



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**“Diseño y construcción de un equipo analizador para gases de escape
de los motores de gasolina”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Autor:

CARLOS HUGO APOLO VASQUEZ

Director:

PEDRO JOSÉ CRESPO VINTIMILLA

CUENCA, ECUADOR

2015

DEDICATORIA

Esta meta cumplida la dedico a mi familia, en especial a mis Padres, por todo el apoyo que me dieron para poder culminar mi carrera universitaria, por ese respaldo incondicional que me dieron en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis amistades por la confianza y motivación que siempre me brindaron para poder lograr y culminar con mis metas y proyectos.

Carlos Hugo Apolo V.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme Salud y la sabiduría para conseguir alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A la Universidad del Azuay, a todo el personal que conforma la Facultad de Ciencia y Tecnología por la ayuda brindada durante mi carrera. A mí director de tesis Ing. Pedro Crespo por el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de graduación.

Al Ing. Leonel Pérez que gracias a sus conocimientos supo guiarme durante el proceso de este trabajo.

Carlos Hugo Apolo V.

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	Pag.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDOS	iv
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: GASES DE ESCAPE DE LOS MOTORES DE GASOLINA	2
1.1 El motor de gasolina	2
1.1.1 Principio de funcionamiento	2
1.1.1.1 Fase de admisión	2
1.1.1.2 Fase de compresión	3
1.1.1.3 Fase de expansión.....	4
1.1.1.4 Fase de escape	4
1.1.2 Composición de la mezcla de Gases de Escape	5
1.1.3 Proceso de combustión en motores de gasolina	6
1.1.4 Elementos presentes en la mezcla de escape.	7
1.1.4.1 Monóxido de Carbono (CO).	7
1.1.4.2 Dióxido de Carbono (CO ₂).	8

1.1.4.3	Hidrocarburos (HC).....	8
1.1.4.4	Óxidos de Nitrógeno (NO _x).	9
1.2	Equipos medidores de las concentraciones en los gases de escape	11
1.2.1	Sensores para medir concentración de los componentes de la mezcla de escape.....	12
1.2.1.1	Sensores MOX (Metal Oxide Sensors).	12
1.2.1.2	Sensores electroquímicos.....	12
1.2.1.3	Sensores ópticos infrarrojos.....	13
1.2.2	Espectrofotometría Infrarroja No Dispersiva.....	14
1.2.2.1	Ley de Beer – Lambert	14
1.2.3	Analizadores de Gases tipo NDRI	16
1.2.4	Fuentes de radiación infrarroja	18
1.2.4.1	Emisor de Nernst.....	18
1.2.4.2	Emisor de Globar	18
1.2.4.3	Emisor de Filamentos Incandescentes.....	19
1.2.4.4	Emisor de Luz Led IRED (Infrared emitting diode).	19
1.2.5	Monocromadores.....	19
1.3	Microcontroladores.....	20
1.3.1	Tipos de micro controladores.....	21
1.3.1.1	Los microcontroladores estándares.	21
1.3.1.2	Los microcontroladores (“hechos a la medida”).....	21
1.3.2	Hardware basado en microcontrolador.....	22
1.3.3	Ciclo de Máquina (CM) en un micro controlador.....	22
1.3.4	Ciclo de Instrucción (CI) en un microcontrolador.	22
1.3.5	Registros en un microcontrolador.	23
1.3.5.1	Registro de DATOS o de Propósito General.	23
1.3.5.2	Registro de CONTROL o de Propósito Específico.....	23
1.3.6	Memorias de un microcontrolador.	23
1.3.6.1	Memoria para Datos.	24
1.3.6.2	Memoria para Programas.....	24

1.3.6.3	Memorias segmentadas.....	24
1.3.6.4	Direccionado de memoria.....	24
1.3.6.5	Registro tipo “puntero”.....	25
1.3.7	Programación de microcontroladores.....	25
1.3.8	Microcontroladores MICROCHIP.....	26
1.3.8.1	Microcontrolador PIC18F4553.....	27
1.4	Labview e Instrumentación virtual.....	28
1.4.1	Labview.....	28
1.4.2	Instrumentación Virtual.....	29
1.4.2.1	Panel Frontal.....	29
1.4.2.2	Diagrama de Bloques.....	30
1.5	Normas y Legislaciones.....	30
1.5.1	Normas INEN Ecuador.....	30
1.5.2	Legislaciones Sobre Gases de Escape.....	32
1.5.2.1	Legislación Carb (California Air Resources Board).....	32
1.5.2.2	Legislación EPA (Environment Protection Agency).....	32
1.5.2.3	Legislación UE (Unión Europea).....	33
1.5.2.4	Legislación del Japón.....	34
1.5.3	Ciclos de ensayo.....	34
1.5.3.1	Ciclo de ensayo FTP-75.....	34
1.5.3.2	Ciclo de Ensayo Europeo (NEDC).....	35
1.5.3.3	Ciclo de Ensayo en Japón (10-15 Modos).....	36

CAPÍTULO II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE DEL ANALIZADOR DE GASES..... 38

2.1	Diagrama de Bloques general del equipo.....	38
2.2	Circuito Neumático.....	39
2.3	Tarjeta Digital.....	40

2.3.1	Funciones asignadas a los puertos del micro – controlador PIC18F4553	41
2.3.2	Pines con funciones especiales.....	44
2.3.3	Circuitos auxiliares del micro – controlador.....	45
2.3.3.1	Circuito Oscilador	46
2.3.3.2	Circuito de RESET Externo.....	46
2.3.3.3	Circuito Auxiliar de Comunicaciones	47
2.3.3.4	Circuito para el Control de la luz de fondo del LCD	48
2.3.3.5	Circuito para conexión de diodos LEDs.....	49
2.3.3.6	Circuitos para el control de la Lámpara del Banco IR, Calefactor y Buzzer....	50
2.4	Dispositivos periféricos al micro – controlador	52
2.4.1	Display de Cristal Líquido (L.C.D).....	52
2.4.2	Teclado para interface con el usuario	55
2.4.3	Fuente de Alimentación	55
2.4.4	Válvula de Ingreso y Bomba.....	58
2.4.4.1	Válvula de Ingreso.....	59
2.4.4.2	Bomba.....	59
2.4.4.3	Tarjeta de Control de la Válvula y la Bomba	60
2.4.5	Bloque Sensor o Banco IR.....	64
2.4.5.1	Sensor Óptico	65
2.4.5.2	Lámpara Infrarroja	66
2.4.5.3	Calefactor.....	67
2.4.5.4	Fuente para Banco IR.....	67
2.5	Descripción de la estructura mecánica del equipo.....	68
2.5.1	Sonda de Escape.....	68
2.5.2	Caja.....	69

CAPÍTULO III: DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DEL FIRMWARE PARA EL MICRO CONTROLADOR.....	71
--	-----------

3.1	Funciones generales del firmware	71
3.1.1	Descripción del funcionamiento del Programa Principal del firmware.	72
3.1.1.1	Diagrama de Bloques del Programa Principal del firmware	72
3.2	Descripción del funcionamiento de las rutinas principales.....	76
3.2.1	Rutina de Servicio de Interrupción.....	77
3.2.1.1	Proceso de atención al desbordamiento del timer 0	78
3.2.1.2	Proceso de atención al desbordamiento del timer 1	79
3.2.2	Rutina de Lectura de Teclado.	81
3.2.3	Rutina Para Ajustar a Cero el Equipo.....	82
3.2.4	Rutina de registro de datos del auto	83
3.2.4.1	Proceso de selección del vehículo durante su registro	84
3.2.4.2	Proceso de actualización del año de un vehículo durante su registro	86
3.2.5	Proceso y subrutinas involucradas en la medición de concentración de gases .87	
3.2.5.1	Proceso de digitalización de las señales. Atención al timer 0.....	90
3.2.6	Resumen de las rutinas (subrutinas) principales del firmware del equipo	93
3.3	Descripción del software de monitoreo.	95
3.3.1	Panel Frontal.	95
3.3.2	Diagrama de Bloques	96
3.3.2.1	Limpia los buffers de entrada del Puerto Serial.	96
3.3.2.2	Configuración del puerto y lectura.....	97
3.3.2.3	Procesamiento del dato recibido y visualización	99
3.3.2.4	Visualización en el LCD Virtual.....	101
CAPÍTULO IV:PRUEBAS Y CALIBRACIÓN		103
4.1	Guía de Inicio Rápido del Equipo.	103
4.2	Encendido.....	104
4.2.1	Proceso de encendido y calentamiento:.....	104
4.3	Descripción del Menú Principal	105

4.3.1	Funciones del equipo	106
4.3.1.1	Registrar.....	106
4.3.1.2	Puesta a Cero.....	107
4.3.1.3	Especificaciones del equipo	108
4.4	Mantenimiento.....	110
4.5	Trampa de agua	110
4.5.1	Filtros.....	110
4.6	Medidas de Seguridad Durante El Uso.....	111
4.7	Homologación del Equipo.....	112
4.7.1	Proceso de Homologación.	112
4.7.2	Requerimientos Técnicos.....	112
4.7.3	Requerimientos Metrológicos	114
4.8	Pruebas Funcionales De Medición	118
4.8.1	Requisitos Funcionales Para realizar La Medición De Concentraciones.	118
4.8.2	Registro de pruebas de medida realizadas.	119
4.8.2.1	Prueba de Exactitud.....	119
4.8.2.2	Pruebas de Repetitividad.	120
	CONCLUSIONES	123
	RECOMENDACIONES	125
	BIBLIOGRAFIA	126
	ANEXOS	132

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fase de admisión.....	3
Figura 1.2 Fase de compresión.....	3
Figura 1.3 Fase expansión.....	4
Figura 1.4 Fase de escape.....	5
Figura 1.5 Composición de los gases de escape.....	7
Figura 1.6 Curvas características de CO y CO ₂ en función de λ	8
Figura 1.7 Curvas características de HC en función de λ	9
Figura 1.8 Curvas características de NO _x en función de λ	10
Figura 1.9 curvas características en función de $\lambda = 1$	10
Figura 1.10 Diagrama de Bloques de un AGE.....	11
Figura 1.11 Aspecto de sensor óptico de gases del tipo No Dispersivo (NDIR).	13
Figura 1.12 Aspecto de sensor óptico de gases del tipo No Dispersivo (NDIR).	15
Figura 1.13 Cámara de medición del espectrofotómetro.	16
Figura 1.14 Representación esquemática de la estructura de un micro controlador.	20
Figura 1.15 Esquema de señales del oscilador externo y su relación con el Ciclo de Máquina.....	22
Figura 1.16 Esquema de un registro.	23
Figura 1.17 Aspecto del microcontrolador PIC18F4553 que utiliza un encapsulado DIP (Dual In Line Package) de 600.....	28
Figura 1.18 Aspecto del microcontrolador PIC18F4553 que utiliza un encapsulado DIP (Dual In Line Package) de 600.....	29
Figura 1.19 Panel Frontal.....	30
Figura 1.20 Ciclo de Ensayo FTO-75.....	35
Figura 1.21 Ciclo de Ensayo Europeo NEDC.....	36

Figura 1.22 Ciclo de Ensayo Japón 10-15 Modos.....	37
Figura 2.1 Diagrama de bloques del Analizador de Gases	39
Figura 2.2 Circuito Neumático del Analizador de gases.	40
Figura 2.3 Distribución de pines del PIC18F4553	41
Figura 2.4 Circuito oscilador externo conectado al PIC18F4553.	46
Figura 2.5 Circuito de “RESET” externo.....	47
Figura 2.6 Circuito Auxiliar de Comunicaciones.	47
Figura 2.7 Circuito para el Control de la luz de fondo del LCD.	48
Figura 2.8 Control del encendido y apagado de la luz de fondo del LCD.	49
Figura 2.9 Control del encendido y apagado de LEDs auxiliares.	50
Figura 2.10 Circuito para control de Lámpara IR, Buzzer y Calefactor.....	51
Figura 2.11 Tarjeta auxiliar para control de Lámpara IR, Buzzer y Terminal AIN10 del Banco IR.....	52
Figura 2.12 Conexión del LCD matricial al micro controlador	53
Figura 2.13 Esquema general de conexión del teclado.....	55
Figura 2.14 Esquema de la fuente de alimentación de la Tarjeta Digital	56
Figura 2.15 Aspecto físico de la válvula.	59
Figura 2.16 Aspecto físico de la Bomba de Doble Canal.	60
Figura 2.17 Tarjeta de Control de Válvula y Bomba (aspecto físico).	61
Figura 2.18 Tarjeta de Control de Válvula y Bomba (esquema eléctrico).....	62
Figura 2.19 Bloque Sensor o Banco IR.....	64
Figura 2.20 Diagrama del Bloque Sensor o Banco IR.....	65
Figura 2.21 Sensor Óptico y Calefactor del Banco IR.....	65
Figura 2.22 Lámpara infrarroja y señal de control aplicada a ella.	66

Figura 2.23 Tarjeta de Fuente auxiliar +5 / - 5 volts.	67
Figura 2.24 Sonda, estructura externa.....	68
Figura 2.25 Sonda, proceso de cambio de filtro.	69
Figura 2.26 Caja Metálica	70
Figura 3.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal.	73
Figura 3.2 Relación Diagrama de Flujo – Código del Programa.	73
Figura 3.3 Diagrama de Flujo del Programa Principal.	75
Figura 3.4 Diagrama de Flujo del Programa Principal.	76
Figura 3.5 Diagrama general de la rutina de interrupción	78
Figura 3.6 Almacenaje de datos en la RAM.	79
Figura 3.7 Proceso de atención al timer 1.	80
Figura 3.8 Proceso de escaneo de teclado.....	81
Figura 3.9 Proceso de Ajuste a Cero.....	82
Figura 3.10 Formato de una tabla representativa de un vehículo.	83
Figura 3.11 Procesos principales del registro vehicular.	84
Figura 3.12 Proceso que se realiza en el programa para actualizar la selección de un vehículo (cuando se presiona la tecla UP).	85
Figura 3.13 . Proceso para actualizar el año de fabricación de un vehículo.	86
Figura 3.14 Sistema en modo de cambio de año.	87
Figura 3.15 Ilustración de la relación entre el proceso de encendido / apagado de la lámpara y el muestreo de las señales de HC y CO.	88
Figura 3.16 Proceso de medición primera parte.	89
Figura 3.17 Proceso de medición segunda parte.	90
Figura 3.18 Proceso de atención a la interrupción del timer 0.	91

Figura 3.19 Proceso de digitalización de cualquier señal.	92
Figura 3.20 Panel Frontal del Instrumento Virtual.	96
Figura 3.21 Proceso “Limpiar buffers del Puerto Serial”	97
Figura 3.22 Configuración del Puerto Serial para el trabajo.	98
Figura 3.23 Proceso de Lectura de los Datos.	99
Figura 3.24 Procesamiento de Dato Recibido.	100
Figura 3.25 LCD virtual.	101
Figura 3.26 Segmento de impresión del VI.	102
Figura 4.1 Secuencia de Pantallas Introdutorias	104
Figura 4.2 Pantalla de calentamiento.	105
Figura 4.3 Pantalla del Menú Principal.	105
Figura 4.4 Secuencia de pantallas de registrar vehículo	107
Figura 4.5 Pantalla de resultado de Puesta a Cero.	107
Figura 4.6 Filtro de aire y Trampa de agua	114

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.1 Rango de valores de medición del analizador 680.....	17
Tabla 1.2 Límites máximos de emisiones.	31
Tabla 1.3 Normas Euro	33
Tabla 2.1 Funciones de los pines del PIC18F4553.....	42
Tabla 2.2 Pines con Funciones Especiales.	45
Tabla 2.3 Pines de puerto del micro – controlador asociados al control del LCD matricial.....	54
Tabla 2.4 Tensiones de Salida y Corrientes Máximas.	56
Tabla 2.5 Distribución de los terminales y funciones del módulo T – 40B.....	57
Tabla 2.6 Señales en el conector J2 (Tarjeta de Control de Bomba y Válvula).....	63
Tabla 3.1 Resumen de subrutinas principales y su función.	93
Tabla 4.1 Funciones del teclado	106
Tabla 4.2 Especificaciones Del Equipo Analizador Apolo.....	108
Tabla 4.3 Comparativo de Rangos de Medida entre la norma y el analizador Apolo. ...	115
Tabla 4.4 Comparativo de Resoluciones entre la norma y el analizador Apolo	116
Tabla 4.5 Comparativo de Errores Máximos entre la Norma y el analizador Apolo. ...	117
Tabla 4.6 Registro de mediciones para análisis de exactitud.	120
Tabla 4.7 Registro de mediciones para análisis de repetitividad.....	121
Tabla 4.8 Registro de mediciones para análisis de repetitividad.....	122

INDICE DE ANEXOS

GLOSARIO DE TERMINOS	132
TARJETA DIGITAL	136
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	137
TARJETA DE INTERFACE PARA VALVULA Y BOMBA.....	138
TARJETA INTERFACE SENSOR.....	139
DISEÑO DE CAJA	140
PRUEBAS EN EL ANALIZADOR	141
MEDICIONES CON EL ANALIZADOR MGT5	142
MEDICIONES CON EL ANALIZADOR APOLO	143
COMPONENTES DE LA TARJETA DIGITAL	144

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR PARA GASES DE ESCAPE DE LOS MOTORES DE GASOLINA

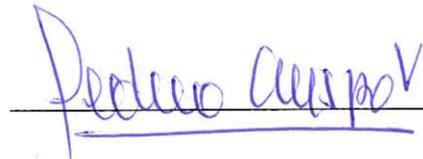
RESUMEN

Este trabajo de titulación se orientó al diseño y construcción de un equipo analizador para gases de escape de los motores de gasolina. El diseño se basa en un microcontrolador (PIC18F4553) encargado del funcionamiento de los bloques principales de hardware apoyándose en un firmware. El Circuito Neumático transporta la mezcla de gases desde el escape del vehículo hacia el Bloque Sensor. El Bloque Sensor utilizando el principio de Espectrofotometría Infrarroja No Dispersiva genera dos señales proporcionales a la concentración de Monóxido de Carbono e Hidrocarburos presentes en ella. Las señales se acoplan al Bloque Digital en donde se digitalizan, procesan, visualizan y transmiten a un computador utilizando el interface USB 2.0. El firmware fue escrito en lenguaje ensamblador.

Palabras claves: USB, PIC18F4553, gases, motores, gasolina, hidrocarburos, ensamblador, firmware, espectrofotometría.



Diego Francisco Torres Moscoso
Director de Escuela



Pedro José Crespo Vintimilla
Director de Tesis



Carlos Hugo Apolo Vásquez
Autor

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN EXHAUST GAS ANALYZER FOR GASOLINE ENGINES

ABSTRACT

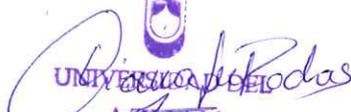
This graduation work was aimed at the design and construction of an exhaust gas analyzer for gasoline engines. The design is based on a (PIC18F4553) microcontroller responsible for the operation of the main blocks of hardware supported by firmware. The pneumatic circuit conveys the gas mixture from the vehicle exhaust system to the sensor block. The sensor block utilizing the principle of non-dispersive infrared spectrophotometry, generates two signals proportional to the concentration of carbon monoxide and hydrocarbons present in it. The signals are coupled to the digital block where they are scanned, processed, displayed and transmitted to a computer using the USB 2.0 interface. The firmware was written in assembly language.

Keywords: USB, PIC18F4553, Gas, Engines, Gasoline, Hydrocarbons, Assembly, Firmware, Spectrophotometry.


Diego Francisco Torres Moscoso
School Director


Pedro José Crespo Vintimilla
Thesis Director


Carlos Hugo Apolo Vásquez
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Carlos Hugo Apolo Vásquez

“Trabajo de graduación”

Ing. Pedro José Crespo Vintimilla

Noviembre, 2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR PARA GASES
DE ESCAPE DE LOS MOTORES DE GASOLINA.**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

INTRODUCCION

La contaminación ambiental constituye el principal problema en el mundo entero, debido a que el parque automotor es fuente de emisiones contaminantes de monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, que son liberados a la atmosfera, por este motivo las zonas urbanas más pobladas sufren la mayor contaminación teniendo como resultado efectos nocivos para la salud, como infecciones respiratorias agudas y asma. Esto ha dado lugar a la preocupación de fabricantes de automóviles y gobiernos para que tomen medidas en soluciones tecnológicas más complejas y legislaciones más exigentes en cuanto a los límites de emisiones máximos permitidos, lo cual ha llevado a los centros de talleres automotrices a actualizar sus equipos para poder detectar averías que implican incumplimientos a las normativas de anticontaminación.

Los analizadores de gases en la actualidad se han convertido en el instrumento imprescindible para realizar diagnósticos en los automotores y de esta manera tomar acciones correctivas para el normal funcionamiento del vehículo, contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes hacia la atmosfera y cumplimiento con la revisión técnica vehicular.

1 CAPITULO I

GASES DE ESCAPE DE LOS MOTORES DE GASOLINA

1.1 El motor de gasolina

El motor Otto tiene como finalidad transformar la energía del combustible en trabajo mecánico, cuando el combustible se quema se produce gran cantidad de calor el cual aumenta el volumen de los gases, incrementando su presión en el interior de la cámara cerrada. La fuerza que proviene de la presión es la que se emplea para mover el vehículo a través de diversos mecanismos (pistón, biela, cigüeñal).

1.1.1 Principio de funcionamiento

Cuando el brazo del cigüeñal esté en posición vertical hacia arriba el pistón llegará al Punto Muerto Superior (PMS), y cuando el pistón está en la parte más baja de su recorrido llegara al Punto Muerto Inferior (PMI). La distancia que separa los dos puntos muertos se llama Carrera. Mientras el embolo efectúa una carrera el cigüeñal gira media vuelta o 180°. Las cuatro fases del motor de combustión interna son las siguientes. (Arango, 2013)

1.1.1.1 Fase de admisión

Esta se produce cuando se abre la válvula de admisión y el pistón desciende desde el PMS al PMI mientras la mezcla de aire combustible es aspirada al interior del cilindro. Al finalizar la carrera de descenso la válvula de admisión se cierra, por tanto el cigüeñal ha girado sus primeros 180°. El llenado del cilindro se produce a temperatura ambiente y a presión atmosférica. En la Figura 1.1 se muestra una imagen de la Fase de Admisión. (Bosch, 2005).

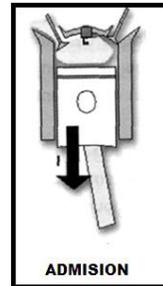


Figura 1.1 Fase de admisión

Fuente: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm> consultado 25 de enero 2014

1.1.1.2 Fase de compresión

El pistón empieza su carrera ascendente desde el PMI al PMS, las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas. A medida que el pistón sube va comprimiendo la mezcla aire - combustible hasta reducir su volumen al espacio que forma la cámara de combustión. En esta fase la temperatura se incrementa hasta 450°C por lo cual la presión final de compresión puede alcanzar hasta 18 bar. En la Figura 1.2 se muestra una imagen de la Fase de Compresión. (Bosch, 2005)

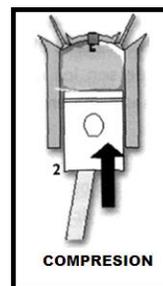


Figura 1.2 Fase de compresión

Fuente: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm> consultado 25 de enero 2014

1.1.1.3 Fase de expansión

Estando la mezcla comprimida y el pistón en el PMS se produce el salto de la chispa en la bujía provocando el encendido de la mezcla, generando gran cantidad de calor que aumenta la temperatura del gas entre 2000°C a 2500°C y eleva la presión entre 30 a 60 bar. Con el movimiento de descenso del pistón hasta el PMI se transforma la energía térmica en trabajo mecánico. Al finalizar esta fase la presión cae a unos 3 o 4 Bar, y la temperatura a unos 800°C o 900°C, el cigüeñal gira 180° más. En la Figura 1.3 se muestra una imagen de la Fase de Expansión. (Bosch, 2005).

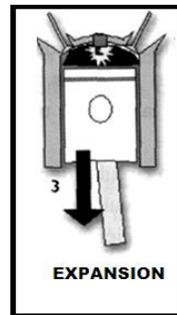


Figura 1.3 Fase expansión

Fuente: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm> consultado 25 de enero 2014

1.1.1.4 Fase de escape

En esta fase se abre la Válvula de Escape y el émbolo asciende al PMS expulsando los gases quemados al exterior. La presión desciende hasta llegar a 1 atmósfera. Cuando el pistón llegue al PMS se ha completado el ciclo de funcionamiento y el cigüeñal ha girado 2 vueltas completas. En la Figura 1.4 se muestra una imagen de la Fase de Escape. (Bosch, 2005)

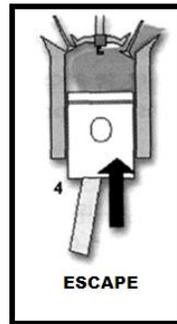


Figura 1.4 Fase de escape

Fuente: <http://www.banrepcultural.org/blaaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm> consultado 25 de enero 2014

1.1.2 Composición de la mezcla de Gases de Escape

La proporción en los elementos resultantes de la reacción de combustión de la mezcla de aire – combustible en un motor Otto depende de las proporciones cuantitativas o relaciones de masa de los elementos químicos que están implicados en ella. (Meganeboy, 2014)

La relación de mezcla estequiométrica ideal de la reacción de combustión que se produce en el cilindro de un motor Otto es de (14,7:1). Esto significa que para la combustión completa de 1kg de combustible se necesitan 14,7 kg de aire. En la práctica esta proporción varía alcanzando valores de 12 a 16 que serían los límites de funcionamiento de la combustión en el motor. (Meganeboy, 2014)

La Relación de Aire (λ) es la proporción que existe entre la cantidad de aire aportado y la cantidad teórica de aire necesaria para lograr una combustión ideal (ecuación 1.1.2.1).

$$\text{Relacion de aire } \lambda = \frac{\text{cantidad de aire aportado}}{\text{cantidad teorica de aire necesario}} \text{ Ec. 1.1.2.1}$$

En función del valor de λ se definen tres tipos de mezcla de combustión:

$\lambda = 1$ es una combustión perfecta por que el aire aportado coincide con el aire teórico

$\lambda < 1$ indica una mezcla rica, exceso de gasolina.

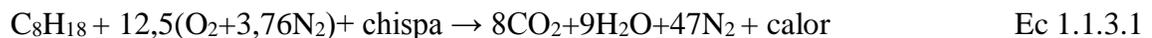
$\lambda > 1$ indica una mezcla pobre, exceso de aire.

En una mezcla pobre la potencia se reduce, y se incrementa la temperatura de combustión, así como aumenta el contenido de oxígeno en los gases de escape y por lo tanto los óxidos de nitrógeno.

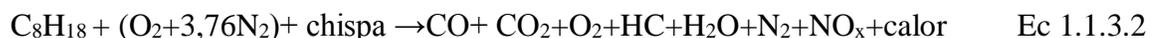
En una mezcla rica se aumenta la proporción de componentes nocivos sin quemar en los gases de escape debido a la falta de oxígeno, por lo que las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos se incrementan. (Meganeboy, 2014)

1.1.3 Proceso de combustión en motores de gasolina.

El proceso de combustión es una reacción química controlada entre la gasolina y el aire. El aire está formado por varios elementos cuya composición volumétrica es la que sigue: 21% de Oxígeno, 78% de Nitrógeno, y el un 1% restante conformado por dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio. La reacción de combustión completa o ideal es un modelo que se representa utilizando la ecuación 1.1.3.1



De una combustión completa resultan pocos productos. En la práctica la combustión en motores de gasolina nunca es completa. La ecuación 1.1.3.2 ilustra la reacción química que se produce en una combustión incompleta.



Como resultado de una combustión incompleta se producen una serie de sustancias gaseosas en su mayoría que son nocivas o no para la salud de las personas. La Figura 1.5 ilustra la composición de los gases de escape en un vehículo con motor a gasolina en condiciones normales. (Barroso, 1998)

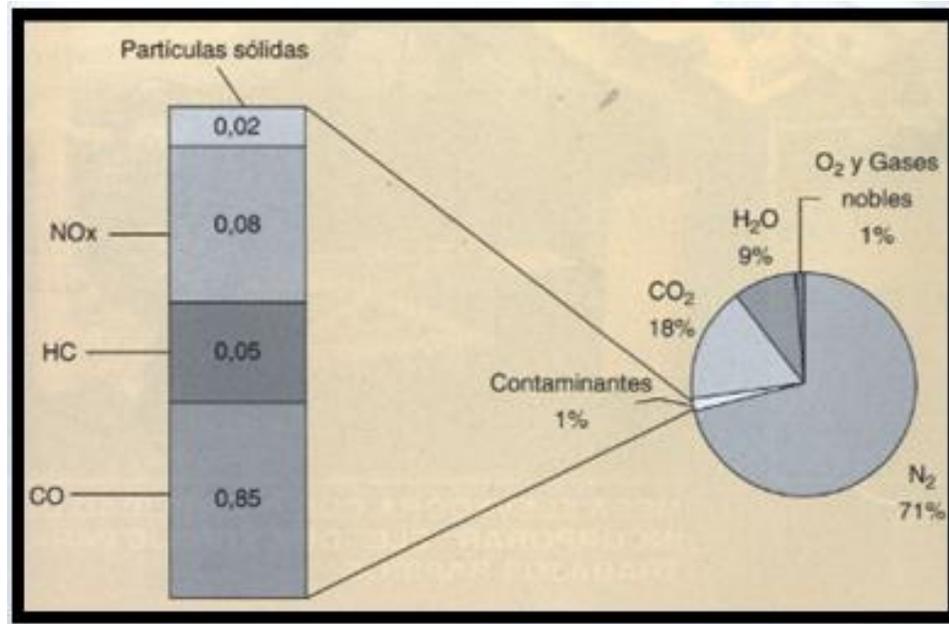


Figura 1.5 Composición de los gases de escape

Fuente: http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=103643
 Q consultado 25 de enero 2014

1.1.4 Elementos presentes en la mezcla de escape.

1.1.4.1 Monóxido de Carbono (CO).

La presencia en exceso de CO en la mezcla de gases de escape es perjudicial dada la alta toxicidad de este gas. El CO es inodoro y es letal en dosis pequeñas. En una mezcla rica el oxígeno presente no es suficiente para completar la combustión por lo tanto la concentración de CO aumenta en los gases de escape. En mezclas pobres ($\lambda > 1$) la concentración de CO disminuye por lo que la abundancia de oxígeno permite obtener una combustión completa, por lo cual la concentración de CO en los gases de escape alcanza valores mínimos. En la figura 1.6 se muestra la variación de la concentración de CO en función de los valores de lambda. (Barroso, 1998)

1.1.4.2 Dióxido de Carbono (CO₂).

El CO₂ es letal para los seres vivos en dosis muy altas. Para valores de lambda cercanos a la unidad el Dióxido de Carbono alcanza el valor máximo. En la Figura 1.6 se muestra la variación de la concentración de CO₂ en función de los valores de lambda. (Meganeboy 2014, Barroso1998).

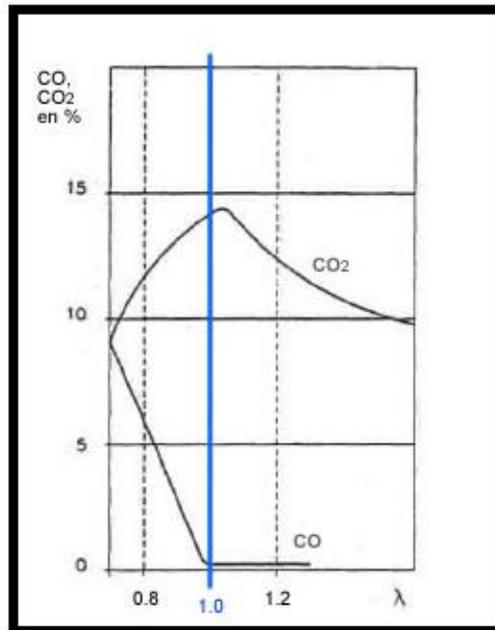


Figura 1.6 Curvas características de CO y CO₂ en función de λ

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm> consultado 25 enero 2014.

1.1.4.3 Hidrocarburos (HC).

La exposición ocasional a emisiones de HC resulta irritante para las vías respiratorias. Se ha demostrado que la exposición prolongada es causa de cáncer en seres humanos. En mezclas pobres, la concentración de HC sin quemar se reduce a valores mínimos. Por el contrario en mezclas ricas, su concentración aumenta debido a que no se han quemado los HC por falta de oxígeno. La alta presencia de HC en la mezcla de escape es también un indicador de mal funcionamiento del motor. En la Figura 1.7 se muestra la variación de la concentración de HC en función de los valores de lambda. (Meganeboy 2014, Bosch 2003)

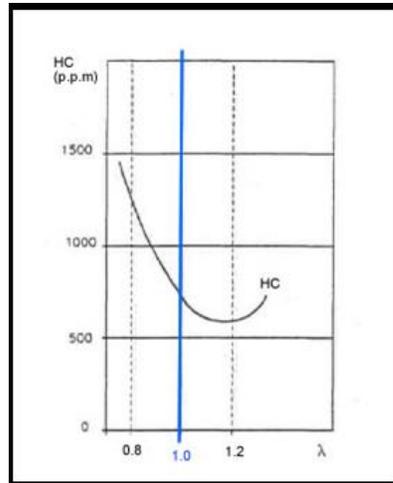


Figura 1.7 Curvas características de HC en función de λ

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm> consultado 25 enero 2014.

1.1.4.4 Óxidos de Nitrógeno (NO_x).

La exposición prolongada al Dióxido de Nitrógeno produce irritaciones en las vías respiratorias y daño pulmonar. Dentro del entorno ambiental los óxidos de nitrógeno son corresponsables de que se produzcan lluvias ácidas. En una mezcla pobre hay mayor presencia de oxígeno lo que favorece la formación de NO_x . Para valores de λ en el orden de 1.1 se obtiene la mayor concentración de NO_x . Por otra parte, si aumenta lambda por encima de 1.1 aunque exista exceso de oxígeno disminuye la formación de NO_x . En la Figura 1.8 se muestra la variación de la concentración de NO_x en función de los valores de lambda. (Meganeboy 2014, Bosch 2005).

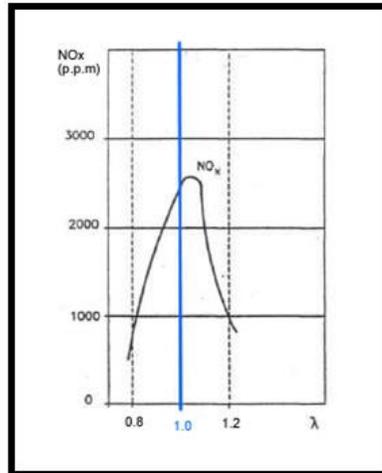


Figura 1.8 Curvas características de NOx en función de λ

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm> consultado 25 enero 2014.

