espectros contenidos en las muestras, como es el caso del analizador por absorciometría infrarroja que se utiliza en los laboratorios de investigación automotriz para determinar niveles de Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y niveles de Hidrocarburos (HC) en una muestra de gas. Al medir una frecuencia específica a lo largo del tiempo se pueden medir los cambios en la cantidad de concentraciones de muestra. En la actualidad, las máquinas modernas utilizadas en la investigación pueden tomar mediciones infrarrojas a lo largo de todo el rango de interés, con frecuencias de hasta 32 veces por segundo, lo que permite mediciones más rápidas y precisas.

### **1.3 Velocidad de la luz**

La composición y velocidad de la luz han sido estudiadas por filósofos y científicos durante cientos de años. Los griegos pensaban que la luz emanaba de los objetos y que la visión humana capturaba esa luz. Para el comienzo del siglo XVII algunos científicos

creían que no existía la forma para medir la velocidad con que viajaba la luz, pensaban que no era cuantificable por que ésta podía viajar cualquier distancia en forma instantánea. Para esas épocas, con el consentimiento de esta creencia y mediante la observación de los eclipses quedaba bien fundamentado el concepto. Sin embargo, el error fue que al no considerar que la velocidad podía ser tan grande, era posible que no se detectara ningún efecto. El físico, matemático y astrónomo italiano Galileo Galilei no aceptaba la idea de que la velocidad de la luz fuera infinita y realizó un experimento que consistió en colocar a dos personas en la cima de dos montañas diferentes, cada una tomando una lámpara con rejillas, una persona abría la rejilla de su lámpara y la otra debía abrir la suya tan pronto como viera la luz de la lámpara del primero. De esta forma se podía calcular cuanto tiempo habría pasado antes de que se viera la luz de la otra persona en la montaña. Pero aun así, la velocidad de la luz es tan elevada que fue imposible detectarla mediante un experimento de ese tipo.

La velocidad de la luz actualmente no es una magnitud medible, sino que se ha establecido con un valor fijo en el sistema internacional de unidades, se representa mediante la letra "c" y desde 1983 se definió en forma definitiva que la velocidad de la luz en el vacío viaja exactamente a 299, 792.458 km/s.

El primero en trabajar con la velocidad de la luz fue el astrónomo Danés Ole Roemer en el año de 1676. En sus estudios detectó que el tiempo entre los eclipses del satélite de Júpiter era menor cuando la distancia a la tierra decrecía y viceversa. El satélite queda oculto por la sombra que proyecta el planeta Júpiter, y se puede detectar fácilmente el momento en el que el satélite aparece de nuevo tras desaparecer brevemente de la vista del observador terrestre. Obteniendo un valor de 214, 000 km/s, un dato muy aceptable considerando la poca precisión con la que se podía medir en aquella época la distancia de los planetas.

En el año de 1728 el astrónomo inglés James Bradley estudió la velocidad de la luz observando las aberraciones de las estrellas, que no es otra cosa que el desplazamiento aparente de éstas por el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. En sus deducciones obtuvo un valor de 301, 000 km/s. En este contexto, como ya se mencionó anteriormente,

Fizeau con su experimento logró medir la velocidad con un valor obtenido de 315, 000 km/s y León Foucault obtuvo un valor de 298, 000 km/s.

Entre las pruebas acertadas se encuentran las del físico americano Albert Abraham Michelson que, en el año de 1879, durante una reunión de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia, presentó el método que había utilizado para determinar la velocidad de la luz, en el cual propuso una velocidad determinada de 300, 091 km/s. Sin embargo, en 1926 como consecuencia de los estudios realizados en el observatorio de Monte Wilson obtuvo un valor más cercano de 299, 520 km/s. En Estados Unidos colaboró con el físico y químico Edward W. Morley, con quien desarrolló una serie de experimentos con un dispositivo llamado el interferómetro, para conocer la influencia que el movimiento de la tierra pudiera ejercer sobre la existencia de la sustancia presente en la atmósfera mencionada anteriormente, el supuesto Éter. Tales experimentos probaron la constancia de la velocidad de la luz, estableciendo las bases del principio de la relatividad de Einstein. En 1907, Michelson recibe el premio Nobel de Física, en ese mismo año Rosa y Dorsey logran obtener un valor de 299, 788 km/s, el más exacto hasta el momento.

Se han empleado otros métodos para mejorar la exactitud. En 1958, Froome llegó al valor de 299, 792.5 km/s, mediante un interferómetro de microondas y una celda Kerr pero a partir de 1970 con el desarrollo de aparatos de láser con una estabilidad espectral bastante grande y relojes de cesio exactos, ha sido posible mejorar las medidas llegando a ser conocida con tan sólo un error de 1 m/s. Así, se establece en forma oficial que la rapidez de la luz en el vacío es por definición una constante universal de valor 299 792.458 km/s (por lo regular suele aproximarse a 300,000 km/s). La velocidad de la luz se denota por la letra "c" porque proviene del latín "celéritās" (rapidez) y es conocida como la constante de Einstein. La velocidad de la luz fue incluida oficialmente en el sistema internacional de unidades como una constante el 21 de octubre de 1983, y al mismo tiempo la unidad de medida, el metro, paso a ser una unidad dada en función de esta constante y del tiempo.

La velocidad de la luz a través de un medio depende de su permitividad eléctrica y permeabilidad magnética y a otras características electromagnéticas, pero en el vacío

depende de la densidad de energía existente. De acuerdo a la física moderna estándar, todo tipo de radiación electromagnética, incluyendo la luz visible, se propaga o mueve a una velocidad constante en el vacío; la rapidez de la luz es también la de la propagación de la gravedad, citada en la Teoría General de la Relatividad.

Una consecuencia en las leyes del electromagnetismo se refiere a que la velocidad de la radiación electromagnética no depende de la rapidez del objeto que emite la radiación, por lo que la luz emitida por una fuente que se mueve rápidamente viajaría a la misma rapidez que la proyectada por una fuente estacionaria. Si se combina esta indicación con el principio de relatividad, se concluye que todos los observadores medirán la rapidez de la luz en el vacío con el mismo resultado, sin importar el marco de referencia del observador o la rapidez del objeto que emite la luz.

Para mediciones astronómicas, se utiliza el criterio de la rapidez de la luz y normalmente se mide en unidades de años luz, que es la distancia que recorre la luz en un año y equivale aproximadamente a  $9,454,256 \times 10^{12}$  Km/Año. En cuanto a sus aplicaciones, el concepto de la velocidad de la luz es de gran importancia para las telecomunicaciones. Por ejemplo, dado que el perímetro de la tierra es de 40,075 kilómetros en la línea ecuatorial y la velocidad de la luz es en teoría la velocidad más rápida en la que un fragmento de información puede viajar, entonces el periodo más corto de tiempo para llegar al otro extremo del globo terráqueo será de 0.067 seg. En la actualidad ese tiempo de viaje es un poco más largo, debido a que la rapidez de la luz es cerca de un 30% menos en una fibra óptica, aparte de que raramente existen trayectorias rectas en las comunicaciones globales, adicionalmente que la rapidez de la luz afecta el diseño de las comunicaciones inalámbricas. La rapidez de la luz también puede tener influencia en distancias cortas, por lo que en las computadoras impone un límite en la rapidez con la que pueden ser enviados los datos entre procesadores. Por ejemplo, si una computadora opera a 1 GHz, la señal solo puede viajar a un máximo de 300 mm en un ciclo único, por esa razón los procesadores deben ser colocados uno cerca del otro para minimizar los retrasos de comunicación. Entonces, si la frecuencia de reloj continúa incrementándose, la rapidez de la luz finalmente se convertirá en un factor límite para el diseño interno de los procesadores.

## **1.4 Transductores**

El término transductor ha sido aplicado a dispositivos o combinaciones de dispositivos que convierten señales o energía de una forma física a otra. Específicamente en sistemas de medición un transductor se define como un dispositivo que proporciona una salida que es utilizada en respuesta a una medida determinada, y puede ser una cantidad física, propiedad o condición, que finalmente es evaluada y la salida es una cantidad eléctrica producida por un transductor, que es función de la medida.

Los transductores están constituidos por un sensor y circuitos electrónicos, posibilitan la conversión de magnitudes físicas no eléctricas, como temperatura, fuerza, presión, distancia, movimiento, entre otras, en magnitudes eléctricas, ya sean tensiones o corrientes. En particular, si la señal a medir es una magnitud eléctrica, el transductor es denominado convertidor de medida (CM), éstos toman como fuente una señal eléctrica (tensión, corriente, potencia, frecuencia, etc.) y la transforman a otra señal eléctrica de corriente directa (DC) proporcional a lo que se quiere medir.

### **1.4.1 Tipos de transductores**

Se pueden aplicar diferentes criterios para clasificar a los tipos de transductores, sin embargo, para hacerlo de acuerdo a su principio eléctrico y aplicación, considerando que un transductor puede medir más de una sola magnitud, a continuación se detalla la siguiente clasificación:

#### **Transductores Resistivos**

1. Extensiómetros (metálicos y con semiconductores)
2. Termómetros termoconductores (bulbos resistivos y termistores)
3. Sensores fotoconductores (fotocélulas de sulfuro de cadmio)
4. Medidores de conductividad química

## Transductores Inductivos

1. Transformador Lineal diferencial variable (LVDT)
2. Bobinas de reluctancia variable (cápsulas reproductoras)
3. Generadores y receptores (Selsyn)

## Transductores Capacitivos

1. Sensores LC y RC de alta frecuencia (bobinas de vibración)
2. Válvula con reactancia para producir modulación de frecuencia (telemetría)

## Transductores divisores de voltaje

1. Sensor por posición (potenciómetro)
2. Divisor de voltaje (por presión)

## Transductores generadores de voltaje

1. Piezoeléctrico de micrófono y acelerómetro de cristal
2. Tacómetro
3. Sensor termopar
4. Celda fotovoltaica

Por otro lado, también se puede describir una clasificación de acuerdo a sus aplicaciones, como sigue:

1. Mecánicos: extensiómetros, medidores de presión y flujo, acelerómetros e higrómetros.
2. Térmicos: termómetro de resistencia, termopar y termistor
3. Ópticos: celdas o baterías solares y celdas fotoconductoras
4. Acústicos: micrófonos
5. Magnéticos: permeámetros, magnetómetros y semiconductores de Efecto Hall
6. Químicos: pH y celdas de conductividad



7. Biológicos: electroencefalógrafo
8. Nucleares: tubo de Geiger, cámara de ionización, detectores de radiación por centelleo y por semiconductores.

Un tipo específico de transductor, y que tiene aplicaciones en los analizadores que operan bajo el principio de absorciometría infrarroja no dispersiva (NDIR), para la medición de niveles de CO y CO<sub>2</sub> en la evaluación de emisiones vehiculares, son los del tipo fotoeléctrico. Estos transductores se utilizan para evaluar magnitudes ópticas e infrarrojas y el tipo de dispositivos de los que hablamos son: fuentes de luz que convierten electricidad u otra forma de energía lumínica en una señal utilizable o elementos fotosensores que convierten energía lumínica en energía eléctrica. Las principales fuentes de luz son lámparas de filamento incandescente, por ejemplo, las lámparas de descarga y arco, LED's, láseres, pantallas fosforadas y, en el caso de los analizadores para determinar niveles de CO, CO<sub>2</sub> y HC con método de análisis por absorciometría infrarroja, es un haz de luz infrarroja. Los principales elementos sensores de luz son las fotoresistencias y los dispositivos fotoconductores como los fotodiodos y fototransistores.

Los transductores fotoeléctricos son utilizados en la medición de diferentes eventos, pero en un sentido general se utilizan en dos formas:

1. Como detector de cambios en la intensidad de luz de una cierta longitud de onda, en necesidades de calorimetría y espectrometría.
2. Como detector de intensidad de luz donde la longitud de onda no es relevante

Dentro de los transductores ópticos están contenidos los fotoeléctricos, y básicamente los hay de 3 tipos:

1. Los fotoemisores, los cuales se conocen como fototubos donde se liberan electrones de una superficie metálica.
2. Los fotovoltaicos, donde se produce una diferencia de potencial entre dos sustancias.

3. Los fotoconductivos, los cuales son elementos donde ocurre un cambio en la conductividad, como una fotorresistencia.

Con un fotodiodo como transductor se tienen cambios pequeños de nivel en la intensidad de corriente, aún cuando su tiempo de respuesta es bastante corto. Con el fototransistor se deja la terminal llamada Base sin conectar y expuesta a la luz, la intensidad produce un incremento en el potencial de la Base, activando el transistor y amplificando el efecto en la corriente de Colector por el factor de ganancia ( $\beta$ ) del transistor.

Por otro lado, las celdas fotoconductoras o fotoresistivas están formadas por una delgada película de materiales como selenio, germanio, silicio o sulfatos metálicos, para que cuando sean expuestos a cierto tipo de energía radiante, presentan un fenómeno fotoconductor o disminución en su resistencia. El cambio en resistencia es significativo de muchos megaohms en la oscuridad a pocos cientos de ohms en plena iluminación. En la mayoría de las celdas fotoconductoras el incremento en el nivel de iluminación es aproximadamente lineal con la conductancia, lo cual es una relación inversa de la resistencia. Estos detectores son extremadamente sensibles y son empleados frecuentemente como interruptores activados por luz o en aplicaciones de colorimetría. Algunas celdas fotoconductoras son muy sensibles al rango de radiación infrarroja, lo que ha hecho que se apliquen en espectroscopia y en misiles dirigidos por rayos u objetivos que emiten este tipo de radiación.

El fototransistor es un fotodetector con alta ganancia de corriente, cuyo pico máximo se presenta en el rango de la región infrarroja, su tiempo de respuesta se encuentra en el rango de los 5 microsegundos. Su aplicación sólo se ha visto limitada con el fotodiodo, ya que éste es un amplificador que provee una mejor respuesta en los sistemas de detección de luz.

Las características más importantes de los sensores fotoeléctricos son:

1. Sensibilidad al espectro de radiación de luz visible, ultravioleta e infrarroja
2. Tiempo de respuesta

3. Salida en voltaje, corriente y resistencia
4. Linealidad con la intensidad de la luz

## 1.5 Gases

Uno de los principales motivos de la evolución de la química en el siglo XVIII se le atribuyó al interés por el estudio de la composición del aire en forma particular, y en general por el estudio de los gases. De esta forma surge la química neumática, por medio de la cual se permitió aclarar el misterio de la composición del aire, así como el descubrimiento de sustancias gaseosas de gran importancia.

El aire había sido considerado como uno más de los elementos químicos hasta la época moderna, era una sustancia considerada como homogénea e inerte que no podía involucrarse en las reacciones químicas. Todos los gases conocidos hasta entonces eran llamados “aires”, debido principalmente a que se suponía que el aire podía estar contaminado por vapores y olores que lo hacían impuro en forma temporal. En ese mismo siglo, los gases pasan a tener una entidad propia y diferenciada, como los sólidos y los líquidos, y planteaban un desafío para los químicos de la época, por lo que muchos de ellos dedicaron sus esfuerzos para caracterizarlos.

El salto definitivo que propició un conocimiento más exacto de los gases lo aportó el médico escocés Joseph Black, por medio del descubrimiento del anhídrido carbónico (bióxido de carbono), a través de un estudio que realizaba acerca de las posibilidades del bicarbonato de magnesio para neutralizar el exceso de acidez en el estómago. En sus investigaciones comprobó que se liberaba una sustancia gaseosa cuando el bicarbonato de magnesio se ponía en contacto con el ácido vitriólico (ácido sulfúrico). A esa sustancia gaseosa le nombró “Aire fijo” debido a que parecía que se encontraba fijo en el bicarbonato en forma sólida. Más tarde, Black demostraría la presencia de ese aire en productos de la fermentación y en el aire espirado. Este descubrimiento, sin embargo, contradecía todas las creencias sobre la inercia del aire y se abrió con ello la sospecha de que en muchas reacciones podían liberarse sustancias gaseosas.

Por otro lado, el Hidrógeno ya había sido descubierto por el físico anglo-irlandés Robert Boyle y por otros químicos, pero nadie lo había caracterizado ni había probado su individualidad. Sólo se sabía que podía obtenerse hidrógeno por la acción de un ácido sobre un metal; reacción que utilizó Henry Cavendish para determinar el peso específico del hidrógeno.

En cuanto al Nitrógeno, se sabe que fue descubierto en forma independiente por tres personas, el químico escocés Daniel Rutherford, discípulo de Black, Scheele y Cavendish en base a métodos científicos. Ninguno de ellos hizo públicos sus resultados, los tres coincidieron cuando realizaron la evaluación en forma bastante aproximada de la proporción de nitrógeno en el aire, sin embargo, avanzaron poco en la comprensión de su naturaleza.

A pesar de los intentos y reivindicaciones que se hicieron en relación al descubrimiento del oxígeno, sin duda el científico que logró caracterizarlo fue el alemán Carl Wilhelm Scheele en la segunda mitad del siglo XVIII. Por medio del calentamiento del óxido de mercurio, carbonato de plata y otras sustancias, Scheele recogió un gas al que de inicio llamó "Aire vitriólico", con la característica de ser inodoro e insípido y, además, por alimentar la combustión de forma más activa que el aire ordinario. Otros elementos que caracterizó Scheele fueron el cloro, el molibdeno y el tungsteno.

En la misma época, Joseph Priestley, científico, filósofo, profesor y ministro inglés, da a conocer sus estudios sobre el oxígeno hacia el año de 1774, caracterizándolo a partir de sus investigaciones. Priestley tenía mucha habilidad para las actividades de laboratorio, en especial para los gases, logró caracterizar un número mayor de elementos, más que ningún otro químico de su tiempo. Entre otros, logró definir el óxido nítrico, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre y el amoníaco, utilizando como sustancia de partida el óxido de mercurio.

De acuerdo al diagrama de fases, la mayor parte de los elementos químicos y las sustancias pueden existir como se sabe, en tres estados de agregación: sólido, líquido y gaseoso. Cada uno de esos estados ha sido estudiado durante muchos años por los

hombres de ciencia, con el objetivo de determinar leyes físicas que puedan predecir su comportamiento con el cambio de las circunstancias que lo rodean.

La definición de gas, se determina por lo tanto, como el estado de agregación de la materia que no tiene forma ni volumen propio. Las moléculas que forman a los gases no están unidas, están expandidas y con poca fuerza de atracción. Esto ocasiona que no cuente con una forma definida, ni volumen, provocando también que ocupe todo el espacio del recipiente que lo contiene.

Los gases tienen características propias, para su estudio utilizan magnitudes físicas como son: presión, temperatura y volumen. En forma práctica para su estudio se aplica el criterio de gas ideal, porque su comportamiento suele ser más acorde con ese estado, en tanto más sencilla sea su fórmula química, su reactividad será menor, y tendrán mejor tendencia a formar enlaces. A manera de ejemplo, están los gases nobles, los cuales al ser monoatómicos y tener muy baja reactividad, sobre todo el Helio, van a observar un comportamiento muy cercano al ideal. Les seguirán en la lista los gases biatómicos, específicamente el más liviano, el Hidrógeno. En un carácter menos ideal están ubicados los triatómicos, como lo es el dióxido de carbono, y en forma más alejada de lo ideal, el vapor de agua, debido a que la molécula al ser polar tiende a formar puentes de hidrógeno, aspecto que reduce aún más la idealidad. Dentro de los gases de tipo orgánico, el que tiene el comportamiento más ideal sería el metano ( $\text{CH}_4$ ), el cual pierde idealidad a medida que se engrosa la cadena del carbono. El gas butano por ejemplo, tiene un comportamiento bastante alejado de lo ideal, debido a que en tanto más grande sea la partícula fundamental que lo constituye mayor es la probabilidad de colisión e interacción entre ellas. En algunas situaciones estos gases se pueden aproximar bastante bien con el uso de ecuaciones ideales, mientras que en otros casos hará falta recurrir a las ecuaciones reales obtenidas muchas veces a partir de ajustes en parámetros.

Por otro lado, también se pierde la idealidad en los gases si estos se encuentran bajo condiciones extremas, como son: altas presiones o bajas temperaturas. En caso contrario, la concordancia con la idealidad puede aumentar si se trabaja a bajas presiones o altas temperaturas y también el lado de su estabilidad química.

Para el estudio de los gases, se han desarrollado leyes empíricas que relacionan las principales variables de un gas con base en las experiencias de laboratorio. En estas leyes se relacionan la presión (P), el volumen (V) y la temperatura (T).

1. Ley de Boyle–Mariotte. La cual establece que cuando aumenta la presión, el volumen disminuye, en tanto que si la presión disminuye el volumen aumenta. Es decir:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

2. Ley de Avogadro. Es aquella en la cual las constantes son presión y temperatura, siendo el volumen directamente proporcional al número de moles (n). En forma matemática, la formula es:

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

3. Ley de Charles. Establece que, a una presión dada, el volumen que es ocupado por un gas es directamente proporcional a su temperatura. La expresión matemática es:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad o \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

4. Ley de Gay-Lussac. En esta ecuación se establece que, la presión del gas que se mantiene a volumen constante es directamente proporcional a la temperatura. La forma matemática es la siguiente:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

5. Ley de los gases ideales. Las tres leyes mencionadas pueden combinarse matemáticamente en la llamada Ley general de gases. Su expresión matemática es:

$$P V = n R T$$

Siendo  $n$ , el número de moles y  $R$ , la constante universal de los gases ideales.

El valor que tiene  $R$  depende de las unidades que se utilizan por lo que esta constante puede adquirir los siguientes valores:

1.  $R = 0.082 \text{ atm } \ell / \text{K mol}$ , en atmósferas y litros
2.  $R = 8.31451 \text{ J / K mol}$ , en el sistema internacional de unidades
3.  $R = 1.987 \text{ cal / K mol}$
4.  $R = 8.31451 \cdot 10^{-10} \text{ erg / K mol}$

De esta ley se deduce que un mol de gas ideal ocupa siempre un volumen igual a 22.4 litros a  $0^\circ\text{C}$  y 1 atmósfera. También se le llama la ecuación de estado de los gases, ya que solo depende del estado actual en que se encuentre el gas.

Los gases son considerados en forma general como fluidos, ya que tienen las propiedades que le permiten comportarse como estos. Las moléculas de los gases en continuo movimiento logran colisionar las paredes que los contienen, y siempre ejercen una presión permanente debido a que el gas se expande, la energía entre moléculas hace que un gas al ir incrementando su energía calorífica tiende a aumentar su volumen.

Los gases suelen ser activos químicamente debido a que su superficie molecular también es grande, lo que quiere decir que, en cada partícula se realiza mayor contacto, esto le permite la facilidad de reaccionar una o varias veces entre las sustancias.

Para entender mejor el comportamiento de los gases siempre se realizan los estudios respecto del gas ideal, y las propiedades de éste serían las siguientes:

1. Los gases se constituyen por moléculas de igual tamaño y masa, sin embargo, no es así para una mezcla de gases.
2. Por convención, se le asigna un número pequeño de moléculas, lo que resulta en una densidad baja y una atracción molecular nula.
3. El total del volumen que ocupa un gas es mínimo en comparación con el volumen total del recipiente.
4. Las moléculas de un gas que están contenidas en un recipiente se encuentran en constante movimiento, por lo cual chocan, entre ellas o contra las paredes del recipiente que las contiene.

Las nuevas teorías que tratan de explicar el comportamiento de los gases se apoyan para su estudio, tanto en la estadística como en la teoría cuántica, además de experimentar con gases reales de diferentes características o propiedades límite, por ejemplo, el gas conocido como  $UF_6$ , considerado el gas más pesado que se conoce en la actualidad.

En términos generales podemos concluir que un gas es una sustancia que cumple con las condiciones siguientes:

1. Ocupa el volumen del recipiente que lo contiene
2. Está formado por un gran número de moléculas
3. Estas moléculas se mueven individualmente al azar en todas direcciones
4. La interacción entre las moléculas se reduce solo a su choque

## **1.6 Gases Tóxicos.**

Anteriormente se mencionó que los gases tienen propiedades físicas y químicas, las primeras conducen a que los gases sean comprensibles, que ocupen todo el volumen del recipiente que los contiene, etc. Pero en lo que respecta a las propiedades químicas, estas nos llevan a la existencia de los siguientes tipos de gases:

1. Gases inertes: no arden, no permiten la combustión y en su ambiente no es posible la vida. Como el argón, el nitrógeno, etc.
2. Gases comburentes: son indispensables para mantener la combustión, como el oxígeno, el protóxido de nitrógeno, etc.
3. Gases combustibles: arden fácilmente en presencia del aire o de otro oxidante, un ejemplo de estos es el hidrógeno y el acetileno.
4. Gases corrosivos: estos son capaces de atacar a los materiales y desgastarlos, también de destruir los tejidos cutáneos como lo es la acción del cloro.
5. Gases tóxicos: producen interacciones en el organismo vivo, con la posibilidad de provocar la muerte a determinadas concentraciones, como el monóxido de carbono.

Se considera gas tóxico a todo aquel cuyo límite de máxima concentración tolerable es menor a 50 ppm, y sea inhalado ya sea durante 8 horas al día o 48 horas a la semana.



Estas propiedades implican que, el uso de los gases por el hombre le anteponga un riesgo si no se toman las medidas adecuadas. Más aún, teniendo en cuenta que muchos de los gases cuentan con al menos una de las propiedades anteriores.

Las mezclas de gases como las que se utilizan en los laboratorios de emisiones vehiculares son generalmente de precisión, y son utilizados para la calibración de analizadores, para trabajos específicos de investigación y otras aplicaciones concretas, sin embargo, considerando su nivel de toxicidad, requieren extremo cuidado en su fabricación y uso.

### **1.6.2 Seguridad en los envases que contienen gases**

Aparte de considerar el material adecuado con el que serán fabricados los envases que van a contener los diferentes gases, se debe tomar en cuenta la presión máxima de llenado y también la presión a la se va utilizar. Lo anterior, con el objeto de proporcionar la información de seguridad necesaria a los usuarios, acerca del recipiente y de su contenido. Existe un reglamento para envases que contienen sustancias a presión, conocido como reglamento de aparatos a presión, el cual establece las indicaciones que deberán contener los cilindros según el tipo de gas que contengan.

El color de los envases tiene por objeto proporcionar a simple vista la información acerca de su contenido, y desde la perspectiva de la seguridad constituye un importante factor. Dentro de esta medida de precaución en el envase, aparte de distinguir el color del cuerpo, se debe observar el color de franja y ojiva.

El color del cuerpo esta asociado a la familia de gases a que pertenece el contenido en el envase, y tal como lo indica el reglamento de aparatos a presión, se utiliza la siguiente clasificación:

1. Gases inflamables y combustibles: Rojo
2. Gases oxidantes e inertes: Negro o gris
3. Gases corrosivos: Amarillo

4. Gases tóxicos: Verde
5. Butano y propano industrial: Naranja, blanco y otros colores
6. Mezclas de calibración: Gris

En tal situación, con simplemente observar el envase, puede determinarse si se trata de un gas tóxico, inflamable, corrosivo, etc.

En lo que respecta al color de la ojiva y de la franja, estos especifican el gas que contiene el envase en forma directa, siendo en ocasiones el color de la franja el mismo que el de la ojiva. En el caso de mezclas de gases industriales, el color del cilindro debe pintarse de acuerdo al correspondiente gas mayoritario, mientras que la ojiva, se pinta en forma de cuarterones con los colores correspondientes a los que llevaría la ojiva de los gases que componen la mezcla, como si estuvieran individualmente en cilindros.

Además de las marcas contenidas en los envases, también disponen de etiquetas, las cuales deben contener la dirección del fabricante, características principales del gas, fórmula del mismo, pictograma, y medidas a tomar en cuenta en la utilización del mismo.

### **1.6.3 Gases tóxicos en el ambiente**

En estudios de laboratorio se ha demostrado que los gases tóxicos conocidos como formaldehidos y acroleína, forman parte de la contaminación ambiental que sufren las grandes ciudades, en especial el valle de México, provocando severas lesiones al organismo del ser humano como lo es el cáncer. Un registro de esas concentraciones proviene del monitoreo ambiental, y forma parte del grupo de los hidrocarburos, el cual, se compone de un 90% de formaldehidos y 5% de acroleína. La industria petrolera en la elaboración de cosméticos y detergentes, emite cierta cantidad de hidrocarburos, sin embargo, la mayor cantidad de los hidrocarburos contenidos en el ambiente, provienen de la combustión en los motores de los automóviles.

Las consecuencias que provoca la inhalación de estos reactivos son considerables, provocan daños severos al sistema nervioso, endocrino, respiratorio, cardiovascular,

linfático y al sistema reproductor masculino, provocando azoospermia. En estudios realizados por el Instituto Politécnico Nacional se arrojan las siguientes cifras, las cuales muestran un ejemplo de la cantidad de influencia de los formaldehídos en los seres vivos, utilizando muestras tomadas del monitoreo atmosférico, se encontraron cantidades que van desde 10 partes por millón (ppm) por cada kg de peso corporal hasta 50 ppm, sin embargo, en épocas de contingencia ambiental, se obtienen registros de hasta 100 ppm por cada kg de peso. Con el uso de estas muestras, se realizaron aplicaciones en ratas de laboratorio, induciendo la inhalación durante seis meses por dos horas, cinco veces a la semana. Los resultados pusieron de manifiesto daños al sistema, tales como inflamación crónica, dilatación y congestión de vasos sanguíneos, pérdida de tejido, edema (o acumulación de agua) y lesiones a las denominadas “neoplasias”.

La otra parte de este grupo de gases conocidos como aldehídos, está constituido por la acroleína, que es un compuesto que se identifica por tener olor picante y que irrita a los ojos cuando los niveles de contaminación son demasiado altos. A pesar de que la concentración dentro de los formaldehídos de este componente es demasiado baja (apenas alcanza el 5%), es un gas altamente nocivo, incluso más que los formaldehídos. De acuerdo a los estudios realizados, la acroleína además de ocasionar los mismos daños que los formaldehídos, solo que en un grado de severidad mayor, también produce lesiones al sistema cardiovascular, predisponiendo infartos al miocardio.

El estudio de un laboratorio no es comparable con la inhalación de gases, pero deja entrever la peligrosidad de la situación. Las pruebas se aplicaron sólo con una dosis de 25 miligramos por kg de peso corporal, mientras que, las personas que habitan en la capital respiran la misma cantidad pero en forma continua. Sustentándose en el resultado del estudio en el cual 10 de 30 ratas murieron, se puede afirmar que, en épocas de contingencia, los seres humanos corren un riesgo muy alto de recibir una lesión grave en el organismo, incluso la muerte, dependiendo de la susceptibilidad de cada persona a los gases nocivos en el ambiente.

Un gran número de gases irritantes puede producir un daño agudo, y en algunas veces crónico, que afecta al sistema respiratorio. La inhalación aguda puede ocurrir en

diversas circunstancias y formas, pero es más frecuente en un ambiente industrial. Los gases irritantes que usualmente alteran las vías respiratorias, comúnmente son: el amonio, el cloruro de hidrógeno, el dióxido de sulfuro, el cloro y el dióxido de nitrógeno u fosfogeno. Los que pueden producir lesiones por inhalación son: el formaldehído, el cianuro de hidrogeno, el sulfuro de hidrogeno y los vapores de mercurio. En la tabla 1.2 se observan las características clínicas de los principales gases y vapores tóxicos.

Clase de sustancia tóxica	Tóxico	Fuente	Hallazgos clínicos	Tratamiento
Asfixiantes simples	Propano	Gas casero	Todos desplazan al aire normal y disminuyen la $FIO_2$ . Síntomas de hipoxemia sin irritación de vías respiratorias	Retire al paciente de la fuente; administre oxígeno
	Metano	Gas casero		
	Dióxido de carbono Gases inertes (nitrógeno, argón)	Todos los fuegos Industria (especialmente soldadura)		
Asfixiantes químicos	Monóxido de carbono	Fuegos	Forma carboxihemo-globina; inhibe transporte de oxígeno. Cefalea es el primer síntoma	Oxígeno a 100%
	Ácido hidro-ciánico	Industria; plásticos quemados, mobiliario, tejidos	Asfixiante celular muy tóxico	Use antídoto contra cianuro
Irritantes  Muy hidrosolubles	Gas de cloro	Industria; sustancias para piscinas, blanqueador mezclado con ácido en el hogar	Inicio temprano de lagrimeo, ardor faríngeo, estridor, traqueo bronquitis en la exposición intensa puede progresar a edema pulmonar en 2 a 6 horas	Oxígeno humidificado, broncodilatadores, tratamiento de vías respiratorias
	Ácido clorhídrico Amoniaco	Industria; tejidos quemados		
Poco hidrosolubles	Dióxido de nitrógeno	Celulosa quemada; tejidos. Silos granos (gas rojo ácido)	Tiene olor dulce. Inicio tardío (12-24 horas) de traqueo bronquitis, neumonitis y edema pulmonar. Bronquitis crónica tardía	Oxígeno; observación por 24-48 horas; esteroides (discutible)
Alergénicos	Diisocianato de	Fabricación de poliuretanos	Constricción bronquial reactiva; puede haber efectos a largo plazo (enfermedad pulmonar obstructiva crónica) en personas propensas	Dilatadores bronquiales
Vapores de metales	Cinc	Soldadura (especialmente soldadura de metales galvanizados)	Escalofríos, fiebre, mialgias, cefalea, tos seca	Se limita por sí solo (12 a 24 horas)
	Cobre			
	Estaño			
	Teflón			

Tabla 1.2 Características clínicas de los principales gases y vapores tóxicos.

Las alteraciones respiratorias producidas por la inhalación aguda de gases irritantes dependen de varios factores:

1. Las concentraciones del gas depositado en el aparato respiratorio (vías aéreas superiores, árbol traqueo bronquial y parénquima)
2. La toxicidad específica del gas
3. La respuesta de cada individuo

Aún no se ha podido establecer una relación directa por medio de la ciencia en cuanto al número de personas que adquieren cáncer por inhalación de gases nocivos en el ambiente. Si tomamos como ejemplo la ciudad de México, han aumentado los casos en los últimos años, y algunos científicos no descartan la posibilidad de que ese incremento sea el resultado de la contaminación.

## **1.7 Señal eléctrica**

Una señal eléctrica puede ser generada por algún tipo de fenómeno electromagnético, y en forma general recibe el nombre de señal analógica, por la naturaleza de su comportamiento. En forma matemática puede ser representada por una función continua con periodo y amplitud variable en función del tiempo. Algunas magnitudes físicas comúnmente portadoras de este tipo de señales se conocen como eléctricas, tal es el caso de la intensidad, la tensión y la potencia. Este tipo de señales tienen la particularidad de ser continuamente variables.

