



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN
SISTEMA EGR ELECTRÓNICO VARIABLE EN
FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO Y CARGA, EN EL
BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR CORSA 1.4 LT OBD
DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**ARÉVALO PANCHI JUAN FERNANDO
MORALES VILLALBA IVÁN XAVIER**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013 – 04 – 22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JUAN FERNANDO ARÉVALO PANCHI

Titulada:

**“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA EGR
ELECTRÓNICO VARIABLE EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO Y
CARGA, EN EL BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR CORSA 1.4 LT OBD DE
LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Víctor Bravo Morocho
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Wilson Villagrán Cáceres
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN FERNANDO ARÉVALO PANCHI

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA EGR ELECTRÓNICO VARIABLE EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO Y CARGA, EN EL BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR CORSA 1.4 LT OBD DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2013-12-13

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Wilson Villagrán Cáceres ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Carlos Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013 – 04 – 22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

IVÁN XAVIER MORALES VILLALBA

Titulada:

**“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA EGR
ELECTRÓNICO VARIABLE EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO Y
CARGA, EN EL BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR CORSA 1.4 LT OBD DE
LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Víctor Bravo Morocho
DIRECTOR DE TESIS

ASESOR DE TESIS

Ing. Wilson Villagrán Cáceres

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: IVÁN XAVIER MORALES VILLALBA

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA EGR ELECTRÓNICO VARIABLE EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DE GIRO Y CARGA, EN EL BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR CORSA 1.4 LT OBD DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2013-12-13

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Wilson Villagrán CáceresASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Carlos Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Juan Fernando Arévalo Panchi Iván Xavier Morales Villalba

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre Mericita, que ha sido la promotora continua de mi desarrollo personal, humano y profesional. Se lo dedico a mi esposa Gaby y a hijita Emily que son la razón de mi vida y por quienes he encontrado una diaria motivación para surgir, a mi familia quienes han sabido brindarme un apoyo incondicional pero sobretodo han sabido darme su amor.

Juan Arévalo Panchi

El proyecto de tesis realizado dedico en primer lugar a nuestro creador DIOS. Dedico mi trabajo a mis padres, y mi familia en especial a mi sobrino James, ya que ellos fueron mi pilar fundamental, apoyo constante, mi aliento de vida y quienes formaron mis valores éticos como persona.

Iván Morales Villalba

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A Dios, por brindarme el don de la vida cada día, para luchar por mis metas. A mi madre quien siempre estuvo allí para apoyarme, y en especial a mí amada esposa cuya presencia y ánimo continuos permitieron culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis amigos quienes han sabido poner el hombro para colaborar con el desarrollo de la presente tesis.

Juan Arévalo Panchi

El proyecto de tesis realizado fue posible gracias a la ayuda de nuestro creador DIOS agradeciéndole por brindarme a la oportunidad de cumplir mis metas. Agradezco a mis padres por el apoyo económico y cariño brindado en el transcurso de mi carrera para formarme como profesional. Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme formado como profesional competitivo.

Agradezco también a mis amigos, y una persona en especial por haber mostrado sus más sinceras intenciones para que sea posible culminar con éxito otra etapa de mi vida.