Para garantizar una combustión completa óptima y por ende reducir las concentraciones de contaminantes (CO, CO₂, HC y NOx) el valor de lambda debe ser cercano a 1. La Figura 1.9 resume el comportamiento de la concentración de los contaminantes analizados en función de los valores de lambda. (Meganeboy, 2014).

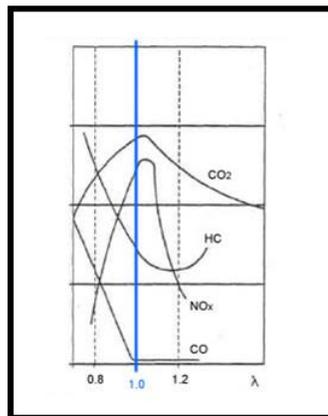


Figura 1.9 curvas características en función de $\lambda=1$

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm> consultado 25 enero 2014.

1.2 Equipos medidores de las concentraciones en los gases de escape

Los Analizadores de Gases de Escape (AGE) son equipos dedicados a la medición y validación de los rangos de concentración de los elementos componentes de la mezcla de gases de escape. Generalmente su diseño incluye un procesador digital capaz de realizar – entre otras funciones – los cálculos de la concentración de los componentes de la mezcla apoyándose en un conjunto de sensores acoplados a él mediante un Bloque de Interface analógico o analógico – digital. En la Figura 1.10 se muestra un Diagrama de Bloques general de un AGE considerando que utiliza el principio NDIR. (International Organization of Legal Metrology, 2008ed.)

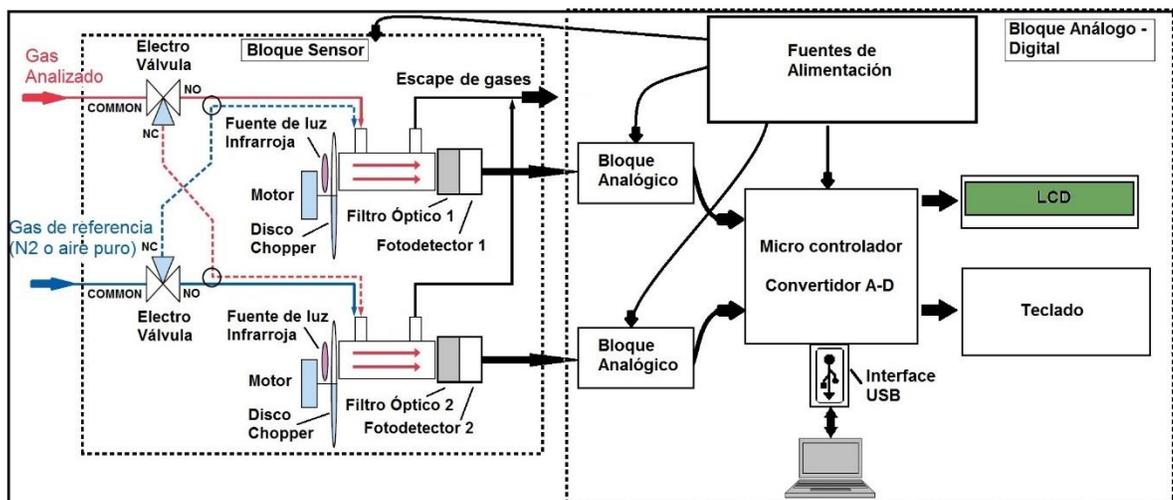


Figura 1.10 Diagrama de Bloques de un AGE.

Fuente: Autor

Tomando como base la figura 1.10 un AGE del tipo NDRI contiene los siguientes bloques:

- **Bloque Sensor.-** Este bloque contiene la cámara gaseosa de referencia y la cámara de medición.
- **Bloque Analógico – Digital.-** Contiene la electrónica necesaria para acoplar los sensores (foto - detectores) a un micro controlador.

- **Pantalla LCD y Teclado.-** Ambos elementos permitirán exhibir los datos resultantes de la medición e interactuar con el usuario, respectivamente.
- **Bloque Digital Inteligente.-** El núcleo de este bloque es un micro controlador PIC18F4553 que se encargará de digitalizar las señales provenientes del Bloque Sensor, de realizar cálculos, de controlar la interface de usuario y de gestionar la comunicación con la computadora; entre otras funciones.
- **Sección de Potencia.-** Esta sección incluirá las fuentes de alimentación para suplir la energía a todos los bloques del equipo.
- **Estructura Mecánica.-** Esta sección incluirá todo el soporte neumático que apoye el funcionamiento del bloque sensor, el chasis, la cubierta y otros elementos que garanticen la interconexión del equipo y su manipulación.

1.2.1 Sensores para medir concentración de los componentes de la mezcla de escape.

Los AGE utilizan varios tipos de sensores cuyo principio de transducción varía según el caso. Dentro de las categorías de sensores se pueden citar las siguientes:

1.2.1.1 Sensores MOX (Metal Oxide Sensors).

Se basan en la variación de la conductividad del material que los conforman en presencia de gases. Su conductividad (resistencia) varía con la concentración de determinado gas en la mezcla. (Chou, 2000)

1.2.1.2 Sensores electroquímicos.

Funcionan de manera similar a una batería expuesta al ambiente. En presencia del gas se produce una reacción química entre sus bornes que genera una corriente proporcional a la concentración del gas estudiado. Actualmente su uso se centra en la detección de gases tóxicos y oxígeno. (Chou, 2000)

1.2.1.3 Sensores ópticos infrarrojos.

Permiten medir la cantidad de radiación infrarroja que absorbe las moléculas de determinado gas, haciendo pasar radiación IR monocromática desde una fuente hacia un foto detector a través de un camino de dimensiones conocidas. El empleo de los sensores IR para detectar gases se han masificado debido a las siguientes razones: (Silva y Gracia, 2006).

- Son inmunes a la contaminación que pudiera provocar la sustancia que se mide dado que no la contactan.
- Poseen excelente repetitividad cuando su montaje en el sistema de medición es adecuado.
- Su montaje, interface y mantenimiento son relativamente fáciles.
- Con un mismo sensor y utilizando un monocromador (serie de filtros ópticos) es posible configurar el montaje (en un equipo) para medir diferentes especies de gases dentro de una mezcla.
- Han permitido miniaturizar los equipos que los usan.

En la Figura 1.11 se muestra el aspecto físico de un sensor óptico especializado en la medición de gases de escape. Este sensor es dual, o sea está optimizado para detectar dos componentes de la mezcla.



Figura 1.11 Aspecto de sensor óptico de gases del tipo No Dispersivo (NDIR).

Fuente: Apollo Optronics Co., Ltd. <http://cpbay.com/Search/40/4626/sensor-hc.html> revisado 26 Enero 2014

1.2.2 Espectrofotometría Infrarroja No Dispersiva.

La espectrofotometría es una técnica cuantitativa de análisis químico que aplica en la práctica la Ley de Beer. Los equipos que hacen posible las mediciones se denominan espectrofotómetros. Utilizando un espectrofotómetro se puede medir la radiación que absorbe determinada sustancia presente en una mezcla. La mezcla estudiada se confina en una estructura de dimensiones conocidas (camino óptico) a través de la que se hace pasar luz de una longitud de onda e intensidad conocida. (Silva y Gracia, 2006).

El equipo es capaz de aplicar la Ley de Beer para determinar de manera indirecta la concentración de la sustancia dentro de la mezcla.

1.2.2.1 Ley de Beer – Lambert

La ley física de Beer – Lambert – Bouguer o simplemente Ley de Beer tuvo sus primeras bases en la descripción del fenómeno de la pérdida de radiación que se produce cuando la luz solar atraviesa la atmósfera hecha por el matemático y astrónomo francés Pierre Bouguer en un ensayo publicado en el año 1729. Posteriormente el filósofo y matemático alemán, Johann Heinrich Lambert estableció una expresión matemática que permitió relacionar la cantidad de radiación recibida (después de atravesar un medio) con la radiación emitida por una fuente. Finalmente en 1852 el también físico y matemático alemán August Beer publicó un artículo sobre la absorción que sufría la luz roja en disoluciones acuosas coloreadas de varias sales. Beer utilizó los principios derivados de los trabajos anteriores de Bouguer y Lambert para medir la concentración de una sustancia presente en una mezcla. Beer estableció que utilizando radiación de una longitud de onda determinada es posible conocer la concentración de una sustancia dentro de una mezcla de la que ella forma parte. Para lograrlo se hace pasar la radiación de intensidad (I_i) por un camino óptico de longitud conocida (d) a través de la mezcla incógnita (Figura 1.12). (Silva 2006)

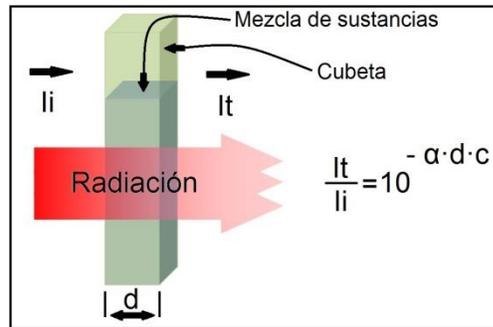


Figura 1.12 Aspecto de sensor óptico de gases del tipo No Dispersivo (NDIR).

Fuente: Autor

En la práctica un aparato que aplica la Ley de Beer mide la cantidad de radiación que logró atravesar la mezcla estándar (I_t). Si se conoce el coeficiente de absorción de la sustancia cuya concentración se desea medir (α) y la longitud de la cubeta (d), se puede determinar la concentración a partir de la ecuación 1.2.2.1. (Sierra, Pérez, Gómez, Morante. 2010)

$$\frac{I_t}{I_i} = 10^{-\alpha \times d \times c} \quad \text{Ecuación 1.2.2.1}$$

Dónde:

- **I_t :** es la **intensidad de radiación transmitida**. I_t cuantifica la cantidad de radiación que logró atravesar por la cubeta o en la práctica el camino de luz.
- **I_i :** Es la **intensidad de radiación incidente**. Este valor se mide con alguna sustancia en la cubeta que sirva de referencia y que posea una absorción muy baja la longitud de onda que se emplea para estudiar la sustancia. Se conoce como valor de “blanco”.
- **α :** Es el coeficiente de absorción de la sustancia estudiada a una longitud de onda determinada. Es una función específica de la longitud de onda a la que se produce la máxima absorción para cada sustancia. Y viene dada en $1/(\text{moles} \cdot \text{cm})$.
- **d :** Es el espesor de la cubeta utilizada o en la práctica la longitud total del camino óptico que atraviesa la radiación desde la fuente hasta el sensor foto receptor, viene dada en (cm).
- **c :** concentración de absorbente viene dado en moles/litro.

Usualmente en la ecuación 1.2.2.1 el término $\alpha \cdot d$ se sustituye por una constante K. Si adicionalmente se toma el logaritmo a ambos miembros de la ecuación 1.2.2.1 ésta se puede expresar como:

$$-\log \frac{I_t}{I_i} = K \times c \quad \text{Ecuación 1.2.2.2}$$

El término $-\log \frac{I_t}{I_i}$ se conoce como Absorbencia Espectral (A). Bajo estas condiciones la Ley de Beer puede modelarse mediante la ecuación:

$$A = K \times c \quad \text{Ecuación 1.2.2.3}$$

1.2.3 Analizadores de Gases tipo NDRI

La espectrofotometría puede aplicarse a la medición de la concentración de gases en una mezcla utilizando radiación cuyas longitudes de onda se ubican en la banda infrarroja. La espectrofotometría infrarroja de gases es una técnica no destructiva que se basa en la habilidad de las moléculas del gas para absorber la radiación que las contacta de manera selectiva. La absorción selectiva significa que las moléculas absorben energía a longitudes de onda específicas dentro de la banda infrarroja. Los valores concretos a los que las moléculas son sensibles dependen de su estructura química. (Sierra, Pérez, Gómez, Morante. 2010 y AllDatasheet.com Visible/IR Lamps for).

La Figura 1.13 muestra el esquema básico de la cámara de medición de un espectrofotómetro utilizado para medir concentraciones de gases.

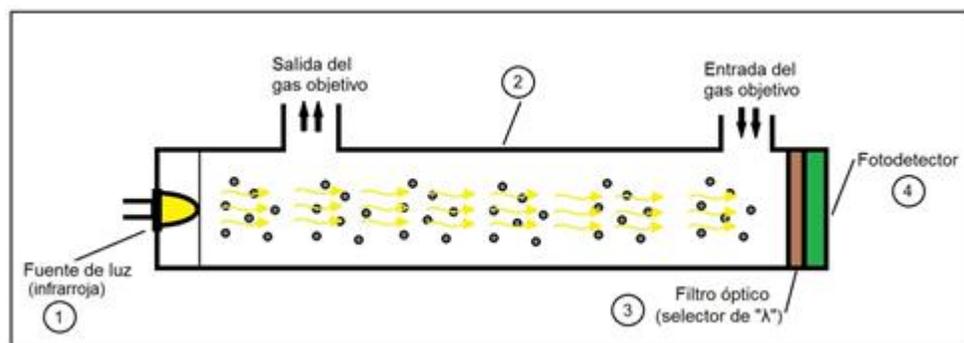


Figura 1.13 Cámara de medición del espectrofotómetro.

Fuente: Autor.

En el esquema se destacan: la fuente de luz infrarroja (1), la columna (o cámara) que contiene el gas objetivo (2); un filtro óptico que permite seleccionar la longitud de onda específica a la cual el gas objetivo absorbe más energía (3) y un detector de radiación sensible a la banda infrarroja (4). Los espectrofotómetros que utilizan un filtro óptico para aislar la longitud de onda necesaria para medir la absorción provocada por el gas se denominan No Dispersivos y son conocidos como espectrofotómetros NDIR, por sus siglas en inglés. (AllDatasheet.com Visible/IR Lamps for.)

Los valores de concentración medidos por el equipo se expresan en cifras porcentuales de acuerdo a la absorción de la luz infrarroja que se ha producido. En la Tabla 1.1 se resumen los rangos de medición típicos de un espectrofotómetro NDRI. Se ha tomado como referencia el analizador 680.¹

Tabla 1.1 Rango de valores de medición del analizador 680

Tipo del gas	Rango de Valores	Unidades	Resolución	Error Relativo	Error Absoluto
HC	0 - 10000	Ppm vol.	1 ppm vol.	± 5%	±12ppm
CO	0.00 – 10.00	% vol.	0.01% vol	± 5%	±0.06%
CO ₂	0.00 – 20.00	% vol.	0.1% vol	± 5%	±0.5%

Fuente: [680 Emission Analyser Service Manual](#) consultado el 27 enero de 2014.

¹ El analizador de gases de escape 680 es controlado por un microprocesador, el bloque sensor utiliza el principio de espectrofotometría Infrarroja No Dispersiva (NDIR) técnicas de medición, diseñado principalmente para la Revisión Técnica Vehicular.

1.2.4 Fuentes de radiación infrarroja

Las fuentes de radiación infrarroja deben ser de gran intensidad y continuas en la longitud de onda, pero en la práctica todo esto no se consigue, aunque las tres fuentes de uso más común se aproximan al ideal y estas son: Emisor de Nernst, Globar, y Filamentos incandescentes. (Eugen, 1990).

1.2.4.1 Emisor de Nernst

Es la fuente de radiación más usada, tiene la forma de una barra hueca de 1 a 3 mm de diámetro, y de 2 a 5 cm de longitud, la cual es fundida por una mezcla de óxidos de circonio, itrio, y torio. Los extremos de la barra van conectados a un calentador de hilo de platino enrollado, que puede ser desconectado por contactos eléctricos (relé) cuando su temperatura final haya alcanzado los 1900°C, esto se consigue aplicando 75 Volt, 1,2 Amp y 90 Watt. La energía emitida se concentra entre 1 y 10µm, aunque a veces se utiliza hasta 40µm. Este emisor se caracteriza por su bajo consumo de potencia, la capacidad de operar en el aire y por su vida de larga duración. (Eugen, 1990- Prat y Calderes, 2006)

1.2.4.2 Emisor de Globar

Este emisor en su utilización ocupa el segundo lugar después de Nernst, tiene la forma de una barra cilíndrica de 6 a 8mm de diámetro, y unos 5 cm de longitud, la misma que está constituida de carburo de silicio. Sus extremos van conectados a electrodos de aluminio, la temperatura que alcanzan es de 1200 a 1400°C, esto se consigue aplicando de 50 a 115 Volt, y con un consumo de potencia relativamente alto entre 200 a 400 Watt. La emisión se concentra entre 1 a 15 µm aunque a veces se utiliza hasta 50 µm, la ventaja es que es una fuente más intensa, estable y resistente que el emisor Nernst, su inconveniente es el consumo de potencia y requiere un cuidado especial en sus contactos debido al problema de oxidación. (Eugen, 1990- Prat y Calderes 2006).

1.2.4.3 Emisor de Filamentos Incandescentes.

Esta fuente es utilizada en espectrofotómetros modernos y de bajo costo, esta fuente se divide en dos tipos, el un tipo consiste en una espiral compacta de nicromo (aleación de níquel y cromo) el cual es calentado hasta temperaturas de 800 o 900°C, la emisión se concentra entre 1 a 15 μm , la ventaja de estas fuentes es que poseen una vida larga y no necesitan mantenimiento. El otro tipo consiste en una espiral de hilo de rodio encapsulado en un tubo de óxido de aluminio, este óxido de aluminio se convierte en el radiador de infrarrojo y el hilo de rodio es el calefactor de alta temperatura. (Eugen, 1990, Gago y Fraile 2012).

1.2.4.4 Emisor de Luz Led IRED (Infrared emitting diode).

Esta fuente de luz es aplicada en dispositivos detectores para la emisión de señales de luz que se transmiten a través de longitudes de onda, el elemento principal es el Led que consta de 2 capas de cristal, el interior formado por Arseniuro de Galio (GaAs) en el cual los átomos de galio aportan una pequeña carga positiva, y los átomos de Arsénico una pequeña carga eléctrica negativa, que juntas conforman el componente fundamental para convertir la energía eléctrica en energía luminosa y emitir una luz Infrarroja de 940nm con un ancho de banda de 50nm, la capa exterior representa al encapsulado del led con una dimensión de 5mm de diámetro, esta fuente de luz tiene larga vida útil de 100000 horas por ser dispositivos sólidos y rígidos, son mucho más eficientes que otras fuentes de luz, presentan tiempos de respuesta rápidos ya que no necesitan calentarse. (Gago y Fraile 2012).

1.2.5 Monocromadores

Un monocromador es un dispositivo que permite aislar una banda de frecuencias dentro de un espectro de radiación. El uso de monocromadores en los analizadores de gases NDRI es imperativo para garantizar que sobre las moléculas del gas analizado incida luz monocromática. De esta manera se garantiza que se cumpla la Ley de Beer con bastante

exactitud. La monocromaticidad de la fuente de luz aumenta la selectividad del sistema debido a que las moléculas de gas que absorben en otras longitudes de onda no interfieren si el rango de la radiación utilizada es estrecho. (Silva y García 2006).

1.3 Microcontroladores

Un micro controlador (Figura 1.14) es un chip que integra la mayor cantidad de recursos de hardware (circuitos) en su interior se comunica con el exterior solamente a través de líneas de entrada / salida o líneas de puerto.

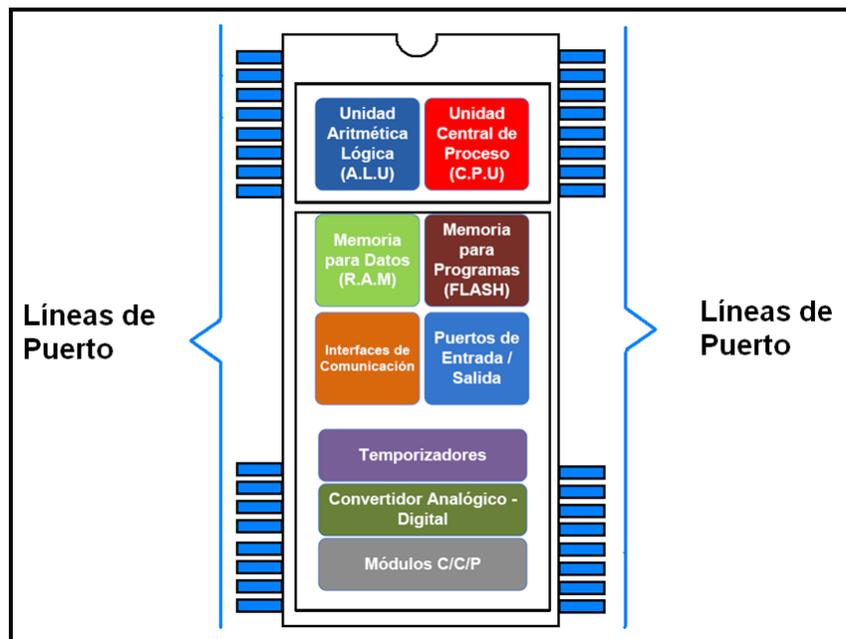


Figura 1.14 Representación esquemática de la estructura de un micro controlador.

Fuente: Autor

En la actualidad la solución de la mayoría de los proyectos electrónicos es pensada en primera instancia utilizando microcontroladores, algunas razones que justifican la elección del micro controlador son las siguientes: (Pérez, 2010)

- **Bajo costo**, puesto que integran muchos de los recursos que en un μP aparecen de forma discreta y se miniaturizan los diseños, lo que supone abaratar costos de fabricación.
- **Fiabilidad**. Un μC integra la mayor parte de los recursos, por lo que se minimizan las interconexiones en la tarjeta de circuito impreso lográndose así un diseño más fiable.
- **Ahorro de tiempo** en el desarrollo de los diseños. El tiempo de desarrollo es para los diseñadores de hoy muchas veces la variable que permite que sus productos lleguen oportunamente al mercado.

1.3.1 Tipos de micro controladores.

Se fabrican dos tipos de micro controladores actualmente: (Feijoo y Reyes 2010)

1.3.1.1 Los microcontroladores estándares.

Se caracterizan por la total flexibilidad de su arquitectura. Se pueden desarrollar múltiples tipos de aplicaciones dependiendo de sus posibilidades y/o limitaciones concretas. (Lasso y León 2013)

1.3.1.2 Los microcontroladores (“hechos a la medida”).

Se caracterizan por manejar una arquitectura cerrada. Casi siempre son pre programados desde la fábrica o manejan un sistema de programación cerrado (no conocido comercialmente). (Lasso y León 2013).

Algunas casas fabricantes de micro controladores son:

- Microchip.
- ATMEL.
- Motorola.
- Texas Instruments.
- Siemens.

1.3.2 Hardware basado en microcontrolador

El hardware se entiende por el conjunto de circuitos electrónicos que soportan el trabajo de una aplicación basada en micro controlador. De la conexión correcta y eficiente de tales circuitos depende el desempeño adecuado del “firmware” o software integrado al micro controlador. (Angulo y Romero 2006).

1.3.3 Ciclo de Máquina (CM) en un micro controlador.

El Ciclo de Máquina es el espacio de tiempo mínimo que tarda en realizar “una acción” el micro controlador. Un Ciclo de Máquina (CM) puede o no ser suficiente para ejecutar un comando (instrucción) completo. En los PICs un Ciclo de Máquina dura cuatro períodos del Oscilador Externo (Figura 1.15). (Feijoo y Reyes 2010).

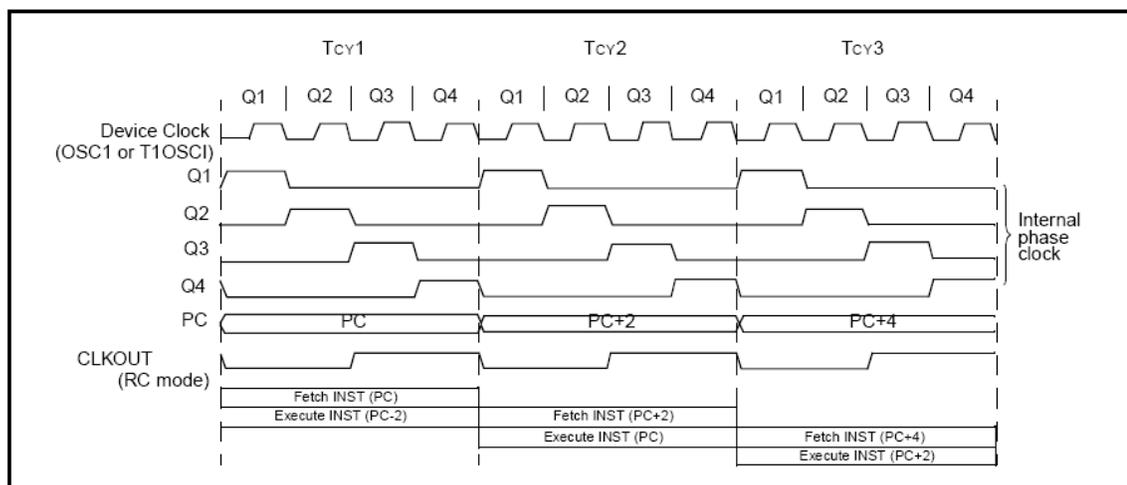


Figura 1.15 Esquema de señales del oscilador externo y su relación con el Ciclo de Máquina.

Fuente: PIC18FXX2 Data Sheet; High Performance Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D, Microchip Inc™.

1.3.4 Ciclo de Instrucción (CI) en un microcontrolador.

El Ciclo de Instrucción es el tiempo que demora la ejecución de una instrucción completa, un CI puede requerir de uno o más Ciclos de Máquina (CM) en función de las características de cada instrucción. (Lasso y León 2006).

1.3.5 Registros en un microcontrolador.

Se refiere como registro a un almacenador binario de “n” bits. En el caso específico de los micros de la familia 18FXXXX un registro para guardar datos (registro de datos) o información de control (registro de control) es de 8 bits, porque el procesamiento y el transporte de datos se realiza en cantidades de 8 bits. Los bits de un registro se enumeran de derecha a izquierda comenzando desde el cero (hasta el 7), siendo el bit 0 el menos significativo, y el bit 7 el más significativo (Figura 1.16). (Feijoo y Reyes 2010).

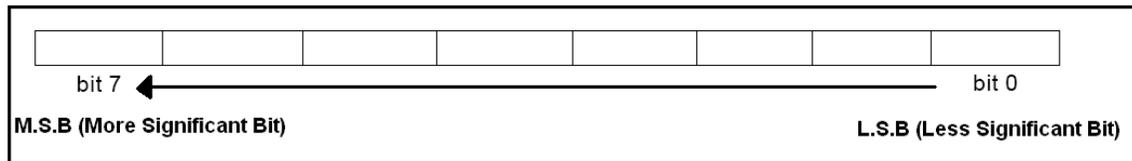


Figura 1.16 Esquema de un registro.

Fuente: Autor

1.3.5.1 Registro de DATOS o de Propósito General.

Como su nombre lo indica un “registro de datos” es un registro que almacena datos, necesarios para que el programa se ejecute correctamente. Tales registros se encuentran en la Memoria de Datos tipo RAM (Random Access Memory) o en cualquier memoria auxiliar permanente (tipo FLASH). (Feijoo y Reyes 2010).

1.3.5.2 Registro de CONTROL o de Propósito Específico.

Un registro de control almacena información necesaria para que el micro controlador funcione correctamente. Tales registros se encuentran en la Memoria de Datos (tipo R.A.M) del micro controlador.

1.3.6 Memorias de un microcontrolador.

Una memoria está formada por un conjunto organizado de registros (de “n” bits”). En las memorias modernas (segmentadas) los registros normalmente están agrupados en “bancos” o “páginas”. Cada registro ocupa una “dirección específica” dentro de la memoria. (Feijoo y Reyes 2010)

1.3.6.1 Memoria para Datos.

Espacio de memoria dentro del micro controlador destinado a almacenar información en dos tipos de registro: de propósito general donde se almacenan datos necesarios para ejecutar el programa, y de propósito específico donde se almacenan datos para controlar el funcionamiento del micro controlador. Desde el punto de vista tecnológico, las Memorias de Datos pueden ser: (Feijoo y Reyes 2010)

- Volátiles (como la R.A.M Random Access Memory).
- Permanentes (como la E.E.P.R.O.M Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory o las de tipo “Flash”).

1.3.6.2 Memoria para Programas.

Espacio de memoria dentro del micro controlador destinado a almacenar, ya sea: los códigos de las instrucciones o comandos o en algunas aplicaciones también datos permanentes, en las localizaciones que no son ocupadas por los códigos de los comandos. Las memorias de programas son memorias siempre permanentes, porque en un micro controlador el programa debe ejecutarse una y otra vez. (Feijoo y Reyes 2010).

1.3.6.3 Memorias segmentadas.

Existe una tendencia moderna a dividir las memorias (de datos o programas) en segmentos denominados “bancos” o “páginas”. Tal división se hace con el objetivo de hacer más rápida la búsqueda de información dentro de la memoria. (Feijoo y Reyes 2010).

1.3.6.4 Direccionado de memoria.

Direccionar una memoria o algún recurso específico en el micro controlador significa apuntar, señalar o seleccionar electrónicamente, a la dirección que define el lugar de un registro dentro de la memoria o algún recurso en específico fuera de ella. La dirección de

un recurso es un número único y constituye una especie de I.D para él. Pudiera hacerse una analogía elemental con la acción de buscar la dirección de un lugar. (Pérez, 2010).

1.3.6.5 Registro tipo “puntero”.

Un registro tipo puntero almacena el valor de una dirección. En programación una dirección es un número (usualmente expresado en hexadecimal) que señala el lugar donde se encuentra un registro dentro de una memoria cualquiera o un recurso específico. Ejemplos de registros tipo puntero son los F.S.R (File Select Register) que apoyan el direccionado de la Memoria de Datos y el P.C (Program Counter) que apoya el direccionado de la Memoria de Programas. (Feijoo y Reyes 2010).

1.3.7 Programación de microcontroladores.

Programa.- Secuencia lógica de comandos correctamente escritos.

Compilar un programa.- Acción para verificar si la sintaxis de los comandos escritos es correcta.

Simular un programa.- Acción para verificar paso a paso o por partes la ejecución correcta de los comandos propuestos para un programa. La simulación puede ser virtual o física (emulación). (Pérez, 2010)

Comandos o instrucciones.- Un comando es una orden (literalmente) que se da al C.P.U del micro controlador dentro de un programa. Los programadores modernos utilizan diversas formas o “lenguajes” para escribir los comandos. Independientemente del lenguaje utilizado el C.P.U sólo “entiende” códigos binarios. La “traducción” a código binario se realiza mediante la compilación. (Pérez, 2010)

Categorías de Comandos. Los comandos pueden agruparse según la acción que realicen en las siguientes categorías que se ejemplifican a continuación: (Pérez, 2010)

- **Comandos que sólo modifican el estado de un bit:**

bcf PORTC, 2

- **Comandos que modifican el estado de todo un registro:**

clrf PORTC

- **Comandos para realizar operaciones con números (literales):**

sublw 0x33

- **Comandos para realizar operaciones de control en el programa**, tales como: provocar saltos (goto XXXX) o llamar subrutinas (call XXXX). En los ejemplos “XXXX” es el nombre de la subrutina que debe ser “llamada” o el lugar a donde se debe saltar dentro de la Memoria de Programas. (Pérez, 2010)

Sub rutina, sub programa o función.

Conjunto de comandos que se ejecutan siempre que sean invocados. Una subrutina realiza por lo general uno o varios procesos que dentro de un programa deben repetirse muchas veces, por ejemplo: refrescar la información en Displays de 7 Segmentos, una demora diseñada por software; entre otros procesos. (Pérez 2010)

1.3.8 Microcontroladores MICROCHIP.

Microchip (www.microchip.com) es la casa fabricante que oferta una gran variedad de micro controladores. Sus microcontroladores se agrupan en familias o gamas (baja, media y alta). Cada familia de micros oferta diferentes series. (Dogan, 2008)

Microchip es una empresa revolucionaria dentro de la era del micro controlador moderno, actualmente fabrica micro controladores de 32 bits de alta tecnología (PIC32). La familia 18FXXXX (micro controladores de 8bits) es una familia moderna y muy vendida a nivel mundial. La familia 18FXXXX está integrada por micro controladores que combinan especificaciones muy poderosas: bajo costo, versatilidad, arquitectura interna de fácil comprensión e integración en chips de pocos pines de gran cantidad de periféricos. (Dogan, 2008)

1.3.8.1 Microcontrolador PIC18F4553

El **PIC18F4553** es un microcontrolador de propósito general fabricado por la compañía Microchip. Dentro de las especificaciones del microcontrolador PIC18F4553 se pueden citar las siguientes: (Pérez, 2010)

Periféricos integrados:

- Líneas de puertos de entrada salida con capacidad de entrega o recepción de corriente máxima de 25 mA.
- Posee tres entradas de interrupción externas.
- Posee cuatro circuitos temporizadores de propósito general que facilitan el control de operaciones que dependan del tiempo sin que este control tenga que ser realizado por el programa.
- Posee cuatro módulos de tipo CCP (Compare/Capture/PWM).
- Posee un puerto de tipo EUSART que cumple con el estándar de comunicación RS232C. Este puerto es muy útil para comunicar el microcontrolador con otros periféricos o una computadora.
- Posee un puerto de tipo USB 2.0 para comunicación con computadoras que posean este estándar.
- Posee un convertidor analógico – digital con una resolución máxima de 12 bits. Este periférico es esencial para poder digitalizar señales.
- Posee dos comparadores analógicos integrados que pueden programarse desde el firmware para realizar operaciones de comparación de señales analógicas externas. (Angulo y Romero 2006)

Otras especificaciones:

- Posee un set de instrucciones optimizado para utilizar la programación en lenguaje C para micro controladores.
- Posee un oscilador externo que funciona hasta una frecuencia de 48 Mhz y en cuatro modos diferentes.
- Posee una Memoria Flash interna para almacenar el programa de 16382 (16K) palabras. Cada palabra en la Memoria Flash posee una extensión de 16 bits (2 bytes).
- El PIC18F4553 se oferta en diferentes cápsulas: 28-Lead PDIP (Skinny DIP), 28-Lead SOIC, 40-Lead PDIP (Figura 1.17), 44-Lead TQFP y 44-Lead QFN. En la figura se muestra el aspecto de un PIC18f4553 que utiliza una cápsula 40-Lead PDIP (PDIP significa Plastic Dual In Line Package). (Angulo y Romero 2006)

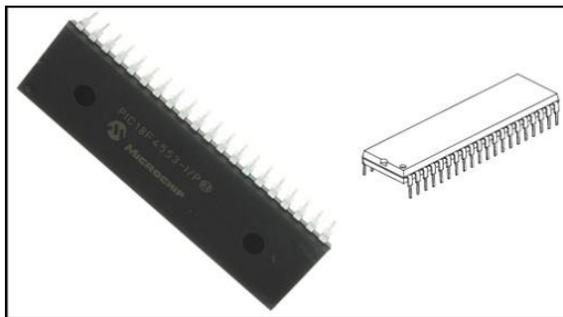


Figura 1.17 Aspecto del microcontrolador PIC18F4553 que utiliza un encapsulado DIP (Dual In Line Package) de 600.