La señal eléctrica analógica es aquella en la que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente en forma de corriente alterna, incrementando su valor con signo eléctrico positivo (+) durante medio ciclo, y disminuyéndolo a continuación con signo eléctrico negativo (-) en el medio ciclo siguiente. El cambio constante de polaridad de positivo a negativo provoca un trazado en forma senoidal, una onda de este tipo es una señal analógica de una sola frecuencia. Los voltajes que se generan a partir de la voz, por ejemplo, son señales analógicas que varían de acuerdo al sonido, y corresponden a la información que se está transmitiendo en un momento dado.

Basándose en el análisis matemático, una señal digital es una señal analógica compuesta, en el dominio del tiempo incluye segmentos horizontales y verticales conectados. Una línea totalmente vertical en este dominio tiene un valor en frecuencia de cero, es decir, no hay cambio en el tiempo. En cambio, un segmento de línea horizontal significa que tiene un valor de frecuencia infinito. Ahora bien, ir de una frecuencia cero a una infinita y viceversa implica que, todas las frecuencias intermedias son parte del dominio. El análisis matemático conocido como el análisis de Fourier se puede usar para descomponer una señal. Un aspecto que no es muy común en el estudio de las comunicaciones, es una señal digital periódica, si se descompone, tiene una representación en el dominio de frecuencia con un ancho de banda infinito y frecuencias discretas. Si la señal digital es aperiódica, la señal descompuesta todavía tiene un ancho de banda infinito, pero las frecuencias son continuas.

Un aspecto importante a considerar es que, las señales de cualquier circuito o sistema de comunicación electrónica es susceptibles de ser modificado de forma indeseable, como cuando son afectadas por el ruido, lo cual ocurre siempre en mayor o menor afectación, para solucionar esto, es necesario acondicionar la señal antes de ser procesada.

Por otro lado, la desventaja en el uso de las señales digitales radica principalmente en que, cualquier variación en la información de las señales analógicas es de difícil recuperación, esta pérdida afecta en gran parte el correcto funcionamiento y desempeño del dispositivo analógico. Un sistema de control como una computadora, no cuenta con la capacidad para trabajar con señales analógicas directamente, de tal forma que necesitan ser convertidas en señales digitales para poder ser interpretadas y utilizables.

### **1.7.1 Conversión analógica a digital**

Actualmente la mayoría de los dispositivos utilizados en procesos industriales y equipos electrónicos modernos, aplican señales digitales en sus etapas de producción, sin embargo, estas señales tuvieron un origen analógico, como sucede por ejemplo, con las pistas de audio de algún disco compacto. En general la mayoría de los reproductores actuales que utilizan archivos de audio en forma comprimida, su principal función es reproducir (a veces por medio de la gestión de una computadora personal) archivos de música que han sufrido un proceso de digitalización. Existen otras aplicaciones de la

conversión analógica a digital, en el análisis de los niveles de gases de escape, para su interpretación se utiliza este tipo de conversión, pero para explicar el tema de la conversión analógico a digital y a manera de ejemplo, se realizará desde el punto de vista del sonido. Es necesario comprender entonces, la naturaleza del sonido y los conceptos de analógico y digital.

El sonido esta compuesto de variaciones de presión o vibraciones de moléculas de aire que llegan al oído en forma de ondas acústicas, las cuales serán audibles siempre y cuando lleguen a una frecuencia limitada, a un rango superior a los 20 Hz para los sonidos más graves, e inferior a los 20 kHz para los más agudos. Cualquier elemento que vibre dentro de esa gama de frecuencias, podrá ser captado por nuestro sentido del oído como una onda sonora audible.

El sonido puede ser natural o artificial, pero independientemente de ello, posee intensidad, tono, timbre y frecuencia, lo cual hace la diferencia entre unos y otros, por lo que gracias a esta característica, se pueden representar gráficamente como una onda senoidal de amplitud y frecuencia variable.

Un ejemplo del proceso de adquisición de sonido a formato analógico, consiste en el registro del audio en una cinta magnetofónica, el cual es una representación magnética de las variaciones sonoras que capta un micrófono, una vez que este las convierte en señales eléctricas de audiofrecuencia. Los registros se consideran como un fenómeno continuo de grabación de impulsos eléctricos, de diferentes tensiones o voltajes, es la respuesta de la intensidad, timbres, tonos y frecuencia de la fuente original respecto de los diferentes sonidos que capta el micrófono. Esos impulsos eléctricos se van grabando en la cinta magnética manteniendo siempre la forma de onda senoidal original, igual a la que tenía el sonido en el momento que fue captado por el micrófono. Con la finalidad de poder reproducirlo con fidelidad y poder amplificarlo en forma continua por medio de un sistema de altavoces o bocinas.

En el caso de un analizador de CO y CO<sub>2</sub>, la señal analógica es un pequeño voltaje obtenido por la variación en la concentración de una muestra de gas, esa diferencia es detectada por una membrana que vibra y obtiene un pequeño voltaje en forma de señal

analógica, la cual es amplificada en una etapa posterior del proceso y después convertida a una señal digital para su interpretación y análisis.

Para realizar la conversión, esos dispositivos utilizan un elemento intermedio llamado convertidor analógico-digital o ADC (Analogic to Digital Converter), el cual recibe en una primera etapa las señales eléctricas en forma de onda senoidal analógica, posteriormente será convertida en señales digitales, codificadas en valores numéricos binarios, es decir, en “ceros” para representar ausencia de voltaje y “unos” para presencia de voltaje. Dentro del ADC se realizan las etapas de muestreo, cuantización y codificación. En la figura 1.6 se observa el proceso en forma general que se lleva a cabo en la conversión de una señal analógico-digital.

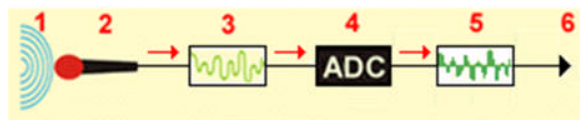


Figura 1.6 Proceso de digitalización de una señal analógica.

Ahora bien, una vez obtenida la señal digitalizada a la salida del convertidor ADC, en el caso de las señales de audio, se pueden grabar en un formato digital en el dispositivo adecuado, en este caso en un disco compacto. Para la reproducción de esa información en forma audible para el ser humano es necesario transformarla en sonido analógico, proceso en el cual es necesario aplicar una etapa de transformación digital-analógico. En términos prácticos, este procesamiento lo realizan todos los reproductores de música digital para obtener la señal de audio en las bocinas del equipo.

En el caso de las señales obtenidas de un convertidor ADC para un analizador de CO<sub>2</sub>, la señal es utilizada en forma directa a la salida del convertidor, ya que la forma de interpretar los datos es en forma visual, a través de un display. Por otro lado, la información del análisis de un concentrado es almacenada en formato digital en la memoria de una computadora, para su posterior interpretación en un reporte de resultados. Finalmente la presentación de esos resultados depende de las mediciones que se llevan a cabo en el proceso analógico. Esta es la forma en la cual son adquiridas las señales con sus variaciones y es transformada a señal digital.



## 1.8 Amplificación de señales

El objetivo de la amplificación de señales es incrementar el nivel de potencia de una señal para poder ser utilizada, cuando una señal es débil es importante amplificarla en forma inmediata para que el efecto de ruido sea menos considerable. Para realizar un proceso de amplificación de señal, los dispositivos comúnmente utilizados son los amplificadores operacionales.

Un amplificador operacional es un circuito integrado con una ganancia de voltaje muy alta (100, 000), con una elevada impedancia de entrada (2 mega ohms) y una impedancia de salida baja (100 ohms). Los usos más típicos del amplificador operacional son para proporcionar cambios de amplitud de voltaje, estos cambios pueden ser en amplitud y polaridad, para amplificar por ejemplo, las señales de los sensores osciladores, para realizar circuitos de filtros activos, a la entrada de un convertidor analógico a digital (ADC), como etapa adaptadora de impedancias (buffer), y algunos tipos de circuitos de instrumentación. Un amplificador operacional contiene varias etapas de amplificación diferencial para lograr una ganancia de voltaje muy alta. En la figura 1.7a se muestra la configuración de un amplificador operacional básico con dos entradas y una salida, configuración a la cual se le asigna la operación en modo de entrada diferencial. Aquí, la salida tendrá la misma polaridad que la señal de entrada. En el diagrama de la figura 1.7b de acuerdo a la entrada seleccionada, la salida tendrá la fase opuesta respecto de la señal de entrada. Por lo tanto cada entrada da como resultado una salida de la misma polaridad (o fase) o de la opuesta, dependiendo la entrada que se utilice.

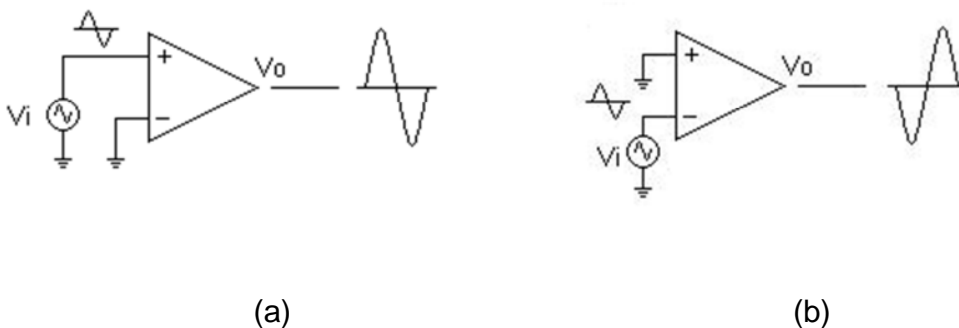


Figura 1.7 Entrada en una sola terminal.

En la actualidad, la mayoría de los circuitos amplificadores para sistemas de instrumentación se realizan usando amplificadores operacionales, por su versatilidad y sencillez de utilización. Las características de los amplificadores operacionales están determinadas en función de las señales que se van a amplificar. En relación a la complejidad de la aplicación, es necesario revisar, las propiedades no ideales de los amplificadores operacionales reales, las cuales determinan sus posibilidades de aplicación en los sistemas de instrumentación electrónicos.

El amplificador operacional ideal no existe, por lo que se hace necesario considerar el impacto de las características reales, para el caso de un amplificador operacional en las aplicaciones de instrumentación electrónica. Aunque, en muchas ocasiones el error que se arrastra al considerar al amplificador operacional ideal es despreciable, en otras situaciones no lo es, y no debería ser considerado como tal, por lo tanto habrá que tratar de reducir los efectos de las no-idealidades, o finalmente recurrir a otro tipo de dispositivo que aporte menos errores.

A continuación se enlistan las características reales a considerar para la aplicación de los amplificadores operacionales.

1.  $V_{IO}$ : Tensión de desplazamiento (offset) de entrada
2.  $I_B$ : Corriente de polarización de entrada
3.  $I_{IO}$ : Corriente de desplazamiento (offset) de entrada
4.  $\Delta V_{IO}/\Delta T$ : Deriva de la tensión de offset de entrada respecto a la temperatura
5.  $\Delta I_B // \Delta T$ : Deriva de la corriente de polarización de entrada respecto a la temperatura
6.  $\Delta I_O / \Delta T$ : Deriva de la corriente de offset de entrada respecto a la temperatura
7.  $\Delta V_{IO}/\Delta t$ : Deriva temporal de la tensión de offset de entrada
8.  $\Delta I_B / \Delta t$ : Deriva temporal de la corriente de polarización de entrada
9.  $\Delta I_{IO} / \Delta t$ : Deriva temporal de la corriente de offset de entrada
10. CMRR: Razón de rechazo al modo común

Con base en lo anterior, en el uso de los amplificadores operacionales se debe cumplir con ciertas características especiales. En función del tipo de señales que se quieran amplificar, se puede aplicar una clasificación de las propiedades, de acuerdo al tipo de amplificador operacional:

1. De propósito general (bajo costo)
2. Baja o muy baja corriente de polarización de entrada
3. Precisión (tensión de offset de entrada y derivas reducidas)
4. Alto ancho de banda
5. Alta corriente de salida
6. Bajo consumo

En los sistemas de instrumentación, las características requeridas más habituales para los amplificadores operacionales son: los de baja o muy baja corriente de polarización de entrada y los de precisión (tensión de offset de entrada y derivas reducidas).

Los amplificadores de instrumentación son dispositivos de precisión específicamente diseñados para la amplificación de señales de tensión diferencial débil, que los hace ideales para realizar el proceso de preamplificación. El circuito amplificador de ganancia constante que más se utiliza es el amplificador inversor, como el que se muestra en el diagrama de la figura 1.8. La salida se obtiene multiplicando la entrada por una ganancia fija o constante, la cual es determinada por la resistencia de entrada ( $R_i$ ) y la resistencia de retroalimentación ( $R_f$ ) con la salida desfasada o invertida respecto de la entrada. Con la ecuación podemos observar el comportamiento de la señal de salida correspondiente. Aparte de que la conexión del amplificador en configuración de inversor es la más común utilizada, debido principalmente a su estabilidad con respecto a la frecuencia.

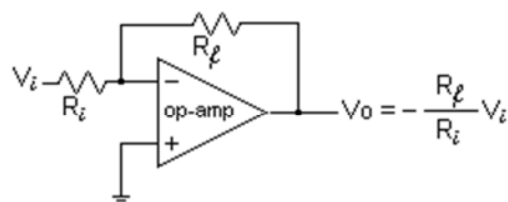


Figura 1.8 Amplificador inversor de ganancia constante.

Las configuraciones para el amplificador operacional dependen de la aplicación, pero finalmente, para que un amplificador operacional pueda ser utilizado en la instrumentación, su circuito deberá reunir las siguientes características fundamentales:

1. Alta impedancia de entrada
2. Alto rechazo al modo común
3. Precisión: Bajos valores de  $V_{IO}$  e  $I_B$  y sus derivas respectivas
4. Ganancia fácilmente ajustable.

## **CAPITULO 2**

### **Desarrollo de los motores de combustión interna y la evolución hacia nuevas tecnologías para la sustentabilidad ambiental**

#### **2.1 Evolución del motor de combustión interna**

La máquina de vapor es considerada por muchos como el origen del formidable maquinismo moderno, es en el transcurso de su desarrollo en donde surge el descubrimiento del motor de combustión interna, el cual implica toda una revolución tecnológica de tal magnitud, que se puede comparar con la que provoco la aparición de la misma máquina de vapor en su momento.

Un importante cambio en el camino de la evolución en los motores a vapor, se le atribuyó al suizo Isaac Rivaz (1752-1829), el cual, en el año de 1807 construyó un dispositivo conocido como motor de explosión. Este experimento trajo consigo una notable innovación en la maquinaria industrial. Dicho trabajo consistió en la utilización de una mezcla de hidrocarburo y aire como combustible. Esta mezcla se encendía eléctricamente en el interior del un cilindro, y de esa forma se conseguía el movimiento de un pistón, el cual, por su funcionamiento, ya vislumbraba el principio de operación del motor de combustión interna.

El motor de gas del belga Jean Joseph Etienne Lenoir (1822-1900), fue construido en 1860, funcionaba por medio de explosiones pero sin una compresión previa, aspecto que limitaba en gran medida la eficiencia de operación. Este motor permitió superar el estado de experimentación, sin embargo, en cuanto a su funcionamiento dejaba mucho que desear, incluso instaló uno de estos motores a un vehículo diseñado especialmente para este fin, y realizó un pequeño viaje de prueba sin obtener un resultado satisfactorio, ya que ese motor trabajaba demasiado irregular.

El motor inventado por Lenoir fue denominado como el primer motor industrial, ya que logró fabricarlos en forma comercial, aún con sus deficiencias, se vendieron varios

centenares de ellos como máquinas motrices. Las limitaciones de los motores de gas quedaron presentes, por que además Lenoir, tampoco pudo construir una máquina generadora móvil de gas para darle la autonomía requerida. En la figura 2.1 se muestra al belga Lenoir junto a uno de sus primeros inventos.

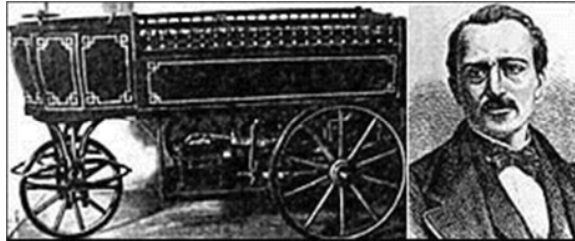


Figura 2.1 Jean Joseph Etienne Lenoir y una de sus primeras máquinas.

Posteriormente, el Ingeniero francés Alphonse Beau de Rochas (1815-1893) en 1862, publicó un trabajo teórico: "El motor de compresión previa y ciclo de cuatro tiempos", el cual fue definido y patentado por él. En este trabajo se establecían los principios de un motor ideal, con el que se podría optimizar la eficiencia térmica. La secuencia de procesos descritos en este trabajo es en esencia, la misma que es utilizada en la actualidad con los motores a gasolina de cuatro tiempos. Pero por cuestiones económicas, tuvo que dejar caducar la patente, sin embargo, con el tiempo, este trabajo cobraría una verdadera importancia. El trabajo final fue realizado por Nikolaus August Otto (1832-1891) y Eugen Laugen (1833-1895) en 1876, por medio del diseño de un prototipo de máquina, basado en el trabajo de Rochas. De esta manera se provee a la industria de aquel entonces, con un motor de mediana potencia, el cual, al ser comparado con el precio de un conjunto complicado de generador-máquina de vapor, tenía muchas ventajas. Este motor, a pesar de su baja eficiencia, se vendió en cerca de 50 000 unidades en 17 años. Para entonces, este tipo de motores estaba siendo imitado y perfeccionado por diferentes fabricantes.

Después de esta etapa se observó un desarrollo rápido y notable de la industria, en Inglaterra se inventó casi simultáneamente el motor de dos tiempos, que se les atribuye a Dugald Clerk (1854-1913) y James Robson (1833-1913). En Alemania, Karl Benz (1844-1929) por su parte desarrolla un diseño de motor de combustión. Otro trabajo de invención relevante pero no con tanto éxito como los anteriores, fue el motor inventado por el inglés

James Atkinson (1846-1914), en su funcionamiento presentaba, un tiempo de expansión más largo que el tiempo de compresión, logrando con esto, un importante aumento en la eficiencia de conversión de combustible, porque se aprovechaba todo el poder expansivo de los gases de combustión. Sin embargo, esto ocasionaba algunos problemas que se veían reflejados en aspectos mecánicos. De cualquier manera, para aquella época ya estaba bien definido que, la eficiencia de un motor se incrementaba al aumentar la relación de compresión. En esta etapa surge otra problemática importante, representada por los combustibles disponibles de esa época como lo eran: el gas natural, gas de alto horno kerosene, gasolina y otros productos ligeros de la refinación del petróleo, y que imponían como resultado una relación de compresión considerablemente baja.

Por otro lado, muchas personas involucradas en el medio sabían del gran potencial que representaba el motor de combustión interna, como un elemento de impulsión en el rubro del transporte. Sólo que para hacer posible esta aplicación, era muy importante aumentar la velocidad de rotación, situación que implicaba, una mejora en los sistemas de carburación, encargados de preparar la mezcla y el encendido de la misma. Esto se logró después de varios estudios con experimentos, y finalmente en la segunda mitad de la década de 1880, se inventó el automóvil.

La palabra automóvil viene del griego “autos” (por si mismo) y del latín “mobilis” (móvil), calificativo que fue utilizado por primera vez en Francia, donde fue bautizado, y también donde se da la realización de uno de los mas grandes sueños tecnológicos que representa la industria automotriz.

Carnot Nicolás Léonard Sadi (1796-1832), físico e ingeniero militar francés, nació en París y estudió en la Escuela Politécnica. En 1824 describió su concepción del motor ideal, el llamado motor de Carnot, en el que se utiliza toda la energía disponible sin pérdida. Descubrió que el calor no puede pasar de un cuerpo muy frío a uno muy caliente, y que la eficiencia de un motor depende de la cantidad de calor que es capaz de utilizar en su funcionamiento. Este descubrimiento representa las bases de la segunda ley de la termodinámica.

El motor Diesel fue el producto de la imaginación y perseverancia de Rudolf Diesel (1858-1913), ingeniero de origen alemán, sin embargo, estudió y desarrollo su trabajo en Francia. Este motor fue patentado en 1892, y desde su invención fue en gran medida, algo muy revolucionario. Esto es cierto, ya que Diesel deseaba encontrar una tecnología en las maquinas un tanto racional, inspirada finalmente en los trabajos de Carnot.

En la búsqueda de un ciclo práctico, que pudiera trabajar bajo los lineamientos de Carnot; un sistema con muy alta eficiencia. Rudolf Diesel construyó varios trabajos de prototipo pero fallidos, lo que casi le cuesta la vida al explotar uno de ellos, antes de tener el éxito deseado. Debido a que en su motor, la relación de compresión no estaba limitada por problemas de detonación, Diesel logró eficiencias de conversión de combustible muy superiores a las alcanzadas hasta ese entonces, trabajo incluso con combustibles más baratos de los que utilizaban en la competencia. De todas formas, Diesel requirió alrededor de cinco años más, antes de poder comercializar su invención.

En la actualidad los motores Diesel dominan casi sin contrapeso en el sector de transporte pesado, marino o terrestre: lo que incluye locomotoras, motores marinos, maquinaria para la agricultura, camiones y autobuses de gran tamaño y motores estacionarios de alta potencia, como los generadores de energía eléctrica. Por otro lado, el diseño del motor a gasolina de August Otto y Eugen Laugen, es el utilizado en la mayoría de los automóviles actuales.



Figura 2.2 Nikolaus August Otto y Rudolf Diesel.



Sin duda alguna en la actualidad, los motores de combustión interna se mantienen como uno de los adelantos tecnológicos de gran relevancia en la vida moderna. Con el desarrollo de estas máquinas viene dado el esfuerzo de muchos ingenieros, científicos y técnicos en una aventura que perdura hasta nuestros días. La investigación y desarrollo han sido notablemente acelerados en los últimos años, y se refleja principalmente en la aparición de nuevos materiales, combustibles y lubricantes, procedimientos de diseño y fabricación, tecnología moderna de instrumentación y control. De igual forma esta investigación es estimulada por el incremento en el precio de combustibles y por el deterioro del ambiente, en este rubro, se abarcan principalmente aspectos de contaminación en el aire. En el estudio relacionado, se han logrado grandes avances para comprender los procesos de combustión, y de los múltiples factores que participan en las diferentes fases del encendido de un motor. Lo anterior aporta resultados que se dejan ver en motores menos ruidosos, más suaves, menos contaminantes, más eficientes, confiables, robustos y sobre todo económicos.

## **2.2 Elementos del motor a gasolina**

Los elementos principales de un motor Otto se muestran en la figura 2.3 en forma generalizada, considerando solamente los componentes básicos de un motor a gasolina, los cuales se describen a continuación:

El block es la pieza central del motor; constituye el cuerpo del motor y en esta pieza puede existir uno o más cilindros, dentro de los cuales corren los pistones o émbolos. Cada cilindro está forrado por un manto o camisa, hecha de acero resistente al desgaste. En muchos diseños de motores para trabajo pesado la camisa de los cilindros puede ser cambiada cuando se desgasta. En cambio en los motores livianos, la camisa se introduce a presión y cuando se desgasta debe ser rectificada, acción que implica comúnmente un alto costo. La estructura del block es de fierro fundido o de aluminio en los motores modernos, este último es más ligero que el primero, sin embargo, es menos resistente.

La culata es una estructura acoplada al block en la parte superior y forma parte de la tapa de los cilindros. En tanto que su constitución también puede ser de aluminio o de

fierro. Entre la culata y el block se aplica un elemento sellador que es flexible que se conoce como empaquetadura o junta. Tanto la estructura de la culata como la del block están provistas de espacios huecos, por donde circula sustancia refrigerante (agua o líquido refrigerante-anticongelante) y que forma parte del sistema de enfriamiento. Las camisas pueden ser húmedas o secas, dependiendo, si están en contacto directo con líquido o no, como es el caso de los motores enfriados por aire. En estos motores el manto exterior del cilindro está provisto de aletas, con el objeto de aumentar la superficie de transferencia de calor. Un ejemplo de motores de este tipo son en su mayoría los de las motocicletas.

Los pistones comúnmente eran de aluminio en motores pequeños, mientras que en motores grandes y lentos se utilizaban de hierro fundido. En la actualidad se fabrican para ambos casos, con aleaciones de aluminio pueden clasificarse 3 categorías: aluminio-cobre, aluminio-cobre-níquel (o hierro) y aluminio-silicio. Las aleaciones más empleadas son las últimas, puesto que ofrecen óptima resistencia mecánica y coeficiente de dilatación bajo, junto con elevado coeficiente de conductibilidad térmica. El pistón está unido a una pieza metálica llamada biela y tiene la función de recibir la presión de los gases de combustión y transferirla al cigüeñal, cuyo movimiento rotatorio es llevado a las ruedas. Entre el manto del pistón y la pared del cilindro existe un pequeño espacio, el cual está ocupado por los anillos superiores. Tales elementos se insertan en unas ranuras talladas en la parte superior del manto del pistón. La función específica de los anillos superiores es la de sellar la cámara de combustión, de tal forma que se impide la comunicación entre ésta y la caja del cigüeñal. Los anillos inferiores tienen la función de deslizarse sobre la camisa del cilindro, devolviendo el aceite adherido a ella al depósito ubicado debajo del cigüeñal, evitando con esto, que los residuos de aceite se quemen en la cámara de combustión. Cuando esto sucede, se puede decir que es un buen indicador de que hay desgaste excesivo de las piezas; se obtiene de la emisión, un humo de color azulado característico del aceite quemado. El depósito de aceite se llama cárter, aquí es importante mencionar que tanto el conjunto del cárter como la caja del cigüeñal deben estar ventilados con el objeto de impedir incrementos de presión debido a la evaporación del aceite.

Las válvulas están colocadas en la parte superior del cilindro, éstas controlan el paso de los gases desde el múltiple de admisión y hasta el múltiple de escape, una vez terminado el proceso de combustión. Los múltiples son los conductos que conectan con cada cilindro a partir de los conductos centrales. Las válvulas tienen generalmente forma de platillos con borde cónico y movimiento axial, ajustando sobre sus asientos con tolerancias de medidas muy estrictas. El movimiento de las válvulas está sincronizado con el movimiento del cigüeñal por medio del árbol de levas. Las levas son piezas excéntricas de borde endurecido que actúan elevando guías o varillas con un movimiento contrario al del empuje de los resortes que tienden a mantener cerradas las válvulas, están por debajo y a un costado de los cilindros. Sin embargo, en la actualidad la tendencia de la tecnología y sobre todo de los fabricantes de automóviles, es colocar el árbol de levas en la parte superior, más cerca de las válvulas. En cualquiera de los dos casos, el eje de las levas gira exactamente a la mitad de las revoluciones del cigüeñal, como es el caso del motor de cuatro tiempos. Por otro lado, esas mismas tendencias se ven reflejadas en los requerimientos de las válvulas, ya que aún cuando basta sólo una válvula de admisión y una de escape para el funcionamiento correcto de un motor, en muchos diseños modernos se ha preferido duplicar el conjunto de éstas. Con ello se logra una mayor fluidez en el movimiento de los gases, mejorando en gran parte la eficiencia volumétrica y reduciendo la contrapresión de los gases de escape. Lo anterior se puede interpretar como efectos que proporcionan un aumento en la potencia.

El carburador en los motores modernos ha pasado a la historia, ya que ha sido desplazado inevitablemente por los sistemas de inyección de combustible controlados electrónicamente. Estos sistemas consiguen reunir todas las ventajas de la carburación y eliminar todos los inconvenientes. Ahora bien, en las etapas de desarrollo del motor de combustión interna, se menciona al carburador como un elemento fundamental hacia la evolución de los sistemas modernos de inyección, debido a que forma parte importante en el contexto histórico. Propiamente enfocado a la investigación y desarrollo de las nuevas tecnologías, incluyendo los nuevos sistemas de inyección de combustible, que en forma general han resultado en un grado mayor de eficiencia economía y confiabilidad.

Todos los carburadores se diseñaron sobre la base de un principio básico, conocido como el efecto venturi. En un carburador, tal efecto se obtenía al restringir el paso de aire a través de un tubo llamado difusor, en el cual, su sección disminuye progresivamente hasta un punto determinado para luego aumentar nuevamente.

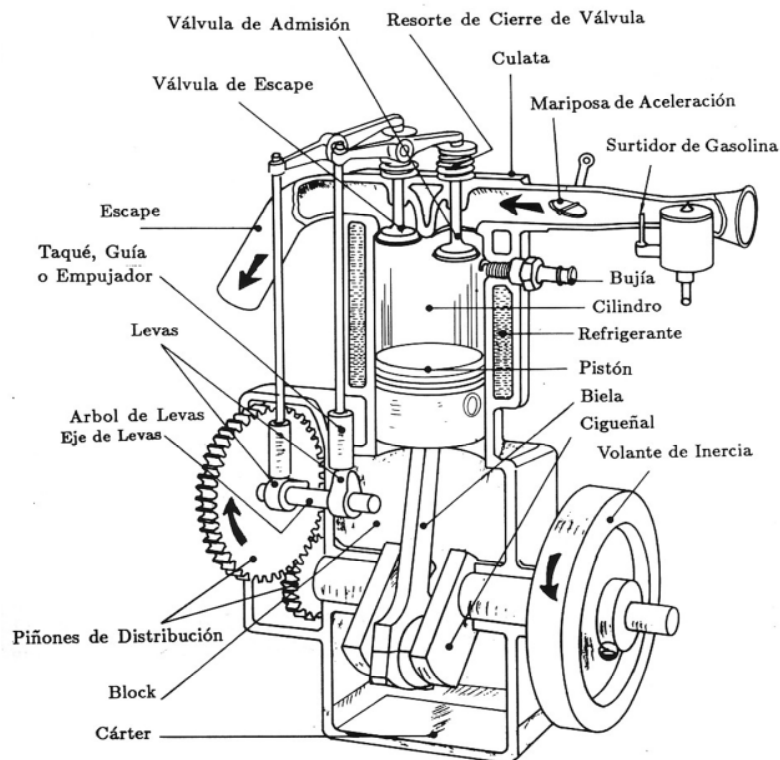


Figura 2.3 Elementos principales de un motor de cuatro tiempos.

Desde la entrada del aire al difusor, la densidad va disminuyendo progresivamente hasta llegar a la sección más chica de este, donde la velocidad aumenta y la presión es considerablemente menor a la presión atmosférica. En un sistema carburado, este efecto se aprovechaba insertando el combustible en el difusor, y debido a que la diferencia de presión era menor que la atmosférica, succionaba el combustible de la cuba (depósito de gasolina del carburador) para mezclarse con el aire, y así dirigirse al motor a través de la admisión. La cantidad de combustible que se proveía a la cuba del carburador se dosificaba por medio de un flotador, con una válvula de aguja llamada punsuar. Para

regular la cantidad de mezcla admitida por el motor se utiliza una válvula mariposa, que de acuerdo a su posición variaba la velocidad del motor.

El primer objetivo de un carburador era, realizar la mezcla de aire y combustible para un motor de forma rápida y completa, el aspecto ideal para una combustión total es que se provea la mezcla aire-combustible en forma de vapor al interior del motor, totalmente homogénea. Esto nos conduce al segundo objetivo del carburador, que era hacer pasar los gases a través de los conductos de admisión, ya que esto era determinante para la eficiencia en la combustión. Por lo que la ubicación del carburador estaba diseñada para tener una influencia primordial en el rendimiento.

El tercer objetivo del carburador se orientaba a la correcta respuesta a los constantes cambios de velocidad del motor, resultado de la aceleración y desaceleración del vehículo, es decir, debía ser capaz de variar la cantidad de combustible suministrado al motor con relación a las diferentes velocidades y potencias requeridas. Esto también exigía que la cantidad de aire pudiera variar de acuerdo a la de combustible para proveer la mezcla necesaria.

En la actualidad, toda esta complejidad recae en los diferentes sistemas modernos de inyección de combustible, tomando en cuenta los requerimientos y las variables en todo momento para el mejor desempeño de un motor.

## **2.3 Operación del motor a gasolina**

Para entender los principios básicos de operación de los motores tipo Otto o motores a gasolina, en primer lugar se menciona que los procesos en los motores no son cíclicos, es decir, en el sentido estricto de la termodinámica, no se pueden volver a utilizar los productos finales de la combustión para alimentar el sistema en otro ciclo posterior. No obstante, podemos referirnos al ciclo del motor solo para destacar la naturaleza repetitiva de su funcionamiento. La siguiente descripción esta sustentada en el movimiento alternativo del pistón dentro del cilindro, moviéndose en un sentido y luego en otro, el cual se transforma en el giro uniforme del cigüeñal. Aquí, el desplazamiento del pistón en el

proceso de admisión, o en el cilindro entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI) se define como embolada o carrera de pistón. Una carrera del pistón corresponde a media vuelta del cigüeñal.

En los motores de cuatro tiempos como se observa en la figura 2.4, el ciclo se completa en dos revoluciones del eje. El proceso comienza en el tiempo de admisión, en la carrera, el pistón se aleja de la culata y normalmente se dice que “baja”. Al alejarse de la cabeza el volumen del cilindro aumenta. Como en la cabeza hay una válvula abierta, la de admisión (en los motores actuales para la admisión es posible tener mas de una válvula), el motor aspira aire en ese momento. Si es un motor de gasolina de inyección indirecta (como se vera más adelante, en los sistemas de inyección), ese aire está mezclado con gasolina, pero si es un motor con sistema de inyección directa, solamente es aire. Entonces comienza el tiempo de compresión, es decir, la carrera ascendente del pistón, el cual ha llegado al punto muerto inferior y el aire ha entrado en el cilindro. Con las válvulas de la cabeza cerrada, el pistón empieza a subir, en consecuencia el volumen del cilindro se reduce y el aire que contiene se comprime. La compresión que efectivamente hay en el cilindro depende de dos variables: 1) La relación de compresión que es la diferencia relativa entre el volumen máximo y el mínimo que hay en el cilindro. 2) La cantidad de aire que haya aspirado el motor, cuanto más haya aspirado, mayor será la compresión. Poco antes de llegar al PMS la bujía produce una descarga eléctrica, a través del pequeño espacio que separa sus electrodos, esta chispa proporciona la energía y se produce la explosión de la mezcla que se quema con gran rapidez. También, cerca del PMS la velocidad del pistón es muy baja, de manera que el aumento de presión ocurre a volumen prácticamente constante. Esta presión, que es aproximadamente de 2900 kpa (kilo pascales) actúa sobre el pistón, el cual, retrocede hacia abajo debido a la expansión de los productos, este es el tiempo de potencia. La combustión se prolonga un cierto tiempo durante la expansión. Al llegar al PMI, comienza el tiempo de escape, se abre la válvula de escape quedando así el interior del cilindro comunicado con la atmósfera exterior, por medio del conducto de descarga. La presión elevada de los gases quemados, hace que estos salgan del cilindro a gran velocidad, además, el movimiento ascendente del pistón durante el tiempo de escape también contribuye con éste proceso. Es importante mencionar que la mezcla es diluida con los gases de combustión residuales, es decir, los gases remanentes del ciclo anterior, que no alcanzaron a salir del cilindro. Naturalmente

que la apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión, se obtiene mediante mecanismos sincronizados con el cigüeñal.