Iván Morales Villalba

CONTENIDO

	Pág.
1	INTRODUCCIÓN
1.2	Antecedentes 1
1.3	Justificación - 2 -
1.4	Objetivos - 3 -
1.4.1	<i>Objetivo general.</i> - 3 -
1.4.2	<i>Objetivos específicos.</i> - 3 -
2.	MARCO TEÓRICO
2.1	Sistema de recirculación de gas de escape EGR en motores gasolina - 4 -
2.1.1	<i>Funcionamiento del sistema de recirculación de gases de escape.</i> - 4 -
2.1.2.1	<i>Tasa de recirculación de gases de escape.</i> - 5 -
2.1.2	<i>Tipos de sistemas de recirculación de gas de escape.</i> - 6 -
2.1.2.1	<i>Sistema EGR neumático.</i> - 6 -
2.1.2.2	<i>Sistema EGR electrónico.</i> - 6 -
2.2	Gestión electrónica del sistema EGR. - 7 -
2.2.1	<i>Sensores del sistema EGR.</i> - 7 -
2.2.1.1	<i>Sensor DPFE.</i> - 7 -
2.2.1.3	<i>Sensor MAF.</i> - 8 -
2.2.1.4	<i>Sensor CTS.</i> - 9 -
2.2.1.5	<i>Sensor TPS.</i> - 9 -
2.1.3	<i>Actuadores del sistema EGR.</i> - 9 -
2.1.3.1	<i>Válvula EVR.</i> - 9 -
2.1.3.2	<i>Válvula EGR.</i> - 10 -
2.1.3.3	<i>Válvulas EGR neumáticas.</i> - 10 -
2.1.3.4	<i>Válvulas EGR eléctricas o electromagnéticas.</i> - 11 -
2.3	Sistemas complementarios al escape - 11 -
2.3.1	<i>Sistema de admisión de aire.</i> - 11 -
2.3.2	<i>Sistema de gases de escape.</i> - 12 -
2.4	Otros sistemas anti contaminación en vehículos a gasolina..... - 13 -
2.4.1	<i>Sistema evaporativo de gases (EVAP).</i> - 13 -
2.4.2	<i>Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV).</i> - 13 -
2.4.3	<i>Sistema de inyección de aire secundario.</i> - 13 -
2.4.4	<i>Sistema catalizador.</i> - 14 -
2.5	Flujo másico de aire y eficiencia volumétrica en el colector. - 14 -
2.5.1	<i>Flujo másico de aire en la admisión.</i> - 14 -
2.5.2	<i>Eficiencia volumétrica en el colector de admisión</i> - 15 -
2.5.3	<i>Mezcla estequiométrica aire combustible.</i> - 16 -
2.5.4	<i>Composición de los gases resultantes en la combustión.</i> - 17 -
2.6	Conceptos para el diseño y selección de tuberías. - 19 -
2.6.1	<i>Procedimiento de diseño de tuberías</i> - 19 -
2.7	Arquitectura del módulo de control EGR (micro controlador). - 20 -
2.7.1	<i>Arquitectura del PIC 16F877A.</i> - 20 -
2.7.2	<i>Utilización de las interrupciones.</i> - 21 -
2.7.3	<i>Pantalla de cristal líquida (LCD) LMO16L.</i> - 21 -
2.8	Elementos electrónicos usados en el módulo de control..... - 22 -
2.8.1	<i>Componentes activos.</i> - 22 -
2.8.2	<i>Componentes pasivos</i> - 22 -
2.8.2.1	<i>Transistores bipolares BJT</i> - 23 -
2.8.2.2	<i>Transistores efecto campo (FET).</i> - 23 -
2.9	Equipo para análisis de gases MGT 5. - 24 -

2.9.1	<i>Principio de funcionamiento</i>	- 24 -
2.9.2	<i>Partes constitutivas</i>	- 25 -
2.9.2.1	<i>Vista lateral equipo MGT-5</i>	- 25 -
2.9.2.2	<i>Sonda flexible de gases de escape</i>	- 25 -
2.9.3	<i>Software de control del equipo</i>	- 26 -

3. ANÁLISIS TÉCNICO ACTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1	<i>Evaluación general del estado del motor</i>	- 27 -
3.1.1	<i>Mantenimiento preventivo y correctivo del motor C14SE</i>	- 28 -
3.1.1.1	<i>Limpieza del depósito de combustible</i>	- 28 -
3.1.1.2	<i>Sustitución de aceite del motor</i>	- 29 -
3.1.1.3	<i>Afinamiento del motor</i>	- 29 -
3.1.1.4	<i>Inspección del sincronismo de válvulas</i>	- 29 -
3.1.1.5	<i>Inspección del sistema de encendido del motor</i>	- 30 -
3.1.1.6	<i>Prueba de compresión</i>	- 30 -
3.1.1.7	<i>Revisión del sistema de refrigeración</i>	- 30 -
3.1.1.8	<i>Inspección del sistema de control eléctrico y electrónico</i>	- 31 -
3.1.2	<i>Evaluación del estado del sistema de admisión</i>	- 32 -
3.1.3	<i>Evaluación de estado del sistema de escape</i>	- 33 -
3.1.3.1	<i>Tubo primario de escape</i>	- 33 -
3.2	<i>Identificación del sistema de control electrónico</i>	- 34 -
3.2.1	<i>Identificación de los pines de conexión para el módulo EGR</i>	- 34 -
3.2.2	<i>Sensores del motor C14SE</i>	- 35 -
3.2.2.1	<i>Sensor MAP</i>	- 35 -
3.2.1.2	<i>Sensor CKP</i>	- 36 -
3.2.1.3	<i>Sensor de temperatura de refrigerante del motor CTS</i>	- 36 -
3.2.1.4	<i>Sensor de oxígeno</i>	- 37 -
3.2.1.5	<i>Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS</i>	- 37 -

4. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO EGR

4.1	<i>Toma de datos críticos correspondientes al flujo de gas</i>	- 38 -
4.1.1	<i>Medición de velocidad de flujo de gases de escape</i>	- 38 -
4.1.2	<i>Presión media de gases de escape</i>	- 40 -
4.1.3	<i>Medición de presión absoluta en el colector de admisión</i>	- 40 -
4.2	<i>Cálculo y selección de la tubería EGR</i>	- 44 -
4.2.1	<i>Determinación de la tasa de recirculación de gas de escape</i>	- 44 -
4.2.2	<i>Cálculo del diámetro de la tubería EGR</i>	- 46 -
4.2.3	<i>Cálculo del espesor mínimo de pared de la tubería</i>	- 47 -
4.2.4	<i>Cálculo de deformación debida a cargas térmicas</i>	- 47 -
4.2.5	<i>Cálculo de pérdidas en accesorios de tuberías</i>	- 48 -
4.2.6	<i>Selección de la válvula recirculadora de gas de escape</i>	- 49 -
4.2.7	<i>Selección de acoples para el armado del sistema</i>	- 51 -
4.2.8	<i>Selección de soportes de la tubería</i>	- 51 -
4.3	<i>Análisis del flujo de gases mediante SOLIDWORKS</i>	- 52 -
4.4	<i>Diseño del módulo de control electrónico de la válvula EGR</i>	- 53 -
4.4.1	<i>Características del sistema</i>	- 53 -
4.4.2	<i>Delimitación</i>	- 54 -
4.5	<i>Diagrama de bloques del sistema</i>	- 54 -
4.6	<i>Etapas reguladora de voltaje del sistema</i>	- 55 -
4.7	<i>Etapas de entrada</i>	- 55 -
4.7.1	<i>Selección de los sensores y parámetros de funcionalidad del sistema</i>	- 55 -
4.7.1.1	<i>Parámetros de operación del sensor CTS en el módulo de control EGR</i>	- 56 -

