

**Universidad Internacional Del Ecuador**

**Facultad de Ingeniería Automotriz**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

**Tema: “Diseño y Construcción de un opacímetro para motores Diesel”**

Andrés Iván Escobar Cervantes

Director: Msc. Andrés Castillo

Quito Enero, 2015



## CERTIFICADO

Yo, Andrés Iván Escobar Cervantes declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica, personal e intransferible.

Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la siguiente investigación serán de mi exclusiva responsabilidad.

---

Firma del Graduado

Andrés Iván Escobar Cervantes

C.I: 0603122201

Yo, Msc. Andrés Castillo, declaró que, en lo que yo personalmente conozco al señor Andrés Iván Escobar Cervantes, es autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal.

---

Firma del Director Técnico de Trabajo de Grado

Andrés Castillo Msc

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador junto con sus docentes, por darme las herramientas necesarias por poder realizar la investigación, agradezco al Ing. Andrés Castillo por la ayuda durante la elaboración de éste proyecto y hacer posible que esta tesis siga su camino y finalmente agradezco a mis padres por el apoyo económico durante mis años de estudiante en la UIDE.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mis abuelitos que están en el cielo, gracias a su ejemplo hoy conquisto otra meta en mi vida, la dedico a Dios por ayudarme a cumplir este sueño que a veces parecía inalcanzable, gracias a mis padres por su sabiduría y paciencia, a mi novia Wendy quien me ha hecho un mejor ser humano ha estado siempre a mi lado y me acompaño durante todo este camino de mi tesis, a mi hermano mi mejor amigo que está aquí en mi alma. Gracias también a mi familia que estuvo pendiente de mi aunque están un poco lejos gracias a mis profesores que me supieron guiar y encaminarme en este sendero del saber y conocimiento, quiero agradecer a mi alma mater UIDE por acogerme y darme los mejor años de vida y mi viaje a argentina

## **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN OPACIMETRO**

En cuanto a la fabricación de analizadores de gases, específicamente el opacómetro utilizado en motores Diesel, la aplicación de estas normas de calidad implica que los fabricantes aseguren las mediciones y calibración correcta del opacómetro, dependiendo del límite permitido según las leyes y regulaciones de cada país; para proveer de esta manera un instrumento dotado de gran eficacia y cuyo índice de seguridad sea alto, mientras que el de desperfecto sea nulo.

Debido a la gran tasa de vehículos con motores a diesel y su alta relación con el preocupante nivel de contaminación en el país sobre todo en la ciudad de Quito, el distrito regula dichos automotores teniendo como base una revisión periódica en cuanto a emisión de gases producidos por la combustión a diesel. Para el estudio y control de este aspecto, es necesario un instrumento analizador de gases de gran uso, denominado opacómetro, el mismo que debe contar con estándares de control nacional e internacional en cuanto a emanación y regulación de gases, que aseguren que el vehículo cumple con las normas instituidas y por tanto no causará un gran impacto ambiental.

### **Objetivos General y Específicos.**

Diseñar, construir e implementar un opacómetro utilizados en motores diesel para un correcto funcionamiento de sistemas de inyección

Experimentar una nueva tendencia a la, creación de nuevas herramientas o simuladores no solo de control de gases del vehículo, además con los diferentes sistemas que posee un vehículo, de esta manera se incentivara a la investigación para los estudiantes, porque esto también ayudara a que los estudiantes tengan una excelente preparación técnica y sea una fuente de inspiración para otras instituciones.

Incentivar la investigación en este campo, o en diferentes campos automotrices con la elaboración del primer opacímetro utilizado en maquinaria y equipo pesado, para que en el futuro algún estudiante se encuentre motivado con este tema, y pueda desarrollar un mejor sistema de análisis de gases menos complejo, de menor costo y que sea mas eficiente al propuesto.

Comprobar que con este opacímetro tendremos menos problemas al momento de realizar el mantenimiento de un motor diesel, porque al momento de su funcionamiento se puede tener daños al manipularlo y así evitar golpes o mala manipulación de datos, así de esta manera los demás estudiantes de la facultad se encuentren satisfechos al saber que cuentan con una instrucción técnica eficiente y de calidad.

Fomentar mediante la construcción del opacímetro una cultura de protección de las personas (dueños de vehículos diesel) hacia el medio ambiente no solo mediante el control adecuado de la emisión de gases, sino también se puede realizar más proyectos técnicos sobre diferentes sistemas del vehículo.

## **CONSTRUCCION AND DESIGN OPACIMETER.**

As a student at UIDE's School of Automotive Engineering I have observed the need to design and build a opacimeter , because this tool will be useful in the automotive field , will also serve as teaching material for demonstrations of the proper functioning of the motors diesel , and this opacimeter will be a small contribution to the global environmental pollution not .

My project is designed in four chapters comprising : Chapter I, Introduction, Chapter II , vehicles Diesel cycle and Pollution, Chapter III , Smoke Meter ( Design and Construction) and Chapter IV finally Result Analysis .

For the design of my opacimeter I used software Visual Basic 6.0 and Proteus program. Regarding the Hardware design, the program that I used was Autocad and main structural parts of the instrument are : gas discharge tube , plastic connector , box opacimeter and gas tube , but as most important technology components are: Transistor 2N3904 , encapsulated D- PAK and tO- 220 , Microcontroller PIC 16F877A and LCD display 128 x 64 .

My opacimeter has got features and optimal operation and efficient will allow UIDE students can use with a small margin of error and can trust their results.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Analizadores de Gases.....	2
1.2.1 Límites de emisión de gases permitidos en el Ecuador.....	3
1.2.2 Normas técnicas de los analizadores de gases en el Ecuador.....	3
1.2.3 Principio de Funcionamiento de los analizadores de gases.....	7
1.2.3.1 Medición Infrarroja no dispersiva de gases.....	7
1.2.3.1.1 Región del Infrarrojo.....	8
1.2.3.1.2 Forma de medición del Espectro infrarrojo.....	9
1.2.3.1.3 Fuentes de energía infrarrojo.....	14
1.2.3.1.4 Método de medición no dispersivo de gases.....	16
1.2.3.1.5 Herramientas utilizadas en la espectrometría infrarroja para medios no dispersivos.....	20
1.2.3.2 Célula galvánica.....	20

1.2.3.2.1 Celdas electroquímicas .....	21
1.2.3.2.2 Clases de celdas electroquímicas .....	24
1.2.3.2.3 Medición electroquímica .....	25
1.2.4 Principales componentes de los analizadores de gases.....	29
1.3 Opacidad.....	29
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>30</b>
<b>Vehículos de ciclo Diesel y Contaminación.....</b>	<b>30</b>
2.1 Combustible Diesel.....	30
2.1.1 Generalidades .....	32
2.1.2 Propiedades del Diesel.....	32
2.1.3 Costo del Diesel.....	38
2.2 Motor Diesel.....	38
2.2.1.1 Relación Aire –Combustible.....	38
2.2.2 Diferencias entre el motor diesel y motor a gasolina.....	41
2.3 Gases Contaminantes emitidos por los automotores con ciclo Diesel.....	48

2.3.1 Principales gases contaminantes del Diesel.....	48
2.3.2 Materiales particulados (MP) opacidad.....	50
2.4 Polución Atmosférica .....	52
2.4.1 Generalidades.....	53
2.4.2 Contaminación del aire por los vehículos con motores a diesel.....	54
2.4.3 Contaminación vehicular en Quito- Ecuador.....	54
CAPÍTULO III.....	54
OPACÍMETRO (Diseño y Construcción).....	55
3.1 Introducción .....	55
3.2 Partes y Características del opacímetro.....	55
3.2.1 Transistor 2N3904.....	56
3.2.2 Cristal oscilador.....	57
3.2.3 LED.....	58
3.2.4 Regulador de Voltaje 7805.....	61
3.2.5 Microcontrolador PIC16F877A.....	77
3.2.6 Pantalla Gráfica 128 x 64.....	80

3.2.7 Comunicación Serial.....	83
3.2.8 Sensor Infrarrojo Fotodiodo.....	85
3.3 Principio de Funcionamiento.....	89
3.4 Diseño del Hardware y Software.....	89
3.4.1 Diseño del Software.....	90
3.4.1.1 Diagrama de bloques.....	96
3.4.1.2 Diagramas y circuito implementados.....	98
3.4.1.3 Interfaz TTL-RS232.....	101
3.4.1.4 Circuito del microcontrolador.....	105
3.4.1.5 Software Visual Basic.....	107
3.4.2 Diseño del hardware .....	109
3.5 Requerimientos técnicos de los opacímetros utilizados en el Ecuador....	109
CAPÍTULO IV.....	109
Análisis De Resultados.....	112
4.1 Calibración, errores y exactitud de las mediciones en el opacímetro.....	112
4.1.1 Descripción del proceso de calibración.....	115

4.1.2 Exactitud de Medida.....	120
4.1.3 Errores en las mediciones.....	128
4.2 Parámetros de la Opacidad según el C.R.V.....	128
4.3 Resultados de las pruebas de campo utilizando el Opacómetro.....	129
4.4 Conclusiones y Recomendaciones.....	130
4.4.1 Conclusiones.....	131
4.4.2 Recomendaciones .....	133

## ÍNDICE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1: Rango de emisiones gaseosas para automotores de ciclo Otto.....	8
Tabla 1.2 Normas técnicas del Ecuador para los analizadores de gases.....	9
Tabla 1.3 Campos de medida.....	10
Tabla 1.4 Resolución .....	10
Tabla 1.5 Errores máximos permitidos .....	11
Tabla 2.1 Tipos de gasóleo.....	34
Tabla 2.2 Propiedades del Diesel.....	40
Tabla 2.3 Diferencias generales del motor diesel y motor a gasolina.....	60
Tabla 2.4: Cuadro comparativo del ciclo Otto y ciclo Diesel.....	62
Tabla 3.1: Especificaciones regulador 7805.....	78
Tabla 3.2: Características PIC16F877.....	86
Tabla 3.3: Descripción de los pines del microcontrolador.....	90
Tabla 3.4 Pines del LCD.....	97
Tabla 3.5: Clasificación de los sensores infrarrojos según la señal.....	103
Tabla 3.6: Componentes electrónicos y voltaje de funcionamiento.....	109

Tabla 3.7: Características opacómetro.....	119
Tabla 3.8: Requerimientos técnicos de los opacímetros utilizados en el Ecuador.....	124
Tabla 3.9: Resolución de los opacímetros .....	126
Tabla 4.1: Errores máximos del opacómetro.....	131
Tabla 4.2: Parámetros de calificación de Opacidad.....	134
Tabla 4.3 Parámetros de calificación del CO.....	136
Tabla 4.4 Parámetros de calificación del Oxígeno.....	137
Tabla 4.5 Parámetros de calificación de los Hidrocarburos.....	138

### ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1 Espectro electromagnético.....	12
Figura 1.2 Vibración de una molécula diatómica.....	15
Figura 1.3: Movimientos de vibración de las moléculas.....	17
Figura 1.4 Porcentaje de radiación que absorben ciertos gases y su relación con la longitud de onda.....	17

Figura 1.5 Perturbación sinusoidal de la onda armónica.....	19
Figura 1.6: Onda solitaria.....	20
Figura 1.7 Esquema de un analizador de tipo filtro negativo.....	22
Figura 1.8: Esquema de un analizador de tipo filtro positivo.....	23
Figura 1.9: Celda electroquímica.....	24
Figura 1.10: Celda galvánica.....	26
Figura 1.11 Celda electrolítica.....	26
Figura 1.12: Estructura del detector de oxígeno.....	27
Figura 1. 13: Estructura interna de un analizador de gases.....	30
Figura 1.14: Gases atmosféricos (opacidad).....	32
Figura 2.17: Composición de los gases de escape de un motor a Diesel.....	65
Figura 3.1: Transistor 2N3904.....	75
Figura 3.2: Cristal oscilador.....	76
Figura 3.3: Encapsulados D-PAK y TO-220.....	79
Figura 3.4 : Conexionado 7805.....	79
Figura 3.5: Conexionado y capacitores de filtro del 7805.....	80

Figura 3.6: Distribución de pines del PIC16F887.....	87
Figura 3.7: Distribución por puertos del PIC16F887.....	88
Figura 3.8: Capacidad de los pines y puertos.....	90
Figura 3.9: Arquitectura del PIC16F877.....	95
Figura 3.10: Pantalla LCD 128 X 64.....	96
Figura 3.11: Dispositivo convertidor USB-serial.....	101
Figura 3.12: Componentes del sensor activo del sensor infrarrojo.....	102
Figura 3.13: Componentes de la placa del opacímetro y pantalla LED.....	104
Figura 3.14: Esquema del funcionamiento del opacímetro.....	106
Figura 3.15: Diagrama de bloques del opacímetro Digital.....	108
Figura 3.16: Circuito esquemático de la fuente de alimentación de voltaje.....	110
Figura 3.17: Circuito esquemático del circuito de acondicionamiento para el sensor infrarrojo.....	110
Figura 3.18: Circuito esquemático de pantalla GLCD 128*64.....	112
Figura 3.19: Circuito esquemático del selector de función.....	113
Figura 3.20: Circuito esquemático del selector de función.....	114

Figura 3.21 Circuito del microcontrolador, con sus entradas y salidas respectivas.....	115
Figura3.22: Pantalla de graficación del software de adquisición.....	117
Figura 3.23: Esquema de graficación del software de adquisición.....	117
Figura 3.24: Diseño del circuito en el programa Proteus 7.8.....	118
Figura 3.25: Software de funcionamiento del LCD en programa Proteus.....	118
Figura3.26: Impresión del circuito en el programa Ares.....	119
Figura 3.27 Diseño en Autocad de la manguera de evacuación de gases.....	121
Figura 3.28: Diseño en Autocad del conector plástico.....	128
Figura 3.29: Diseño en Autocad de la caja del opacímetro.....	122
Figura 3.30: Diseño en Autocad de la tapa posterior y puerta frontal del opacímetro.....	122
Figura 3.31: Diseño en Autocad del Tubo de Gases.....	123
Figura 3.31: Diseño en 3D de la estructura final del opacímetro en Autocad..	123
Figura 4.1: Vehículo 1 de prueba campo.....	140
Figura 4.2: Vehículo 2 de prueba de campo.....	141
Figura 4.3: Vehículo 3 de prueba de campo.....	142

Figura 4.4: Vehículo 4 de prueba de campo.....	142
Figura 4.5: Vehículo 5 de prueba de campo.....	143
Figura 4.6: Vehículo 6 de Prueba de campo.....	144
Figura 4.7: Vehículo 7 de Prueba de campo.....	144
Vehículo 4.8: Vehículo 8 de Prueba de campo.....	145
Figura 4.9: Vehículo 9 de la Prueba de campo.....	146
Figura 4.10: Vehículo 10 de Prueba de campo.....	146

# CAPÍTULO I

## 1.1 Introducción

Los sistemas de inyección diesel han tomado mucha fuerza principalmente en nuestro país que está creciendo por lo cual existe una gran demanda de equipo caminero pesado y tracto mulas ya que datos estadísticos dicen que a nivel mundial el 65% del Transporte tienen un sistema de inyección a diesel los cuales necesitan de un aire limpio para un mejor rendimiento y eficiencia del sistema de inyección diesel y la bomba de combustible del mismo; para así de esta manera tener un menor consumo, menor contaminación ambiental, tomando en cuenta que los usuarios y compradores de autos siempre piden mayor eficiencia en sus vehículos de trabajo.

Como no existe un instrumento electrónico que mida las impurezas del diesel en nuestro país que esté de acuerdo a la opacidad y calidad del diesel en los estándares mundiales, la siguiente investigación y proyecto tiene como fin analizar el nivel de polución a través de un opacímetro y construir el mismo, para permitir el correcto proceso de funcionamiento sobre los filtros de aire y combustible, como también en las trampas de aire, en nuestro entorno este proyecto va enfocado a tomar otra alternativa para su análisis de polución en los motores diesel en el Distrito Metropolitano de Quito.

Como estudiante de la Facultad de Ingeniería Automotriz de la UIDE, he observado la necesidad de diseñar y construir un opacímetro, ya que esta herramienta será de gran utilidad dentro del campo automotriz, también servirá como material didáctico para

demostraciones del correcto funcionamiento de los motores de diesel, además este opacímetro será un pequeño aporte hacia la no contaminación ambiental del planeta.

En los Centros de Revisión Técnica Vehicular, los valores de los niveles de emisiones contaminantes son un factor determinante para la aprobación del vehículo, por lo cual los equipos usados en éstas mediciones deben estar en óptimas condiciones de trabajo y con una alta confiabilidad para lo cual deben cumplir un estricto mantenimiento preventivo y una calibración adecuada.

## **1.2 Analizadores de gases**

La concentración de los gases producto de la combustión de los motores de ciclo Otto se puede determinar con los analizadores de gases, éste es un equipo que mide la concentración de cinco gases como son: CO, CO<sub>2</sub>, HC, basado en el principio de medición infrarroja no dispersiva de gases, además de NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> basado en la medición electroquímica. (HOBARD,1978)

Los analizadores de gases son básicamente dispositivos ópticos/químicos que miden la concentración de gases en base a una muestra de gases tomado directamente del tubo de escape y llevado hacia el aparato medidor, haciéndolo circular por una celda de rayos infrarrojos y por una celda electroquímica que analiza la muestra y mide el contenido de cada componente, indicándolo en el monitor de un PC conectado al equipo.

### 1.2.1 Límites de emisión de gases permitidos en el Ecuador

El rango de emisiones gaseosas para los vehículos de ciclo Otto está dado por la norma NTE INEN 2 204 Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

La mencionada norma establece lo siguiente: Toda fuente móvil con motor de gasolina durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la siguiente tabla:

*Tabla 1.1: Rango de emisiones gaseosas para automotores de ciclo Otto*

Año modelo	% CO		ppm HC	
	0 -1500	1500 – 3000	0 – 1500	1500 – 3000
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

**Fuente:** NTE INEN 2349. Revisión técnica vehicular. Procedimientos

### 1.2.2 Normas técnicas de los analizadores de gases en el Ecuador

En nuestro país todos los analizadores de gases necesitan cumplir con ciertas normas o estatutos, para que puedan medir la concentración de emisiones gaseosas de los vehículos, estas se encuentran detalladas en la norma INEN 2349; en la que se indica lo siguiente:

- ✓ En cuanto a analizador de gases: Analizador de 4 gases, con capacidad de actualización a 5 gases mediante la habilitación del canal de NOx, con las siguientes características técnicas:

Tabla 1.2 Normas técnicas del Ecuador para los opacímetros

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES - Requerimientos</b>		
Capacidad de medición y reporte automáticos de la concentración en volumen de CO, CO <sub>2</sub> , HC y O <sub>2</sub> , en los gases emitidos por el tubo de escape de vehículos equipados con motores ciclo Otto de 4 tiempos alimentados por gasolina, GLP o GNC. Cumplirán con lo indicado en la Recomendación Internacional OIML R 99 (clase 1) / ISO 3930 y la NTE INEN 2203, lo que será demostrado mediante certificación del fabricante.		
<b>ESPECIFICACIONES ADICIONALES - Requerimientos</b>		
Capacidad de medición y reporte automáticos de la velocidad de giro del motor en RPM, factor lambda (calculado mediante la fórmula de Bret Shneider) y temperatura de aceite. La captación de RPM no tendrá limitaciones respecto del sistema de encendido del motor, sea este convencional (ruptor y condensador), electrónico, DIS, EDIS; bobina independiente, descarga capacitiva u otro.		
<b>RANGOS DE MEDICIÓN - Requerimientos</b>		
	Variable	Rango de medición
	Monóxido de carbono (CO)	0-10%
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0-16%
	Oxígeno	0-21%
	Hidrocarburos no combustionados	0-5000 rpm
	Velocidad de giro del motor	0-10000 rpm
	Temperatura de aceite	0-150 °C
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE FUNCIONAMIENTO - Requerimientos</b>		
	Variable	Rango de medición
	Factor Lambda	0-2
	Temperatura	5-40 °C
	Humedad relativa	0-90%
	Altitud	Hasta 3000msnm
	Presión	500-760 mm Hg

<b>AJUSTE - Requerimientos</b>
Automático, mediante una mezcla certificada de gases.
<b>SISTEMA DE TOMA DE MUESTRA - Requerimientos</b>
La toma de muestra se realizará mediante una sonda flexible a ser insertada en la parte final del tubo de escape.

Fuente: NTE INEN 2349. Revisión técnica vehicular. Procedimientos

Además de las características generales de los analizadores de gases citadas en esta norma INEN; los analizadores de gases deben cumplir con lo indicado en la Recomendación Internacional OIML R99 (clase I) e ISO 3930; los ítems de interés que señalan estas normas son las siguientes:

- *Campo de medida:*

Según su clase:

*Tabla 1.3 Campos de medida*

<b>Gas</b>	<b>Clase 0-1</b>	<b>Clase II</b>
<b>CO (% vol)</b>	<b>0 – 5</b>	<b>0 – 7</b>
<b>CO2 (% vol)</b>	<b>0 – 16</b>	<b>0 – 16</b>
<b>O2 (% vol)</b>	<b>0- 21</b>	<b>0 – 21</b>
<b>HC (ppm vol)</b>	<b>0 – 2000</b>	<b>0 – 2000</b>

**Fuente:** Norma ISO 3930. Instruments for measuring vehicle exhaust emissions.

- *Resolución*

Según la clase:

Tabla 1.4 Resolución

Gas	Clase 0-1	Clase II
CO (% vol)	0,01	0 – 7
CO2 (% vol)	0,1	0 – 16
O2 (% vol)	0,02 ≤ 4% vol ; 0,1 4 > % vol	0 – 21
HC (ppm vol)	0 – 2000	0 – 2000

**Fuente:** Norma ISO 3930. Instruments for measuring vehicle exhaust emissions.

- Errores máximos permitidos (periódica)

Según la clase:

Tabla 1.5 Errores máximos permitidos

Gas	% Clase 0-1		% Clase II		% Clase III	
	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
CO (% vol)	± 0,03	± 5%	± 0,06	± 5%	± 0,2	± 10 %
CO2 (% vol)	± 0,5	± 5%	± 0,5	± 5%	± 0,1	± 10 %
O2 (% vol)	± 0,1	± 5%	± 0,1	± 5%	± 0,2	± 10 %
HC (ppm vol)	± 10	± 5%	± 12	± 5%	± 30	± 10 %

**Fuente:** Norma ISO 3930. Instruments for measuring vehicle exhaust emissions.

### 1.2.3 Principio de funcionamiento de los analizadores de gases

El principio que utilizan los analizadores de gases para su correcto funcionamiento se denomina: “NDIR” (por sus siglas en inglés y que al español significa medición infrarroja no dispersiva de gases) y que se utiliza en los compuestos como: monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO<sub>2</sub> e hidrocarburos HC; el otro medio de funcionamiento es la célula galvánica que sirve para oxígeno libre O<sub>2</sub>.

#### 1.2.3.1 Medición infrarroja no dispersiva de gases (NDIR)

La medición infrarroja se realiza mediante detectores infrarrojos, los que están basados en la espectroscopia infrarroja. La fuente primaria de la radiación infrarroja es el calor o radiación térmica. Cualquier objeto que tenga una temperatura superior al cero absoluto (-273,15 °C, o 0° K), irradia ondas en la banda infrarroja, Por lo que una imagen infrarroja brinda información que no se puede obtener a través de una imagen de luz visible. (MORCILLO,1978)

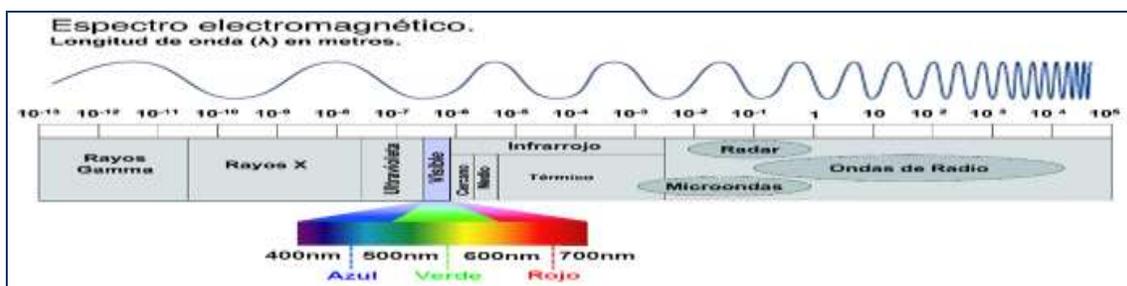


Figura 1.1 Espectro electromagnético

**Fuente:** mauricio1949.blogspot.com

### 1.2.3.1.1 Región del infrarrojo

La radiación infrarroja al igual que cualquiera de las diferentes radiaciones electromagnética, es un movimiento ondulatorio, y que puede presenta dos constantes o características: frecuencia de oscilación (f), o una longitud de onda ( $\lambda$ ), ambas relacionadas por medio de la siguiente ecuación:

$$f \times \lambda = c$$

*C = Velocidad de propagación de la fuerza electromagnética*

Los valores de la frecuencia de radiación infrarroja son demasiado altos, por tal motivo para su determinación se usa el número de ondas ( $\nu$ ) expresados en  $\text{cm}^{-1}$ , que equivale al el inverso de la longitud de onda  $\lambda$  expresado en cm. esto se explica en la siguiente ecuación:

$$\nu(\text{cm}^{-1}) = \frac{1}{\lambda(\text{cm})} = \frac{10^4}{\lambda(\mu\text{m})}$$
$$\nu = \frac{f}{c}$$

Según MORCILLO, En el espectro electromagnético se pueden observar que la ubicación del espectro de la radiación infrarroja, se encuentra entre el espectro visible y las ondas microondas. Con esto se define que las ondas infrarrojas tienen longitudes de onda más largas que la luz visible y longitudes de onda más cortas que las de microondas; y también frecuencias mayores que las de microondas y menores que las de la luz visible.