La descripción teórica de operación del motor naturalmente tiene algunas diferencias con la realidad, el movimiento de las válvulas, el salto de la chispa, el movimiento y sincronía de todos los mecanismos involucrados ocurren con cierta variación de cómo se ha explicado, debido al nivel de complejidad que esto implica, sin embargo, es útil para exponer en términos generales su funcionamiento.

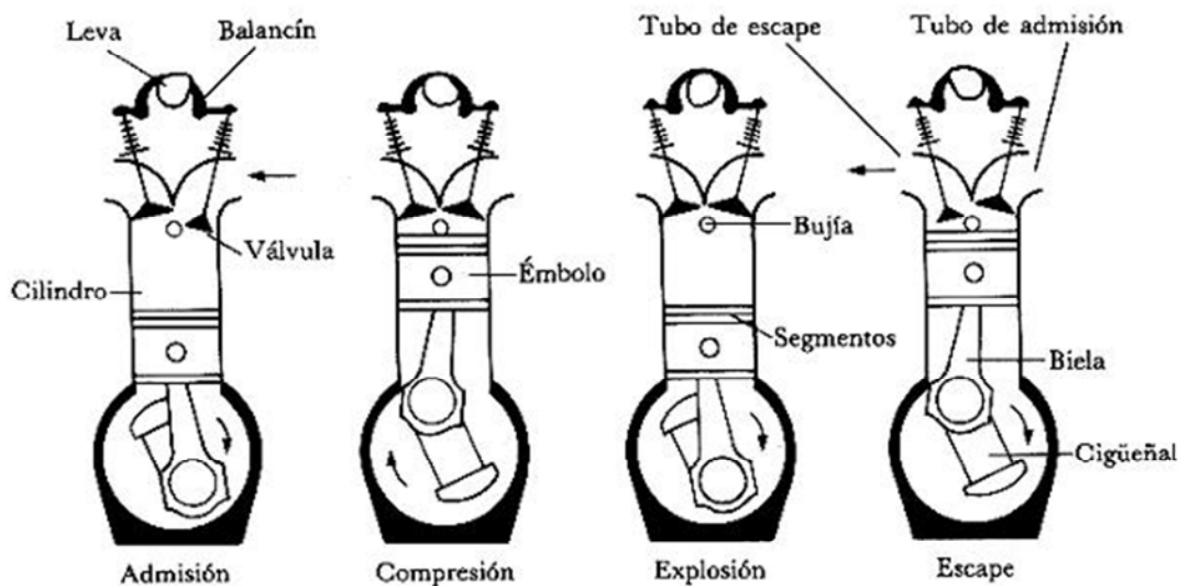


Figura 2.4 El ciclo de cuatro tiempos.

De acuerdo a lo anterior, el motor que ha sido descrito, tiene algunas definiciones distintas, se conoce como motor de encendido por chispa, como motor de explosión por la rapidez con que se realiza la combustión, como motor a gasolina ("gasoline engine" en Estados Unidos y "petrol engine" en Europa) por el tipo de combustible que utilizan, o como motor a gas, debido a que la gasolina se vaporiza antes de entrar al cilindro. De hecho, en la actualidad y retomando la definición de motor a gas se utilizan otros combustibles alternos para su funcionamiento, como son, el gas natural comprimido (GNC)

y el gas licuado de petróleo (GLP). Además, también puede funcionar con alcohol y otros combustibles llamados biodegradables, como el bioetanol por sus características químicas similares.

## **2.4 Sistemas de inyección de combustible**

### **2.4.1 Desarrollo**

El carburador fue diseñado para ser el elemento automotriz destinado a la formación de la mezcla de aire y carburante así como a la dosificación del combustible. Su origen se remonta al año 1882, sin embargo, no fue hasta 1893 cuando se presentó el primer carburador de pulverización de gasolina, por obra del ingeniero alemán Wilhelm Maybach. Este sistema fue patentado en 1895, con el nombre de carburador Phoenix para motores multicitlindricos, y alcanzó el éxito industrial con su principal aplicación en los automóviles. Desde entonces y hasta hace algunos años, los carburadores fueron constantemente perfeccionados y conocieron muchas épocas de avance tecnológico.

La inyección de gasolina también comenzó a desarrollarse hace muchos años, de hecho, la fabrica alemana Deutz, fabricó la primera bomba de inyección de combustible en 1898, pero no pudo competir en aquellas épocas con el revolucionario carburador de Maybach. Sin embargo, nunca se desechó la idea de la inyección y las investigaciones siguieron lenta pero ininterrumpidamente.

Los primeros autos en utilizar un sistema de inyección de gasolina fueron los de las marcas alemanas Goliat y Gutbrod en 1945, que eran propulsados por motores de dos tiempos. Después, unos años más tarde en 1954, aparecieron los autos de la marca Mercedes Benz modelo W196, con motores de ocho cilindros en línea e inyección directa de combustible de tipo mecánica. A consecuencia de la inyección, los motores Mercedes entregaban 10% más de potencia que sus similares con carburador.

La inyección mecánica fue utilizada esporádicamente por algunas marcas como Mercedes, Jaguar, Triumph y Peugeot, hasta que apareció la inyección electrónica de



combustible. Al final de la década del año de 1950, cuando Chrysler Corporation construyó algunos coches con un primer sistema electrónico de inyección de combustible, conocido como Bendix Electrojector, el cual fue construido y patentado por Bendix Corporación. La parte electrónica de este sistema se construyó con válvulas o tubos de vacío, pero no fue muy utilizado, debido a que no prometía gran flexibilidad en cuanto a diseño, adaptabilidad y operación. Con el advenimiento de la electrónica de estado sólido, apareció un sistema nuevo de tipo electrónico para la inyección de combustible, en la marca alemana Volkswagen se implementó en el Sedan 1500 en el año de 1968, desarrollado y construido por la firma alemana Robert Bosch, dando inicio a una nueva etapa en los sistemas de preparación de la mezcla. Fue con la ayuda de la electrónica con lo que se vio desplazado de manera paulatina al carburador, hasta hacerlo prácticamente desaparecer.

En la actualidad los sistemas de alimentación de combustible por carburador no son muy comunes y ya no son utilizados por los fabricantes de automóviles, tampoco los sistemas de inyección mecánica, que consisten básicamente en una bomba de desplazamiento positivo activada por el mismo motor. El carburador fue desplazado como dispositivo de alimentación de combustible del vehículo, debido a que, no reúne las condiciones para entregar cantidades exactamente dosificadas de gasolina para cada condición de operación del motor, como sucede con la inyección electrónica de combustible. Este tipo de inyección forma parte de los sistemas actuales de alimentación.

En los sistemas de inyección electrónica, donde el combustible se mezcla con el aire una vez que es expulsado por los inyectores, el control de la combustión solo puede lograrse por medio de una cámara de combustión adecuada, por un riguroso control de la relación de aire y combustible, y por un exacto control que establezca el punto de encendido óptimo para cada situación.

El uso del microprocesador y su aplicación en la inyección de combustible, ha facilitado notablemente muchos procesos, por la gran difusión que ha alcanzado como controlador electrónico. El tiempo de inyección, la presión de inyección y la cantidad inyectada pueden programarse dentro del controlador electrónico en función de variables de entrada, como presión y temperatura en el múltiple, presión y temperatura atmosférica

temperatura del refrigerante, concentración de oxígeno de los gases de escape y ocurrencia de detonación, entre las mas importantes.

De esta forma, con el uso de la electrónica en su aplicación automotriz, se logra una rápida y eficiente respuesta del motor frente a las demandas constantemente variables que recibe. La figura 2.5 muestra el esquema de un inyector activado por solenoide en corte longitudinal de diseño alemán Robert Bosch.

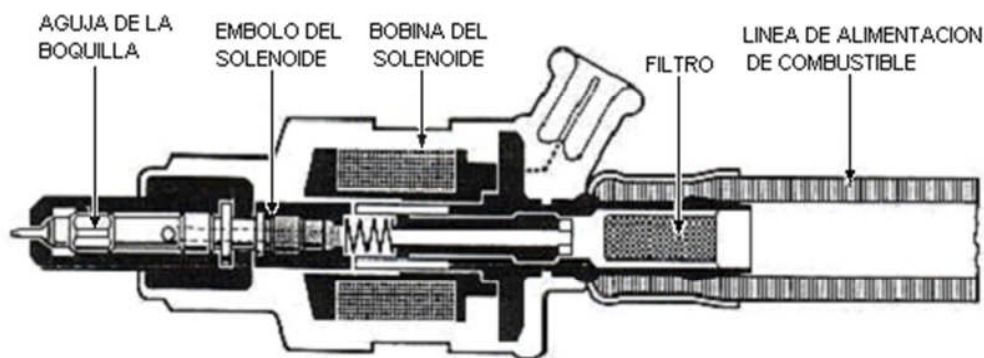


Figura 2.5 Corte longitudinal de un inyector de diseño Alemán, Robert Bosch.

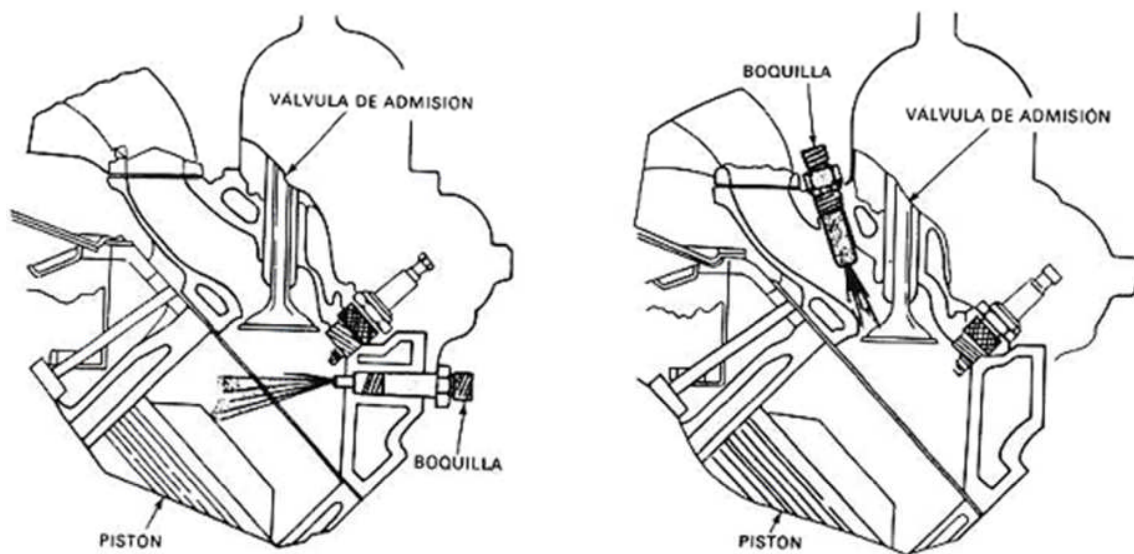
Mediante estos sistemas, en forma general, se puede establecer que son el método adecuado en el que el combustible es inyectado a baja presión en forma atomizada en la corriente de aire que alimenta a los cilindros, por lo tanto tiene la finalidad de obtener un mejor control en la relación de la mezcla aire-combustible.

## 2.4.2 Funcionamiento

El desarrollo de los sistemas de inyección trajo consigo muchas ventajas en los motores de combustión interna, algunos de ellas son: consumo reducido de combustible, mayor potencia, gases de escape con menos contaminantes, mejor desempeño en el arranque en frío y fase de calentamiento, aspectos que se verán con detalle más adelante.

En estos sistemas, la cantidad de combustible que se inyecta es función de la masa de aire que aspira el motor, la cual se mide mediante un sensor especial. Una sonda especial de temperatura también informa al procesador para calcular el tiempo de apertura de los

inyectores y su frecuencia, con respecto a la velocidad de giro del motor. Por otro lado, la inyección electrónica en los motores de gasolina puede ser del tipo indirecta, que es la se aplica en los tubos de admisión, antes de las válvulas, o bien, directa, que es la que se realiza en la cámara de combustión. En la figura 2.6 se pueden observar estos dos métodos de inyección.



a) Método de inyección directa.

b) Método de inyección indirecta.

Figura 2.6 Métodos de inyección.

Ahora bien, si se utiliza uno o dos inyectores al sistema que suministra el combustible a un colector común para todos los cilindros, se dice que la inyección es monopunto. El más común es conocido como Sistema de Inyección al Cuerpo de Aceleración (Throttle Body Injection; TBI), mientras que, si existe un inyector para cada cilindro, se está hablando de un método de inyección multipunto o multipuerto (Multiport Fuel Injection; MFI), aparte de que en este sistema también puede haber inyección directa o indirecta. Dentro de los sistemas de inyección multipunto se pueden distinguir varios tipos: La inyección es continua si el combustible se regula mediante la presión de suministro del inyector, que se determina por medio de la fuerza de un muelle que presiona una aguja contra su asiento, comunicado con la tobera de salida. Esto quiere decir que el suministro

de gasolina se produce incluso con la válvula de admisión cerrada, acumulándose la gasolina hasta que abre la válvula de admisión y se ve arrastrada por la corriente de aire. En los sistemas de inyección intermitente, la apertura de los inyectores está gobernada por una señal eléctrica, de esta manera, la aguja que cierra y abre la tobera no está impulsada por la fuerza de un muelle, sino que se levanta mediante electromagnetismo, inyectando combustible una vez por cada ciclo. Entre los sistemas de inyección intermitente existen los del tipo simultánea, en el cual, el disparo de combustible se realiza en el mismo instante para todos los cilindros, independientemente de la fase del ciclo en la que se encuentren. Mientras que, en la inyección secuencial, cada inyector suministra combustible a su correspondiente cilindro sólo durante la carrera de admisión.

Los sistemas de inyección de combustible hoy en día son controlados por una computadora, la cual recibe el nombre de ECM (Electronic Control Module). Este recibe datos de entrada de sus sensores e interruptores, por ejemplo, algunas de esas entradas pueden ser:

1. Carga del Motor
2. Temperatura del Motor
3. Velocidad aplicada en la transmisión
4. Velocidad del vehículo

El ECM también realiza funciones de salida, algunas de esas funciones de salida pueden ser:

1. Dosificación de combustible
2. Control del sistema AIR (sistema secundario de inyección de aire)
3. Ajuste del tiempo de encendido
4. Control de cambio de la velocidad de la transmisión

La función del ECM es entregar al motor la cantidad correcta de combustible bajo todas las condiciones de operación, esto se logra, mediante los modos de operación del ECM:

1. Arranque
2. Arranque de motor ahogado
3. Funcionamiento (open loop y closed loop)
4. Aceleración (enriquece la mezcla)
5. Desaceleración (empobrece la mezcla)
6. Corte de combustible
7. Respaldo de combustible
8. Corrección de voltaje de la batería

A continuación se muestra en el esquema de la figura 2.7, un sistema de inyección electrónica de combustible, en el cual se observan en forma general, los principales componentes involucrados para que el sistema realice su función.

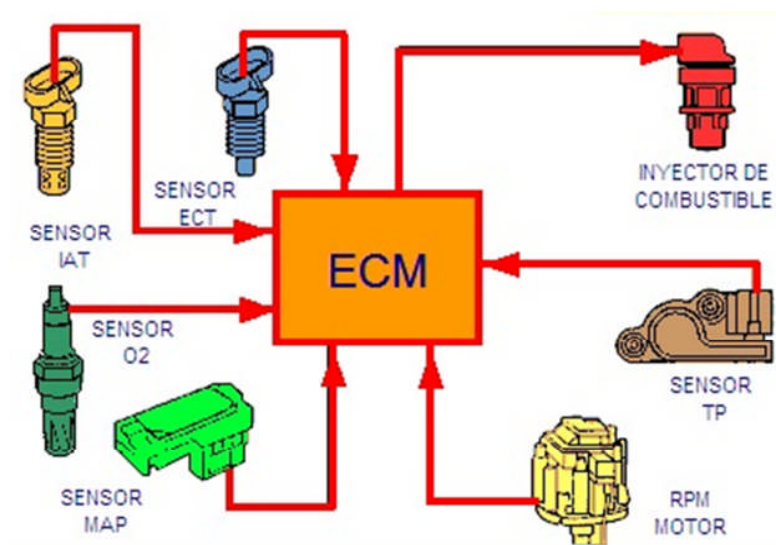


Figura 2.7 Esquema de un sistema electrónico de Inyección de combustible.

Los elementos de entrada de los cuales depende la información del ECM son sensores de diferentes tipos, los cuales envían la información necesaria. A continuación se enlistan los principales sensores de entrada en un sistema de inyección electrónica y sus características:

1. Sensor ECT (Engine Coolant Temperature), es un transductor térmico conocido como termistor de coeficiente negativo, es decir, a temperaturas bajas presenta alta resistencia y a temperaturas altas, baja su resistencia.
2. Sensor IAT (Intake Air Temperature), es un transductor térmico conocido como termistor de coeficiente negativo, el cual, a temperaturas bajas presenta alta resistencia y a temperaturas altas, baja su resistencia.
3. Sensor TPS (Throttle Position Sensor), pertenece a un transductor de tipo resistivo, que en general es un potenciómetro de resistencia variable, el cual envía una señal de voltaje basándose en la posición del acelerador.
4. Sensor de Oxígeno ( $\text{SO}_2$ ), pertenece al tipo de transductor generador de señal de voltaje, el cual entrega una señal basándose en la variación del oxígeno en los gases de escape.
5. Sensor CKP (Crankshaft Position), el más común es del tipo de efecto Hall, aunque también los hay ópticos y de imán permanente. Para los de tipo de imán permanente y de efecto Hall, se consideran transductores de tipo inductivo. Existen también para esta aplicación los transductores de tipo óptico.
6. Sensor MAP (Manifold Air Pressure), es un transductor resistivo, que funciona mediante un elemento de silicio, el cual monitorea la variación de la resistencia en base a la presión del múltiple de admisión (vacío), para entregar una señal de voltaje.

Las salidas que proporciona el ECM principalmente son señales de control para los siguientes componentes:

1. Válvula IAC (Idle Air Control), es el actuador del control de aire de marcha mínima, comúnmente es un motor a pasos que acciona un embolo, para permitir cierta cantidad de aire que controla la condición en Ralentí del motor, en los casos de arranque en frío.

2. Bomba de combustible, es el actuador que consta de un elemento inductivo, generalmente es un motor eléctrico, que al accionar permite la dosificación del combustible a la presión requerida por el sistema de inyección.

3. Inyectores, son los elementos actuadores del tipo inductivo que dosifican el combustible a las cámaras de combustión en los tiempos requeridos (ancho de pulso de inyección), para los diferentes modos de operación del ECM.

4. Control de emisión de vapores del tanque de combustible (EVAP), es el sistema de purga encargado del almacenamiento de los vapores de HC provenientes de la carga de combustible, y que los jala fuera del Canister para ser quemados por el motor. El sistema tiene un elemento actuador de tipo inductivo conocido como, solenoide de purga controlado por el ECM, para regular los vapores de purga provenientes del Canister y del tanque de combustible.

5. Válvula EGR (Exhaust Gas Recirculation), es un elemento actuador inductivo controlado por el ECM para regular la dosificación de los gases de escape hacia el múltiple de admisión, con el objeto de reducir las emisiones principalmente de los Óxidos de nitrógeno.

6. Sistema AIR (Air Injected Remote), consiste generalmente de una válvula de tres vías controlada por el ECM, comúnmente es un actuador inductivo. Considerado como un sistema secundario de inyección de aire, el sistema tiene tres modos de operación: 1) Inyecta aire al sistema de escape de gases para realizar una combustión completa en el control de las emisiones, 2) inyecta aire al sistema de admisión cuando el motor lo requiere y 3) Acciona la válvula para que el sistema quede en posición de Bypass cuando el sistema no requiere ninguna de las dos configuraciones anteriores.

### **2.4.3 Ventajas**

Una de las causas por las cuales evolucionaron los sistemas carburados a sistemas de inyección, radica en la eficiencia principalmente, aspecto que viene representado por el consumo mayor de combustible en el carburador por su propia naturaleza, esto se explica

de la siguiente manera: debido a que el carburador está ubicado normalmente en una posición central con respecto a los cilindros interiores, como se observa en la figura 2.8, aspira combustible en forma líquida y como la evaporación no es instantánea, la inercia hará que las gotas tiendan a seguir una trayectoria rectilínea, sin cambiar de dirección. El resultado es que los cilindros centrales reciben una mezcla más rica que los cilindros extremos, lo que al final se puede considerar como una pérdida de combustible.

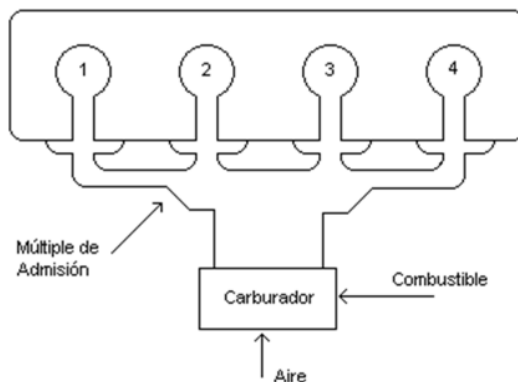


Figura 2.8 Posición de los cilindros respecto al carburador en un motor de cuatro cilindros en línea.

Además de que, en el aspecto ambiental y en comparación con los sistemas de inyección electrónica, las emisiones contaminantes en el escape de gases eran considerablemente más altas con sistemas carburados.

Con la inyección electrónica de tipo indirecta se puede reducir el consumo de combustible hasta un 16%, en comparación con un motor de potencia similar pero con un sistema de alimentación por carburador. Mientras que, en la inyección de tipo directa se puede reducir hasta un 33%.

Estos niveles podrían parecer exagerados, sin embargo, son evidencia de los notables progresos que se han alcanzado en materia de sistemas de inyección y métodos de combustión.

En conclusión, las ventajas técnicas que proporciona un motor con inyección de combustible son:



1. Aumento en la eficiencia volumétrica, por lo tanto también aumenta la potencia y el torque. Esto ocurre por dos motivos principalmente, en primer lugar en los ductos de admisión la velocidad del aire puede ser reducida, ya que no se requiere transformar energía cinética en presión, para el tiempo de aspiración de combustible, por lo tanto, las pérdidas por fricción son menores. En segundo lugar, la inyección favorece la atomización y evaporación del combustible, lo que resulta en un mejor aprovechamiento del aire.
2. Incremento en la eficiencia de conversión del combustible. Junto con un sistema de inyección controlada, cada cilindro recibe en forma individual la mezcla adecuada a las necesidades de potencia.
3. Menor emisión de elementos contaminantes. Esto es razonable, considerando el punto anterior, es decir, si la combustión es más eficiente, existirán menos productos nocivos en el escape de gases, como los que normalmente se obtienen en una mala combustión.
4. Se facilita la partida en frío debido a que la evaporación es mucho más rápida que en un carburador convencional. Esto también tiene ventajas en la eficiencia térmica y en la emisión de contaminantes.
5. En los motores que tienen estos sistemas, se pueden utilizar combustibles con un proceso de refinación tal, que permita obtener formulaciones menos volátiles en comparación con las gasolinas convencionales, fortaleciendo los aspectos de seguridad.
6. El requerimiento de octano en el combustible disminuye. Esta característica está determinada por el cilindro con mayor propensión para detonar. En los sistemas de inyección, el control individual de la mezcla en cada puerto puede reducir esa tendencia en la etapa más comprometida. Así mismo, también contribuye el hecho de que la mezcla no necesita ser calentada para producir la evaporación del combustible en el proceso de homogenización.

## **2.5 El convertidor catalítico**

### **2.5.1 Descripción**

El convertidor catalítico es un dispositivo que forma parte de los sistemas de control de las emisiones de un vehículo, es muy efectivo para reducir los elementos nocivos en los gases que se emiten por el escape en un automóvil a un nivel cercano a cero. Es una cámara montada en el ensamble del flujo de los gases de escape, la cual contiene material catalítico que promueve la oxidación de las emisiones. Un catalizador es una sustancia simple o compuesta que acelera una reacción química sin que forme parte de ella encontrándose invariable al final de la misma.

Generalmente los convertidores catalíticos son denominados convertidores de 3 vías, por que en ellos se promueve la reducción de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Mediante este dispositivo, dichos gases son transformados, de compuestos tóxicos a otros menos dañinos a la salud.

El convertidor esta formado en su interior por una estructura porosa (un panal que preferentemente es una cerámica), hecha de material de óxido de aluminio (Alúmina), y que es usado en la mayor parte de los convertidores catalíticos. La Alúmina puede soportar altas temperaturas y permanecer químicamente neutral, tiene muy baja expansión y se han incrustado partículas de metales preciosos, como el platino (Pt), el paladio (Pd) y el rodio (Rh). Todo lo anterior, en un envoltente metálico de acero inoxidable preferentemente, allí, las emisiones contaminantes reaccionan químicamente con los metales preciosos y el calor, transformándose a sí mismos en agua, bióxido de carbono y otros compuestos inofensivos.

### **2.5.2 Funcionamiento**

El catalizador requiere del calor de la combustión, en un rango entre 250° y 900°C para actuar, y a través de las reacciones químicas que se producen en su interior añade calor al sistema de escape.

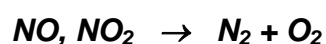
Si en la realidad existiera un motor de combustión interna como el que se propone en forma ideal, éste podría quemar totalmente el combustible y los productos de combustión, en el escape de gases se tendría solamente bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Pero la combustión real no es perfecta, y cuando es incompleta produce compuestos inestables que son dañinos para los seres vivos. Debido a las temperaturas y presiones generadas se obtienen productos secundarios, y en un vehículo que quema gasolina como combustible, se emiten 3 principales gases contaminantes, los de mayor impacto:

1. Hidrocarburos no quemados (HC)
2. Monóxido de Carbono (CO)
3. Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

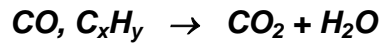
Como se mencionó anteriormente, los materiales catalizadores utilizados en la fabricación de convertidores son: el platino, el paladio y el rodio, en diferentes mezclas y proporciones. El paladio y el platino promueven la oxidación del CO y los HC, respectivamente, así que el rodio se encarga de la reacción con los NO<sub>x</sub>. Al entrar los gases de escape en la zona del convertidor catalítico, directamente al panel y en presencia de calor, se generan las reacciones químicas que transforman esos gases nocivos en otros, de moléculas muy estables y que no perjudican a los seres vivos.

Anteriormente existían convertidores catalíticos conocidos como convertidores de dos vías, los cuales fueron desapareciendo paulatinamente. Su funcionamiento consistía en añadir oxígeno para controlar y convertir los HC y CO a gases no contaminantes, sin embargo, no regulaban los NO<sub>x</sub>.

El convertidor catalítico lleva a cabo reacciones químicas para regular los contaminantes, en forma general son dos, la primera es para reducir los óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) y convertirlos a nitrógeno y oxígeno.



La segunda reacción es la oxidación del monóxido de carbono (CO) y también de los restos de hidrocarburos sin quemar ( $C_xH_y$ ), de la que se obtienen bióxido de carbono y agua.



Entonces, en los convertidores de 3 vías se observa que, por una de ellas se produce la oxidación del monóxido de carbono (CO) para transformarse en bióxido de carbono ( $CO_2$ ). En otra vía, los hidrocarburos (HC) no quemados son transformados en bióxido de carbono y vapor de agua, y en la tercera, se reducen los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) que se transforman en nitrógeno para mezclarse con el aire, tal como se observa en el esquema de la figura 2.9.

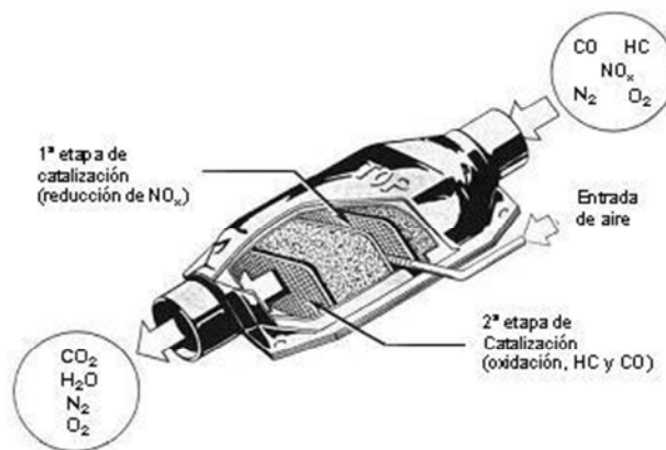


Figura 2.9 Convertidor de Tres Vías.

Un aspecto de gran importancia en este contexto, es la eficiencia de un convertidor catalítico, la cual depende mucho del incremento de calor, y cuando esta trabajando de manera aceptable, lo hace a una temperatura de  $400^{\circ}C$  o más, en donde puede remover entre 98 y 99% de CO, 95% de  $NO_x$  y más del 95% de HC en el flujo de escape de gases. Un convertidor catalítico está en buenas condiciones de operación cuando reduce emisiones contaminantes sobre un 90%. Sin embargo, cuando está frío, un convertidor no es muy eficiente. También es importante mencionar que el catalizador del convertidor

puede incrustarse con determinadas sustancias en un momento dado, las cuales se fijan y bloquean los sitios activos en la superficie, el convertidor pierde la eficiencia, se envenena y queda inutilizado. Esto ocurre principalmente con gasolinas y aditivos que contienen plomo en su formulación.

Hasta ahora se ha hablado de las etapas que conforman el convertidor catalítico y su funcionamiento, sin embargo, existe una etapa adicional que es parte fundamental en el sistema de escape, la cual, monitorea los gases que despiden el motor y utiliza esta información para controlar el sistema de inyección de combustible. Se trata de los sensores de oxígeno, estos se ubican en el ensamble del escape, antes y después del convertidor. Tienen la función de informar a la computadora sobre la cantidad de oxígeno existente en la salida de los gases, con esta información el ECM puede aumentar o disminuir la cantidad de las partes involucradas en la mezcla para la combustión, ajustando la relación aire-combustible. El sistema de control le permite a la computadora asegurarse de que el motor está funcionando con una relación muy cercana a la estequiométrica (la combustión total de 1 gramo de gasolina que se consigue con 14.7 gramos de aire). Es la relación ideal de aire-combustible y además permite mantener suficiente oxígeno en el escape para oxidar los hidrocarburos y el monóxido de carbono.

El uso del convertidor catalítico es un elemento preciso que las autoridades ambientales establecen como medida de control eficaz, su utilización con carácter obligatorio entra en vigor oficialmente a partir del año 1992 en los automóviles nuevos, actuando en el tratamiento de los gases de escape antes de liberarlos a la atmósfera. De esta manera, los gobiernos de algunos países han buscado la forma de cómo solucionar los problemas ambientales, considerando que en el mundo existen millones de autos que queman gasolina circulando diariamente, establecen regulaciones que limitan la cantidad de contaminantes que un vehículo puede generar, obligando por otro lado, a que la industria automotriz encuentre los medios para hacer más eficientes y menos contaminantes sus vehículos, como una forma de dar protección al medio ambiente. En las grandes ciudades como lo es el Distrito Federal, la contaminación que producen estos vehículos está ocasionando problemas graves a la salud de sus habitantes y al deterioro de la atmósfera que respiramos.

## **2.6 Tecnologías alternativas**

### **2.6.1 Desarrollo**

En el aspecto ambiental, el desarrollo de nuevas tecnologías en la fabricación de automóviles ha cobrado una enorme importancia, sobre todo por las disposiciones de las autoridades en los países más contaminados, por actuar sobre el control de las emisiones de gases contaminantes que se arrojan a la atmósfera, considerando que los vehículos son la principal fuente de contaminación en el ambiente.

Los importantes corporativos fabricantes de automóviles invierten grandes cantidades de recursos para la investigación y desarrollo de nuevos sistemas en automotores, para que utilicen combustibles amigables con el ambiente, así como tecnologías con alternativas actuales. En el umbral de esas investigaciones se observa una revolución energética, que promete algo que va más allá de las ventajas actuales en los vehículos, una variedad de fuentes de energía incluidas las renovables. Sin duda un cambio evolutivo en el rubro del transporte.

De esta manera, el diseño automotriz actualmente está marcado por la influencia de tres aspectos principales:

1. La seguridad
2. La protección al ambiente
3. La economía de combustible

Es interesante conocer en qué forma los cambios han logrado transformar la tecnología a través del tiempo, para dar paso a los diseños más sorprendentes, tomando un ejemplo de comparación, con la existencia de motores de hace algunos años: un motor V8 de producción normal que apenas entregaban una potencia de 160 a 190 caballos de fuerza (horse power), a un costo de combustible elevado. A estos motores se les podía incrementar la potencia por medio de accesorios como supercargadores, carburadores de

alto flujo, la implementación de sistemas de encendido electrónico, árboles de levas con un mejor traslape, etcétera, pero obviamente el consumo de combustible se elevaba considerablemente.

Sin embargo, hoy en día todo lo anterior es posible en motores V6 sin ayuda de supercargadores, y hasta es posible lograrlo con motores de cuatro cilindros. Actualmente ya no es sorprendente ver motores pequeños con alto rendimiento de potencia, existen automóviles como los de la marca Mitsubishi Motors, que presentan un destacado ejemplo de lo anterior en un modelo Lancer de su línea base, con un motor de cuatro cilindros en línea, normalmente aspirado, 2.0 litros de desplazamiento y que además tiene una potencia especificada en su ficha técnica de 152 hp a 6000 rpm.

Ahora la tecnología conlleva a la obtención de motores más sofisticados con una relación peso-potencia mayor y eficiente, pero sobre todo, a la altura de las condiciones ambientales actuales.

En el aspecto ambiental, considerando los altos niveles de contaminación en la atmósfera de las grandes ciudades como lo es el Distrito Federal, la industria automotriz esta diseñando motores, con requerimientos que sean totalmente adaptables a esta situación. Desde hace algún tiempo ya se fabrican y utilizan motores con características ambientalistas como:

1. Bajo consumo de combustible
2. Que utilicen combustibles alternativos (gas natural comprimido: GNC, gas licuado de petróleo: GLP, combinaciones de gasolina con metanol o solo metanol).
3. Cámaras de combustión que permiten eficientizar el quemado de del combustible
4. Nuevos diseños en árboles de levas que permiten actuar en alguna parte del ciclo de combustión para que dure más o menos tiempo, de acuerdo a los requerimientos del flujo de gas y demanda de potencia.