4.7.1.2	<i>Tabulación de datos para sensor CTS:</i>	- 56 -
4.7.1.3	<i>Parámetros de operación del sensor TPS en el módulo de control EGR</i>	- 58 -
4.7.1.4	<i>Tabulación de datos para sensor TPS</i>	- 58 -
4.7.1.5	<i>Velocidad de desplazamiento del vástago en función de la carga de TPS</i>	- 59 -
4.7.1.6	<i>Parámetros de operación del sensor MAP en el módulo de contro</i>	- 61 -
4.8	<i>Etapas de procesamiento</i>	- 64 -
4.8.1	<i>Selección del micro controlador</i>	- 64 -
4.8.2	<i>Diagrama de flujo</i>	- 64 -
4.9	<i>Etapas actuadora</i>	- 65 -
4.9.1	<i>Análisis de la zona de trabajo del transistor NPN TIP 110</i>	- 65 -
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EGR	
5.1	<i>Adaptaciones mecánicas en el sistema de gases de escape</i>	- 68 -
5.2	<i>Adaptaciones mecánicas en el sistema de admisión de aire</i>	- 68 -
5.3	<i>Montaje del sistema de recirculación de gases de escape EGR</i>	- 69 -
7.3.1	<i>Soportes del sistema de tuberías</i>	- 70 -
6.	ANÁLISIS TÉCNICO -AMBIENTAL COMPARATIVO DE RESULTADOS	
6.1	<i>Prueba de régimen de giro en función de la tasa de EGR recirculada</i>	- 71 -
6.1.1	<i>Influencia del EGR en el régimen de giro del motor</i>	- 71 -
6.2	<i>Pruebas de consumo de combustible</i>	- 74 -
6.2.1	<i>Toma de datos de consumo de combustible</i>	- 74 -
6.2.2	<i>Cálculo del consumo de combustible</i>	- 75 -
6.2.3	<i>Gráficas de consumo de combustible</i>	- 76 -
6.2.4	<i>Comparativa del consumo de combustible a 3400 rpm</i>	- 77 -
6.3	<i>Prueba de análisis de gases</i>	- 77 -
6.3.1	<i>Recomendaciones de uso del equipo MGT 5</i>	- 77 -
6.3.2	<i>Procedimiento de uso del equipo analizador de gases MGT 5</i>	- 78 -
6.3.3	<i>Valores de emisiones antes de la adaptación</i>	- 80 -
6.3.4	<i>Valores de emisiones después de la adaptación</i>	- 80 -
7.	GUIA DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	
7.1	<i>Guía de instalación</i>	- 87 -
7.1.1	<i>Etapas de selección</i>	- 87 -
7.1.1.1	<i>Adaptación en el tubo primario de escape</i>	- 87 -
7.1.1.2	<i>Adaptación de la válvula EGR</i>	- 88 -
7.1.1.3	<i>Adaptación del colector de admisión</i>	- 88 -
7.1.1.4	<i>Armado del circuito EGR</i>	- 89 -
7.1.1.5	<i>Acople de tuberías</i>	- 89 -
7.1.1.6	<i>Acople de la base EGR</i>	- 89 -
7.1.1.7	<i>Acople de la tubería EGR al ducto de admisión</i>	- 90 -
7.1.1.8	<i>Ubicación de la válvula EGR</i>	- 90 -
7.1.1.9	<i>Inspección de armado</i>	- 90 -
7.2	<i>Guía de mantenimiento</i>	- 90 -
7.2.1	<i>Plan de mantenimiento preventivo</i>	- 90 -
7.2.2	<i>Plan de Mantenimiento correctivo</i>	- 91 -
7.2.2.1	<i>Comprobación de las resistencias de la válvula EGR</i>	- 91 -
7.2.2.2	<i>Comprobación de la resistencia del sensor CTS</i>	- 92 -
7.2.2.3	<i>Comprobación del sensor TPS</i>	- 92 -
7.2.2.4	<i>Comprobación del sensor MAP</i>	- 92 -
7.2.2.5	<i>Comprobación del módulo EGR</i>	- 93 -

7.2.2.6	<i>Comprobación de cañerías y racores.</i>	- 93 -
---------	--	--------

8. COSTOS Y PRESUPUESTO

8.1	Costos de diseño y construcción del sistema EGR	- 95 -
8.1.1	<i>Costos directos.</i>	- 95 -
8.1.2	<i>Costos indirectos.</i>	- 95 -
8.1.3	<i>Imprevistos.</i>	- 96 -
8.2	Costos totales	- 96 -

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1	Conclusiones	- 97 -
9.2	Recomendaciones.....	- 98 -