Fuente: www.microchip.com. Revisado 28 Marzo del 2014

1.4 Labview e Instrumentación virtual.

1.4.1 Labview.

Labview (acrónimo de **L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench) es un lenguaje de programación que se diferencia de otros comerciales en un aspecto principal: otros lenguajes utilizan sintaxis expresada en textos para crear el código

mientras Labview lo hace utilizando gráficos (íconos y otros elementos gráficos). (Molina 2010, Bitter-Mohiuddin y Nawrocki-2007).

1.4.2 Instrumentación Virtual.

Desde la creación de la herramienta Labview (1976), los programas creados con él han tratado de imitar (por el aspecto de su interface) a instrumentos reales. El funcionamiento físico de los instrumentos se apoya en una computadora y algunos elementos de hardware complementarios comunicados con ella. A esta técnica y las tecnologías que involucra se le denomina Instrumentación Virtual. Los programas creados en Labview se conocen como Instrumentos Virtuales (V.I, por sus siglas en inglés), el mismo que está formado por dos partes fundamentales. (Molina 2010).

1.4.2.1 Panel Frontal

Constituye la interface de usuario del VI. En esta pantalla (Figura 1.18) se encuentran los indicadores y controles que son físicamente variables de entrada (controles) y salidas (indicadores) Los controles e indicadores poseen apariencia de botones, interruptores, gráficos y otros símbolos que emulan instrumentos reales. (Molina 2010, Bitter-Mohiuddin y Nawrocki-2007).

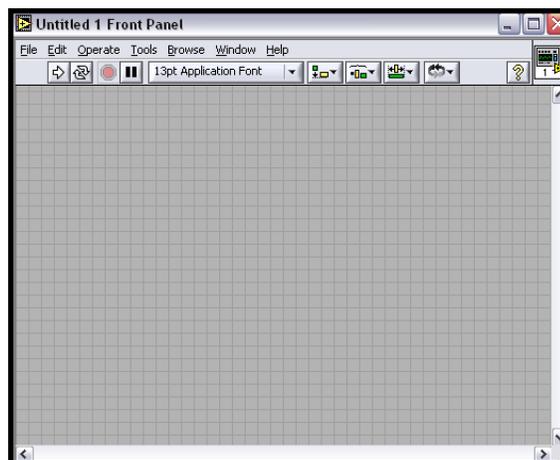


Figura 1.18 Aspecto del microcontrolador PIC18F4553 que utiliza un encapsulado DIP (Dual In Line Package) de 600.

Fuente. Labview.

1.4.2.2 Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques contiene el código fuente del programa gráfico. Este tipo de programación se denomina “programación G”. Las variables, controles, indicadores y funciones de la biblioteca que posee Labview se representan en forma de iconos (Figura 1.19). Aunque el programador observa iconos en esencia ellos representan un segmento de programa: desde comandos simples, estructuras de programación hasta funciones complejas. Los elementos de programación en un Diagrama de Bloques se relacionan entre ellos utilizando cables como si se tratara de un circuito, existen cables de diferente color y estilo lo que significa que son informaciones distintas. (Molina 2010, Bitter-Mohiuddin y Nawrocki-2007).

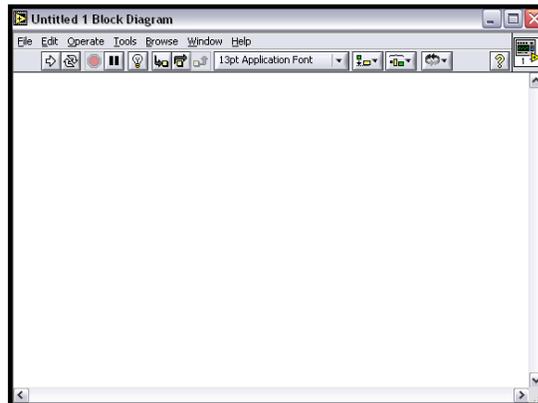


Figura 1.19 Panel Frontal

Fuente. Labview

1.5 Normas y Legislaciones

1.5.1 Normas INEN Ecuador

Norma INEN 2204-2002.- En la Tabla 1.2 se establece los Límites máximos de Emisiones contaminantes producidas por vehículos con motor a gasolina en condiciones de marcha mínima de ralentí con un máximo de 1100rpm, y con una temperatura normal de funcionamiento.

Tabla 1.2 Límites máximos de emisiones.

LIMITES MAXIMOS DE EMISIONES EN CONDICIONES DE RALENTI				
Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
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	1 000	1 200

* Volumen
**Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Fuente: NTE INEN2204:2002.

Norma INEN 2203-2000.- Establece el método de ensayo para determinar las concentraciones en los gases de escape en condiciones de marcha mínima ralenti para vehículos con motor a gasolina, el cual indica que el motor del vehículo debe encontrarse a temperatura normal de funcionamiento, a ralenti con un máximo de 1100rpm, las luces y aire acondicionado apagados, no deben existir fugas en el sistema del tubo de escape, para lo cual se verifica tapando la salida del tubo y verificando si existe presión de escape, además se debe inspeccionar el color de los humos de escape, si son azules significa que el motor está consumiendo aceite debido a que podría encontrarse con desgaste los sellos de guía de válvulas o los anillos de pistón, por lo tanto el análisis de la concentración queda suspendido debido que la presencia de aceite en la mezcla aire-combustible altera el proceso de combustión y sus resultados en la medición, si presentan excesos de humo de color negro o blanco la prueba de igual manera queda suspendida, si todas las verificaciones han sido exitosas se procede a la medición de los gases.

El analizador de gases antes de iniciar el proceso de medición debe ser auto calibrado automáticamente y estabilizado, para luego introducir la sonda de gases en el tubo de escape, y esperar unos segundos hasta recoger la muestra para realizar la medición de las concentraciones de las sustancias de gases, como paso final se procede a imprimir los resultados.

1.5.2 Legislaciones Sobre Gases de Escape

California en 1960 puso la primera legislación sobre gases de escape y desde la fecha hasta ahora se han reducido los límites admisibles para los componentes de sustancias nocivas, a través de la creación de diferentes legislaciones que a continuación vamos a mencionar. (Bosch, 2005)

- Legislación Carb
- Legislación EPA
- Legislación UE
- Legislación del Japón

1.5.2.1 Legislación Carb (California Air Resources Board)

Carb en español significa California Consejo de Recursos Atmosféricos, esta legislación solo rige para California, y fija los valores límite para vehículos industriales ligeros y de turismo mediante dos normas: (Bosch, 2005)

- LEV I norma que rige para vehículos hasta 1,7 toneladas de los modelos (1994-2003).
- LEV II norma que rige para vehículos hasta 3,85 toneladas a partir del 01-01-2004.

Las emisiones se determinan en el ciclo de marcha FTP-75 (Federal Test Procedure), los límites están fijados a gr/milla y para la medición se escogen vehículos al azar con un recorrido de 50 a 100 mil millas que se encuentran dentro de los valores para la homologación. (Bosch, 2005)

1.5.2.2 Legislación EPA (Environment Protection Agency)

Rige para los Estados Unidos excepto California, estas normas son menos estrictas que las de California, la Agencia de Protección del Medio Ambiente se inició con Tier 1, y en el 2004 entro la norma Tier2 en la cual los valores admisibles máximos de las sustancias

contaminantes bajaron, esta norma clasifico como vehículos de turismo y camiones ligeros hasta 2,7 toneladas. L

as emisiones se determinan con el ciclo FTP-75 la cual escoge vehículos al azar con recorridos cortos de 10.000 millas, y recorridos largos entre 50 y 100 mil millas. (Bosch, 2005)

1.5.2.3 Legislación UE (Unión Europea)

Esta legislación está activa desde 1970, la cual ha generado varias normas para limitar los valores máximos en monóxido de carbono, hidrocarburos, y óxidos de nitrógeno, sus pruebas estáticas se realizan en un banco dinamométrico, los resultados obtenidos se expresan en gr/km. Para la homologación de vehículos nuevos estos deben de tener una garantía de 80 mil km, y las concentraciones de emisiones de CO, HC y NO_x deben estar dentro de los límites admisibles, estos límites están dados por las siguientes normas que cada vez se han ido actualizando como se indica en la tabla 1.3 (Bosch, 2005).

Tabla 1.3 Normas Euro

Norma	Aprobación de tipo	CO	HC	HC + NO _x	NO _x	PM
		g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Euro 1	1 jul de 1992	2.72	-	0.97	-	-
Euro 2	1 ene de 1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	1 ene de 2000	2.3	0.2	0.5	0.15	-
Euro 4	1 ene de 2005	1.0	0.1	-	0.08	-
Euro 5	1 sep de 2009	1.0	0.1	-	0.06	0.005*
Euro 6	1 sep de 2014	1.0	0.1	-	0.06	0.005*

Fuente:

<http://espanol.lubrizol.com/EngineOilAdditives/ACEA/ReferenceMaterial/EuropeanUnionEmissionsStandards.html> consultado 1 de febrero 2014

1.5.2.4 Legislación del Japón

Los límites admisibles para HC, CO y NO_x, fueron introducidos entre 1997 y 1999, en el 2003 se dio la nueva regulación a corto plazo, y la última regulación a largo plazo se realizó en el 2005 (Bosch, 2005)

1.5.3 Ciclos de ensayo

Los ciclos de ensayo son utilizados para determinar el consumo de combustible y los valores de concentraciones de las emisiones contaminantes que estos desprenden en su normal funcionamiento, estas pruebas se realizan con la ayuda de un dinamómetro, el cual se lo programa en condiciones reales como si el vehículo estuviera circulando en la calle, o sea con variaciones de velocidad y paradas del mismo. (Bosch, 2005 y comité de gestión iniciativa aire limpio, 2001)

1.5.3.1 Ciclo de ensayo FTP-75

Este ciclo es el utilizado en los Estados Unidos y algunos países, permite la homologación de los vehículos nuevos, este ciclo se compone de tres fases como se indica en la Figura 1.20 La primera es de transición en condiciones frías, esta fase toma un lapso de 505 segundos, alcanza una velocidad máxima de 56.7 mph. los gases son acumulados en una bolsa para su correspondiente análisis. La segunda fase es de estabilización, esta toma un lapso de 860 segundos y alcanza una velocidad máxima de 30 mph, de igual manera los gases de muestra son acumulados en una segunda bolsa para su respectivo análisis. Y la tercera fase es la prueba en caliente, esta toma un lapso de 595 segundos, y la velocidad concuerda con la primera fase, los gases son acumulados en una tercera bolsa, el resultado de las concentraciones de los componentes de los gases son expresados en gr/milla. (Bosch, 2005 y comité de gestión iniciativa aire limpio, 2001)

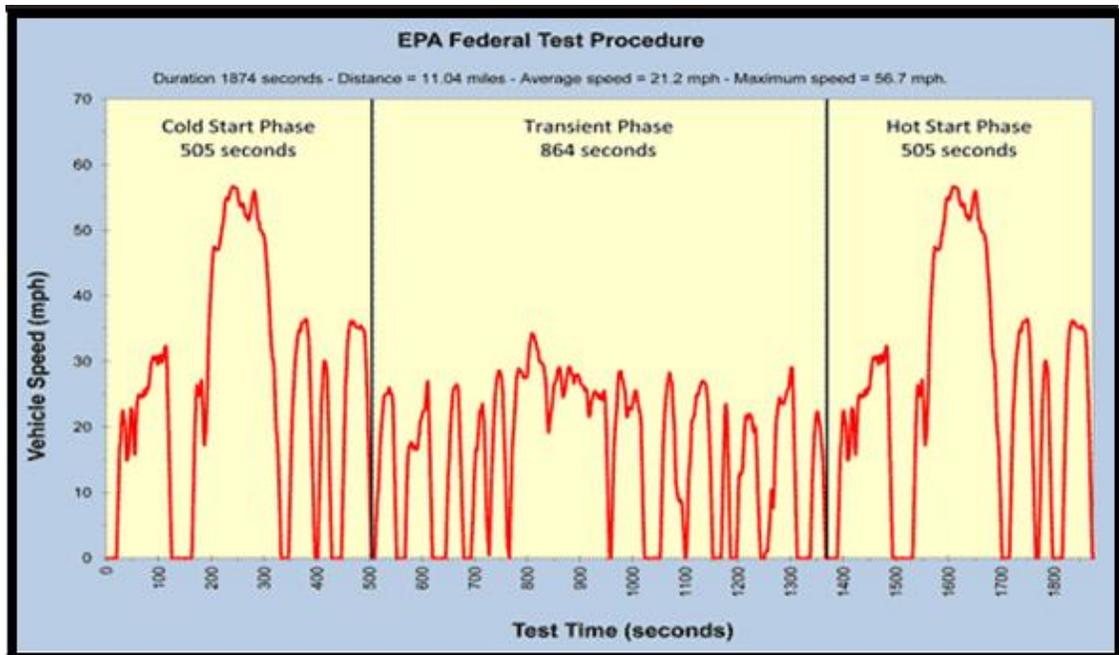


Figura 1.20 Ciclo de Ensayo FTO-75

Fuente: <http://www.epa.gov/otaq/emisslab/methods/ftpdds.gif> consultado 1 de febrero 2014

1.5.3.2 Ciclo de Ensayo Europeo (NEDC).

Conocido por sus siglas en inglés como nuevo ciclo de conducción europeo, el mismo que se compone de la repetición de 4 veces del ciclo ECE-15 (conducción urbana) más un ciclo de conducción extra-urbana EUDC. La suma de los dos ciclos da como resultado final un tiempo de 1180 segundos y un recorrido de 11023 metros, dando una velocidad media de 33,6 km/h. en la Figura 1.21 podemos ver las diferentes variaciones de velocidad, frenadas etc. La velocidad media en el ciclo ECE-15 es de 18,7 km/h aproximadamente y la suma de las cuatro repeticiones nos da un tiempo de 800 segundos, en cambio la velocidad media del ciclo EUDC es de 62.6 km/h y el tiempo del ciclo es de 380 segundos. (Bosch, 2005 y comité de gestión iniciativa aire limpio, 2001).

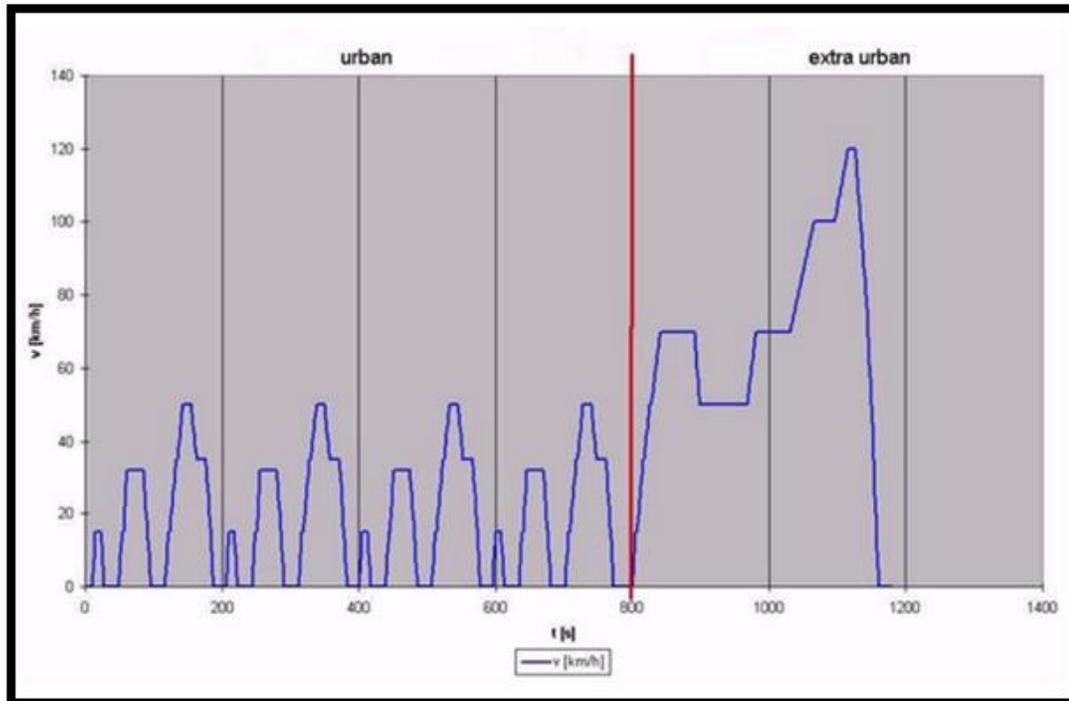


Figura 1.21 Ciclo de Ensayo Europeo NEDC

Fuente: <http://es.autoblog.com/2013/02/14/por-que-es-tan-dificil-alcanzar-los-consumos-homologados-como/> consultado 1 de febrero 2014.

1.5.3.3 Ciclo de Ensayo en Japón (10-15 Modos)

Japón utiliza actualmente el ensayo 10-15 modos para determinar las concentraciones de emisiones contaminantes, y el consumo de combustible en los vehículos. El cual está formado por la suma de tres ciclos de 10 modos que simula las condiciones de conducción en ciudad, más uno de 15 modos, con una aceleración máxima de 70 km/h como se indica en la Figura 1.22. Los resultados de los valores de las concentraciones de los componentes en los gases de escape se expresan en gr/km. La distancia total recorrida en el ciclo es de 4.16 km, con una velocidad promedio es de 22.7 km/h, la duración es de 660 segundos. (Bosch, 2005 y comité de gestión iniciativa aire limpio, 2001).

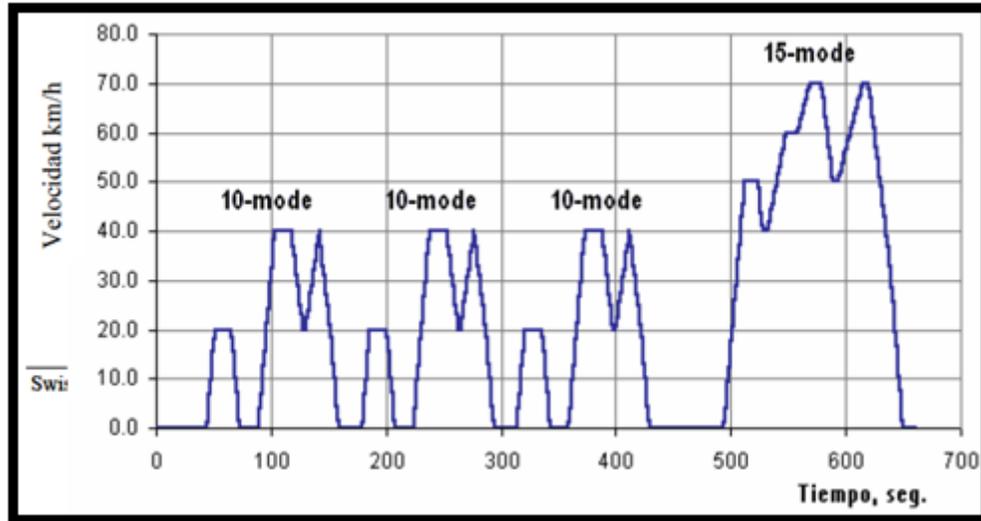


Figura 1.22 Ciclo de Ensayo Japón 10-15 Modos

Fuente: <http://www.airelimpio.org.pe/pdf/Estudio%20LMPs%20para%20Vehiculos%20-%20Anexo%20I.pdf> consultado 1 de febrero 2014.

2 CAPÍTULO II

Diseño y Construcción del Hardware del Analizador de Gases.

En el capítulo 2 se realiza una descripción del hardware necesario para el Analizador de Gases. El punto de partida de la descripción se basa en un Diagrama de Bloques general que ilustra gráficamente la interconexión de las diferentes partes del hardware que conforma el equipo. El hardware del equipo se divide en varias categorías o bloques para facilitar una descripción detallada de él.

2.1 Diagrama de Bloques general del equipo.

El analizador de Gases Apolo está compuesto de los siguientes bloques, Figura 2.1.

- Circuito Neumático.
- Tarjeta Digital.
- Tarjeta de Control de Válvula y Bomba.
- Banco IR.
- Fuente de Alimentación.

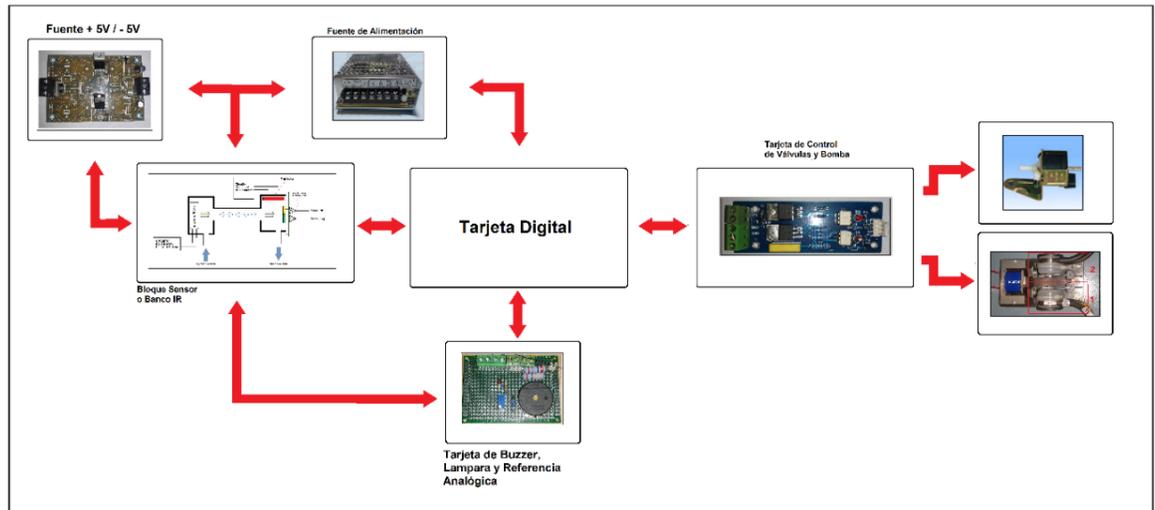


Figura 2.1 Diagrama de bloques del Analizador de Gases

Fuente: Autor

2.2 Circuito Neumático.

El Circuito Hidro - Neumático del equipo Figura 2.2 posee dos bombas. La bomba 2 se utiliza para evacuar el líquido que se captura en la trampa de agua incorporada al Filtro de Entrada (2). La bomba 1 se utiliza para mover gases hacia el Banco IR (3), ya sea aire durante el proceso de ajuste a cero o mezcla de escape durante la medición o la calibración.

La electro Válvula de Ingreso (4) se ha colocado para conmutar el flujo hacia la entrada de la bomba 1; ya sea desde la entrada de aire para el ajuste a cero o desde la Sonda del Escape (1). El flujo a la salida de la bomba 1 es controlado por una Válvula de un Solo Sentido (5) hacia un conector tipo T (6) que conecta por un lado con la entrada del Banco IR (3) a través de un filtro (9) y por la otra con la vía de gases desde la Toma de Calibración (8).

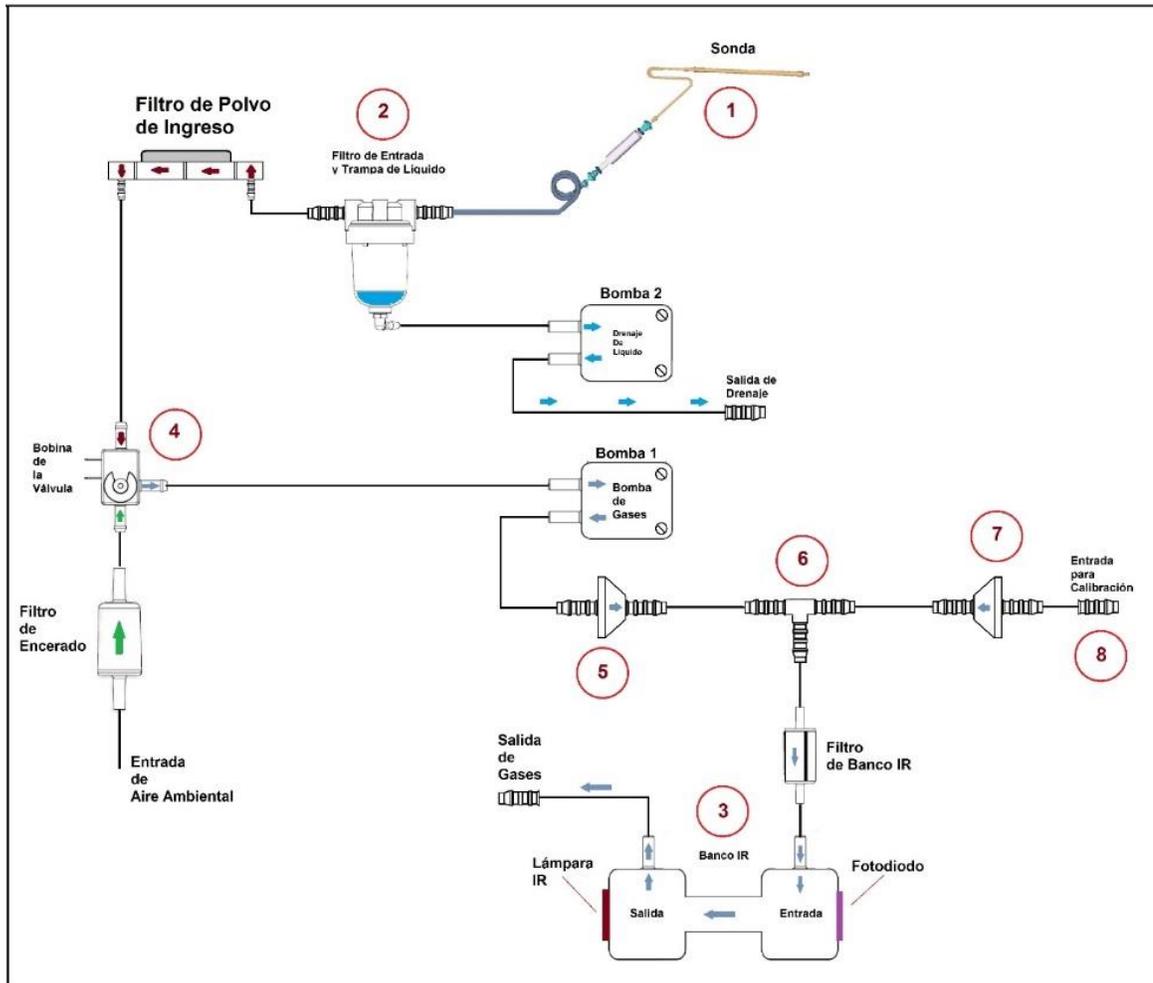


Figura 2.2 Circuito Neumático del Analizador de gases.

Fuente: Autor

La vía de entrada para calibración se incluyó para conectar un cilindro con gases patrón que permitan calibrar el equipo. El flujo a través de la vía de calibración es guiado también por una Válvula de un Solo Sentido (7) para evitar el escape hacia el exterior de los gases cuando son aspirados desde el escape para realizar la medición.

2.3 Tarjeta Digital

El núcleo del Bloque Digital del equipo se compone de un micro – controlador PIC18F4553. El micro – controlador y el conjunto de circuitos periféricos auxiliares que apoyan su trabajo conforman la Tarjeta Digital.

El micro controlador controla los circuitos periféricos a través de líneas de entrada – salida. En la Figura 2.3 se muestra la distribución de pines del PIC18F4553 que sirvió de referencia para asignar funciones específicas a cada línea dentro del diseño de la Tarjeta Digital del analizador.

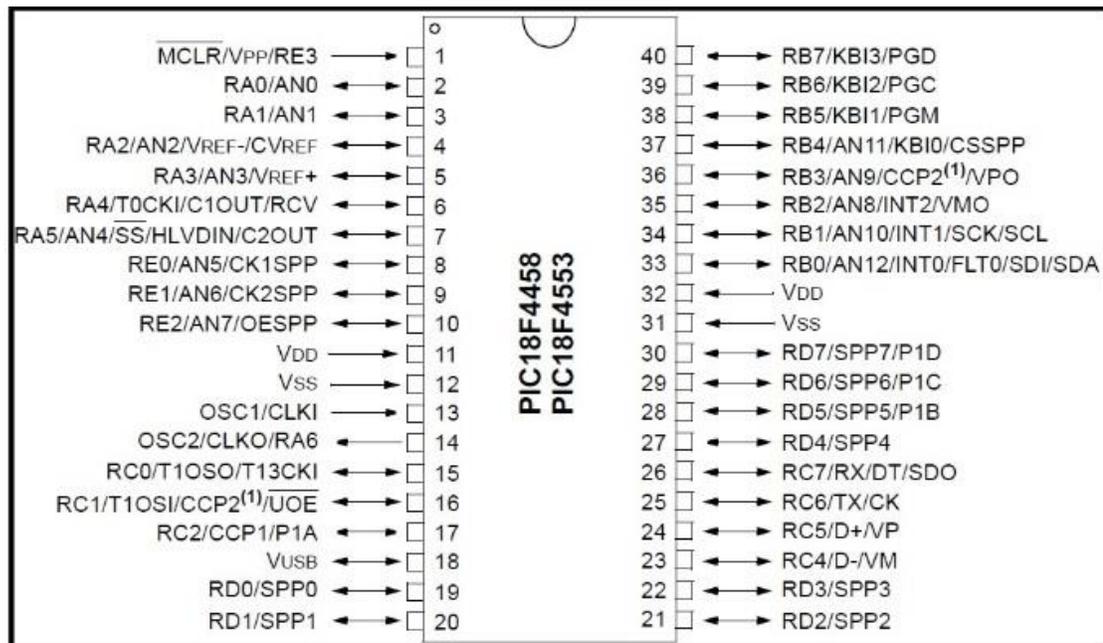


Figura 2.3 Distribución de pines del PIC18F4553

Fuente: Autor

2.3.1 Funciones asignadas a los puertos del micro – controlador PIC18F4553

En la Tabla 2.1 se resume las funciones asignadas a los puertos del micro – controlador PIC18F4553 que utiliza el Analizador de Gases de Escape.

Tabla 2.1 Funciones de los pines del PIC18F4553

Puerto	Símbolo del Pin	Funciones	Conectores Asociados en la Tarjeta Digital
	Ra0	Señal Analógica canal de Hidro-Carburos [HC]	J18 (1)
	Ra1	Señal Analógica canal de Monóxido de Carbono [CO]	J18 (2)
	Ra2	Señal Analógica de Referencia Externa o Temperatura	J18 (3)
	Ra3	Reservado para señal de Tacómetro Analógico (TACA)	J18 (4)
	Ra4	Pin RS del Display LCD	J18 (5)
	Ra5	Encendido o apagado de la luz de fondo del LCD	J18 (6)
	Ra6	RESERVADO	J18 (7)
B	Rb0	Teclado de Interface de Usuario: Tecla UP/SEL	J20 (1)
	Rb1	Teclado de Interface de Usuario: Tecla DWN	J20 (2)
	Rb2	Teclado de Interface de Usuario: Tecla ENTER	J20 (3)

C	Rb3	Teclado de Interface de Usuario: Tecla ESC	J20 (4)
	Rb4	Lámpara IR	J20 (5)
	Rb5	Calefactor	J20 (6)
	Rb6	Buzzer	J20 (7)
	Rb7	Tacómetro	J20 (8)
	Rc0	Pin R//W (Read//Write) del LCD	J22 (1)
	Rc1	Pin E (Enable) del LCD	J22 (2)
Rc2	Salida externa para control de un LED PILOTO.	J22 (3)	
Rc3	RESERVADO	J23 (1) (Conector USB tipo B)	
Rc4	RESERVADO	J23 (2) (Conector USB tipo B)	
Rc5	RESERVADO	J23 (3) (Conector USB tipo B)	
Rc6	Pin de transmisión de datos para comunicación serial RS232C	J17 (Conector tipo DB9)	

	Rc7	Pin de recepción de datos para comunicación serial RS232C	J17 (Conector tipo DB9)
D	Rd0	Bus de Datos del LCD	J19 (1)
	Rd1	Bus de Datos del LCD	J19 (2)
	Rd2	Bus de Datos del LCD	J19 (3)
	Rd3	Bus de Datos del LCD	J19 (4)
	Rd4	Bus de Datos del LCD	J19 (5)
	Rd5	Bus de Datos del LCD	J19 (6)
	Rd6	Bus de Datos del LCD	J19 (7)
	Rd7	Bus de Datos del LCD	J19 (8)
E	Re0	Salida externa para control de la lámpara del banco NDIR	J21(1)
	Re1	Salida externa para control de electroválvula.	J21(2)
	Re2	Salida externa para control de bomba.	J21(3)

Fuente: Autor.

2.3.2 Pines con funciones especiales.

En la Tabla 2.2 se resumen los pines con funciones especiales en el micro – controlador PIC18F4553 y los componentes y/o conectores asociados a ellos en la Tarjeta Digital.

Tabla 2.2 Pines con Funciones Especiales.

Pines con Funciones Especiales en la Tarjeta.		
Denominación y número	Función	Componentes y/o conectores asociados
1 (MCLR)	RESET Externo (MCLR)	C14, R69, PB10
12, 31 (VSS)	Vss (conectado a tierra)	J18 (7,8); J21(4); J22 (4); J26 (4)
11, 32 (VCC)	Vcc (+ 5V)	J26(3)
N.A	V+ (+ 12V)	J26(1)

Fuente: Autor

2.3.3 Circuitos auxiliares del micro – controlador

Se considerarán “**Circuitos Auxiliares**” aquellos presentes en la Tarjeta Digital y que apoyan el trabajo del micro – controlador. Dentro de los circuitos auxiliares principales se pueden mencionar los siguientes:

- Circuito Oscilador.
- Circuito de RESET.
- Circuito de Interface de Comunicaciones
- Control de Luz de Fondo del LCD
- Circuito para conexión de diodos LEDs.
- Circuito para el control de la Lámpara del Banco IR
- Circuito para control del Buzzer.

2.3.3.1 Circuito Oscilador

La ejecución de un programa en un micro controlador es controlada por una referencia de tiempo (oscilador externo o interno en algunos casos). En la mayoría de los casos se emplean componentes externos que conjuntamente con alguna electrónica incluida dentro del micro controlador conforman un oscilador (figura 2.4).