5. Sistemas de encendido controlados por un sistema electrónico o computarizado que gobierna el motor.

Por otro lado, se trabaja urgentemente en la investigación y desarrollo de otras fuentes de energía alternas para automóviles y otras aplicaciones, como pueden ser:

1. Energía eléctrica
2. Celdas de combustible
3. El uso del Diesel en motores pequeños o de automóviles
4. Combinaciones de estas fuentes, como los automóviles híbridos (con un motor eléctrico y uno de combustión interna).

En los foros internacionales, donde son expuestas las nuevas tecnologías desarrolladas para la eficiencia energética en el automóvil, las corporaciones más importantes de fabricantes presentan los avances que han alcanzado, cada quien con sus prototipos más destacados. Los proyectos son muy variados y prometedores pero el aspecto más importante a seguir, es la implementación total o paulatina de estas nuevas tecnologías y ponerlas al alcance de los consumidores, creando la infraestructura que la sostendrá en el futuro. Chrysler Corporation por ejemplo, en los aspectos dedicados a las tecnologías amigables con el ambiente, presentó en el marco del auto show en Detroit en el año de 2009, vehículos que utilizan fuentes de energía que no dependen de los combustibles fósiles y que probablemente se producirían en años posteriores. Estos vehículos son de tipo eléctrico (Electric Vehicle; EV), combinan un motor principal que funciona con electricidad y un secundario de combustible, con una autonomía de 40 millas (aprox. 64.3 Kilómetros.) utilizando solo energía eléctrica proveniente de un banco de baterías.

### **2.6.2 Panorama de los vehículos eléctricos**

Las políticas energéticas actuales en la mayoría de los países, marcan una tendencia mundial hacia la reducción en el uso de combustibles fósiles, lo cual permitirá prolongar su existencia y mejorar la calidad ambiental. El efecto de esta situación en el transporte se ve



reflejado en los esfuerzos realizados, los mismos que se están llevando a cabo para aumentar la capacidad energética y disminuir la dependencia actual de la gasolina y el diesel principalmente. Los vehículos eléctricos son muy buenos ejemplos y representativos de cómo ahorrar energía primaria, sustituyéndola por una forma de energía más eficiente.

Un aspecto muy importante en el uso de vehículos eléctricos, vendría dado por el impacto en la reducción de los elementos contaminantes, el monóxido de carbono desaparece casi en su totalidad, así como también desaparecen el ozono y los compuestos orgánicos volátiles que contribuyen a la contaminación ambiental.

Otros factores que también favorecen el uso de vehículos eléctricos son: su bajo nivel de ruido comparándolos con los de combustión interna, su confiabilidad y menor mantenimiento. Los vehículos eléctricos resultan muy sencillos en su concepto y construcción, pues básicamente constan de un banco de baterías que alimenta un motor eléctrico a través de un control electrónico de estado sólido. En comparación con la gran cantidad de componentes de un vehículo de combustión interna, entre los que se cuentan, los inyectores de combustible, compresores, bombas y válvulas, los cuales crecen además en cantidad y complejidad al fabricarlos más eficientes y menos contaminantes.

En contraste con lo anterior, los vehículos eléctricos presentan actualmente 3 grandes limitaciones: la autonomía esta dentro del orden de 30 a 50% menos en comparación con los vehículos de combustión interna, lleva mucho más tiempo la recarga de baterías que el llenado de un tanque de gasolina y son de 2 a 3 veces más costosos en la inversión inicial.

La diferencia en la autonomía es resultado de la mayor densidad de energía que poseen los hidrocarburos comparados con las baterías electroquímicas. Esto se refiere a que, por mencionar un ejemplo, 1 kg de gasolina ofrece mayor densidad energética que 1 kg de cualquier tipo de batería. Una batería típica de plomo-ácido posee una energía específica de 30 Wh (Watts-hora) por kg; una batería de la mejor calidad, en cambio una de sodio-sulfuro posee una energía específica de 85 Wh por kg, en comparación con la gasolina que acumula unos 12 kWh por kg.

Para mencionar una última limitación y la más importante, la que se refiere al alto precio de los vehículos eléctricos, que es resultado de construir un vehículo de alta tecnología, suma eficiencia, de bajo peso y sin reducción en sus características de resistencia y seguridad contra impactos en accidentes. Todo lo anterior es costoso, aún más, si se agrega el uso de electrónica especializada y los bajos niveles de producción iniciales, los vehículos eléctricos indudablemente resultan más sobrevaluados, como sucede con cualquier nueva tecnología en las primeras etapas de su producción comercial. En el esquema de la figura 2.10 se observan las principales partes de un vehículo eléctrico.

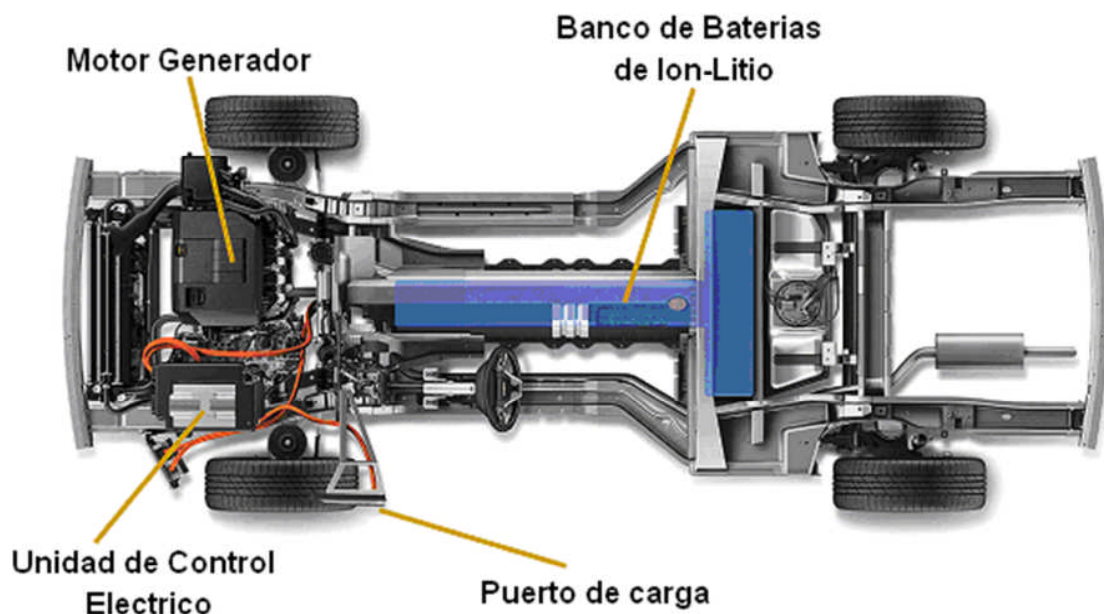


Figura 2.10 Esquema de un vehículo eléctrico.

Una de las grandes ventajas estos vehículos radica en el uso de motores eléctricos, ya que éstos desperdician mucho menos energía que los motores de combustión interna, tienen eficiencias que exceden el 90%, en comparación con los motores de combustión interna, los cuales presentan eficiencias máximas del orden del 20%. Además, los motores eléctricos presentan una curva de desempeño y eficiencia de gran uniformidad, a través de gran parte del intervalo de velocidades en sus rangos de operación, mientras que la eficiencia de los motores de combustión interna depende en gran parte de la velocidad que adquiere en cada etapa de esos intervalos.

En términos generales, para que los vehículos eléctricos puedan rivalizar con los de gasolina, deberán ofrecer las mismas características de autonomía, potencia, velocidad aceleración, tiempo de recarga y principalmente el valor comercial, que les permita ser competitivos.

### **2.6.3 La Tecnología del hidrógeno y las celdas de combustible**

Desde hace algunos años, las empresas automotrices como Toyota, Honda, Ford Chrysler, Volkswagen, Nissan, PSA (grupo automovilístico francés que agrupa las marcas Peugeot y Citroën), Hyundai, General Motors, entre otras, tienen programas donde será posible la aplicación de la tecnología de Celdas de Combustible en sus proyectos con vehículos, en una etapa experimental. Estas celdas funcionan por medio del principio de la electrólisis inversa, de igual forma como se aplica una corriente eléctrica al agua, separando el hidrógeno y oxígeno, también se puede invertir dicho proceso para generar electricidad. Así, la celda de combustible proporciona energía a un motor eléctrico que impulsa las ruedas, en este proceso va despojando los electrones de hidrógeno, de las moléculas que viajan a través de una membrana para luego combinarse con oxígeno y formar agua. Por su parte la marca Toyota ha desarrollado una celda que utiliza un grupo de membranas de intercambio de protones ó Polímero Sólido, estas celdas operan relativamente a bajas temperaturas en un rango de trabajo de 70 a 200 °C, tienen una eficiencia de 50 a 70% y en el sistema de 30 a 50%, una densidad de potencia alta, en un rango de 0.1 a 500 kW pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia, son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, como en el caso de los automóviles. El espesor de cada membrana tiene medidas de fracciones de milímetro, esto permite que sólo pase el protón de la molécula de hidrógeno, de esta manera se crea el diferencial de voltaje para impulsar el vehículo.

Existen otros materiales y métodos para la fabricación de celdas de combustible, sin embargo, la mejor aplicación para vehículos, es la de membranas de intercambio de protones. La celda requiere de un combustible que puede ser hidrógeno, gasolina, gas natural o metanol, y también de la presencia de un oxidante para iniciar la reacción, ya sea oxígeno o aire.

La tecnología de las celdas de combustible en los autos, es dos veces más eficiente desde el punto de vista de la energía, comparada con los motores de combustión interna, no tienen emisiones contaminantes y son silenciosos. En la figura 2.11 se muestra el esquema de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones.

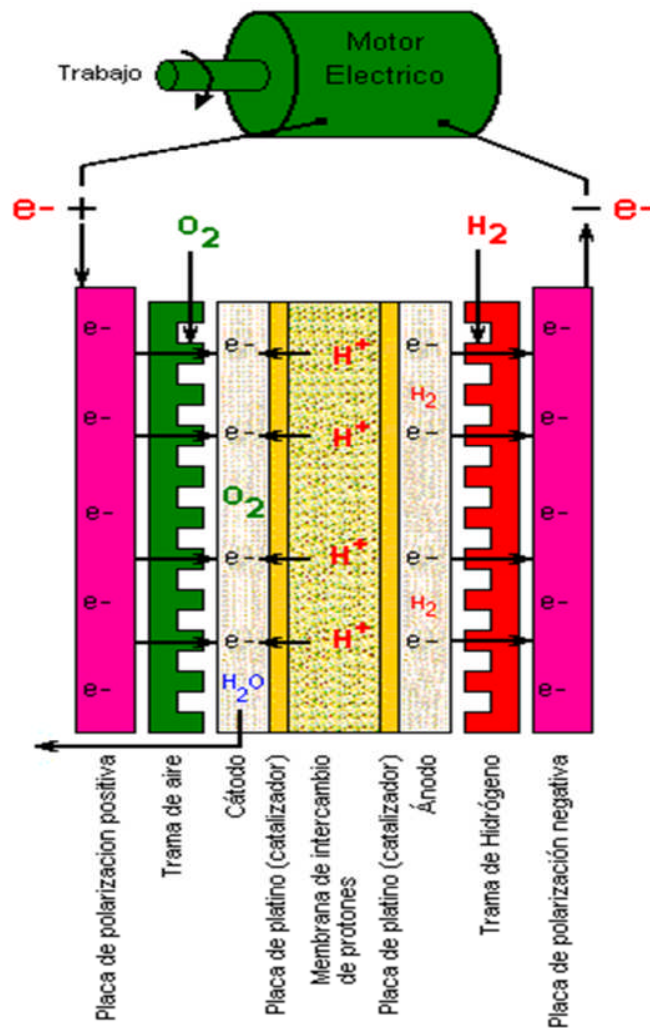


Figura 2.11 Esquema de una celda de Membrana de intercambio de protones.

En lo que se refiere a la tecnología del hidrógeno, para su aplicación en vehículos, se presentan algunos inconvenientes que afectan su desarrollo y radica principalmente en la forma en como almacenarlo, dando énfasis a la autonomía. El envase que lo contenga debe hacerlo a presiones muy elevadas. El hidrógeno líquido a una temperatura promedio de  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ , esta presurizado aproximadamente a unos 700 bares (10152.639 psi), con

esta presión se puede considerar una autonomía aproximada de hasta 400 kilómetros, sin embargo, debe evacuarse hidrógeno en una etapa de purga, para evitar que el calor ambiental provoque sobrecargas. Si se tuviera menor presión, lógicamente se obtendría una menor autonomía. Los cilindros contenedores se ubican en la parte trasera del vehículo, el problema sería volver a recargarlos nuevamente, además de que, para las estaciones de carga, se necesitan los compresores adecuados. Esta situación no es muy práctica debido a que aún no existen los sitios de servicio diseñados para este fin. La nueva tecnología está enfocada en el desarrollo futuro de un sistema de producción de hidrógeno de tamaño reducido, para poder adaptarlo a la autonomía del automóvil, constituido por un reformador (catalizador), un intercambiador de calor, un vaporizador, una unidad de oxidación selectiva de monóxido de carbono y catalizadores de cambio de alta y baja temperatura. Todo este conjunto se instala en el vehículo, y el hidrógeno se produciría a partir de un combustible líquido accesible como lo es la gasolina, en combinación con aire y agua. De esta manera, se tendría el abastecimiento en las estaciones de servicio convencionales.

Los vehículos con celdas de combustible que utilicen hidrógeno puro, emitirán por el escape únicamente vapor de agua. Los que desarrollen esta tecnología y utilicen el camino de reformar la gasolina para producir hidrógeno, arrojarán por el escape de gases de sus automóviles, vapor de agua y un poco de  $\text{CO}_2$ , a niveles muy por debajo de los que producen los motores de gasolina actuales.

El uso del hidrógeno representa la libertad de la dependencia de los combustibles de origen mineral (petróleo), sin duda es la alternativa más limpia y la mejor sustentada, sin embargo, como cualquier avance que promete cambiar completamente una tecnología que ha sido dominante por varias décadas, implica un mayor esfuerzo, muy costoso y un aporte técnico completo, pero que, si es bien emprendido y sostenido agresivamente, debe permitir una presencia significativa al mercado en un plazo estimado de 10 a 20 años. Hoy en día están dadas las condiciones para implementar y adaptar la tecnología del hidrógeno y las celdas de combustible, para que sean considerados en un futuro cercano, como los combustibles alternativos adecuados que aseguren la permanencia del hombre en el planeta, bajo condiciones ambientales convenientes.

## 2.6.4 Aplicación del combustible diesel en vehículos automotores

El uso del diesel como un combustible alternativo para su aplicación en motores de automóviles, representa en la actualidad, otra opción para el cuidado del medio ambiente. Los motores diesel tienen gran ventaja sobre los de gasolina. Hoy en día son los más económicos y los más limpios, debido a que en su aplicación, se reducen considerablemente las emisiones de agentes contaminantes. Ahora bien, a través de la tecnología que se aplica en el control electrónico de alta precisión, en la inyección directa a los cilindros con diesel de muy bajo contenido de azufre (50 partes por millón o menos), se logran abatir las emisiones de CO<sub>2</sub> considerablemente. El sistema de inyección común (Common Rail System; CRS) es un sistema de origen Francés, que reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno, partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos, permitiendo además, la reducción sustancial de ruido y consumo de combustible, que finalmente se traduce en una mejor eficiencia. La clave del funcionamiento de dicho sistema está en los inyectores, los cuales son fabricados basándose en una tecnología que utiliza equipos de corte láser para obtener una medida de 50 micras en la boquilla, cifra que permite asegurar en forma efectiva el cumplimiento de cualquier legislación sobre emisiones. Por ahora, las aplicaciones con mayor difusión son las utilizadas en algunos vehículos de la marca Ford, Volkswagen y Renault, entre los más destacados.

La agencia de protección al ambiente (Environmental Protection Agency, EPA) de los Estados Unidos de América, ha considerado que los motores a diesel representan una enorme oportunidad para combatir los altos niveles de contaminación y por otro lado, el calentamiento global. Por su parte, las investigaciones realizadas en el reconocido sistema automotriz (Delphi Automotive Systems, DAS) se ha demostrado que el nivel de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en motores nuevos a diesel es más alto que en los propios de gasolina. Sin embargo, a partir de 15 mil millas de recorrido se iguala y paulatinamente sigue disminuyendo, y a partir de las 20 mil millas permanece casi sin variación hasta el término de su vida útil. Caso contrario sucede con los motores a gasolina, el nivel de NO<sub>x</sub> se va incrementando a partir de que están nuevos, y posterior a las 15 mil millas de recorrido, quedan por arriba de los de diesel. Las emisiones de partículas que originan humo negro en el escape de los actuales automotores que usan diesel quedarían totalmente

controladas, a razón de un 60%, con las nuevas tecnologías en motores a diesel de última generación, ya que están equipados con un dispositivo formado en su interior por un filtro con catalizador de oxidación fabricado de cerámica. Sin embargo, la producción del combustible diesel en nuestro país, solo se realiza con contenidos de azufre de 500 ppm o mayores, cuando en las tecnologías antes mencionadas, se requiere mucho menos de esa cantidad. En México la labor de PEMEX como principal proveedor de estos combustibles, consiste en desarrollar la investigación para poder reducir estos niveles a 50 ppm o menos en cuanto a contenidos de azufre, aparte de garantizar la forma de tener disponibles estos combustibles en las estaciones de servicio para la recarga. Un ejemplo destacado es el diesel ultra bajo en azufre (Ultra Low Sulfur Diesel, ULSD), el cual se ha convertido en el energético de uso común entre la población de consumidores, en la mayor parte de los EU, con una aportación de emisiones promedio de tan sólo 15 partes por millón de azufre.

Al hablar de costos, el valor comercial de los vehículos con motores que utilizan diesel es superior a los de gasolina, sin embargo, estas variantes se equilibran, al considerar factores como la eficiencia, esto es un indicador de que en estos automóviles se obtiene una eficiencia del 35 a 45%. En cambio en los de gasolina, se tienen eficiencias del 25 al 30%. Por otro lado, la economía de combustible en los motores diesel de última generación es de aproximadamente la mitad o menos que en los de gasolina. Como ejemplo representativo de lo anterior están los motores desarrollados por la firma PSA (unión de Peugeot y Citroën) y Ford, denominado Hdi 1.4 y Duratorq TDCi 1.4 respectivamente, estos utilizan una tecnología multiplataforma de riel común (Common Rail Multiplatform; CRM), y soportan en sus motores una cilindrada de 1.398 cc. Las versiones contempladas para comercializarse van de los 62 a los 92 hp de potencia, ideales para montarse en vehículos compactos, surgiendo esta idea como una propuesta realizable que necesitan las grandes ciudades como lo es la ciudad de México, con mucha población y con soluciones en necesidades de transporte. En lo relativo a su rendimiento, estos vehículos tienen la capacidad de alcanzar un rango de consumo de combustible de 3.4 a 4.1 litros por cada 100 kilómetros, cifra que representa una muy buena opción en el consumo, considerando las estadísticas de los motores actuales. Por el lado de las emisiones, se tiene una cifra de CO<sub>2</sub> que van de los 90 a 110 gramos por kilómetro respectivamente, lo que representa una cantidad considerable.

## 2.6.5 Automóviles híbridos

Una medida para reducir las emisiones contaminantes en las grandes ciudades es incrementar el uso de vehículos híbridos. Como consecuencia de las novedades tecnológicas, es interesante el avance que han alcanzado las diferentes empresas armadoras en el desarrollo, el calificativo de híbrido, se aplica a la combinación de un motor eléctrico de corriente alterna y un pequeño motor de combustión interna, que trabajan en conjunto para lograr el impulso. Considerando que el futuro de la industria automotriz está ligado a la existencia de los combustibles fósiles, en la actualidad muchas compañías son dependientes de sus programas de investigación y desarrollo para elegir la mejor tecnología, que aporte la mejor respuesta a las necesidades ambientales. En este contexto, compañías Europeas como Land Rover, Grupo PSA (Peugeot Citroën), Volkswagen y Mercedes Benz, realizan las investigaciones para determinar cual combustible es el más adecuado para ser utilizado en los motores de combustión interna, que serán montados en sus sistemas híbridos. Sin duda la tecnología diesel para estos automóviles, sería mejor opción ante la gasolina. Por mencionar el ejemplo de un vehículo con tecnología de híbrido que fue comercializado en México, está el Civic de Honda, el cual, a mediados del año del 2009 alcanzaba un costo de 307 mil pesos en promedio, Esta fue la principal razón por la cual en un periodo que comprende de Enero del 2006 a Mayo del 2009, sólo se hayan vendido 1374 unidades.

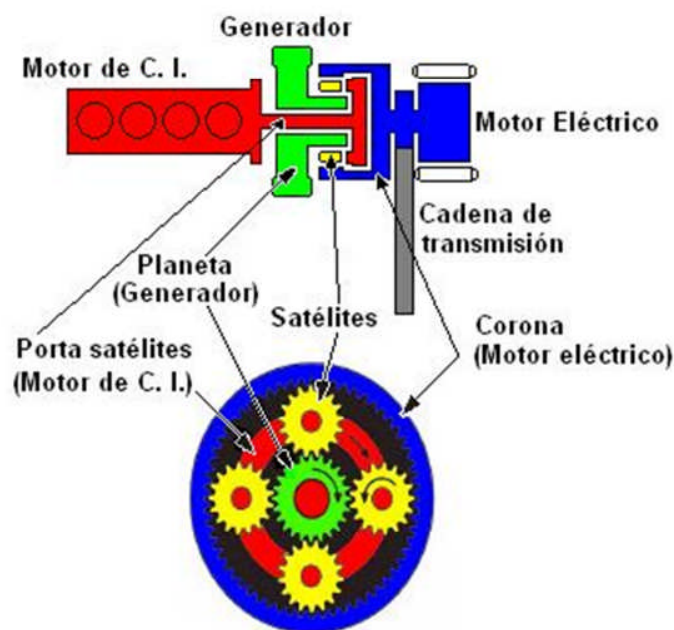
Todas las posibilidades que esta tecnología puede ofrecer, las podemos describir en un destacado ejemplo, aunque no es el único, si es el más representativo en su clase, por ser uno de los primeros en la tecnología de híbridos, y uno de los primeros construido en serie, el Prius de Toyota, el cual desde su lanzamiento en 1997, ha sido comercializado en Japón y ha demostrado ser una buena opción para el aspecto ambiental. En Europa y Estados Unidos se comercializó a partir del año 2000. En México, según voceros de la marca, se consideraba para las ventas a partir del año 2004, sin embargo, lo costoso de un vehículo de esta categoría no aportaba alentadoras expectativas de ventas. Nuevamente, para el periodo de finales del 2009 y principios del 2010, según estimaciones de la marca, se venderían 400 mil unidades en más de 40 países, incluyendo México, en la tercera generación de este vehículo. Especialistas en materia ambiental recomiendan incentivar su utilización, invitando a los gobiernos a modificar el pago de impuestos



vehiculares y cobrarlos en función de las emisiones contaminantes, por otro lado, cambiar el parque vehicular actual por automóviles híbridos, representaría alcanzar el logro en la reducción de partículas contaminantes en una cifra mayor al 40 por ciento. Los vehículos automotores hoy en día representan la mayor contribución en los contaminantes del aire, pero para solucionarlo se tendría que hacer acciones coordinadas entre gobierno e industria. Sin embargo, México está muy atrasado para formar parte de los países que consumen regularmente unidades ecológicas, porque a parte de los costos elevados que garantizarían poca demanda, aún existen de por medio muchos intereses en los combustibles de origen mineral que promueven la situaciones en contra.

Lo importante de las características técnicas de este tipo de vehículos, son las soportadas por el sistema híbrido con el que cuentan. Así, para la marca pionera en este tipo de tecnología, es el Sistema Híbrido de Toyota (Toyota Hybrid System; THS), el cual, con el tiempo evoluciono a Sinergia Híbrida (Hybrid Synergy Drive; *HSD*). Anteriormente el sistema funcionaba con un eficiente motor de gasolina de 1.5 litros de desplazamiento, con una potencia de 70 hp a 4,500 rpm y un motor eléctrico de corriente alterna de alto par que genera 44 HP, cuenta con una batería de Níquel Hidruro de Metal (NiMH) de 273 Voltios, implementados en el vehículo llamado Prius. Las últimas versiones están equipadas por un motor de combustión de 1.8 litros y una potencia de hasta 134 hp. Otra característica relevante en este tipo de tecnología, es la forma en como se aprovecha la energía que se obtiene al aplicar el freno para recargar su batería, técnicamente se le conoce como frenado regenerativo. La energía que se obtiene de este proceso es utilizada durante el arranque y la aceleración. El sistema tiene adaptado un inversor de corriente directa a corriente alterna con un transformador integrado de 12 VCD, para los accesorios del vehículo cuenta además con un generador eléctrico como complemento. En el escape de cuenta con un convertidor catalítico de tres vías, para reducir aún más las emisiones contaminantes, entre otras características. El Prius puede recorrer distancias a velocidades de hasta 170km/h y aceleraciones de 0 a 100 kilómetros en aproximadamente 13.4 segundos. La autonomía máxima dependiendo de las condiciones de manejo es de alrededor de 900 Kilómetros. El grupo de baterías de Níquel Hidruro de Metal se ha diseñado para que dure el mismo tiempo que la vida útil del vehículo. Pero la parte más importante de este modelo se observa en el consumo de gasolina, la que se reduce en aproximadamente a un 50% menos que en un automóvil convencional similar con un motor

a gasolina y transmisión automática. En lo que se refiere a las emisiones de gases contaminantes, genera la mitad de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), se reducen por debajo de los niveles de las normas europeas y estadounidenses. Así, las emisiones de este vehículo, están clasificadas como súper ultra bajas, calificativo que lo ubica en la categoría que esta inmediatamente abajo de los vehículos 100% eléctricos. En el esquema de la figura 2.12 podemos observar la configuración un sistema híbrido para vehículos de transporte.



2.12 Esquema de un sistema híbrido.

La tecnología de los vehículos híbridos, según las expectativas de los fabricantes, servirá de puente para utilizar y pasar a otras tecnologías como: las celdas de hidrógeno los vehículos eléctricos, el uso de combustibles alternativos o reformulados. Por lo pronto, es necesario que sean fomentados los aspectos de gestión con el aparato gubernamental, para lograr la obtención de incentivos fiscales y económicos que promuevan programas para que el costo de este tipo de vehículos en México y en otros países pueda ser menor.

## CAPITULO 3

### LA CONTAMINACIÓN: COMO AFECTA EL ENTORNO

#### 3.1 Antecedentes

La atmósfera recibe la denominación de mezcla de gases y pequeñas partículas líquidas y sólidas que envuelven la tierra, se compone de varias capas principales y en forma general se pueden describir como sigue:

1. Troposfera: Es la capa más cercana a la superficie terrestre, allí se desarrolla la vida y ocurren la mayoría de los fenómenos meteorológicos, tiene aproximadamente 8 kilómetros de espesor en los polos y alrededor de 16, en el Ecuador, en esta capa la temperatura disminuye con la altura, alrededor de 6.5°C por cada km. La troposfera contiene alrededor de 75% de la masa gaseosa de la atmósfera y casi todo el vapor de agua.
2. Estratosfera: Es la capa que se encuentra entre los 12 y 50 kilómetros de altura, los gases se encuentran separados formando capas o estratos, de acuerdo a su peso. Aquí, se encuentra la capa de ozono, la que protege a la Tierra del exceso de rayos ultravioletas provenientes del Sol. Las cantidades de oxígeno y anhídrido carbónico son casi nulas en esta capa y aumenta la proporción de hidrógeno. Actúa como regulador de la temperatura, en su parte inferior esta cercana a los -60°C, aumentando con la altura hasta los 10 ó 17°C en el límite con la estratopausa (que se ubica entre la estratosfera y la mesosfera).
3. Mesosfera: Es la capa donde la temperatura vuelve a disminuir y desciende hasta los -90°C conforme aumenta su altitud, se extiende desde la estratopausa hasta una altura de 80 kilómetros, donde la temperatura vuelve a descender entre -70 y -80°C.
4. Ionosfera: Es la capa que se encuentra entre los 90 y los 800 kilómetros de altura, en ella existen capas formadas por átomos cargados eléctricamente, llamados iones. Al ser una capa conductora de electricidad, en ella se permite la transmisión

de señales de radio y televisión, por su propiedad de reflejar las ondas. El gas predominante es el hidrógeno, allí se produce la destrucción de los meteoritos que llegan a la Tierra, y su temperatura aumenta desde los -73 hasta llegar a 1500°C.

5. Exosfera: Es la capa externa de la Tierra que se encuentra por encima de los 800 kilómetros de altura, está compuesta principalmente por hidrógeno y helio, en esta capa las partículas van disminuyendo hasta desaparecer, debido a la baja atracción gravitatoria, algunas pueden llegar a escapar al espacio interplanetario. Su temperatura diurna alcanza los 2,500°C y la nocturna se aproxima a -273°C, correspondientes al cero absoluto.

El espesor de la capa que cubre la atmósfera terrestre esta relativamente indefinida, pero mide aproximadamente 10,000 kilómetros. Más de la mitad de la masa atmosférica se concentra en los 6 primeros kilómetros, y el 75% en los primeros 11 kilómetros de altura desde la superficie planetaria, tiene un peso de  $5.1 \times 10^{18}$  kg. Esta capa brinda protección a la vida de la Tierra, absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta, y reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, actuando como escudo protector contra los meteoritos, asteroides y demás cuerpos celestes.

Los principales componentes de la atmósfera son el nitrógeno y el oxígeno, en un porcentaje casi constante del 78.1% y 20.94% respectivamente, sin embargo, esta cifra es aproximada, ya que existen otros componentes en un porcentaje considerablemente menor. La relación de porcentajes de la tabla 3.1, representa un análisis realizado a la composición del aire seco y puro a nivel del mar, considerando que las concentraciones pueden variar de acuerdo a la humedad, distribución geográfica y época del año.

Un aspecto muy importante que preocupa a la humanidad con relación a las condiciones en la atmósfera, es la contaminación del aire. En los países desarrollados del primer mundo, existe una conciencia ecológica que los ha llevado a investigaciones cada vez más a fondo, sobre los factores que causan la degradación del ambiente. México no

es la excepción y aunque esta rezagado, resulta claro para las autoridades, la necesidad de poner Interés en los severos problemas de contaminación ambiental y poner manos a la obra.

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (%)
N <sub>2</sub>	79.085
O <sub>2</sub>	20.946
CO <sub>2</sub>	320.00 x 10 <sup>-4</sup>
CO	0.10 x 10 <sup>-4</sup>
NO	0.50 x 10 <sup>-4</sup>
NO <sub>2</sub>	0.02 x 10 <sup>-4</sup>
SO <sub>2</sub>	1.0 x 10 <sup>-4</sup>
He	5.24 x 10 <sup>-4</sup>
Ne	18.18 x 10 <sup>-4</sup>
Ar	9 340.00 x 10 <sup>-4</sup>
Kr	1.14 x 10 <sup>-4</sup>
Xe	0.087 x 10 <sup>-4</sup>
NH <sub>3</sub>	0 a trazas
H <sub>2</sub>	0.50 x 10 <sup>-4</sup>
CH <sub>4</sub>	2.00 x 10 <sup>-4</sup>
O <sub>3</sub>	0.02 a 0.07 x 10 <sup>-4</sup>

Tabla 3.1 Composición de la atmósfera.

Es complicado encontrar una definición para la contaminación del aire, debido a que es un factor cambiante en el tiempo y el espacio, pero a continuación se verán algunas definiciones de diferentes organizaciones en el mundo, que abarcan diferentes aspectos y puntos de vista:

1. Es la presencia de sustancias no deseables en la atmósfera, en concentraciones tiempo y circunstancias tales que, pueden afectar significativamente al confort, salud y bienestar de las personas, o al uso y disfrute sus propiedades. (American Society for Testing Material).
2. Existe contaminación del aire cuando la presencia de una sustancia extraña o una variación importante en la proporción habitual es capaz de provocar un efecto perjudicial o una molestia, teniendo en cuenta los conocimientos científicos del momento. (Consejo Europeo).

3. Es la presencia de impurezas en el aire que pueden provocar un perjuicio notable en la salud, la comodidad o en los bienes de las personas. Esta contaminación puede formarse por gases, vapores, partículas sólidas y/o líquidas e incluso radiaciones. (norma francesa AFNOR NFX43-001).
4. Se entiende por contaminación, la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes (materia o energía), o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico. (ley federal de equilibrio ecológico y protección al ambiente, México 1988).

Pero en general, los principales contaminantes del aire son: el ozono, el bióxido de azufre, el bióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono, las partículas suspendidas totales (PST), las partículas de fracción respirable y el plomo. En México, los contaminantes del aire que frecuentemente sobrepasan los estándares de calidad ambiental, son el ozono y las partículas suspendidas totales, y son monitoreados por la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM). Se han determinado diferentes formas de clasificaciones, considerando el estado físico de los contaminantes, se obtiene un tipo de categorización como se observa en el cuadro de la figura 3.1.

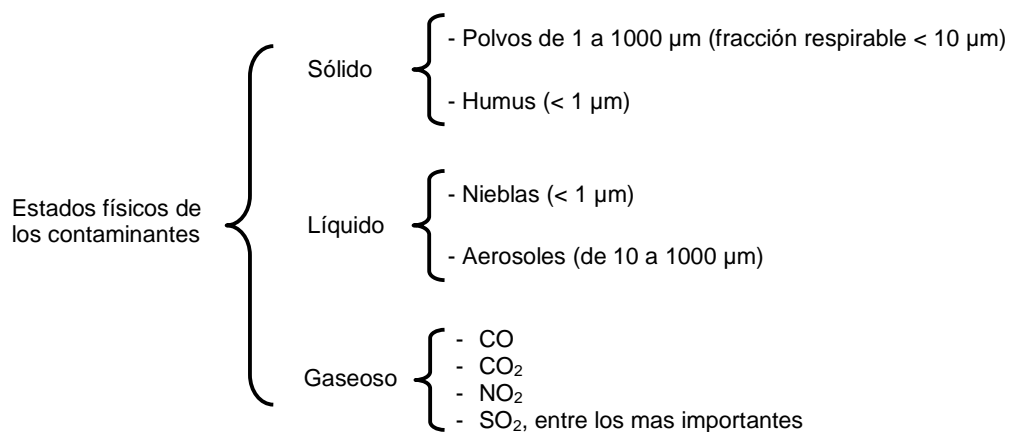


Figura 3.1 Clasificación de los contaminantes según su estado físico.

Los contaminantes también se pueden clasificar de acuerdo a su origen, como sigue, en naturales y antropogénicos. Los de origen natural se deben a fenómenos en los cuales

no interviene la mano del hombre, de esta forma, se pueden mencionar algunos ejemplos: la erosión del suelo, las erupciones, los incendios forestales ocasionados por el calor excesivo, la diseminación del polen por el viento, etcétera. Los antropogénicos en cambio, son todos aquellos que se derivan de las actividades del hombre.