Los límites de la radiación infrarroja por lo general se los suele considerar como la zona entre las longitudes de onda 0.75 y 1000  $\mu\text{m}$ , y que pertenece a los números de onda 13333 y 10  $\text{cm}^{-1}$ . Esta zona de la radiación del infrarrojo a su vez se la subdivide en otras tres regiones, según su relación con el espectro visible, y que son:

- ✓ Infrarrojo lejano  $\rightarrow$  corresponde a la región comprendida entre 25 y 100  $\mu\text{m}$  y que equivale a 40- 10  $\text{cm}^{-1}$ . Se la puede utilizar para espectroscopia rotacional.
- ✓ Infrarrojo medio o fundamental  $\rightarrow$  se refiere a la zona entendida entre los 2.5 y 25  $\mu\text{m}$  y que equivale a 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$ , se denomina también a esta zona como *infrarrojo de prisma*, en esta región aparecen las bandas de absorción las cuales son provocadas por las vibraciones fundamentales de las moléculas, a causa de este motivo, esta es la zona más importante del infrarrojo.
- ✓ Infrarrojo cercano o próximo  $\rightarrow$  representa a la región ubicada entre los 25 y 100  $\mu\text{m}$  y que corresponde a 13333 – 4000  $\text{cm}^{-1}$

#### 1.2.3.1.2 Forma de medición del espectro infrarrojo

Las moléculas no son unas estructuras rígida, al contrario, los átomos que la componen pueden tener movimientos de oscilación o de vibración de forma constante dentro de pequeños rangos, 0.01-0.1  $\text{Å}^\circ$ .

El principal mecanismo o principio de medición del infrarrojo es la absorción; ocurre de la siguiente manera: cuando se ilumina a un conjunto de moléculas que presentan una radiación infrarroja de frecuencia adecuada, se produce una absorción por las moléculas de la energía. El registro gráfico del porcentaje de la radiación absorbida por una sustancia, en relación a la frecuencia de radiación infrarroja incidente o de la longitud de onda, es lo que se denomina espectro infrarrojo, el cual está ligado a las vibraciones moleculares.

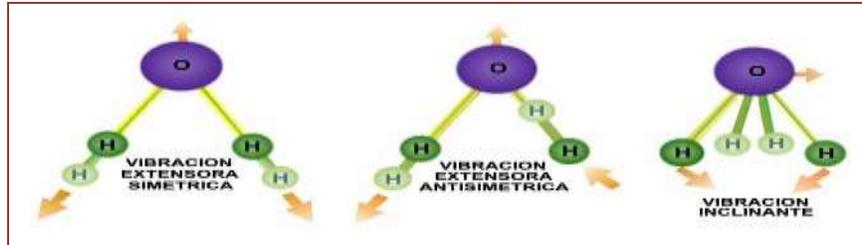
La banda de absorción se refiere a la zona del espectro en donde aparece una absorción de radiación.

Para que se entienda la forma de absorción de la radiación se utiliza a una molécula diatómica, la que se asemeja enormemente a un sistema mecánico formado por dos masas articuladas por un muelle elástico.

La electronegatividad de los dos átomos que constituyen a la molécula diatómica es diferente, a causa de esto los electrones no se encuentran distribuidos de forma simétrica en comparación al centro de enlace, sino que están desplazados hacia el átomo más electronegativo, esto produce un momento dipolar; lo que significa que cuando vibra la molécula, sus átomos se separan y acercan periódicamente, es decir que la molécula vibrará según la energía que se le proporcione a partir de la luz infrarroja.

La distancia de enlace debe ser directamente proporcional con la distribución electrónica, por tanto, cuando cambia la distancia de enlace también cambiara la distribución electrónica y esto variará el momento dipolar de la molécula. Es obvio que

cuando estas dos variables se encuentran a una misma distancia, el valor del momento dipolar será igual, por lo que, al vibrar la molécula, el cambio del valor del momento dipolar en relación al tiempo será periódico, elíptico, y con la misma frecuencia que la de vibración.



*Figura 1.2 Vibración de una molécula diatómica*

**Fuente:** [www.creces.cl/movimientos-de-vibración-molécula-diatomica](http://www.creces.cl/movimientos-de-vibración-molécula-diatomica)

Cuando una molécula diatómica heteronuclear produce un movimiento de vibración, esto va acompañado, de un momento eléctrico dipolar alternante, que como explica la teoría electromagnética, éste emitirá radiación electromagnética que posea la misma frecuencia que la de vibración.

De forma semejante una molécula puede absorber energía siempre y cuando se exponga a radiación electromagnética cuya frecuencia sea equivalente a la de la propia frecuencia de vibración; cuando estos acontecimientos ocurren el campo eléctrico oscilante de la radiación hace vibrar el momento eléctrico dipolar de la molécula y se presentara un espectro infrarrojo característico propio de cada molécula.

Cuando los 2 átomos de las moléculas diatómicas son iguales, es decir son homonucleares, estos no tienen momento dipolar porque al ser iguales los dos átomos la

distribución electrónica de estos es simétrica y equivale a un momento dipolar igual a cero; esta es la causa de que el O<sub>2</sub> no se mide por infrarrojo.

Existen diversos tipos de vibración de las moléculas estos son: vibraciones de flexión y de tensión cada uno de los cuales con sus variantes correspondientes (Fig. 1.3). Cuando esta variedad de vibraciones ocurren de forma simultánea, se produce un espectro de absorción característico de los grupos funcionales que integran a la molécula y la configuración de esta.

Cuando se trata de explicar un espectro es factible determinar que grupos funcionales están presentes, y establecer su concentración por comparación.



Figura 1.3: Movimientos de vibración de las moléculas

**Fuente:** <http://www.ehu.es/imacris/pie06/web/>

Al analizar cuáles son las longitudes de onda que en la zona infrarroja absorben a una sustancia, se llega a obtener la información relacionada a las moléculas que constituyen a dicha sustancia mencionada.

Las moléculas heteroatómicas, por ejemplo: CO y CO<sub>2</sub> (gases emanados por los vehículos), presentan un espectro de absorción característico en el intervalo de radiación infrarrojo.

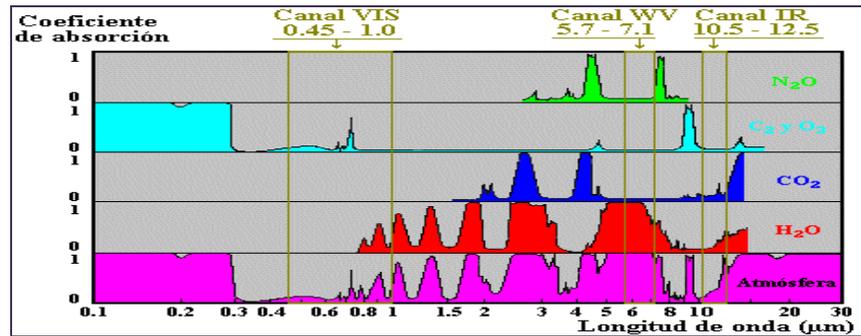


Figura 1.4 Porcentaje de radiación que absorben ciertos gases y su relación con la longitud de onda.

Fuente: <http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta24/vademecum12/vdm031.htm>

### 1.2.3.1.3 Fuentes de energía infrarroja

En relación a la herramienta que proporciona la fuente de energía infrarroja, debe constar de: una fuente de radiación infrarroja continua que consiste en un cuerpo inerte, el mismo que se calienta eléctricamente a una temperatura que oscila entre los 1.500 y 2.200 grados Kelvin (°K). Entre las fuentes de radiación infrarroja se pueden citar las siguientes:

1) Emisor de Nernst → compuesto por óxidos de tierras raras, que forman un cilindro con diámetro de 1 a 2 mm y una longitud de 20 mm. En los extremos del cilindro hay cables de platino que provocan la conexión eléctrica. Al pasar la corriente por este dispositivo se puede lograr temperaturas entre 1200 y 2200 °K. También está constituido

por una varilla que contiene una mezcla de óxido de circonio, óxido de itrio y óxido de erbio.

2) Fuente global → compuesta por una varilla de carburo de silicio.

3) Fuente de filamento incandescente → constituida por alambre de níquel cobre.

4) Fuente de arco de mercurio → se utiliza especialmente para infrarrojo lejano ( $\lambda > 50 \mu\text{m}$ ).

5) Lámpara de filamento de tungsteno → principalmente útil para infrarrojo cercano.

6) Fuente láser de CO<sub>2</sub> → produce banda en el intervalo de 11 a 9  $\mu\text{m}$ .

#### 1.2.3.1.3 Método de medición no dispersivo de gases

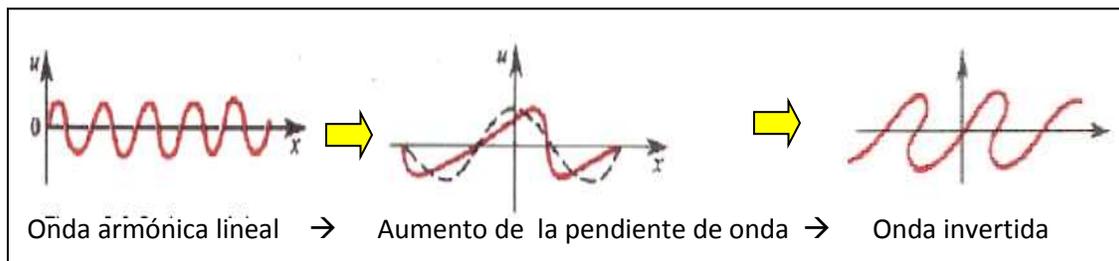
La velocidad de las ondas normalmente dependerá de las características propias del medio en el que estas se propagan, de tal manera cuando la velocidad de propagación de las ondas es igual para todas las frecuencias se sabe entonces que el medio es no dispersivo para dichas ondas, lo que quiere decir que las características de los procesos ondulatorios dependen sobre todo de si el medio presenta o no dispersión.

Se entiende por tanto a la dispersión como la dependencia entre la longitud o frecuencia de la onda y su velocidad de fase. Si no existe relación entre estos, es decir, si es que la velocidad de fase no depende de la frecuencia de las vibraciones, al medio se le llamará entonces no dispersivo.

Cuando en los medios no dispersivos se propaga perturbaciones armónicas sinusoidales de amplitud finita -como ocurre en el caso del espectro electromagnético- tiene

lugar la producción de armónicos de clase superior. Ya que en estos medios la dispersión es nula, todas estas ondas se propagan a una misma velocidad y durante mucho tiempo pueden estar interactuando entre ellas. A causa de esto, es factible la transferencia de energía de unos a otros armónicos.

El resultado de esto es que la perturbación sinusoidal inicial se deforma de modo que el perfil de esta se hace más grueso y enseguida la onda se invierte. Gráficamente se explica en la siguiente figura:

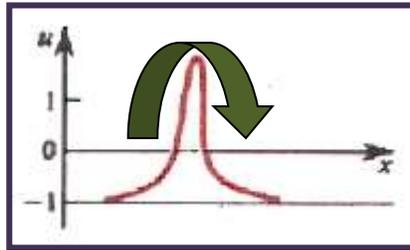


*Figura 1.5 Perturbación sinusoidal de la onda armónica<sup>9</sup>*

**Fuente:** [enebro.pntic.mec.es](http://enebro.pntic.mec.es)

Por el contrario en los medios que si son dispersivos, la velocidad de la fase de ondas es diferente y por tanto se generan armónicos gracias a los efectos no lineales, estos al propagarse por el medio lo harán a diferentes velocidades y esto permitiría que antes de que la onda se invierta pueda dividirse, produciendo “trenes de ondas” que se encuentran separados. La amplitud de la onda determinara en gran porcentaje el carácter del proceso ondulatorio no lineal en un medio dispersivo; cuando la amplitud de la onda es pequeña, la onda será armónica.

En la onda que si es lineal, aunque se aumente cierto porcentaje a la amplitud esta seguirá siendo periódica, pero se podrá observar ciertos detalles no lineales, al final cuando la amplitud aumente hasta alcanzar cierto valor límite se produce la conocida onda solitaria.



*Figura 1.6: Onda solitaria*

**Fuente:** [bibliotecadigital.ilce.edu.mx](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx)

1.2.3.1.4 Herramientas utilizadas en la espectrometría infrarroja para medios no dispersivos: Los implementos utilizados para este fin, corresponden principalmente a instrumentos que no permiten la dispersión; los cuales son: filtros de interferencia, fuentes de láser sintonizable o un interferómetro (espectrometría infrarroja transformada de Fourier), que sirven para poder aislar a la longitud de onda deseada.

A través de la muestra se debe hacer pasar la radiación total de la fuente infrarroja, todo esto con el fin de poder conseguir la mayor potencia de señal.

Aunque estos analizadores tienen un sistema óptico simple, solo con cargar con la forma pura del gas que se está determinando –por ejemplo CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>- a una o a las dos

celdas del detector, éstos analizadores proporcionarán un gran poder de resolución y una alta sensibilidad.

Las 2 técnicas diferentes de detección que puede utilizar un analizador no dispersante son de tipo filtro negativo o positivo

*El tipo de filtro negativo*, funciona de la siguiente manera: una fuente infrarroja emite la radiación a través de la cámara de muestra y a continuación una de las dos celdas se llena con el componente A, que es la forma pura del gas analizado, mientras que la otra celda se llena con un gas no absorbente. El primero absorbe toda la radiación del haz (lo cual es característica propia del componente A) y el detector térmico de la celda registra la elevación de temperatura. Por el contrario cuando la radiación pasa a través de una corriente de gas en la celda que no contiene al componente A, el detector no absorbe energía radiante. La principal diferencia de las dos señales es la lectura de 0%. Pero cuando la corriente de proceso tiene alguna cantidad de componente A, en la celda de la muestra se absorbe una cantidad proporcional de radiación pero que no llega a los detectores de esta celda; esta absorción disminuye la señal del detector que está lleno del componente A, pero no ocurre ningún cambio en la señal del otro detector.

De esta manera, en cuanto más se aproxime a 100% la concentración del componente A en la corriente de proceso, la diferencia de señales también se aproximara más a cero.

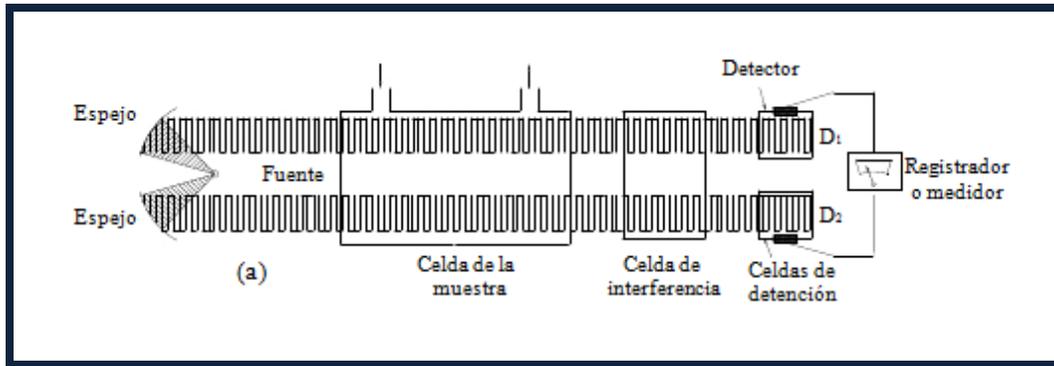


Figura 1.7 Esquema de un analizador de tipo filtro negativo

**Fuente:** rabfis15.uco.es

En la medición de tipo filtro positivo el haz de radiación emitido por la fuente infrarroja se divide en dos haces paralelos. Uno de estos haces pasa por la celda de referencia y el otro por la celda de muestra.

Lo que difiere también del anterior tipo de medición es que en éste, cada lector está lleno con la forma pura del gas que se está determinado (componente A). Cuando algo de este gas está presente en el haz de la muestra, el detector correspondiente recibe menos energía de radiación en una cantidad igual a la absorbida por el componente de la muestra y a su longitud de onda característica. La diferencia de señales de los dos detectores está determinada por la concentración del absorbente.

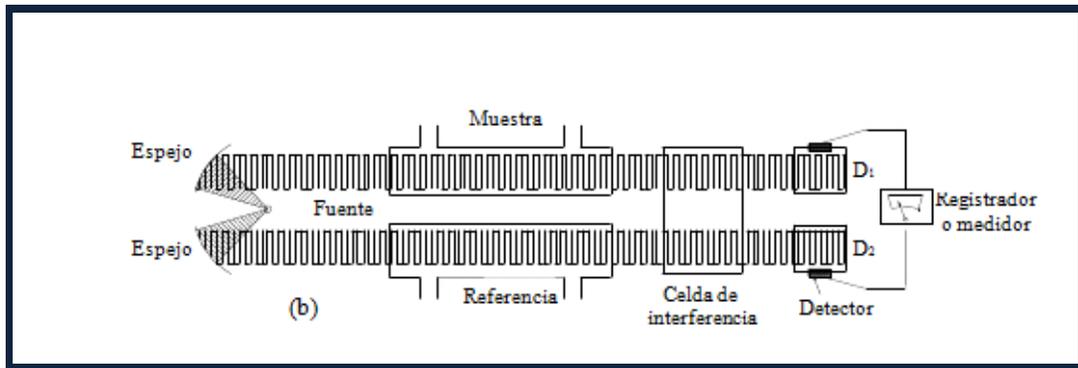


Figura 1.8: Esquema de un analizador de tipo filtro positivo

**Fuente:** [www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es)

De estos dos tipos de analizadores el más utilizado es el de tipo de filtro positivo, debido a que absorbe energía solo en la zona específica para la que está capacitado; mientras que el de filtraje negativo absorbe todas las radiaciones en la zona seleccionada antes de que alcancen el detector.

En relación a lo que compete con los sensores, a éstos se los puede ajustar para cualquier tipo de gas que tenga la capacidad de absorber radiación infrarroja; principalmente se los suele regular para detectar con precisión CO, CO<sub>2</sub>, moléculas de hidrocarburos, y para ignorar a todos los demás gases combustibles que no pertenezcan a los hidrocarburos. De esta manera los sensores presentan sensibilidad cruzada mínima (denominada también selectividad que se la puede calcular midiendo la concentración de un gas de referencia que provoque una respuesta equivalente a la que resulta con una concentración dada del gas sensado. Esta propiedad es de importancia en los procesos industriales donde se utilizan múltiples gases, ya que la posibilidad de repetir la medición y la confiabilidad de los resultados están reducidas por la sensibilidad cruzada) y son

impermeables a la contaminación por otros gases o por concentraciones altas del gas que se desea medir.

### 1.2.3.2 Célula galvánica

Sirve principalmente para determinar la concentración del oxígeno, el principio utilizado para esta función es la medición electroquímica.

#### 1.2.3.2.1 Celdas electroquímicas

En cada una de las celdas electroquímicas están presentes dos electrodos que pueden ser de iguales o de diferentes metales, colocados dentro de electrolitos similares o diferentes. Si es que tanto los metales y/o los electrolitos no son los mismos, la mezcla de las soluciones se imposibilita mediante un diafragma de material poroso.

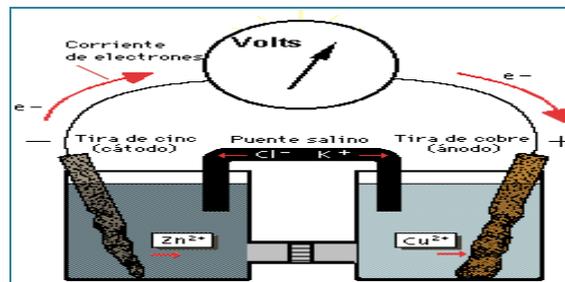


Figura 1.9: Celda electroquímica

**Fuente:** [www.fisicanet.com.ar](http://www.fisicanet.com.ar)

Como se puede ver en la Figura 1.9, los electrodos se encuentran conectados a un aparato eléctrico, con el que la celda puede intercambiar energía eléctrica, la cual se puede consumir o liberar a través de reacciones que involucran la transferencia de cargas en los electrodos. Los electrones son proporcionados por el ánodo en donde se produce la oxidación, y son consumidos en el cátodo, donde se produce la reacción de reducción.

En los electrolitos por lo general nunca se hallan electrones y la electricidad se moviliza a través de la celda mediante migración de iones. De esta manera los iones positivos emigran hacia el lado del electrodo negativo y los iones negativos migran hacia el del electrodo positivo. El movimiento de migración de los iones es permitido gracias a la placa que separa los electrolitos debido a que el diámetro que tienen los poros de la placa son es mucho mayores que las dimensiones de los iones.

#### 1.2.3.2.2 Clases de celdas electroquímicas

Las celdas electroquímicas presentan dos variedades: la electrolítica y la galvánica o también llamada voltaica. En lo que respecta a la *celda galvánica* ésta consta de dos electrodos y en una o más soluciones y tiene la capacidad de convertir naturalmente la energía química en energía eléctrica y proporcionar a una fuente externa de ésta energía. En las celdas de este tipo se produce una reacción química, en la que existe oxidación de uno de los electrodos y en el otro una reducción.

En la reacción de oxidación los electrones se emanan y son transferidos hacia la superficie del electrodo, posteriormente pasan a través del circuito externo, y regresan enseguida al otro electrodo, en el cual se realiza el proceso de reducción. Si se termina uno de los componentes químicos que permiten la realización de estas reacciones, la celda ya no es capaz de proporcionar energía eléctrica a la fuente externa y se denomina entonces a ésta como “celda muerta”.

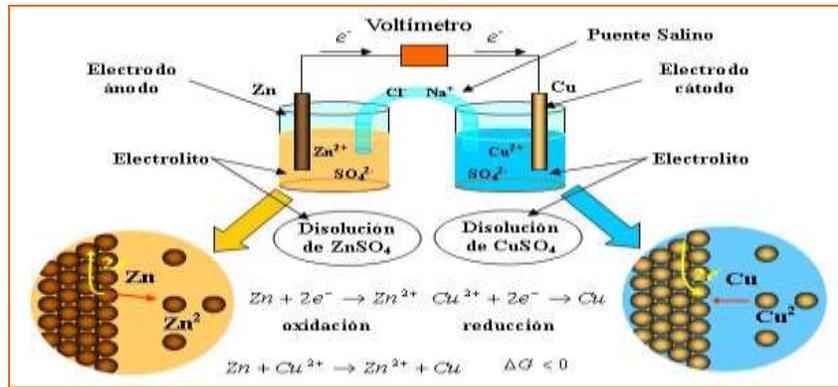


Figura 1.10: Celda galvánica

**Fuente:** corinto.pucp.edu.pe

Se nombra celda electrolítica cuando (a diferencia de la celda galvánica) a partir de una fuente externa se proporciona la energía eléctrica y a través de esta celda fluye la corriente de energía. En las interfaces en que existe solución y electrodo, se ocasionan cambios electroquímicos y en todo el sistema se pueden registrar cambios de la concentración.

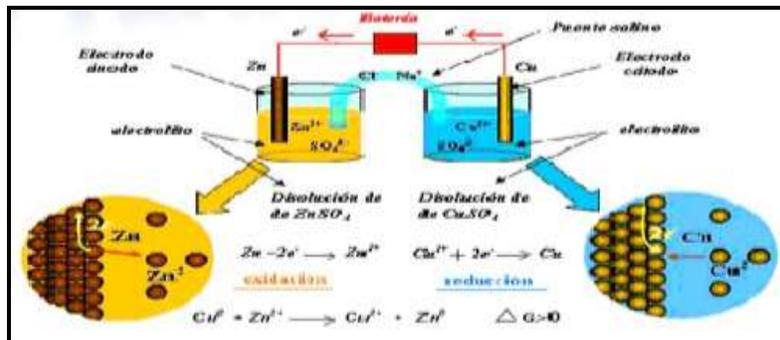


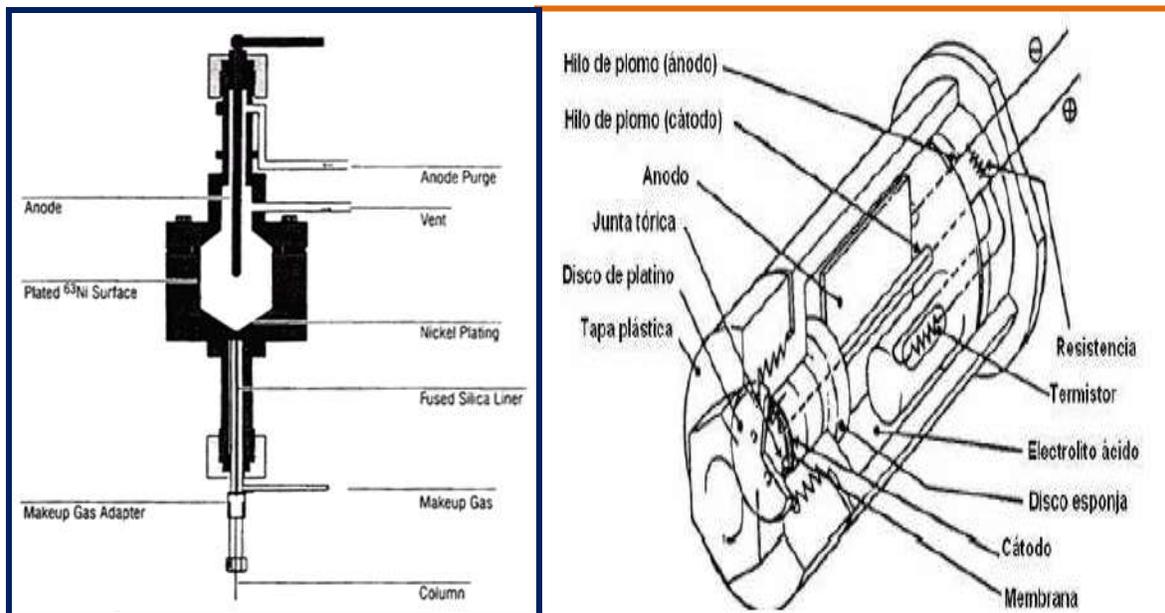
Figura 1.11 Celda electrolítica

**Fuente:** celdaselectroquimicas09.blogspot.com

### 1.2.3.2.3 Medición electroquímica

El principio de uso de la celda galvánica se utiliza para poder determinar la concentración de O<sub>2</sub>. La célula galvánica posee un sensor el cual consiste en un dispositivo conformado por dos electrodos, cada uno de los cuales contienen un electrolito absorbente. Cuando existe la presencia de oxígeno se produce una reacción electroquímica entre los electrodos, que asemeja el funcionamiento de una pila de combustión de hidrogeno /oxígeno. El resultado es la producción de una corriente eléctrica, que es proporcional a la concentración del oxígeno existente.