En este proyecto se utiliza un Circuito Oscilador Externo de tipo HS, que es un tipo de oscilador cuyo elemento principal es un Cristal de Cuarzo de frecuencia igual a 16 MHz.: “Y1” en el circuito de la Figura 2.4 Completan el circuito del Oscilador Externo dos capacitores: C17 y C18. Los capacitores se conectan desde los pines OSC1 y OSC2 hacia tierra y el cristal Y1 entre los pines OSC1 y OSC2.

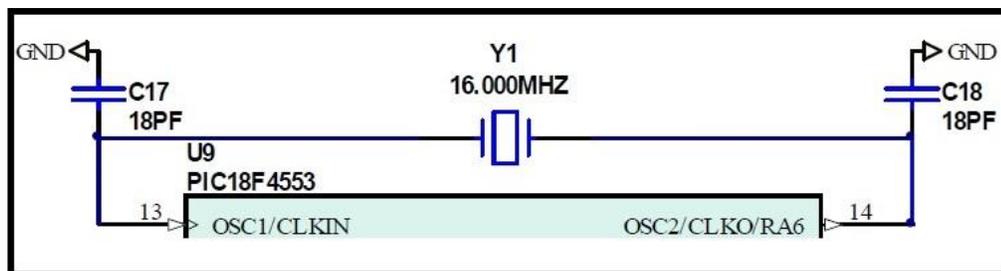


Figura 2.4 Circuito oscilador externo conectado al PIC18F4553.

Fuente: Autor.

2.3.3.2 Circuito de RESET Externo.

Generar un “RESET” a un micro controlador significa que la ejecución del programa retorna a la primera instrucción de programa (denominada también “Vector de RESET”). Para generar un “RESET” externo es necesario llevar a cero durante un determinado tiempo el pin 1 del chip (etiquetado como MCLR en su distribución de terminales..

El Circuito Reset que se muestra en la Figura 2.5, el pin *MCLR se mantendrá en un nivel bajo durante el tiempo de carga del capacitor C14. C14 se carga a través de la resistencia R69 y se mantiene como tal mientras no se pulse el pulsante PB10. Cuando se pulsa PB10 el terminal MCLR se pone a tierra y se descarga C14. El circuito de RESET

no podrá ser manipulado por el usuario; se ha incluido en el hardware con fines de desarrollo y/o diagnóstico del comportamiento del firmware del equipo.

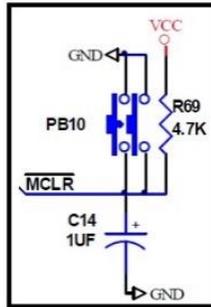


Figura 2.5 Circuito de “RESET” externo.

Fuente: Autor

2.3.3.3 Circuito Auxiliar de Comunicaciones

El Circuito Auxiliar de Comunicaciones (CAC) Figura 2.6 complementa el Interface de Comunicación serial RS232C mediante la cual la Tarjeta Digital se comunica con el software de monitoreo instalado en una computadora.

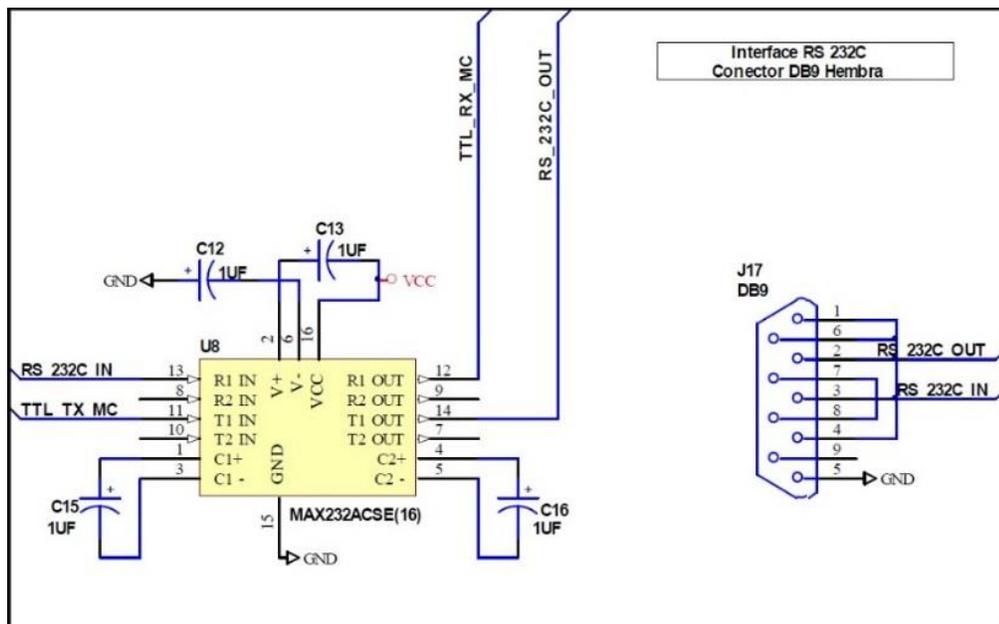


Figura 2.6 Circuito Auxiliar de Comunicaciones.

Fuente: Autor.

El CAC se compone de dos elementos: un conector formato DB9 marcado como **J17** que está en el Panel Posterior del equipo y un Circuito Integrado **MAX232ACSE** marcado como **U8**.

El conector **J17** permite conectar el cable de comunicaciones hacia el PC y el **MAX232ACSE** convierte el rango de niveles de tensión que maneja el micro controlador en los pines TX y RX del Puerto C **desde un rango de 0 a 5 volts a un rango de tensiones de -10 V a + 10 V** manejado por el puerto de comunicaciones del PC. La conversión de niveles es necesaria para que el micro controlador y el PC “puedan entenderse” desde el punto de vista del rango de niveles de tensión que maneja el interface RS232C (aproximadamente de - 10 V a + 10 V).

2.3.3.4 Circuito para el Control de la luz de fondo del LCD

Este circuito (Figura 2.7) permite controlar el apagado y el encendido de la luz de fondo del Display de Cristal Líquido.

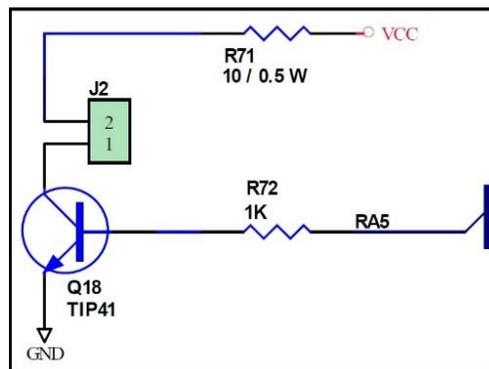


Figura 2.7 Circuito para el Control de la luz de fondo del LCD.

Fuente: Autor.

El transistor bipolar Q18 sirve para conmutar el paso de corriente por la lámpara que sirve para iluminar la pantalla LCD por detrás. La lámpara se conecta al conector J2. Si la lámpara es polarizada (que posee terminales + / -) debe considerarse que el positivo de la lámpara se conecte al pin 2 del conector J2.

La resistencia R72 divide el voltaje de ingreso de la señal de control marcada como “Ra5”. La señal de control (Ra5) enviada por el micro controlador es de 5 voltios como máximo. Este voltaje es muy superior al valor de 0,85 volts que es el voltaje de conmutación que debe existir entre la BASE y el EMISOR del transistor Q18 para que él conduzca y active la circulación de corriente por la lámpara. La diferencia de tensión entre la señal de control y el voltaje entre BASE y EMISOR (V b-e) será la caída de tensión en la resistencia R72 que es igual a 4.15 volts. Por último para que el transistor entre en conducción y active la lámpara debe circular por él una corriente de base superior a 1 mA (según la hoja de datos del transistor). Para el circuito de la figura $I_{base} = 4.15 \text{ Volts} / 1 \text{ K} = 4.15 \text{ mA}$. Como se aprecia 4.15 mA es un valor suficiente de corriente de base para activar la conducción saturada del transistor, Figura 2.8.

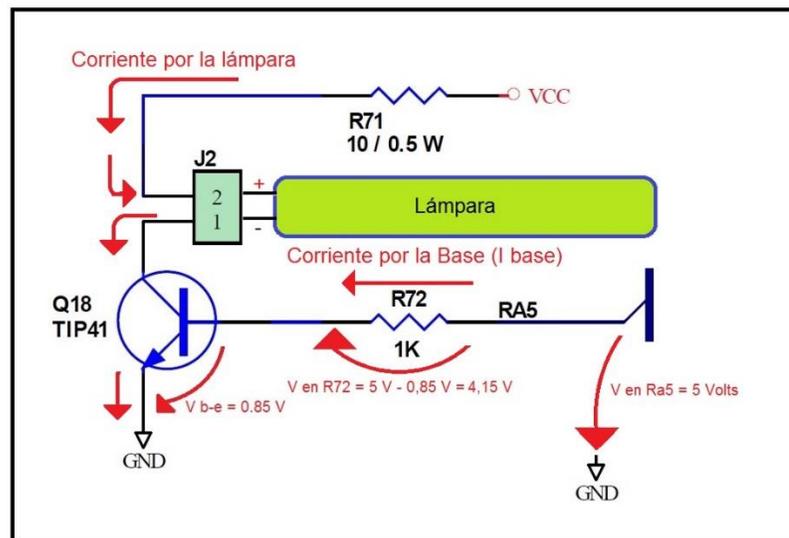


Figura 2.8 Control del encendido y apagado de la luz de fondo del LCD.

Fuente: autor.

2.3.3.5 Circuito para conexión de diodos LEDs.

El micro controlador utiliza LEDs para señalar el estado de la Válvula de Ingreso, la Bomba y de la Lámpara que ilumina el Banco IR. La Figura 2.9 ilustra el circuito de conexión de cualquier LED a una línea de puerto del micro controlador.

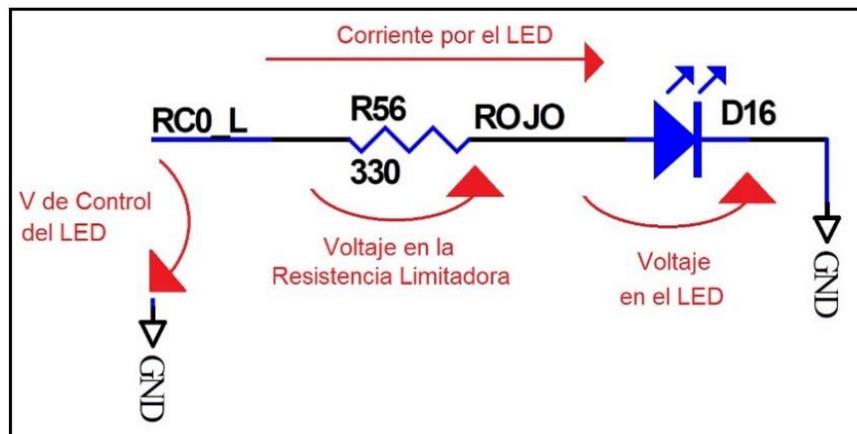


Figura 2.9 Control del encendido y apagado de LEDs auxiliares.

Fuente: autor.

Los LEDs se conectan al micro controlador a través de un resistor (R56 en la figura 2.9) que limita la corriente que pasa por el LED hasta un valor aproximado de 2 mA y garantiza una caída de tensión entre los terminales del LED de 2 Volts aproximadamente. Según estas condiciones el valor para la resistencia limitadora sería:

$$R56 = (\text{Voltaje en la señal de Control} - \text{Voltaje en el LED}) / \text{Corriente por el LED}$$

$$R56 = (5 \text{ Volts} - 2 \text{ Volts}) / 2 \text{ mA} \cong 330 \Omega$$

El análisis anterior es válido para cualquier LED que se utiliza en la Tarjeta Digital.

2.3.3.6 Circuitos para el control de la Lámpara del Banco IR, Calefactor y Buzzer.

Para el control de apagado y encendido de la Lámpara IR, el Calefactor y el Buzzer se emplea un esquema electrónico común basado en un transistor bipolar de potencia del tipo TIP 41 (Figura 2.10).

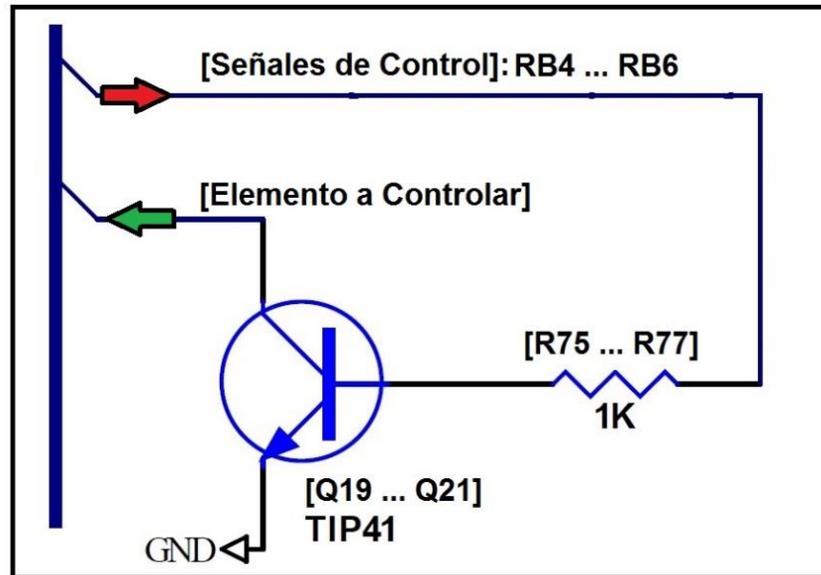


Figura 2.10 Circuito para control de Lámpara IR, Buzzer y Calefactor

Fuente: Autor.

Las Señales de Control RB4 a RB6 permiten conmutar cada transistor haciendo circular corriente por cada actuador ya sea Lámpara IR el Calefactor o el Buzzer. Los valores de las resistencias de base de los transistores: R75 a R77 se han diseñado siguiendo el mismo procedimiento empleado para el diseño del circuito de control de la luz de fondo del LCD. En cada caso (Lámpara, Calefactor y Buzzer) se conectará un terminal al colector del transistor (marcado como “Elemento a Controlar”) y el otro al respectivo valor de alimentación del elemento (+12 V).

Para limitar la corriente hacia la Lámpara IR del Sensor se utiliza una resistencia limitadora de 15 ohms / 3 Watts aproximadamente para máxima intensidad de luz (mayor sensibilidad) y otra de 30 ohms para mínima intensidad. La resistencia de 15 ohms resulta de conectar en paralelo dos resistencias de 30 ohms mediante un jumper. En la Figura 2.11 se muestra la Tarjeta Auxiliar que incluye las resistencias limitadoras de la lámpara IR, el BUZZER y el circuito del voltaje de referencia para el terminal AIN10 del Banco IR.

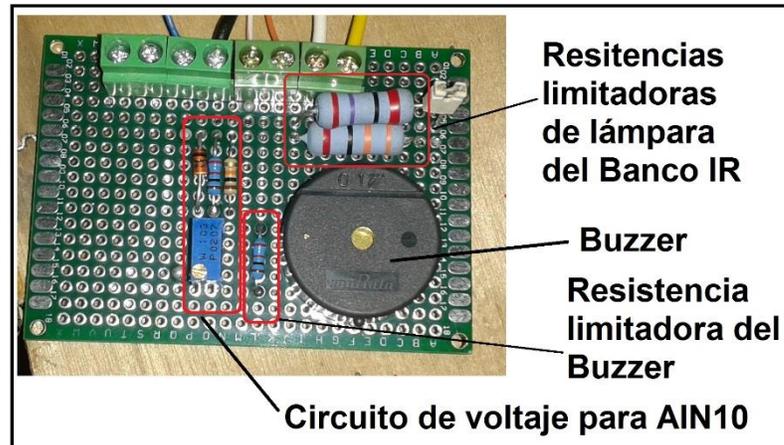


Figura 2.11 Tarjeta auxiliar para control de Lámpara IR, Buzzer y Terminal AIN10 del Banco IR.

Fuente: Autor.

2.4 Dispositivos periféricos al micro – controlador

Se consideraran “**Dispositivos Periféricos**” aquellos que físicamente NO integran la Tarjeta Digital pero que se conectan a ella para apoyar el trabajo del micro – controlador. Dentro de los Dispositivos Periféricos se pueden mencionar los siguientes:

- Display de Cristal Líquido
- Teclado para Interface con el usuario
- Fuente de Alimentación
- Válvula de Ingreso y Bomba
- Bloque Sensor o Banco IR

2.4.1 Display de Cristal Líquido (L.C.D)

El display LCD constituye parte del interface con el usuario del equipo. Mediante el LCD el usuario interactúa visualmente con los menús operativos e informativos del equipo.

El equipo utiliza un LCD de comunicación paralela marcado en la tarjeta como LCD_M1. El LCD_M1 es de tipo SEIKO y utiliza un controlador compatible con el L1672 de esta casa fabricante. Lo anterior significa que en caso de reparación el LCD podrá ser reemplazado por uno cuyo controlador cumpla con las especificaciones del controlador L1672, en la Figura 2.12 se muestra la conexión del LCD matricial al micro controlador.

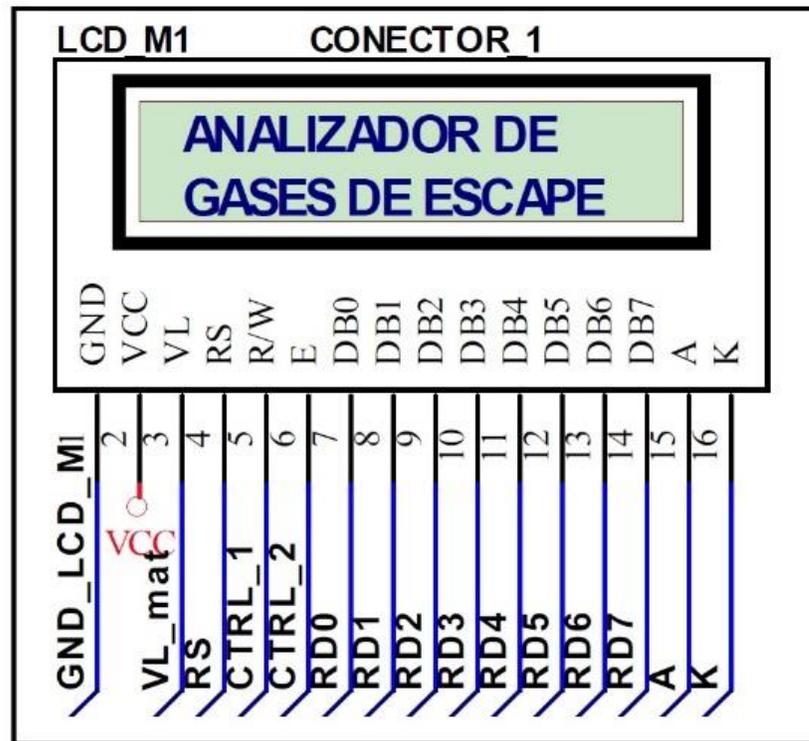


Figura 2.12 Conexión del LCD matricial al micro controlador

Fuente: Autor

En la Tabla 2.3 se muestra un resumen de los pines del micro – controlador involucrados en el manejo del LCD y sus funciones específicas.

Tabla 2.3 Pines de puerto del micro – controlador asociados al control del LCD matricial.

Terminal de entrada salida en el micro - controlador	Función en el LCD
Rc0	Señal de selección Read /Write (R/*W) para realizar operaciones de lectura o escritura sobre el LCD. Si la operación a realizarse sobre el LCD es de escritura este pin debe permanecer a un nivel bajo.
Rc1	Señal Enable (E) cuya función es habilitar la información que el micro - controlador coloca en el PORTD durante una operación de escritura hacia el LCD. Este terminal es controlado en el programa por la subrutina “pulse”.
Ra4	Señal de control Register Select (RS). Mediante esta señal el micro – controlador informa al LCD sobre el tipo de información que se ha colocado en el bus (PORTD). Se manejan dos tipos de información en la comunicación con el LCD: instrucciones o datos.
Ra5	Señal de control para el encendido o apagado de la luz de fondo (“back light”) del LCD.
Rd0 ... Rd7	Estos terminales corresponden a todos los del Puerto D y conforman el Bus de Datos de 8 líneas que permiten al micro controlador comunicarse con el LCD.

Fuente: Autor.

2.4.2 Teclado para interface con el usuario

El equipo puede ser comandado por el usuario utilizando 4 teclas conectadas a la parte baja del puerto B del micro – controlador (Figura 2.13). Las teclas han sido conectadas de manera lineal, o sea asignando una tecla a una línea de puerto. En la Figura 2.13 se muestra el esquema de conexión lineal del teclado de interface al puerto B del micro – controlador.

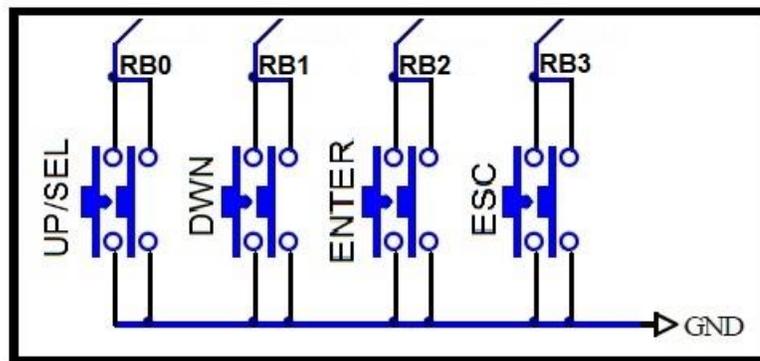


Figura 2.13 Esquema general de conexión del teclado.

Fuente: Autor

Cuando se pulsa una tecla, la línea a la que la tecla está conectada baja a cero volts porque al presionar el pulsante se cierra el circuito a tierra. Cuando el pulsante es liberado la línea de puerto del micro controlador sube a 5 volts porque ella está conectada a la fuente de alimentación internamente a través de un resistor de “pull up” que se conecta o desconecta utilizando el bit 7 del registro INTCON2.

2.4.3 Fuente de Alimentación

Para dotar de fuente de alimentación al equipo se adquirió una fuente prefabricada modelo Mean Well serie T – 40B. Este módulo garantiza una calidad en el desempeño similar o superior al necesario para lograr que todos los Circuitos Auxiliares y Dispositivos

Periféricos del analizador funcionen correctamente. En la Figura 2.14 se muestra el aspecto físico de la fuente T – 40B de Mean Well.



Figura 2.14 Esquema de la fuente de alimentación de la Tarjeta Digital

Fuente: Autor

Dentro de las especificaciones más importantes de la fuente T – 40B se pueden citar las siguientes:

- **Alimentación de entrada** de tipo “**Auto Volt**”. Esta especificación garantiza que la entrada de alimentación para el equipo podrá ser: desde una línea de **Corriente Alterna** en un rango desde **85 hasta 260 volts** o desde otra fuente de **Corriente Continua** en un rango desde **120 a 370 volts**.
- **Salidas de tensión** protegidas contra cortocircuito y sobre carga.
- **Entradas de alimentación** protegidas contra sobre voltaje.
- **Tres salidas de tensión fijas y una ajustable**. Las tensiones de salida y corrientes máximas en la carga se resumen en la Tabla 2.4

Tabla 2.4 Tensiones de Salida y Corrientes Máximas.

Tensión de Salida	Corriente Máxima en la Carga para esta Salida
-12 V	0.5 A
+12 V	2 A
+ 5 V	3 A

+ 5 V (ajustables)	3 A
--------------------	-----

En la Tabla 2.5 resume la conexión y función de los terminales de la fuente Mean Well serie T – 40B que alimentara a las diferentes partes del equipo analizador de gases.

Tabla 2.5 Distribución de los terminales y funciones del módulo T – 40B

Terminal del módulo TB - 40	Función	Partes del equipo conectadas a él
L	Vivo de la línea de alimentación de Corriente Alterna	<ul style="list-style-type: none"> • Conectado al terminal “IN” del conector “J2” de la Tarjeta de Control de Bombas • Conectado al polo #1 de interruptor de apagado encendido del Panel Posterior
N	Neutro de la línea de alimentación de Corriente Alterna	<ul style="list-style-type: none"> • Conectado directamente al terminal # 1 de la bobina de la bomba mediante un empate al cable rojo de la bobina de la bomba • Conectado al polo # 2 de interruptor de apagado encendido del Panel Posterior
Tierra Física	Tierra Física del Equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Conectado al terminal de Tierra Física del Panel Posterior del Chasis • Conectado al terminal de Tierra Física del Socket de Conexión de AC del Panel Posterior

+V	Voltaje de Alimentación de 12 volts POSITIVOS de Corriente Continua	<ul style="list-style-type: none"> • Conectado al terminal # 1 del conector J26 de la Tarjeta Digital. • Conectado al terminal # 1 de la Solenoide de la Válvula de Entrada • Conectado al terminal marcado como “+12 v” del conector de la Tarjeta de Control de Bombas (J2) • Conectado al terminal + del ventilador
COM	Es el común (tierra) de las fuentes de Corriente Continua: +12V / - 12V y + 5V	<ul style="list-style-type: none"> • Conectado al terminal marcado como “GND” de la Tarjeta de Control de Bombas (J2) • Conectado al terminal # 4 del conector J26 de la Tarjeta Digital • Conectado al terminal - del ventilador
+5V	Voltaje de Alimentación de 5 volts POSITIVOS de Corriente Continua	<ul style="list-style-type: none"> • Conectado al terminal de la lámpara infrarroja.

Fuente: Autor

2.4.4 Válvula de Ingreso y Bomba

El analizador utiliza dos actuadores que garantizan el funcionamiento de su Circuito neumático: una Válvula Solenoide Serie Normalmente Abierta que se activa energizando una Bobina que funciona con 12 Volts de Corriente Continua y una Doble Bomba que se activa con un voltaje de 110 volts de Corriente Alterna.

2.4.4.1 Válvula de Ingreso

La Válvula de Ingreso permite derivar la entrada de gases del equipo ya sea desde una toma de aire ambiental o desde la manguera de medición. En el analizador se utiliza una Válvula de Corriente Continua fabricada por Shanghai Xin An Solenoid Valve Co., Ltd. En la Figura 2.15 se muestra el aspecto físico de la válvula.

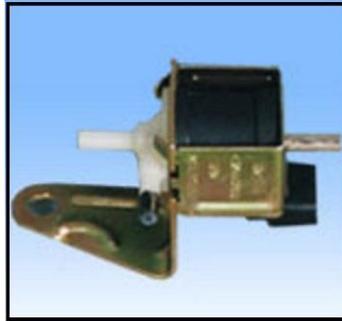


Figura 2.15 Aspecto físico de la válvula.

Fuente: Shanghai Xin An Solenoid Valve Co. Ltd.

Desde el punto de vista eléctrico la válvula es un inductor (o solenoide) que debe ser controlado mediante una señal de Corriente Continua que permita energizarlo o apagarlo dependiendo de si el proceso que está ejecutando el micro controlador es “Medir” o “Ajustar a Cero”. Normalmente el camino neumático de la válvula está conectado hacia la entrada de medición, por lo que para medir el micro controlador no tendrá que energizar la válvula. La válvula será energizada en caso de que se proceda “Ajustar a Cero” el equipo.

2.4.4.2 Bomba

La Bomba es parte esencial del sistema de medición. El analizador utiliza una Bomba de Doble Canal de pequeño tamaño y caudal. Una bomba de Doble Canal en la práctica funciona como dos bombas en paralelo. En la figura 2.16 se muestra el aspecto físico de la bomba de Doble Canal. El canal marcado como “1” en la figura 2.16 se utiliza para hacer circular gas a través del banco de medición (Banco IR) y El canal marcado como

“2” en la Figura 2.16 se utiliza para evacuar el agua que se haya podido acumular en la trampa de condensación que se ha colocado en la entrada de gases (consultar Circuito Neumático). Ambos canales funcionan a la misma vez, es decir “en paralelo”.

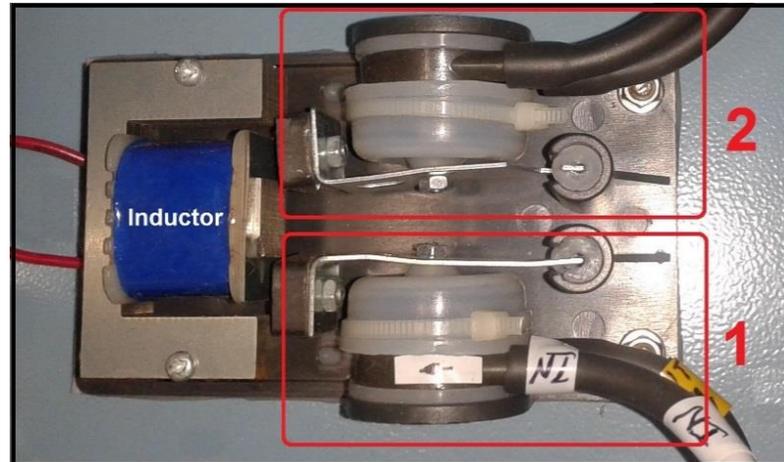


Figura 2.16 Aspecto físico de la Bomba de Doble Canal.

Fuente: Autor

Desde el punto de vista eléctrico la válvula es un inductor (o solenoide) con núcleo semi - cerrado que debe ser controlado mediante una señal de Corriente Alterna que permita energizarlo tanto en la medición como en el Ajuste a Cero del equipo.

2.4.4.3 Tarjeta de Control de la Válvula y la Bomba

Como se señala en las secciones anteriores la válvula se controla con un voltaje de Corriente Continua y la Bomba con uno de Corriente Alterna. Para satisfacer las necesidades específicas de control de cada actuador se diseñó una Tarjeta de Control única que incluye dos canales de control completamente separados: uno de Corriente Continua para la válvula y otro de Corriente Alterna para la Bomba. En la Figura 2.17 se muestra el aspecto físico de la Tarjeta de Control de Válvula y Bomba.

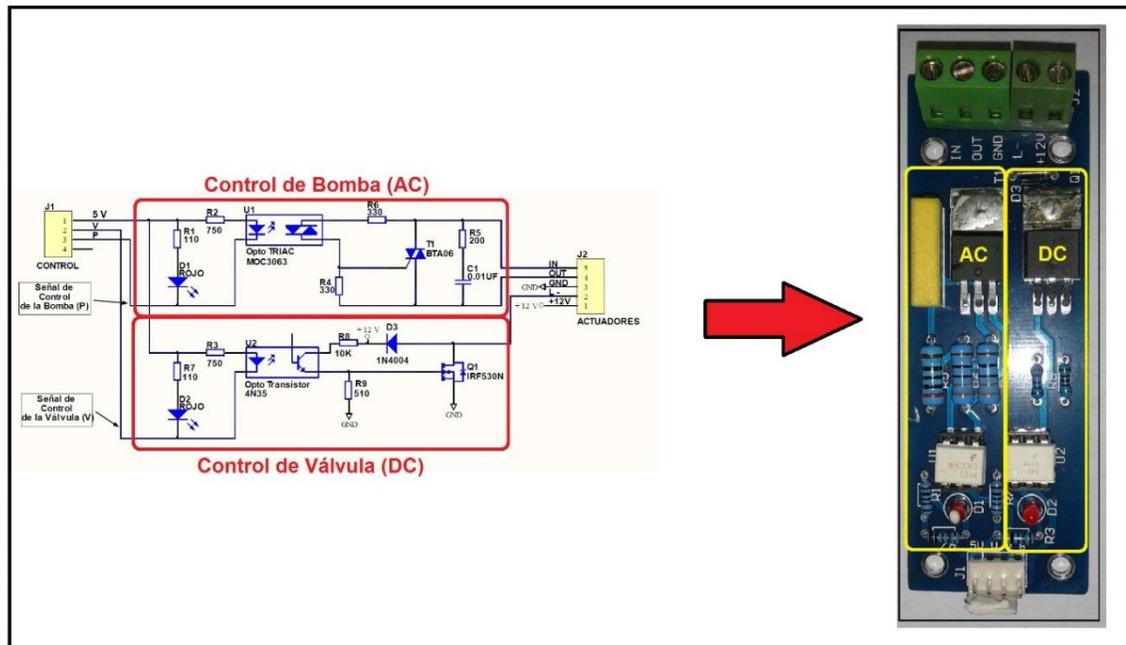


Figura 2.17 Tarjeta de Control de Válvula y Bomba (aspecto físico).

Fuente: Autor

El canal de control para la bomba (Canal de AC) está formado por un Opto – TRIAC MOC3063 y un TRIAC BTA06 marcados como U1 y T1 respectivamente en el circuito de la Figura 2.17 y en la Tarjeta. La función del Opto – TRIAC es aislar mediante una barrera óptica la señal de control de Corriente Continua de baja tensión que envía el micro controlador (señal “P”) de la señal de Corriente Alterna que maneja la Bomba. Esto se hace para evitar daños al micro controlador y ruidos eléctricos que pudieran afectar el funcionamiento del equipo. En la práctica cuando la señal “P” va a cero se activa el Opto – TRIAC (el Opto – TRIAC conduce) y a su vez se activa (conduce) el TRIAC BTA06; quien al cerrarse permite que sobre la bobina de la Bomba se coloque el voltaje de AC para que la bomba funcione. Por otra parte cuando la señal “P” va a 1 (5 volts) el Opto – TRIAC y el TRIAC dejan de conducir apagándose la bomba.

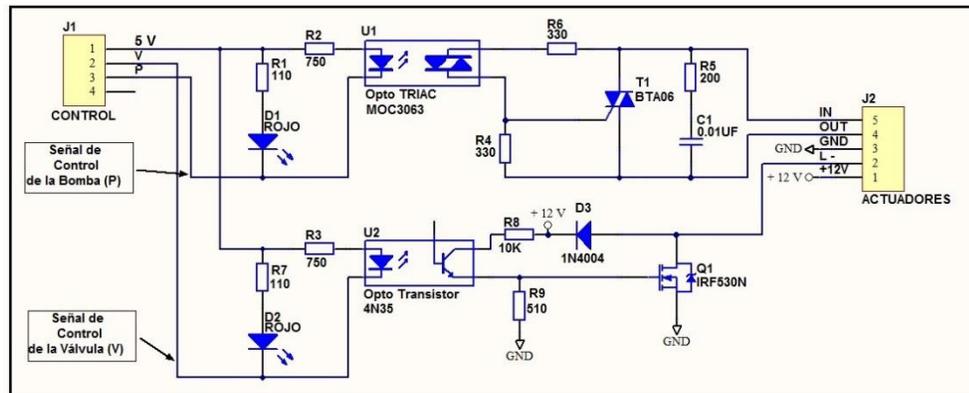


Figura 2.18 Tarjeta de Control de Válvula y Bomba (esquema eléctrico).