Otro tipo de clasificación de los contaminantes se define dentro de los que son llamados como primarios y secundarios, los cuales, se caracterizan de acuerdo a la forma en como son arrojados a la atmósfera, o bien, se formen en ella debido a la presencia de diferentes compuestos junto con la acción de la luz solar.

Por último, se menciona una clasificación que se limita solamente en agrupar los principales contaminantes en familias como sigue:

1. Compuestos inorgánicos del carbono
2. Compuestos derivados del azufre
3. Hidrocarburos
4. Compuestos del nitrógeno
5. Oxidantes fotoquímicos
6. Metales
7. Partículas

### **3.2 Las fuentes de contaminación**

Las fuentes de contaminación ambiental en un sentido general se dividen en dos categorías, de acuerdo a la siguiente consideración, si se encuentran en movimiento se conocen como fuentes móviles, en caso contrario, si se encuentran estáticas, son consideradas como fuentes fijas. A manera de ejemplo, se pueden mencionar, un automóvil y una fábrica respectivamente.

Las fuentes contaminantes emiten diferentes compuestos al aire, de tal forma que para hacer referencia a ellos, se puede realizar una clasificación de acuerdo a la familia química correspondiente.

### 3.2.1 Compuestos inorgánicos del carbono

Dentro de los compuestos inorgánicos del carbono se encuentra el monóxido de carbono y el bióxido de carbono, los cuales se definen a continuación:

1. En primer término se encuentra el monóxido de carbono (CO), el cual es un componente que se manifiesta como un gas incoloro, inodoro, insípido y sobre todo tóxico. Es más ligero que el aire y tiene muy alta difusividad, su formación se realiza durante las combustiones deficientes, motivo por el cual se encuentra en concentraciones muy altas en los gases obtenidos del producto de la combustión del carbón, el gas natural o el petróleo. En el cuadro de la figura 2.2 se muestran las fuentes que generan este producto contaminante.

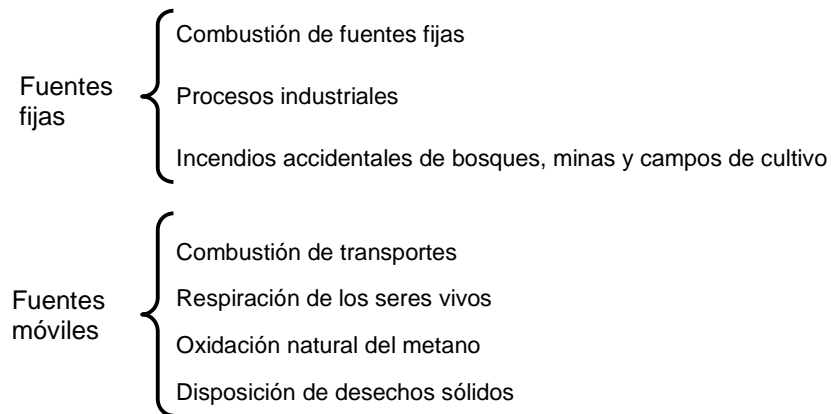


Figura 3.2 Fuentes que generan monóxido de carbono.

2. El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Por sus características es utilizado en extinguidores y bebidas gaseosas, entre otras aplicaciones específicas, es más denso que el aire y su forma sólida se conoce como hielo seco. Es uno de los productos de la combustión de la materia orgánica originada por el proceso de respiración, por un lado, y a las combustiones artificiales completas por otro lado. Forma parte de un elemento muy importante en el proceso de fotosíntesis de las plantas para la obtención de oxígeno.



### 3.2.2 Compuestos derivados del azufre

Entre los compuestos derivados del Azufre se encuentra el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que se describen a continuación:

1. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) se forma por la oxidación de combustibles fósiles que contienen azufre, su estado físico tiene una consistencia gaseosa de fácil condensación, incoloro, de olor picante e irritante y más pesado que el aire. En la ciudad de México el dióxido de azufre lo emite principalmente el sector industrial, el cual presenta concentración máxima alrededor de las 9:00 a.m. y disminuye a lo largo del día
2. El trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), se presenta en la atmósfera en estado líquido o sólido es incoloro y de sabor amargo, aún más intenso que el del dióxido de azufre. Tiene elevada afinidad con el agua, de tal forma que cuando se combina con la atmósfera forma rápidamente ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Tanto el dióxido como el trióxido de azufre intervienen en la formación de la lluvia ácida
3. El ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) también forma parte de los derivados del azufre, el cual es un gas tóxico, es incoloro y de olor desagradable, comúnmente descrito como el olor que despiden un huevo en proceso de putrefacción. Es un contaminante del aire que proviene de la descomposición natural de plantas y algunos procesos industriales de metalurgias.

### 3.2.3 Hidrocarburos

Es la familia de compuestos químicos cuyas moléculas están formadas de carbono e hidrógeno, entre los miembros de ésta familia se encuentran el petróleo y el gas natural. Las principales fuentes de emisión de estos productos son las industrias del petróleo, del gas natural, así como los vehículos automotores, los cuales, en su funcionamiento logran arrojar una cantidad considerable, debido a la deficiente oxidación de los combustibles, pero también se pueden emitir parte de ellos, por efectos de evaporación.

La existencia de estos contaminantes en la atmósfera, se debe a la emisión de hidrocarburos no quemados, a la formación de productos durante las combustiones, y por otro lado, a la evaporación de compuestos orgánicos volátiles, emitidos en diversas actividades industriales como lo es: la fabricación, almacenamiento y aplicación de solventes y pinturas.

En la ciudad de México se observa un nivel máximo matutino de hidrocarburos aplicable a las emisiones vehiculares, y un mínimo alrededor de las 14:00 horas, momento de intensa actividad fotoquímica proporcionada por la luz solar, en la que, la mayor parte de los hidrocarburos reaccionan para formar otros compuestos. Por la tarde, el nivel de hidrocarburos vuelve a elevarse, debido al incremento de tránsito nuevamente del final del día laboral.

### **3.2.4 Compuestos del nitrógeno**

Los compuestos del nitrógeno se forman por el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), los nitratos de perácido, el amoníaco (NH<sub>3</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>), los cuales se describen de la siguiente manera:

1. El óxido nítrico (NO), es un gas incoloro, inerte en temperatura normal pero oxidante en temperaturas altas. Se produce en combustiones realizadas a más de 1,100°C, por oxidación del nitrógeno atmosférico. También se obtiene en los procesos de fabricación de los ácidos nítrico y sulfúrico, así como en la nitración industrial. En tal caso, se estima que un 10% del óxido nítrico contenido en la atmósfera, es originado en procesos industriales, en tanto que el 90% proviene de la combustión de los derivados del petróleo, del carbón y del gas natural.
2. El óxido nitroso o dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), es uno de los compuestos de la familia del nitrógeno, se manifiesta como un gas de color pardo rojizo con olor desagradable, el cual, a temperatura ambiente está en equilibrio con el óxido nítrico. Es el principal causante del color característico del smog fotoquímico, su olor se detecta a partir de los 240 µg/m<sup>3</sup>. Se origina en las combustiones a altas

temperaturas, tanto en las industrias como en los vehículos, incluso durante las tormentas eléctricas.

3. Los nitratos de peracilo, son compuestos orgánicos muy complejos que se encuentran en el smog fotoquímico, en su formación intervienen hidrocarburos parcialmente oxidados, oxígeno, ozono y óxidos de nitrógeno. A estos elementos se les denomina, oxidantes fotoquímicos, de tal forma que tienen un alto poder oxidante, se forman en general, en la atmósfera por medio de reacciones químicas en las que intervienen los fotones.
4. El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), es un gas incoloro de olor característico que actúa como base y solvente. Su origen es de tipo industrial, principalmente por liberación accidental en fábricas de abonos de ácido nítrico y de productos orgánicos.
5. El ozono ( $\text{O}_3$ ), es una forma distinta del oxígeno, también es un elemento que juega un papel muy importante en la atmósfera, es un gas azulado de olor picante alótropo del oxígeno, un poco denso y de fuerte poder oxidante. Se ubica en las inmediaciones superiores de la atmósfera, bajo un intenso bombardeo de luz ultravioleta proveniente del sol. Las moléculas de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) se dividen en dos átomos separados (O en vez de  $\text{O}_2$ , en términos químicos), algunos de estos átomos reaccionan con el oxígeno molecular para formar el ozono ( $\text{O}_3$ ). La cantidad natural de ozono en la estratosfera es muy reducida (menos del 10 ppm), y a condiciones del nivel del mar, su grosor sería similar al cristal de una ventana, sin embargo, ésta capa sería suficiente para impedir que la mayor parte de la dañina radiación ultravioleta del sol, llegue a la superficie de la tierra. El ozono se produce de forma natural en las tormentas eléctricas, por el paso de descargas a través de la atmósfera, su lugar esta ubicado en la *estratosfera*, aproximadamente entre los 16 y 40 kilómetros y recibe el nombre de capa de ozono.

Lo que se define como ozono bueno y malo, químicamente se refiere a lo mismo, la diferencia radica en que la formación de ozono en la troposfera, forma el contaminante más persistente y el principal componente del smog fotoquímico. En la emisión de gases de automotores, es un componente secundario que no se produce directamente de la

combustión de la gasolina, sino que algunos gases de los expulsados se encargan de generarlo, es decir, requiere de la presencia de óxidos de nitrógeno, luz solar y oxígeno.

### **3.2.5 Contaminantes con partículas metálicas**

Entre los principales contaminantes de tipo metálico en el aire destaca el plomo (Pb), el cual es un elemento aproximadamente 11 veces más denso que el agua y se obtiene del sulfuro de plomo (PbS), que es la forma más abundante de éste elemento en la naturaleza. Este elemento se volvió un problema ambiental por dos motivos principalmente, por su aplicación en las pinturas y por su adición en las gasolinas. En el primer caso, se emplea para la preparación de ciertos pigmentos. En el segundo caso, donde está involucrado el aire ambiental, el plomo se encuentra asociado con las partículas en forma de plomo elemental, es decir, óxido de plomo (PbO, PbO<sub>2</sub>, Pb<sub>x</sub>O), sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>), sulfuro de plomo (PbS), alquilo de plomo [Pb (CH<sub>3</sub>)] y haluros de plomo. Ahora bien, en las poblaciones urbanas, el aire contiene una concentración de plomo generalmente de 0.5 µg/m<sup>3</sup>, en tanto que en ciudades muy contaminadas llega a exceder los 20 µg/m<sup>3</sup>. En México no existe una regulación, pero internacionalmente se recomienda no exceder 1.5 µg/m<sup>3</sup>, promediando la lectura para que sea aplicable en un lapso de tres meses.

En la ciudad de México, debido a las altas concentraciones que se tenían de plomo en el aire, a partir del segundo semestre del año de 1986, se decidió disminuir el contenido del tetra etilo de plomo en las gasolinas. De esta forma y a través de los años, se ha venido reduciendo paulatinamente el contenido de plomo. Para el año de 1996 los valores promedio en el ambiente, alcanzaban medidas de entre 0.35 y 0.7 µg/m<sup>3</sup> (De acuerdo a la comisión metropolitana para la prevención y control de la contaminación, DDF 1998), estos valores estaban por debajo de las normas internacionales, sin embargo, a consecuencia de la disminución del plomo en las gasolinas, se observó un incremento de otras sustancias en el ambiente en un grado considerable, como los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, rebasando las normas de calidad del aire. En consecuencia se tuvieron que aplicar otras opciones de control, como el desarrollo de gasolinas oxigenadas, que contuvieron el comportamiento de ese efecto.

### 3.2.6 Partículas y cenizas

Las Partículas y Cenizas son todas aquellas materias con medidas entre  $0.0002 \mu\text{m}$  y  $500 \mu\text{m}$ . En conjunto reciben el nombre de lo que ya se ha mencionado como partículas suspendidas totales (PST). Las fuentes de emisión pueden ser naturales o producidas por actividades del hombre, en la producción de partículas de orden natural, se encuentra la erosión, el polen de las plantas, los pequeños organismos, etc. Para las de orden artificial se encuentran, entre otras, la combustión, los incendios y todas las actividades relacionadas con la industria.

Las PST suelen estar constituidas de un gran número de sustancias; las de origen natural que representa aproximadamente el 65% del peso, se compone de los suelos y de manera ocasional, de elementos biológicos. En cambio, las partículas provenientes de la combustión y de los diferentes procesos industriales, son menores en masa, pero en general tienen efectos tóxicos de mayor significado.

La principal característica física de algunas partículas es que tienen un tamaño superior a los  $50 \mu\text{m}$ , es que se pueden observar a simple vista, mientras que para las inferiores a  $0.005 \mu\text{m}$ , se requiere de un microscopio electrónico y las que son inferiores a  $1 \mu\text{m}$ , tienen la particularidad de que no sedimentan rápidamente. Por otro lado, los productos gaseosos de la industria metalúrgica, las industrias procesadoras del cemento, la ceniza y la niebla de ácido sulfúrico, tienen tamaños entre  $0.01$  y  $100 \mu\text{m}$ . En tanto que el tamaño promedio de las partículas en la ciudad de México es de  $0.49 \mu\text{m}$ .

Las partículas que se encuentran en la atmósfera pueden estar formadas de acuerdo a su origen, por los siguientes componentes:

1. Los polvos son partículas sólidas pequeñas de  $1$  a  $1000 \mu\text{m}$ , que se forman por el rompimiento de otras más grandes en procesos como molienda, cribado o explosiones. Generalmente son propias de la industria donde se maneja carbón cemento o granos, su desplazamiento no se realiza por difusión, sino por medio de corrientes de aire mientras se encuentran en suspensión.

2. El humo es un elemento que esta formado de partículas sólidas muy finas, producto de la combustión incompleta de sólidos orgánicos como carbón, madera y tabaco. Tienen medidas que se ubican entre 0.5 y 1  $\mu\text{m}$ .
3. Los fumos son partículas sólidas finas, generalmente son productos formados de óxidos metálicos de zinc y plomo, se forman por la condensación de los vapores sólidos en procesos como sublimación, destilación, calcinación y fundición. Tienen medidas de entre 0.03 y 0.3  $\mu\text{m}$ .
4. Las cenizas voladoras son partículas no combustibles muy finas que se tienen de la combustión del carbón, tienen características similares a los tipos anteriores, por lo que su tamaño esta entre 1 y 1000  $\mu\text{m}$  como el polvo, son productos de la combustión, como el humo, pero al igual que los fumos, son sustancias inorgánicas de metales. Se componen principalmente de óxidos de silicio, aluminio, fierro y calcio.
5. La niebla se caracteriza por pequeñas gotas que se forman por condensación del vapor, dispersión de un líquido o como producto de una reacción química. Tiene un tamaño por lo general, inferior a 10  $\mu\text{m}$ .
6. El aerosol se forma por pequeñas gotas que se obtienen por atomización de líquidos, como es el caso de los herbicidas y pesticidas. Tiene un tamaño entre 10 y 1000  $\mu\text{m}$ .

Por otro lado, las propiedades químicas de estas partículas son muy variadas. Las inorgánicas contienen nitratos, sulfatos, fierro, plomo, manganeso, zinc y vanadio. En tanto que las orgánicas se componen de fenoles, ácidos orgánicos, alcoholes, etc.

Mientras que las características biológicas de las partículas encontradas en la atmósfera, están formadas por protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas, polen y algas. Sin embargo, esta situación tiene la ventaja de que tales microorganismos logran

sobrevivir poco tiempo en la atmósfera, debido a la falta de nutrientes y a la acción desinfectante de los rayos ultravioleta provenientes del sol.

### **3.3 Impacto ambiental**

El término impacto se aplica en este caso, a la alteración que provoca una actividad humana en su entorno. El impacto ambiental se manifiesta debido a la acción sucesiva de tres fases.

1. La modificación de alguno de los factores ambientales o del conjunto de estos, del cual esta formado todo el sistema ambiental.
2. La modificación en el nivel del factor que ya ha sido alterado o del conjunto de factores que esta formado por todo el sistema ambiental.
3. La interpretación o significado ambiental de estas modificaciones, en términos de calidad de vida humana, es decir; para la salud y bienestar humano.

El impacto ambiental que puede provocar la contaminación desde el punto de vista de la salud humana y del entorno, afecta también a los demás seres vivos, ya sean plantas o animales que cohabitan con nosotros en el planeta.

La contaminación produce efectos sobre la salud humana, esto depende de las propiedades físicas y químicas, de la dosis que se inhala y del tiempo de exposición. El ozono y las partículas son los contaminantes que tienen una mayor importancia, debido a que provocan mayores efectos a la salud, con la cantidad de sus concentraciones en el aire y la frecuencia en la que exceden las normas de protección a la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Por ejemplo, en la década de los noventas, en la ciudad de México, alrededor del 88% de los días de esos años, se rebasó la norma de protección a la salud. Actualmente en la época seca-caliente, que abarca los meses de Marzo a Mayo, presenta condiciones de mayor riesgo para la salud de la población, debido a que, el mayor porcentaje de excedencias a la norma de ozono y los niveles de partículas

mayores a 10 micrómetros (PM10), se elevan considerablemente (los niveles de ozono alcanzan concentraciones superiores al doble de los límites establecidos).

El nivel de riesgo individual está determinado por diversos factores, en los que se incluyen, la predisposición genética, la edad, el estado nutricional, la presencia y severidad de condiciones cardíacas y respiratorias, el uso de medicamentos, la actividad y el lugar de trabajo. En general, la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes está constituida por los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años), las personas con enfermedades cardíacas, respiratorias y los asmáticos.

La exposición a los contaminantes se puede clasificar en aguda y crónica, de acuerdo al período exhibición y a la concentración de contaminantes. La de tipo aguda, es estar en contacto con elevados niveles de contaminantes en un periodo de tiempo corto, lo cual puede ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano. De tal forma que, los efectos a corto plazo sólo se dan en casos extremos de exposición, como son, los accidentes industriales y las situaciones de contaminación extremas, como las que son originadas por las inversiones térmicas.

La exposición crónica, se define como los periodos de exhibición de largo plazo a concentraciones relativamente bajas de contaminantes. En estas circunstancias, los contaminantes van ocasionando daños a la salud humana poco a poco, como respuesta a factores acumulados, interactuantes y recurrentes. Los efectos de largo plazo que provoca la contaminación sobre la salud humana, no suelen ser tan marcados como los de corto plazo, los cuales, se presentan generalmente en áreas donde la urbanización y la industria existen en un alto grado de dominio. Generalmente los efectos resultan en enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas, alteraciones en las funciones de los pulmones; como la ventilación y el transporte de oxígeno, irritación de ojos, garganta y nariz, así como el agravamiento de enfermedades como el asma, y en el peor de los casos, la muerte.

Numerosas investigaciones describen un incremento en la mortalidad total (no se incluyen las muertes accidentales), asociadas con la exposición a partículas, ozono y



sulfatos, esto ocurre principalmente en individuos con padecimientos cardiovasculares y/o respiratorios. Esta manifestación ocurre en los grupos vulnerables, entre uno y cinco días después de una exposición peligrosa. La proporción de individuos de una población que padece enfermedades de este tipo en particular, se conoce como “morbilidad”, y también está asociada con la exhibición aguda con los contaminantes. Las enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior, bronquitis, neumonía y enfermedades pulmonares obstructivas, son un ejemplo de la morbilidad asociada a la exposición aguda. Los efectos a la salud debidos a una exposición crónica con contaminantes atmosféricos se conocen en menos cantidad, sin embargo, son similares a los reportados para la de tipo aguda.

Existen reportes históricos que indican un incremento en la mortalidad principalmente en individuos de la tercera edad, como resultado del contacto con la contaminación, manifestándose en padecimientos respiratorios y cardiovasculares. También se manifiesta un aumento en el padecimiento de enfermedades respiratorias (como la bronquitis), la cual se reporta como una consecuencia de la exposición crónica.

El desarrollo en la investigación científica al respecto, ha avanzado significativamente durante las últimas décadas, en el aspecto de la identificación y medición de los efectos de la contaminación en el hombre, no obstante, la mayor parte de los estudios realizados consisten en el análisis de casos y situaciones de exposición aguda, por lo que existe un rezago en la evaluación para los efectos de la contaminación que involucran las exhibiciones de largo plazo, y por otro lado, los estudios generales de validez para la totalidad de la ZMVM, así como los relacionados a la medición de los costos asociados.

### **3.3.1 Efecto de los principales contaminantes**

De acuerdo a lo que se ha visto en los temas anteriores, se puede determinar una lista de los principales contaminantes, los de mayor impacto y efecto sobre el medio, describiendo también el grado de desorganización que provoca en el sistema ambiental y la manera en como afecta a los seres que lo habitan.

1. Los efectos que provoca el monóxido de carbono (CO), el cual, entre otros síntomas, se le asocia la disminución en la capacidad de concentración y del rendimiento

intelectual, esto tiene una explicación: porque el CO compite con el oxígeno ( $O_2$ ) por los sitios activos de la hemoglobina (pigmento de los glóbulos rojos) en la sangre. Una vez adherido el CO, se retiene a razón de 200 veces más fuerte que el  $O_2$ , de esta forma, el poco oxígeno que llega a retenerse en el torrente sanguíneo, es más difícil de desprenderse en presencia del CO, cuando este es requerido, por lo cual, se limita aún más la oxigenación celular.

2. El bióxido de carbono ( $CO_2$ ). El cual, a pesar de que a través de la fotosíntesis y otros procesos de absorción naturales, como la disolución en el océano, no puede eliminarse el exceso de este contaminante, en la actualidad se ha rebasado la capacidad de su asimilación en el planeta de forma natural. Su incremento paulatino en la atmósfera ha contribuido a la formación del fenómeno conocido como efecto invernadero, el cual se define como el aumento de la temperatura debido a su presencia excesiva, y se manifiesta por medio de la formación de una barrera física que impide al aire caliente subir y enfriarse. El  $CO_2$  y el agua retienen las radiaciones infrarrojas que se producen de la luz solar en la superficie de la tierra, como un efecto de reirradiación, teniendo como consecuencia la elevación de la temperatura ambiente. Se calcula que un aumento del 18% de  $CO_2$  en la atmósfera, provocaría un aumento global del  $0.5^\circ C$  en la temperatura promedio del planeta. Si esta tendencia continúa, con el exceso de  $CO_2$  en el planeta, lo que se está originando, es el derretimiento de las zonas de hielo en los polos, que a su vez ocasionaría el incremento de las mareas en todas las costas del planeta y la desaparición de gran parte de la franja terrestre sería inminente, incluyendo las pequeñas islas que no soporten el incremento en el nivel del agua.

3. El dióxido de azufre ( $SO_2$ ), el cual provoca en el ser humano, irritación del tracto respiratorio, agrava la bronquitis, disminuye la actividad de los cilios y favorece el enfisema pulmonar. Una atmósfera contaminada con partículas suspendidas y dióxido de azufre, es particularmente perjudicial, debido a que paraliza los cilios epiteliales del tracto respiratorio, así mismo, las partículas penetran hasta los pulmones donde se sedimentan. Esas partículas sólidas absorbidas, favorecen aún más, la presencia y concentración del dióxido de azufre, aumentando el tiempo de contacto directo con los delicados tejidos pulmonares.

Se ha observado a través de investigaciones que el incremento en los niveles de partículas en suspensión, así como de óxidos de azufre en un excedente por arriba de los  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (equivalente a 0.19 ppm de  $\text{SO}_2$ ) durante 24 horas, puede provocar una situación de mortalidad en la población, generalmente en los grupos más vulnerables, como las personas con problemas cardiacos y pulmonares.

4. El trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), el cual, entre las consecuencias que origina la presencia de este contaminante en el ambiente, está la formación de lo que se conoce como lluvia ácida en conjunto con el bióxido de azufre.

5. El ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que por sus características, provoca consecuencias a la salud humana, como la pérdida del olfato, irritación de las vías respiratorias, dolor de cabeza, náuseas, daños al sistema nervioso central y en casos extremos, la muerte.

6. Los hidrocarburos (HC), los cuales tienen efectos que se pueden diferenciar de manera general por grupos. El primero es el llamado de tipo parafínico, en el cual, sus elementos se consideran asfixiantes por el efecto del desplazamiento del oxígeno. Los del segundo grupo reciben el nombre de alquenos u oleofínicos, que se caracterizan por ser muy reactivos en la atmósfera, al igual que los alquinos, aunque estos últimos, no es muy común encontrarlos en el aire. Por último, se encuentran los denominados cíclicos, en especial los que están en la categoría de los aromáticos, que presentan diferentes propiedades tóxicas y anestésicas. Cabe mencionar también que dentro de éste grupo se ubica a los policíclicos, como el benzoantraceno, benzopireno y el benzoperileno conocidos por su poder carcinógeno.

7. El óxido nítrico (NO), el cual, en las concentraciones que normalmente existen en el ambiente como parte del smog, no ocasiona daños a la salud humana. Las alteraciones y daños que provocan, son de manera indirecta ya que se transforman en dióxido de nitrógeno por la acción de la luz solar.

8. El óxido nitroso o dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), que entre sus efectos provoca irritación pulmonar, ataca al sistema cardiovascular y disminuye la visibilidad. En las

plantas provoca inhibición en el crecimiento, provoca la caída prematura de las hojas y el efecto de clorosis, que se refiere a la deficiencia de hierro en estas.

9. Los nitratos de peracilo, que provocan en el ser humano contracción en las vías respiratorias, tos, dolores de cabeza, endurecimiento y dolor del tórax, desincronización de la función pulmonar, alteración de los eritrocitos e irritación de la faringe, laringe, ojos y nariz.

10. El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), este elemento tiene la peculiaridad de que al ser inhalado, provoca inflamación de las vías respiratorias y asfixia principalmente.

11. El ozono ( $\text{O}_3$ ), el cual, como ya se mencionó en un tema anterior, es un elemento que juega un papel muy importante en el ambiente, en la estratosfera actúa como un escudo que protege a la superficie terrestre de los dañinos rayos ultravioleta, los que provocan en el ser humano, quemaduras en la piel o eritemas, alteraciones en el DNA y cáncer, del que se distinguen dos tipos, uno es el melanoma que no es letal, y por otro lado está el que mata a un tercio de sus víctimas. La destrucción de la capa de ozono se le atribuye significativamente a los óxidos de nitrógeno, los que aparecen en la estratosfera debido a las aeronaves, transportes supersónicos y armas nucleares. Otros elementos que consumen ozono son los derivados del cloro, como son los que se obtienen de la emisión de productos clorofluorcarbonados y sustancias que se emplean en la producción de aerosoles y químicos refrigerantes (Freón 11 y 12). Pero la presencia del ozono como contaminante secundario en la troposfera, tiene afecciones en el ser humano que se manifiestan como tos moderada, irritación de garganta, dolor de cabeza e irritación de ojos.

12. El plomo (Pb), que en sus diferentes manifestaciones como los óxidos de plomo, sulfato de plomo, alquilos de plomo y haluros de plomo, provocan en el hombre, como primeros síntomas, irascibilidad, desgano y fatiga, los que comúnmente se toman sin importancia, hasta que con el tiempo existe dolor de cabeza, pérdida de apetito, dolor de estómago y vómito. Finalmente los síntomas empeoran y el cerebro, los riñones y el hígado, sufren daños irreparables. En la etapa de fase terminal del cuadro clínico existen convulsiones, estado de coma y finalmente la muerte.

13. Las partículas y cenizas, las cuales, desde el punto de vista de la salud, aproximadamente un tercio de la fracción respirable ( $< 10 \mu\text{m}$ ) se queda en los pulmones, y el efecto que causan depende de su composición química, aunque en general provocan irritación de las vías respiratorias, agravan el asma, y favorecen las enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, y a manera de reivindicación de la función de las partículas, estas pueden servir como superficie de absorción para los gases tóxicos. También se relacionan con las enfermedades de los pulmones negros, silicosis y asbestosis en los mineros. En el plazo corto, la contaminación por partículas finas puede causar el deterioro de la función respiratoria. A largo plazo, contribuye a generar enfermedades crónicas, cáncer y muerte prematura.

A manera de ejemplo, se mencionan los resultados de algunos de los estudios que la agencia ambiental norteamericana (Environmental Protection Agency, EPA) aplicó en relación a estas afecciones, en los cuales estimo que en Estados Unidos, más del 8% del cáncer de pulmón de no fumadores se debe a la fracción respirable contenida en las emisiones de los automotores que no funcionan con combustible diesel y además señala al sector más vulnerable a estos efectos:

1. Personas con influenza, enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares
2. Niños y ancianos
3. Fumadores y personas que tienen problemas respiratorios nasales

### **3.4 Evaluación de los niveles de contaminación en la ciudad de México**

Diariamente en la ciudad de México se emite un reporte con la información generada por la Red Manual y Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA y REDMA respectivamente), el encargado de la evaluación es el sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México (SIMAT). De esta manera el gobierno presenta el reporte a las autoridades ambientales y al público en general, el cual se conoce bajo el nombre de Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

El valor del IMECA corresponde al valor máximo de los subíndices obtenidos de los siguientes contaminantes: partículas suspendidas, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y el efecto sinérgico de las partículas con el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Las normas oficiales mexicanas de salud ambiental, establecen los límites permisibles para proteger la salud de la población ante los contaminantes atmosféricos. El límite permitido equivale en el IMECA a 100 puntos, por lo que si el valor es menor a esa cantidad, significa que hay menos riesgo de enfermarse y pero si es mayor, la probabilidad se incrementa. De tal forma que, un valor de 100 puntos corresponde a la norma para cada contaminante. En tanto que un valor de 500 puntos, representa niveles de contaminación para los cuales existen evidencias de daños más significativos en la salud. En la tabla 3.2 se observan las concentraciones para definir la escala.

Contaminante	Exposición aguda		Exposición crónica
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	Concentración y tiempo promedio
O <sub>3</sub>	0.11 ppm (1 hr)	Ninguna al año	---
	0.080 ppm (máximo diario de promedios móviles de 8 horas)	4 veces al año	---
CO	11 ppm (máximo diario de promedios móviles de 8 horas)	1 vez al año	---
SO <sub>2</sub>	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (promedio anual)
NO <sub>2</sub>	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	---
PST	210 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	1 vez al año	---
PM <sub>10</sub>	120 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m <sup>3</sup> (promedio anual)
PM <sub>2.5</sub>	65 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	1 vez al año	15 µg/m <sup>3</sup> (promedio anual)
PB	1.5 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 3 meses)	---	---

Tabla 3.2 Concentraciones para definir la escala IMECA.

Se utilizan diferentes ecuaciones para cada contaminante, dependiendo del intervalo donde se ubique la concentración registrada. En relación a esto, se instrumentan los

algoritmos para el cálculo del IMECA. Los criterios de calificación Utilizados se observan en la tabla 3.3.

PUNTOS IMECA	CALIDAD DEL AIRE
0-50	Satisfactoria
51-100	Regular
101-150	Mala
151-200	Muy mala
> 200	Extremadamente mala

Tabla 3.3 Criterios de calificación para la escala IMECA.

En noviembre del 2006 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, la norma ambiental denominada: NADF-009-AIRE-2006, la cual establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire de los contaminantes, bajo el siguiente criterio: ozono ( $O_3$ ), partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ), partículas menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y monóxido de carbono (CO). Esta norma incluye, como ya se mencionó, los algoritmos para el cálculo del IMECA, partiendo de las concentraciones y en particular, se hace por medio de las ecuaciones que se muestran en la tabla 3.4.

Un buen ejemplo para comprender el significado de la tabla, se describe a continuación, suponiendo que se tiene una concentración de  $O_3$  de 0.110 ppm, se debe aplicar la ecuación correspondiente a ese contaminante, para este caso es una sola ecuación:

$$I [O_3] = C [O_3] * 100 / 0.11 \rightarrow I [O_3] = 0.110 * 100 / 0.11 = 100 \text{ puntos IMECA}$$

El valor obtenido corresponde al segundo punto de quiebre de la Norma Oficial Mexicana de la calidad del aire, como promedio horario homologado a 100 puntos del IMECA y con categoría de concentración regular. Ahora bien, si tenemos una concentración de 0.220 ppm, se aplica la misma ecuación, con la salvedad de que el dato

obtenido corresponde al cuarto punto de quiebre, con un valor de 200 puntos en la categoría de concentración muy mala.

$$I [O_3] = 0.220 * 100 / 0.11 = 200 \text{ puntos IMECA}$$

En la tabla siguiente se establece el algoritmo de cálculo para el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire.

Intervalos (IMECA)	Concentraciones	Ecuaciones
Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )		
IMECA	µg/m <sup>3</sup>	Ecuaciones
0-50	0-60	I[PM <sub>10</sub> ]=C[PM <sub>10</sub> ]*5/6
51-100	61-120	
101-150	121-220	I[PM <sub>10</sub> ]=40+C[PM <sub>10</sub> ]*0.5
151-200	221-320	
> 200	> 320	I[PM <sub>10</sub> ]=C[PM <sub>10</sub> ]*5/8
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> )		
IMECA	µg/m <sup>3</sup>	Ecuaciones
0-50	0-15.4	I[PM <sub>2.5</sub> ]=C[PM <sub>2.5</sub> ]*50/15.4
51-100	15.5-40.4	I[PM <sub>2.5</sub> ]=20.50+C[PM <sub>2.5</sub> ]*49/24.9
101-150	40.5-65.4	I[PM <sub>2.5</sub> ]=21.30+C[PM <sub>2.5</sub> ]*49/24.9
151-200	65.5-150.4	I[PM <sub>2.5</sub> ]=113.20+C[PM <sub>2.5</sub> ]*49/84.9
> 200	> 150.4	I[PM <sub>2.5</sub> ]=C[PM <sub>2.5</sub> ]*201/150.5
Ozono (O <sub>3</sub> )		
IMECA	Ppm	Ecuaciones
0-50	0-0.055	I[O <sub>3</sub> ]=C[O <sub>3</sub> ]*100/0.11
51-100	0.056-0.110	
101-150	0.111-0.165	
151-200	0.166-0.220	
> 200	> 0.220	
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )		
IMECA	Ppm	Ecuaciones
0-50	0-0.105	I[NO <sub>2</sub> ]=C[NO <sub>2</sub> ]*50/0.105
51-100	0.106-0.210	I[NO <sub>2</sub> ]=1.058+C[NO <sub>2</sub> ]*49/0.104
101-150	0.211-0.315	I[NO <sub>2</sub> ]=1.587+C[NO <sub>2</sub> ]*49/0.104
151-200	0.316-0.420	I[NO <sub>2</sub> ]=2.115+C[NO <sub>2</sub> ]*49/0.104
> 200	> 0.420	I[NO <sub>2</sub> ]=C[NO <sub>2</sub> ]*201/0.421
Intervalos (IMECA)	Concentraciones	Ecuaciones
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )		
IMECA	Ppm	Ecuaciones
0-50	0-0.065	I[SO <sub>2</sub> ]=C[SO <sub>2</sub> ]*100/0.13
51-100	0.066-0.130	
101-150	0.131-0.195	
151-200	0.196-0.260	
> 200	> 0.260	
Monóxido de Carbono (CO)		
IMECA	Ppm	Ecuaciones
0-50	0-5.50	I[CO]=C[CO]*50/5.50
51-100	5.51-11.00	I[CO]=1.82+C[CO]*49/5.49
101-150	11.01-16.50	I[CO]=2.73+C[CO]*49/5.49
151-200	16.51-22.00	I[CO]=3.64+C[CO]*49/5.49
> 200	> 22.00	I[CO]=C[CO]*201/22.01

Tabla 3.4 Ecuaciones para el cálculo del IMECA.