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Pág.		
1	Partes del sistema de admisión.....	12
2	Partes del sistema de escape.....	13
3	Descripción de los gases resultantes de escape.....	18
4	Velocidad de gas de escape.....	39
5	Temperatura de gases de escape.....	40
6	Datos sensor MAP proporcionados por herramienta de diagnóstico.....	40
7	Flujo másico real a través de la garganta de admisión.....	41
8	Tabulación de datos del convertor A/D (LSB) para sensor CTS.....	57
9	Datos de diferentes parámetros del TPS a distintos regímenes.....	59
10	Datos de la ecuación para control de velocidad del vástago EGR.....	60
11	Operación de la EGR en función del régimen de giro y datos del MAP.....	61
12	Datos de la tasa de EGR en función de apertura de válvula.....	62
13	Apertura de la válvula según régimen y carga del motor.....	63
14	Datos obtenidos en la zona de saturación del TIP 110.....	67
15	Decremento de revoluciones en función de la tasa de EGR recirculado.....	71
16	Consumo de combustible.....	74
17	Consumo de combustible con tasa de EGR al 100%.....	74
18	Concentraciones de gases en el tubo de escape con 0% EGR.....	80
19	Concentraciones de gases en el tubo de escape con 25% EGR.....	80
20	Concentraciones de gases en el tubo de escape con 50% EGR.....	81
21	Concentraciones de gases en el tubo de escape con 75% EGR.....	81
22	Concentraciones de gases en el tubo de escape con 100% EGR.....	81
23	Plan de mantenimiento preventivo.....	91
24	Costos directos de producción.....	95
25	Costos indirectos.....	96
26	Imprevistos.....	96
27	Costos totales.....	96

LISTA DE FIGURAS

Pág.		
1	Esquema del sistema EGR.....	4
2	Proporción de gases de escape recirculados vs presión media efectiva.....	5
3	Sistema EGR de mando mecánico	6
4	Sistema EGR de mando electrónico.....	7
5	Sensor DPFE.....	8
6	Sensor CKP.....	8
7	Sensor MAF.....	8
8	Sensor CTS.....	9
9	Sensor TPS.....	9
10	Válvula EVR.....	10
11	Válvula EGR Neumática.....	10
12	Válvula EGR Eléctrica.....	11
13	Sistema de admisión de aire.....	11
14	Sistema de escape.....	12
15	Combustión de la mezcla y emisión de escape.....	17
16	Designación de pines PIC16F877A.....	20
17	Diagrama de bloque básico de un programa con subrutinas de interrupción.....	21
18	Configuración de un LCD 2x16.....	22
19	Componente electrónico activo.....	22
20	Componentes pasivos.....	23
21	Transistor PNP.....	23
22	Esquema transistor FET.....	24
23	Vista frontal y posterior del equipo MGT-5.....	25
24	Vista lateral del equipo MGT-5.....	25
25	Sonda flexible.....	26
26	Interfaz software equipo MGT-5.....	26
27	Estado actual del motor C14SE.....	28
28	Limpieza del depósito de combustible.....	28
29	Mantenimiento motor C14SE aceite degradado.....	29
30	Marcas de sincronización de eje de levas y cigüeñal.....	29
31	Brujías de encendido rotas.....	30
32	Tapa superior del radiador roto.....	30
33	Revisión de conexionado de sensores y actuadores.....	31
34	Conectores defectuosos.....	31
35	Válvula de control de marcha mínima.....	32
36	Colector de admisión motor C14SE.....	32
37	Colector de escape motor C14SE.....	33
38	Tubo primario de escape.....	33
39	Pines de conexión módulo PCM.....	35
40	Sensor MAP motor C14SE.....	35
41	Sensor de posición del cigüeñal CKP.....	36
42	Sensor de temperatura ECT.....	36
43	Sensor de oxígeno.....	37
44	Sensor de posición de la mariposa TPS.....	37
45	Toma de datos de velocidad usando anemómetro.....	38
46	Medición de temperatura en el ducto de escape.....	39
47	Recorrido del sistema EGR.....	44
48	Válvula EGR seleccionada.....	51
49	Acoples rápidos tipo NPT.....	51
50	Abrazaderas para tubería.....	52