El diseño de las celdas galvánicas está perfectamente especificado para detectar concentraciones de oxígeno sin que exista sensibilidad cruzada en relación con otros gases.



*Figura 1.12: Estructura del detector de oxígeno*

**Fuente:** [www.ealuro.com](http://www.ealuro.com)

Para la detección de oxígeno las reacciones electroquímicas son las siguientes:



La corriente eléctrica entre los electrodos es proporcional a la concentración de O<sub>2</sub> de la mezcla de gas que se va a medir. Las señales se miden como tensiones de terminales de la resistencia y el termistor para compensación de la temperatura. El cambio de las tensiones de salida del detector representa la concentración de oxígeno.

Por lo regular el ánodo de forma continua se regenera y el potencial del electrodo permanece sin ninguna alteración por vario tiempo. El espesor de la membrana determina la velocidad de difusión y por tanto el tiempo de respuesta del detector.

#### **1.2.4 Principales componentes de los analizadores de gases**

Son cinco los elementos que constituyen a un analizador de gas y los cito a continuación:

- ✚ Fuente Infrarroja (IR) → Se refiere a la fuente que proporciona la luz y que produce un amplio rango de frecuencias que abarcan la totalidad de banda de luz y se extiende hacia ambas direcciones dentro de los rayos ultravioleta y el espectro visible.
- ✚ Filtro infrarrojo (IR) → Se trata de un filtro óptico, con la función de limitar el paso de banda.

Se utiliza primordialmente para seleccionar luz infrarroja centrada en una longitud de onda precisa; el centrado de la longitud de onda del filtro debe ser definido según el gas que se va a analizar. Ya que varios gases son los que componen las emisiones gaseosas es necesario de un instrumento de filtrado de luz infrarroja múltiple; este es el motivo de porque los analizadores de gases poseen tres filtros separados destinados cada uno para un tipo de gas específico: Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

- ✚ Celda de muestreo → La muestra del gas que va a ser medido es colocado en el interior de una celda simple o de un tubo de muestreo, cuyos extremos son ventanas que posibilitan que pase la luz infrarroja a través de los gases de la muestra. La celda de muestreo en la que se deposita el gas, debe tener un alto y constante volumen.
- ✚ Detector de luz infrarroja → Se define como un detector sensitivo a la anchura de la onda de luz infrarroja que transforma en voltaje a la luz.
- ✚ Detector de porcentaje de oxígeno → El sensor de tipo *generador de pulso* es el que los analizadores de gases utilizan para poder medir el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>); la causa es que las concentraciones de aire contienen solo un 21% de oxígeno, y por tanto su espectro es pequeño. Además este sensor está conformado por algunos metales, que cuando son expuestos a las moléculas de oxígeno ocasionan que en la superficie de este sensor se produzca una corriente magnética la misma que induce



### **1.3 Opacidad**

La opacidad se refiere a la condición en la que un material obstruye total o parcialmente el paso de la luz. Se aplica a la apariencia de un material que es mínimamente transmisor de la luz. Y sirve de forma principal para describir de los materiales analizados. Por el contrario un elemento es traslúcido cuando permite el paso de la luz a través de él, alterando sus formas y haciéndoles poco reconocibles.

De forma más general se puede mencionar que un elemento es opaco cuando bloquea el paso de la luz visible. En temas de aplicación técnica, se analiza la opacidad o transparencia de diferentes tipos de espectros como son: la radiación infrarroja, a la luz ultravioleta, rayos X, rayos gamma y en cada una de estas radiaciones se determina su función de opacidad.

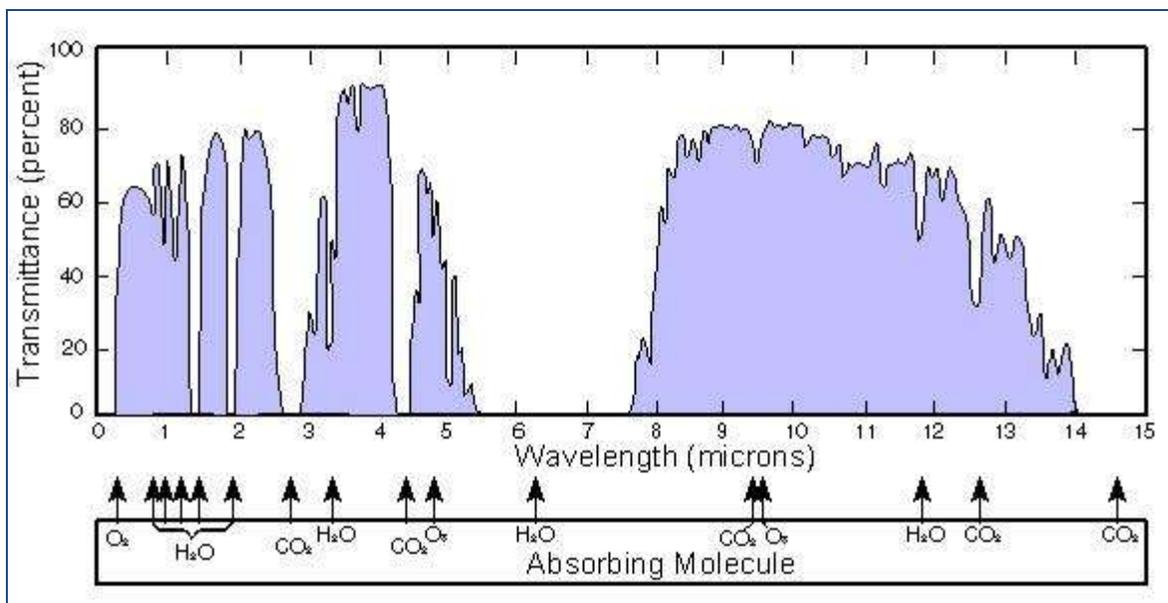
Se refiere como función de opacidad a la frecuencia de la luz que interacciona con el objeto (por ejemplo con la temperatura de éste), es un dato importante el reconocer que existen variedad de funciones de opacidad según los diferentes objetos y las distintas condiciones físicas.

En base a la mecánica cuántica, un elemento será opaco según las diversas longitudes de onda; cuando en el esquema de las escalas de energía existe cualquier diferencia de energía que se correlacione con dicha longitud de onda.

En materia ambiental la medición de la opacidad es de gran importancia, ya que se refiere al control de los gases emitidos hacia la atmósfera por la combustión de diesel de los vehículos.

Los opacímetros son utilizados en los Centros de Verificación Vehicular como instrumentos de medición, estos deben cumplir ciertas características de calibración, físicas y ópticas.

En la época actual ya existen normas y reglas establecidas que rigen los niveles máximos permisibles de opacidad; basándose en estos datos los laboratorios deben calibrar los motores de vehículos diesel, para asegurar que los resultados de los opacímetros que miden a estos automotores reflejen que la opacidad producida por los mismos no es demasiado agresiva para el ambiente.



*Figura 1.14: Gases atmosféricos (opacidad)*

**Fuente:** [www.meted.ucar.edu](http://www.meted.ucar.edu)

## CAPÍTULO II

### Vehículos de ciclo Diesel y Contaminación

#### 2.1 Combustible Diesel

##### 2.1.1 Generalidades

La palabra "diésel" es derivada por el nombre del inventor alemán del motor diesel Rudolf Karl Diesel. Este inventor en un comienzo creyó que el combustible competente para su motor era el carbón en polvo pero cuando lo colocó en los cilindros, éste provocó una explosión que destrozó el prototipo. Posteriormente intentó con aceites vegetales y obtuvo éxito cuando utilizó el aceite de cacahuete. Pero Diesel al final logró un producto estable para uso de su motor a partir del refinado del petróleo y produjo el combustible "gasóleo o gas oil o Diesel".

También las calderas de calefacción comenzaron a utilizar otro derivado del petróleo conocido como fuelóleo –un hidrocarburo de cadena más larga que el diesel-, con el tiempo se demostró que este era contaminante, debido a su elevado contenido de azufre y entonces se prohibió su uso en varios países sugiriendo la utilización en cambio del gas oil.

El diesel se trata de un líquido de color verdoso o blanco con una densidad por encima de  $832 \text{ kg/m}^3$  ( $0,832 \text{ g/cm}^3$ ), está constituido de manera principal por parafinas y se usa sobre todo como combustible de uso para los motores Diesel. Su poder calorífico inferior es de  $35,86 \text{ MJ/l}$  ( $43,1 \text{ MJ/kg}$ ), este valor dependerá de la composición que fabrique la casa comercial.

Este combustible es obtenido a partir del petróleo y se asemeja al gasóleo calefacción. A diferencia de los combustibles utilizados en los motores de gasolina, el diesel se lo utiliza en los automotores de encendido automático lo que significa que el combustible no es encendido por una chispa, sino que se enciende por el acaloramiento que se encuentra comprimido por el pistón. Además el diesel no está carburado, sino que los inyectores de este motor lo inyectan entre el cilindro, y con eso el combustible es atomizado.

Diesel está compuesto alrededor de un 75% por hidrocarburos saturados (sobre todo parafinas entre las que están ciclo e isoparafinas) y 25% por hidrocarburos aromáticos (los alcobencenos y los naftalenos). La fórmula química del gasóleo común es  $C_{12}H_{23}$ .

Según el uso de este combustible se determina los tipos de gasóleo, éstos se indican en la siguiente tabla:

*Tabla 2.1 Tipos de gasóleo*

<i>Tipo</i>	<i>Uso</i>
<b>Gasóleo A</b>	Vehículos con motor diesel habitual
<b>Gasóleo B</b>	Automotores de uso agrícola
<b>Gasóleo C</b>	Uso para calefacción doméstica

**Fuente:** Andrés Escobar

### ***2.1.2 Propiedades del Diesel.***

La densidad del diesel hasta el año 2010 era alrededor de 0,832 kg/l, que equivale a un 12% más que la gasolina, la cual posee una densidad de 0,745 kg/l. Al quemar el diésel se logra un poder calorífico de 43,10 MJ/kg<sup>1</sup> que difiere al de la gasolina común que posee 43,20 MJ/kg. Pero a causa de la mayor densidad, el gasóleo presenta una densidad volumétrica energética de 35,86 MJ/L, la cuál es menor a la de la gasolina que tiene 32,18 MJ/L de la gasolina, lo que representa un 11% más y que se hace notable al comparar la eficacia del motor diésel frente al de ciclo Otto.

Pero en sí las propiedades de este combustible dependerán de el proceso de fabricación. A continuación detallo las propiedades más características del diesel:

- *Punto de Inflamación* → Este parámetro se determina para temas legales de seguridad y su valor es  $>62^{\circ}\text{C}$  en 55 min.
- *Viscosidad* → Esta debe ser mínima para evitar pérdidas de potencia a causa de fugas en el inyector o en la bomba de inyección; la viscosidad máxima se limita según el diseño y tamaño de los motores, y las propiedades del sistema de inyección. Su valor es de 2.0 a 4.5 cSt.
- *Densidad* → Determina la cantidad de energía contenida en el combustible. Mientras mayor sea la densidad mejor será la economía del diésel, también la densidad interviene en el tiempo de inyección de los equipos de inyección. Los cambios en los valores de la densidad del combustible provocan variaciones en la potencia y emisiones del motor. El valor es de 0,820 a 0,845 g/cm<sup>3</sup>.

- *Índice y número de cetano* → Al igual que el octano se utiliza para medir la calidad de ignición en la gasolina común, el cetano se lo utiliza con el mismo fin pero para el combustible Diesel. Sirve como medida para verificar el cascabeleo del motor.

Para esta medición se analizan las características de ignición de 2 hidrocarburos: cetano y heptametilnonano.



Durante el encendido, el metano tiene un corto periodo de retardo y se le asigna el valor de un cetano de 100, mientras que el heptametilnonano tiene un largo periodo de retardo y se le asigna un cetano de 15.

El índice de cetano es el porcentaje por volumen, al que equivale el cetano en la mezcla junto con el heptametilnonano, esa medida indica la calidad de ignición del combustible prueba (ASTM D-613). La propiedad necesaria para prevenir el cascabeleo cuando se utiliza la *gasolina común* es la habilidad para resistir la autoignición, pero en el caso del diesel la propiedad deseable es permitir la autoignición.

Por lo general los índices de cetano son de 40 a 55 ya que debajo de 38 se aumenta el tiempo de retardo de ignición, además de que los índices bajos de cetano provocan ruidos en el motor y aumentan el peso molecular de las igniciones.

Otra diferencia con la gasolina común es que el número de octano en estas, se reduce a medida que aumenta la longitud de la cadena; y en el diesel, el número de cetano aumenta a medida que aumenta la longitud de la cadena; mientras que en el diesel, el índice de cetano se incrementa a medida que aumenta la longitud de la cadena.

Existen varios factores que intervienen en el índice de cetano del diesel como son: los alcoholes y los aromáticos (que tienen índices de cetano bajos), aditivos mejorados de cetano (incrementan este índice en 10 unidades, pero ya que la mayoría de ellos tienen nitrógeno aumentarán las emisiones del NOx)

- *Azufre* → Se encuentra de forma natural en el petróleo, y debe ser eliminado o reducido en el momento de refinación para así no contaminar el combustible. La tendencia mundial es reducir a un 0,05% el límite de azufre en el diesel; para poder obtener los bajos niveles de azufre y cumplir así con las normas es necesario implementar otras capacidades de desulfuración Existe una correlación alta entre el contenido de azufre y las emisiones de SO<sub>2</sub>. Además los altos niveles de azufre en el diesel contribuyen con el desgaste del motor y la producción de depósitos }
- contaminantes.

Así como las FCC (unidades de desintegración catalítica), son indispensables en la elaboración de gasolina, la hidrodeseintegración lo es para la producción del diesel. En ambos procesos se enfoca la selección de la materia prima alimentada.

- *Cenizas Sulfatadas* → En el caso del diesel los materiales que forman cenizas pueden presentarse en forma de sólidos abrasivos o gomas solubles; los cuáles favorecen la formación de depósitos y el desgaste del motor, pistón, anillos, inyector y bomba de inyección.
- *Punto de Nube* → es una importante medida cuando el motor se usa en climas fríos, ya que esta medida indica la temperatura en la cual ciertos elementos del combustible, como las parafinas, se empiezan a precipitar.
- *Aromáticos* → Son moléculas que poseen por lo menos un anillo de benceno y que se encuentran en el combustible. La cantidad de moléculas de aromático afecta a la formación de las emisiones de hidrocarburos poliaromáticos y a la combustión.

El contenido de aromáticos interviene en la temperatura de la flama, entonces afecta también a las emisiones de gases NOx producidos en la combustión.

- *Agua y Sedimentos* → el agua se forma en el tanque de almacenamiento debido al proceso de condensación. La existencia de agua y sólidos de desgaste disminuyen la lubricidad del motor ya que pueden colmatar filtros.

Existen 2 problemas que el agua puede ocasionar en el motor: corrosión en los componentes del motor y contribuye al crecimiento de microorganismos.

Además el agua puede presentarse de dos maneras en el tanque de almacenamiento:

1) Disuelta en el combustible y 2) De forma libre (separada del diesel).

*Los Sedimentos* se deben a la contaminación o al fallo en el correcto proceso de purificación del combustible. Influyen en la temperatura de cristalización y en el índice de Cetano.

- *Residuo Carbonoso* → Señala la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Para calcular este valor en el Diesel se utiliza el 10% de la muestra, que queda después de la destilación.
- *Destilación* → Revela la máxima temperatura a la que se puede evaporar el Diesel. Este valor es de 360°C y éste debe estar el 90% destilado.
- *Lubricidad* → Hace referencia la cualidad de un líquido para ofrecer una lubricación adecuada y pueda prevenir el desgaste de dos superficies en movimiento. El sistema de lubricación externa no existe en las bombas de diesel, por tanto dependen de las propiedades lubricantes del combustible (diesel), que son los hidrocarburos más pesados y las sustancias polares, para funcionar de forma adecuada

Los componentes que proporcionan lubricidad natural en el diesel se disminuyen en el momento de refinación del combustible para remover el azufre. De esta manera a medida que disminuyen los niveles de azufre también lo hace la lubricidad y por tanto hay mayor riesgo de que el Diesel tenga una lubricidad inadecuada.

En el cuadro 2.1 se resumen las propiedades principales del Diesel con cada valor determinado según las diferentes normas ISO.

*Tabla 2.2 Propiedades del Diesel*

<b>Parámetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidades</b>	<b>UNE EN 590* Diesel #2</b>
Densidad (15°C)	EN ISO 12185	g/cm <sup>3</sup>	0.820-0.845
Viscosidad Cinemática 40°C	EN ISO 3104	cSt	2.0-4.5
Punto Inflamación	EN 22719 ISO/CD 3679	°C	55 min.
Azufre	EN ISO 14596	ppm	350 máx.
Residuo Carbonoso(10%)	EN ISO 10370	%	0.30 máx.
Contaminación Total	EN 12662	ppm	24 máx.
Agua	EN ISO 12937	ppm	200 máx.
Corrosión al cobre	EN ISO 2160	-	Clase 1
Cenizas Sulfatadas	EN ISO 6245 ISO 3987	%	0.01 máx.
Estabilidad Oxidación	EN ISO 12205 prEN 14112	mg/l	25 máx.
Número de Cetano	EN ISO 5165	-	51 min.
Índice de Cetano	EN ISO 4264	-	46 min.

**Fuente:** [www.wearcheckiberica.es/documentacion/doctecnica/combustibles](http://www.wearcheckiberica.es/documentacion/doctecnica/combustibles).

### ***2.1.3 Costo del Diesel***

El diesel desde el punto de vista de refinación, es mucho más sencillo de obtener del petróleo que la gasolina y contiene hidrocarburos con un punto de ebullición entre 180 - 360 °C.

En origen el costo de los diferentes compuestos obtenidos a partir de de la destilación fraccionada del petróleo, obedecen a las demandas existentes de cada uno de estos. De esta manera si la demanda de diesel es menor que la de gasolina, este sobrara en las refinerías y por tanto su precio disminuirá; pero en algunos países en temporadas de invierno debido al uso del gasóleo para las calefacciones, la demanda de éste aumenta y por tanto en dichos lugares su costo también se eleva.

En el rubro del diesel también influyen los impuestos que cada país grava a los combustibles, por lo habitual el diesel carga menos impuestos que la gasolina tradicional. El resultado es que debido a su bajo costo y a que el motor diésel además tiene un mejor rendimiento que el de gasolina, se ha difundido también su uso en los vehículos particulares lo que en muchos países a incrementado el empleo de diesel y por tanto los impuestos hacia él. La contaminación atmosférica es un punto que también interviene en la fijación de impuestos para este combustible, porque aun con modernas técnicas el motor diésel emite mayor cantidad de partículas contaminantes que el motor a gasolina. Por este motivo ciertos países, por ejemplo Suiza, gravan mas alto el impuesto del diesel y su costo es mayor que el de la gasolina.

En ciertas zonas de Estados Unidos, Reino Unido o Australia, el diésel puede ser más caro que la gasolina, a causa de diferentes razones como son: cortes en el suministro en el Golfo de México, extracción de los compuestos de azufre y desvío de la capacidad de refino en masa a la producción de gasolina. En Suecia, existe un tipo de diésel denominado MK-1 que tiene solo un 5% de contenido en aromáticos lo que le hace que sea menos contaminante pero más caro.

## ***2.2. Motor Diesel.***

### ***2.2.1 Combustión.***

Combustión es una reacción termoquímica que se produce de forma muy rápida entre el oxígeno que se encuentra en el aire y el combustible. La combustión en los motores Diesel se produce gracias a la elevada temperatura que comprime el aire en la cámara de combustión y al final de este proceso se inyecta el combustible diesel a una presión alta dentro de dicha cámara.

El motor a diesel tiene que encender y quemar una cantidad determinada de esta mezcla heterogénea (diesel-aire), por tanto en el corto tiempo después de haber sido inyectado varias partículas de combustible no encuentran a las moléculas de oxígeno; el resultado es que al fin de la carrera de expansión se puede hallar oxígeno y combustible sin quemar.

Las reacciones que producen la combustión se realiza entre 1 átomo de carbono y 2 de oxígeno (Reacción 1) y entre 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno (Reacción2). Dando

como resultado final la formación de CO<sub>2</sub> (monóxido de carbono) y H<sub>2</sub>O (agua) mas el desprendimiento de calor (lo que le convierte en una reacción exotérmica), y en el caso de que desprenda luz se denomina a ésta llama.



El combustible debe pasar a estado gaseoso para que pueda combinarse con el oxígeno y así el proceso de combustión sea eficaz. Pero en la realidad este proceso no es completamente eficaz y parte de la energía química de los reactivos no se transforma en calor sino que como ya lo mencionamos antes, éstos se convierten en productos de desecho que se emanan al exterior por el tubo de escape.

El periodo de combustión normalmente está entre los 40 a 50° de giro del cigüeñal que equivale a 20° antes del punto muerto superior (PMS) y de 20 a 30° después del punto muerto superior.

Existen varias normas para que se pueda desarrollar de manera correcta la combustión del diesel y son:

- ✚ Convertir a estado gaseoso el combustible líquido, debido a que a mayor peso molecular, menos volátil el hidrocarburo y más difícil el proceso de combustión.
- ✚ Posibilitar la mezcla aire/combustible y hacer que esta alimente a la zona de encendido (ignición), y a la zona de combustión. En la zona de ignición la mezcla de aire y combustible se encuentra en forma de gas, mientras que en la zona de

combustión la mezcla está combinada de forma homogénea con el aire pero es heterogénea, o sea líquida y gaseosa. A esto lo llamamos mezcla Estequiométrica.

Si no ocurren las condiciones adecuadas es decir: moléculas muy grandes, poca cantidad de oxígeno y temperatura suficiente; el Diesel se combustiona solo de forma parcial y formará partículas contaminantes como la carbonilla y otros.

#### 2.2.1.1 Relación aire-combustible

La relación de compresión es mucho mayor en motor a diesel que en el de gasolina, esto se debe a que en el cilindro únicamente se comprime aire y no existe riesgo alguno de explosión repentina.

La relación de compresión abarca los intervalos entre 15:1 y 25:1 pero a veces puede alcanzar una relación de 30:1, sin embargo lo recomendable es que estos motores trabajen con relaciones de compresión pobres para poder así evitar en el proceso de auto-combustión la producción excesiva de partículas de carbono.

El reducido tiempo disponible para poder dosificar la mezcla de aire/combustible y la relativa baja volatilidad del combustible (diesel) se hace visible por la tendencia de los motores a Diesel a experimentar una combustión incompleta y producir hollín de escape.

Por lo general los motores a gasolina trabajan dentro de un intervalo estrecho (que se acerca a los rangos estequiométricos) en cuanto a razón aire-combustible; pero por el

contrario en el caso del diesel debido a la naturaleza de su proceso de combustión, este combustible funciona con mínimo un 50% de exceso de aire.

### 2.2.2 Diferencias entre el motor Diesel y el motor a gasolina

Las principales diferencias que existen entre estos dos motores se reflejan en la siguiente tabla:

*Tabla 2.3 Diferencias generales del motor diesel y motor a gasolina*

<b><i>Motor Diesel</i></b>	<b><i>Motor a gasolina</i></b>
<b>Ciclo de combustión→ Ciclo Diesel</b>	Ciclo de explosión→ ciclo Otto
<b>Menor consumo de combustible</b>	Mayor consumo de combustible
<b>Combustible que utiliza → Diesel (más barato)</b>	Combustible que utiliza→ gasolina (más costoso)
<b>Cambio de aceite cada 10000 km.</b>	Cambio de aceite cada 5000 km.
<b>Causa menor contaminación</b>	Causa mayor contaminación
<b>Más ruidoso</b>	Menos ruidoso
<b>Encendido no precisa electricidad (más fiable)</b>	Encendido a través de bujía
<b>Motor más pesado (debido a los mayores esfuerzos a soportar).</b>	Motor más ligero.