### **3.5 Estrategias del gobierno**

Se considera que la contaminación ambiental en la ciudad de México tiene como causa principal, la circulación de un gran número de automóviles diariamente, por lo que el gobierno establece las medidas de prevención y control, con el desarrollo en la aplicación de programas dedicados a través de los años.

Desde su aparición, el programa de contingencias ambientales en la zona metropolitana, ha sufrido considerables modificaciones, entre las cuales están las de los años de 1989 y 1996. En el del año de 1989, se activaba si las condiciones climatológicas en cuanto a la dispersión de contaminantes eran adversas y al rebasar los 200 puntos del IMECA. En 1996, se propuso la activación automática basada sólo en un incremento del índice a un valor de 250.

En la actualidad, el programa de contingencias ambientales atmosféricas (PCAA), se lleva a cabo una vez que estén dadas las condiciones climáticas, topográficas, geográficas y de densidad poblacional en la ZMVM. Cuando se presenta la situación, y existe la probabilidad de tener elevados niveles de contaminación, se facilita demasiado la aparición de fenómenos ambientales nocivos, como inversiones térmicas de baja altura, sistemas de alta presión, sistemas anticiclónicos, alta radiación solar, entre otros. Por tal motivo, en Mayo de 1986, la Comisión Nacional de Ecología (CONADE) elaboró y concertó el programa de contingencias por episodios de contaminación atmosférica, con el fin de proteger a la población. En él participan las secretarías de gobierno, el Departamento del Distrito Federal, el gobierno del Estado de México, 14 de las principales paraestatales y organismos descentralizados, las 1000 industrias con mayor potencial contaminante y el sector social. Por otro lado, están los organismos responsables del programa: La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, La Secretaría de Gobernación, El Instituto Mexicano del Petróleo, La Secretaría de Salud, Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, El Departamento del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT). El área de aplicación del programa es la comprendida por las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y los 17 municipios conurbanos del Estado de México. Existen dos niveles

de contingencia, la fase I tuvo su última actualización el 30 de agosto del 2006, publicada en la gaceta oficial del distrito Federal (GODF) y los niveles se muestran en la tabla 3.5.

Contingencias por:	Activación (IMECA)	Desactivación (IMECA)
OZONO	Niveles mayores a 250	Niveles menores a 160
PM10	Niveles mayores a 250	Niveles menores a 150

Tabla 3.5 Niveles de activación y desactivación para la fase I.

La determinación de la fase II, según el contaminante, se lleva a cabo de acuerdo a la modificación del 22 de Diciembre de 1999, publicada también en la gaceta oficial del Distrito Federal donde se establecen los siguientes puntos:

1. La activación y desactivación de la FASE II de contingencia ambiental por ozono, tendrá lugar en toda la ZMVM, cuando en cualquiera de las zonas que la conforman se registren los valores contenidos en la tabla 3.6.
2. La activación y desactivación de la FASE II de contingencia ambiental por PM10 tendrá lugar en toda la ZMVM en el momento en que se registren los valores que se establecen en la tabla 3.6. En caso de registrarse los valores de aplicación de contingencia de PM10, entre las 00:00 y 6:00 horas, el aviso de activación del Programa de Contingencias Ambientales se deberá realizar a más tardar a las 10:00 horas del día en que se registren los valores señalados en la tabla 3.6.

Contingencias por:	Activación (IMECA)	Desactivación (IMECA)
OZONO	Niveles mayores a 300	Niveles menores a 180
PM <sub>10</sub>	Niveles mayores a 250	Niveles menores a 150

Tabla 3.6 Niveles de activación y desactivación para la fase II.

Algunas medidas que establece el programa son de aplicación inmediata, como la agilización del tránsito vehicular, la suspensión de actividades al aire libre en las escuelas, y la alerta médica del sistema de vigilancia epidemiológica. Otras, como el doble hoy no circula, la reducción de la actividad industrial y el paro de 20 % de las gasolineras, se

realizan al día siguiente de su inicio, con la finalidad de prevenir los índices más altos de contaminación en el momento del suceso. Además, junto con estas medidas, la aplicación de nuevos programas permanentes, como la extensión del programa hoy no circula para los días sábados del mes, de acuerdo al color del engomado. En la tabla 3.7 se establecen las acciones a seguir en caso de contingencias, la cual esta vigente a partir de 1996.

FASE 1: SE ACTIVA AL LLEGAR LOS 250 PUNTOS IMECA			
SECTOR	PRIMER SEMESTRE DE 1996	A PARTIR DEL SEGUNDO SEMESTRE DE 1996	A PARTIR DE 1997
Vehículos	Doble Hoy no Circula.	Norma de Contingencia (emergente) HC y CO.	Norma de Contingencia HC, CO y NOx.
Industria	Reducción 30-40 de actividad.	Reducción 30-40. Norma de contingencia (emergente) HC y NOx, excepto grandes emisores.	Norma de contingencia HC y NOx, excepto grandes emisores.
Gasolineras	Cierran 20% que no cuenten con equipo de Recuperación de vapores.	Cierran 20% que no cuenten con equipo de recuperación de vapores.	Cierran 50 % que no cuenten con equipo de Recuperación de vapores.
Distribución de Gas LP	Suspensión de actividades de purgas y desfuegos.	Suspensión de actividades de purgas y desfuegos.	Suspensión de actividades de purgas y desfuegos.
Escuelas	Cese de actividades al aire libre.	Cese de actividades al aire libre.	Cese de actividades al aire libre.
Mantenimiento urbano	Se suspenden actividades de bacheo, pintura Pavimentación y obras que Entorpezcan la circulación. Se establecen dispositivos de agilización de tránsito.	Se suspenden actividades de bacheo, pintura pavimentación y obras que entorpezcan la circulación. Se establecen dispositivos de agilización de tránsito.	Se suspenden actividades de bacheo, pintura Pavimentación y obras que entorpezcan la circulación. Se establecen dispositivos de agilización de tránsito.
Vigilancia	Sistema especial de Inspección y vigilancia en la industria y gasolineras. Sistema especial de vigilancia vehicular	Sistema especial de inspección y vigilancia en la industria y gasolineras. Sistema especial de vigilancia vehicular	Sistema especial de inspección y vigilancia en la industria y gasolineras. Sistema especial de vigilancia vehicular
Salud	Vigilancia epidemiológica. Información y prevención en escuelas.	Vigilancia epidemiológica. Información y prevención en escuelas.	Vigilancia epidemiológica. Información y prevención en escuelas.
FASE 2: SE ACTIVA AL LLEGAR A LOS 350 PUNTOS IMECA			
* Se mantienen todas las medidas establecidas en la fase 1.			
* Se decreta asueto general para oficinas públicas, banca y escuelas.			
* Se exhorta al sector privado a suspender labores.			

Tabla 3.7 Fases del programa de contingencias ambientales a partir de 1996.

En la fase II, que entra en operación al alcanzar los 350 puntos IMECA de ozono, se aplican todas las medidas de la fase I, pero además se declara asueto general, entiéndase

con esto, la suspensión de actividades escolares, las labores en bancos y en oficinas públicas, incluyendo los lugares culturales como museos, parques y otras instalaciones recreativas operadas por el gobierno.

El programa “doble hoy no circula” se aplica al día siguiente del que se registren 250 puntos IMECA de ozono, iniciando a las 5:00 horas y hasta las 22:00 horas, durante los días que dure la contingencia, participan todos los automóviles que circulan en la zona metropolitana, excepto las unidades de servicios médicos, seguridad pública, bomberos, servicio público de pasajeros, transporte de discapacitados, transportes escolares y de personal, vehículos de carga equipados con sistemas de Gas LP y Gas Natural como carburante, así como los vehículos eléctricos y los que porten placas federales expedidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Los vehículos que trasladen productos perecederos deben respetar el programa normal y el doble.

El “doble hoy no circula” no incluye vehículos que contaminan poco y que se someten a una verificación expofeso. Por lo que, desde principios de 1997, un nuevo programa de verificación vehicular permitió la circulación diaria a todos aquellos automóviles con emisiones muy bajas.

La existencia de estos programas esta basada en una legislación, de acuerdo con la Ley General de Equilibrio Ecológico para la Protección al ambiente (LGEEPA, 1995), donde se menciona que, todas las emisiones de contaminantes en la atmósfera deben ser reducidas o controladas. Por lo cual, la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con la secretaria de salud (SSA), expiden las normas que establecen los niveles máximos permisibles de emisión por contaminante y por fuente, además de especificar los requerimientos en la adaptación de equipos de control de emisiones, a quienes realicen actividades contaminantes en zonas conurbanas ubicadas en dos o más entidades federativas, y cuando se trate de bienes o zonas de jurisdicción federal, además de expedir los procedimientos certificados para la medición de las emisiones de contaminantes en la atmósfera. Las normas oficiales mexicanas relacionadas a las fuentes de contaminación, se establecen para las fuentes existentes, nuevas fuentes y las localizadas en zonas críticas.

### **3.6 Laboratorios de emisiones vehiculares**

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) es un organismo descentralizado de la administración pública federal, con carácter preponderantemente técnico y educativo, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Es una institución enfocada a la industria petrolera nacional, mediante el desarrollo científico y tecnológico. En él se desarrollaron laboratorios de Investigación en emisiones vehiculares y ensayo de motores, para afrontar los problemas surgidos por el uso de combustibles, el impacto en el medio ambiente, en las industrias petrolera y automotriz.

Los laboratorios de investigación en emisiones vehiculares, deben contar con una infraestructura de vanguardia, acorde con los procedimientos y normas nacionales e internacionales para la realización de estudios integrales, correspondientes al desarrollo y evaluación de combustibles convencionales y alternativos, así como también aditivos y sistemas anticontaminantes. El objetivo es, que los productos del petróleo y los vehículos automotores evaluados, tengan un desarrollo acorde con los avances tecnológicos, además de colaborar en el cumplimiento de la legislación ambiental en el país.

La industria petrolera junto con la minera y la siderúrgica fueron por años, las 3 más poderosas económicamente hablando, pero también de las más contaminantes, por lo que a partir de la década de 1970, se tomó la decisión de empezar a disminuir la contaminación atmosférica, desde entonces, la mayoría de las empresas petroleras a nivel mundial han hecho grandes esfuerzos por disminuir sus efectos. En México, petróleos mexicanos (PEMEX) ha colaborado en la disminución muy significativa de la emisión de contaminantes en las categorías que involucran el suelo, aire y agua. El IMP ha contribuido también en este logro, yendo de la mano con PEMEX, con la aportación de estudios, investigaciones y el desarrollo de algunas tecnologías ambientalistas.

Los laboratorios de emisiones vehiculares, están equipados con instrumentación que permiten la determinación de los niveles de contaminantes en las emisiones de gases de escape, mediante ciclos de manejo reconocidos a nivel internacional. Las pruebas que se realizan son, entre otras, el ciclo FTP-75 (Federal Test Procedure), el cual se implemento

en el año de 1975 por la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de Norteamérica. En México se acepta y utiliza bajo el procedimiento que dicta la norma mexicana NMX-AA-11-1993-SCFI, para evaluaciones de homologación y certificación en vehículos ligeros a gasolina, gas licuado de petróleo y gas natural comprimido. Para poder realizar estas pruebas, los laboratorios deben contar en sus equipos, con un dinamómetro de chasis, donde se pueda simular la carga de camino para un vehículo determinado y la instrumentación de muestreo y análisis para la entrega de resultados. En estos laboratorios también se pueden aplicar valoraciones en la determinación de la eficiencia de conversión, esto es, la realización de un muestreo antes y después del convertidor catalítico, definido como la evaluación de un dispositivo anticontaminante. También tienen la capacidad de realizar pruebas para la medición de emisiones evaporativas estáticas a vehículos, las cuales se realizan a través de una cámara sellada con análisis de emisiones de hidrocarburos.

Algunos laboratorios en este rubro, también cuentan con celdas de prueba para el análisis de emisiones en motores Diesel, donde se determinan las emisiones de escape mediante ciclos transitorios, esto es, etapa en frío, estabilizada y en caliente. Las cuales, también aplican para los vehículos a gasolina, en un sentido propio de aplicación. Tienen la capacidad para la determinación de emisiones en motores que utilizan combustibles como gas licuado de petróleo y gas natural comprimido. Cuentan con instrumentación de análisis, que en la actualidad es altamente confiable y los dinamómetros de chasis; con simulación de torque positivo y negativo. Actualmente en México, el Instituto Mexicano del Petróleo es el único que cuenta con los laboratorios equipados para la aplicación de pruebas en motores Diesel, y funciona a una altura superior a los 2000 metros sobre el nivel del mar, acorde con los procedimientos y normas nacionales e internacionales.

El Instituto Mexicano del Petróleo, en su infraestructura de investigación cuenta con laboratorios de análisis orgánico como parte estratégica de sus funciones. Aquí, se llevan a cabo estudios en la identificación y cuantificación de hidrocarburos provenientes de los gases de escape de los vehículos, utilizando cromatografía de gases. También se realiza la determinación de aldehídos y cetonas de las emisiones de escape por cromatografía de líquidos y análisis detallado de hidrocarburos en gasolinas (DHA). Entre otras funciones,

este laboratorio también proporciona capacitación para la investigación, en primer lugar a Petróleos Mexicanos, que es su principal cliente.

En este Instituto se han desarrollado trabajos de investigación relacionados con el medio ambiente, que le han permitido estar en los grupos que toman las decisiones a nivel nacional en la situación ambiental, desde los que elaboran proyectos de las normas oficiales mexicanas, hasta los que evalúan la calidad del medio ambiente. Dentro de este instituto de investigación, también se encuentra el laboratorio de máquinas de octano, donde se elaboran estudios de las gasolinas para la determinación del número de octano RON (research octane number), en condiciones normales de operación, y por otro lado, la determinación del número de octano motor MON (motor octane number), para condiciones severas de operación, entre otros estudios que permiten definir las características propias de las gasolinas. Una parte importante en el desarrollo de nuevos combustibles y elementos enfocados al mejoramiento ambiental en el país, depende de la investigación de estos centros de trabajo. De esta manera, los laboratorios en investigación de motoquímica del IMP, en conjunto con otros del sector privado, se encargan de la determinación de contaminantes en vehículos automotores, dispositivos de control de contaminantes y para la industria petrolera nacional, en el análisis de los combustibles.

Por su parte las armadoras de vehículos con mayor presencia en México como Chrysler, General Motors, Nissan, Volkswagen y Ford, cuentan con laboratorios propios para la evaluación de contaminantes, los cuales son auditados y aprobados en sus métodos de prueba por entidades de gobierno y otras, especializadas en aspectos normativos para la regulación ambiental y en sus procesos de calidad. Como son, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), respectivamente. Por otro lado, esas empresas armadoras de vehículos colaboran en parte con el aspecto legislativo ambiental, por medio de los representantes de sus laboratorios, y en conjunto con la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), trabajan en la revisión, adecuación y actualización de las normas que rigen los métodos de pruebas, considerando la situación actual de la ciudad de México y del país en general, para que sean acordes con la realidad ambiental bajo los lineamientos legales.

## CAPITULO 4

### MÉTODO DE ANÁLISIS POR ABSORCIOMETRÍA INFRARROJA

#### 4.1 Antecedentes

Los analizadores utilizados para determinar los niveles contaminantes de una muestra de gas, reciben en forma conjunta el nombre de banco de emisiones diluidas por el método en su funcionamiento, utilizan los gases de emisión de los vehículos en forma diluida con el aire atmosférico a temperatura y presión constante. En este banco se lleva a cabo el análisis en la concentración de los principales contaminantes regulados por la legislación, como lo son, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, y los óxidos de nitrógeno. El metano y el bióxido de carbono, actualmente no se consideran dentro de estas regulaciones, pero en el caso del bióxido de carbono, se encuentra presente el problema del calentamiento global, considerando el exceso de este gas en el ambiente.

En el banco de emisiones diluidas de los laboratorios, se tienen cuatro tipos de analizadores, los cuales en su constitución como sistemas, incluyen aspectos de electrónica, mecánica, neumática, óptica, procesos químicos y en general, un gran número de características que involucran muchos aspectos del quehacer de la ingeniería.

Los bancos de análisis utilizan cuatro diferentes métodos de evaluación, de esta forma, para calcular los niveles de monóxido de carbono y bióxido de carbono se utiliza un analizador que trabaja bajo el principio de absorciometría infrarroja, para los niveles de hidrocarburos se utiliza el de ionización de flama, en tanto que para el análisis de los niveles de los óxidos de nitrógeno, se utiliza el que opera bajo el principio de quimiolumiscencia. Por ultimo tenemos el método de análisis de gas cromatográfico por ionización de flama para evaluar los niveles de metano, en las muestras de gas.

Los métodos utilizan denominaciones poco usuales, pero hay que considerar que son conceptos del campo de estudio de la química por su naturaleza, sin embargo, son necesarios en este trabajo, en la pretensión de explicar la operación y mantenimiento,



que finalmente involucra el uso de la electrónica interactuando con los fenómenos químicos como parte de apoyo en el proceso y la interpretación de los datos.

Los analizadores utilizados en la mayoría de los laboratorios en México dedicados a la investigación en emisiones vehiculares y a la evaluación de los niveles contaminantes, son de origen japonés, la comercialización es a través de sus filiales en Estados Unidos y en gran parte del mundo, en representación de un enorme corporativo llamado HORIBA, con presencia a través de sus productos especializados, en el análisis de emisiones, en la fabricación de dinamómetros, en instrumentación para la investigación, en medicina, en la industria, entre otros.

## **4.2 Análisis infrarrojo**

El analizador infrarrojo que se utilizó para desarrollar este trabajo, forma parte del banco de emisiones diluidas, corresponde al modelo AIA-220 de la marca HORIBA y puede realizar el análisis para CO con un componente doble y CO<sub>2</sub> con un componente sencillo. También existe un modelo AIA-210 de componente sencillo, el cual, es utilizado para la medición de niveles de CO únicamente y funciona bajo el mismo principio. Según las especificaciones del fabricante, estos analizadores también se utilizan en mediciones de Hidrocarburos (HC) y Oxido Nítrico (NO), sin embargo, la aplicación más popular, es para el análisis de CO y CO<sub>2</sub>. Para la evaluación de HC y NO, se utilizan equipos con otro principio de análisis, con mejor desempeño en la aplicación.

Este equipo utiliza el principio de análisis conocido como, “absorciometría infrarroja no dispersivo”, con él, se realizan mediciones continuas de las concentraciones de un componente en particular, tomado de una muestra de gas. Se compone de una unidad de análisis, una de control y finalmente la del procesamiento electrónico de señal. Puede medir una amplia gama de concentrados con exactitud cuando se le aplica un flujo específico de gas, propiamente para el cual esta diseñado.

El método de análisis por infrarrojo en su campo de aplicación, es para todo tipo de inspección y prueba en el monitoreo de la emisión de agentes contaminantes atmosféricos, de los gases de escape de motores de combustión interna, gases emitidos

por chimeneas y otros gases de salida. Se utilizan en una amplia gama de los diferentes campos de aplicación, donde se necesita la evaluación de muestras de gas y donde la estabilidad de los medidos es particularmente evaluada.

#### **4.2.1 Principio de operación**

Una molécula formada de diferentes átomos, absorbe la energía infrarroja de una longitud de onda específica, el grado de absorción es proporcional a la concentración bajo condiciones de temperatura y presión constante.

Un analizador que utiliza el principio de análisis por absorciometría infrarroja no dispersivo (NDIR), al medir la cantidad de absorción en el infrarrojo por el componente, para una muestra de gas determinada, puede detectar continuamente el nivel de concentración y los cambios que existan en el componente.

La luz infrarroja es emitida por medio de dos fuentes, en dos caminos, es convertida a una luz intermitente por medio de un elemento conocido como ensamble del motor chopper. Por un camino se dirige al detector, después de pasar por una etapa de medición, conocida como celda de referencia. La cual, es un recipiente sellado en forma cilíndrica y en su interior contiene una cantidad de gas encapsulado de las mismas características que una muestra, con la finalidad de permitir una comparación con el fluido que va a ser evaluado. El ensamble chopper es un conjunto de motor y aspas, las cuales giran en el eje del motor, de igual manera que actúan los alabes de un ventilador, solo que giran a una velocidad controlada requerida de 300 rpm y permite el paso de la luz de una forma intermitente.

Por el otro camino se encuentra, pasando el ensamble del chopper, la celda de muestra, la cual esta provista de una entrada y una salida que permite el flujo de gas. Parte de la luz infrarroja que pasa a través de la celda de muestra es absorbida, provocando una diferencia en la intensidad del haz luminoso que llega a la etapa del detector, aquí, es comparado con el rayo de luz que proviene de la celda de referencia ocasionado la vibración de una membrana ubicada en la celda del detector. Los cambios en la capacidad entre los electrodos de la membrana, generan una diferencia de potencial

en la salida. Debido al gas que esta encapsulado en la celda de referencia, la etapa de respuesta en el detector se encuentra bajo condiciones fijas, y solamente una longitud de onda infrarroja específica que absorbe el componente es detectada y no tiene respuesta para otra longitud de onda diferente. Esto permite los cambios en la absorción en el infrarrojo en un momento dado por el componente que va a ser medido, en otras palabras, los cambios en la concentración de ese elemento, son los que van estar monitoreados.

Si la muestra de gas contiene otros componentes ajenos que se encuentran en una longitud de onda que puede ser absorbida, estos se traslapan parcialmente con el componente de interés en la medición, un filtro de estado sólido es utilizado para remover el traslape de esas longitudes de onda no deseadas para que no afecten las mediciones. El banco de emisiones diluidas, utiliza para la medición de niveles de CO, un analizador con componente doble, es decir, una celda principal para la detección y otra de compensación para disminuir el margen de error, y para la medición de CO<sub>2</sub>, el analizador cuenta con un componente sencillo solamente. En una muestra de gas donde existen otros componentes que provocan interferencia, tienen muy buen desempeño las celdas de detección múltiples alineadas con un solo sistema óptico. En la figura 4.1 se observa un esquema de las partes que conforman al analizador infrarrojo.

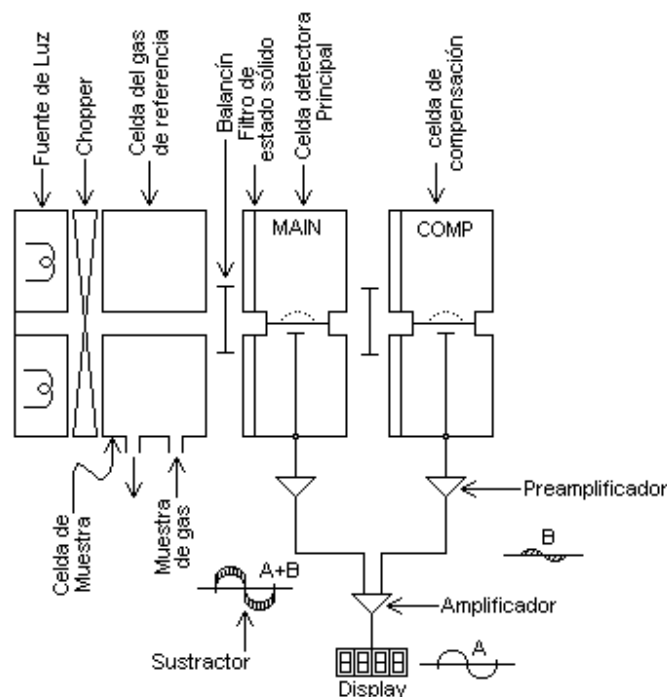


Figura 4.1 Esquema del analizador infrarrojo.

El sistema óptico del analizador ha sido desarrollado con el objeto de reducir considerablemente la influencia de factores que hacen la medición inestable como son:

1. Interferencia de otros componentes en la muestra de gas
2. Distorsión causada por vibraciones externas
3. Desviación provocada por una fuente de luz ajena al sistema y deterioro de las celdas detectoras.

Forman parte del sistema óptico, el detector principal (para las mediciones) y el detector de compensación. La medición de una muestra (señal A), más la interferencia de otros elementos en el componente (señal B), forman una sola señal compuesta, es decir, la señal es tomada por la parte de la celda detectora principal y solamente la parte de interferencia (señal B) es tomada por la celda de compensación (algunas veces incluso, la señal B es parte de la medición del componente) como se muestra en la figura 4.1.

Las señales son amplificadas y enviadas a un sustractor para obtener la señal requerida de la medición, que en este caso es solamente la señal A del componente. Esto permite excluir el efecto de interferencia, obteniendo mediciones extremadamente precisas.

#### **4.2.2 Especificaciones**

##### **1. Modelos**

1.1 AIA-210 (componente sencillo)

1.2 AIA-220 (componente doble)

##### **2. Principio de Operación**

Por absorciometría infrarroja no dispersivo

### 3. Aplicación

Análisis de CO, CO<sub>2</sub>, HC y NO<sub>x</sub> en los gases de escape de automóviles

### 4. Rangos de operación

4.1 CO (Low) de 0-100 ppm hasta 3000 ppm

4.2 CO (High) de 0-5000 ppm hasta 10 % Vol ó 0-3 % Vol hasta 20 % Vol

4.3 CO<sub>2</sub> de 0-1 %Vol hasta 20 %Vol

4.4 HC (L) de 0-100 ppm hasta 3000 ppm

4.5 HC (H) de 0-5000 ppm hasta 10000 ppm

4.6 NO (L) de 0-500 ppm hasta 6000 ppm

### 5. Repetibilidad

Dentro de  $\pm 1\%$  en toda la escala (bajo las mismas condiciones e idénticas muestras).

### 6. Respuesta de la medición

En el intervalo de 0.5 hasta 10 segundos (respecto del sistema eléctrico).

Ejemplos:

(1) El componente largo [con celda principal y de compensación para el análisis de CO (L), HC (L), y NO] tiene una respuesta de aproximadamente 2.0 segundos con un flujo de 5 l/min (T<sub>90</sub>).

(2) El componente corto [solamente con celda principal para el análisis de CO (H), CO<sub>2</sub> y HC (H)] tiene una respuesta de aproximadamente 1.5 segundos con un flujo de 3 l/min (T<sub>90</sub>).

Nota: ( $T_{90}$ ) hace referencia al módulo de micro interruptores (dip switch), donde se puede configurar la velocidad de respuesta y esta ubicado en la tarjeta electrónica principal del analizador.

#### 7. Desviación de la lectura

Se ubica dentro del rango de  $\pm 1\%$ , para la posición cero (Zero drift) y para la lectura de posición máxima (Span drift), considerando la escala completa de lectura. Evaluado durante 8 horas de operación continua (con una fluctuación de temperatura ambiente de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ).

#### 8. Temperatura de operación

A partir de  $0^{\circ}\text{C}$  y hasta  $40^{\circ}\text{C}$

#### 9. Alimentación de energía

Nominal de 120 VAC de 50 /60 Hz

#### 10. Consumo de energía

10.1 El modelo AIA-210 de componente sencillo, normalmente 100 VA aprox.

10.2 El modelo AIA-220 de componente doble, normalmente 160 VA aprox.

#### 11. Salidas analógicas [para la escala completa en cada rango (no es lineal)]

11.1 Salida de voltaje de 0 hasta 100 mV y de 0 hasta 5 VCD

11.2 Impedancia de salida con un valor de  $100\ \Omega$  máx.

### **4.2.3 Instalación**

#### **4.2.3.1 Condiciones de instalación**

1. El rango de temperatura de operación del analizador esta diseñado para usarse entre 0 y 40° C. La operación del equipo fuera de estos rangos provocaría fluctuaciones o desviaciones directas en las mediciones e incluso daño considerable al sistema de análisis.
2. El analizador no debe ser utilizado en lugares donde la humedad relativa excede el 85%, si en un momento dado la humedad alcanza ese nivel, no es recomendable utilizarlo.
3. El analizador no debe estar instalado o situado en lugares donde se encuentre en contacto directo con calor, en forma directa con la luz solar o en alguna forma de contacto con radiación calorífica de objetos cercanos. Por otro lado, aunque son condiciones extremas pero el fabricante así lo especifica, para evitar confusiones, no debe ser expuesto al viento y a la lluvia.
4. El analizador debe ser utilizado en una posición en la cual, se encuentre totalmente fijo para no ser afectado por algún efecto de vibración, así como mantenerlo alejado de objetos que de igual manera provoquen estos resultados, originando interferencias que actúen directamente con las mediciones.

#### **4.2.3.2 Conexiones externas**

En la figura 4.2 se observan las conexiones externas, así como los diferentes puertos de conexiones de entrada y salida de tuberías y cables, tanto de alimentación como de señales que utiliza el analizador. A continuación se describen las partes que forman las conexiones externas del analizador AIA-220.

##### **(1) Conector de señal**

Es utilizado para las salidas de señal de los rangos del analizador y el control de las válvulas, por este medio se controla la selección del rango en forma automática con el programa que gestiona el sistema, a través de la computadora del control de

pruebas. En el mando y operación de las servo válvulas, se encarga de rutar y distribuir el flujo correcto de las muestras de gas, apoyándose de los flujómetros de monitoreo, incluyendo los gases de trabajo y de calibración.

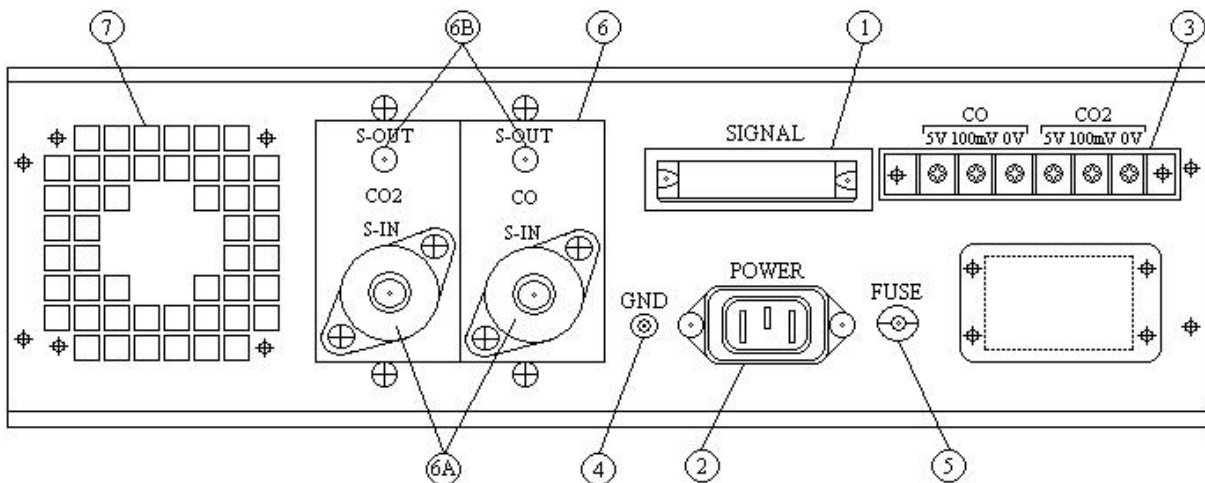


Figura 4.2 Panel trasero del analizador infrarrojo.

## (2) Alimentación de energía

Son las conexiones de entrada para la energía eléctrica del analizador. Se requiere una fuente de 120 V a 50/60 Hz, considerando que no debe ser conectado en alguna línea de energía compartida, con otro equipo que probablemente provoque distorsión o variación de voltaje.

## (3) Terminales de salida de señales

Cada rango tiene salidas analógicas de características síncronas no aisladas, con salidas de voltaje por un lado, entre 0 y 100 mV, y por otro, entre 0 y 5V.

En las terminales de salidas analógicas de voltaje, en las posiciones A y B, si es utilizado solamente un componente, se elige la terminal A de la salida. Cuando son utilizados dos componentes, las posibles configuraciones de las salidas analógicas disponibles en las dos posiciones A y B son mostradas en la tabla 4.1.



Configuración	Componentes	
	A	B
1	<b>CO (Low)</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
2	CO (L)	CO (High)
3	CO (H)	CO <sub>2</sub>
4	HC	HC (H)

Tabla 4.1 Salidas analógicas.

#### (4) Terminal de Tierra

El analizador debe ser conectado a tierra física con un cable de color verde o una combinación de color verde con amarillo, el calibre, hasta de tipo AWG18, conectado firmemente a un sitio de tierra física, en un punto donde se observe una resistencia no mayor a 100Ω.

#### (5) Receptáculo para fusible

El equipo cuenta con un fusible de 7 Amperes de tamaño estándar, del tipo cilíndrico de vidrio para su protección.

#### (6) Bahía para la conexión de la tubería

El gabinete cuenta con dos conexiones en la parte trasera para la entrada (6A) y la salida (6B) del gas, en donde:

6A. Es la entrada para la muestra o el gas de calibración, es una conexión de tipo NPT a 1/8 de pulgada. El analizador Modelo AIA-220 cuenta con dos entradas, y como referencia podemos consultar la tabla 4.1, para las apropiadas conexiones de las tuberías.

6B. Es la salida del gas. Para esta conexión se utiliza tubería de 8 mm de diámetro externo. En este punto, el ensamble del tubo debe ser colocado y fijado correctamente para evitar un efecto de baja presión.

## (7) Ventilador

Este componente se alimenta con 24 VCD, proporciona ventilación al interior del equipo, considerando que las salidas de aire y las entradas en los lados del gabinete, al momento de su instalación no deben quedar obstruidas.

### 4.2.4 Configuración interna

Internamente el analizador esta constituido por una serie de elementos que en conjunto le permite realizar el análisis de los gases. La figura 4.3 corresponde a la configuración interna, la cual tiene dos elementos de análisis; el de componente doble, que en este caso es utilizado para evaluar los niveles de CO (L) y el de componente sencillo, el cual es utilizado para medir los niveles de CO<sub>2</sub>. Si se consulta la tabla 4.1, la configuración para este caso corresponde a la opción número 1 y las partes que lo forman se describen a continuación.