Fuente: Autor

El canal de control para la válvula (Canal de DC) está formado por un Opto – ACOPLADOR de Corriente Continua 4N35 y un transistor MOSFET de potencia IRF530N marcados como U2 y Q1 respectivamente en el circuito de la figura 2.18 y en la Tarjeta. El Opto – ACOPLADOR 4N35 es un chip que integra un LED y un Foto – Transistor. Su funcionamiento es similar al Opto – TRIAC sólo que a diferencia de este el 4N35 aísla ópticamente una señal de Corriente Continua no de Corriente Alterna. De manera similar al caso de la bomba la función del Opto – ACOPLADOR es aislar mediante una barrera óptica la señal de control de Corriente Continua de baja tensión (5 Volts) que envía el micro controlador (señal “V”) de la señal de Corriente Alterna que maneja la Bomba que es de 110 Volts. Esto se hace para evitar daños al micro controlador y también ruidos eléctricos que pudieran afectar el funcionamiento del equipo. En la práctica cuando la señal “V” va a cero el Opto – Transistor del 4N35 se cierra provocando que la compuerta (terminal G) del Transistor MOSFET IRF530N vaya a un voltaje bajo. Con este voltaje el MOSFET que es de “canal N” se activará provocando que sobre la bobina de la válvula exista una tensión de 12 Volts activando la misma.

La Tabla 2.6 resume la función y conexiones de los terminales de la Tarjeta de Control de Bomba y Válvula. La tarjeta se conecta vía el conector. Los pines de “J2” se leen desde la marca “J2” en el circuito impreso.

Tabla 2.6 Señales en el conector J2 (Tarjeta de Control de Bomba y Válvula)

Señal	Función	Conexión dentro del equipo
+ 12V	Fuente de alimentación + 12 V	Conectado al voltaje + V del módulo de la fuente de alimentación
L -	Terminal # 2 de la solenoide de la válvula de entrada	Conectado al terminal # 2 de la solenoide de la válvula de entrada
GND	Tierra de Corriente Continua	Conectado al terminal COM de la fuente de alimentación
OUT	Salida de Corriente Alterna conmutada para energizar o apagar la bobina de la bomba	Conectado directamente al terminal # 2 de la bobina de la bomba
IN	Entrada del vivo de la línea de Corriente de la fase Alterna que será conmutado hacia la salida OUT	Conectado al terminal "L" de la fuente de alimentación

Fuente: Autor

2.4.5 Bloque Sensor o Banco IR.

El Bloque Sensor constituye el elemento primario que realiza el interface con la mezcla de gases de escape del auto. El Bloque Sensor se denomina en la práctica: “Banco IR” o “Banco Infrarrojo”. En la Figura 2.19 se muestra el aspecto físico del Banco IR.

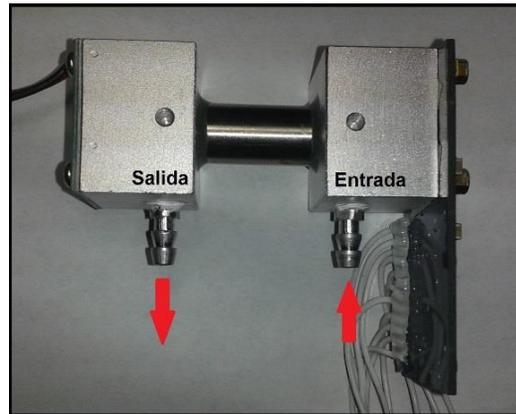


Figura 2.19 Bloque Sensor o Banco IR.

Fuente: Autor

El Banco IR es un bloque hermético por el que circula la Mezcla Objeto (mezcla de gases a analizar). La Mezcla Objeto ingresa por la zona próxima a la Tarjeta Electrónica que soporta el Circuito Sensor o Foto – Detector, marcado como “Entrada” en la figura 2.19 y sale por la zona próxima a la Lámpara que ilumina el camino por donde circula la mezcla (marcada como “Salida”) en la Figura 2.19.

En la figura 2.20 se muestra el Diagrama de Bloques del Banco IR IRB0134 utilizado por el analizador.

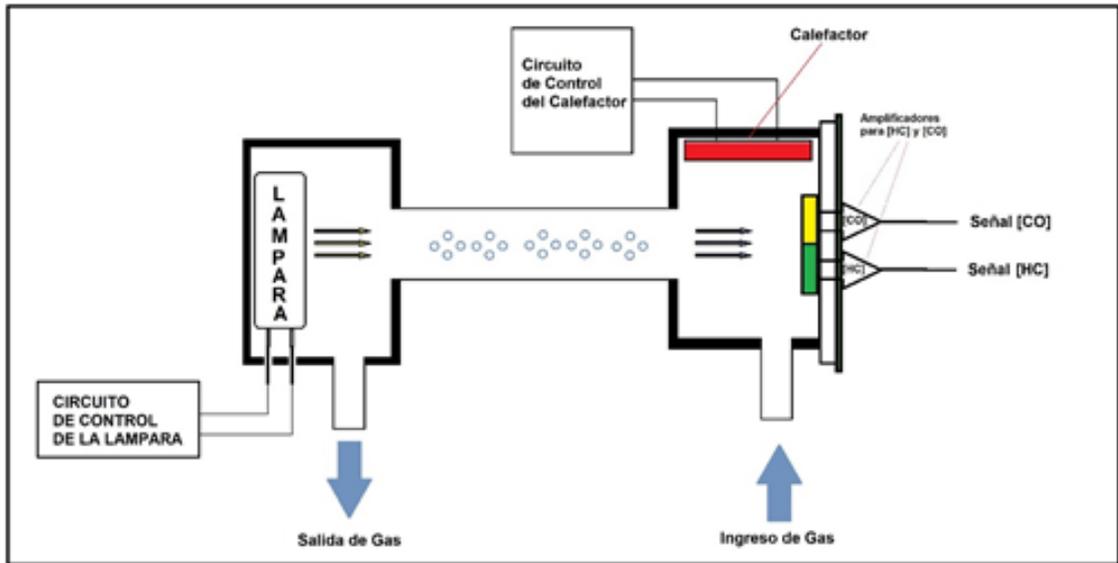


Figura 2.20 Diagrama del Bloque Sensor o Banco IR.

Fuente: Autor

2.4.5.1 Sensor Óptico

El Banco IR TRDU0134B incluye un sensor óptico basado en 4 fotodiodos que se encuentran encapsulados en un cilindro metálico como el que se muestra en la Figura 2.21

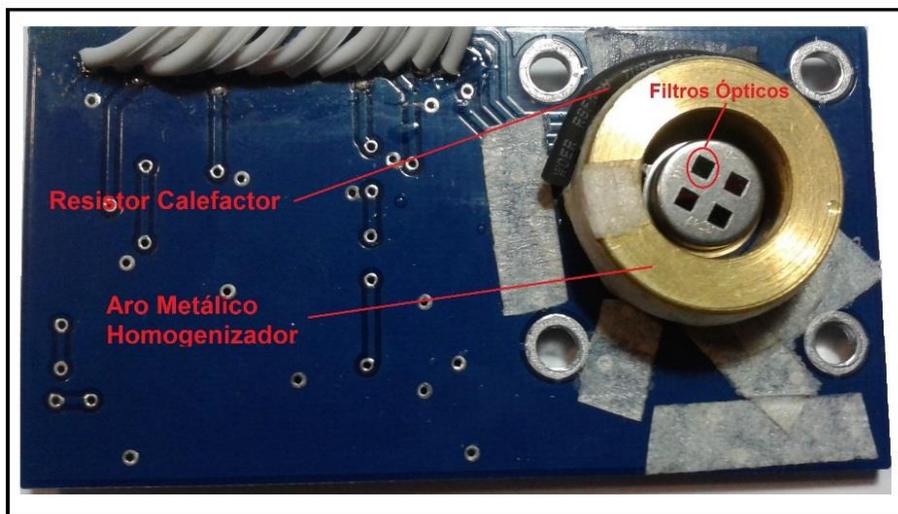


Figura 2.21 Sensor Óptico y Calefactor del Banco IR.

Fuente: autor

La luz que emite la lámpara atraviesa el tubo lleno de gas e incide sobre la superficie sensible de cada fotodiodo después de pasar por cada uno de los cuatro diminutos filtros ópticos.

Cada filtro óptico está calibrado para que pase sólo la longitud de onda infrarroja de interés para cada elemento a medir. Aunque el Analizador Apolo mide sólo dos elementos de la mezcla de escape (CO y HC).

2.4.5.2 Lámpara Infrarroja

La lámpara Infrarroja es la encargada de iluminar la columna llena de gas para poder medir la absorción que ha provocado cada elemento dentro de la mezcla. En la práctica la lámpara se compone de un LED infrarrojo de amplio espectro. La lámpara opera de manera intermitente, encendiéndose y apagándose por un espacio de 0.5 segundos. En la Figura 2.22 se muestra la lámpara infrarroja y la señal de control que se aplica a ella.

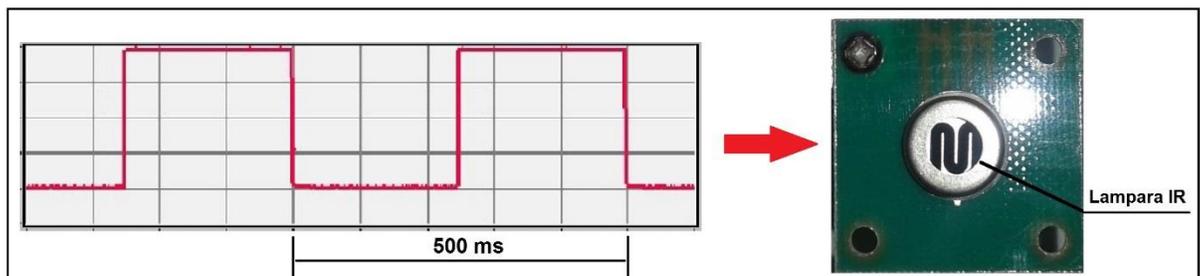


Figura 2.22 Lámpara infrarroja y señal de control aplicada a ella.

Fuente: Autor

El muestreo de las señales de [CO] y [HC] se realiza en la mitad del tiempo de encendido de la lámpara para así garantizar que se ha establecido un valor estable de iluminación sobre la columna llena de gas.

El circuito de control de apagado y encendido de la lámpara IR se discute en la sección relacionada con los circuitos auxiliares incluidos en la Tarjeta Principal.

2.4.5.3 Calefactor

El calefactor se incluye para calentar la cápsula del sensor hasta una temperatura estable que evite condensación en las diminutas ventanas que constituyen los filtros ópticos o sobre la superficie de los fotodiodos. La condensación en equipos como estos es contraproducente porque las pequeñas gotas o la niebla generada por ella falsean la medida. El calefactor se compone de una resistencia de unos 100 ohms y un circuito que permite energizarla para que circule un valor estable de corriente por ella. Controlando la corriente que circula por la resistencia se controla la potencia disipada en ella y por ende la temperatura. El cuerpo de la resistencia transmite calor a un aro monolítico de bronce que sirve para homogeneizar la temperatura alrededor de la cápsula del sensor (Figura 2.21).

2.4.5.4 Fuente para Banco IR

La Tarjeta Analógica que sirve de interface para el Banco IR se alimenta con una tensión dual de +/- 5 volts que es independiente de la Fuente de Alimentación Principal. La fuente de alimentación para el Banco IR toma el voltaje dual de +/- 12 volts de la fuente principal y lo reduce al voltaje que alimenta la Tarjeta Analógica utilizando dos reguladores de voltaje fijos: un LM7905 para generar los 5 voltios negativos y un LM7805 para generar los 5 voltios. En la Figura 2.23 se muestra la tarjeta de la fuente auxiliar para la Tarjeta Analógica.

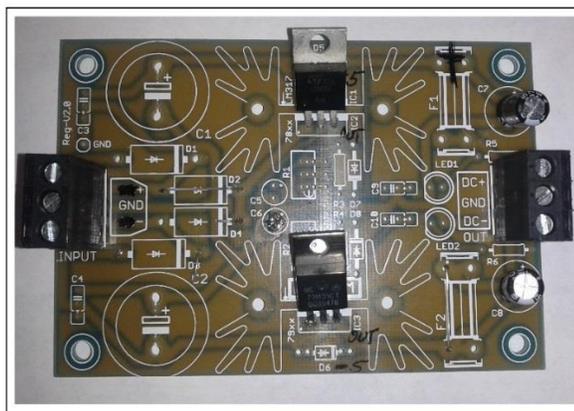


Figura 2.23 Tarjeta de Fuente auxiliar +5 / - 5 volts.

Fuente: Autor

2.5 Descripción de la estructura mecánica del equipo.

2.5.1 Sonda de Escape

La sonda (Figura 2.24) se compone de un tubo flexible de acero inoxidable que termina en una punta del mismo material que posee perforaciones.



Figura 2.24 Sonda, estructura externa.

Fuente: Autor

El diámetro del tubo es de 10 mm aproximadamente de forma que penetre en la tubería de gases de escape de cualquier vehículo. Los agujeros de la punta son laterales para que la corriente de gases no ingrese directamente al tubo sino por los agujeros. Esto ayuda a que la corriente de gases que expelle el escape no modifique el flujo laminar que impone la succión constante de la Bomba de Gases.

La sonda posee una resistente empuñadura que se acopla perfectamente a la forma de la mano del operario lo cual facilita la maniobrabilidad. Dispone además de un filtro dentro de la empuñadura (Figura 2.25) de fácil revisión y sustitución en caso necesario. Este filtro al igual que el resto de los que utiliza el analizador alarga la vida útil del instrumento y evita desde la entrada que se produzca condensación en los sensores de medición que pudieran afectar la fiabilidad de las mediciones.



Figura 2.25 Sonda, proceso de cambio de filtro.

Fuente: Autor

2.5.2 Caja

El analizador de gases está montado en una caja metálica Figura 2.26, de material galvanizado, resistente a golpes, en el panel posterior lado derecho inferior se encuentra el interruptor de apagado-encendido del equipo, en el mismo panel se encuentra instalado el ventilador, el filtro con la trampa de agua, y la instalación de entrada para la conexión de la sonda.

En el interior de la caja se encuentran distribuidas las tarjetas electrónicas auxiliares a la tarjeta digital, las mismas que están sujetas a soportes metálicos con el objetivo de evitar el desplazamiento interno causando daños al equipo. El banco IR se encuentra sujeto a la misma placa metálica que sujeta a la placa digital. La fuente de alimentación está sujeta directamente a la base de la caja.

La válvula y el cuerpo de bombas están sujetas con la base de la caja, entre la base y la bomba se instaló una esponja que ayuda a absorber las vibraciones y ruidos en el interior de la caja.

En la parte superior de la caja va montado el LCD y las 4 teclas que permiten interactuar directamente con el usuario, facilitando la visualización de los resultados. Además la caja cuenta con una manija resistente que permite ser cargada y movilizada a cualquier lugar.

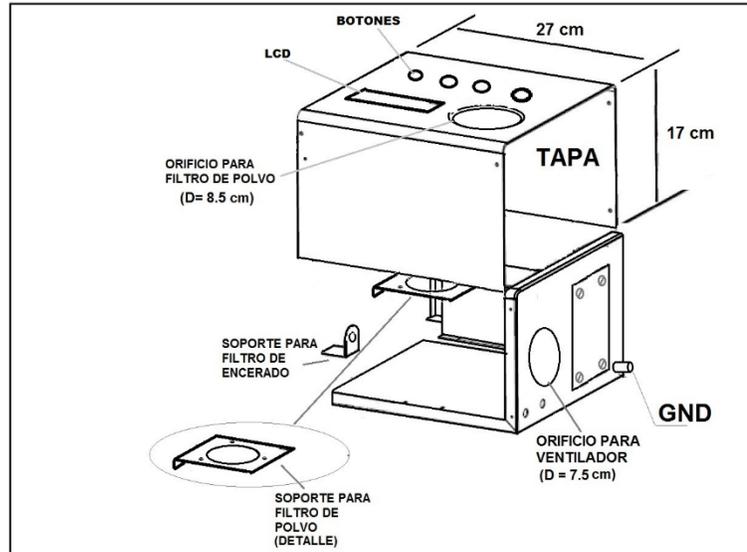


Figura 2.26 Caja Metálica

Fuente: Autor

3 CAPÍTULO III

Diseño y programación del Firmware para el micro controlador.

El capítulo 3 trata todo lo concerniente al firmware requerido para el equipo. El firmware del equipo es un programa que reside permanentemente en la Memoria de programas del micro controlador. En este capítulo se describen en detalles el funcionamiento del Programa Principal y de las rutinas de mayor relevancia que apoyan el funcionamiento del mismo.

3.1 Funciones generales del firmware

El firmware del Analizador de Gases es el responsable de realizar tres funciones físicas principales:

- Garantizar la interacción entre el usuario y el equipo. Esto se refiere a las acciones que el usuario pudiera realizar sobre el equipo, como por ejemplo: registrar datos de un vehículo, calibrar, medir; entre otros procesos.
- Adquisición de las señales de los sensores. Se refiere al proceso de convertir en señal digital las señales analógicas de los sensores analógicos y la interpretación de las señales de los sensores digitales asociados a la columna de medición.
- Realizar los cálculos de las medidas de concentración de gases. Se refiere al acondicionamiento de los datos digitales convertidos con el objetivo de mostrarlos en el LCD.
- Garantizar la comunicación con una computadora. Se refiere al proceso de transferencia de datos entre el equipo y un PC con fines de registro y análisis más avanzado.

3.1.1 Descripción del funcionamiento del Programa Principal del firmware.

El Programa Principal del firmware es el segmento de código que garantiza la ocurrencia en forma de ciclo del proceso de funcionamiento del equipo; desde su encendido hasta su apagado. Todos los sistemas inteligentes basados en micro controlador funcionan sobre la base de un proceso cíclico denominado Programa Principal por lo que el Analizador de Gases se enmarca dentro de esta regla.

De manera general, el funcionamiento del Programa Principal se basa en los siguientes procesos:

Se configura el hardware del equipo para el trabajo y se habilita la ocurrencia de interrupciones. Se muestran pantallas informativas en el LCD hasta mostrar la Pantalla de Encuesta principal del equipo. La Pantalla de Encuesta principal propone al usuario la selección de uno de tres procesos: registrar datos, ajustar a cero el equipo y medir. A partir de este punto el futuro de la ejecución del programa estará condicionado a la selección que realice el usuario. Por ejemplo: el usuario pudiera seleccionar la opción de ajustar a cero sin registrar vehículo o registrar y medir sin ajustar a cero si se están realizando mediciones repetitivas en el mismo escenario. La interacción del usuario con los menús del equipo se realiza a través de 4 teclas: UP/SEL, DWN, ENTER y ESC.

3.1.1.1 Diagrama de Bloques del Programa Principal del firmware

Las figura 3.1 muestra la primera página del Diagrama de Flujo del Programa Principal. El Diagrama de Flujo servirá de herramienta auxiliar para describir en detalles el funcionamiento del Programa Principal.

En la Figura 3.1 cada proceso destacado del Programa principal se encierra en un recuadro. Para realizar una búsqueda del código físico que se relaciona con el proceso de un recuadro se debe utilizar la referencia numérica encerrada entre corchetes.

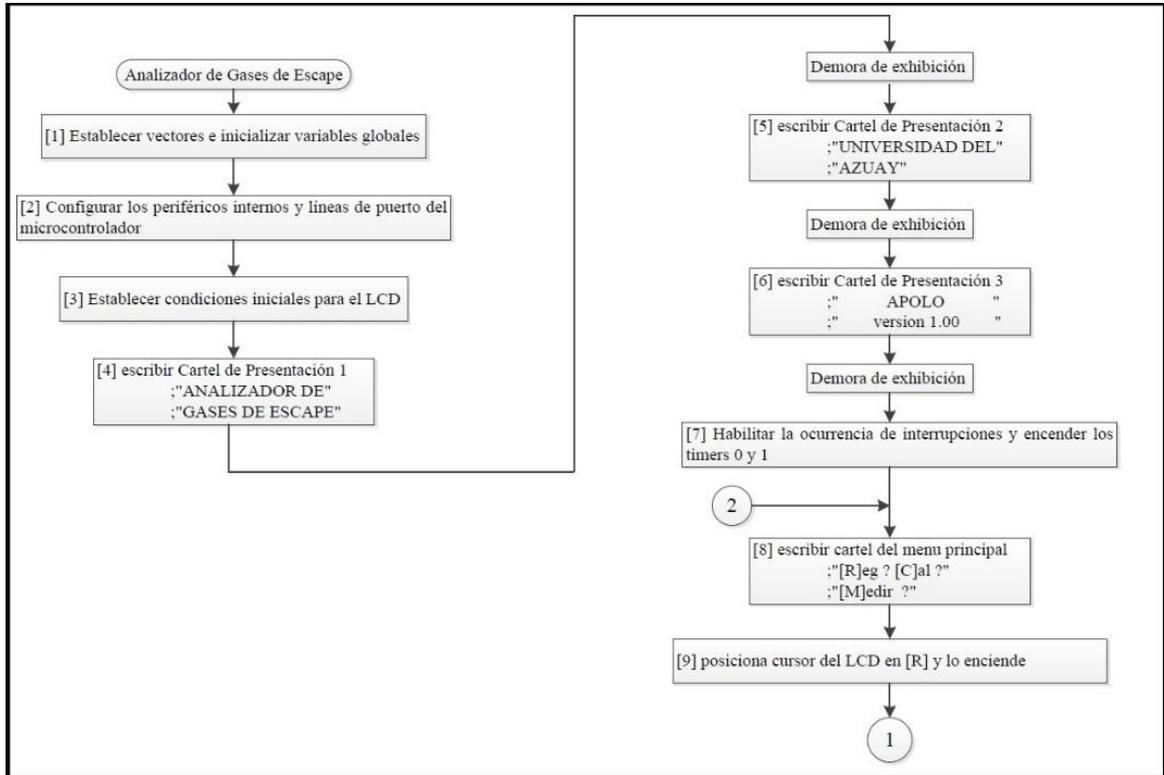


Figura 3.27 Diagrama de Flujo del Programa Principal.

Fuente: Autor

Por ejemplo: el proceso marcado como [8] es realizado por el segmento de programa marcado de igual manera (Figura 3.2)

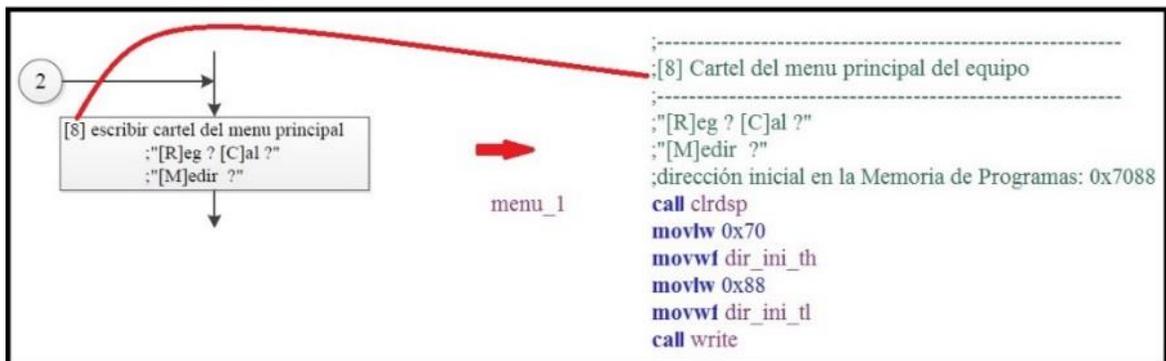


Figura 3.28 Relación Diagrama de Flujo – Código del Programa.

Fuente: Autor

Según el diagrama de la Figura 3.1 el Programa Principal ejecuta una serie de procesos consecutivos hasta que cae en modo encuesta al visualizar la pantalla del menú principal (referencia [8]).

En la segunda etapa del funcionamiento (Figura 3.3) el curso de la ejecución del programa es guiado por el usuario en función de una de las tres opciones siguientes:

Si la tecla pulsada es **UP/SEL** el sistema puede interpretarla de dos formas (UP o SEL). Si el sistema está ejecutando el Menú Principal se procede a rotar el cursor en la pantalla desde la última opción seleccionada hacia la opción vecina. Esta es la función SEL. Si la opción que se había seleccionado era la última ([M]edir) el programa procede a colocar el cursor nuevamente en [R]egistrar. Por otra parte si se está editando algún parámetro o dato de vehículo el sistema interpreta la función de esta tecla como UP (incrementar parámetro).

Cada vez que se pulse la tecla UP/SEL se espera a que esta se libere antes de proceder a encuestar el teclado nuevamente.

Si la tecla pulsada es **ENTER** se procede a ejecutar el proceso del menú que en ese momento se encuentre seleccionado: registrar, medir o calibrar. Cada proceso ha sido programado como una subrutina que se ejecuta y una vez finalizado garantiza el regreso a la pantalla del menú principal o guía el programa hacia otro proceso relacionado.

Por ejemplo: si el usuario selecciona [R]egistrar, el sistema ingresa al proceso de registro de vehículo y una vez terminada y validada la secuencia de registro (placa, modelo; etc.) el programa regresará al menú principal para captar otra opción o repetir la misma.

Si la tecla pulsada es **DWN** el sistema disminuirá el parámetro o dato de vehículo que se esté ajustando.

Finalmente, si la tecla pulsada es **ESC** el sistema interpreta en ciertos casos que debe abortarse la operación en curso o que debe regresarse al menú anterior u otro jerárquicamente lógico. La Figura 3.4 complementa la explicación del funcionamiento del Programa Principal.

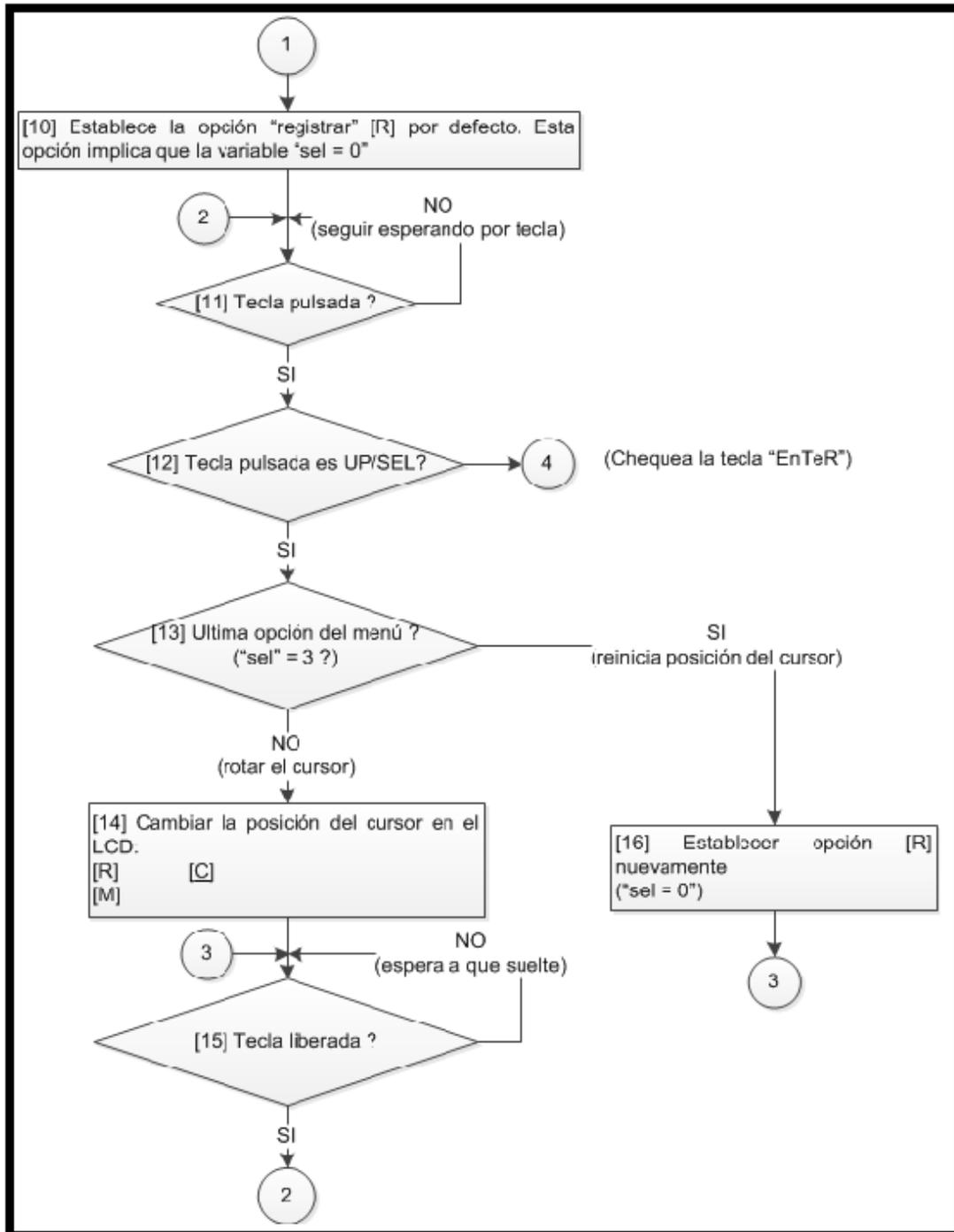


Figura 3.29 Diagrama de Flujo del Programa Principal.

Fuente: Autor

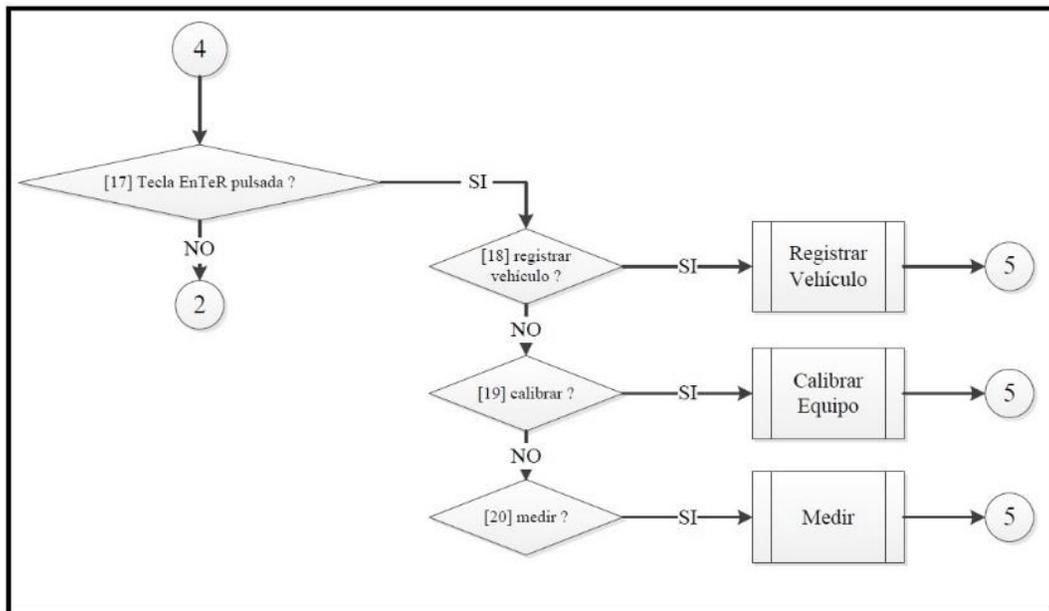


Figura 3.30 Diagrama de Flujo del Programa Principal.

Fuente: Autor

3.2 Descripción del funcionamiento de las rutinas principales.

Las rutinas o subrutinas son procesos representados en segmentos de código del firmware que se ejecutan ya sea de manera síncrona, bajo demanda del Programa Principal o alguna fuente de interrupción asíncrona.

Un ejemplo de rutina síncrona es el de la rutina de interrupción que se ejecuta cada vez que se desborda alguno de los temporizadores integrados al micro controlador.

Un ejemplo de rutina que se ejecuta bajo demanda es la encargada de iniciar la pantalla LCD para el trabajo. Esta se ejecuta desde el Programa Principal una sola vez durante el funcionamiento del equipo

3.2.1 Rutina de Servicio de Interrupción

La rutina ISR (Interrupt Service Routine, por sus siglas en inglés) o de Servicio de Interrupción es, en un sistema basado en micro controlador el segmento del firmware encargado de ejecutar los procesos que en el sistema se atienden utilizando la Técnica de Interrupción.

La técnica de atención de eventos o procesos mediante interrupción (Técnica de Interrupción) se utiliza en todos los sistemas modernos basados en micro controlador y se basa en atender un evento o proceso dado cuando este lo requiera (bajo demanda del proceso). De esta manera no se mantiene al micro controlador ocupado en encuestar si un evento ocurrió o un proceso necesita ser ejecutado. Por ejemplo: para leer el estado actual de las teclas con que interactúa el usuario se utiliza la interrupción de un timer que es un elemento de hardware que funciona de manera autónoma. Es decir la CPU (Central Processing Unit, por sus siglas en inglés) del micro no se mantendrá ocupada en esperar que transcurra el tiempo necesario para iniciar el proceso de lectura del estado de las teclas.

La rutina ISR en el Analizador de Gases se puede identificar en el firmware con la etiqueta “int_low”. Dentro de la rutina ISR se atienden dos procesos: el desbordamiento del timer 0 y del timer 1. En la Figura 3.5 se muestra el diagrama que ilustra el proceso general de la Rutina de Servicio de Interrupción.