<b>Desgaste menor porque gira menos revoluciones.</b>	Gira más revoluciones y su desgaste es mayor.
<b>Menor potencia a igual cilindrada</b>	Mayor potencia a igual cilindrada
<b><i>Par motor</i> → mayor par a igual potencia</b>	<i>Par motor</i> → menor par a igual potencia
<b><i>Sistema de ignición</i> → No hay sistema de ignición visible.</b>	<i>Sistema de ignición</i> → tiene bujías de chispa. Tiene bobina.
<b><i>Carburación</i> → cilindros se llenan solo con aire, no tienen carburador.</b>	<i>Carburación</i> → Tiene carburador para hacer la mezcla aire/combustible, antes de que entre al cilindro.
<b><i>Inyección combustible</i> → tiene bomba de inyección y cada cilindro lleva un inyector</b>	<i>Inyección combustible</i> → No tiene bomba de inyección, ni inyectores en los cilindros.
<b>Relación de compresión → 1:14:23</b>	Relación de compresión → 1:8:10
<b>Piezas pesadas y menor facilidad de revoluciones</b>	Piezas ligeras por tanto tienen mayor facilidad para revolucionarse

**Fuente:** Andrés Escobar

En la tabla 2.4 se explica las comparaciones del ciclo Otto y ciclo Diesel

Tabla 2.4: Cuadro comparativo del ciclo Otto y ciclo Diesel

<b>Característica</b>	<b>Ciclo Otto</b>	<b>Ciclo Diesel</b>
<b>Generalidades</b>	Se produce una explosión.  4 tiempos: admisión, compresión, explosión y escape.	Se produce una combustión.  4 tiempos: admisión, compresión, combustión y escape.
<b>Admisión</b>	Apertura V.A. y aspiración de la <i>mezcla aire/gasolina</i> .	V.A se abre antes del PMS y aspira <i>aire</i> para llenar el cilindro. Cuanto más aire mejor será la combustión.
<b>Compresión</b>	V.A se cierra poco antes del PMI, el pistón asciende y comprime <i>la mezcla</i> . (C.A)  ° Esta compresión puede ser mayor o menor según las características de construcción del motor	V.A se cierra y el pistón asciende comprimiendo <i>el aire</i> . (C.A)
<b>Explosión (Otto)</b>  <b>Combustión (Diesel)</b>	Antes del PMS salta la chispa de la bujía a una tensión > a 1400 voltios produciendo una explosión y la C.D del pistón.	Antes del PMS se inyecta el combustible, éste cuando se encuentra con el aire comprimido se inflama y empuja el pistón hacia

		abajo.
<b><i>Escape</i></b>	V.E se abre antes del PMI, pistón comienza la C.A empujando los gases quemados hacia el escape a través de la V.E. y se repite el ciclo.	V.E se abre antes del PMI y el pistón comienza la C.A expulsando a altas temperaturas los gases quemados a través del escape.

\* V.A: Válvula de admisión \*V.E: Válvula de escape \* PMI: Punto muerto Inferior \* PMS: Punto muerto superior

\*C.A: Carrera ascendente

\*C.D: Carrera Descendente

**Fuente:** Andrés Escobar

### **2.3 Gases Contaminantes emitidos por los automotores con ciclo Diesel**

El tipo de combustible que se utiliza en los motores de encendido por compresión (como es el caso del motor Diesel), está constituido por mezclas de hidrocarburos en donde el comburente es el aire; este motivo por el cual la combustión se realiza en presencia de nitrógeno y por tanto como productos normales, pero contaminantes de este proceso, se obtiene: dióxido de carbono, agua y nitrógeno, pero también contaminantes gaseosos, humos y partículas.

### 2.3.1 Principales gases contaminantes del Diesel

Según ESTERLLA (2002) Los principales gases que causan contaminación ambiental debido a la combustión en estos motores son: Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos sin combustionarse (HC), Oxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos y ácidos de azufre (SO<sub>2</sub>). La cantidad de cada uno de estos gases depende de las reacciones químicas que se realicen en el proceso de combustión. Existen diferentes fuentes por donde escapan los gases del motor y son: escape, ventilación del cárter y el depósito de combustible.

En los motores diesel los gases emitidos contienen poco CO pero grandes cantidades de hidrocarburos que están sin quemar.

- ✓ *Azufre* → Es el contaminante más importante. Es emitido por el escape en forma de óxido de azufre (SO<sub>x</sub>), éste en el aire con la humedad se transforma en ácido sulfúrico contribuyendo a la producción de lluvia ácida. El azufre además en el motor ocasiona un fuerte ataque químico en la válvula de escape, bomba inyectora, turbina, etc.
  
- ✓ *Nitrógeno* → Los NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), también son promotores de la lluvia ácida.
  
- ✓ *Monóxido de carbono* → uno de los mayores contaminantes de la atmósfera producto de la combustión incompleta del diesel; es un gas

inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se aspira en altos niveles.

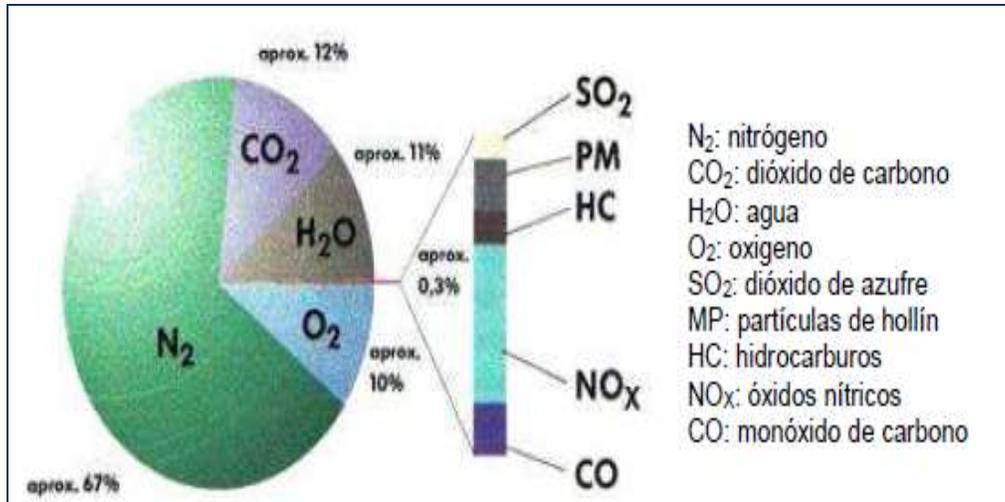


Figura 2.17: Composición de los gases de escape de un motor a Diesel

Fuente: [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

### 2.3.2 Materiales particulados (MP) opacidad:

El material particulado se refiere a los humos emanados por estos motores; el humo se define como las partículas que se encuentran suspendidas en los gases de escape. Existen 3 tipos de humos:

1) Humo Blanco: está compuesto por partículas de combustible que no se quemó, o se quemó parcialmente: Estas partículas se producen cuando la temperatura en la cámara de combustión está baja o en ella se encuentran gotas de agua. Miden aproximadamente 1,5  $\mu\text{m}$ ; normalmente se producen en el arranque en frío y desaparecen cuando el motor alcanza su temperatura normal.

2) Humo negro: está conformado por partículas de carbón formadas por la combustión incompleta del combustible (diesel), (su tamaño va desde 0,2mm a 0,12mm), se forma cuando hay presiones y temperaturas altas en zonas de la cámara de combustión y de escasas de oxígeno. Además una vez que se forman dichas partículas si es que existe oxígeno estas pueden formar mediante el proceso de oxidación CO y CO<sub>2</sub>.

El factor dominante para la emisión de este humo es la cantidad de Diesel inyectado. Si aumenta la cantidad de combustible aumenta el límite de humo negro, pudiendo llegar hasta su límite máximo.

3) Humo azul: Se produce cuando hay un exceso de lubricante en la cámara de combustión; a medida que se enfría el tubo de escape la cantidad de este humo aumenta. Su forma de presentación es como gotas sin quemar y miden alrededor de 0,5 µm.

## **2.4 Polución Atmosférica**

### **2.4.1 Generalidades**

La contaminación ambiental en general se refiere a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o una combinación de todos estos en formas y concentraciones tales que puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o el bienestar de la población, o perjudiciales para la vida vegetal o animal. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o afecten la salud, la higiene o el bienestar de las personas.

En cuanto a las fuentes de contaminación del aire, generalmente se relaciona con 4 términos: móvil, estacionaria, puntual y del área. Las fuentes móviles incluyen diversas

formas de transporte tales como automóviles, camiones y aviones. A la contaminación ambiental vehicular se la puede referir a que cualquier tipo de móvil sobre la tierra (aunque sea un elemento clave para la vida moderna), puede convertirse en importante agente de contaminación ambiental.

✓ Fuentes móviles de contaminación del aire

Las fuentes móviles de contaminación del aire son: automóviles, autobuses, locomotoras, camiones y aviones.

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, debido a que produce grandes cantidades de CO (monóxido de carbono) y menores cantidades de: NOx (óxidos de nitrógeno) y COVs (compuestos orgánicos volátiles). Las emisiones de los automóviles también contienen plomo. Los reglamentos y el control correcto de la calidad del combustible de los automóviles contribuyen a una mayor eficiencia y menores emisiones de gases contaminantes. Sin embargo, debido al creciente número de vehículos, los automóviles siguen siendo la principal fuente móvil de contaminación del aire.

Los camiones, autobuses y locomotoras generalmente tienen motores Diesel que usan combustible diferente de la mayoría de automóviles. La quema de este combustible produce mayor cantidad de óxidos de nitrógeno.

Los jets queman un combustible diferente de la mayoría de automóviles. El contaminante primario producido al quemar combustible de jets es el óxido de nitrógeno; pero también se producen otros contaminantes que son el monóxido de carbono e hidrocarburos.

La contaminación del aire provocado por los vehículos y otros medios de transporte es una condición aceptada por la mayoría de personas. Afortunadamente, los adelantos en la tecnología del control de la contaminación, los combustibles alternativos y los cambios en el estilo de vida, como el transporte compartido pueden reducir los efectos perjudiciales de estos.

#### **2.4.2 Contaminación del aire por los vehículos con motores a diesel**

La contaminación de los motores diesel es peligrosa, sobre todo en países como el nuestro en los cuales o no existen reglamentaciones, o no se hacen cumplir las mismas.

Cuando los contaminantes, que se emanan en los gases de escape, son inhalados en una fuerte dosis se convierten en agentes muy nocivos para la salud. Pudiendo provocar enfermedades en el sistema respiratorio y en la piel; mientras que otros en ciertas condiciones, pueden provocar la muerte a corto o largo plazo.

El monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados o evaporados, los óxidos de nitrógeno (NOx) y los dióxidos de azufre atacan las vías respiratorias. En cuanto a las partículas de carbono, las mismas podrían ser cancerígenas.

El origen de la polución radica en los vehículos más antiguos generalmente, y/o en los modelos más recientes con un mantenimiento mal efectuado. Esto puede significar un nivel de contaminación 10 veces más importante que el de un vehículo nuevo y en buen estado.

✓ Soluciones para disminuir la contaminación del motor diesel

◇ Con el fin de eliminar o disminuir la contaminación de los motores, se crean las normas y reglamentaciones, las cuales obligan a que cada constructor haga que

sus motores sean menos contaminantes sin que estos cambios perjudiquen el rendimiento del vehículo.

◇ También la regulación de las bombas inyectoras de gasoil, o del comando del conjunto inyectores-bombas es importante sobre los vehículos Diesel, ya que esto ayuda a disminuir su contaminación en el aire. Los dispositivos que se encargan de esta regulación tienen ciertas características:

1) Disponen de una extensa gama de programas que permiten una adaptación del sistema de inyección a las normas de cada país, y a los distintos tipos de vehículos.

2) La regulación de la inyección la realizan, en función de criterios ya determinados.

La optimización del gasoil inyectado, contribuye a la disminución de las emisiones contaminantes de los óxidos de nitrógeno, partículas y los hidrocarburos no quemados.

3) La unidad de control electrónico o calculador recibe señales enviadas por: los sensores de temperatura de aire de admisión y del circuito de enfriamiento del motor, de la presión de sobrealimentación, de la velocidad del motor, de la posición de la caja de velocidades, de la posición de la mariposa de aceleración; etc.

◇ Para reducir los NOx emitidos la única solución es el uso de dispositivos de recirculación de los gases de escape. El reciclado de los gases de escape, debido a la reducción de la temperatura de combustión obtiene un efecto positivo sobre las emisiones de óxidos de nitrógeno, pero también hay un efecto adverso ya que una "relación" demasiado alta de recirculación, puede ser negativa respecto a la vida útil del motor, por la

polución interna y el desgaste. Para la recirculación de los gases, se utiliza una válvula EGR (Exhaust Gas Recirculation) que recicla una parte de los gases, un 30% como máximo, entre el colector de admisión y el múltiple de escape; esta válvula es controlada por una unidad en donde son memorizadas las características propias del motor, sin afectar el consumo de gasoil y la producción de hidrocarburos, de esta manera los óxidos de nitrógeno (NOx) pueden ser reducidos en un 40% en forma aproximada.

### **2.4.3 Contaminación vehicular en Quito- Ecuador**

Aproximadamente existen 410 000 carros que transitan en Quito y que serían los causantes del 70% de la contaminación del aire. Según apreciaciones de la Secretaría de Movilidad y Obras Públicas, al año se consumen 80 millones de galones del combustible diesel y 150 millones de gasolina. Estos combustibles, emanan a la atmósfera contaminantes tóxicos como el monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono y material particulado (PM). En Quito según el Informe de Calidad del aire del 2011 existen 4 zonas con mayores concentraciones de estos gases: El Camal, La Marín, Necochea y La Basílica. El problema del aire de Quito es el material particulado (PM) el cual es emitido por los automóviles, ya que debido la altitud de Quito, a 2800 msnm, la combustión es incompleta y se emiten todas las toxinas del combustible. Este material particulado está compuesto por dos partes: el hollín y el polvo común. Si es grueso afecta a oídos, nariz y ojos, y si es fino, a las vías respiratorias. Las mediciones de la calidad del aire se realizan en nueve estaciones fijas (Cotocollao, Carapungo, Belisario, Jipijapa, El Camal, Centro, Guamaní, Tumbaco y Los Chillos). Los niveles de la contaminación del aire son aceptables, no sobrepasan la Norma Nacional de Calidad del Aire Ambiental (NCAA). Sin embargo, no se cumple con

los niveles exigidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Ya que, en cuanto a las emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), la OMS establece un máximo de 20 microgramos por metro cúbico (ug/m<sup>3</sup>) y la NCAA, 125.

Quito cuenta desde hace aproximadamente 11 años con la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. También, desde el 2003, los carros deben someterse a la revisión técnica. Personal encargado del monitoreo y control de la calidad del aire y contaminación señala que el problema no es el número de automotores, sino la mala calidad de los combustibles.

En la revisión técnica no se puede exigir una opacidad de más del 50%. Por ello, el empeño es mejorar la calidad de los combustibles. En el 2005 hubo una disminución del 50% de emisiones de SO<sub>2</sub>, cuando salió a la venta el diesel Premium en el Distrito. Desde noviembre del 2011, este tipo de diesel se distribuye en todo el país. Eso ayudó a bajar un 12% más en los niveles de contaminación. Investigadores de la OMS señalan que las partículas que surgen de la combustión del diesel pueden producir cáncer de pulmón y tumores en la vejiga. En el mundo mueren, cada año, entre dos y cinco millones de personas a causa de la contaminación. En el país no hay cifras específicas sobre los casos registrados.

## **CAPÍTULO III**

### **OPACÍMETRO (Diseño y Construcción)**

#### **3.1 Introducción**

Los opacímetros son analizadores de gases que funcionan según el procedimiento de muestreo de descargas parciales utilizados en los Programas de Verificación Vehicular y la norma técnica actual.

Se trata de un sistema computarizado para el análisis en las emisiones de humo de vehículos con motores de ciclo diesel, y que funcionan por el principio de flujo parcial (que actúa mediante la absorción de luz por el humo) determinado por las normas internacionales de emisiones contaminantes

Estos dispositivos tienen la función de: cuantificar las emisiones gaseosas hacia la atmósfera, procedentes del escape de los vehículos circulantes que utilizan como combustible al Diesel.

De forma sencilla, relativamente, se puede conocer la calidad de la combustión que tienen los motores a Diesel, a través de los instrumentos denominados opacímetros, estos son equipos cuya funcionalidad es medir según la intensidad del color del humo, la cantidad de combustible no quemado.

A inicios cuando se crearon los primeros opacímetros, la muestra de gases se condensaba en un papel poroso, según esto el operador posteriormente cuantifica el nivel de

humo negro presente, por medio de la comparación de esto con una escala de grises más conocida como la denominada escala de Reingelmann (escala que consta de 6 cartulinas con diferentes ennegrecimientos en el que el blanco absoluto corresponde a cero y el negro total a 5).

En la actualidad los opacímetros empleados son mecanismos ópticos que miden la opacidad de una muestra de gases, que se obtienen de forma directa del tubo de escape y son llevados a este aparato medidor, en el cual se hace circular a través de una cámara que examina la muestra y cuantifica el contenido de gases no quemados, dando el resultado basado en una escala graduada o mediante un display para su posterior impresión.

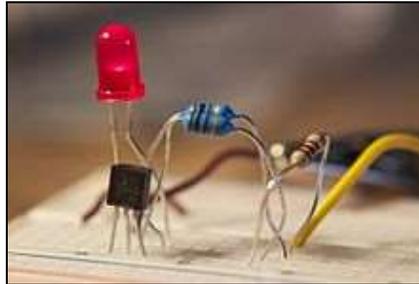
### **3.2 Partes y Características del opacímetro**

Según HILARIO (2012) algunas de las características y partes que componen a los opacímetros son las mismas en todas, pero otras varían según el tipo al que éste pertenece, esto lo determina la casa comercial que lo fabrica o la persona quien lo elabora. Específicamente el opacímetro diseñado para este proyecto de tesis consta de las principales partes:

#### **3.2.1 Transistor 2N3906:**

Es un transistor de tipo NPN (transistor bipolar, "N" y "P" se refieren a los portadores de carga mayoritarios dentro de las diferentes regiones del transistor usado para amplificación. Este tipo de transistor fue patentado por Motorola Semiconductor en los años 60, y representó un gran incremento de eficiencia, con un encapsulado TO-92 en vez del antiguo encapsulado metálico. Está diseñado para funcionar a bajas intensidades, bajas potencias,

tensiones medias, y puede operar a velocidades razonablemente altas. Se trata de un transistor de bajo coste, muy común, y suficientemente robusto como para ser usado en experimentos electrónicos transistores bipolares, en los cuales las letras



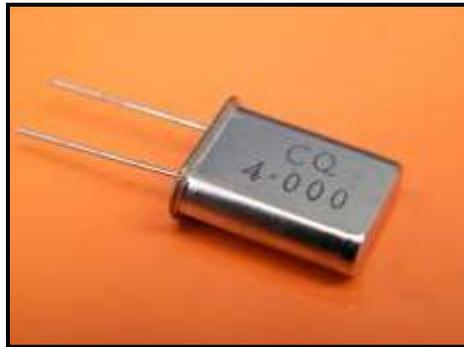
*Figura 3.1: Transistor 2N3904*

**Fuente:** [www.datashell.com](http://www.datashell.com)

### 3.2.2 Cristal oscilador:

Es un oscilador que incluye en su realimentación un resonador piezoeléctrico. Se caracteriza por su estabilidad de frecuencia y pureza de fase, dada por el resonador. En cuanto a la frecuencia, ésta es estable en relación a las variaciones de la tensión de alimentación. La temperatura depende del resonador, pero un valor común para los cristales de cuarzo es 0'005% del valor a 25 °C, dentro de un rango de 0 a 70 °C.

Además estos osciladores admiten un pequeño ajuste de frecuencia, con un condensador en serie con el resonador. Este ajuste se puede utilizar en los VCO para modular su salida.



*Figura 3.2: Cristal oscilador*

**Fuente:** [ramon-gzz.blogspot.com](http://ramon-gzz.blogspot.com)

### **3.2.3 LED**

Se trata de un componente optoelectrónico pasivo, específicamente un diodo que emite luz. Proviene del acrónimo inglés LED (Light-Emitting Diode: ‘diodo emisor de luz’). Se utilizan como indicadores en muchos dispositivos y en iluminación. Los primeros ledes emitían luz roja poco intensa, pero actualmente emiten luz de alto brillo en el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta.

Hay 3 formas principales de conocer la polaridad de un led:

- La pata más larga siempre será el ánodo.
- En el lado del cátodo, la base del led tiene un borde plano.
- Dentro del led, la plaqueta indica el ánodo. Se puede reconocer porque es más pequeña que el yunque, que indica el cátodo

Cuando un led está en polarización directa, los electrones pueden recombinarse, liberando energía en forma de fotones. Este efecto se denomina *electroluminiscencia* y el color de la luz se determina a partir de la banda de energía del semiconductor.

### 3.2.4 Regulador de Voltaje 7805

La denominación 78XX corresponde a una familia de reguladores de tensión positiva, que posee 3 terminales:  $V_i$  (voltaje de entrada), masa y  $V_o$  (voltaje de salida). Los reguladores correspondientes a esta familia solo difieren en la tensión de salida y en la corriente que puede suministrar ante una demanda, de esto depende las letras colocadas -para la denominación- después de los dos primeros dígitos, por ejemplo:

78xx (sin letra)  $\rightarrow$  1 Amperio    78Lxx  $\rightarrow$  0,1 A

78Mxx  $\rightarrow$  0,5 A                      78Txx  $\rightarrow$  3 A

78Hxx  $\rightarrow$  5 A (híbrido)              78Pxx  $\rightarrow$  10 A (híbrido)

En cuanto a la tensión de salida su valor está entre 3,3 y 24 voltios, y el cual esta especificado en los dos últimos dígitos del modelo del regulador.

Específicamente el 7805 provee 5V de corriente continua. Su encapsulado usual es el TO220, aunque también se lo encuentra en encapsulados pequeños de montaje superficial y en encapsulados grandes y metálicos (TO3)

Su tensión de alimentación debe ser menor de 35 voltios y superior con un poco más de 2 voltios de la tensión que suministra éste regulador. Usualmente, el modelo estándar (TO220) soporta corrientes de hasta 1 A. Incluso como protección posee dos limitadores de corriente, uno por cortocircuito, y otro limitador por temperatura.

La siguiente tabla indica las especificaciones propias del regulador 7805:

*Tabla 3.1: Especificaciones regulador 7805*

	<b>7805</b>
<b><math>V_{out}</math></b>	5 V.
<b><math>V_{in} - V_{out}</math></b>	2.2 V – 30V
<b>Temperatura de operación</b>	0 – 125°C
<b><math>I_{max}</math> de salida</b>	1 A

**Fuente:** Andrés Escobar

Diseño:

Es un regulador lineal que puede venir en algunos tipos de encapsulados. Para corrientes de salida hasta de 1A existen dos tipos de encapsulados: D-PAK (horizontal) y el TO-220 (vertical).

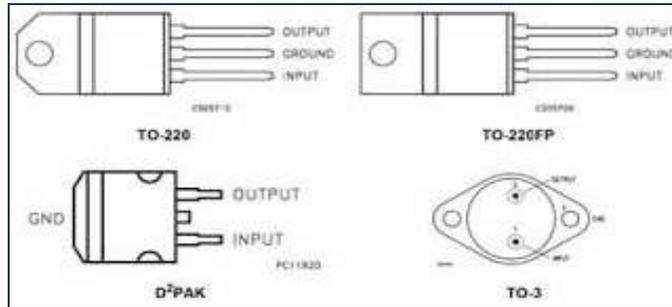


Figura 3.3: Encapsulados D-PAK y TO-220

Fuente: [www.ascensoristas.net](http://www.ascensoristas.net)

El conexionado es típico y muy sencillo conjunto a capacitores de filtro conectados a masa y que son necesarios a la entrada y salida del dispositivo como se presenta a continuación:

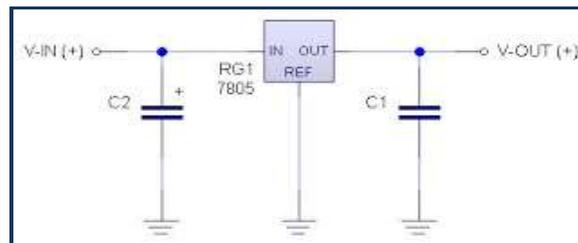
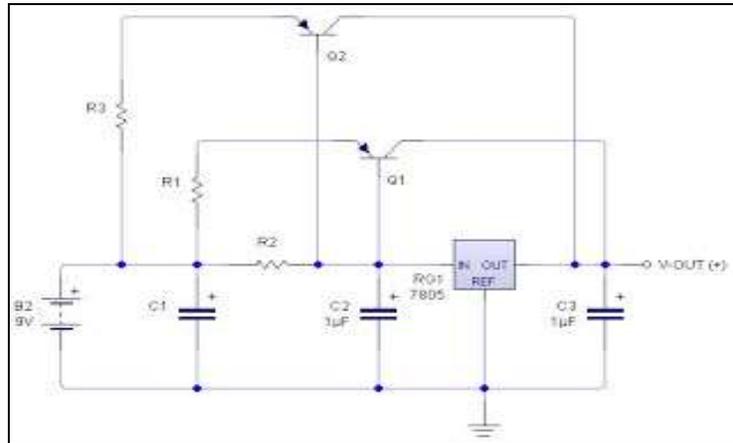


Figura 3.4 : Conexionado 7805

Fuente: [picrobot.blogspot.com](http://picrobot.blogspot.com)



*Figura 3.5: Conexión y capacitores de filtro del 7805*

**Fuente:** ahipnc.wordpress.com

### 3.2.5 Microcontrolador PIC16F877A

Cuando hablamos de microcontrolador nos referimos a un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Incluye en su interior 3 unidades principales: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Cuando es fabricado, el microcontrolador no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda regular procesos se necesita crear y luego grabar algún programa en la EEPROM, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; pero para que el programa pueda ser grabado debe ser codificado en

sistema numérico hexadecimal que es el sistema que hace trabajar al microcontrolador.(MACKENZIE,2007)

- Características:

Sirven para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular.

Un microcontrolador difiere de una unidad central de procesamiento normal, porque es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de circuitos integrados externos de apoyo.

El microcontrolador típico tendrá un generador de reloj integrado y una pequeña cantidad de memoria de acceso aleatorio y/o ROM/EPROM/EEPROM/flash, con todo esto para hacerlo funcionar solo se necesita pocos programas de control y un cristal de sincronización.

Los microcontroladores disponen generalmente también de una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidor analógico digital, temporizadores, UARTs y buses de interfaz como I2C y CAN. Los modernos microcontroladores frecuentemente incluyen un lenguaje de programación integrado, como el lenguaje de programación BASIC que se utiliza bastante con este propósito.