- (1) A y B son los elementos analizadores, el componente A es para medir **CO (L)** y el componente B se usa para medir **CO<sub>2</sub>**. Los cuales, corresponden a los canales 1, 2 y 3 respectivamente. En la tabla 4.2 se puede observar la ubicación, las posiciones de los elementos analizadores y el correspondiente canal asignado a las salidas.

Modelo del Analizador	Componente A		Componente B	Notas
AIA-220 CO(L), CO <sub>2</sub>	CO (L) Principal	CO (L) Compensación	CO <sub>2</sub>	*
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	250 mm AS 10mm

\* Se refiere a la medida en milímetros del componente A y el componente B.

Tabla 4.2 Designación de los canales para los componentes A y B.

- (2) Preamplificador del detector principal para elementos de análisis de **CO (L)**, **NO (L)**, **HC (L)** y **CO (H)**.
- (3) Perilla de ajuste para el control de balance en los elementos analizadores de **CO (L)**, **NO (L)**, **HC (L)** y **CO (H)**, (con tornillos de seguridad para fijar el ajuste del balance).

- (4) Preamplificador del detector de complemento o de compensación en los elementos analizadores de **CO (L)** y **NO (L)**.
- (5) Perilla de ajuste para calibrar el balance en el elemento de compensación para los analizadores de **CO (L)** y **NO (L)**, (con tornillos de seguridad para fijar el ajuste).

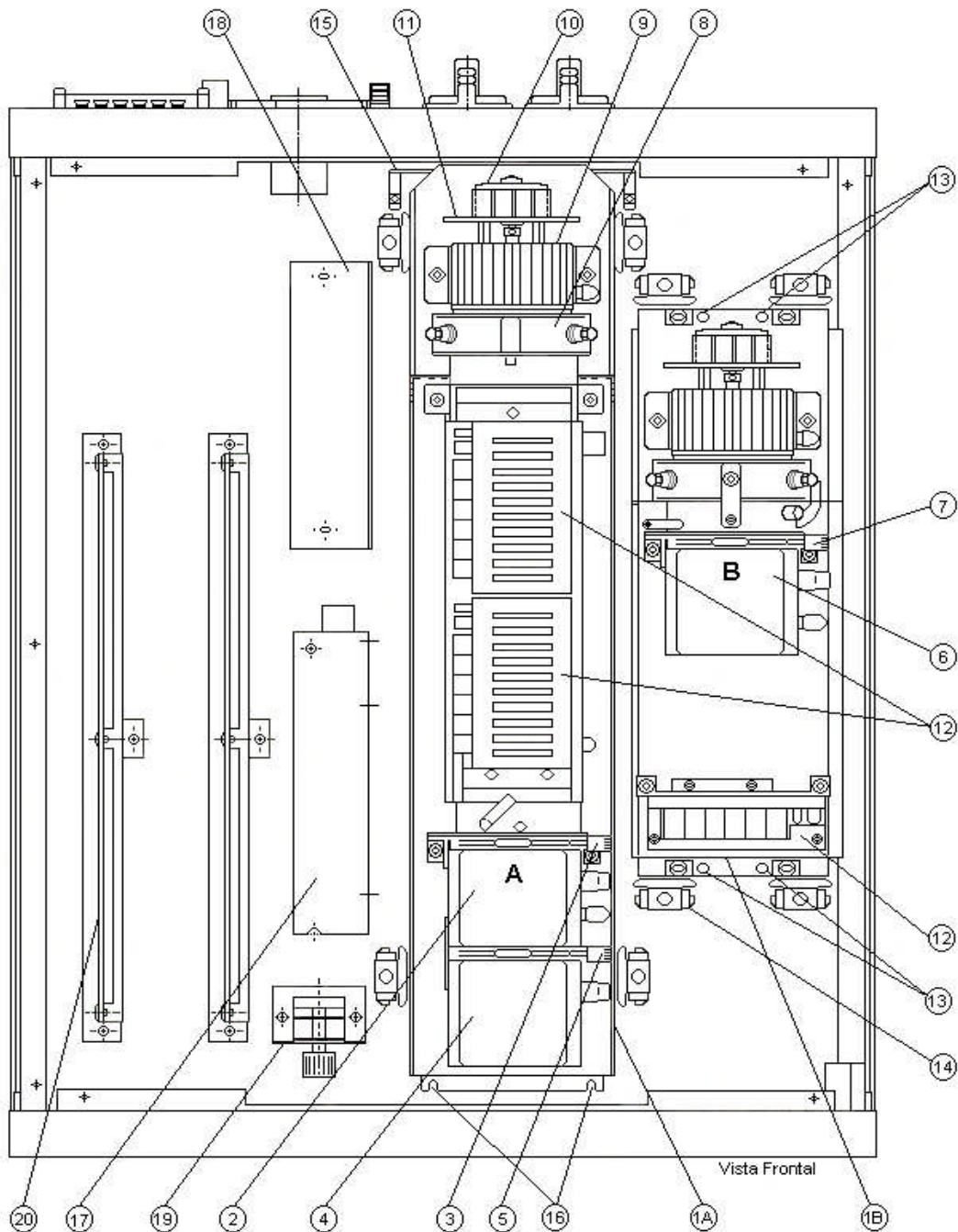


Figura 4.3 Configuración interna del analizador infrarrojo.

- (6) Preamplificador del detector principal para elementos analizadores de **CO<sub>2</sub>**, CO (H) y HC (H).
- (7) Perilla de ajuste de balance para elementos analizadores de **CO<sub>2</sub>**, CO (H), y HC (H) (con tornillos de seguridad para fijar el ajuste).
- (8) Sujetador y ensamble del motor chopper. Se utilizan los dos tornillos situados en la parte superior para el ajuste de fase, después de esta operación, los tornillos deben ser asegurados con las tuercas de sujeción provistas en el ensamble.
- (9) Fuente de luz de 5 VCD (2 filamentos conectados en paralelo)
- (10) Motor de control de ensamble del chopper. Es un motor síncrono con la misma frecuencia que la fuente de energía, el cual gira a una velocidad constante de 300 rpm.
- (11) Tarjeta controladora del motor chopper
- (12) Controlador de la temperatura del elemento analizador
- (13) y (16) Tornillos de sujeción de los elementos analizadores. Son cuatro por cada componente y solamente se utilizan cuando requieren moverse o cuando van a ser transportados. Deben ser removidos cuando se estén haciendo las mediciones.
- (14) Resortes anti vibración. Son los componentes donde los elementos analizadores están normalmente suspendidos, Deben estar asegurados al chasis del analizador y fijarlos para el transporte, deslizando la estructura colgante de los resortes un paso abajo de su posición normal, a la sección de corte exterior. Los tornillos ubicados por encima de los resortes deben ser ajustados para que el elemento analizador no tenga contacto con ningún componente dentro del gabinete.
- (15) Sujetador del soporte del elemento compuesto analizador (con celda de detección principal y celda de compensación).

- (17) Suministro de energía para la fuente de luz. En el modelo AIA-220 es de, + 5 VCD a 50 W.
- (18) Fuente de poder conmutada para el amplificador que suministra: +5 VCD,  $\pm 15$  VCD y +24 VCD.
- (19) El interruptor de mantenimiento es utilizado para la comprobación de las diferentes derivaciones de los voltajes de la fuente de poder. En la figura 4.4 se indican las diferentes posiciones del interruptor y su aplicación.

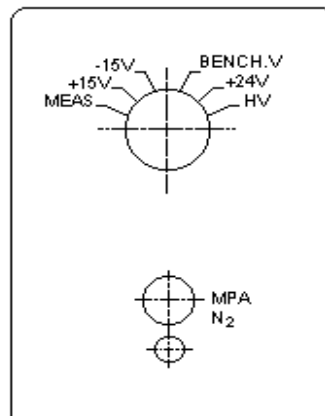


Figura 4.4 Interruptor de mantenimiento.

En la placa del interruptor aparecen las indicaciones siguientes:

1. Medición normal (MEAS). El interruptor de mantenimiento debe ser colocado en esta posición para su uso normal en las mediciones.
2. Suministro de voltaje para el amplificador, en el display del panel frontal debe aparecer: + 1.500V (referido a, +15VCD).
3. También corresponde a suministro de voltaje para el amplificador, en el display debe mostrar: - 1.500V (refiriéndose a, -15VCD).

4. Suministro de voltaje de la fuente de luz (BENCH V), en el display del panel frontal aparece: +0.500V (relativo a, +5VCD).

5. Suministro de voltaje para el relevador que alimenta el amplificador, en el display debe indicar: + 0.240V (que se refiere a +24V).

6. Suministro de voltaje para el preamplificador del elemento analizador (HV), en el que se tiene la indicación de: + 1.500V (referido a, +150 V DC).

(20) Tarjeta principal (mother board) del analizador AIA-220. Es la parte electrónica que se encarga del control, flujo de señales de entrada y salidas del analizador.

El procedimiento para hacer los ajustes en la tarjeta de control electrónico, serán descritos con detalle más adelante, en el subtema 4.2.10, en la parte de ajustes al sistema detector.

#### 4.2.5 Tarjeta principal de control AIA-M

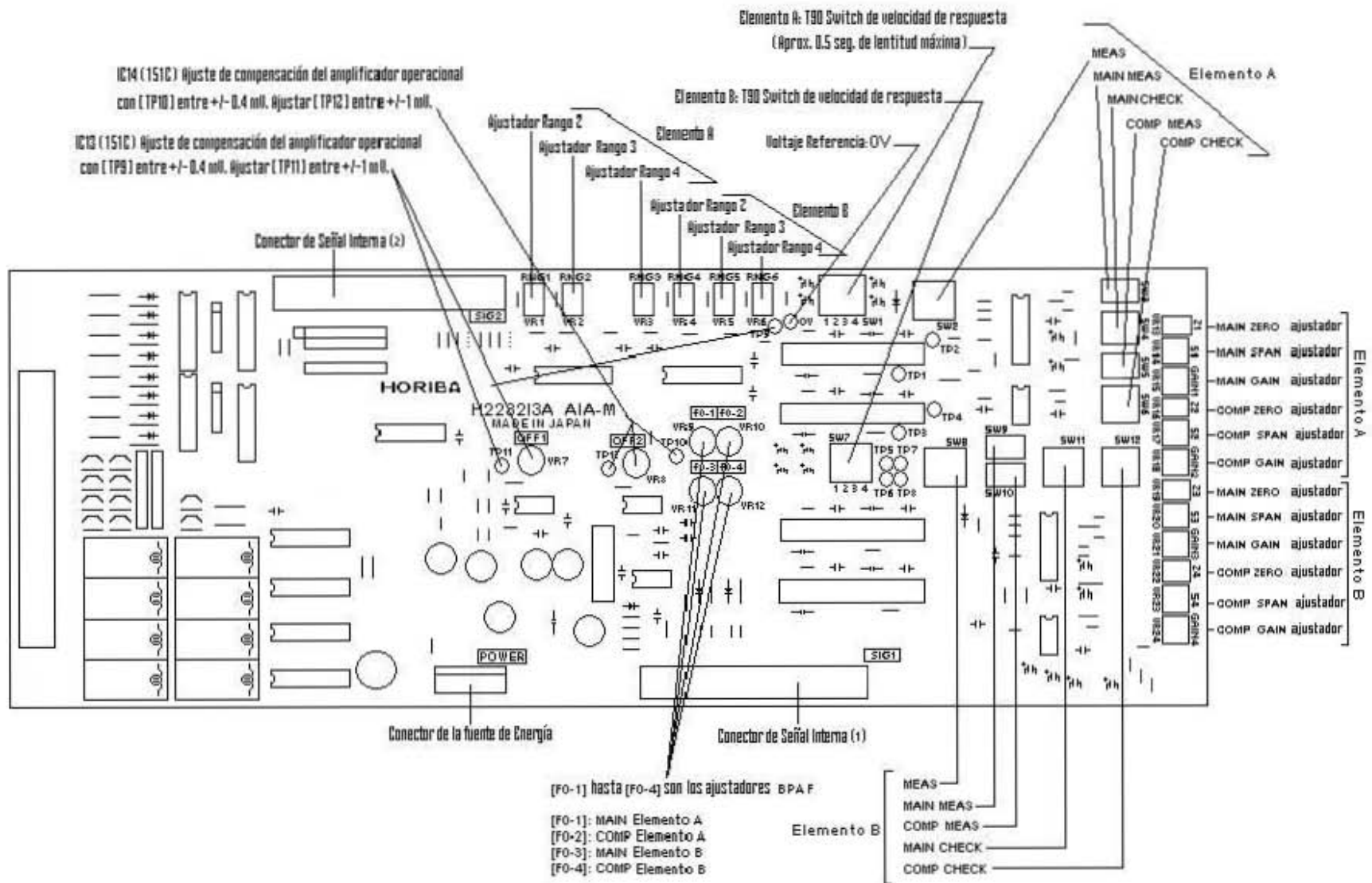
##### 4.2.5.1 Ajuste del desplazamiento del sistema amplificador

En la tabla 4.3 se describen los correspondientes puntos de prueba para la tarjeta principal denominada AIA-M para el ajuste del componente A y B, en el caso de la configuración más común y la utilizada en la descripción de este trabajo; la descrita para la medición de **CO (L) y CO<sub>2</sub>** (refiérase a la tabla 4.1).

	Componente A	Componente B
Ajustador de compensación	OFF 1	OFF 2
Punto de Prueba	TP9 TP11	TP10 TP12

Tabla 4.3 Puntos de prueba.

Figura 4.5 Esquema de la tarjeta principal AIA-M de control y posición de los ajustadores.



1. Para iniciar el procedimiento deben colocarse las correspondientes entradas del componente A (o componente B) a cero.

Se obtiene, poniendo los siguientes interruptores hacia OFF (la posición OFF es hacia la parte trasera del analizador).

MEAS

MAIN MEAS

MAIN CHECK

COMP MEAS

COMP CHECK

2. Revisión de los voltajes en la tarjeta principal. Se realiza colocando entre 0V y [TP9] para el componente A (o [TP10] para el componente B), un multímetro digital para medir VCD, utilizando el potenciómetro Zero del panel frontal del componente A (o componente B) con el fin de ajustar la salida en [TP9] (o [TP10]) a  $\pm 0.4$  mV, de preferencia lo mas cercano al "0" (el voltaje de referencia es "0V", indicado en la tarjeta principal AIA-M).
3. Se gira el ajustador [OFF1] (u [OFF2]) hasta que la salida del voltaje en [TP11] (o [TP12]) tenga una lectura dentro de  $\pm 1$  mV, de preferencia lo más cercano al "0".

#### **4.2.5.2 Ajuste de $f_0$ (alineación de la frecuencia central, pasa banda)**

1. Colocar el interruptor indicado de MAIN MEAS hacia ON para el componente A (o componente B).
2. Aplicar el flujo del gas de Span (preferentemente a un alto rango de gas de trabajo) para el componente A (o componente B), y se coloca el potenciómetro de Span del panel frontal exactamente a la mitad de la escala.



3. Girar el ajustador [f<sub>o</sub>-1] (o [f<sub>o</sub>-3]) hasta que en el display del panel frontal se despliegue una máxima lectura, (fin del ajuste de f<sub>o</sub> del [CH1] o [CH3]).
4. Colocar el interruptor de MAIN MEAS hacia OFF para el componente A (o componente B) y accionar enseguida el interruptor COMP MEAS hacia ON.
5. Aplicar el flujo del gas de Span (preferentemente a un alto rango de gas de trabajo) para el componente A (o componente B).
6. Girar el ajustador [f<sub>o</sub>-2] (o [f<sub>o</sub>-4]) hasta que en el display del panel frontal se despliegue una lectura máxima (fin del ajuste de f<sub>o</sub> para [CH2] o [CH4]).

#### 4.2.5.3 Ajuste de los potenciómetros de Rango

El ajuste del elemento analizador para cada rango se realiza, utilizando la escala completa apropiada del gas de Span o gas de trabajo para el flujo del gas dentro del equipo. Se ajusta el potenciómetro correspondiente marcado como RNG 1 y hasta 6 en la tarjeta principal, de acuerdo a lo indicado en la tabla 4.4.

	Elemento A	Elemento B
Rango 2	RNG 1	RNG 4
Rango 3	RNG 2	RNG 5
Rango 4	RNG 3	RNG 6

Tabla 4.4 Ajuste de los rangos 2, 3 y 4

Nota: Para el rango 1 se debe ajustar S1 en la tarjeta principal, hasta obtener la lectura deseada. Si no es posible, colocar S1 a la mitad de su posición y ajustar la ganancia (Gain 1) para obtener la lectura deseada.

#### 4.2.5.4 Ajuste de la constante de tiempo

El sistema eléctrico de la constante de tiempo se ajusta con un dip switch ubicado en la tarjeta principal, por lo que, para el elemento A, es el marcado como SW1 y para el

elemento B es el SW7. El cual se incrementa aproximadamente en 0.5 segundos para cada posición de los interruptores cuando se coloca en la posición de ON. En la figura 4.5 se observa la ubicación de los ajustadores.

#### 4.2.5.5 Ajuste de ganancia del amplificador de la tarjeta del panel frontal (Displays)

Se inicia el flujo del gas de Span para ajustar el potenciómetro VR1 de la tarjeta PNB01 (no es el control de Span del panel frontal). Se ubica en la parte posterior (atrás del display) y para el ajuste se obtiene la lectura en el display, de acuerdo con la concentración del gas utilizado para realizar el procedimiento, el valor que se obtiene debe ser acorde con la siguiente expresión:

Display del panel frontal = Voltaje de salida analógico x 1000/5 ± 3 unidades con respecto de 0-5 V de voltaje analógico.

#### 4.2.6 Panel frontal

En el esquema de la figura 4.6 se tiene la disposición de los elementos del panel frontal del analizador AIA-220, donde se observan, dos potenciómetros de control o ajuste, para las mediciones de Zero y Span, una perilla de selección de rango, los correspondientes "Displays" para las lecturas y nivel de rango. Estos elementos se describen a continuación.

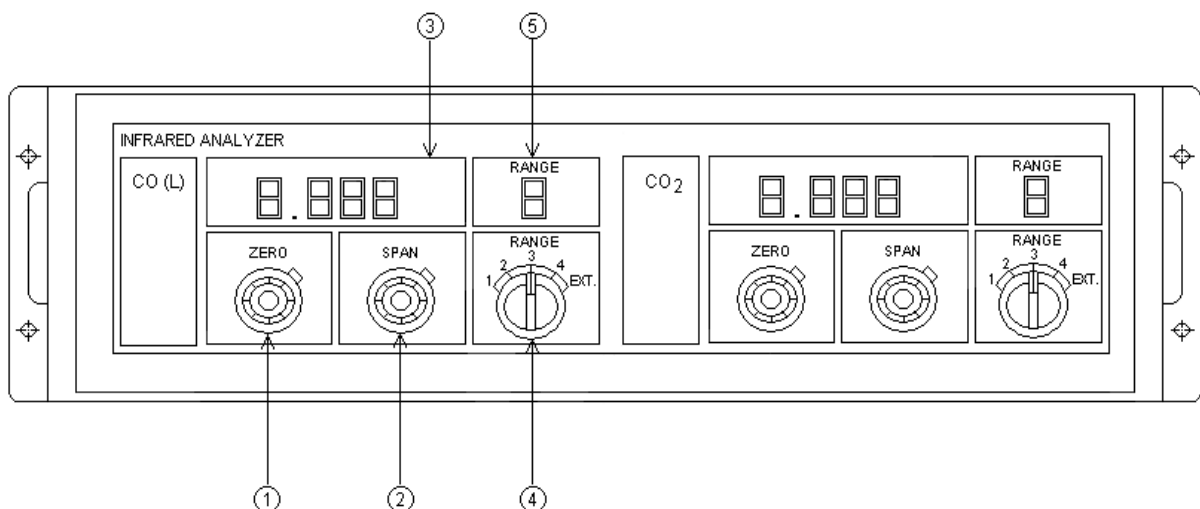


Figura 4.6 Panel frontal del analizador infrarrojo (modelo AIA-220 serie "AS").

#### **4.2.6.1 Control a un valor cero (Zero)**

Es un potenciómetro de ajuste, usado para posicionar la calibración del análisis a un valor de cero. El gas utilizado para el ajuste es Nitrógeno, así, para este analizador corresponde al gas Zero, el cual permite fijar a cero la lectura en el equipo cuando esta fluyendo.

#### **4.2.6.2 Control de ganancia (Span)**

El potenciómetro de ajuste de Span es utilizado para posicionar la calibración de la lectura máxima de la ganancia, en función de la concentración conocida del gas de trabajo, el cual, se utiliza como referencia para realizar las mediciones de los gases de escape.

#### **4.2.6.3 Pantalla digital (Display)**

Muestra las lecturas en términos de voltaje, es decir, las lecturas que se obtienen en el analizador, son voltajes que tienen relación directa con las concentraciones del gas que se esta evaluando en un momento dado. Por lo que se despliega como escala completa el valor de medida aceptable de 1.000, el cual representa el 100%, sin embargo, también depende de la concentración del gas que se esta midiendo, del cilindro del gas de trabajo con el cual se compara o del cilindro de gas de calibración. Por ejemplo, cuando se tiene una concentración de 100.6 ppm de CO, la lectura cae en el rango 1 y entonces el display debe desplegar 1.006. Por otro lado, la pantalla puede indicar voltajes hasta de  $\pm 1.999$  V, pero esto solo sucede cuando se excede el rango más alto y que esta fuera del alcance de medición del analizador, el display fluctúa mostrando el valor de 1.999 V, situación que no es muy común.

#### **4.2.6.4 Interruptor de selección de rango (Range)**

Las mediciones que puede realizar el equipo con el selector de rango, permite hasta 4 diferentes rangos, por lo que, si el selector de rango esta fijado en un rango menor, el display de la lectura presenta una fluctuación hasta que se selecciona manualmente un

rango aceptable o sea fijado en la posición de EXT, para que el sistema seleccione el rango adecuado automáticamente. Pero, si no están disponibles todos los rangos y el interruptor de selector de rango esta colocado en un número que no esta en uso (aparte de la posición EXT), el analizador utiliza el rango más alto disponible por defecto, por ejemplo:

En la tabla 4.5 se puede observar que en el caso de una medición entre el rango de 1 a 3%, si el selector esta fijado en la posición 3 o 4 el rango que va a utilizar el analizador es el mayor en uso, que en este caso seria de 3%.

<u>Posición del Rango</u>	<u>Escala</u>	
1	1%	} Cuando 2 rangos son usados
2	3%	
3	3%	} Estos dos rangos no están en uso
4	3%	
EXT		

Tabla 4.5. Posición del selector de rango con los rangos disponibles.

#### 4.2.6.5 Pantalla digital de rango (Display Range)

El display de rango muestra, al valor de un dígito, el rango que esta siendo usado por el analizador en un momento dado. Cuando se selecciona la posición de externo (EXT), el sistema elige en forma automática el rango adecuado a utilizar antes de hacer el análisis.

#### 4.2.7 Puesta en operación

Cuando se trata de una nueva puesta del equipo, después de terminada la instalación y revisión, tanto eléctrica como de tuberías, se puede conectar el analizador a la fuente de energía de 120 VAC. Es recomendable que sea a una fuente ininterrumpible de energía, para evitar que sea afectado por apagones. Una vez encendido el interruptor de arranque del analizador, se debe permitir que el instrumento alcance un nivel de calentamiento lo

suficientemente aceptable para que el equipo pueda ser calibrado, método que se describe en el subtema 4.2.9.

Las mediciones pueden iniciar después de una hora aproximadamente de haber encendido el interruptor de energía, pero en realidad toma varias horas antes de que el punto “cero” se mantenga fuera de fluctuaciones y el analizador se encuentre estable. Cuando ya ha estado en operación y después es apagado por un largo periodo, primero se debe aplicar un proceso de calentamiento lo suficientemente aceptable, para que, el sistema óptico y los ajustes electrónicos (los cuales, serán descritos más adelante) sean revisados, antes de la calibración y los ajustes por interferencia.

Este tipo de analizador, fue diseñado para un uso continuo, por lo que deben permanecer encendidos aún por las noches y otros tiempos, cuando no se estén realizando las mediciones.

#### 4.2.8 Compensación por Interferencia

Los equipos usados en los bancos de emisiones diluidas para realizar mediciones de CO (L) y NO (L), propiamente con el analizador AIA-220, necesitan ser compensados por componentes de interferencia, sin embargo, en la aplicación para analizar los niveles CO (L) y CO<sub>2</sub>, como es la consideración de este trabajo, la compensación por interferencia se realiza solo para el elemento de análisis de CO (L). Particularmente, cuando las muestras que se evalúan contienen una gran porción de componentes que provocan interferencia. En la sección 4.2.12.2, correspondiente a los ajustes del componente doble, se describe en forma detallada como se realiza el proceso de compensación. En la tabla 4.6 se observan las condiciones que se deben tomar en cuenta para realizar las pruebas de compensación por interferencia.

Componente	Gas utilizado para realizar la compensación por interferencia.
CO (L)	Utilizar CO <sub>2</sub> al 3% (aproximadamente) y pasarlo a través de burbujas de agua destilada o baja en sales minerales a temperatura ambiente.
NO (L)	Utilizar N <sub>2</sub> y pasarlo a través de burbujas de agua destilada o baja en sales minerales a una temperatura aproximada de 0°C.

Tabla 4.6 Gases utilizados para realizar la compensación por interferencia.

#### 4.2.9 Calibración

Cuando el analizador ya se encuentra dentro de un estado propio de estabilización, antes de hacer fluir el gas que ha de ser evaluado y realizar las mediciones reales, se pueden realizar los ajustes de calibración como se describe a continuación:

1. Calibración del control a un valor cero (Zero). Se debe hacer fluir el gas zero dentro del analizador aproximadamente a un flujo que este dentro de 0.5 y 10 ℓ /min, apoyándose del flujómetro de entrada y ajustando el potenciómetro del control de zero hasta que en el display se tenga una lectura de cero, lo menos fluctuante posible.
2. Calibración del control de ganancia (Span). Depende del gas de trabajo o gas de calibración, según sea el que se este utilizando en un momento dado y también de la concentración. En este punto cabe destacar que, el procedimiento debe ser realizado con un gas que cumpla con las especificaciones de calidad y lo mas cercano posible al valor del rango utilizado. Es necesario hacer fluir el gas de Span dentro del analizador aproximadamente dentro de 0.5 y 10 ℓ /min, apoyándose del flujómetro de entrada o a la misma proporción de flujo como el gas que va a ser medido, entonces, ajustar el control de Span hasta que en el display se tenga una lectura que corresponda a la concentración del gas de Span utilizado.

En uso normal, la calibración de Zero y Span se debe llevar a cabo una vez por día, también cuando el equipo debe ser revisado antes de las mediciones, cuando necesita ser particularmente exacto.

3. El sistema óptico del analizador debe ser revisado cuando el analizador es puesto en operación y encendido por primera vez, en el momento de la inspección regular y cuando es utilizado en forma intensiva durante un largo periodo de trabajo (debe realizarse aproximadamente una vez por mes). La revisión se describe con detalle más adelante, en las secciones 4.2.11, 4.2.12 y 4.2.13, correspondientes a las características y ajustes del sistema óptico.

#### 4.2.10 Ajustadores

Los elementos de ajuste que se describen en la tabla 4.7, son definidos para el sistema del amplificador del analizador de CO (L) y CO<sub>2</sub>. Las posiciones de los correspondientes ajustadores se observan para los componentes A y B, en sus respectivos canales.

		Ajustadores y correspondientes detectores		
		Componente A		Componente B
		Canal 1	Canal 2	Canal 3
Ajustador del Zero		Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
BPA ajustador		fo-1	fo-2	fo-3
Ajustador de ganancia (ajuste de Span)		G <sub>1</sub> (S <sub>1</sub> )	G <sub>2</sub> (S <sub>2</sub> )	G <sub>3</sub> (S <sub>3</sub> )
Analizador y designación del detector	AIA-220 CO(L), CO <sub>2</sub>	CO(L) Principal	CO(L) Compensación	CO <sub>2</sub> único

Tabla 4.7 Ajustadores para los componentes A y B.

#### 4.2.11 Elementos de ajuste del sistema óptico

En un analizador que utiliza el método de absorciometría infrarroja no dispersivo como el analizador AIA-220, la salida del detector esta relacionado con la diferencia de intensidad de luz entre el lado de la muestra (lado S) y el lado de la referencia (lado R) generalmente muestra las siguientes características:

Un sistema óptico para mediciones prácticas utiliza la respuesta de la región lineal como se muestra en el diagrama de la figura 4.7. Los ajustes ópticos tienen tres elementos principales que a continuación se describen, de los cuales forman parte en primer lugar, la intensidad de la luz, en segundo lugar, la correcta configuración en los ajustadores de fase, y en tercer lugar, el cambio de intensidad en ambas regiones (intensidad de luz en el lado R e intensidad de luz en el lado S), conocido como el cambio óptico.

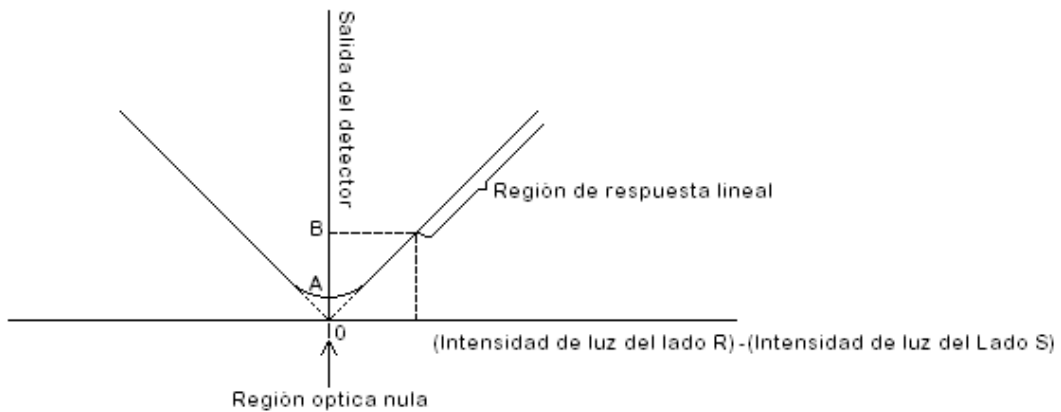


Figura 4.7 Respuesta lineal del sistema óptico.

1. Ajuste de intensidad (exceptuando el cambio óptico). Este ajuste intenta encontrar el valor más bajo a la salida del detector moviendo la perilla de ajuste de balance (llamado también obturador) para encontrar el punto A en la figura 4.7. Ese punto es el mejor balance entre la intensidad de luz del lado S y la intensidad de luz del lado R.
2. Ajuste de fase. Consiste en ajustar el eje óptico del motor chopper para encontrar la posición en ambos lados (lado S y lado R) donde exista el menor desequilibrio del detector, en la práctica eso significa, obtener el valor más bajo a la salida del detector para mejorar la relación señal a ruido (S/N).
3. Cambio óptico. Se obtiene cuando se manipula en forma adecuada la perilla de ajuste (que mueve directamente al obturador), para disminuir la intensidad del lado S o incrementar la intensidad del lado R, según se observe la respuesta, hasta obtener el valor más bajo a la salida del detector en un punto donde obtenga mejor respuesta a los cambios en intensidad de luz, puede utilizar la región de respuesta lineal (B en la figura 4.7).

Los datos en la tabla 4.8 son una guía exacta para determinar los valores correspondientes cuando el sistema óptico es ajustado apropiadamente.



		El valor mas bajo de la salida del detector	Cantidad de cambio óptica de la región óptica nula*
Componente doble (CO)	MAIN	30 % de la escala completa o menor	de 50 a 100 % de la escala completa
	COMP	60 % de la escala completa o menor	de 50 a 100 % de la escala completa
Componente sencillo (CO <sub>2</sub> )	Único	10 % de la escala completa o menor	de 20 a 100 % de la escala completa

Tabla 4.8 Consideraciones de cambio del sistema óptico.

\*Se refiere a mover la perilla de ajuste del obturador en sentido contrario a las manecillas del reloj para aumentar la lectura entre 50 y 100% de la escala completa para el componente doble, o entre 20 y 100% para el componente sencillo, y se puede observar el cambio de la lectura en el display del panel frontal.

#### 4.2.12 Revisiones del sistema óptico

En uso normal, una revisión del Zero y el Span es todo lo que se requiere para verificar el sistema óptico. Una verificación total del sistema óptico necesita realizarse bajo las siguientes circunstancias:

1. Cuando el analizador se enciende por primera vez
2. Cuando una unidad de análisis o algún componente es reemplazado
3. Cuando el control de Zero o de Span están al final de su rango de ajuste, es decir, no se alcanzan los valores permitidos aún cuando se ha llegado a tope en el control.
4. Para verificar durante un largo periodo de mediciones, que el sistema óptico esta trabajando normalmente.

Nota (1): Las siguientes revisiones pueden ser realizadas sin la necesidad de remover la cubierta del analizador, no así, la del gabinete.

Nota (2): Los ajustes solamente deben ser hechos después de que el analizador se encuentre en un estado óptimo de calentamiento (por lo menos 30 minutos después de encender el analizador). En este analizador se utiliza Nitrógeno ( $N_2$ ) como gas Zero.

#### **4.2.12.1 Para el componente sencillo**

1. Iniciar el flujo de gas Zero en un rango de 5 a 10  $\ell$ /min, apoyándose en el flujómetro de entrada, antes de iniciar las revisiones.
2. Colocar hacia OFF todos los interruptores de los ajustes ópticos (MEAS, MAIN MEAS, MAIN CHECK, COMP MEAS y COMP CHECK) y utilizar el control de Zero panel frontal para poner la lectura en el display hacia una lectura de cero.
3. Colocar el interruptor de MAIN CHECK hacia la posición ON y revisar que la indicación en el display del panel frontal este entre 30 y 100%, considerando utilizar la escala del rango 1. Posteriormente colocar el interruptor de MAIN CHECK hacia la posición OFF y el interruptor de MEAS hacia la posición ON. Introducir un flujo de gas de Span y verificar que despliegue la correcta lectura de la concentración del gas en el display.
4. Si al realizar el procedimiento del punto 3, se obtiene una lectura anormal, el sistema óptico debe ser ajustado como se describe en la parte de “ajustes ópticos” en la sección 4.2.13.
5. Ahora bien, si al realizar el procedimiento del punto 3, se obtiene una lectura normal, el analizador esta listo para ser utilizado y realizar las mediciones.

#### **4.2.12.2 Para el componente doble**

1. Introducir un flujo de gas Zero en un rango de 5 a 10  $\ell$ /min, ayudándose de l flujómetro de entrada, antes de iniciar las revisiones.