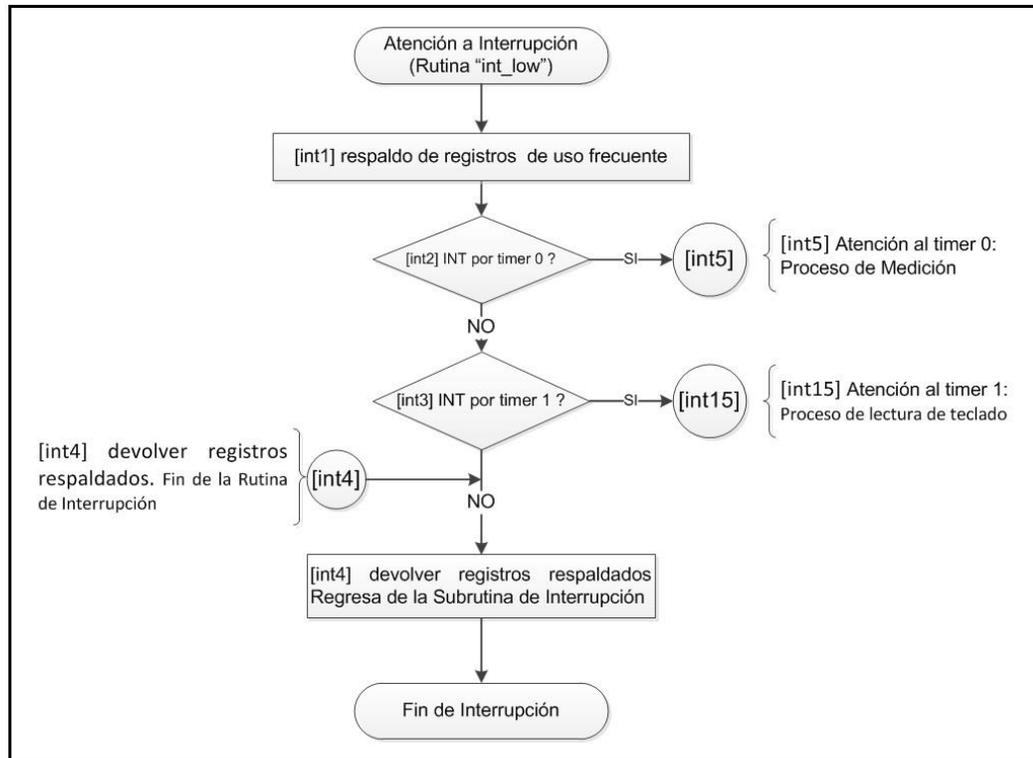


Figura 3.31 Diagrama general de la rutina de interrupción

Fuente: Autor

3.2.1.1 Proceso de atención al desbordamiento del timer 0

El evento del desbordamiento del timer 0 (aproximadamente cada 8,192 ms), se utiliza para realizar la digitalización de las señales analógicas con las que opera el equipo para medir. El hardware se ha diseñado con la capacidad de procesar hasta cuatro canales analógicos. Los 4 canales analógicos se digitalizan consecutivamente cada vez que se desborda el timer 0. El dato obtenido para cada canal se respalda en la Memoria RAM (Random Access Memory, por sus siglas en inglés) del micro controlador. La zona de la RAM reservada para guardar los datos se extiende desde la dirección 0x000 hasta la 0x007. La Figura 3.6 ilustra el esquema de almacenaje de datos en la RAM.

Dirección RAM	Dato Almacenado
0X000	Señal conectada a RA0 parte ALTA
0X001	Señal conectada a RA0 parte BAJA
0X002	Señal conectada a RA1 parte ALTA
0X003	Señal conectada a RA1 parte BAJA
0X004	Señal conectada a RA2 parte ALTA
0X005	Señal conectada a RA2 parte BAJA
0X006	Señal conectada a RA3 parte ALTA
0X007	Señal conectada a RA3 parte BAJA

Figura 3.32 Almacenaje de datos en la RAM.

Fuente: Autor

Para cada canal digitalizado se reservan dos bytes en la memoria RAM porque la extensión del dato obtenida es de 12 bits. El funcionamiento detallado de la atención al timer 0 se discute en la sección “Proceso de digitalización de las señales. Atención al timer 0”.

3.2.1.2 Proceso de atención al desbordamiento del timer 1

El evento del desbordamiento del timer 1 (aproximadamente cada 50 ms), se utiliza para realizar la lectura del teclado con el que opera el equipo. La lectura del teclado se realiza cuando hayan ocurrido dos interrupciones del timer 1, o sea cada 100 ms aproximadamente. La cantidad de 100 ms entre lecturas consecutivas del teclado es suficiente para absorber el rebote mecánico de los pulsantes al ser activados por el usuario. En la Figura 3.7 se muestra el diagrama que ilustra el proceso de desborde del timer 1.

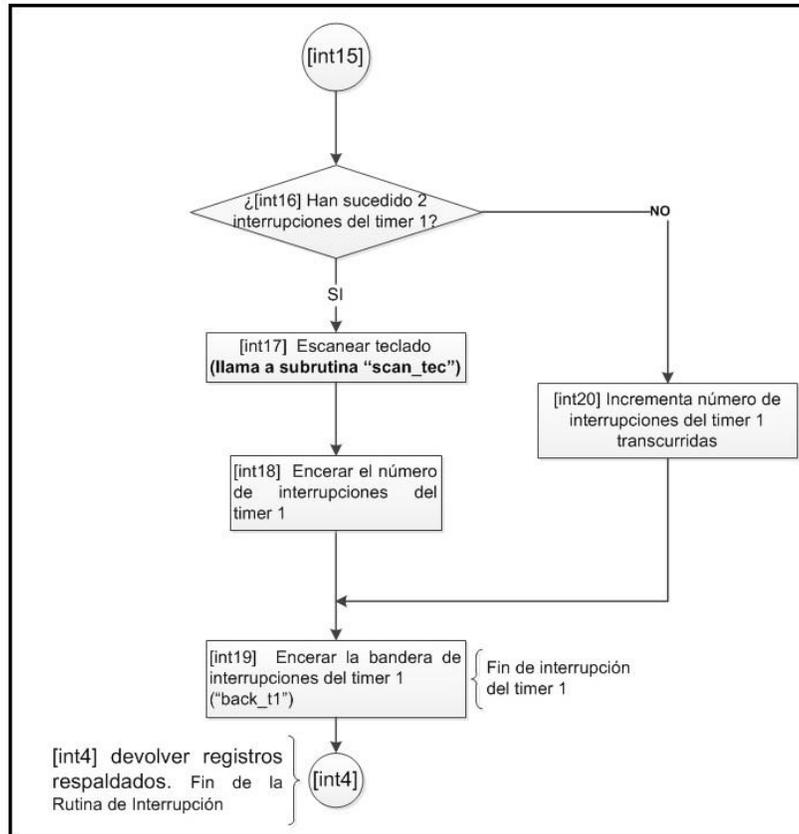


Figura 3.33 Proceso de atención al timer 1.

Fuente: Autor

Al inicio del proceso (Figura 3.7) se chequea que la interrupción que se está atendiendo en ese momento sea la segunda (proceso marcado como [int16]). Si el resultado es negativo el firmware abandona la rutina ISR sin leer el teclado (proceso marcado como [int4]). Si el resultado de la encuesta es positivo se realiza la lectura del teclado (procesos [int17]). El proceso de lectura de teclado se realiza llamando a la subrutina “scan_tec”, cuyo funcionamiento describe en el apartado siguiente.

El proceso de atención al timer 1 finaliza (proceso [int19]) poniendo a cero el bit bandera de interrupción del timer 1 (TMR1IF), evitando así que al retornar la ejecución al Programa Principal se produzca una interrupción reentrante (que se repita el mismo evento de interrupción).

3.2.2 Rutina de Lectura de Teclado.

La rutina “scan_tec” garantiza la lectura de las teclas que sirven para interactuar con el equipo. La lectura de las teclas se realiza de manera secuencial dado que la conexión de ellas con micro controlador es lineal. En las Figura 3.8 se muestra un diagrama que describe el proceso de funcionamiento de la rutina “scan_tec”.

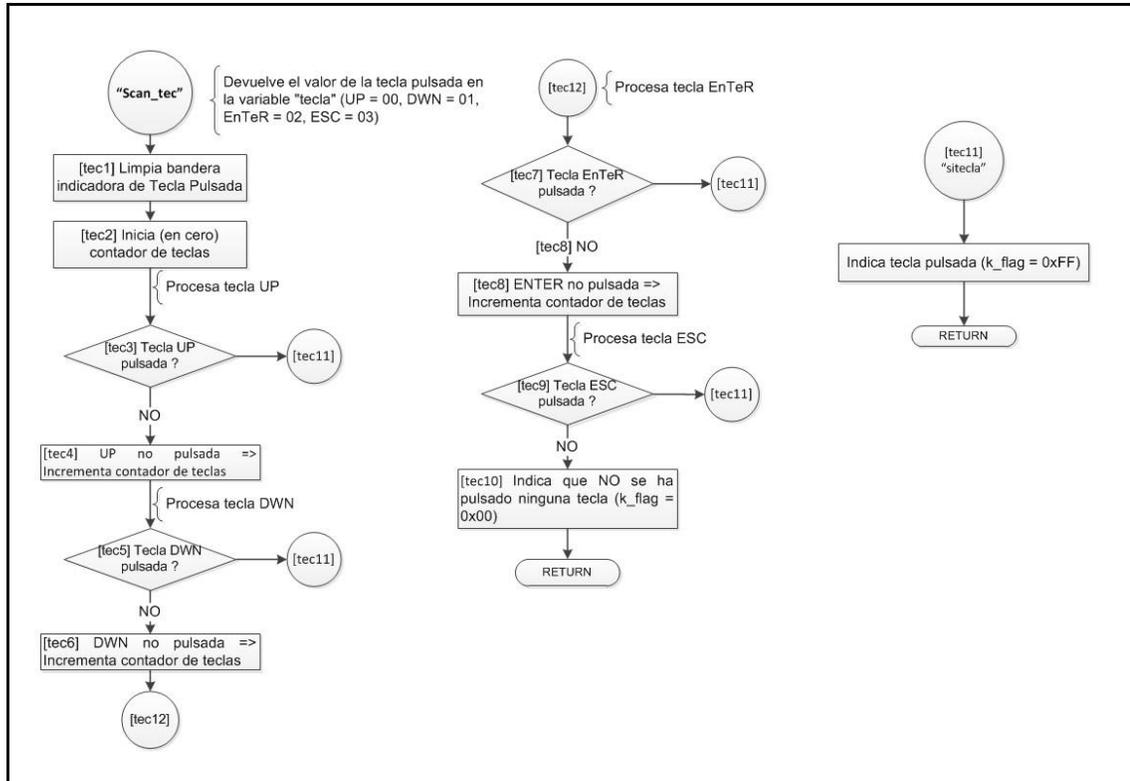


Figura 3.34 Proceso de escaneo de teclado.

Fuente: Autor

Cada vez que se ejecuta la subrutina “scan_tec” se señala al Programa Principal dos eventos: “si se ha pulsado o no una tecla” y el identificador de la tecla pulsada.

Si se ha pulsado una tecla o no se señala utilizando la variable bandera “k_flag”. Si al finalizar la ejecución de la rutina “scan_tec” la variable “k_flag” se carga con el valor 0xff significa que fue pulsada alguna tecla cuyo identificador se almacena en la variable “tecla”. El identificador de cada tecla es un número: UP = 0x00, DWN = 0x01, ENTER = 0x02, ESC = 0x03. Cada vez que una tecla es escaneada si esta no se ha pulsado se pasa

a escanear la siguiente y el contador de teclas (variable “tecla”) se incrementa; de este modo la variable “tecla” va almacenando el valor físico de la tecla escaneada.

Por otra parte si en el momento de escanear el teclado no se detecta ninguna tecla pulsada la variable “k_flag” se carga con el valor 0x00 y el valor de la variable “tecla” es ignorado por el Programa Principal.

3.2.3 Rutina Para Ajustar a Cero el Equipo.

El proceso de ajuste a cero del equipo consiste en hacer circular aire ambiental durante un tiempo a través del banco IR con el objetivo de eliminar residuos de la medición anterior. Es recomendable ajustar a cero el equipo antes de medir otro vehículo. En la Figura 3.9 se muestra el diagrama que ilustra el proceso de ajuste a cero del equipo.

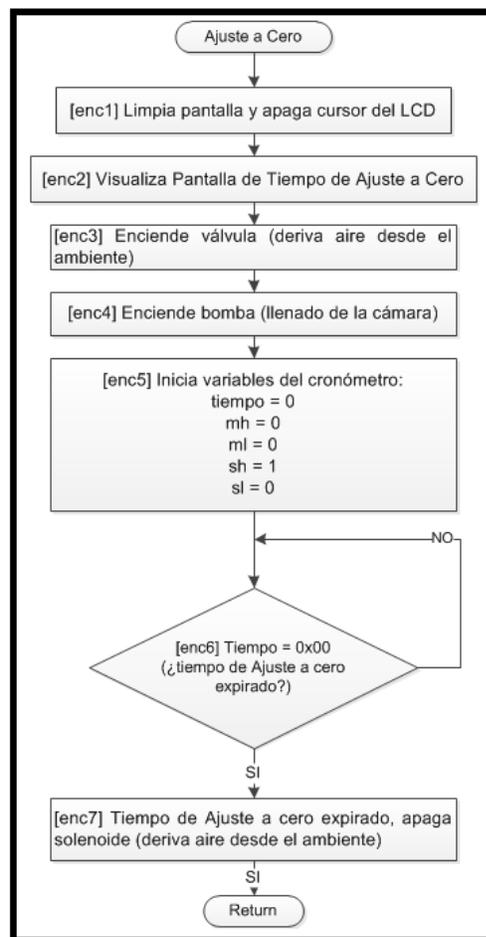


Figura 3.35 Proceso de Ajuste a Cero

El proceso de ajuste a cero no debe entenderse como una calibración, sino simplemente como la limpieza del canal de medida.

3.2.4 Rutina de registro de datos del auto

El registro de vehículos se basa en la selección de fabricantes y modelos predeterminados que se almacenan en la Memoria Permanente del micro controlador en forma de tablas. Cada tabla genera en el LCD una pantalla específica para cada vehículo. En la Figura 3.10 se muestra el formato de una tabla representativa de un vehículo.

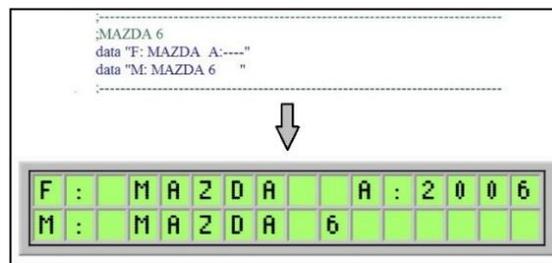


Figura 3.36 Formato de una tabla representativa de un vehículo.

Fuente: Autor

Para ingresar al proceso de registro se debe seleccionar la opción [R]eg en el menú principal. Una vez en registrar se mostrará la primera pantalla de vehículo.

Llegado a este punto el usuario puede cambiar de vehículo presionando las teclas UP / DWN. Una vez que se ha decidido el vehículo a tratar se puede actualizar el año del modelo presionando ENTER. En la Figura 3.11 se ilustra el proceso.

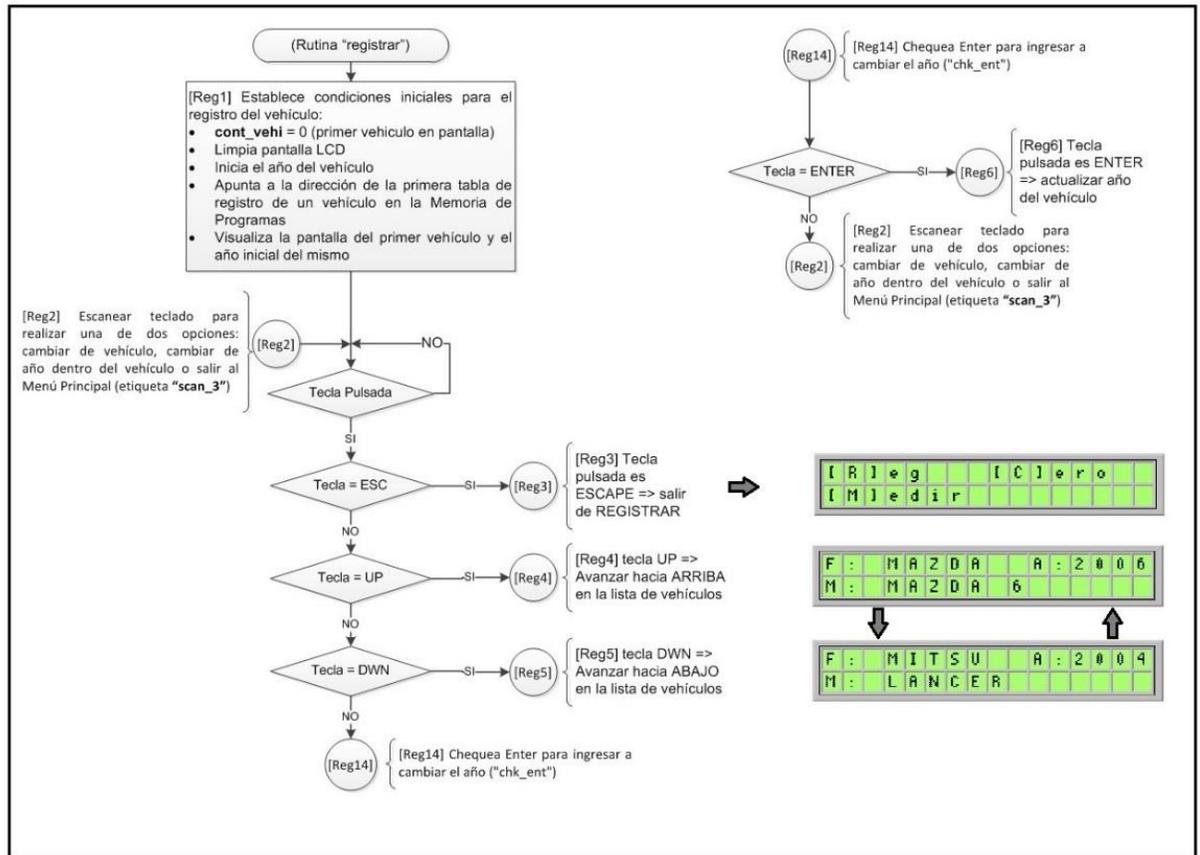


Figura 3.37 Procesos principales del registro vehicular.

Fuente: Autor

Finalmente si el vehículo y año observado en el LCD son correctos presionando la tecla ESC se regresa al menú principal quedando actualizada en la Memoria RAM la información del vehículo.

3.2.4.1 Proceso de selección del vehículo durante su registro

La Figura 3.12 ilustra de forma detallada el proceso que realiza el programa para actualizar la selección de un vehículo cuando se presiona la tecla UP. Este proceso es muy similar al que se sigue cuando se presiona la tecla DWN.

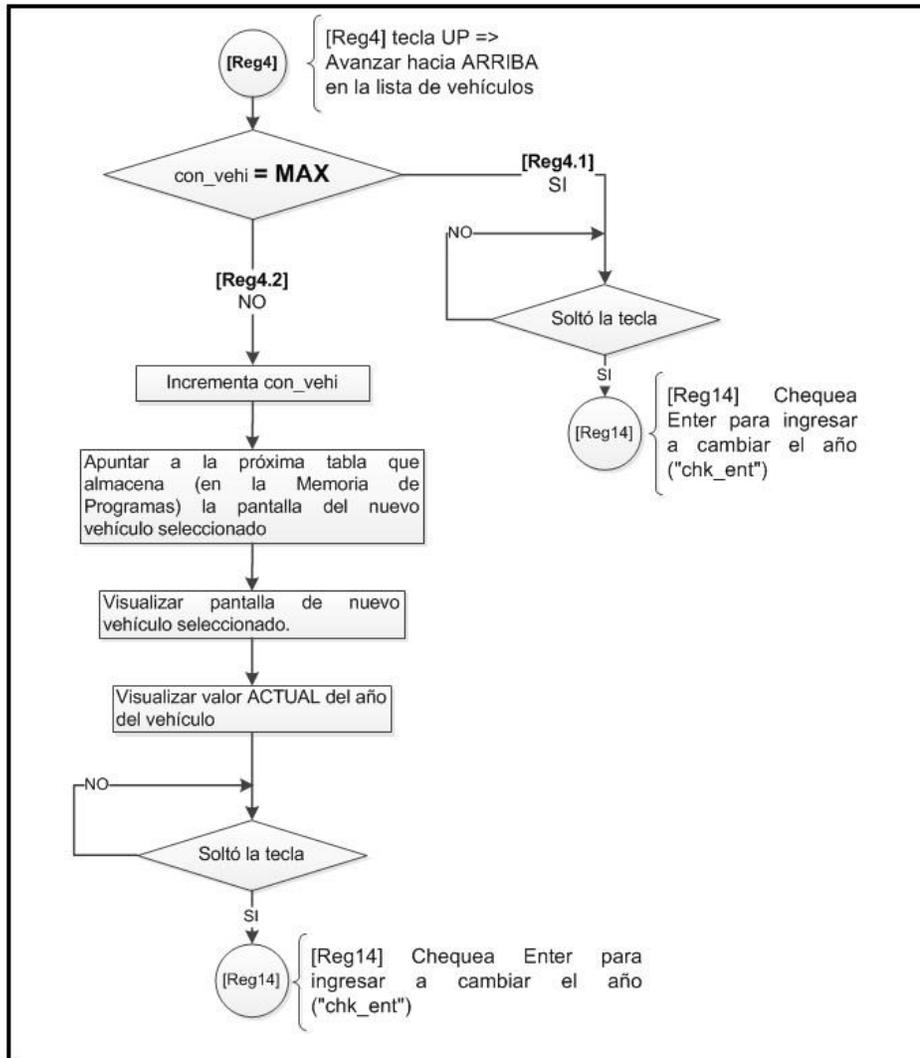


Figura 3.38 Proceso que se realiza en el programa para actualizar la selección de un vehículo (cuando se presiona la tecla UP).

Fuente: Autor

El proceso de actualización se basa en la selección de tablas que almacenan la información de cada vehículo. La selección de las tablas se apoya en un contador de vehículos (“con_vehí”) que controla el rango de vehículos almacenados (0...255) y en dos subrutinas que aumentan o disminuyen el valor de un puntero que almacena la dirección inicial de la tabla en la Memoria de Programas del micro del vehículo que se está seleccionando.

Cuando el usuario presiona ENTER el sistema visualiza en la pantalla un asterisco “*” debajo del último dígito del año indicando que se ha ingresado a modificar el año (Figura 3.14).

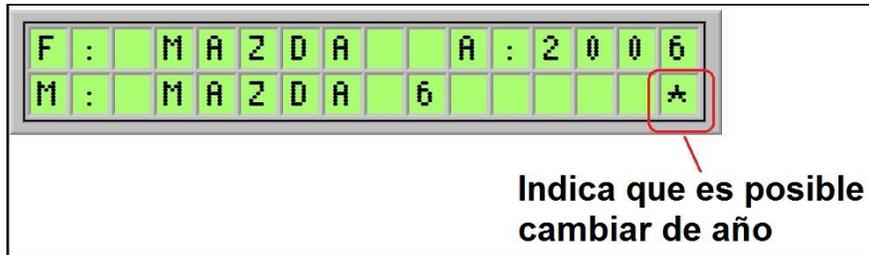


Figura 3.40 Sistema en modo de cambio de año.

Fuente: Autor

Utilizando las teclas UP / DWN se puede aumentar o disminuir el año hasta el deseado. La actualización del año se apoya en un contador de cuatro dígitos que almacena en la Memoria de Datos del micro controlador el valor del año en todo momento. El contador de años está formado por las variables “yr4”, “yr3”, “yr2”, “yr1”. Las subrutinas “yr_up” y “yr_dwn” son las encargadas de actualizar el valor del año en función de un aumento o disminución. Después de ajustado el año se puede regresar a la selección de vehículos (nivel anterior) presionando la tecla ENTER. Cuando se presione **ENTER** para salir inmediatamente dejará de visualizarse el asterisco en el LCD indicando que el sistema se encuentra en el menú de selección de vehículos nuevamente.

3.2.5 Proceso y subrutinas involucradas en la medición de concentración de gases

El funcionamiento del programa en la medición está estrechamente ligado al principio de medición que utiliza el aparato. El analizador utiliza para medir los siguientes elementos: el Convertidor Análogo – Digital del micro controlador, un Banco Infrarrojo (Banco IR), una electroválvula de ingreso y una bomba de flujo constante. Todos estos elementos deben ser controlados durante el proceso de medición. Una vez que se selecciona la acción

medir en el menú principal el controlador del equipo realizará las acciones que se describen a continuación.

- **Se apaga la válvula de entrada** para permitir la entrada de gases desde la manguera conectada al escape y no desde el ambiente.
- **Se enciende la bomba** para comenzar a llenar la cámara de medición del Banco IR con la mezcla.
- **Se inicia un cronómetro** con una base de tiempo de 30 segundos. Este tiempo se utiliza para permitir que la medición de los sensores ópticos (foto celdas) dentro del Banco IR se estabilice. Durante estos 30 segundos el convertidor análogo – digital (A/D) del micro estará realizando el muestreo cada vez que la lámpara del banco IR se enciende. En la Figura 3.15 se muestra la relación entre el proceso de encendido / apagado de la lámpara y el muestreo de las señales de HC y CO.

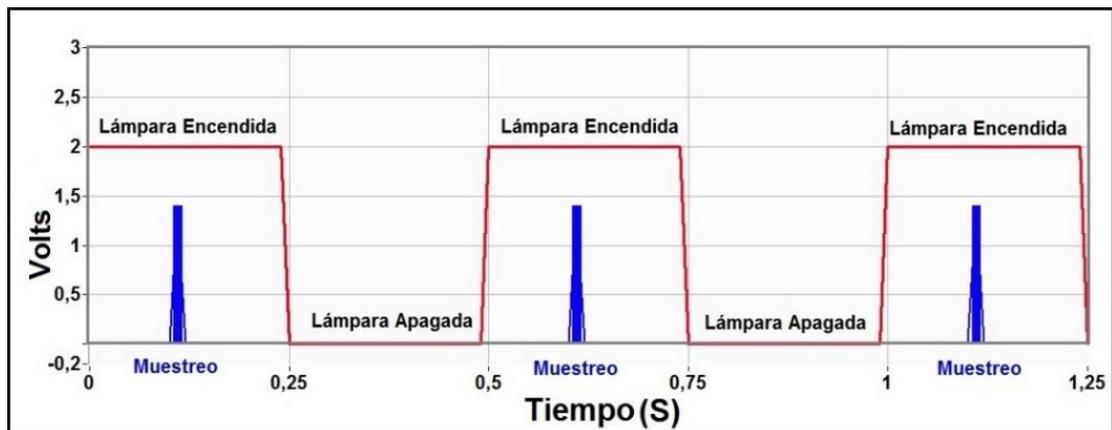


Figura 3.41 Ilustración de la relación entre el proceso de encendido / apagado de la lámpara y el muestreo de las señales de HC y CO.

Fuente: Autor

Según se puede apreciar en la Figura 3.15 el muestreo de las señales de CO y HC se realiza aproximadamente cada medio segundo

- **Se validan los resultados** de la medición una vez que se vence el tiempo del cronómetro.

La Figura 3.16 ilustra la secuencia de los procesos anteriores en forma de diagrama.

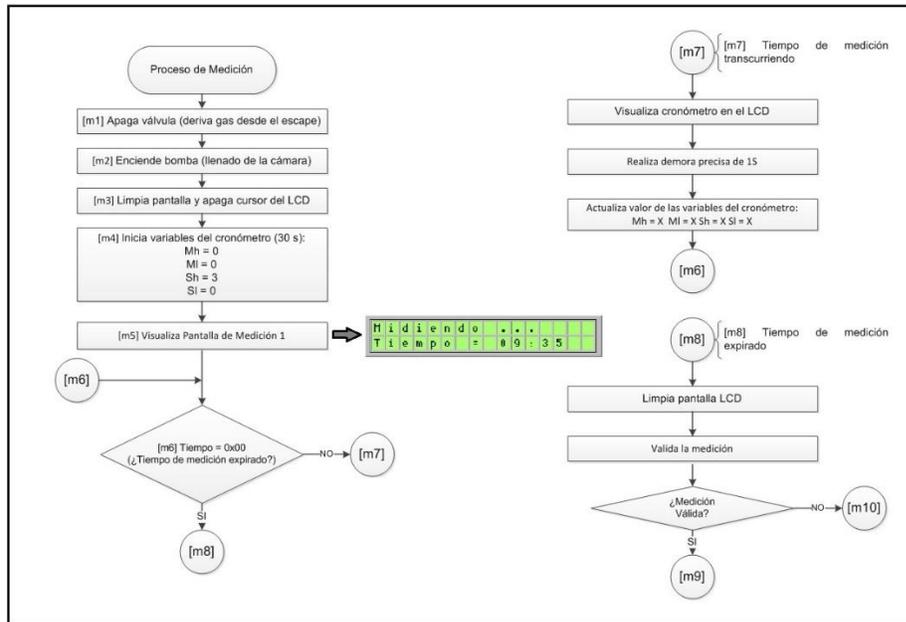


Figura 3.42 Proceso de medición primera parte.

Fuente: Autor

- **Se presentan los resultados.** Una vez que se ha validado la medida, dependiendo del resultado se presentarán los valores de las medidas (HC/CO) en dos pantallas conmutadas mediante la tecla DWN/SEL o se presentará una pantalla de error que se podrá abandonar presionando la tecla ESC Figura 3.17.

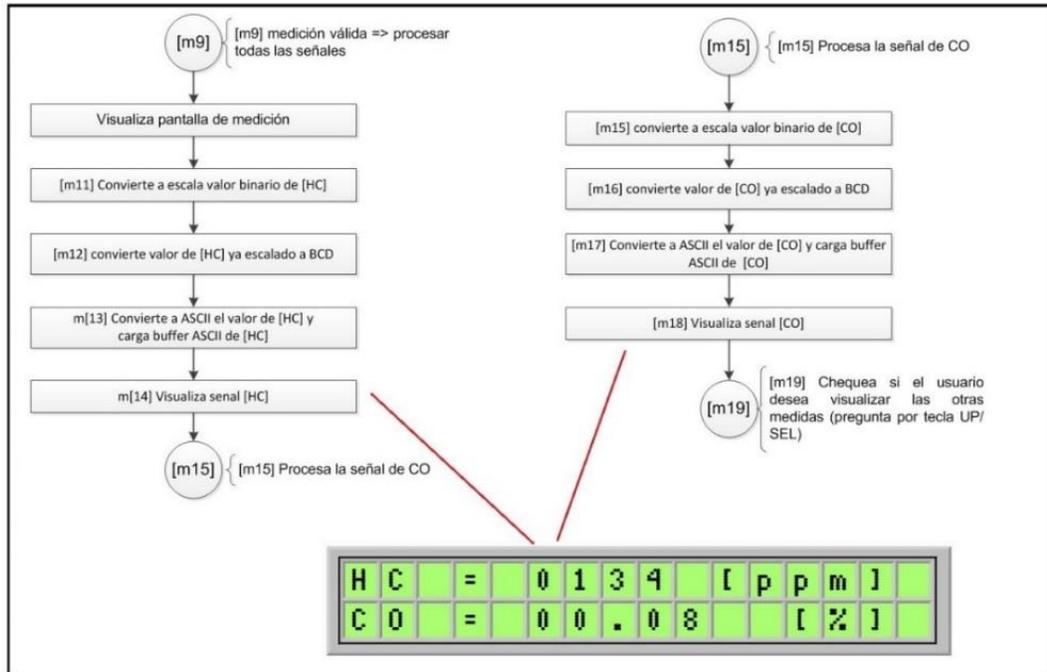


Figura 3.43 Proceso de medición segunda parte.

- Finalmente si se desea retornar al menú principal desde las pantallas de medida se debe presionar la tecla ESC

3.2.5.1 Proceso de digitalización de las señales. Atención al timer 0.

La digitalización de las señales con las que el equipo mide se realiza en el segmento de programa que atiende la interrupción por desborde del timer0. En la Figura 3.18 se muestra el diagrama que ilustra la atención al proceso de desborde del timer 0.

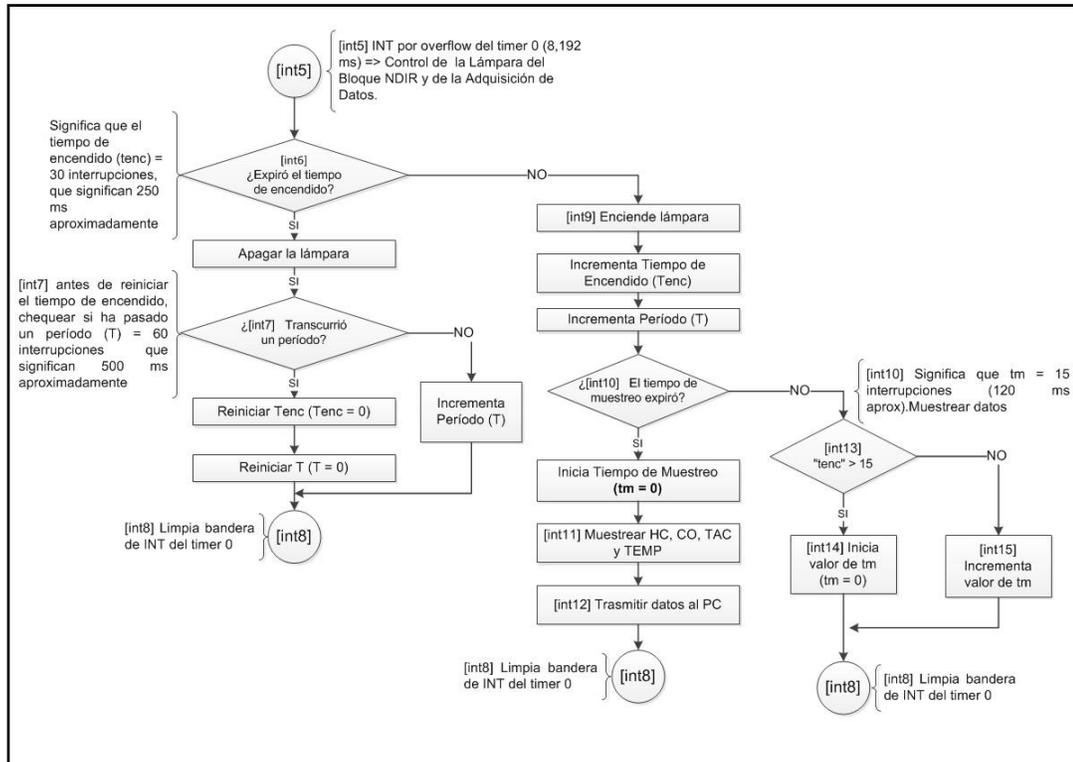


Figura 3.1844 Proceso de atención a la interrupción del timer 0.

Fuente: Autor

Las interrupciones del timer 0 se producen cada 8,192 ms. Al tiempo de desborde del timer 0 (8,192 ms) la denominaremos “base de tiempo (BT)”. Si se cuentan varias interrupciones se podrá extender el tiempo en cantidades de 8,192 ms. Por ejemplo si el número de interrupciones es 60 habrán transcurrido 0,491 segundos aproximadamente (tiempo transcurrido = $60 * BT$). Utilizando esta técnica la BT generada por el timer 0 se puede multiplicar por diferentes factores para realizar las siguientes operaciones:

- Si se cuentan **60 interrupciones** de podrá generar la señal “ $T = 60 * BT$ ”, utilizada para el encendido y apagado de la lámpara del Banco IR. La lámpara del Banco IR estará aproximadamente 0,25 segundos encendida y 0,25 segundos apagada (Figura 3.15). El tiempo de encendido en el código se almacena en la variable “tenc”. Luego, $tenc = 30 * BT$.