- Unidad de control:

Es una de las más importantes del microcontrolador, aquí se produce la ejecución y decodificación necesaria, los buses, la ALU, el control de los registros, y todos los demás

programas lógicos que se requieran introducir en el microcontrolador para que pueda desarrollar sus funciones.

El tipo y estructura de la unidad de control determinan fundamentos en el microcontrolador tales como: velocidad de ejecución, instrucciones, tiempo del ciclo de máquina, tipo de buses que puede tener el sistema, manejo de interrupciones, etc.

Al ser las unidades más complejas, las unidades de control están constituidas por otras subunidades pequeñas que trabajan en conjunto. Algunas de éstas son: Unidad de decodificación, unidad de ejecución, controladores de memoria cache, controladores de buses, controlador de interrupciones, pipelines, entre otros los cuales dependerán del tipo de procesador.

- **Registros:**

Son un pequeño pero necesario espacio de memoria, de éste se toman los datos para que puedan realizarse las operaciones en varios circuitos del procesador. Los registros son útiles para recopilar los resultados de la ejecución, cargar datos desde la memoria externa o guardarlos en ella.

Una parte de los registros, específicamente la destinada a los datos, es la que establece uno de los parámetros más importantes de cualquier microprocesador. Cuando se dice que un procesador es de 4, 8, 16, 32 o 64 bits, se refiere a procesadores que realizan sus operaciones con registros de datos de ese tamaño, y por supuesto, esto determina muchas de las potencialidades de estas máquinas.

A mayor número de bits de registros, mayor es el poder de cómputo y la velocidad de ejecución del microcontrolador, esto a su vez determinará la potencia que se puede incorporar al resto de los componentes del sistema, por ejemplo, no tiene sentido tener una ALU de 16 bits en un procesador de 8 bits.

- Buses:

Son el medio de comunicación que utilizan todos los componentes del procesador para intercambiar información entre sí.

Existen tres tipos de buses:

- 1) Dirección: Sirven para seleccionar al dispositivo con el cual se quiere trabajar o el dato que se desea leer o escribir.
- 2) Buses de Datos.
- 3) Buses de Control: Se utiliza para gestionar los distintos procesos de escritura lectura y controlar la operación de los dispositivos del sistema

- Memoria:

La memoria en los microcontroladores debe estar ubicada dentro del mismo encapsulado. En los microcontroladores la memoria no es abundante, generalmente no excederá de 16 K-localizaciones de memoria no volátil (flash o eprom) para contener los programas.

La memoria RAM: sirve para el almacenamiento de información temporal que se utilizará por el procesador para realizar operaciones lógicas como los cálculos. El tipo de memoria utilizada en las memorias RAM de los microcontroladores es SRAM, ya que está evita el tener que implementar sistemas de refrescamiento. A pesar de que la memoria SRAM es más costosa que la DRAM (utilizada en las computadoras), es el tipo adecuado para los microcontroladores porque éstos poseen pequeñas cantidades de memoria RAM.

En cuanto a la memoria para programas se utilizan diferentes tecnologías, las cinco más utilizadas son:

1) Máscara ROM: En este caso no se “graba” el programa sino que en el microcontrolador ya viene instalado al momento de la elaboración

2) Memoria PROM (Programmable Read-Only Memory): se conoce también como OTP (One Time Programmable), los microcontroladores que cuentan con este tipo de memoria se pueden programar una sola vez. Se utiliza en sistemas donde se requieren serialización de datos, almacenados como constantes en la memoria de programas.

3) Memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory). Los microcontroladores con este tipo de memoria son de fácil reconocimiento ya que su encapsulado es de cerámica. Se fabrican así porque la memoria EPROM es reprogramable. Al aparecer tecnologías menos costosas y más flexibles, como las memorias EEPROM y FLASH, este tipo de memoria han caído en desuso, se utilizaban en sistemas que requieren actualizaciones del programa y para los procesos de desarrollo y puesta a punto.

4) Memoria EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Fueron el sustituto natural de las memorias EPROM, la diferencia es que pueden ser borradas eléctricamente, por lo que la ventanilla de cristal de cuarzo y los encapsulados cerámicos no son necesarios.

5) Memoria flash: En el campo de las memorias reprogramables para microcontroladores, son el último avance tecnológico en uso a gran escala, y han sustituido a los microcontroladores con memoria EEPROM. Su ventaja es que adicionan su gran densidad respecto a sus predecesoras lo que permite aumentar la cantidad de memoria de programas a bajo costo.

- Microcontroladores PIC:

El PIC16F877 consta con memoria de programa tipo FLASH, lo que facilita el desarrollo de prototipos ya que permite su reprogramación sin que su memoria haya sido borrada con anterioridad.

El PIC16F877 es un microcontrolador de Microchip Technology fabricado en tecnología CMOS, es estático lo que significa que el reloj puede detenerse pero los datos de memoria no se pierden su consumo de potencia es muy bajo.

El encapsulado más común para este microcontrolador es el DIP (Dual In-line Pin) con 40 pines. La nomenclatura completa es PIC16F877-04 para el dispositivo que utiliza

cristal oscilador de hasta 4 MHz, PIC16F877-20 el que utiliza cristal oscilador de hasta 20 MHz y PIC16F877A-I de tipo industrial que puede trabajar hasta a 20 MHz.

La siguiente tabla indica las características básicas del PIC16F877

Tabla 3.2: Características PIC16F877

<b>Características PIC16F877</b>	
<b>Arquitectura RISC:</b> Microcontrolador cuenta con 35 instrucciones diferentes	<b>Frecuencia de Operación:</b>  0- 20 MHZ
<b>Oscilador interno:</b>  Con un rango de frecuencia de 8MHZ a 31KHZ	<b>Voltaje de la fuente de alimentación de</b>  2.0V a 5.5V  Consumo: 220uA (2.0V, 4MHz), 11uA (2.0 V, 32 KHz) 50nA (en modo de espera)
35 pines de entrada/salida	Opción de programación serial en el circuito
256 bytes de memoria EEPR	368 bytes de memoria RAM
<b>Convertidor A/D:</b>  14 canales con resolución de 10 bits	3 temporizadores/contadores independientes

Módulo PWM incorporado	Módulo USART mejorado
<b>Puerto Serie Síncrono Maestro (MSSP):</b>  Soporta los modos SPI e I2C	

**Fuente:** Andrés Escobar

- Configuración de pines:

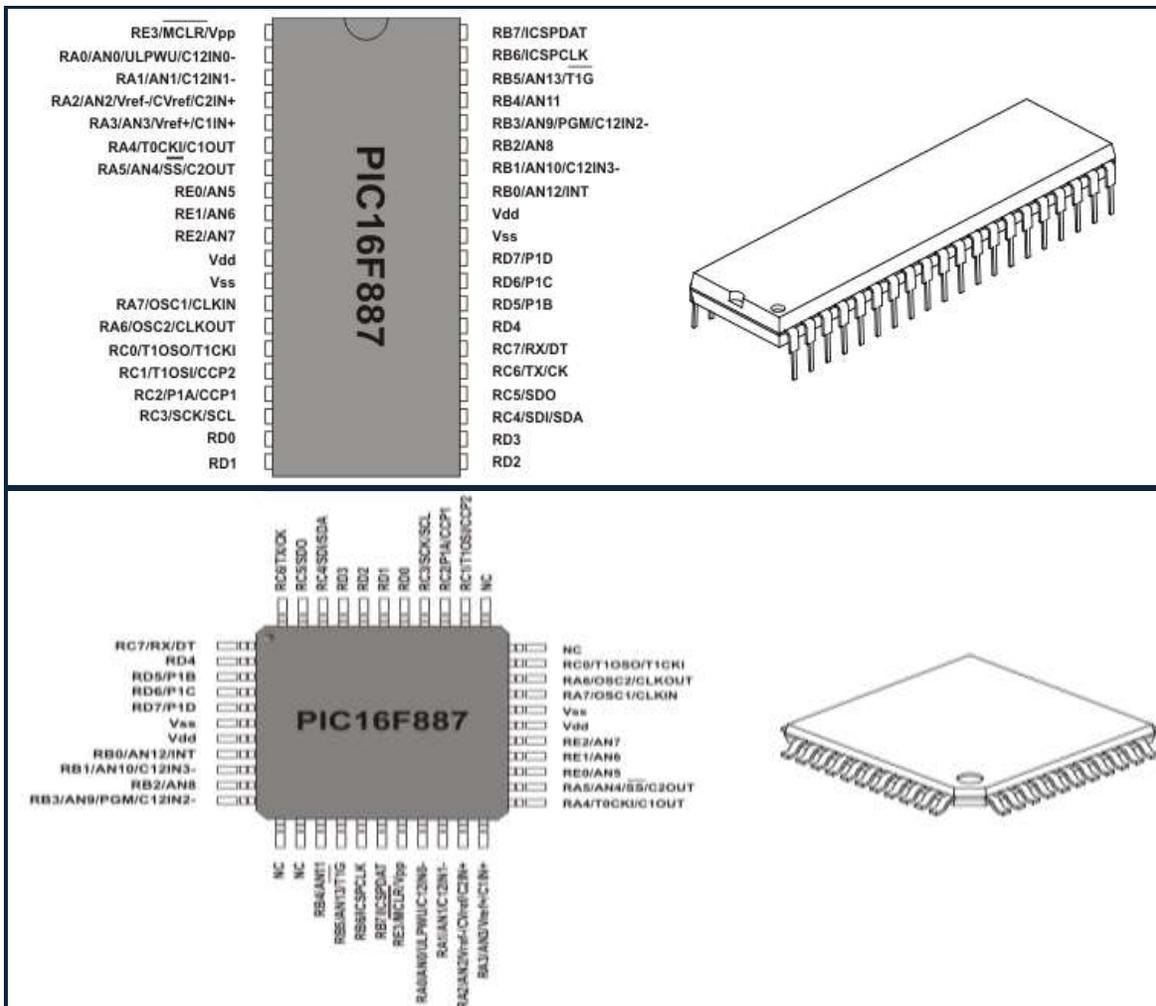


Figura 3.6: Distribución de pines del PIC16F887

**Fuente:** practica16c03.blogspot.com

Son 5 los puertos en los que se encuentran organizados los pines de entrada/salida de este microcontrolador: Puerto A → 6 líneas, Puerto B → 8 líneas, Puerto C → 8 líneas, Puerto D → 8 líneas y puerto E con 3 líneas. Los pines de cada uno de estos puertos se pueden configurar como entrada o como salida independiente programando un par de registros diseñados con éste propósito. En ese registro un bit en "0" configura el pin del puerto como “de salida” y un bit en "1" como “de entrada”.

Los pines del puerto A y del puerto E pueden trabajar como entradas donde se pueda conectar una señal proveniente de un sensor o de un circuito analógico para que el microcontrolador la convierta en su equivalente digital y pueda realizar algún proceso de control o de instrumentación digital; por tanto sirve como entrada para el Convertidor análogo Digital Interno .

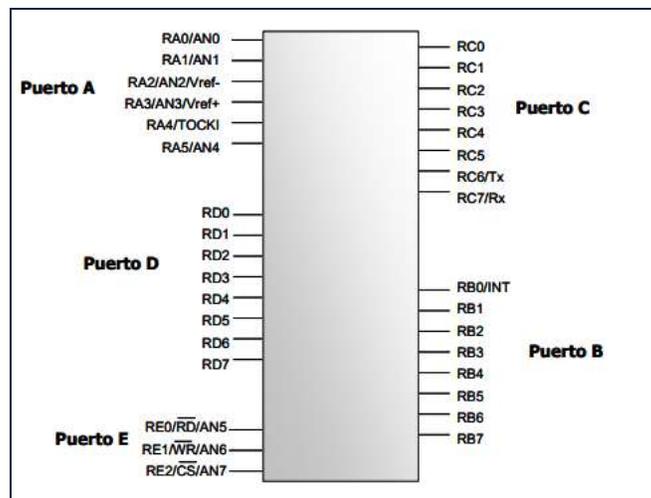


Figura 3.7: Distribución por puertos del PIC16F887

Fuente: [www.mikroe.com](http://www.mikroe.com)

El pin RA4/TOCKI del puerto A puede ser configurado como un pin de entrada/salida o como entrada del temporizador/contador. Cuando este pin se programa como entrada digital, funciona como un disparador de Schmitt que puede reconocer señales algo distorsionadas y transformarlas hasta niveles lógicos de 0 y 5 voltios. Cuando se usa como salida digital actúa como open collector (colector abierto), en este caso es necesario colocar una resistencia de pull-up (resistencia externa conectada a un nivel de cinco voltios). Como salida no puede manejar cargas como fuente, sólo en el modo sumidero.

Utilizando las líneas RD(read), CS (chip select) y WR (write), el puerto E puede controlar la conexión en modo microprocesador. En este modo el puerto D funciona como un bus de datos de 8 bits con pines PSP.

Como dato adicional podemos mencionar que cada uno de los pines de los puertos tanto en modo sink (sumidero) como en modo source (fuente) tienen una capacidad máxima de corriente de 25 mA; mientras que la capacidad máxima total de corriente es:

Puerto A	{	Modo sink → 150 mA.
	}	Modo source → 150mA.
Puerto B	{	Modo sink → 200 mA.
	}	Modo source → 200 mA.
Puerto C	{	Modo sink → 200 mA.
	}	Modo source → 200 mA.

Puerto D {  
 Modo sink → 200 mA  
 Modo source → 200 mA.

Las cargas de los pines, el voltaje de operación y la frecuencia, son las variantes que determinan el consumo de corriente del microcontrolador durante su funcionamiento. Por ejemplo en un oscilador de 4 MHz el consumo es de alrededor de 2 mA; en modo sleep este consumo puede reducirse hasta 40 mA. ya que en este modo el dispositivo se detiene y disminuye el consumo de potencia.

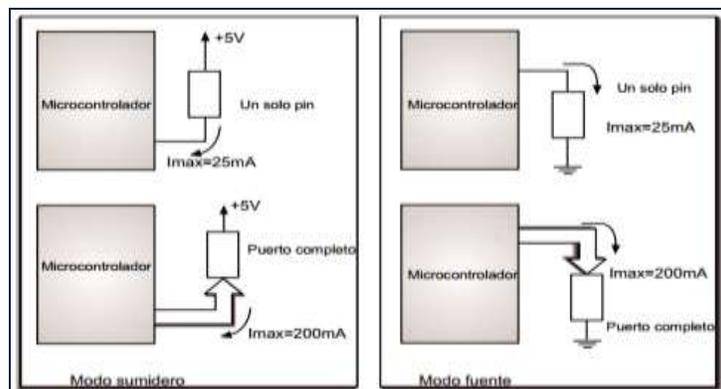


Figura 3.8: Capacidad de los pines y puertos

Fuente: [www.cursomicros.com](http://www.cursomicros.com)

- Descripción de los pines del microcontrolador:

Tabla 3.3: Descripción de los pines del microcontrolador

<b>Nombre Pin</b>	<b>Pin</b>	<b>Descripción</b>
<b>RA0/AN0</b>	2	E/S Digital o Entrada análoga 0.
<b>RA1/AN1</b>	3	E/S Digital o Entrada análoga 1.
<b>RA2/AN2 V<sub>ref</sub> -</b>	4	E/S Digital o Entrada análoga 2
<b>RA3/AN3/V<sub>ref</sub> +</b>	5	E/S Digital o Entrada análoga 3.
<b>RA4/T0CKI</b>	6	Bit 4 del puerto A (E/S bidireccional). También se usa como entrada de reloj al temporizador/contador TMR0. Salida de colector abierto
<b>RA5/SS/AN4</b>	7	E/S Digital o Entrada análoga 4. También lo usa el puerto serial síncrono.
<b>RB0/INT</b>	33	Bit 0 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. También se usa como entrada de interrupción externa (INT)
<b>RB1</b>	34	Bit 1 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
<b>RB2</b>	35	Bit 2 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
<b>RB3/PGM</b>	36	Bit 3 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL (Programación en bajo voltaje)
<b>RB4</b>	37	37 Bit 4 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL.

		Interrupción por cambio del pin.
<b>RB5</b>	38	Bit 5 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin.
<b>RB6/PGC</b>	39	Bit 6 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de reloj para programación serial.
<b>RB7/PGD</b>	40	Bit 7 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de datos para programación serial.
<b>RC0/T1OSO/T1C KI</b>	15	E/S Digital. Salida del oscilador Timer 1 o entrada de reloj Timer 1.
<b>RC1/T1OSI/CCP 2</b>	16	E/S Digital. Entrada del oscilador Timer 1. Entrada Captura 2; Salida Compara 2; Salida PWM 2 .
<b>RC2/CCP1</b>	17	E/S Digital. Entrada Captura 1; Salida Compara 1; Salida PWM 1
<b>RC3/SCK/SCL</b>	18	E/S Digital. Línea de reloj serial asíncrono en el modo SPI y el modo I <sup>2</sup> C
<b>RC5/SDO</b>	24	E/S Digital.

<b>RC6/TX/CK</b>	25	E/S Digital. Transmisión asíncrona (USART) o reloj síncrono (SSP).
<b>RC7/RX/DT</b>	26	E/S Digital. Recepción asíncrona (USART) o línea de datos (SSP).
<b>V<sub>DD</sub></b>	11,32	Voltaje de alimentación DC (+)
<b>VSS</b>	12,31	12,31 Referencia de voltaje (GND).
<b>MCLR</b>	1	Entrada de RESET al microcontrolador. Voltaje de entrada durante la programación. En nivel bajo resetea el microcontrolador.
<b>OSC1/CLKIN</b>	13	Entrada oscilador cristal oscilador / Entrada fuente de reloj externa.
<b>OSC2/CLKOUT</b>	14	Salida oscilador cristal. Oscilador RC: Salida con un ¼ frecuencia OSC1
<b>RD0/PSP0</b>	19	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RD0/PSP0</b>	20	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RD2/PSP2</b>	21	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RD3/PSP3</b>	22	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.

<b>RD4/PSP4</b>	27	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RD5/PSP5</b>	28	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RD6/PSP6</b>	29	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RD7/PSP7</b>	30	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
<b>RE0/RD/AN5</b>	8	E/S Digital. Puede se pin de lectura (read) en modo microprocesador.
<b>RE1/WR/AN6</b>	9	E/S Digital. Puede ser pin de escritura (write) en modo microprocesador.
<b>RE2/CS/AN7</b>	10	E/S Digital. Puede ser pin de selección de chip (chip select) en modo microprocesador.

**Fuente:** Andrés Escobar

- Arquitectura interna del microcontrolador

Hace referencia a los bloques funcionales internos que forman parte del microcontrolador y la forma en que estos se conectan, como: la memoria FLASH, la memoria RAM, los puertos, la lógica de control, etc.

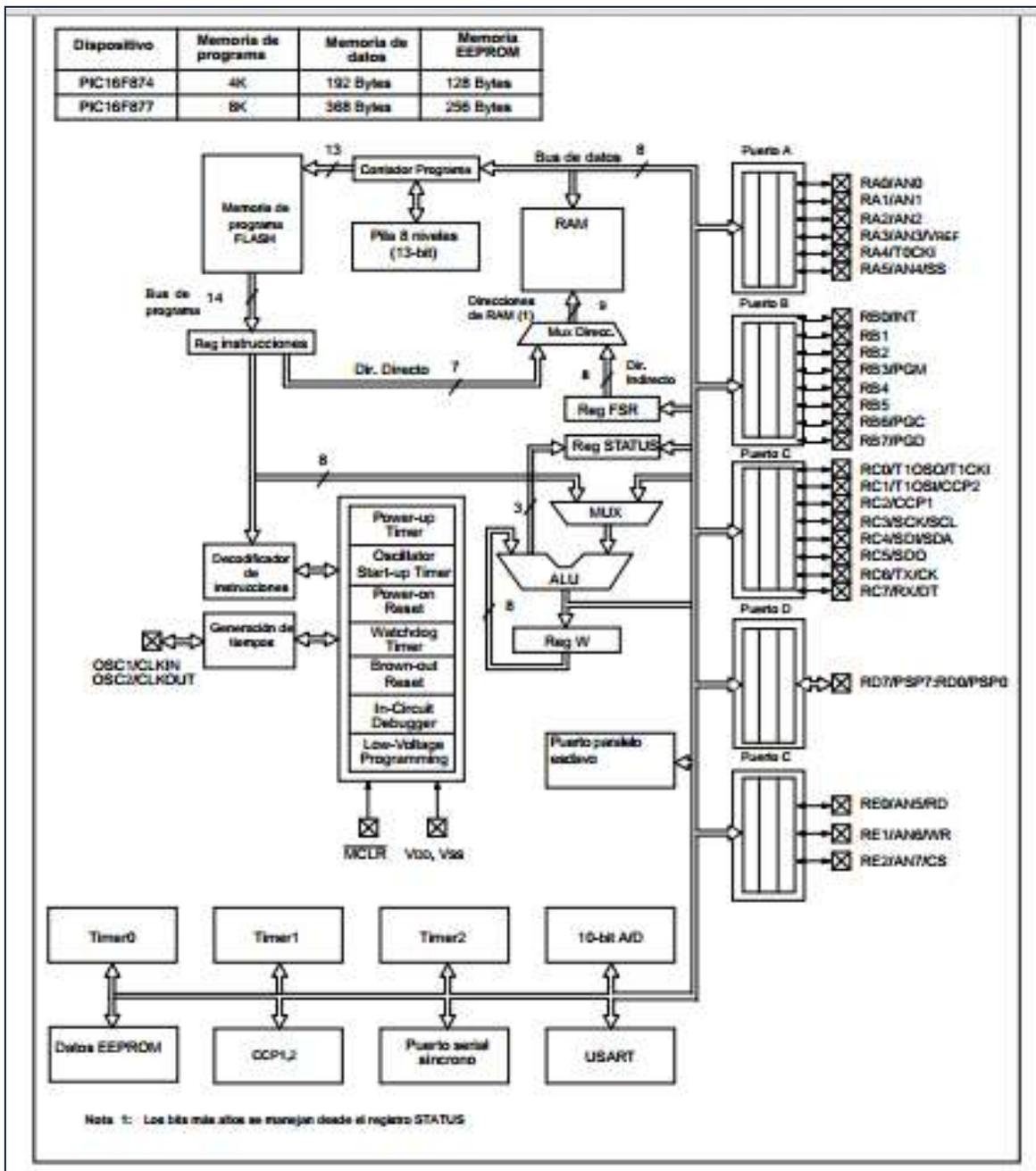


Figura 3.9: Arquitectura del PIC16F877

Fuente: [www.utp.edu.co](http://www.utp.edu.co)

### 3.2.6 Pantalla Gráfica 128 x 64

Se trata de un LCD monocromo, gráfico, retroiluminado, con 128 píxeles de largo y 64 píxeles de ancho. A través de los comandos serie permite que el control de todas las funciones de la pantalla sea más sencillo.

Algunas de las funciones que permite este LCD además de escribir texto son: permite dibujar líneas, círculos, rectángulos y establecer los píxeles individuales, borrar bloques específicos de la pantalla, control de la luz de fondo y ajustar la velocidad de transmisión.



*Figura 3.10: Pantalla LCD 128 X 64*

**Fuente:** [www.bricogeek.com](http://www.bricogeek.com)

- Características: El LCD es tipo ASTN (utilizado en pantallas de imagen negativa con rango de temperatura amplio), transmisor (que requiere retroiluminación, deja pasar o no la luz dependiendo de la polarización) y negativo (que no deja pasar la luz si se polariza el cristal líquido). La dirección de visión preferente es “6 o’clock”. La retroiluminación se implementa con 2 LEDs de color blanco, permitiendo así una imagen de fondo blanco y carácter negro.

Su alimentación → 5V DC, consumo → 220mA (backlight a 100%), entrada de datos → 0-5V, 115200bps (ajustable), dimensiones: 7,6x5x1.5cm.

- Datos del módulo:

Sus características son: Dimensiones: 93.0 x 70.0 x 13.5 mm.

Área visual: 72.0 x 40.0 mm.

Tamaño del píxel: 0.48 x 0.48 mm.

Tensión de funcionamiento: 3.3v / 5.0v.

Tensión del funcionamiento del controlador del LCD: 5.0v

Temperatura de funcionamiento: -20°C – 70°C.

- Pines de la pantalla LCD

*Tabla 3.4 Pines del LCD*

Pin	Significado	Descripción
<b>VSS/GND</b>	Ground	-
<b>VDD/VCC</b>	Vin	-
<b>V0</b>	Voltaje del driver del LCD	Ajusta el contraste del LCD (<=7.0v).
<b>RS</b>	Register Select	Tiene distintos propósitos si está trabajando en modo serie o paralelo.
<b>R/W</b>	Read / Write	En modo paralelo indica el tipo de operación (lectura/escritura). En modo serie se utiliza como entrada de datos.

	Line	
<b>E</b>	Read / Write Enable	En modo paralelo es la señal de comienzo de actividad (lectura de datos/selección de operación...).  En modo serie es la señal de reloj.
<b>DB0-DB3</b>	Data Bus 0 – Data Bus 3	Bits menos significativos en modo paralelo 8 bits.
<b>DB4-DB7</b>	Data Bus 4 – Data Bus 7	Bits más significativos en modo paralelo 8 bits. Bus de datos en modo paralelo 4 bits.
<b>PSB</b>	Serial / Parallel control port	Selecciona el modo de funcionamiento (Serie / Paralelo).
<b>NC</b>	Not Connected	-
<b>RST</b>	Reset	-
<b>Vout</b>	Salida del doblador de voltaje	-
<b>BLA</b>	BackLight (+)	Terminal positivo de la retroiluminación (3.3v – 5.0v).
<b>BLK</b>	BackLight (-)	Terminal negativo de la retroiluminación.