2. Colocar hacia OFF todos los interruptores de los ajustes ópticos (MEAS, MAIN MEAS, MAIN CHECK, COMP MEAS y COMP CHECK) y utilizar el control de Zero panel frontal para colocar la lectura en el display hacia una lectura de cero.
3. Cuando el interruptor de MAIN CHECK es colocado hacia la posición ON, revisar que la lectura en el display este entre 80 y 110% de la escala completa, en otras palabras, esto indica que hay un cambio óptico adecuado.
4. Colocar el interruptor de MAIN CHECK hacia OFF y el interruptor de COMP CHECK hacia ON y revisar como en el punto anterior, que la indicación se encuentre entre 80 y 110% de la escala completa, en otras palabras, esto indica también que hay un cambio óptico adecuado.
5. Colocar el interruptor de COMP CHECK hacia OFF y el interruptor de MEAS hacia ON. Posteriormente, suministrar el gas de interferencia (CO<sub>2</sub>) al analizador y revisar que la lectura este cercana al cero (dentro de la tolerancia especificada), de acuerdo a lo especificado en la tabla 4.6 de la sección 4.2.8.

Nota: El tipo y concentración del gas de interferencia utilizado para esta revisión difiere de la composición del gas de interferencia que forma parte de la muestra.

6. Si se observa una lectura anormal en el display, diferente a la descrita en el punto 3 ó 4, el sistema óptico debe ser ajustado como se describe en la sección de “ajustes ópticos”, sección 4.2.13. Por otro lado, si hay también hay una lectura anormal en el display diferente a la descrita en el paso 5, el sistema óptico debe ser ajustado de acuerdo a los “ajustes ópticos” pero para el componente doble.
7. Si la lectura en el display en los pasos 3, 4 y 5 es normal, colocar hacia OFF el interruptor de MEAS y cambiar hacia ON el interruptor de MAIN MEAS, ajustar posteriormente [Z1] (ó [Z3]) a cero, entonces colocar el interruptor de MAIN MEAS hacia OFF y cambiar hacia ON el interruptor COMP MEAS, para enseguida ajustar [Z2] (ó [Z4]) a cero.

8. Colocar hacia ON el interruptor de MEAS, y posteriormente realizar una revisión del Zero y Span, entonces el analizador esta listo para ser utilizado y hacer las mediciones, (solamente debe quedar hacia ON el interruptor de MEAS).

#### **4.2.13 Ajustes Ópticos**

Para realizar los ajustes ópticos indicados en las siguientes situaciones, es necesario remover la cubierta del gabinete del equipo.

1. Cuando son obtenidos valores anormales en el proceso de la revisión del sistema óptico.
2. Cuando en el proceso de los “ajustes ópticos”, en la parte del “componente doble” no pudieron ser completados satisfactoriamente.
3. Cuando todos o alguno de los componentes ópticos como son, la fuente de luz, las celdas o el detector han sido removidas o reemplazadas.

Nota: Los ajustes deben ser realizados solo después de que el analizador haya tenido un proceso adecuado de calentamiento (por lo menos 30 minutos después de encender el analizador). El nitrógeno (N<sub>2</sub>) debe ser utilizado como el gas para el ajuste de Zero.

##### **4.2.13.1 Del detector para el componente sencillo y principal del detector doble**

1. Proporcionar al analizador un flujo de gas cero.
2. Colocar todos los interruptores de los ajustes ópticos en la tarjeta principal hacia OFF y ajustar a un valor de cero en el display del panel frontal, utilizando el potenciómetro de control de Zero.
3. Colocar el interruptor de MAIN CHECK hacia ON, luego ajustar en la posición central el potenciómetro de control de Span del panel frontal y seleccionar el RANGO 1.

4. Remover la cubierta del gabinete y también la cubierta del elemento analizador.
5. Liberar los tornillos que fijan la posición del ajustador de balance y girar la perilla de ajuste, hasta que quede alineada con el centro del detector. La posición relativa del centro del detector debe determinarse, utilizando la partición del centro de la base del ajustador de balance como una guía, de acuerdo a la figura 4.8.
6. Girar la perilla de ajuste de balance hasta encontrar el punto donde el display muestre una mínima lectura.
7. Liberar las tuercas de seguridad en los ajustadores de fase y girar los tornillos de ajuste de fase hasta encontrar el punto donde el display despliegue una mínima lectura nuevamente.
8. Revisar que esos valores mínimos (en los pasos 6 y 7) no sean mayores que los valores especificados en la tabla 4.8.

Nota: Cuando se registre un valor muy bajo relacionado al sistema óptico, el display puede mostrar números negativos, sin embargo, esto no es anormal.

9. Después del punto 8, apriete las tuercas de seguridad en los ajustadores de fase.
10. Para el analizador con componente sencillo y detector principal del componente doble, girar el tornillo de ajuste de balance en sentido contrario a las manecillas del reloj para producir el cambio óptico aceptable, como se describe en la tabla 4.8. Posteriormente apretar los tornillos de fijación del ajuste de balance, teniendo cuidado de no afectar la posición.
11. Colocar el interruptor de MAIN CHECK hacia OFF y el interruptor de MEAS hacia ON, luego ajustar [Z1] ó [Z2] para producir una lectura de cero en el display. Para el analizador con componente doble se procede a partir del paso 13.

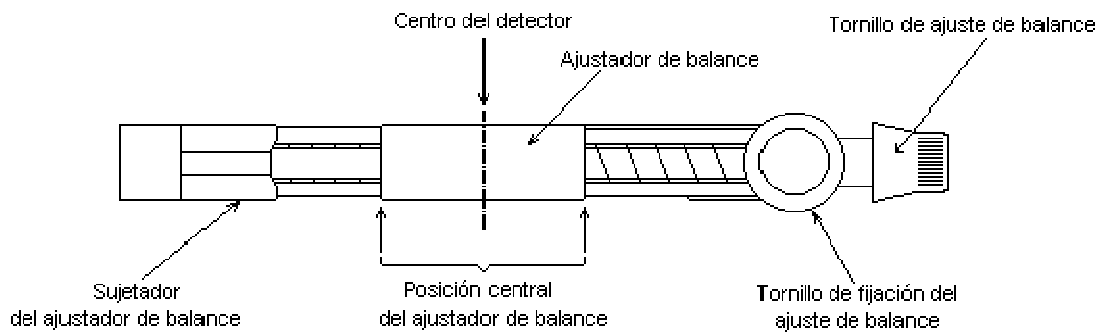


Figura 4.8 Ajustador de balance.

12. Introducir un flujo apropiado de gas de Span para el Rango 1, posteriormente ajustar S1 y obtener la correcta lectura de esa concentración de gas en el display del panel frontal. Si S1 esta al final del ajuste de rango antes de llegar a la lectura correcta, se coloca S1 en el centro de su rango y se procede al ajuste del potenciómetro GAIN 1, hasta obtener la lectura correcta. En tal situación, es necesario repetir el paso 11 y 12.

Nota: Hasta este punto se considera el final del procedimiento de ajuste para el analizador con detector sencillo. En su caso, el instrumento esta listo para ser utilizado y realizar las mediciones.

#### 4.2.13.1.1 Del detector de compensación (COMP)

13. Después del paso 11, se continúa con la realización de los ajustes ópticos para el detector de compensación.

14. Se procede a liberar los tornillos que aseguran el ajustador de balance del elemento de compensación (COMP), posteriormente se gira la perilla de ajuste de balance hasta encontrar la posición donde la lectura de salida en el display sea mínima.

15. Confirmar que el mínimo valor obtenido en el punto 14 no es más alto que el valor especificado en la tabla 4.8. Si el mínimo valor no satisface la condición de esta tabla, revisar nuevamente los ajustes en el detector principal (MAIN) y volver a realizar el

ajuste de balance para que los valores del detector principal y de compensación satisfagan los valores de la tabla 4.8.

16. Cuando los valores más bajos para el sistema óptico satisfacen los valores de la tabla 4.8, se deben girar los tornillos de ajuste del balance en sentido contrario a las manecillas del reloj para producir el cambio óptico requerido indicado en la misma tabla, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: Para los ajustes del detector principal, el interruptor de COMP CHECK se coloca hacia OFF y el interruptor de MAIN CHECK se coloca hacia ON y para los ajustes del detector de compensación, el interruptor de COMP CHECK se coloca hacia ON y el interruptor de MAIN CHECK se coloca hacia OFF.
17. Verificar que ambos detectores, el principal y el de compensación (MAIN y COMP) tengan los apropiados cambios ópticos. Finalmente se aprietan los tornillos que aseguran el ajustador de balance, teniendo cuidado de no perturbar las posiciones.
18. Cuando todos estos ajustes han sido completados, girar hacia ON solamente el interruptor de MAIN MEAS y ajustar el valor indicado a cero con los ajustadores [Z1] ó [Z3], posteriormente girar hacia ON solo el interruptor de COMP MEAS y ajustar el valor indicado a cero con los ajustadores [Z2] ó [Z4].

#### **4.2.13.1.2 Del analizador de componente doble**

19. Colocando el interruptor de MEAS hacia ON, hacer fluir el gas de interferencia (CO<sub>2</sub>) y ajustar [S2] (ó [S4]) hasta que la lectura sea cero en el medidor del panel frontal. Si no puede ser obtenido un ajuste satisfactorio con [S2] (ó [S4]), ajustar [G2] (ó [G4]). Si [G2] (ó [G4]) es ajustado, COMP ZERO debe ser reajustado como se indica en el paso 18 y es necesario repetir este paso.
20. Introducir un flujo de gas de Span y ajustar con el control de span del panel frontal, si no puede ser ajustado satisfactoriamente, colocar el control en la mitad de la posición y ajustar [S1] (ó [S3]) en la tarjeta del amplificador para una apropiada indicación, repetir los pasos 16 y 17. Si el Span no puede ser ajustado satisfactoriamente,

nuevamente poner el control de span del panel frontal a la mitad de la posición y ajustar [G1] (ó [G3]) y regresar hacia el paso 18.

21. Cuando todos estos ajustes han sido completados, iniciar un flujo de gas Zero y verificar los valores de MAIN CHECK y COMP CHECK nuevamente, tomando en cuenta los criterios establecidos en la tabla 4.8, si los valores obtenidos no se encuentran dentro de lo indicado, debe repetirse el procedimiento de “ajustes ópticos”.

22. Después de completar los pasos 1 hasta 12 en la parte del analizador de componente sencillo, o del 1 al 21 en el de componente doble, el analizador queda listo para realizar las mediciones.

#### **4.3 Ajustes en la operación y aspectos de mantenimiento**

En lo que se refiere a la manipulación del analizador AIA-220, los controles son relativamente de fácil operación en el ajuste de los valores, cuando se encuentra en el módulo de calibración o en la parte del análisis de los medidos, los cuales provienen de las bolsas de muestra. El gas utilizado para obtener la dilución de los porcentajes de concentración en el proceso de la calibración y en el ajuste de la puesta a cero en las etapas de análisis es Nitrógeno, el cual, debe ser de calidad grado Cero Emisión Vehicular. El flujo de gases se lleva a cabo por medio de la activación de las válvulas en forma automática, por medio del software en sus diferentes aplicaciones, de esta manera se puede realizar cualquier ajuste, tanto en los flujos de entrada como en la correcta posición de los controles de Zero y Span, por lo que la opción más común es la del módulo de calibración. Para el caso del gas que se utiliza como referencia, es decir, el gas de trabajo, el valor que se observa en el display debe estar asociado al valor de la etiqueta del envase, en otras palabras, el 100% de la lectura obtenido es el mismo que el del cilindro del gas, si no es así, para corregir las variaciones y obtener el valor mas cercano, se ajusta utilizando la perilla indicada como Span. Hay que considerar que depende del proveedor de las mezclas de gases, para que las diferentes concentraciones de gases de trabajo tengan variaciones en menor o mayor cantidad, en relación a los diferentes rangos de trabajo, por ejemplo, cuando el proveedor abastece un producto para el rango 2 de CO etiquetado como 500 ppm, la concentración del cilindro de gas puede



indicar 446.5, debido a la dificultad de conseguir con exactitud la concentración adecuada en el llenado de los envases. La expresión que involucra la relación de estas dos cifras sería  $446.5/500$  y el cociente de dividir las daría un resultado de 0.893, lectura que debería ser visualizada en el display, siendo este, el valor correcto para ajustar al 100% la escala para Span, respecto de ese gas de trabajo en específico. Al parecer se torna complicado tratar de asimilar el método de operación con un solo ejemplo, sin embargo, en la práctica se vuelve relativamente sencillo, agregando el hecho de estar familiarizado con el uso del equipo.

En la parte Técnica, el mantenimiento de este tipo de equipos debe ser realizado por el personal del mismo fabricante o proveedor de servicio, en la mayoría de los casos siguiendo las políticas de las compañías propietarias y para garantizar el funcionamiento correcto, sin embargo, cuando surgen situaciones de emergencia solo se cuenta con un manual muy general para corregir alguna falla, y tiene que ser resuelta casi siempre por el personal operario, ya que son los que más interactúan con el equipo, incluso el reemplazo de algunas partes funcionales. Por otro lado, es necesario realizar todos los ajustes cada vez que es reemplazado algún componente, para asegurar el correcto desempeño del equipo, es importante desarrollarlos siguiendo los procedimientos indicados por el fabricante, en cada etapa de los componentes del analizador, aplicando en algunas ocasiones los conocimientos adquiridos con la experiencia, el sentido común y en parte, hacer uso incluso de la intuición.

El componente que es más susceptible de reemplazos periódicos y que forma parte fundamental del equipo es el que se conoce como emisor de luz infrarroja, cuando esta operando en forma incorrecta, las lecturas que se despliegan en el panel frontal a través del display, son erráticas o simplemente incorrectas, también se observa que al realizar las tareas periódicas de calibración del equipo, no se logra obtener el valor correcto, aparte de que se ha llegado al final del giro en las perillas (potenciómetros) de ajuste de Zero y Span, ya sea en un sentido o en el otro. En tal caso, se hace necesaria una revisión del sistema óptico y de los detectores, tanto principal como de compensación, si al término de los ajustes no existe mejora en el desempeño, el ejercicio sirve de diagnóstico para localizar el verdadero origen de la falla. Si los resultados nos indican que se trata del emisor de luz, es necesario el reemplazo. Posterior a esta acción, debe

realizarse nuevamente, el ajuste en el sistema óptico y en el balance de los detectores. En la parte electrónica también es indispensable un reajuste como parte del proceso, ya que permite alinear el sistema amplificador de señal y corregir las desviaciones en los controles del panel frontal. En el caso de reemplazar algún otro componente, que forma parte ya sea al sistema óptico o electrónico, también es necesario el ajuste completo, el cual incluye la parte óptica y la electrónica.

Si se toma en cuenta que la operación de estos equipos es relativamente sencilla, no así la complejidad con la que están fabricados, es necesario realizar los mantenimientos periódicos establecidos y las recomendaciones del fabricante, para que con su aplicación, evitar en lo posible las fallas indeseables. Por otro lado, considerando que por recomendación del mismo fabricante, estos instrumentos deben operar en forma continua, son muy susceptibles de daños por fatiga de componentes, aquí se puede destacar, el ensamble del motor chopper, el cual, en todo momento se encuentra girando a una velocidad constante requerida para la etapa de detección. Este componente se ubica en la base del sistema detector, de primera vista es posible apreciar su movimiento quitando la cubierta del gabinete, una inspección visual puede ayudar para saber si esta operando en forma correcta, aunque también se puede determinar al momento de realizar alguna medición y no obtener ninguna lectura, ya que es una manifestación característica.

El sistema óptico es una etapa muy importante en la operación del equipo por lo que debe permanecer alineado correctamente, suele suceder que el analizador registre una lectura correcta en el ajuste de Zero y Span, pero en cambio, no realice correctamente las mediciones, es decir, emita una lectura negativa o muy deficiente en relación a la muestra real. Se trata entonces de una falla indeterminada, que pudiera estar ubicada por ejemplo, en la etapa de detección, amplificación o adecuación de la señal, sin embargo, una vez realizado el procedimiento de ajustes ópticos, en la mayoría de los casos, se ha determinado que depende solamente de un desajuste en esta parte del equipo.

Para el sistema óptico, un aspecto primordial está referido a la etapa del detector, en el cual sucede que cuando se están realizando mediciones a partir del rango 2, en el orden de las 500 ppm en adelante, es muy común que los resultados en la etapa del detector de compensación no tenga un impacto importante, debido principalmente a que

las concentraciones son muy altas, por lo que el análisis se puede realizar solo con la parte del detector principal, en caso de que la etapa de compensación se encuentre deshabilitada o dañada. La parte electrónica prácticamente no requiere de un complicado proceso de mantenimiento, en cambio, de la misma manera que el sistema óptico, requiere de ajustes cada vez que se realiza algún reemplazo de componentes. En la tarjeta electrónica principal se tienen los puntos de prueba específicos, para poder realizar las lecturas con la ayuda de un multímetro digital y destornilladores pequeños para el ajuste de potenciómetros, con los cuales se ajustan valores y controlan ganancias, teniendo en cuenta los cuidados necesarios para el sistema electrónico contra descargas eléctricas estáticas. Para realizar una calibración electrónica satisfactoria en esta parte, el manual del fabricante es de gran apoyo, en éste se indican los datos, el procedimiento y las acciones necesarias que deben realizarse, aunque también es de mucha utilidad contar con algunos conocimientos en aspectos electrónicos, considerando la naturaleza de la actividad.

En general, la operación del equipo no exige realizar tareas complejas, en cambio la parte del mantenimiento requiere de la incorporación de elementos en la capacitación y el desarrollo de conocimientos específicos, los cuales deben ser adquiridos en la práctica, mediante experiencias en las áreas del conocimiento involucradas como la electricidad, la electrónica, la neumática, la mecánica, la química y la óptica, entre otras. Los manuales que son proporcionados con los equipos de análisis cuentan con la información respectiva para realizar algunas actividades en el mantenimiento, sin embargo, existen otras tareas como el procedimiento para cambiar componentes, el cual no se especifica con detalle o simplemente no se menciona, pero deben realizarse eventualmente para la correcta operación de los equipos. Finalmente esas acciones requieren de facultades que solo pueden desarrollarse por medio de la práctica, en el mantenimiento, calibración, en las actividades propias de un laboratorio de emisiones y la operación de los diferentes equipos con que cuenta, facilitando el desarrollo de esos conocimientos necesarios.

#### **4.3.1 Procedimiento de mantenimiento preventivo y correctivo**

Con base en el procedimiento de calibración mensual para el caso del elemento de análisis para CO y bimestral para el elemento de CO<sub>2</sub>, se puede determinar la desviación

en las mediciones que puede presentar el analizador, aunque, también depende de la frecuencia de uso. El programa requerido para el mantenimiento preventivo se implementa, para evitar en lo posible las desviaciones y alguna falla del equipo, para lo cual se aplican los siguientes pasos:

1. Revisión periódica del sistema óptico en operación normal. Para realizar esta revisión es necesario desarrollar el procedimiento referido en la parte 4.2.12 y debe ser realizado cada mes.
2. En la revisión del sistema óptico se recomienda una limpieza completa del analizador con aire comprimido y libre de humedad para remover las partículas acumuladas y polvo.
3. Inspección visual de los componentes en movimiento como lo es el ensamble del motor chopper, el cual debe girar sin interferencias. También es necesaria una revisión auditiva para determinar ruidos anormales, como fatiga de componentes del motor que pueden ocasionar daños mayores, ya que es muy común que después de cierto tiempo de trabajo emita ruidos y llegue a detenerse.
4. Revisión del sistema de enfriamiento del gabinete del analizador, el cual consiste en revisar el correcto funcionamiento del ventilador del ensamble del gabinete verificando que gire libremente. Suele ocurrir que el ventilador gire con ruido excesivo debido al desgaste normal, cuando esto sucede es necesario el reemplazo antes de que deje de funcionar y derive en un problema mayor.
5. Revisión y limpieza del filtro de la entrada de la muestra de gas cada seis meses para evitar bloqueos que afecten las mediciones.
6. Dependiendo de la composición de los gases de muestra y del nivel de uso del equipo, la superficie de los elementos de análisis y las líneas de muestra pueden estar contaminadas, mostrando una desviación en las mediciones, por lo cual deben limpiarse en forma regular. Cuando el equipo se esta utilizado en forma constante se recomienda una limpieza bimestral.

Para el mantenimiento correctivo, la solución de los problemas comunes que puede presentar el equipo se resume en la tabla 4.9, como una guía general en el apoyo para resolver las fallas eventuales que afectan el funcionamiento del equipo.

Síntoma	Causa	Acción
1. Ninguna sensibilidad	a) Falla en el sistema de gases	- Inspeccionar el sistema de tuberías por fugas
	b) Falla eléctrica	- Inspeccionar los conectores de los cables - Inspeccionar que cada modulo este operando
	c) Falla en el sistema óptico	- Revisar que la fuente de luz este encendida - Revisar que el ensamble del motor chopper este funcionando - Comprobar el funcionamiento del sistema del detector
2. Ruido y fluctuaciones	a) Falla en el sistema de gases	- Inspeccionar el sistema de tuberías por fugas - Revisar el flujo de gases - Purgar la tubería (removiendo la celda del detector de medición) - Limpiar la tubería
	b) Falla eléctrica	- Inspeccionar el aislamiento y protección de los cables de señal - Inspeccionar el sistema de control de temperatura - Inspeccionar los conectores de los cables
	c) Falla en el sistema óptico	- Comprobar el apriete de todos los tornillos - Comprobar el funcionamiento del motor chopper - Comprobar el funcionamiento del sistema del detector - Revisar los ajustes ópticos
3. Poca sensibilidad	a) Falla en el sistema de gases	- Inspeccionar el sistema de tuberías por fugas - Purgar la tubería (removiendo la celda del detector de medición) - Limpiar la tubería
	b) Falla eléctrica	- Inspeccionar que cada modulo este operando - Inspeccionar el sistema de control de temperatura
	c) Falla en el sistema óptico	- Revisar los ajustes ópticos - Revisar el funcionamiento de la fuente de luz - Revisar el funcionamiento del sistema detector
4. Respuesta lenta	a) Falla en el sistema de gases	- Inspeccionar el sistema de tuberías por fugas - Revisar el flujo de gases - Purgar la tubería (removiendo la celda del detector de medición)
5. Desviación excesiva en las mediciones	a) Falla en el sistema de gases	- Inspeccionar el sistema de tuberías por fugas - Revisar el flujo de gases - Purgar la tubería (removiendo la celda del detector de medición) - Limpiar la tubería y revisar la celda de medición por contaminación
	b) Falla eléctrica	- Inspeccionar el sistema de control de temperatura - Revisar el funcionamiento de la celda de medición
	c) Falla en el sistema óptico	- Revisar el balance en la intensidad de la fuente de Luz - Revisar el funcionamiento del sistema detector
6. Excesiva lectura en las mediciones	a) Falla en el sistema de gases	- Purgar la tubería (removiendo la celda del detector de medición) - Limpiar la tubería y revisar la celda de medición por contaminación
7. Elevadas mediciones de fondo	a) Falla en el sistema de gases	- Purgar la tubería (removiendo la celda del detector de medición) - Limpiar la tubería y revisar la celda de medición por contaminación
	c) Falla en el sistema óptico	- Revisar los ajustes ópticos

Tabla 4.9 Procedimiento de mantenimiento correctivo.

## CONCLUSIONES

En los Laboratorios de Investigación sobre emisiones vehiculares, se realizan actividades que permiten el desarrollo de nuevas propuestas para beneficiar al medio ambiente, sin embargo, el trabajo que se realiza en estos Laboratorios no es suficiente si tomamos en cuenta que la cantidad de vehículos que integran el parque vehicular aumenta cada día y la falta de interés por parte de las autoridades para el apoyo en la investigación. Por otro lado, es verdad que las empresas armadoras de vehículos subsisten gracias a la venta de sus productos y son enormes corporativos que participan en la economía del país porque generan fuentes directas e indirectas de empleo; permitiendo una cifra que representa alrededor del 4.5% del producto interno bruto. Lo anterior contribuye al problema ambiental de las grandes ciudades, como lo es la ciudad de México, recayendo en el uso de vehículos que tienen varios años de antigüedad y es una cifra que inevitablemente va en aumento; parte de esta situación se debe a que los incentivos que existen en el país para adquirir un vehículo nuevo son muy pocos o inexistentes, en forma conjunta con la situación económica.

Otro papel de los Laboratorios de emisiones se orienta en realizar actividades que van involucradas directamente con la producción de vehículos, así para las armadoras, el gobierno exige el cumplimiento de una regulación de contaminantes para la venta de sus vehículos y específicamente del bióxido de carbono porque es el que contribuye directamente al problema ambiental del calentamiento global.

En la actualidad, trabajan en forma conjunta diferentes armadoras de vehículos representantes de la industria automotriz e instituciones gubernamentales para analizar a dicho problema y cada uno con sus diferentes propuestas para mejorar la situación ambiental. Las estrategias que ha utilizado el gobierno hasta ahora, recaen en regular las emisiones con la vigilancia en los certificados de homologación de las pruebas realizadas en los Laboratorios de las diferentes marcas de vehículos, en relación a las emisiones de los vehículos nuevos en la planta de producción y para los vehículos que ya están circulando, con los programas de verificación vehicular y el hoy no circula; aunque en

realidad estos métodos no han aportado el resultado deseado porque es evidente que la situación ambiental esta cada vez mas deteriorada.

El compromiso de las armadoras de vehículos es implementar en sus productos, sistemas que permitan la regulación de las emisiones contaminantes y del bióxido de carbono, sin embargo el cambio no es fácil pues los requerimientos son muy exigentes y la inversión seria cuantiosa por que implicaría cambiar la mayor parte de la línea de producción de los vehículos. La regulación de los niveles de contaminantes emitidos por los vehículos de transporte, incluidos los de transportación marítima, aérea y ferroviaria en la actualidad, está sustentado en las regulaciones de la unión europea y en las de estados unidos, lo que implica un riguroso compromiso por parte de los involucrados para obtener un mejor resultado en el proceso del cambio.

En algunos países se trabaja en proyectos para adaptar sistemas de combustible de tipo dual en motores automotrices, para que funcionen con gas natural y gasolina; tal es el caso de Venezuela, debido principalmente a la abundancia de este elemento en su territorio. Es una buena consideración para la solución ambiental, ya que es un combustible hidrocarburo que genera menor cantidad de CO<sub>2</sub>, característica con la cual los otros combustibles derivados del petróleo no cuentan. Además, utiliza menores recursos de investigación, desarrollo y las adecuaciones que se realizan a los vehículos son relativamente de bajo costo; aunque se presenta una disminución considerable en la vida útil de los motores por la naturaleza del combustible (se genera mayor temperatura en el proceso de combustión). Sin embargo, en términos generales es una buena respuesta para evitar el deterioro del medio ambiente y en parte poder competir al nivel de las regulaciones internacionales.

Por último, el compromiso de los laboratorios de emisiones vehiculares y de investigación, así como de las personas que trabajan en ellos es desarrollar pruebas confiables para obtener resultados que beneficien al medio ambiente; pero todo dependerá del correcto funcionamiento de los equipos de análisis. Cada marca de equipo analizador funciona de forma diferente y en esta tesis se trabajo con el analizador AIA-220 para medir niveles de CO y CO<sub>2</sub>; el cual funciona bajo el principio de absorciometría

infrarroja y su mantenimiento principal debe de ser realizado por el proveedor que esta certificado para garantizar el correcto funcionamiento y la vida útil del equipo. Sin embargo, en otras situaciones de menor proporción, las reparaciones y ajustes pueden realizarse por el personal calificado del laboratorio; Incluso el reemplazo de algunas partes que lo integran. Es muy importante realizar ajustes en el equipo cada vez que se reemplaza algún componente, ya que se asegura la confiabilidad de las mediciones y es necesario desarrollar bitácoras de los servicios realizados, siguiendo los procedimientos indicados por el fabricante.



## BIBLIOGRAFÍA

1. PULKRABEK, Willard W. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine  
New Jersey, United States of America, Editorial Prentice Hall, 1997.
2. CARRERAS, Ramón et al. Motores de Combustión Interna, Fundamentos  
España, Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), 1993.
3. CROUSE, William H. Motores de Automóvil, Construcción, Funcionamiento y  
Manutención. Barcelona, España, Editorial Alfa Omega Editor, 1996.
4. CROUSE, William H. Mecánica del automóvil, tomo 1. Barcelona, España, Editorial  
Marcombo Boixareu Editores, 3ª Edición, 1983.
5. BOYLESTAD, Robert y NASHELSKY, Louis. Electrónica: Teoría de Circuitos  
México, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S. A. de C. V. 6ª Edición, 1997.
6. Instrucción Manual AIA-210/220 Infrared analyzer. HORIBA Instruments Incorporated.  
USA. March 1989.
7. BIRCH, Stuart. "Diesel or gasoline hybrids?" Revista mensual automotive engineering  
international. USA. Volumen 117, Numero 4. Pp. 18-22. April 2009.
8. Hamilton Test Systems manual, USA. Pp. 35-39. November 1984.
9. SALDIVAR, Alejandro. "La cruda del crudo", La vida después del petróleo. Revista  
Trimestral Vive Prestige. México. Año 2, Numero 8. Pp. 22. Octubre 2006.
10. JUAREZ, Apolonio. "Salvemos al planeta", Calentamiento global. Revista Trimestral Vive  
Prestige. México. Año 2, Numero 8. Pp. 28-33. Octubre 2006.

## MESOGRAFÍA

1. Normativa Europea sobre emisiones. Unión Europea. Abril 2011.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Normativa\\_europea\\_sobre\\_emisiones](http://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones)
2. ARGAÑARAZ, José. Instrumentación, Elementos de S. A. D. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras. Laboratorio de Medidas Eléctricas 2. Argentina 2002.  
<http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmeii2774/docs/LME2-NC01-SAD-Ap1-transd.PDF>
3. GONZALEZ, Humberto. Clases de Ingeniería Biomédica, Clase numero 11. Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León. México.  
[http://www.angelfire.com/un/biomedicafime/CLASE\\_11.pdf](http://www.angelfire.com/un/biomedicafime/CLASE_11.pdf)
4. DE LA CRUZ, Iván, Practicas de formación profesional y enseñanzas técnicas. España.  
<http://html.rincondelvago.com/transductores.html>
5. GARCÍA, Ares, Ernesto. Instrumentación electrónica Parte II. Área de tecnología electrónica. Universidad Carlos III de Madrid, España. Octubre 2008.  
[http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/instrumentacion-electronica-i/material-de-clase-1/Tema4\\_A1.pdf](http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/instrumentacion-electronica-i/material-de-clase-1/Tema4_A1.pdf)
6. FERRERO-MARTIN, Francisco J. Amplificación de señales, Lección 7. Universidad de Oviedo. España. 2007.  
<http://www.ate.uniovi.es/5809/Lecci%C3%B3n07.pdf>
7. LANDA, Rodolfo, et al. Tendencias tecnológicas Boletín IIE, México. 1997.  
<http://www.iie.org.mx/publica/bolmj97/tenmj97.htm>
8. Astronomía educativa, Tierra y luna, La atmósfera.  
<http://www.astromia.com/tierraluna/capatmosfera.htm>

- 9.COSTA, M. et al. Ciencias de la Tierra y del medio ambiente.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Atm%C3%B3sfera\\_terrestre](http://es.wikipedia.org/wiki/Atm%C3%B3sfera_terrestre)
- 10.CDM Facultad de Ingeniería, UNAM México. Mayo 2003.  
<http://www.gc.com.mx/celdas/index.html>
- 11.OTERO, Claudio, Artículo Electrónico; “Las Celdas de Combustible”  
[http://www.claudio-otero.cl/fuel\\_cells/](http://www.claudio-otero.cl/fuel_cells/)
- 12.OCAMPO, Ana L. Boletín UNAM-DGSC-341. Ciudad Universitaria. México, Junio 2009.  
[http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009\\_341.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009_341.html)
- 13.Publicaciones del Instituto Nacional de Ecología. Programa para mejorar la calidad del Aire en la zona metropolitana del valle de México. México 2010.  
<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/394/cap4.pdf>
- 14.MORILLO, Francisco. “La crisis por partida doble: Salón del Automóvil de Detroit 2009”.  
Artículos terra. España 2009.  
<http://motor.terra.es/novedades-coches/articulo/salon-automovil-detroit-46229.htm>
- 15.Comunidad Ecotransporte, “I-Miev Vehículo Eléctrico de Mitsubishi”. Artículos Terra.org.  
Fundación Tierra, entidad no lucrativa inscrita en el Ministerio de Educación y Cultura de España. Julio 2008.  
<http://www.terra.org/articulos/art02112.html>
- 16.Boletín. Sustancias químicas, Conceptos importantes sobre sustancias y contaminantes químicos. Estrucplan consultora S. A. Argentina 2002.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=21>
- 17.Mecánica Virtual. Artículos de mecánica. “Inyección de combustible”. Mayo 2010.  
<http://www.mecanicavirtual.com.ar/search?q=inyeccion+de+combustible>

18. Links de Ingeniería Mecánica. El Pistón, Materiales de Fabricación.  
<http://campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/piston/piston.htm>
19. Economist Intelligence Unit, ¿Crisis sobre ruedas? Artículo traducido por Jorge Anaya. Desarrollo de medios S. A. de C. V. La Jornada, México. Junio 2008.  
<http://www.jornada.unam.mx/2008/06/10/index.php?section=economia&article=028n1eiu>
20. Artículo Económico, Periódico el Porvenir.mx “México aun esta lejos del consumo generalizado de autos ecológicos”. México Junio 2009.  
[http://www.elporvenir.com.mx/notas.asp?nota\\_id=314097](http://www.elporvenir.com.mx/notas.asp?nota_id=314097)
21. GALLARDO, Antonio. Ciencia y tecnología del medio ambiente, modulo II “El Aire”. Contaminación atmosférica: Aspectos generales. Universitat Jaume I. España. 2010. <http://www.emc.uji.es/persona/publicaciones/2103/65020/tema8-tr.pdf>
22. CASANOVA, Jesús. Vehículos híbridos. Innovación Tecnológica y Desarrollo Empresarial para Vehículos e Infraestructuras de Tráfico. Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. España 2009.  
<http://es.scribd.com/doc/21371580/vehiculos-hibridos>
23. Energías renovables, Artículo: “Hybrid Synergy Drive”. Abril 2011.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_Synergy\\_Drive](http://es.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Synergy_Drive)
24. Comunidad Ecotransporte. “Vehículos de Hidrógeno: generalidades”. Artículos Terra.org. Fundación Tierra, entidad no lucrativa inscrita en el Ministerio de Educación y Cultura de España. Septiembre 2003.  
<http://www.terra.org/articulos/art01264.html>
25. MENÉNDEZ, Faustino, et al. Formación superior en prevención de riesgos laborales. Condiciones de trabajo y salud, Clasificación de los contaminantes de acuerdo a su estado físico. Pp. 42-45. Editorial Lex Nova. España 2007.  
<http://books.google.com.mx/books>