- Si se cuentan **15 interrupciones** se obtiene el tiempo de muestreo de las señales “**tm**”. El tiempo de muestreo debe sincronizarse siempre con el encendido de la lámpara; lo que significa que el muestreo de las cuatro señales que maneja el aparato se debe realizar con la lámpara encendida (figura 3.16). El tiempo de muestreo en el código se almacena en la variable “**tm**”. Luego, **tm = 15 * BT = 122,88**. El muestreo de las señales se produce a los 123 ms aproximadamente después de haber encendido la lámpara. En la Figura 3.19 se ilustra el proceso de digitalización de cualquier señal.

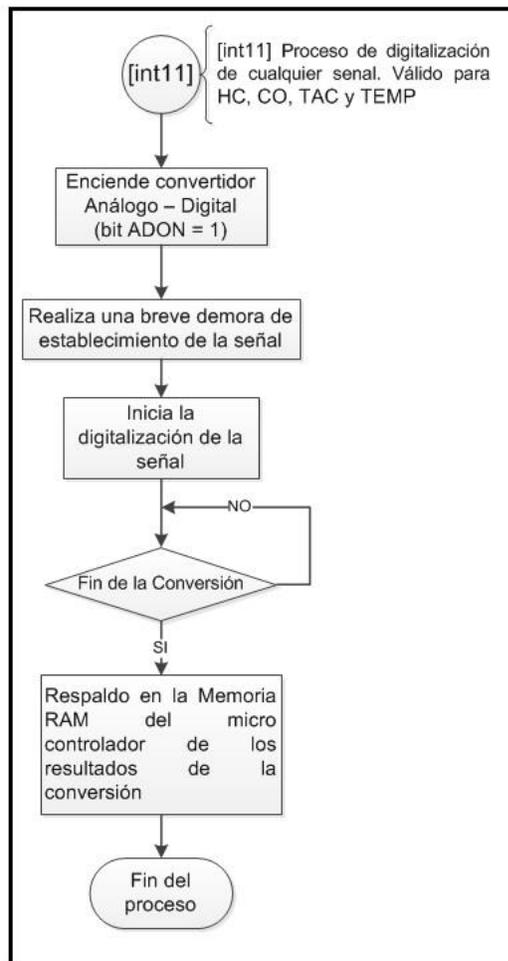


Figura 3.45 Proceso de digitalización de cualquier señal.

Fuente: Autor

3.2.6 Resumen de las rutinas (subrutinas) principales del firmware del equipo

La Tabla 3.1 resume las rutinas principales que apoyan el funcionamiento del Programa Principal del firmware del Analizador de Gases. En la tabla se refiere al nombre de la rutina, su función y algunas particularidades relacionadas con la misma.

Tabla 3.7 Resumen de subrutinas principales y su función.

Nombre de la Subrutina	Función	Observaciones
Int_Low	Rutina de Servicio de Interrupción (baja prioridad)	Síncrona al desbordarse el timer 0 o el timer 1.
Scan_Tec	Rutina que escanea el teclado. Devuelve el valor de la tecla pulsada en la variable "tecla" (UP = 00, DWN = 01, ENTER = 02, ESC = 03)	Síncrona al desbordarse el timer 1 2 veces (100 ms aproximadamente)
Registrar	Rutina que realiza el proceso de registro de datos del vehículo que está siendo tratado	Bajo demanda según acción del usuario del equipo
Puesta a Cero	Rutina que realiza el proceso de ajuste a cero del equipo	Bajo demanda según acción del usuario del equipo
Medir	Rutina que realiza el proceso de medición de las concentraciones de gases	Bajo demanda según acción del usuario del equipo

Ini_lcd_1	Inicia el LCD para el trabajo. Diseñada para LCDs de dos líneas, 32 caracteres y controlador compatible con el L1672 de Seiko	Bajo demanda según acción del usuario del equipo. Se ejecuta una sola vez durante el funcionamiento del equipo.
Enable	Genera un pulso de habilitación en el pin “enable (E)” del LCD	Alta frecuencia de ejecución bajo demanda del Programa Principal u otra subrutina
Clrdisp	Limpia la pantalla del LCD	Alta frecuencia de ejecución bajo demanda del Programa Principal u otra subrutina
Write	Rutina que escribe cualquier cartel en el LCD que esté almacenado en una tabla de la Memoria de Programas. Esta versión escribe pantallas completas en el LCD, por lo que se chequea que un contador de caracteres sea igual a 32 (LCD de 2X16 caracteres) No se necesita en este caso la dirección inicial de un cartel en el LCD porque el cartel se escribe completo. La rutina trabaja con 2 variables externas:	Alta frecuencia de ejecución bajo demanda del Programa Principal u otra subrutina

	<p>dir_ini_th es la parte alta de la dirección inicial de la tabla del cartel en la MP (TBLPTRH).</p> <p>dir_ini_tl es la parte baja de la dirección inicial de la tabla del cartel en la MP (TBLPTRL).</p> <p>Se asume TBLPTRU = 0x00</p>	
--	--	--

Fuente: Autor

3.3 Descripción del software de monitoreo.

El Software de Monitoreo fue programado en Labview. El objetivo principal del software es garantizar un interface simple con la PC que permita imprimir un reporte de los resultados de la medición.

Los programas escritos en Labview se denominan Instrumentos Virtuales (VIs). Un Instrumento Virtual (VI) basa su diseño en dos partes fundamentales: el Panel Frontal, que realiza el interface con el usuario asemejándose a un instrumento real y el Diagrama de Bloques, que es el código del programa representado de manera gráfica utilizando íconos unidos mediante “alambres”. La descripción del software del analizador para el PC se basa en la descripción de su Panel Frontal y Diagrama de Bloques.

3.3.1 Panel Frontal.

En la Figura 3.20 se muestra El Panel Frontal del Instrumento Virtual del Analizador de Gases.



Figura 46 Panel Frontal del Instrumento Virtual.

Fuente: Autor

El Panel Frontal consta de un LCD matricial virtual y tres teclas. El LCD permite mostrar los resultados de la medición, de manera semejante a la pantalla de medición del equipo real. Cuando se ejecuta el programa dentro del entorno Labview debe presionarse la tecla “Medir” para que el programa se enlace vía RS232C – USB y comiencen a aparecer medidas en pantalla. Los mismos valores que aparecen en la pantalla de medición del LCD del equipo real son los que aparecerán en la pantalla del Panel Frontal. La tecla “Salir” detiene la ejecución del programa y abandona el entorno Labview y la tecla “Imprimir” permite imprimir el reporte de las medidas.

3.3.2 Diagrama de Bloques

El Diagrama de Bloques representa de manera gráfica el código del programa. El diseño del programa se basa en la ejecución cíclica de los siguientes módulos o etapas:

3.3.2.1 Limpia los buffers de entrada del Puerto Serial.

Este proceso se realiza para que en cada lectura de datos recibidos no se acumulen los de la lectura anterior y provoquen errores en la actual tal como se muestra en la Figura 3.21.

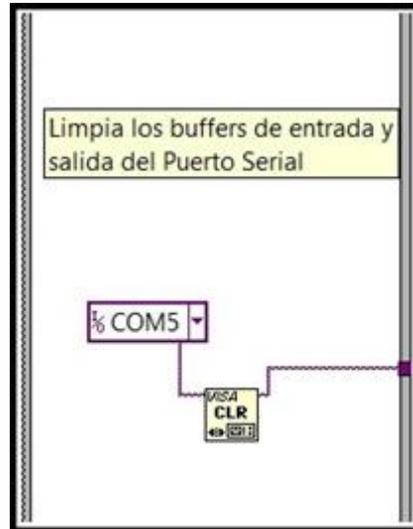


Figura 47 Proceso “Limpiar buffers del Puerto Serial”

Fuente: Autor

Este proceso se realiza utilizando la función “**VISA Clear**” que se incluye en la colección de funciones VISA de Labview. VISA es una colección de funciones especializada en manejar interfaces de comunicación, tales como RS232C, USB, GPIB; etc.

3.3.2.2 Configuración del puerto y lectura.

La configuración del puerto se realiza utilizando la función “**VISA Serial**” que se incluye en la colección de funciones VISA de Labview (figura 3.22). La lectura de datos se realiza utilizando la función “**VISA Read**” que se incluye en la colección de funciones VISA de Labview (Figura 3.23)

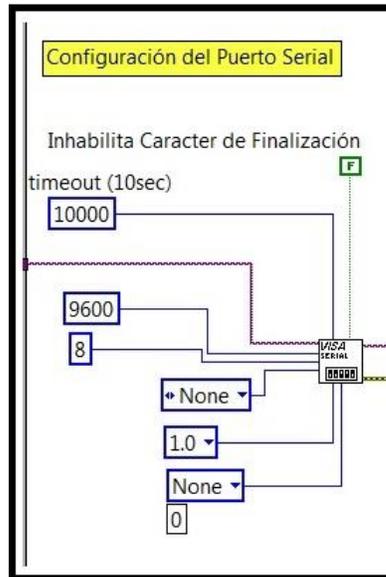


Figura 48 Configuración del Puerto Serial para el trabajo.

Fuente: Autor

Este proceso establece los parámetros de comunicación para el Puerto Serial en la PC (velocidad en Baudios, Número de Bits de la palabra de datos, control de paridad; etc.); estos parámetros deben coincidir exactamente con los establecidos para el Puerto Serial del Microcontrolador para que no se produzcan errores de comunicación. En el caso concreto de la computadora se está emulando un Puerto de tipo RS232C utilizando un convertidor RS232C – USB: la razón principal es que la mayoría de las computadoras modernas ya no incluyen puertos RS232C físicos. Aun así queda abierta la posibilidad de comunicarse con alguna que si lo tenga suprimiendo el convertidor RS232C – USB.

El segmento del código en el que se realiza la lectura de los valores de concentración se muestra en la Figura 3.23

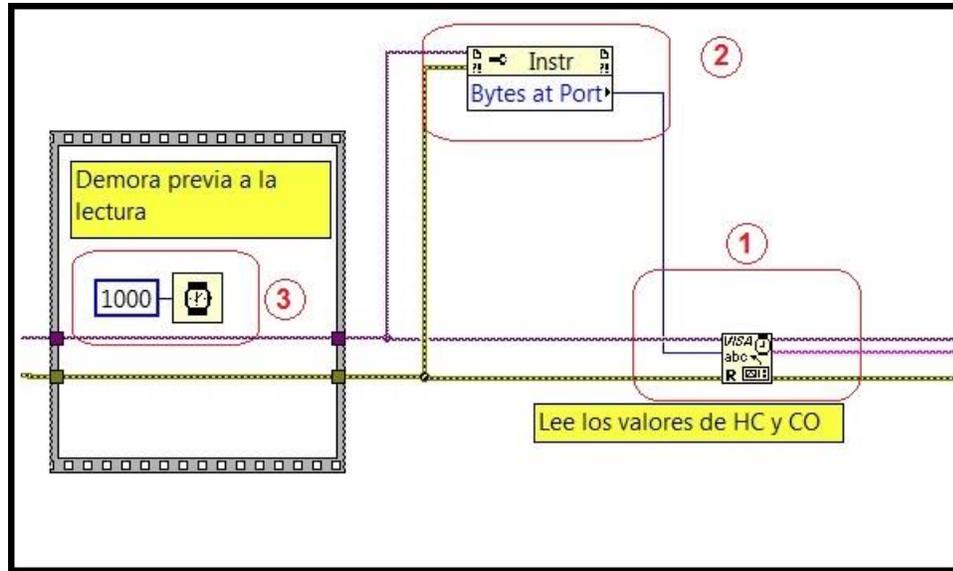


Figura 49 Proceso de Lectura de los Datos.

Fuente: Autor

Para la lectura se utiliza la función “VISA Read” (marcada como “1”). El número de datos que se han recibido en el puerto es detectado automáticamente por el Nodo de Propiedad “Bytes At Port” (marcado como “2”). Un Nodo de Propiedad es alguna sub-función de una función. En este caso es una sub-función de la función “VISA Read”. Previo a cada lectura se realiza una demora de sincronización de la lectura de 1 segundo (1000 milisegundos). La demora es generada por la función “Wait (ms)”, marcada como “3”.

3.3.2.3 Procesamiento del dato recibido y visualización

Este proceso separa los datos de CO, HC y otros que pudiera enviar el micro controlador para que puedan ser visualizados en la Pantalla LCD Virtual.

El dato enviado por el micro controlador es una cadena de caracteres ASCII que posee el siguiente formato:

```
*[HC_d5] [HC_d4] [HC_d3] [HC_d2] [HC_d1]/ [CO_d5] [CO_d4] [CO_d3]
[CO_d2] [CO_d1]
```

El procesamiento del dato recibido consiste en separar de la cadena de caracteres recibida los datos correspondientes a [HC] y a [CO]. Una vez separados los tramos de datos (para HC y CO) cada uno se concatena (o une) al resto de los caracteres que conformarán las líneas de visualización del dato de [HC] y [CO] en el LCD.

Por ejemplo el dato de [HC] se concatena con “**HC =**” <aquí va el dato de HC> “**ppm**”. De igual manera se hace para el dato de [CO]. En la Figura 3.24 se muestra el proceso sobre el dato recibido.

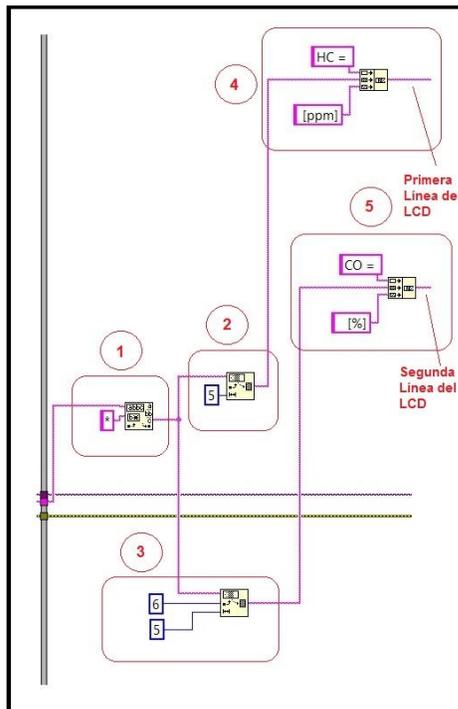


Figura 50 Procesamiento de Dato Recibido.

Fuente: Autor

El procesamiento del dato recibido se subdivide en las siguientes etapas:

- Búsqueda del carácter “*”. El asterisco marca el inicio de la trama de datos. Sirve para sincronizar la computadora con el Analizador en lo que a comunicaciones se refiere. La búsqueda del asterisco se realiza con la función “Match Pattern”.

- Separación de los datos de [HC] y [CO], respetivamente. Se separan de la cadena recibida los cinco dígitos del dato de [HC] y los cinco dígitos del dato de [CO]. Para hacerlo se utiliza la función “String Subset” en cada caso (para HC y CO).
- Concatenación de los datos de [HC] y [CO] con el resto de los caracteres de la pantalla de medición, respectivamente. Se unen los dígitos de HC y CO con el resto de los caracteres del cartel de medición. Para hacerlo se utiliza la función “Concatenate Strings” en cada caso (para HC y CO). A la salida de ambas funciones se obtienen los datos a mostrar en la primera y segunda línea del LCD respectivamente.

3.3.2.4 Visualización en el LCD Virtual.

En la Figura 3.25 se muestra el segmento de código mediante el cual se implementó el LCD virtual.

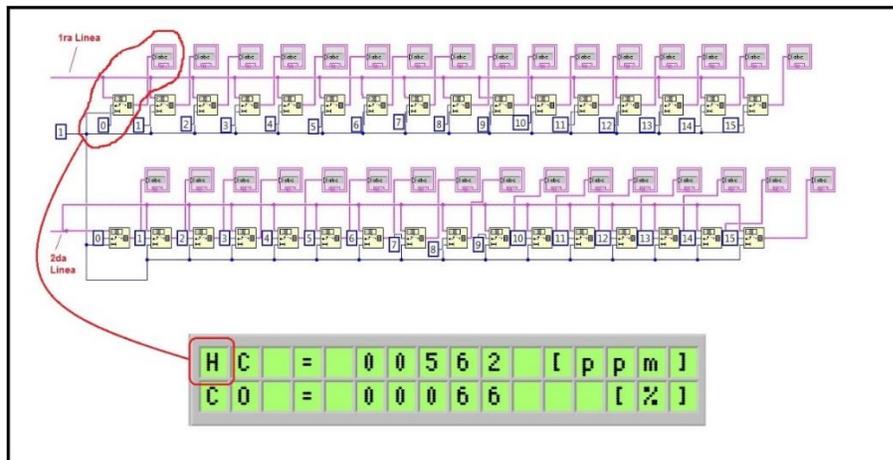


Figura 51 LCD virtual.

El manejo de los datos se realiza individualmente para cada matriz. En la figura 3.27 el segmento de código encerrado dentro de la frontera de línea roja irregular es el que controla la visualización en la matriz señalada debajo en el LCD. La visualización en cada matriz se realiza empleando para cada una, una función “String Subset” que extrae de las

cadena de caracteres de ingreso cada carácter a visualizar en la matriz. Según este diseño se manejará 32 funciones “String Subset”, una para cada matriz (el LCD es de 16 caracteres X 2 filas). El manejo individual de las matrices tiene como ventaja el poder manejar de manera individual desde el PC cada valor a visualizar en ellas si así se requiriere en otras versiones de firmware futuras.

Impresión del Panel Frontal. Para imprimir el Panel Frontal del Instrumento con los valores medidos se utiliza la función “Easy Print”, incluida en el Paquete de Funciones “Reports Generation VIs”. Esta función permite configurar de manera directa y muy completa el impresor activo instalado sobre el Sistema Operativo (en este caso Windows). También permite generar reportes de datos a Excel, Word o en formato HTML si se desea. En la Figura 3.26 se muestra el segmento de programas que permite imprimir el VI.

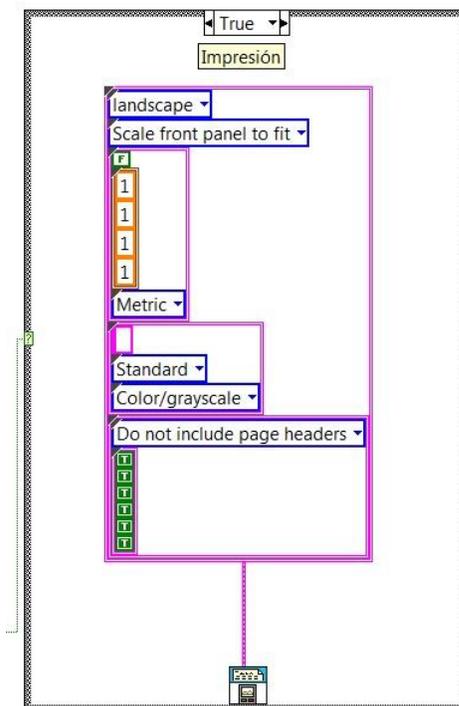


Figura 52 Segmento de impresión del VI.

Fuente: Autor

4 CAPÍTULO IV

Pruebas y Calibración

El **capítulo 4** documenta las pruebas de funcionamiento que se pueden realizar sobre el equipo, el manual operativo y un resumen de las especificaciones metrológicas del mismo. El manual operativo, explica de manera amigable los procesos en los que se basa el funcionamiento del equipo. Las especificaciones metrológicas del equipo se listan y se validan en función de las recomendaciones documentadas en las normas tomadas como referencia para el diseño del mismo.

Introducción

El analizador Apolo es un instrumento portátil que mide la concentración de Hidrocarburos y Monóxido de Carbono en la mezcla de gases de escape de vehículos operados a gasolina utilizando el principio de Espectrofotometría Infrarroja No Dispersiva (NDIR, por sus siglas en inglés).

El instrumento puede ser utilizado en talleres o centros de servicio y en estaciones de inspección de vehículos de motor, la fiabilidad de sus medidas dependerá del manejo adecuado del equipo y del cumplimiento de los procesos descritos en este capítulo. De los resultados del análisis de la medición se generan acciones correctivas sobre el funcionamiento del motor con el objeto de disminuir la emisión de gases contaminantes y el correcto funcionamiento del mismo.

4.1 Guía de Inicio Rápido del Equipo.

Cuando se enciende el analizador, debe estar en aire limpio para ponerlo a cero El equipo está diseñado para el uso a temperatura ambiente, en el rango 5°C a +40°C, y no debe ser utilizado fuera de este rango.

No inserte la sonda en el tubo de escape hasta después de la puesta a cero automática. Es preferible comenzar siempre en un medio de aire limpio y empezar a comprobar que la trampa de agua esté vacía y conectada en el sentido correcto, que no tenga ningún daño, asegurarse de la estanqueidad y evitar la presencia de fugas.

4.2 Encendido

Antes de iniciar el encendido del equipo:

1. Asegúrese que la sonda posee la punta descubierta, fuera del tubo de escape y que está expuesta al aire libre.
2. Compruebe que la Trampa de Agua esté vacía y asegúrese de la estanqueidad de la conexión de la manguera para evitar fugas durante el posterior proceso de medida.

4.2.1 Proceso de encendido y calentamiento:

Accione el interruptor marcado como [ON/OFF] colocado en el panel posterior del equipo. El equipo realizará la exhibición en secuencia de las pantallas introductorias que se muestran en la Figura 4.1.

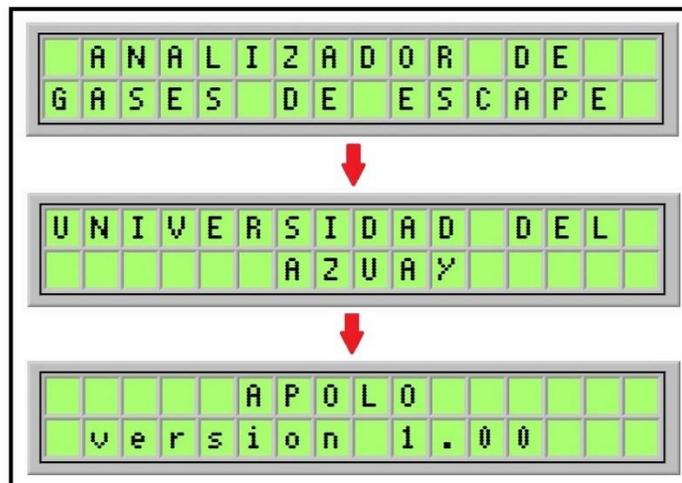


Figura 53 Secuencia de Pantallas Introductorias

Fuente: Autor

Al finalizar la secuencia introductoria se iniciará el proceso de calentamiento (Figura 4.2) que dura alrededor de 10 minutos. Durante el proceso de calentamiento se encienden las bombas y se drena aire puro desde el ambiente a través de la línea conectada al filtro de ajuste a cero.



Figura 54 Pantalla de calentamiento.

Fuente: Autor

El proceso de encendido termina con la exhibición de la pantalla del Menú Principal

4.3 Descripción del Menú Principal

En la pantalla del Menú Principal (Figura 4.3) se muestran tres funciones: [R]egistrar, Puesta a [C]ero y [M]edir. Para desplazarse entre funciones el usuario debe utilizar la tecla UP/SEL (el cursor del LCD se desplazará). Para aceptar la función señalada por el cursor debe pulsarse la tecla ENTER.

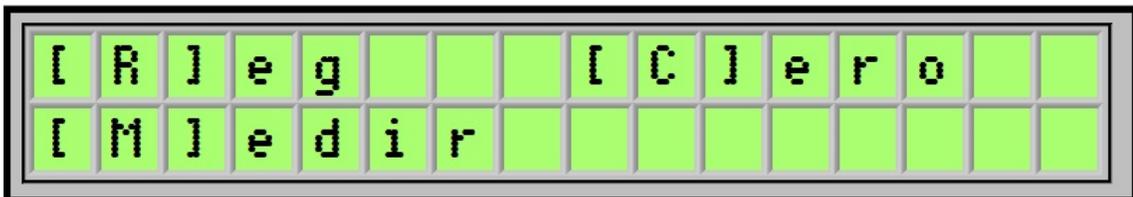


Figura 55 Pantalla del Menú Principal.

Fuente: Autor

Desde el Menú Principal pueden ser operadas todas las funciones del equipo utilizando cuatro teclas: **UP/SEL**, **DWN**, **ENTER** y **ESC**. En la Tabla 4.1 se muestran las funciones de las teclas del equipo.

Tabla 2.8 Funciones del teclado

Tecla	Función
UP/SEL	Sirve para aumentar un valor o seleccionar una opción de menú
DWN	Sirve para disminuir un valor
ENTER	Sirve para aceptar un valor: opción operativa del equipo o el carro que ha sido seleccionado.
ESC	Abandonar un menú o cancelar un proceso.

Fuente: Autor

4.3.1 Funciones del equipo

4.3.1.1 Registrar

La opción Registrar permite ingresar los datos del vehículo que va a ser analizado. Se podrá almacenar la marca el modelo y el año. Con las teclas UP / DWN se puede seleccionar un vehículo desde una lista de fabricantes y modelos. Una vez seleccionado el vehículo se puede modificar el año presionando ENTER. Al presionar ENTER aparecerá un asterisco debajo del campo del año, indicando que es posible modificarlo con las teclas UP / DWN (Figura 4.4). Una vez que el año es modificado presionando la tecla ENTER nuevamente se vuelve a la lista de selección de vehículos. Para abandonar la lista de selección de vehículos debe presionarse ESC.

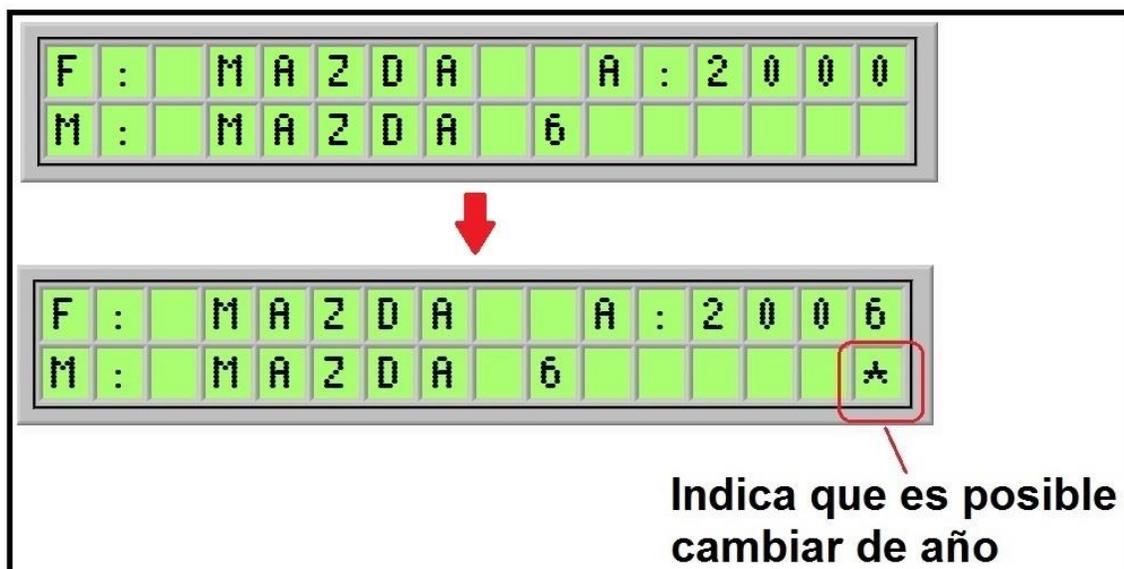


Figura 56 Secuencia de pantallas de registrar vehículo

4.3.1.2 Puesta a Cero

La opción Puesta a Cero hace circular aire puro a través del circuito neumático del equipo durante 20 segundos con el objetivo de limpiar el Banco IR antes de medir.

Al finalizar el ajuste a cero debe visualizarse en la pantalla una medida de CERO para ambas variables: HC y CO (Figura 4.5).

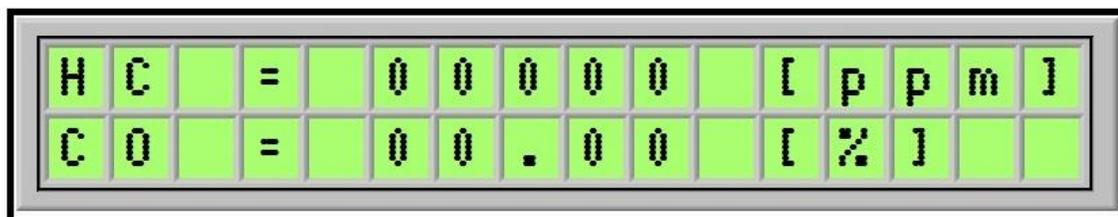


Figura 57 Pantalla de resultado de Puesta a Cero

Fuente: Autor

Se aconseja realizar el ajuste a cero cada vez que se cambie del vehículo a medir. Debe aclararse que el proceso de ajuste a cero no es una calibración, dado que las condiciones de aire ambiental pudieran variar en cada caso.

Medir o Calibrar

Esta opción permite medir una mezcla objeto o calibrar el equipo a partir de una mezcla patrón.

Para medir debe taparse la toma de calibración para así obtener valores de concentración para HC y CO cuando se aspira la mezcla de gases desde el escape a través de la Sonda colocada en el escape.

Para calibrar debe taparse la Sonda con un capuchón de caucho y conectar la toma de calibración a la boquilla del cilindro que contiene la mezcla de gases patrón. En este caso se deben obtener valores de concentración para HC y CO que no difieran en más de un 10 % del valor etiquetado en el cilindro.

4.3.1.3 Especificaciones del equipo

Tomando como base la recomendación de la normativa OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) R 99 ISO 3930, y los requisitos que exige la Norma UNE 82501:2004, el resultado del diseño y construcción del equipo Analizador Apolo se detalla en la Tabla 4.2 en la cual indica las especificaciones del Instrumento.

Tabla 2.9 Especificaciones Del Equipo Analizador Apolo.

Especificaciones Del Equipo Analizador De Gases De Escape		
Rangos de Medición y Resoluciones		
Variable	Rango De Medición	Resolución
CO	0,00-10,00 % Vol.	0,01 % Vol.

HC	0-8000 ppm Vol.	1 ppm Vol.
Errores en las Mediciones		
Variable	Error Relativo	Error Absoluto
CO	+/- 10%	+/- 0,2%
HC	+/- 10%	+/- 30 ppm
Otras especificaciones del equipo		
Tiempo De Respuesta a la medida		10 - 15 Segundos
Tiempo De Calentamiento		10 Minutos
Intervalo De Temperatura De Trabajo		5 - 40 °C
Dimensiones		260 x 180 x 360 mm
Peso		5.5kg
Alimentación		110 / 220 Volt (50 – 60 Hz).
Pantalla		De tinta líquida (LCD) con luz de fondo verde
Teclado		Lineal de 4 teclas
Comunicación		USB
Especificaciones de la sonda		
Longitud De Inserción en el escape		400mm
Construcción y materiales		Mango ergonómico, tipo pistola con vástago de

	acero inoxidable, trampa de agua y filtro incorporados
Longitud de la Manguera	1500 mm

Fuente: Autor

4.4 Mantenimiento

Para una mejor conservación del equipo, se recomienda limpiar periódicamente la unidad con un trapo ligeramente húmedo, para evitar la acumulación de suciedad en el panel de visualización y en el teclado.

4.5 Trampa de agua

El filtro y trampa de agua combinados se encuentran en línea, entre la sonda y la unidad, antes de realizar cualquier prueba, compruebe que el filtro esté limpio y que no haya agua dentro de la trampa.

4.5.1 Filtros

Se deben cambiar los elementos filtrantes si están contaminados o sucios. Si el filtro se ha mojado con agua, quítelo de la trampa y déjelo secar antes de volver a utilizarlo, verifique que el empaque redondo quede en su lugar, para cambiar el filtro, desenrosque el alojamiento, quite el filtro viejo y reemplácelo, en cambio para vaciar la trampa de agua, desenrosque el alojamiento del filtro, quite el tapón y vacíe. Vuelva a poner el tapón después de vaciar.

4.6 Medidas de Seguridad Durante El Uso.

- **Mantener el área de trabajo bien ventilada** dado que los gases de escape contienen componentes tóxicos tales como el CO - HC que pueden provocar enfermedades pulmonares y conducir a la asfixia si estos gases son excesivamente inhalados, además las mediciones realizadas en lugares cerrados acortan la vida útil de los componentes del equipo, obteniendo como resultado un margen de error mayor en las mediciones.
- **Accionar el freno de mano en el vehículo** antes de arrancar el motor para realizar las mediciones. Ponga la palanca de cambios en la posición neutral.
- **Alejar cables de las superficies calientes.** Cuando se lleva a cabo pruebas de medición de gases de escape, la temperatura será la normal de funcionamiento del vehículo, por lo tanto mantener los cables eléctricos distanciados del tubo de escape, radiador, etc.
- **Utilizar protección acústica para los oídos.** Cuando se prueba el motor del vehículo en marcha a un régimen alto, el ruido probablemente alcanzaría 70 dB o más, en exposiciones prolongadas esto puede causar daños a la audición.
- **Mantener el instrumento alejado de agua, disolvente químico, benceno o gasolina.** Estos líquidos pueden provocar un mal funcionamiento u otros accidentes.
- **Cortar el suministro eléctrico** si el instrumento no se utiliza durante mucho tiempo se debe evitar la luz solar directa y la humedad.

4.7 Homologación del Equipo

4.7.1 Proceso de Homologación.

En esta sección se detallan los requerimientos que se siguieron en el diseño del equipo para que este pudiera considerarse homologado con cualquier analizador de gases a gasolina.

Para el diseño homologado del analizador Apolo se seleccionaron dos documentos de referencia: la norma UNE 82501:2004 que define los requisitos para los instrumentos de medida destinados a medir las emisiones de los gases de escape de vehículos a motor con encendido por chispa y la recomendación de la normativa OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) R 99 ISO 3930. Además se utilizó un equipo de referencia modelo Emission Analyzer 680 de Crypton Technology utilizado en talleres autorizados para el Control de Revisión Técnica Vehicular con el objetivo de realizar pruebas de medición, calibración etc.