**Fuente:** Andrés Escobar

### 3.2.7 Comunicación Serial

El término se refiere al envío de manera secuencial de un bit de información, por lo tanto este envío será individual y dependerá del ritmo acordado entre el emisor y el receptor.

Según el protocolo RS-232 (Recommended Standard 232) se establece como valor uno lógico a -12 voltios y un valor cero lógico a +12 voltios - los microcontroladores emplean por lo general 5v como un uno lógico y 0v como un cero lógico-.

Actualmente existen diferentes puertos que comunican información de manera serial (un bit a la vez). El “puerto serial” se ha reemplazado de forma paulatina por el puerto USB (Universal Serial Bus) que permite una conexión con múltiples dispositivos., otra diferencia es que este no sigue los estándares determinados por el RS-232 sino que tiene sus propios parámetros.

La mayoría de los microcontroladores (como el utilizado para el diseño de éste opacímetro) tienen un puerto de comunicación serial para comunicarse con los computadores que solo poseen un puerto USB.

- Principio de Funcionamiento:

La comunicación asincrónica es el tipo de comunicación que se realiza con el puerto serial; debido a que para la sincronización de comunicación se necesita un bit adicional.

La información a comunicar es determinada entre el emisor y el receptor mediante la programación de sus puertos seriales. La información puede ser la siguiente:

1) Bit de inicio → cuando se detecta este bit la transmisión comienza y el receptor debe leer la información mediante las señales de la línea a una distancia de tiempo concreta y en función de la velocidad determinada.

2) Bit de Parada → señala la terminación de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo RS-232 permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.

3) Bit de Paridad → permite identificar los errores de la transmisión de datos. Puede darse una paridad par o impar. En la de tipo par la palabra de datos se completa con el bit e paridad de tal forma que el número e bits 1 transmitido es par.

- Velocidad y Control del Puerto Serial

El circuito UART permite que el ordenador controle el puerto serial; los modelos más comunes de este chip son: 8250 (llega a 9600 baudios), 16450 (llega a 115200 baudios) y 16550A (de alta velocidad y el utilizado actualmente).

Los puertos de entrada/salida y las líneas de interrupción IRQ son las que permiten que el CPU pueda controlar al puerto serial. Los puertos de E/S permiten intercambiar datos mientras que las IRQ provocan una interrupción para indicar al CPU que sucedió algo en la transmisión como cuando llega un dato o que cambiaron algunas señales de entrada.

Ante estas interrupciones el CPU debe enviar una respuesta lo más pronto posible de manera que el próximo dato no sobrescriba al anterior.

Para que puedan comunicarse entre sí, el aparato a conectar y el ordenador deben utilizar el mismo protocolo serial, aunque no es necesario que la velocidad del puerto serial sea la misma que la de transmisión de datos ya que de hecho la primera debe ser superior

- Convertidor de puerto USB a Serial

A causa de que la tecnología sigue avanzando es un poco difícil encontrar PC's con puertos seriales, para esto se diseño un cable convertidor de puertos USB a serial el cual provoca la compatibilidad entre estos 2 puertos. El convertidor proporciona 2 puertos a la vez, pero sólo uno funciona a la vez.



*Figura 3.11: Dispositivo convertidor USB-serial*

**Fuente:** es.dhgate.com

### 3.2.8 Sensor Infrarrojo Fotodiodo

El sensor es un dispositivo electrónico-químico-mecánico que mapea un atributo ambiental y da como resultado una medida cuantificada y que normalmente se trata de un nivel de tensión eléctrica.

El sensor infrarrojo específicamente es un dispositivo electrónico que puede cuantificar la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión.

Por otro lado un fotodiodo es un semiconductor sensible a la luz visible e infrarroja, construido con una unión PN. Debido a su construcción, los fotodiodos se comportan como células fotovoltaicas, por lo que en ausencia de luz exterior generan una tensión muy pequeña con el lado positivo en el ánodo y el negativo en el cátodo. Esta corriente en ausencia de luz recibe el nombre de corriente de oscuridad.

- Principio de Funcionamiento

Los rayos infrarrojos (IR) ingresan al fototransistor donde se encuentra un material piroeléctrico, natural o artificial, formando una lámina dentro del nitrato de galio  $[\text{Ga}(\text{NO}_3)_3]$ , nitrato de Cesio ( $\text{CsNO}_3$ ), derivados de la fenilpirazina, y ftalocianina de cobalto.

Sensores pasivos → formados únicamente por el fototransistor con la función de medir las radiaciones provenientes de los objetos.

Sensores activos → Es la combinación de un emisor (*fotodiodo*) y un receptor que por lo general forman parte del mismo circuito. El receptor es el fototransistor mientras que el emisor es un diodo LED infrarrojo.

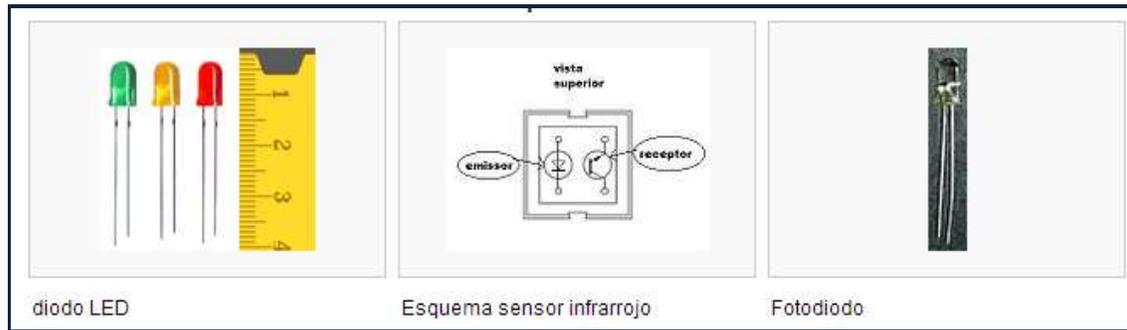


Figura 3.12: Componentes del sensor activo del sensor infrarrojo

**Fuente:** es.wikipedia.org

Tabla 3.5: Clasificación de los sensores infrarrojos según la señal

Clasificación del sensor infrarrojo según la señal emitida	
Sensores reflexivos	En su cara frontal se encuentra el LED y el fototransistor. El sistema tiene que medir la radiación proveniente del reflejo de la luz emitida por el LED.
Sensores de ranura(Sensor Break-Beam)	Este sensor sigue el mismo principio de funcionamiento pero la configuración de los componentes es diferente, ya que los 2 se

	encuentran a la misma altura, a banda y banda de una ranura estrecha. Este tipo se utiliza para control industrial o para el control de las vueltas de un volante.
Sensores de barrido	Este tipo de sensor realiza el barrido horizontal de la superficie reflectante mediante señales moduladas para mejorar la independencia de la luz y el color o reflectividad de los objetos.

**Fuente:** Andrés Escobar

### 3.3 Principio de Funcionamiento

El circuito está alimentado por un adaptador de 12VDC, el cual se conecta al opacímetro digital para posteriormente distribuir la energía al resto de componentes de la placa, la fuente de 5VDC proporciona alimentación a todos los componentes electrónicos de la placa como son el microcontrolador, la pantalla gráfica LED, el sensor infrarrojo y la interfaz TTL RS232.

El sensor está compuesto por un emisor infrarrojo y receptor infrarrojo fabricado por FAIRCHILD, el receptor entra en conducción en función de la cantidad de luz IR que recibe, de modo que al microcontrolador le llega más voltaje mientras menos luz recibe, de

este modo se puede realizar las lecturas de opacidad en el diesel, el transistor Q2, es el encargado de enviar este voltaje al microcontrolador que cabe recalcar que solo puede leer valores entre 0v y 5V.



Figura 3.13: Componentes de la placa del opacómetro y pantalla LED

**Fuente:** Andrés Escobar

La interfaz RS232 está compuesto por el circuito integrado Max232 fabricado por MAXIM, es un convertidor de niveles TTL(0Voltios a 5Voltios) a niveles RS232 (-10Voltios a 10Voltios), ya que de esta manera se puede extender cables de comunicación hacia el computador de hasta 200mts, el C.I. MAX232 es una interfaz entre el microcontrolador y la PC.

El microcontrolador pic 16f877a fabricado por el MICROCHIP que es el cerebro del sistema, se encarga de leer los datos provenientes del sensor, procesar las señales mediante operaciones matemáticas para posteriormente enviar los datos tanto a la pantalla grafica LED como al computador, para ser visualizados correctamente.

Para la programación del microcontrolador se ha utilizado la herramienta Microcode Studio Pro se utilizó programación en lenguaje Basic.

Los datos provenientes del sensor ingresan por el canal analógico A0, al microcontrolador donde esta señal es digitalizada y se obtiene un valor digital entre 0 y 255 que representa la cantidad de luz, mediante expresiones matemáticas este valor es transformado a un número porcentual de 0% a 100%, el cual es enviado por el puerto serial del micro hacia el max232 y posteriormente a la PC, una vez que se tiene el valor final este dato también es enviado a la pantalla LED que es la encargada de graficar, 128x64 la cual nos permite visualizar las variaciones de opacidad en relación al tiempo.

Una vez enviado el dato hacia la pc, mediante el software Visual Basic se realiza la configuración del puerto serie, y la lectura de dato digital mediante la utilización del complemento Microsoft como control.

Para la graficación de los datos en la pc se utilizó en componente Picture Box y la herramienta de graficación de puntos, los datos son recogidos con la ayuda de un timer cada 200 milisegundos mediante la instrucción `mscomm1.input`.

Existen 3 componentes principales para el funcionamiento del opacímetro:

- 1) Fuente de luz → Esta constituida por una bombilla con lentes condensadores, para obtener un haz de luz paralelo y uniforme.
- 2) Célula de medición → debe constar de paredes equivalentes y con condiciones geométricas basadas en la Ley de Beer-Lambert.



luz absorbida la cual es mayor cuando hay humo, y permita la mejor medición de la opacidad de los gases.

El porcentaje es la medida de elección con la que se mide la opacidad dependiendo esta de la atenuación de la luz.

- Calibración del opacómetro

La calibración del opacómetro debe basarse en las siguientes consideraciones: diseño y longitud de la cámara, debido a que es de suma importancia determinar la trayectoria del haz de luz dentro de esta unidad, para esto se necesita determinar y conocer el coeficiente de absorción de luz  $K$  y el camino óptico. Estos datos son fundamentales porque en el mercado existen diferentes diseños de instrumentos calibradores que deberán contar con los conocimientos para trabajar y/o calibrar los instrumentos mediante el uso correcto de sus elementos.

### **3.4 Diseño del Hardware y Software**

#### **3.4.1 Diseño del Software**

##### **3.4.1.1 Diagrama de bloques**

Como se observa en la figura 3.15, tenemos el diagrama de bloques compuesto básicamente por una fuente de voltaje, el cerebro del sistema que es un microcontrolador, sensores, visualizador y el software de adquisición de datos por puerto serie. (MOLINA, 2006)

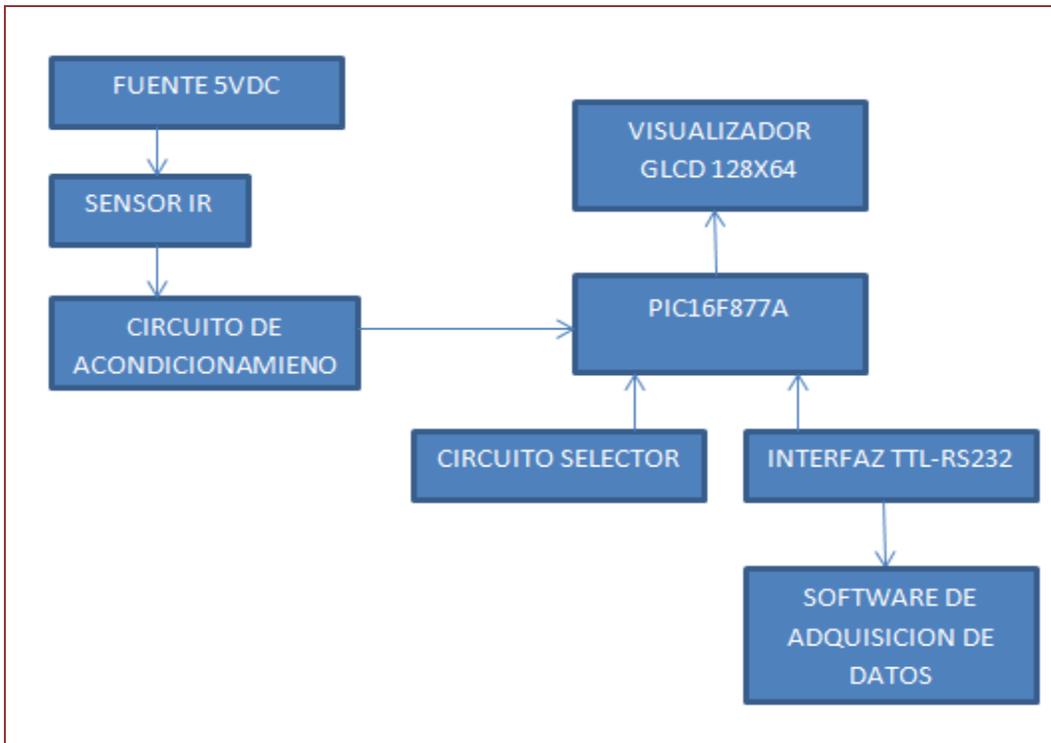


Figura 3.15: Diagrama de bloques del opacímetro Digital

**Fuente:** Andrés Escobar

### 3.4.1.2 Diagramas y circuito implementados

- **Circuito de la fuente de alimentación de voltaje**

La fuente de voltaje es la que proporciona de energía al equipo y todos sus componentes eléctricos y electrónicos; antes de iniciar con el diseño de la fuente se debe tomar en cuenta

qué componentes se va a utilizar: Estos se señalan en la siguiente tabla junto con los voltajes necesarios.

Tabla 3.6: Componentes electrónicos y voltaje de funcionamiento

<b>Elementos</b>	<b>Voltajes</b>
<b>GLCD</b>	+ 5VDC
<b>Sensor óptico</b>	+ 5VDC
<b>Microcontrolador</b>	+ 5VDC
<b>TTL-RS232</b>	+ 5VDC
<b>Semiconductores</b>	+ 5VDC
<b>Selector</b>	+ 5VDC

**Fuente:** Andrés Escobar

En la figura 3.16, consta el circuito esquemático de la fuente de alimentación de 5vdc con sus respectivos filtros. El filtro C3 y C1 eliminan el voltaje de rizado que puede provenir del adaptador de voltaje de 12Vdc y estabiliza la fuente de 5V para proporcionar un voltaje estable y sin ruido.

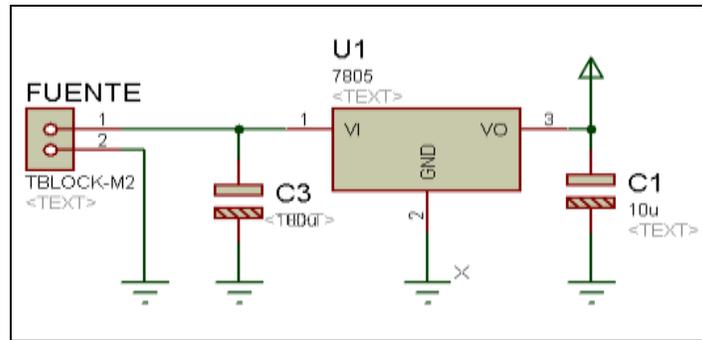


Figura 3.16: Circuito esquemático de la fuente de alimentación de voltaje

**Fuente:** Andrés Escobar (proteus)

- **Circuito de acondicionamiento para el sensor infrarrojo**

Para obtener los valores de opacidad, es necesaria la utilización del fotodiodo infrarrojo el cual provee conducción dependiendo de la cantidad de luz IR a la cual es expuesto el mismo, en la figura 3.17 se observa el circuito del sensor infrarrojo.

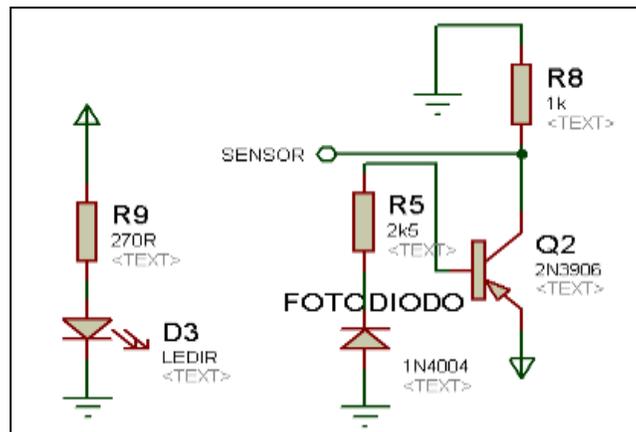


Figura 3.17: Circuito esquemático del circuito de acondicionamiento para el sensor infrarrojo

**Fuente:** Andrés Escobar (proteus)

En la figura se puede apreciar que el circuito del sensor consta de un emisor infrarrojo y un fotodiodo de 250 mm de distancia de detección, en el fototransistor viene incluido un filtro day-light con lo que es inmune a interferencias generadas por fuentes externas tales como el sol o lámparas incandescentes.

Para calcular  $R_9$ , tomamos en cuenta el valor del voltaje que tenemos en la fuente que son 5V. Y la corriente que necesita un LED para su encendido normal que es 15 mA.

$$(V_{\text{fuente}} - V_{\text{led}}) = R_9 \times I_{\text{led}}$$

$$R_9 = (V_{\text{fuente}} - V_{\text{led}}) / I_{\text{led}}$$

$$R_9 = (5 - 1.8) / 0,015$$

$$R_9 = 213,33 \Omega$$

Se ha escogido una resistencia de 270  $\Omega$  consiguiendo una corriente en el diodo LED emisor de 11.85 mA.

Para el cálculo de  $R_8$  se sabe que la corriente máxima que soporta el microcontrolador es de 25 mA, estos valores hacen referencia a la hoja de datos del fabricante.

Características del transistor 2N3906.

$$h_{fe} = 30 < h_{fe} < 300$$

$$I_{cmax} = 200mA$$

$$V_{ce(sat)} = 0.3V \text{ (voltaje entre colector y emisor en saturación)}$$

En donde por ley de ohm:

$$V_{\text{fuente}} = R_8 \times I_{uc} \quad R_8 = V_{\text{fuente}} / I_{uc}$$

$$R_8 = 5 / 0,025 \quad R_8 = 200\Omega$$

Se selecciono  $R_8$  con un valor de  $1000 \Omega$  que proporciona una corriente  $I_{ce}=5\text{ma}$ , ya que no es recomendable trabajar con los valores limites (valor límite para  $R_8=200\Omega$ ).

$I_{ce} = 5\text{mA}$                        $h_{fe} = 30$  típico para el transistor 2N3906

$I_b = I_{ce}/h_{fe}$                        $I_b = 5\text{mA} / 30$

$I_b = 166.66\mu\text{A}$ .                       $R_8 = (5\text{v} - 0,7\text{v}) / 166.66\mu\text{A}$

$R_8=2.5 \text{ Kohms}$

- **Circuito de visualizador GLCD 128\*64**

El circuito que se presenta a continuación se refiere al esquema de la interfaz de la pantalla con el microcontrolador, los pines marcados como RW,RST,RS y E son los bits de control de la LCD, mientras que los pines marcados como D0,D1,D2,D3,D4,D5,D6 y D7 son los 8 bits bidireccionales de datos.

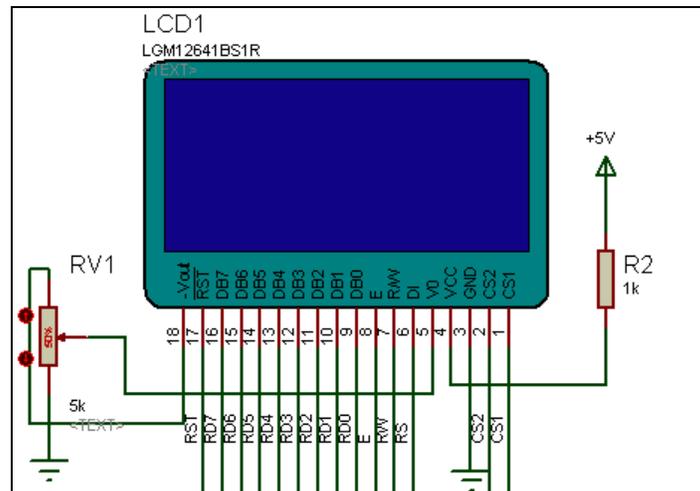


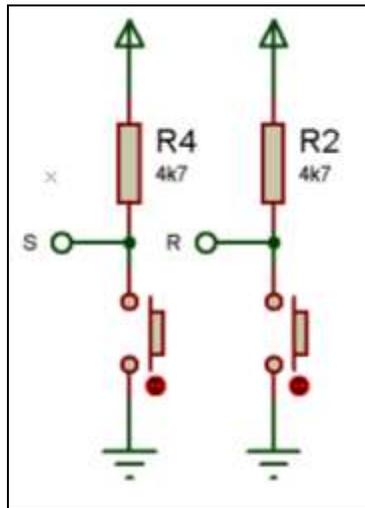
Figura 3.18: Circuito esquemático de pantalla GLCD 128\*64.

**Fuente:** Andrés Escobar (proteus)

- **Circuito selector de función**

El circuito selector de función es una interfaz máquina usuario la cual consta de tres pulsadores que son las entradas y la salida que lo constituye la pantalla GLCD.

Los botones que se muestran en la figura (5), R (reset), S (set), sirven para navegar a través de las dos diferentes pantallas del software de graficación.



*Figura 3.19: Circuito esquemático del selector de función.*

**Fuente:** Andrés Escobar (proteus)

Para calcular las resistencias R4 y R2, sabiendo que el microcontrolador soporta 25 mA en sus pines de entrada y trabajamos con 5 voltios (Vcc), tenemos que:

$$V=R \times I$$

$$R=V/I$$

$$R=5V/25mA$$

$$R=220 \Omega$$

Esto quiere decir que la resistencia mínima a colocarse sería de  $220 \Omega$  para estar al límite de la capacidad de corriente que soporta el controlador, pero no es aconsejable trabajar con los límites, por lo tanto se utilizará resistencias de  $4.7k \Omega$  quedando:

$$I=V/R$$

$$I=5V/4.7k \Omega$$

$$I=1.06mA$$

Así el controlador está trabajando a una corriente de entrada de  $1.06mA$  con lo cual nos aseguramos de proteger al microcontrolador.

### 3.4.1.3 Interfaz TTL-RS232

La interfaz TTL RS232 está compuesta por el circuito integrado max232 y sus 4 capacitores, la cual se encarga de transmitir los datos provenientes del microcontrolador hacia la PC, y viceversa, utilizando el protocolo RS232.

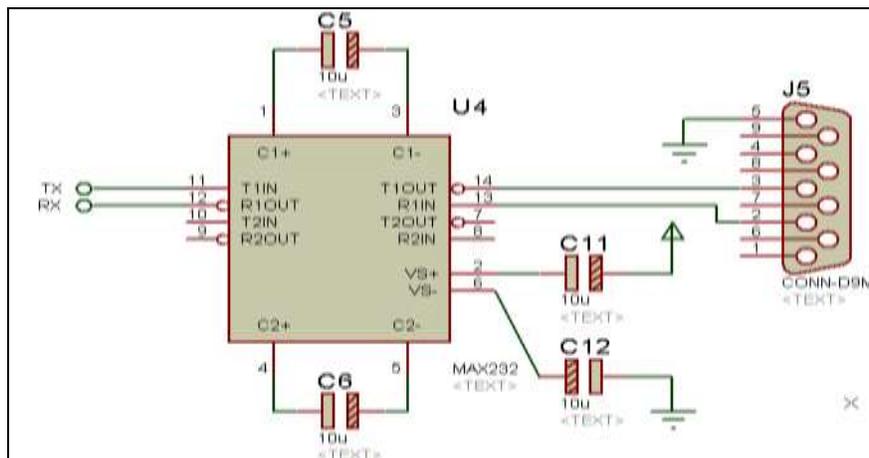


Figura 3.20: Circuito esquemático del selector de función.

**Fuente:** Andrés Escobar (proteus)

### 3.4.1.4 Circuito del microcontrolador

Éste se encuentra conformado por el microcontrolador PIC 16f877, que es el encargado de comandar todo el sistema.

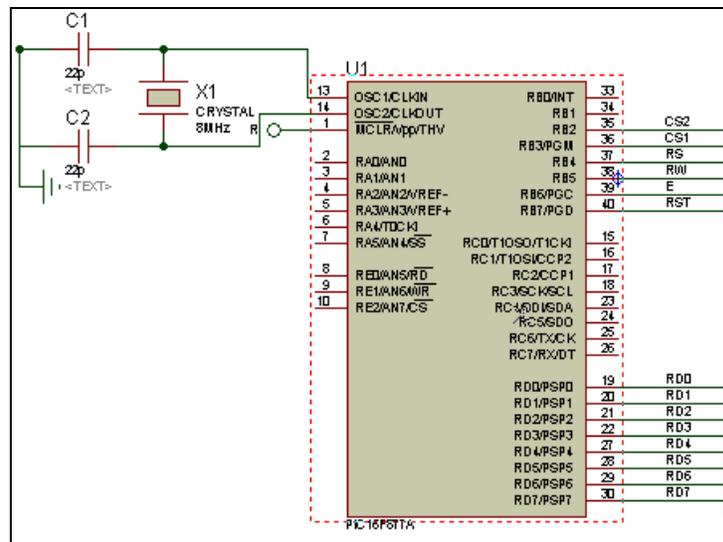


Figura 3.21 Circuito del microcontrolador, con sus entradas y salidas respectivas

### 3.4.1.4 Software Visual Basic

Visual Basic es un lenguaje de programación desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. Se presentó por primera vez en 1991 para simplificar la programación utilizando un ambiente completamente gráfico que facilitaría la creación de interfaces gráficas y la programación.

A pesar de que Visual Basic es de propósito general, también provee facilidades para el desarrollo de aplicaciones de bases de datos usando Data Access Objects, Remote Data Objects o ActiveX Data Objects.

Visual Basic presenta un IDE (entorno de desarrollo integrado) que integra editor de textos, un depurador, un compilador (y enlazador) y un editor de interfaces gráficas o GUI.

- Características:

Los códigos de este programa requiere de una o más librerías de enlace dinámico para que funcione, conocidas comúnmente como DLL (dynamic-link library); en algunos casos reside en el archivo llamado MSVBVMxy.DLL y en otros casos en VBRUNXXX.DLL. Estas bibliotecas DLL proveen las funciones básicas implementadas en el lenguaje, que poseen un código ejecutable. Además de las esenciales, existe un gran número de bibliotecas del tipo DLL con variedad de funciones, que facilitan el acceso a la mayoría de las funciones del sistema operativo y otras que permiten la integración con otras aplicaciones.

En el IDE de Visual Basic se puede ejecutar el programa que esté desarrollándose, es decir pseudo-compila el programa de forma rápida y luego lo ejecuta. Desde ese ámbito también se puede crear el archivo en código ejecutable (exe); ese programa así creado en disco puede luego ser terminado sin requerir sin una previa programación.

El mismo software Visual Basic provee soporte técnico para su distribución; crea un módulo instalador que tiene al programa ejecutable y las bibliotecas DLL necesarias para su ejecución. Con ese módulo la aplicación puede ser instalada en cualquier PC.

El software de adquisición de datos del opacímetro está desarrollado en lenguaje Basic programación orientada a objetos, bajo la plataforma Visual Basic 6.0, en la figura

3.21 se puede observa la pantalla de graficación de la señal proporcionada por el microcontrolador en formato serial.



Figura 3.22: Pantalla de graficación del software de adquisición.

Fuente: Andrés Escobar

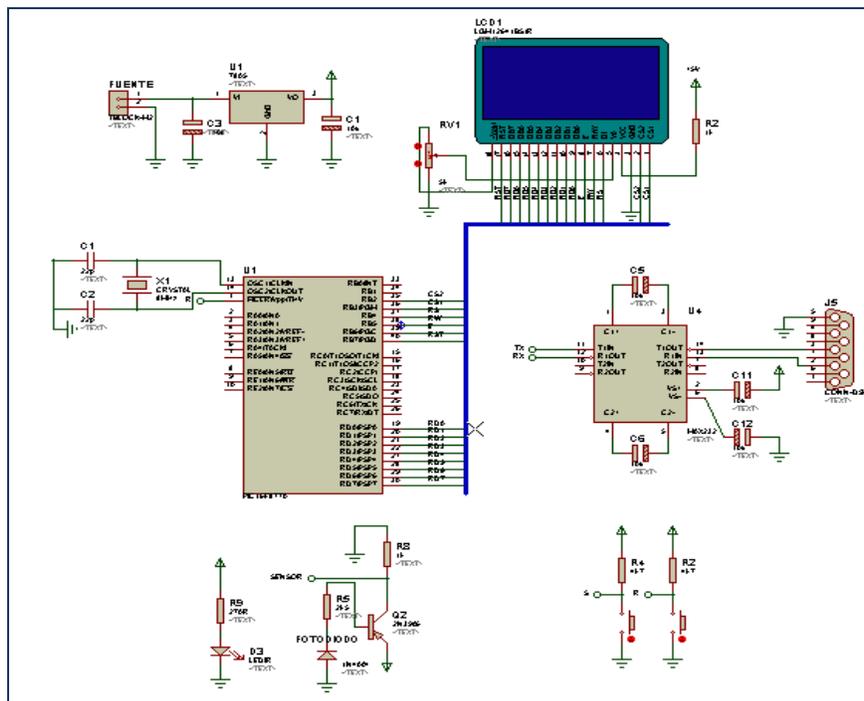


Figura 3.23: Esquema de graficación del software de adquisición.

Fuente: Andrés Escobar

Las próximas imágenes indican el software propio del opacímetro, diseñado en el programa Proteus y Ares.

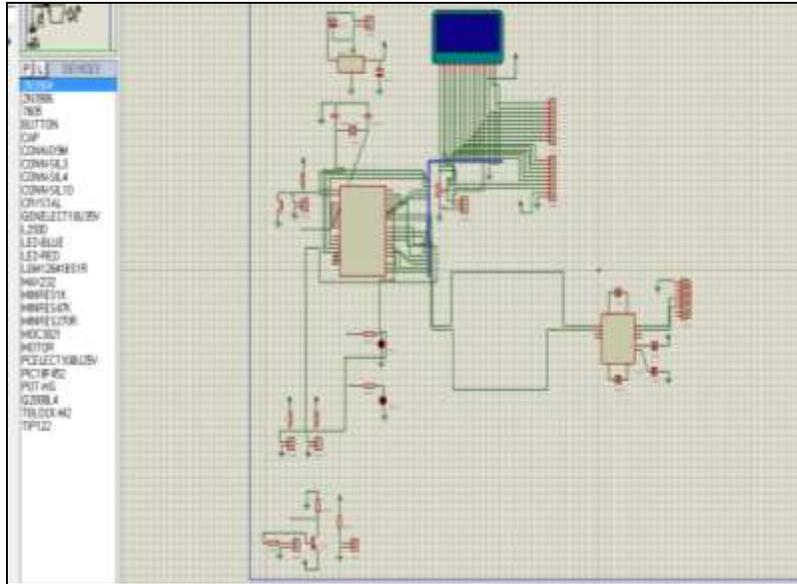


Figura 3.24: Diseño del circuito en el programa Proteus 7.8

Fuente: Andrés Escobar

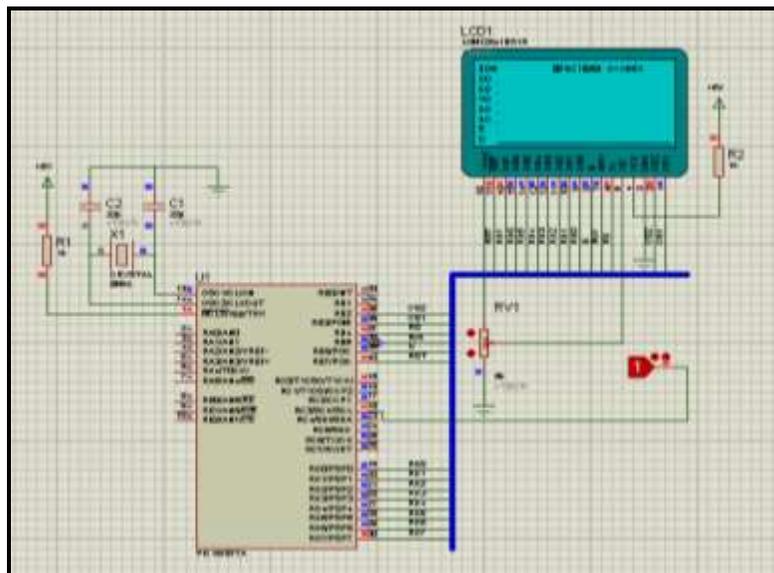


Figura 3.25: Software de funcionamiento del LCD en programa Proteus

Fuente: Andrés Escobar

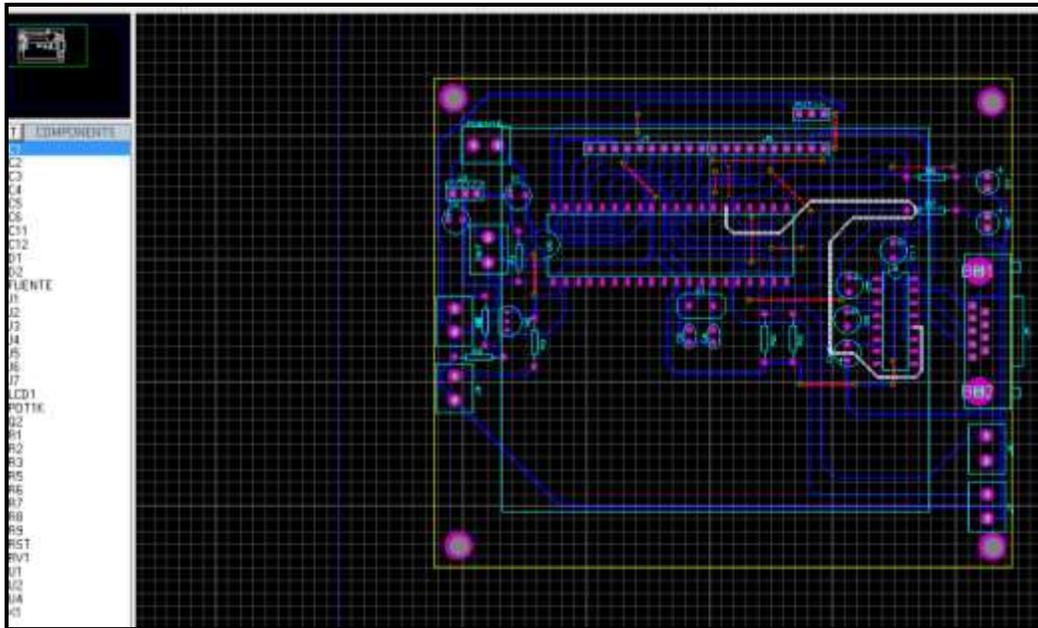


Figura3.26: Impresión del circuito en el programa Ares

Fuente: Andrés Escobar

### 3.4.2 Diseño del hardware

Tabla 3.7: Características opacímetro

<i>Características Físicas</i>	<i>Valor / Medida</i>
✓ <b>Peso</b>	<b>6kg</b>
✓ <b>Dimensiones (mm)</b>	<b>489 x 192 x 105</b>
✓ <b>Montaje</b>	<b>Tubo 500mm Nominal, 480,3mm OD max (1-1/2 pulgadas tubo IPS, 1,9 pulgadas OD max)</b>
<i>Características Funcionales</i>	<i>Valor / Medida</i>
✓ <b>Rango de opacidad</b>	<b>0-10x10<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup></b>

✓ <b>Precision</b>	<b>+/- 10% RMSE Operational</b> <b>+/- 1% Full Scale Calibration</b>
✓ <b>Constante de tiempo</b>	<b>60 segundos</b>
✓ <b>Angulo de dispersión</b>	<b>33° nominal</b>
✓ <b>Fuente LED</b>	<b>880nm</b>
<i>Alimentación</i>	<i>Valor / Medida</i>
✓ <b>Versión AC</b>	<b>100-240V, 50/60 Hz, 24V</b>
✓ <b>Versión DC</b>	<b>10-36V, 6V</b>
<i>Características Ambientales</i>	<i>Valor / Medida</i>
✓ <b>Temperatura :</b>	<b>-40°- 60° C</b>
✓ <b>Humedad:</b>	<b>0-100%</b>
✓ <b>Protección:</b>	<b>IP66 (NEMA-4X)</b>
<i>Salida</i>	<i>Valor / Medida</i>  4-20mA aislado  Placa de control de 3 salidas de relés opcional (2 de control y 1 de diagnostico)

**Fuente:** Andrés Escobar

A continuación presento las gráficas del hardware del opacímetro diseñado en el programa Autocad.

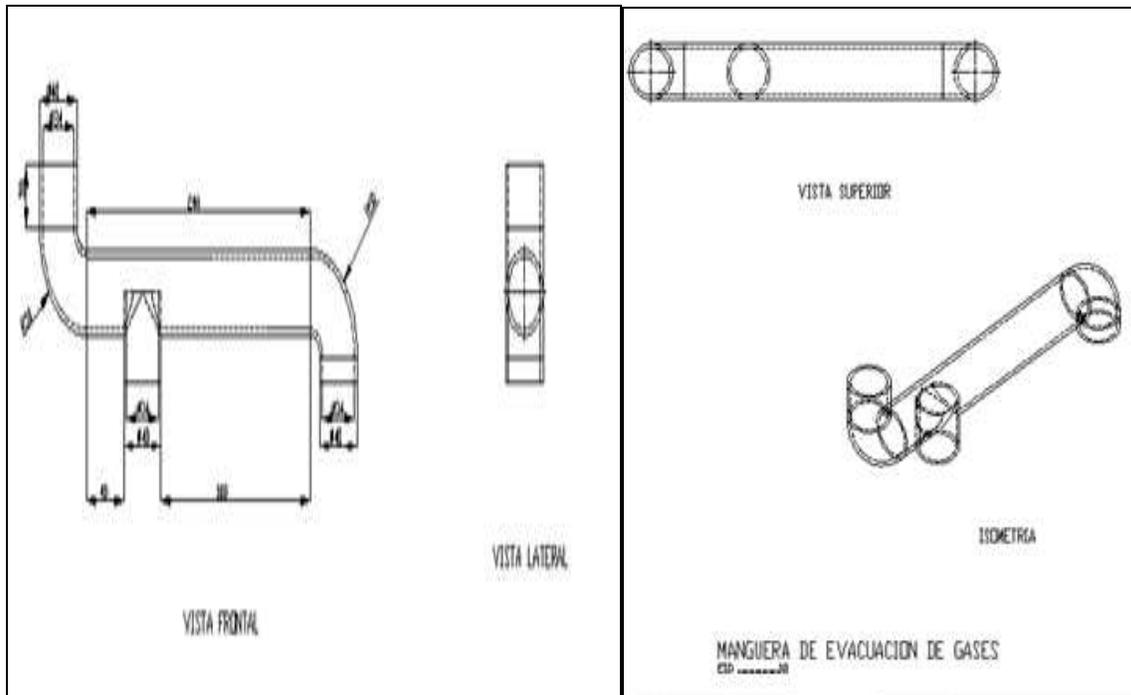


Figura 3.27 Diseño en Autocad de la manguera de evacuación de gases.

Fuente: Andrés Escobar

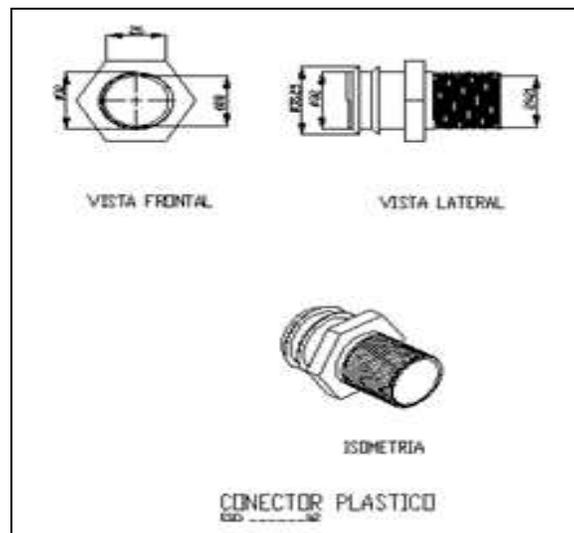


Figura 3.28: Diseño en Autocad del conector plástico

Fuente: Andrés Escobar



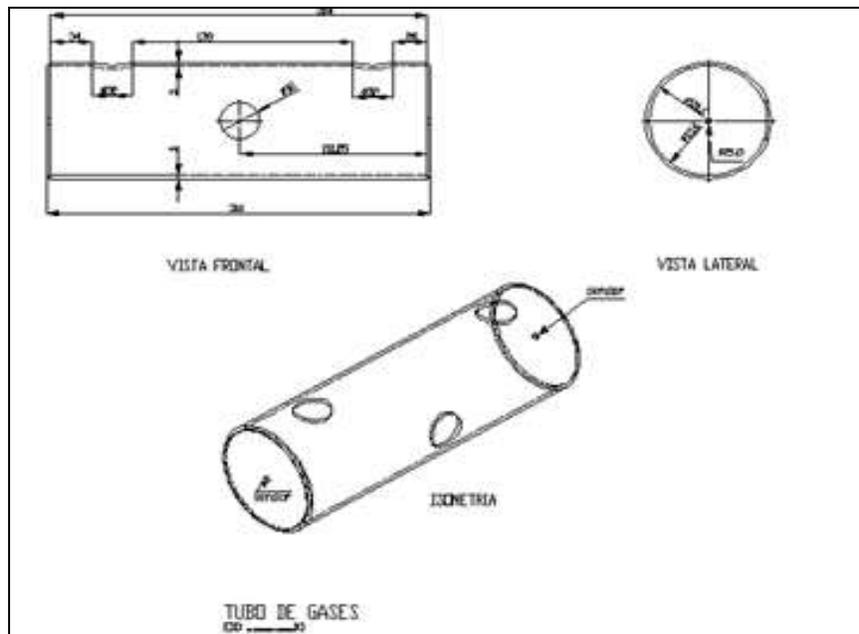


Figura 3.31: Diseño en Autocad del Tubo de Gases

Fuente: Andrés Escobar

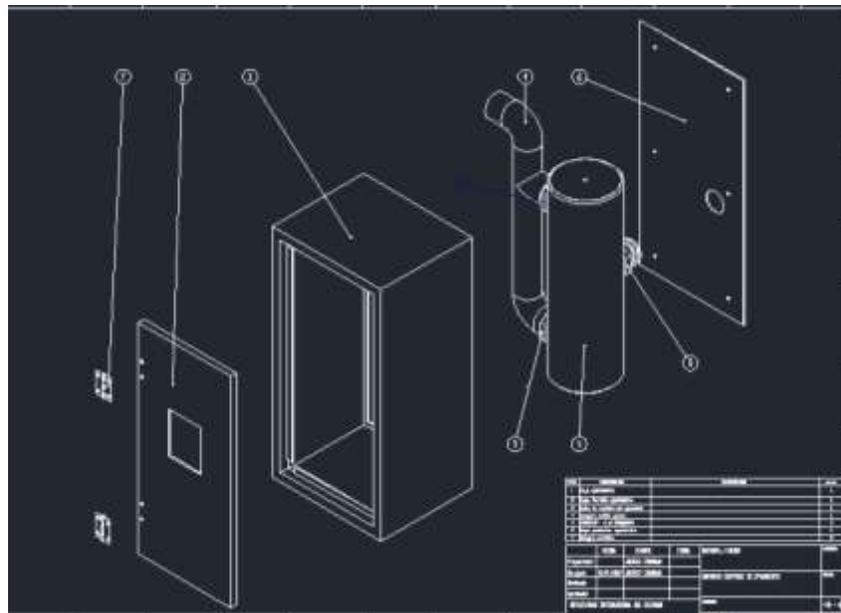


Figura 3.31: Diseño en 3D de la estructura final del opacímetro en Autocad

Fuente: Andrés Escobar

### 3.5 Requerimientos técnicos de los opacímetros utilizados en el Ecuador.

Los requerimientos técnicos de los opacímetros usados en el Ecuador para medir el porcentaje de opacidad están especificados en la norma NTE INEN 2349:2010; donde se cita lo siguiente: (NTE INEN 2349. REVISION TECNICA VEHICULAR. 2006)

Tabla 3.8: Requerimientos técnicos de los opacímetros utilizados en el Ecuador

<b>Características Generales – Requerimientos</b>
Capacidad de medición y reporte automáticos de opacidad del humo emitido por el tubo de escape de vehículos equipados con motores de ciclo Diesel. Cumplirán con la Norma ISO 11614, lo que será demostrado mediante certificación del fabricante.
<b>Especificaciones adicionales – Requerimientos</b>
Capacidad de medición de la velocidad de giro del motor en rpm y temperatura de escape, para cualquier tipo de configuración del motor, sistema de alimentación de combustible y diámetro de cañería.
<b>Mediciones y Resolución – Requerimientos</b>
0-100% de opacidad y Factor K de $9999 (\infty) m^{-1}$
<b>Condiciones Ambientales de Funcionamiento – Requerimientos</b>

<b>Temperatura</b>	5-40 °C
<b>Humedad relativa</b>	0-90%
<b>Altitud</b>	Hasta 3000 msnm
<b>Presión</b>	500-760 mm Hg
<b>Características Generales – Requerimientos</b>	
Capacidad de medición y reporte automáticos de opacidad del humo emitido por el tubo de escape de vehículos equipados con motores de ciclo Diesel. Cumplirán con la Norma ISO 11614, lo que será demostrado mediante certificación del fabricante.	
<b>Especificaciones Adicionales – Requerimientos</b>	
Capacidad de medición de la velocidad de giro del motor en rpm y temperatura de aceite, para cualquier tipo de configuración del motor, sistema de alimentación de combustible y diámetro de cañería.	
<b>Mediciones y resolución – Requerimientos</b>	
0-100% de opacidad y Factor K de – 9999 ( $\infty$ ) m <sup>-1</sup>	
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE FUNCIONAMIENTO - Requerimientos</b>	
<b>Temperatura</b>	5-40 °C
<b>Humedad relativa</b>	0-90%
<b>Altitud</b>	Hasta 3000 msnm
<b>Presión</b>	500-760 mm Hg

**Fuente:** Andrés Escobar

Debido a que los requerimientos de los opacímetros indican que éstos deben cumplir con lo indicado en la Norma ISO 11614, en la siguiente tabla se indica los requerimientos de resolución que consta en ésta norma.

Tabla 3.9: Resolución de los opacímetros.

<b>Parámetro</b>	<b>Resolución</b>
<b>Opacidad</b>	0.1 % del valor máximo admisible
<b>Absorción luminosa</b>	0.01 m-1

**Fuente:** Andrés Escobar

En forma general podemos realizar una breve descripción del opacímetro designado a medir gases de escape de motores de ciclo Diesel (NORMAS ISO 11614 RECIPROCATING INTERNATIONAL COMBUSTION COMPRESSION)

- ❖ Un dispositivo de muestreo seguido de un dispositivo de medidas de los gases de escape emitidos por el vehículo.
- ❖ Una cámara de medición que se llena de humo y está limitada por un emisor de luz y un receptor. Esta cámara mide la opacidad del humo que la llena. Además ésta suele estar calentada para mantener la temperatura de sus paredes por encima de 70°C.
- ❖ Pueden tener uno o dos ventiladores que mantienen una longitud de columna de humo constante, así mismo el aire producido por los ventiladores evitan que se produzcan deposiciones de negro de humo en las superficies del emisor y del receptor, o en las ventanas ópticas de protección de las que pueden disponer.

## CAPÍTULO IV

### Análisis de Resultados

#### 4.1 Calibración, errores y exactitud de las mediciones en el opacímetro.

##### 4.1.1 Descripción del proceso de calibración

En este tema daremos a conocer el método de calibración para los instrumentos destinados a medir la opacidad y determinar el coeficiente de absorción luminosa de los gases de escape de los vehículos que funcionan en el ciclo Diesel. (HILARIO. Adolfo 2000)

Son los opacímetros el objeto de este texto.

La calibración consiste principalmente en la comparación con filtros de densidad óptica neutra de valores conocidos y de trazabilidad definida e incertidumbre determinada contra los valores mostrados por el equipo.

- Filtros de densidad óptica neutra → deben estar calibrados en N y con trazabilidad a patrones nacionales.

Los valores en N y k de los filtros son los siguientes (valores orientativos):

$$\text{Filtro 1} \begin{cases} N (\%) \rightarrow 0 \\ K (m^{-1}) \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$\text{Filtro 2} \begin{cases} N (\%) \rightarrow 30 \\ K (m^{-1}) \rightarrow 0,83 \end{cases}$$

$$\text{Filtro 3} \begin{cases} N (\%) \rightarrow 50 \\ K (m^{-1}) \rightarrow 1,60 \end{cases}$$

$$\text{Filtro 4} \begin{cases} N (\%) \rightarrow 75 \\ K (m^{-1}) \rightarrow 3,21 \end{cases}$$

$$\text{Filtro 5} \begin{cases} N (\%) \rightarrow 100 \\ K (m^{-1}) \rightarrow 9,99 \end{cases}$$

Cada opacímetro tiene unas características constructivas específicas por lo que los juegos de filtros por lo general no son intercambiables. Los juegos de filtros pueden no incluir el filtro tipo 1, en este caso se considerará como filtro 1 el aire limpio, y no se necesita introducir en el opacímetro filtro alguno.

Pero si el juego de filtros no incluye el N°5 éste se puede fabricar fácilmente sobreponiendo a cualquiera de los otros filtros un cartón mate y opaco.

La incertidumbre máxima de los filtros no deberá ser superior a: 1 % en N (incertidumbre expandida en unidades absolutas) 0,05 m<sup>-1</sup> en [k] (incertidumbre expandida en unidades absolutas)

El valor de N y la incertidumbre de los filtros se obtienen del certificado de calibración de los mismos, pero se deben realizar 10 medidas para cada escala y cada filtro. En estas medidas la diferencia entre la lectura máxima y mínima así como la diferencia entre la media de las lecturas y el valor de referencia no deben superar los errores máximos permitidos de y k.

- En general la secuencia del proceso de calibración es el siguiente:

✚ Verificación Inicial → En este paso se utiliza de preferencia el filtro de densidad óptica neutra intermedia y a continuación se realiza una medida

✚ Ajustes → Con la medida realizada en el primer paso se calcula el error y se compara con los permitidos; si éste valor es mayor se deberá realizar un ajuste y posterior se volverá a efectuar la verificación inicial.

✚ Calibración Final → En este punto de la calibración el punto más importante es calcular la incertidumbre de medida.

Pero más específicamente los pasos a seguir en el proceso de calibración son:

- 1) Se introduce el filtro número 2 en el opacímetro, se acciona el cronómetro y se comienza a medir el tiempo
- 2) Se espera que la lectura del filtro alcance un valor en el cual la oscilación de medida permanezca en un intervalo próximo al valor certificado. En el momento que esto sucede, se detiene el cronómetro y se registra el tiempo transcurrido: A éste tiempo se le llama “tiempo de estabilización de la indicación”
- 3) Se retira el filtro del opacímetro.
- 4) Se introduce el filtro número 1 y se espera que transcurra el tiempo de estabilización (indicado en el manual) para anotar la lectura del filtro. Como se menciono en párrafos anteriores; si no se dispone de este tipo de filtro se utilizara el aire ambiente.
- 5) Se extrae el filtro del opacímetro.