4.7.2 Requerimientos Técnicos

A continuación se resumen las especificaciones técnicas que recomienda la norma UNE 82501:2004 para que un analizador sea homologable:

- Los materiales de los componentes del sistema de manipulación de los gases deben ser resistentes a la corrosión y no deben afectar a la composición del gas de muestra. En el analizador Apolo todas las partes que están en contacto con agentes corrosivos son de Acero Inoxidable, por lo tanto cumple con los requisitos que señala la norma UNE 82501:2004.
- El material de la sonda de muestreo deberá soportar la temperatura del gas de escape. La sonda del analizador cumple al 100% con la normativa debido que está

fabricada de acero inoxidable, por lo tanto soporta las altas temperaturas que se pudieran alcanzar en el escape.

- El Circuito Neumático por el que circula la mezcla de gases a analizar deberá contener una unidad de filtro con elementos reutilizables o reemplazables capaces de eliminar las partículas mayores de 5 micrómetros de diámetro. El analizador posee tres filtros: un Filtro de Sonda que está metido dentro de la empuñadura de la Sonda, un Filtro de Polvo colocado después de la Trampa de Agua de entrada y un Filtro de Partículas colocado antes de la toma de ingreso del Banco IR (consultar sección: “Diagrama de Bloques del Equipo”) el uso de estos distintos filtros permiten cumplir al 100% con los requerimientos que exige la norma.
- Será posible observar el grado de contaminación de un filtro sin su eliminación, y de ser necesario sustituir este filtro de manera fácil sin necesidad de herramientas especiales
- El sistema de manipulación de gas debe contar con un separador de agua para que evite la condensación, en el caso de saturación del separador de agua, se podrá drenar de forma automática o la medición se detiene automáticamente. Para el cumplimiento de la norma y la homologación del equipo se ha instalado una trampa de agua en la entrada de gases luego de la sonda. (Figura 4.6).



Figura 58 Filtro de aire y Trampa de agua

Fuente: http://es.made-in-china.com/co_nbsono5/image_Air-Filter-TF2000-02-01_eysrgueug_vjeEKJTBLlcH.html consultado 15 de mayo de 2014

- El instrumento debe contar con un dispositivo que permita la puesta a cero, el dispositivo puede ser manual, semiautomático o automático. El analizador posee puesta a cero semiautomática: el usuario puede ejecutar el proceso de puesta a cero en el equipo
- El instrumento puede estar equipado con una interfaz de acoplamiento que permite a cualquier dispositivo periférico u otro instrumento conectarse. El analizador puede conectarse a una computadora utilizando interface USB.

4.7.3 Requerimientos Metrológicos

A continuación se resumen las especificaciones metrológicas que recomienda la norma UNE 82501:2004 y que cumple el analizador Apolo en su diseño:

- **Indicación del Resultado de la Medición.** Las concentraciones de los componentes de la mezcla de escape se deben expresar en porcentaje (% de volumen) para el CO y en partes por millón en volumen (ppm) para el HC. El formato de rotulación para las unidades mencionadas se pueden asignar libremente. En el caso del analizador Apolo se siguen los formatos [CO] = XX.XX % para mostrar la concentración de CO y [HC] = YYYY ppm para mostrar la concentración de CO y HC respectivamente.
- Los Rangos de Medición mínimos para los Analizadores de Gases se resumen en la Tabla 4.3

Tabla 2.10 Comparativo de Rangos de Medida entre la norma y el analizador Apolo.

Clase del Analizador según la norma	Rango de [CO] según la norma (%)	Rango de [CO] del analizador Apolo (%)	Rango de [HC] según la norma (ppm)	Rango de [HC] del analizador Apolo (ppm)
0 y I	0 a 5	0 a 10	0 a 2000	0 a 8000
II	0 a 7		0 a 2000	

Fuente: Autor

- **Resolución de los valores mostrados.** Las cifras de los indicadores digitales deben ser al menos de 5 mm de altura. La última cifra significativa de la pantalla debe presentar una resolución igual o mejor en un orden de magnitud a los valores que se resumen en la Tabla 4.4.

Tabla 2.11 Comparativo de Resoluciones entre la norma y el analizador Apolo

Clase del Analizador según la norma	Resolución Mínima según Norma y Resolución del Analizador			
	Resolución de [CO] según la norma (%)	Resolución de [CO] del analizador Apolo (%)	Resolución de [HC] según la norma (ppm)	Resolución de [HC] del analizador Apolo (ppm)
0 y I	0,01 para valores indicados entre 0 y 10 %	0,01 en todo el rango de medición: 0 a 10 %	1	1
II	0,05		5	

Fuente: Autor

Los errores máximos permitidos. En la Ttabla 4.5 se muestra un comparativo entre los valores máximos permitidos según la norma OIMLR99-1&2 y los que se logran en el analizador Apolo.

Tabla 2.12 Comparativo de Errores Máximos entre la Norma y el analizador Apolo.

Clase	Tipo De Error De Indicacion	Error Máximo Permitido [CO] Según La Norma	Error Máximo [CO] Analizador Apolo	Error Máximo Permitido [HC] Según La Norma	Error Máximo [HC] Analizador Apolo
0	Absoluto	$\pm 0,03\%$ Vol	Error Absoluto $\pm 0,2\%$ Vol. Error Relativo $\pm 10\%$	± 10 ppm Vol	Error Absoluto ± 30 Ppm Vol. Error Relativo $\pm 10\%$
	Relativo	$\pm 5\%$		$\pm 5\%$	
I	Absoluto	$\pm 0,06\%$ Vol		± 12 ppm Vol	
	Relativo	$\pm 5\%$		$\pm 5\%$	
II	Absoluto	$\pm 0,2\%$ Vol		± 30 ppm Vol	
	Relativo	$\pm 10\%$		$\pm 10\%$	

Fuente: Autor

- **Tiempo de respuesta.** Para medir el CO y HC, el instrumento deberá indicar la respuesta en la pantalla en un tiempo máximo de 15 segundos.

- **Tiempo de calentamiento.** El tiempo de calentamiento tiene una duración de 10 minutos, durante este proceso se encienden las bombas y la válvula, en este lapso de tiempo el equipo no podrá medir por lo tanto no se visualizara valores de concentración en la pantalla.

4.8 Pruebas Funcionales De Medición

4.8.1 Requisitos Funcionales Para realizar La Medición De Concentraciones.

Para realizar las pruebas funcionales en la medición se tomó como referencia la norma INEN 2203. Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos.

La norma indica que para realizar las pruebas de medida deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque fugas de los mismos. Si el vehículo no cumple con las condiciones, no se deben realizar las mediciones hasta que se corrijan aquellos desperfectos.
- Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática),
- Revisar que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.
- El motor de combustión del vehículo debe alcanzar la temperatura normal de funcionamiento
- El equipo analizador de gases y demás accesorios deben estar aptos para iniciar las pruebas. Se debe haber superado exitosamente el proceso de calentamiento del equipo, ajuste a cero y de ser necesario el de calibración.

- Se debe garantizar la correcta conexión de la tubería y mantener la estanqueidad al aire, la Sonda de muestreo debe ser insertada en el tubo de escape del vehículo lo más profundo posible. La profundidad de inserción NO debe ser inferior a 400 mm. Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.
- Los resultados de la medición de los gases de escape deben analizarse y considerarse en armonía con la medición de rpm y temperatura de aceite.

4.8.2 Registro de pruebas de medida realizadas.

4.8.2.1 Prueba de Exactitud.

Estas pruebas puntuales son realizadas con el analizador Apolo contra un equipo de referencia modelo Emission Analyzer 680 de CRYPTON TECHNOLOGY utilizado en talleres autorizados para el Control de Revisión Técnica Vehicular mediante un proceso ininterrumpido y documentado de comparaciones en las medidas.

Para obtener las medidas se ha cumplido con las normas y requisitos descritos en la sección anterior con el objetivo de alcanzar, mantener y comprobar el correcto funcionamiento del analizador Apolo y de esta forma garantizar la fiabilidad de sus medidas. En la Tabla 4.6 se muestra los resultados obtenidos de las muestras tomadas con ambos equipos. Los resultados indican que se ha obtenido una exactitud ubicada dentro del rango esperado y por lo tanto se garantiza un error absoluto menor a 10 % para ambas variables.

Tabla 2.13 Registro de mediciones para análisis de exactitud.

Vehículos Analizados		Apolo		Equipo Referencia	
		CO %Vol.	HC ppm Vol.	CO %Vol.	HC ppm Vol.
Marca	Chevrolet	0,33	50	37	55
Modelo	Grand Vitara				
Año	2008				
Marca	Nissan	0,53	99	49	105
Modelo	Xtrail				
Año	2005				
Marca	Toyota	0,88	134	0,85	129
Modelo	Prado				
Año	2002				

Fuente: Autor

4.8.2.2 Pruebas de Repetitividad.

En las tablas 4.7 y 4.8 se muestran los valores obtenidos para las concentraciones de CO y HC como resultado de 5 mediciones consecutivas llevadas a cabo por la misma persona,

en las mismas condiciones, con el mismo instrumento y dentro de intervalos de tiempo muy pequeños. Como se puede apreciar, la desviación estándar experimental no fue mayor a los errores máximos permisibles correspondientes a la Tabla 4.5

Tabla 2.14 Registro de mediciones para análisis de repetitividad.

Equipo	Marca	Modelo	Año
Analizador Apolo	Chevrolet	Grand Vitara	2008
	Elementos Analizados		
Pruebas	CO %Vol.	HC ppm Vol.	
1	0.32	55	
2	0.28	62	
3	0.33	50	
4	0.30	53	
5	0.35	58	

Fuente: Autor

Tabla 2.15 Registro de mediciones para análisis de repetitividad.

Equipo Analizador Apolo	Marca	Modelo	Año
	Nissan	X-trail	2005
Elementos Analizados			
Pruebas	CO %Vol.		HC ppm Vol.
1	0.5		98
2	0.45		105
3	0.53		94
4	0.55		102
5	0.49		97

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- La medida automática de las concentraciones de los componentes en los gases de escape facilita el diagnóstico de motores, la toma de decisiones sobre mantenimientos correctivos y su trazabilidad a través del registro de datos.
- Dependiendo de la calidad de los elementos que conforman el equipo analizador y al cumplimiento de las normativas para el diseño, el resultado de las lecturas de las mediciones pueden ser de baja o alta exactitud, como también con baja o alta precisión, para lo cual es necesario la calibración y el ajuste del equipo para garantizar la fiabilidad de los resultados; Durante las pruebas realizadas con el equipo analizador Apolo y el de Referencia nos permitieron identificar y comparar si los valores obtenidos en las mediciones son correctos, los cuales luego del análisis se determinó que el analizador Apolo cumple con los márgenes de error establecidos y está dentro de los parámetros que exige la norma UNE 82501:2004.
- El diseño y construcción del analizador Apolo está basado en Normas Nacionales e Internacionales, el cual permite medir las concentraciones de Monóxido de Carbono e Hidrocarburos con un margen de error máximo de +/- 10% aceptado por las norma OIMLR99-1&2 que define las especificaciones metrológicas para este tipo de equipos. obteniendo mediciones de alto grado de confiabilidad, con la aplicación de registros y protocolos descritos en los capítulos anteriores, es factible implementar el mantenimiento correctivo, con lo cual permitirá alargar la vida útil del equipo.

- Debido al alto costo que representa la adquisición de las bombonas de gas patrón, no fue posible la calibración práctica de la guía del analizador, pero cabe recalcar que el equipo está diseñado y tiene el acople para la conexión con las bombonas.

RECOMENDACIONES

Tomando como base los resultados obtenidos para esta primera versión del analizador de gases Apolo se consideran las siguientes recomendaciones:

Generales

- Realizar la validación metrológica del equipo en esta su primera versión. Hasta este momento se ha realizado una validación funcional basada en la homologación y sobre pocas medidas.

Para el hardware:

- Utilizar una Pantalla Gráfica

Para el firmware:

- Independizar el proceso de calibración del proceso de medición, Implementar sistema de detección automática de estanquidad del circuito neumático.
- Automatizar la medición de temperatura y r.p.m.

Para el software de la PC:

- Implementar el manejo de bases de datos y mejores reportes de impresión
- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico preventivo al analizador Apolo luego de 25 mediciones, en el cual incluya realizar el cambio de los respectivos filtros, limpieza del sistema, purga etc.. De manera que se obtenga la mayor efectividad posible en la calibración y por consiguiente en la obtención de los resultados de las mediciones.

BIBLIOGRAFIA

BOSCH, R. (2005) *Manual de la Técnica del Automóvil: Legislación sobre Gases de Escape y Diagnostico*. 4ª ed. Alemania.

BOSCH, R. (2005) *Manual de la Técnica del Automóvil: Mando de los Motores Otto*. 4ª ed. Alemania.

BOSCH, R. (2003). *Técnica de Gases de Escape para Motores de Gasolina*. 2ª ed. Alemania.

BOHNER, M. GERSCHLER, H. *Tecnología del Automóvil: La Combustión en los Motores de Gasolina*. 20ª ed. Alemania.

SBARATO, D. SBARATO, V. *Contaminación del Aire*. Argentina.

EUGEN, D. (1990) *Modern Optical Methods of Analysis*. New York

SILVA, M.C, GARCÍA, M.J (2006), *Técnica Especialista en Laboratorio de Atención: Espectrofotometría de absorción*. Voll. España

SKOOG. D. LEARY. J (1996), *Análisis Instrumental*

SIERRA. I. PÉREZ D. GÓMEZ. S. MORANTE. S, (2010) *Análisis Instrumenta: Aplicaciones de la Ley de Lambert – Beer*. Vol. 1. España

PÉREZ, C. (1996). *Sensores Ópticos*. España

GAGO. A, FRAILE J. (2012). *Iluminación con Tecnología Led*. España

FEIJOO M, REYES B. (2010). *Diseño y Construcción de un monitor de tres Parámetros Fisiológicos*. (Tesis Inédita de Ingeniería) Universidad del Azuay, Cuenca.

LASSO D, LEÓN C. (2013). *Diseño e Implementación de una red de módulos de adquisición de datos y control multifunción, basados en microcontrolador*. (tesis Inédita de Ingeniería). Universidad del Azuay. Cuenca.

ANGULO J, ROMERO S, ANGULO I, (2006). Microcontroladores Pic. Vol.2. España.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. NTE INEN2204:2002, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de Gasolina. Quito. Ecuador.2002.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. NTE INEN2203:2000, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o “Ralenti” Prueba. Quito. Ecuador.2000.

MOLINA, J.M, Jiménez, M. (2010) Programación Grafica Para Ingenieros:Entorno de Programación Labview. 1^{era} ed. España.

LAJARA, J. R, PELEGRI, J (2011). *Labview Entorno Grafico de Programación*. 2^{da}ed.Espana.

BITTER, R. MOHIUDDIN, T. NAWROCKI, M.(2007) *Labview Advanced Programming Techniques*. 2^{da}ed. U.S.

PRAT L, Calderes J. (2006): *Dispositivos Electrónicos y Fotonicos Fundamentos: Diodos Electroluminiscentes*.2^{da} ed. España.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norma Internacional ISO/IEC 17025. *Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*.2^{da} ed. Suiza.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. OIMLR99-1 &2. *Instruments for measuring vehicle exhaust emissions. Metrological and technical requirements*. Metrological controls and performance tests. 2008ed.

RAMOS, E. (2012). *Principios De Mediciones Mecánicas, Instrumentación, Teoría Y Diseño*. QUITO.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. OIMLR99-1 & 2. Instruments for measuring vehicle exhaust emissions. Metrological and technical requirements. Metrological controls and performance tests. 2008ed.

DOGAN, Ibrahim. *Advanced PIC Microcontroller. Projects in C: From USB to RTOS with the PIC18F Series*; Ed Elsevier Ltd. 2008.

UNIVERSAL SERIAL BUS SPECIFICATION. COMPAQ, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Philips; Revision 2.0, April 27, 2000.

PICMICRO® 18C MCU Family Reference Manual. Microchip Technology Inc. 2004

CASANOVA, ALEJANDRO. Tutorial MPLAB C18. Reconocimiento editorial para uso libre.

PÉREZ L. (2010). *Anotaciones de Catedra. Microcontroladores I*. Universidad del Azuay. Cuenca.

Referencias Electrónicas

ARANGO. (2013), Biblioteca Virtual. Funcionamiento Del Motor De Combustión Interna: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm> [Revisado el 25 de Enero de 2014].

MEGANEB0Y. (2014), Aficionados A La Mecánica. Sistemas Anticontaminación: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm> [Revisado el 25 de Enero de 2014].

BARROSO ARES F. (1998) Información Técnica De Electromecánica. Análisis De Los Gases De Escape En Vehículos De Gasolina Catalizados: http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1036430 [Revidado el 25 de Enero 2014].

CHOU. (2000)Guía Para Monitorear Gases Peligrosos. Tipos de Sensores: <http://www.atsintech.com/tablas/ISTBook.pdf> [Revisado el 27 de Enero 2014].

LUBRIZOL. ACEA. Estándares de Emisión de la Unión Europea. <http://espanol.lubrizol.com/EngineOilAdditives/ACEA/ReferenceMaterial/EuropeanUnionEmissionsStandards.html>. [Revisado el 1 de Febrero 2014].

EPA. United States Environmental Protection Agency. Testing and Measuring Emissions. <http://www.epa.gov/otaq/emisslab/testing/dynamometer.htm#vehshift> [Revisado el 1 de Febrero 2014].

AUTOBLOG. Tecnología. Por qué es tan difícil alcanzar los consumos homologados, como se miden <http://es.autoblog.com/2013/02/14/por-que-es-tan-dificil-alcanzar-los-consumos-homologados-como/> [Revisado el 1 de Febrero de 2014].

WEB ACADÉMICA. Nuevo Ciclo de Conducción Europeo<Mediciones, Procedimiento de Ensayo. http://centrodeartigos.com/articulos-utiles/article_123236.html [Revisado el 1 de Febrero de 2014].

Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio Para lima y Callao. Ciclos de Manejo.

<http://www.airelimpio.org.pe/pdf/Estudio%20LMPs%20para%20Vehiculos%20-%20Anexo%20I.pdf> [Revisado el 1 de Febrero de 2014].

NINGBO SONO MANUFACTURING CO., LTD. Stnc Filtro De Aire Tf2000-02
http://es.made-in-china.com/co_nbsono5/image_Air-Filter-TF2000-02-01_eysrgueug_vjeEKJTBLlcH.html [Revisado el 15 de Mayo de 2014].

GUÍA DE INICIACIÓN EN LABVIEW 7.1 Paletas de Funciones y Controladores/Indicadores.
http://www.inele.ufro.cl/apuntes/LabView/Sesiones_Oficial_pdf/Guia_de_Iniciacion_en_LabVIEW.pdf [Revisado 5 Febrero 2014].

INSTRUMENTACIÓN AVANZADA. Programación Virtual con Labview.
http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/opt_archivos/ENTORNO.pdf [Revisado el 5 de febrero 2014].

INTRODUCCIÓN AL LABVIEW. National Instruments.
ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Instrumentacion/BK-ANGEL/10_LabVIEW/Introducci%F3n.PDF [Revisado 5 febrero 2014].

UPS. Lenguaje Grafico de Labview.
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/156/3/Capitulo%202.pdf> [Revisado el 5 febrero 2014].

DIODOS EMISORES DE LUZ LED:
http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/OPTOPDF2_archivos/UNIDAD2TEMA7.PDF [Revisado el 27 Enero 2014].

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA
http://www.cem.es/cem/metrologia/glosario_de_terminos?term_node_tid_depth_1=2_2. [Revisado el 15 de Enero de 2015].

MAFLA ALVEAR. ORTIZ GUACHAMIN, M. (2007). Metodología para certificar la calibración de analizadores de gases y opacímetros. (Tesis de Ingeniería, escuela Politécnica Nacional). Recuperado de [http:// 1 - Repositorio Digital EPN - Escuela Politécnica Nacional bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/515/1/CD-1034.pdf](http://1-Repository-Digital-EPN-Escuela-Politcnica-Nacional-bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/515/1/CD-1034.pdf) [Revisado 12 de Diciembre de 2014].

SANTAELLA ORTIZ, J. (2010). Analizador de Gases para vehículos de gasolina. (Tesis de Ingeniería, Universitat Rovira I Virgili).Recuperado de [Analizador de Gases para Vehículos de Gasolina deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1520pub.pdf](http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1520pub.pdf) [Revisado el 34 de Marzo de 2014].

ALL DATA SHEET.COM, NDIR Datasheet (PDF) - Gilway Technical Lamp 20. Visible/IR Lamps for. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/124999/GILWAY/NDIR.html> [Revisado el 23 de Marzo de 2014].

[CRYPTON IN TUNE WITH THE FUTURE 680 Emission Analyser Service Manual](#) [consultado el 27 enero de 2014].

ANEXOS

1GLOSARIO DE TERMINOS

Calibración

Es la comparación entre los valores que indica un instrumento, y los que debería indicar un patrón de referencia con un valor verdadero y conocido, lo cual se realiza mediante un procedimiento ininterrumpido y documentado de comparaciones hasta llegar al patrón primario. El objetivo es alcanzar, mantener y verificar el correcto funcionamiento del equipo, respondiendo y cumpliendo con las normas de calidad establecidas, para garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

La calibración permite identificar y comparar si los valores obtenidos de una medición son correctos a través de un patrón de referencia reconocido y trazable a patrones nacionales mantenidos por el centro nacional de metrología.

Patrón

Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia.

1. Un conjunto de medidas materializadas o de instrumentos de medida similares que, utilizados conjuntamente, constituyen un patrón, se denomina patrón colectivo.
2. Un conjunto de patrones de valores elegidos que, individualmente o por combinación, proporcionen una serie de valores de magnitudes de la misma naturaleza se denomina serie de patrones.

Patrón Primario

Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

Patrón secundario

Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

Patrón de referencia

Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

Material de referencia (MR)

Material o sustancia en la cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y están bien definidos para permitir utilizarlos: para la calibración de un instrumento, la evaluación de un método de medición, o la asignación de valores a los materiales.

Cabe señalar que un material de referencia puede presentarse bajo la forma de un gas, un líquido o un sólido, puro o compuesto.

**Material de referencia certificada
(MRC)**

Material de referencia, acompañado de un certificado, en el cual uno o más valores de sus propiedades están certificados por un procedimiento que establece su trazabilidad con una realización exacta de la unidad en la que se expresan los valores de la propiedad y para la cual cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con la indicación de un nivel de confianza.

Trazabilidad

La trazabilidad es un proceso donde los valores resultantes obtenidos por el instrumento de medición pueden ser comparados en una o varias etapas, con un patrón nacional para el mensurando en cuestión.

Exactitud, inexactitud e incertidumbre

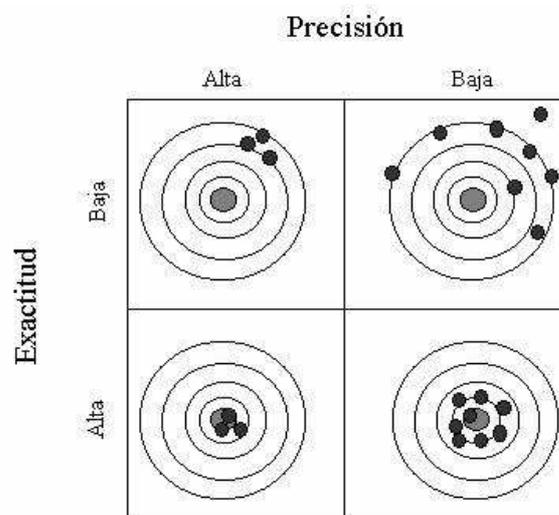
La exactitud cuantifica el grado de corrección de una medición, se utiliza para cuantificar el error máximo que puede existir en una medición. Una medición con exactitud elevada tendrá un error muy pequeño, mientras que una medición con exactitud baja tendrá un error considerable.

La frase incertidumbre de la medición se utiliza algunas veces en lugar de inexactitud y significa lo mismo. La exactitud se señala como un porcentaje de la lectura de máxima escala, pero, si la cifra se indica como un porcentaje pequeño, entonces se refiere a la inexactitud.

Precisión, Respetabilidad y Reproducibilidad

La precisión es un término que describe un grado de libertad del instrumento a partir de variaciones aleatorias en su salida al medir una cantidad constante. Si varias lecturas de la misma cantidad se toman con un instrumento de alta precisión, entonces la dispersión de las lecturas será pequeña.

Una precisión elevada no tiene implicación alguna sobre la exactitud de medición pues un instrumento de gran precisión puede tener una baja exactitud. Las mediciones de baja exactitud obtenidas con instrumentos de alta precisión son generalmente resultado de la polarización de las mediciones, lo cual se elimina por medio de la recalibración.



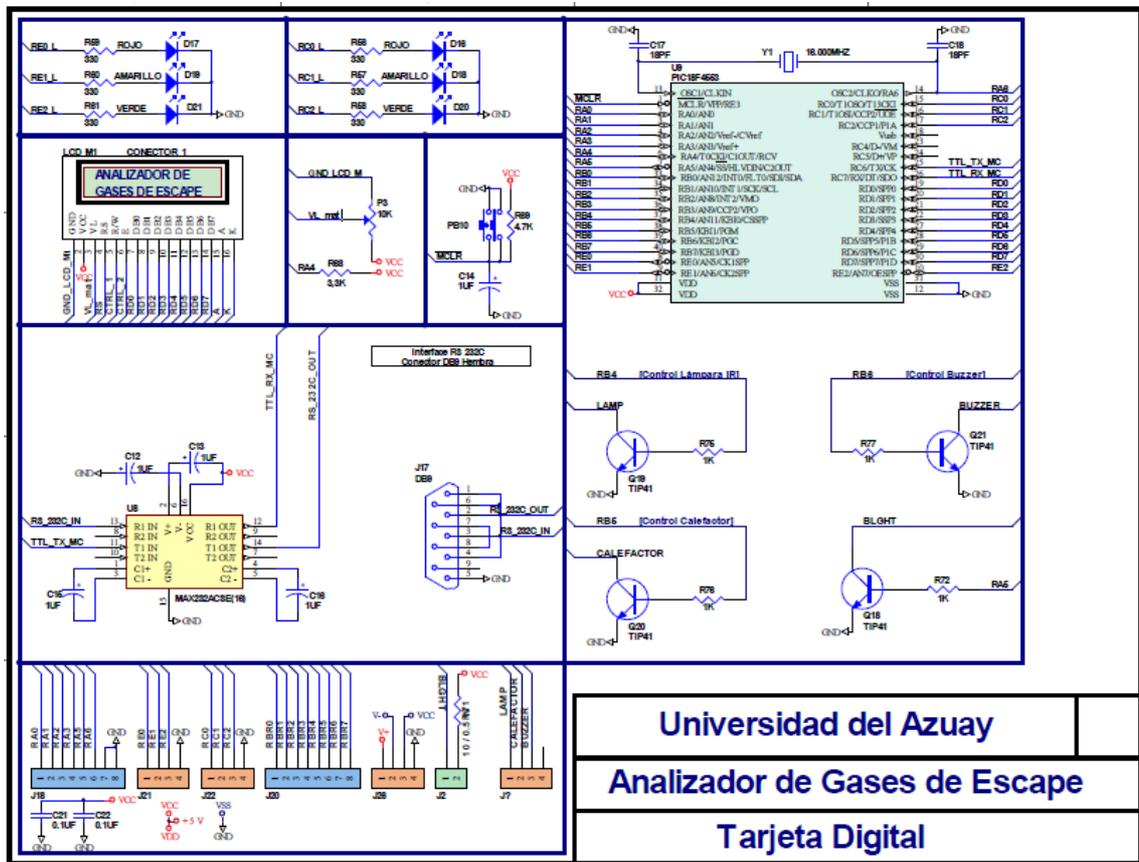
Precisión y exactitud

Error absoluto. Es la diferencia entre el valor MEDIDO y el valor tomado como EXACTO. El resultado se expresa con las mismas unidades.

Error relativo. Es la división entre el error absoluto y el valor exacto y al resultado se multiplica por 100 para obtener el tanto por ciento (%) de error.

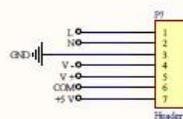
ANEXO A2

2TARJETA DIGITAL



ANEXO A3

3FUENTE DE ALIMENTACIÓN



Universidad del Azuay	
Analizador de Gases de Escape	
Fuente De Alimentación	

ANEXO A4

4TARJETA DE INTERFACE PARA VALVULA Y BOMBA

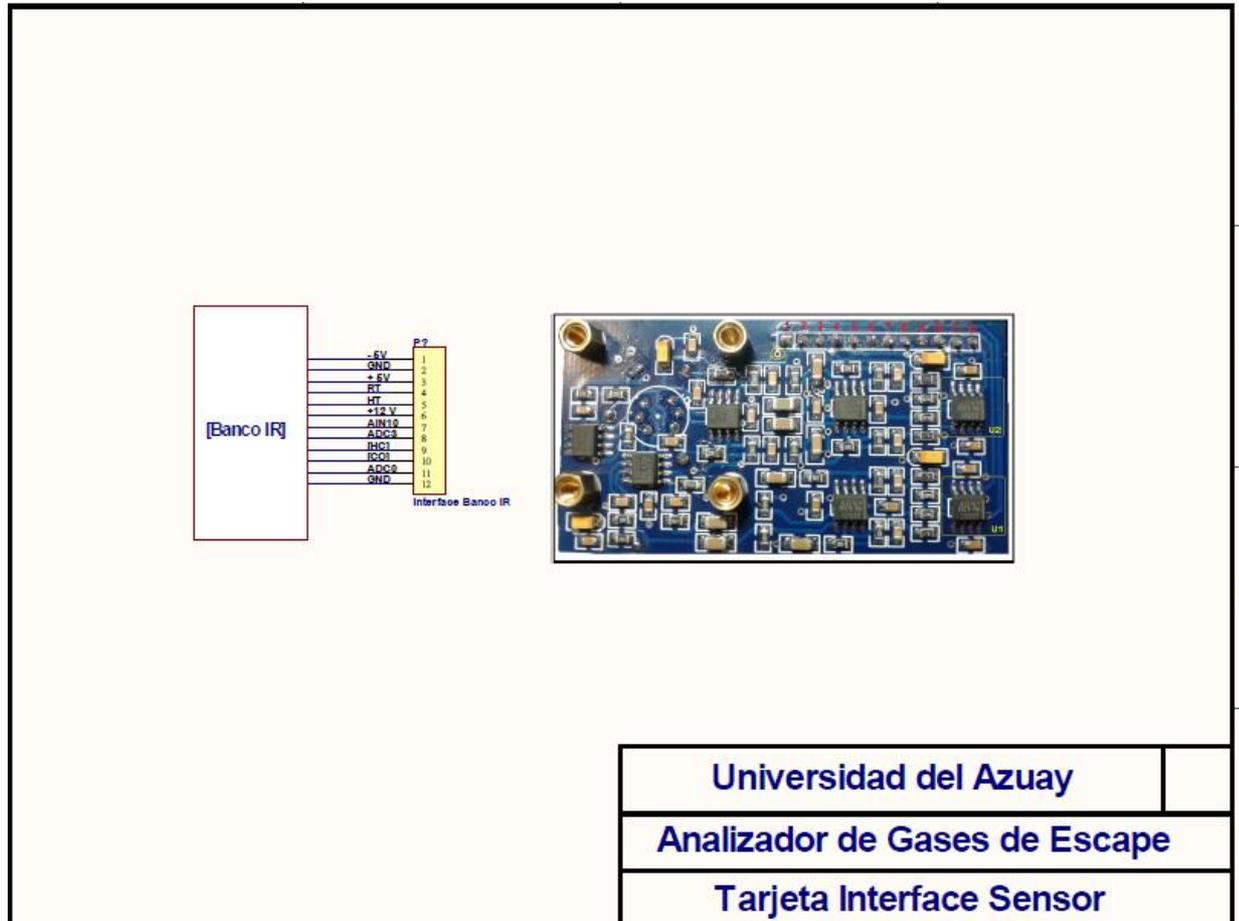
Universidad del Azuay

Analizador de Gases de Escape

Tarjeta de Interface para Valvula y Bomba

ANEXO A5

5TARJETA INTERFACE SENSOR



ANEXO A6
6DISEÑO DE CAJA



Universidad del Azuay

Analizador de Gases de Escape

Diseño de Caja

ANEXO A7

7PRUEBAS EN EL ANALIZADOR



ANEXO 8

8 MEDICIONES CON EL ANALIZADOR MGT5

ANALIZADOR MGT5	ANALIZADOR APOLO	
		2500 RPM
		700 RPM
Universidad del Azuay		
Analizador de Gases de Escape		
Pruebas en el Analizador		

ANALIZADOR	2500 RPM		700 RPM	
	HC ppm	CO %	HC ppm	CO %
MGT5	183	3	249	1,21
APOLO	174	3,07	268	1,24

ANEXO 9

9 MEDICIONES CON EL ANALIZADOR APOLO

ANALIZADOR MGT5	ANALIZADOR APOLO	
		2500 RPM
		700 RPM
Universidad del Azuay		
Analizador de Gases de Escape		
Pruebas en el Analizador		

ANALIZADOR	2500 RPM		700 RPM	
	HC ppm	CO %	HC ppm	CO %
MGT5	172	3,14	253	1,16
APOLO	198	2,96	273	1,05

ANEXO A10

10COMPONENTES DE LA TARJETA DIGITAL

COMPONENTES DE LA TARJETA DIGITAL		
Nombre en el Plano	Valor	Cantidad
CONDENSADORES		
C12, C13, C14, C15, C16	1UF	5
C17, C18	18PF	2
C21, C22	0.1UF	2
LEDS		
D17	LED ROJO	1
D19	LED AMARILLO	1
D20, D21	LED VERDE	2
CONECTORES		
J17	DB9 HEMBRA	1
J2	BORNERA DE DOS PINES	1
J18	BORNERA DE DOS PINES	4
J20	BORNERA DE DOS PINES	4
J21	BORNERA DE DOS PINES	2
J22	BORNERA DE DOS PINES	2
J24	BORNERA DE DOS PINES	2
J26	BORNERA DE DOS PINES	2
LCD_M1	CONECTOR IDC MACHO 16 PINES	1
POTENCIÓMETRO		
P3	POTENCIÓMETRO PARA P.C.B	1
PULSANTES		
PB10	PULSANTE PARA PCB	1
TRANSISTORES		
Q18,Q19,Q20,Q21,Q22	TIP41	5
RESISTORES		
R58, R59, R60, R61	330	4
R70,R75,R76,R77,R78	1K	5
R68, R69	3,3K	2
R71	10 / 0.5 W	1
CIRCUITOS INTEGRADOS		
U8	MAX232ACSE(16)	1
U9	PIC18F4553	1
CRISTAL DE CUARZO		
Y1	16.000MHZ	1
SÓCALOS		
SÓCALO U9	SOCALO DIP PLÁSTICO DE 40 PINES	1
SÓCALO U8	SOCALO DIP PLÁSTICO DE 8 PINES	1