6) Se procede de la misma forma para los 4 filtros restantes (en orden decreciente de opacidad), y se repite el proceso repite hasta que se obtenga 10 lecturas consecutivas de cada filtro.

#### **4.1.2 Exactitud de Medida**

Éste término según el Vocabulario Internacional de Metrología, significa el grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

En la medición un instrumento exacto es aquel que proporciona una medida que se acerca mucho al valor real, mientras que, un instrumento preciso es el que proporciona medidas poco dispersas, o sea suministra un alto grado de repetibilidad.

El error no es cosa de interés secundario en un experimento; sino al contrario, ya que está relacionado con el propósito del experimento, el método efectuado y el significado de los resultados.

De acuerdo con lo expuesto, cada vez que se efectúe el conjunto de operaciones para medir una determinada magnitud (en este caso la opacidad), se obtendrá un número que solamente en forma aproximada representa la medida real buscada y por tanto cada resultado está afectado por un cierto error.

#### **4.1.3 Errores en las mediciones**

El error no es cosa de interés secundario en un experimento; sino al contrario, ya que está relacionado con el propósito del experimento, el método efectuado y el significado de los resultados.

En el opacímetro los errores máximos permitidos son:

Tabla 4.1: Errores máximos del opacímetro

Error máximo permisible	Escala
$\pm 2\%$ (unidades absolutas)	Opacidad N (%)
$+0,15\text{ m}^{-1}$	Absorción luminosa k ( $\text{m}^{-1}$ )

**Fuente:** Andrés Escobar

Cabe señalar que el coeficiente de absorción luminosa ( $[k]$ ), puede variar dependiendo de la longitud efectiva de la cámara, sin embargo, la lectura del opacímetro en coeficiente de absorción luminosa con el filtro del rango máximo de medida, por cálculo puede ser superior a  $9,99\text{m}^{-1}$ , si es así, no será posible realizar la calibración en este punto ya que se encuentra fuera del rango de medida, por tanto el opacímetro adopta un valor de fondo de escala equivalente a  $9,99\text{m}^{-1}$ . 13 (SCHMID; Wolfgang. 2000).

En cuanto específicamente a mediciones se refiere, principalmente los errores se clasifican en: sistemáticos y accidentales.

- Errores Sistemáticos  $\rightarrow$  Son aquellos que responden a una ley conocida, son de valores constantes y por tanto son corregibles. A este tipo pertenecen:

Errores instrumentales: éstos se deben a las imperfecciones del aparato.

Errores personales: son errores humanos, como mala selección del aparato, error de posición, paralelaje, etc.

■ Errores accidentales → Son los que dependen únicamente de fluctuaciones inevitables dentro de ciertos límites de parámetros físicos que determinan la magnitud que se mide. Proviene de varios factores que son impredecibles y por tanto hacen que varias medidas en “idénticas condiciones” no muestren el mismo valor.

Cada error accidental es la suma algebraica de todos los pequeños errores

A continuación se explica los errores más comunes de manera general:

✓ Errores por el instrumento de medición u opacímetro → Se deben a defectos de fabricación ya que es imposible construir equipos perfectos. El error instrumental tiene valores máximos permisibles (ya indicado en la página anterior) establecidos en las normas de los fabricantes y que además pueden determinarse por calibración.

✓ Errores por el uso de instrumentos no calibrados → Opacímetros sospechosos de tener alguna anomalía de funcionamiento, no calibrados o con fecha de calibración vencida; no se deben usar para realizar mediciones hasta que sean corregidos sus fallas o se vuelvan a calibrar.

✓ Error por instrumento inadecuado → Antes de realizar cualquier tipo de medición, debe analizarse cuál es el equipo más adecuado para que el margen de error sea menor. Esta es la razón por la que se utiliza el opacímetro y no los analizadores de gases comunes en la medición de gases de vehículos a Diesel.

✓ Error por desgaste → Los instrumentos utilizados para la medición, como el opacímetro, también son susceptibles de desgaste por el mal uso o tiempo de éstos.

✓ Errores por condiciones ambientales → los factores ambientales que pueden afectar el resultado de la medición son:

○ Humedad: se establece como norma una humedad relativa de 60% +/- 10%, debido a que cuando existe una humedad excesiva se forman óxidos los cuales pueden afectar el resultado.

○ Polvo

○ Temperatura: Se estableció la temperatura de 20°C para efectuar las mediciones y minimizar este tipo de errores.

#### 4.2 Parámetros de la Opacidad según el C.R.V

En el Distrito Metropolitano de Quito, el Centro de Revisión vehicular (CRV) establece ciertos valores de control (como el de opacidad) los cuales deben cumplirse para que un automóvil tenga el permiso de circulación. ( Instructivo de Revisión Vehicular, Versión 1.11; pág.: 186)

A continuación se presenta el rango de calificación en cuanto a opacidad se refiere según las normas del CRV:

Tabla 4.2: Parámetros de calificación de Opacidad

<b>Factor Analizado</b>	<b>Año Modelo</b>	<b>Calificación Tipo</b>	<b>Umbral</b>	<b>Unidad</b>
<b>Opacidad-</b>	X >= 2000	1	30% <= x < 40%	%

<b>Vehi. Diesel</b>				
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X >= 2000	2	40% <= x < 50%	%
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X >= 2000	3	x >= 50%	%
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X >= 2000	0	0 < x < 30%	%
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X <= 1999	1	40% <= x < 50%	%
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X <= 1999	2	50% <= x < 60%	%
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X <= 1999	3	x >= 60%	%
<b>Opacidad- Vehi. Diesel</b>	X <= 1999	0	0 < x < 40%	%

**Fuente:** Andrés Escobar

Para ser más explícitos en el tema vale indicar que, como se indicó en el capítulo II, en el porcentaje medido de opacidad tienen mucha influencia el porcentaje de los gases producto de la combustión del Diesel (que impiden el paso de luz y por tanto afectan la medición de la opacidad), estos gases principalmente son:

- ✓ Monóxido de Carbono CO
- ✓ Hidrocarburos sin combustionar HC
- ✓ Oxígeno O2
- ✓ Azufre
- ✓ Oxídos de Nitrógeno NOx
- ✓ Dióxido de Azufre SO2

De esta lista de gases solo se analizan los tres primeros en el CRV, las medidas de control de estos son:

Tabla 4.3 Parámetros de calificación del CO

Factor Analizado	Año Modelo	Calificación Tipo	Umbral	Unidad
CO	X >= 2000	1	0,6% <= X < 0,8%	%
CO	X >= 2000	2	0,8% <= X < 1%	%
CO	X >= 2000	3	X >= 1%	%
CO	X >= 2000	0	0% <= X < 0,6%	%
CO	1990 <= X <= 1999	1	3,5% <= X < 4%	%
CO	1990 <= X <= 1999	2	4% <= X < 4,5%	%

<b>CO</b>	1990 <= X <= 1999	3	X >= 4,5%	%
<b>CO</b>	1990 <= X <= 1999	0	0% <= X < 3,5%	%
<b>CO</b>	X <= 1989	1	6% <= X < 6,5%	%
<b>CO</b>	X <= 1989	2	6,5% <= X < 7%	%
<b>CO</b>	X <= 1989	3	X >= 7%	%
<b>CO</b>	X <= 1989	0	0% <= X < 6%	%

**Fuente:** Andrés Escobar

Tabla 4.4 Parámetros de calificación del Oxígeno

<b>Factor Analizado</b>	<b>Año Modelo</b>	<b>Calificación Tipo</b>	<b>Umbral</b>	<b>Unidad</b>
<b>O2</b>	X >= 2000	1	3% <= X < 4%	%
<b>O2</b>	X >= 2000	2	4% <= X < 5%	%
<b>O2</b>	X >= 2000	3	X >= 5%	%
<b>O2</b>	X >= 2000	0	0% <= X < 3%	%
<b>O2</b>	1990 <= X <= 1999	1	3% <= X < 4%	%

<b>O2</b>	1990 <= X <= 1999	2	4% <= X < 5%	%
<b>O2</b>	1990 <= X <= 1999	3	X >= 5%	%
<b>O2</b>	1990 <= X <= 1999	0	0% <= X < 3%	%
<b>O2</b>	X <= 1989	1	3% <= X < 4%	%
<b>O2</b>	X <= 1989	2	4% <= X < 5%	%
<b>O2</b>	X <= 1989	3	X >= 5%	%
<b>O2</b>	X <= 1989	0	0% <= X < 3%	%

**Fuente:** Andrés Escobar

Tabla 4.5 Parámetros de calificación de los Hidrocarburos

<b>Factor Analizado</b>	<b>Año Modelo</b>	<b>Calificación Tipo</b>	<b>Umbral</b>	<b>Unidad</b>
<b>HC</b>	X >= 2000	1	160 <= X < 180	(ppm)
<b>HC</b>	X >= 2000	2	180 <= X < 200	(ppm)
<b>HC</b>	X >= 2000	3	X >= 200	(ppm)
<b>HC</b>	X >= 2000	0	0 <= X < 160	(ppm)

<b>HC</b>	1990 <= X <= 1999	1	650 <= X < 700	(ppm)
<b>HC</b>	1990 <= X <= 1999	2	700 <= X < 750	(ppm)
<b>HC</b>	1990 <= X <= 1999	3	X >= 750	(ppm)
<b>HC</b>	1990 <= X <= 1999	0	0 <= X < 650	(ppm)
<b>HC</b>	X <= 1989	1	1000 <= X < 1200	(ppm)
<b>HC</b>	X <= 1989	2	1200 <= X < 1300	(ppm)
<b>HC</b>	X <= 1989	3	X >= 1300	(ppm)
<b>HC</b>	X <= 1989	0	0 <= X < 1000	(ppm)

**Fuente:** Andrés Escobar

Como dato adicional a la investigación señalamos que para que un vehículo apruebe la revisión por el CRV como máximo se acepta dos defectos tipo 1, o, un defecto tipo 2; en el caso contrario el automóvil no pasa la revisión.

#### **4.3 Resultados de las pruebas de campo utilizando el Opacímetro.**

Para poder culminar este proyecto, después de diseñado el opacímetro procedimos a comprobar su funcionamiento con un numero de muestra de 10 vehículos a Diesel y el campo de desarrollo fueron los patios del Centro de Revisión Vehicular FLORIDA ALTA del Distrito Metropolitano de Quito. (En donde se obtuvo también el Instructivo de

Revisión vehicular, de donde se obtuvo la información de las tablas anteriormente indicadas en éste capítulo).

En los cuadros siguientes explicaré los resultados de las pruebas de campo, de una forma más detallada.

✚ Vehículo 1

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
<b>Chevrolet</b>	LUV D-MAX Diesel	2003	55%	Defecto Tipo 3 <i>No aprueba</i>



Figura 4.1: Vehículo 1 de prueba campo

**Fuente:** Andrés Escobar

✚ Vehículo 2

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación

<b>Chevrolet</b>	NHR	1999	68%	Defecto Tipo 3  <i>No aprueba</i>
------------------	-----	------	-----	---



Figura 4.2: Vehículo 2 de prueba de campo

**Fuente:** Andrés Escobar

+ Vehículo 3

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Año</b>	<b>% Opacidad Registrada</b>	<b>Calificación</b>
<b>Hyundai</b>	H1 Diesel	2009	17%	No hay defecto  <i>Aprueba</i>



Figura 4.3: Vehículo 3 de prueba de campo

**Fuente:** Andrés Escobar

✚ Vehículo 4

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
<b>Toyota</b>	Hillux Diesel	2009	20%	No hay defecto <i>Aprueba</i>



Figura 4.4: Vehículo 4 de prueba de campo

**Fuente:** Andrés Escobar

✚ Vehículo 5

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
Scania	Lt 111 Diesel	1980	53 %	Defecto Tipo 3 <i>No aprueba</i>



Figura 4.5: Vehículo 5 de prueba de campo

Fuente: Andrés Escobar

✚ Vehículo 6

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
KIA	Sorento Diesel	2006	25%	No hay defecto <i>Aprueba</i>



Figura 4.6: Vehículo 6 de Prueba de campo

**Fuente:** Andrés Escobar

✚ Vehículo 7

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
<b>Nissan</b>	Frontier	2005	43%	No hay defecto
	Diesel			<i>Aprueba</i>



Figura 4.7: Vehículo 7 de Prueba de campo

**Fuente:** Andrés Escobar

✚ Vehículo 8

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
Nissan	Frontier Diesel	2009	29%	No hay defecto <i>Aprueba</i>



*Vehículo 4.8: Vehículo 8 de Prueba de campo*

**Fuente:** Andrés Escobar

✚ Vehículo 9

Marca	Modelo	Año	% Opacidad Registrada	Calificación
KIA	Sportage Diesel	2010	11%	No hay defecto <i>Aprueba</i>



*Figura 4.9: Vehículo 9 de la Prueba de campo*

**Fuente:** Andrés Escobar

🚗 Vehículo 10

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Año</b>	<b>% Opacidad Registrada</b>	<b>Calificación</b>
<b>Skoda</b>	Octavia Diesel	2013	10%	No hay defecto <i>Aprueba</i>



*Figura 4.10: Vehículo 10 de Prueba de campo*

**Fuente:** Andrés Escobar

## **4.4 Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.4.1 Conclusiones**

El presente proyecto de Tesis se pudo elaborar gracias a los recursos científicos y económicos del alumno, para la realización y diseño del opacímetro. Posteriormente contamos con la ayuda del Centro de Revisión Vehicular LA FLORIDA ALTA, quienes nos permitieron el uso de sus instalaciones y manuales de operación para poner a prueba nuestro opacímetro durante el desarrollo de este estudio.

- ❖ Con la aplicación de las tablas en cuanto a límites de opacidad y rangos permitidos (en los vehículos con ciclo Diesel), expuestos en éste proyecto, es posible mejorar el diagnóstico y brindar un resultado más confiable a las personas que realizan un control de las emisiones de gases de su vehículo.
- ❖ Si se aplica las normas de funcionamiento y los métodos de control de calibración del opacímetro, es posible reducir el margen de error y prolongar la vida útil de éste aparato.
- ❖ Aunque en el país no existen aún los respectivos patrones para la calibración de analizadores de gases y opacímetros, se puede recurrir a patrones extranjeros lo que aumenta la confiabilidad del laboratorio acreditado.
- ❖ Todos los instrumentos de medición presentan un margen de error y un grado de confiabilidad ya que es imposible elaborar un instrumento que sea 100% confiable y que siempre sus medidas sean correctas.
- ❖ La incertidumbre de medida es el objetivo de una calibración, ya que es el dato técnico que refleja la confiabilidad del equipo.

- ❖ Seguir procedimientos de calibración certificados da una ventaja frente a instituciones que no los poseen, debido a que éstos aseguran un conocimiento acertado de la incertidumbre asociadas a los distintos equipos de medida.
- ❖ Los opacímetros son los únicos instrumentos que nos permiten evaluar el grado de opacidad (y por tanto de contaminación) que presentan los vehículos a Diesel y por ende su uso es imprescindible incluso para el control de la contaminación ambiental a causa de los automóviles.

#### **4.4.2 Recomendaciones**

- ✚ Se recomienda la implementación de un Laboratorio de Metrología que se encargue de la calibración de opacímetros y analizadores de gases ya que actualmente estos equipos son cada vez más utilizados en los trabajos de mantenimiento automotriz.
- ✚ Se debe tener en consideración que las normas y recomendaciones internacionales son sensibles a cambios en criterios o rangos, por tanto se recomienda su seguimiento y así adaptarlos a todos los procedimientos sujetos a dichos cambios.
- ✚ Se recomienda que antes de realizar la calibración de los opacímetros de uso en el centro de Revisión Vehicular, se verifique el estado y certificado de calibración emitido por la empresa que lo construyó.
- ✚ Se recomienda la realización de campañas que motiven a los propietarios de vehículos a Diesel, a la realización de controles periódicos con el opacímetro de las emisiones de gases de sus automotores para poder tener un mayor control en cuanto a contaminación ambiental se refiere

✚ Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo a los equipos que serán calibrados y manejar su respectivo control de manera que se obtenga mayor efectividad en la calibración.

✚ Es recomendable que se analice bien los principios de funcionamiento junto con las posibles fallas que pueden tener los opacímetros para que según el tipo de defecto de estos puedan ser arreglados y la vida útil no sea corta.

✚ Después de la presentación del proyecto y la entrega del opacímetro a la Universidad Internacional del Ecuador UIDE, se recomienda que para los posteriores usos de éste aparato se capacite de forma adecuada a los estudiantes en todo a cuanto el tema se refiere.

## ANEXOS

### Manual del Funcionamiento y Calibración del Opacómetro UIDE

#### Principio de Funcionamiento

El opacómetro cuenta con su botón de inicio o reset que nos permite encerrar antes de realizar algún trabajo de medición de opacidad adicional a esto tenemos un calibrador interno que nos permite regular el paso de luz y así podemos ver el paso de luz a través de el opacómetro teniendo una medición mucho más real.

El circuito del opacómetro está alimentado por un adaptador de 12VDC, el cual se conecta al opacómetro digital para posteriormente distribuir la energía al resto de componentes de la placa, la fuente de 5VDC proporciona alimentación a todos los componentes electrónicos de la placa como son el microcontrolador, la pantalla gráfica LED, el sensor infrarrojo y la interfaz TTI RS232.

El sensor está compuesto por un emisor infrarrojo y receptor infrarrojo fabricado por FAIRCHILD, el receptor entra en conducción en función de la cantidad de luz IR que recibe, de modo que al microcontrolador le llega más voltaje mientras menos luz recibe, de este modo se puede realizar las lecturas de opacidad en el diesel, el transistor Q2, es el encargado de enviar este voltaje al microcontrolador que cabe recalcar que solo puede leer valores entre 0v y 5V.

La interfaz RS232 está compuesto por el circuito integrado Max232 fabricado por MAXIM, es un convertidor de niveles TTL(0Voltios a 5Voltios) a niveles RS232 (-

10Voltios a 10Voltios), ya que de esta manera se puede extender cables de comunicación hacia el computador de hasta 200mts, el C.I. MAX232 es una interfaz entre el microcontrolador y la PC.

El microcontrolador pic 16f877a fabricado por el MICROCHIP que es el cerebro del sistema, se encarga de leer los datos provenientes del sensor, procesar las señales mediante operaciones matemáticas para posteriormente enviar los datos tanto a la pantalla grafica LED como al computador, para ser visualizados correctamente.

Para la programación del microcontrolador se ha utilizado la herramienta Microcode Studio Pro se utilizó programación en lenguaje Basic.

Los datos provenientes del sensor ingresan por el canal analógico A0, al microcontrolador donde esta señal es digitalizada y se obtiene un valor digital entre 0 y 255 que representa la cantidad de luz, mediante expresiones matemáticas este valor es transformado a un numero porcentual de 0% a 100%, el cual es enviado por el puerto serial del micro hacia el max232 y posteriormente a la PC, una vez que se tiene el valor final este dato también es enviado a la pantalla LED que es la encargada de graficar, 128x64 la cual nos permite visualizar las variaciones de opacidad en relación al tiempo.

Una vez enviado el dato hacia la pc, mediante el software Visual Basic se realiza la configuración del puerto serie, y la lectura de dato digital mediante la utilización del complemento Microsoft como control.

Para la graficación de los datos en la pc se utilizó en componente Picture Box y la herramienta de graficación de puntos, los datos son recogidos con la ayuda de un timer cada 200 milisegundos mediante la instrucción mscomm1.input.

Existen 3 componentes principales para el funcionamiento del opacímetro:

- 1) Fuente de luz → Está constituida por una bombilla con lentes condensadores, para obtener un haz de luz paralelo y uniforme.
- 2) Célula de medición → debe constar de paredes equivalentes y con condiciones geométricas basadas en la Ley de Beer-Lambert.
- 3) Detector: mide la intensidad de luz que pasa por el dispositivo.

En general el funcionamiento consiste en reducir la intensidad de la luz, mediante la absorción óptica de las partículas sólidas y gaseosas presentes en el humo y el efecto de la irradiación. Se utiliza una pantalla LED o lámpara como fuente de luz y una lente que focaliza a este haz luminoso al centro de la columna de humo donde se absorbe gran parte de luz, consiguiendo así el efecto de reducir la intensidad del haz que llega al receptor; este receptor está formado por: lente de enfoque y una unidad fotoeléctrica o fotodiodo. La diferencia que existe entre la señal eléctrica que se produce por el receptor cuando no hay humo (fase cero) y la señal producida cuando hay humo en la cámara es la intensidad de la luz absorbida la cual es mayor cuando hay humo, y permita la mejor medición de la opacidad de los gases.

El porcentaje es la medida de elección con la que se mide la opacidad dependiendo esta de la atenuación de la luz.

### **Calibración del opacímetro**

La calibración del opacímetro debe basarse en las siguientes consideraciones: diseño y longitud de la cámara, debido a que es de suma importancia determinar la trayectoria del haz de luz dentro de esta unidad, para esto se necesita determinar y conocer el coeficiente de absorción de luz  $K$  y el camino óptico. Estos datos son fundamentales porque en el mercado existen diferentes diseños de instrumentos calibradores que deberán contar con los conocimientos para trabajar y/o calibrar los instrumentos mediante el uso correcto de sus elementos.

## BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, José (1999), *Electromecánica de vehículos; Motores*. 4ª edición. Paraninfo. Madrid.

Analytical, Measuring principle, Conductividad térmica. 6ª Edición.

CEM. CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Procedimiento QU-002 para la calibración de analizadores de gases.

CEM. CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Procedimiento QU-011 para la calibración de opacímetros.

CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, MÉXICO, 2002.

CREUS Antonio (1997) *Instrumentación Industrial*, 6ª Edición. Editorial Alfaomega. España.

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. ALCOI.

DYER, John (1973), *Aplicaciones de espectroscopia de absorción en compuestos orgánicos*. 1ª Edición. Editorial Prentice Hall International. Bogotá.

ESTRELLA Emerson; GUANOLUISA Edwin. Diagnóstico de emisiones de los vehículos a diesel del D.M.Q. mediante la prueba estática. Proyecto de Titulación. Febrero. 2002.

FISHER –ROSEMOUNT. Manual de Manejo del Analizador MLT- Rosemount

FYGUEROA Simón (1997), *Mantenimiento de Motores Diesel*. 1ª edición. U.L.A. Venezuela.

GONZALEZ, C. ZELENEY, J (1995), *Metrología*. 1ª Edición. Ed. Mc GrawHill. México.

GUACHAMÍN, Hernán, PAZMIÑO Galo. Diagnóstico de emisiones de los vehículos a gasolina del D.M.Q. mediante la prueba estática. Proyecto de titulación. Octubre. 2000.

HILARIO, Adolfo. CARBONELL, Pablo. Calibración de equipos de medida industriales según ISO 9000. Universidad Politécnica de Valencia.

METAS S.A. DE C.V. METRÓLOGOS ASOCIADOS; CENAM. Trazabilidad metrológica en sistemas de calidad. La guía metas. Volumen 03-04. Abril. 2003.

MORCILLO, Jesús (1978), *Espectroscopia Infrarroja*. Universidad Complutense de Madrid. Serie de Química. Monografía N° 12. Madrid.

MORRIS, Alan (2002) *Principio de mediciones e instrumentación*. 1ª Edición, Prentice Hall. México.

MUÑOZ Edgar; MOLINA Miguel. (2006) Desarrollo de un método para determinar factores de emisiones de vehículos livianos a gasolina de Quito. Proyecto de titulación.

Norma ISO 3930. Instruments for measuring vehicle exhaust emissions.

Norma ISO 11614. Reciprocating internal combustion compression-ignition engines - Apparatus for measurement of the opacity and for determination of the light absorption coefficient of exhaust gas.

NTE INEN 2056. Metrología. Vocabulario internacional de Términos fundamentales y generales.

NTE INEN 2202. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores.

Determinación de la opacidad de Emisiones de escape de motores de Diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre.

NTE INEN 2203. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores.

Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “Ralenti” para motores a Gasolina.

NTE INEN 2204. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

NTE INEN 2207. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles de diesel.

NTE INEN 2349. Revisión Técnica Vehicular: Procedimientos.

ORDOÑEZ, Freddy. Manual de procedimientos de calibración de equipos medidores de presión. Proyecto de titulación. Enero. 2003.

Programa auto didáctico 230.

Recuperado en: Environmental Protection Agency. [www.epa.gov.org](http://www.epa.gov.org) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Recuperado en: <http://www.mtas.es/insht/index.htm> ORGANISMO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO OAE.

Recuperado en: [www.calidadecuador.gov.ec](http://www.calidadecuador.gov.ec)

Recuperado en: AIMPLAS. [www.aimplas.es](http://www.aimplas.es).

RIU, Jordi. (2004) *Materiales de referencia certificados*, Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona; España.

SCHMID Wolfgang, LAZOS Rubén (2000) *Guía para estimar la Incertidumbre de la medición*; Centro Nacional de Metrología; México.

SEMINARIO DE COMPARACIÓN EN ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS.

VOLKSWAGEN SERVICE. Emisiones de gases de escape de vehículos.

WILLARD Hobart; MERRITT Lynne; DEAN John (1978) Métodos Instrumentales de Análisis. 1ª Edición. Editorial Continental; México.

ZAIDEL A. N.; OSTROVSKAYA G.V.; OSTROVSKI YU.I (1979) *Técnica y práctica de espectroscopia*. 1ª Edición. Editorial Mir, Moscú.

ZDANKIEWICZ, Edward (2000), *Detección de gases, teoría y práctica*. 1ª Edición. Editorial AADECA. Buenos Aires. 2000