51	Flujo de gas al 100% a través de la tubería.....	52
52	Ingreso del gas de escape a la admisión.....	53
53	Diagrama de bloques del sistema.....	54
54	Circuito regulador de voltaje.....	55
55	Esquema de las señales de entrada al micro controlador.....	56
56	Circuito del convertidor analógico-digital (LSB).....	56
57	Temperatura del sensor CTS vs voltaje.....	57
58	Operación del sistema EGR en función al sensor CTS.....	57
59	Datos del conversor A/D (LSB) para sensor TPS.....	58
60	Operación del motor en función del voltaje del sensor TPS.....	59
61	Revoluciones del motor en función del tiempo de accionamiento EGR.....	60
62	Circuito del conversor A/D (LSB) para sensor MAP.....	61
63	Voltaje del MAP vs porcentaje de la mariposa de aceleración.....	62
64	Tasa EGR a diferentes regímenes de motor.....	63
65	Micro controlador PIC 16F877A.....	64
66	Diagrama de flujo de la programación.....	65
67	Diagrama interno y externo del transistor NPN TIP 110.....	66
68	Características de trabajo del transistor TIP 110.....	66
69	Esquema del circuito control de potencia.....	66
70	Zona de trabajo del transistor del TIP 110.....	67
71	Adaptación del ducto EGR en el escape.....	68
72	Adaptación de la tubería en el colector de admisión.....	69
73	Montaje del sistema EGR.....	70
74	Montaje del sistema EGR.....	70
75	Influencia del EGR en marcha lenta.....	72
76	Influencia del EGR a las 3500 rpm.....	72
77	Influencia del EGR a las 4000 rpm.....	73
78	Influencia del EGR a las 6000 rpm.....	73
79	Régimen vs consumo de combustible con 0% de EGR.....	76
80	Régimen vs consumo de combustible con 100% de EGR.....	76
81	Consumo de combustible a 3400 rpm y con tasa EGR nula y al 100%.....	77
82	Instalación del equipo analizador de gases MGT-5.....	78
83	Inicio del interfaz del analizador de gases de escape.....	78
84	Test automático de hermeticidad del equipo MGT-5.....	79
85	Interfaz para selección de análisis de gases.....	79
86	Valor de emisiones antes de la adaptación.....	82
87	Emisiones después de la adaptación con 50% de EGR.....	82
88	Emisiones contaminantes y su comportamiento según lambda.....	83
89	Régimen de giro vs concentración de NOx.....	83
90	Régimen de giro vs dióxido de carbono.....	84
91	Régimen de giro vs monóxidos de carbono.....	85
92	Régimen de giro vs oxígeno.....	85
93	Régimen de giro vs ppm de hidrocarburos.....	86
94	Selección de elementos para el sistema EGR.....	87
95	Adaptación del tubo primario de escape.....	88
96	Base de válvula EGR.....	88
97	Adaptación del sistema de admisión.....	89
98	Armado del sistema EGR.....	89
99	Comprobación de terminales válvula EGR.....	92
100	Comprobación del sensor CTS.....	92
101	Comprobación del sensor MAP.....	93
102	Comprobaciones en módulo de control EGR.....	93
103	Comprobación de tuberías y racores.....	94

SIMBOLOGÍA

P	Presión del aire	N/m^2
V	Volumen del aire	cm^3
\dot{m}	Flujo de masa del aire	Kg/s
R	Constante particular del aire	$\text{J/Kg}^\circ\text{K}$
T	Temperatura del aire	$^\circ\text{K}$
P_o	Presión atmosférica	N/m^2
T_o	Temperatura inicial del aire	$^\circ\text{K}$
N	Número de revoluciones	rev/min.
A	Número de ciclos por cada vuelta del cigüeñal	
P_a	Presión en la admisión,	N/m^2
V_h	Cilindrada unitaria,	cm^3
N	Régimen de giro,	rev/min
T_a	Temperatura del aire de admisión	$^\circ\text{K}$.
ρ	Densidad del aire	Kg/m^3
Q_R	Caudal real de aire aspirado	lt/min
Q_T	Caudal de aire teórico aspirado	lt/min
T_1	Temperatura ambiente	$^\circ\text{K}$
T_2	Temperatura en el colector de admisión	$^\circ\text{K}$
ρ_1	Densidad del aire a temperatura ambiente	Kg/m^3
V_h	Cilindrada unitaria	cm^3
N	Número de revoluciones por minuto	Rpm
η_v	Eficiencia volumétrica	%
τ_T	Esfuerzo tangencial debido a la presión	Pa
P	Presión de diseño	Pa
d	Diámetro interior de la tubería	m

t	Espesor de la pared de la tubería	m
y	Variable conversor analógico digital final	LSB
y_1	Variable conversor analógico digital inicial	LSB
m	Relación entre variable conversor A/D y Tiempo	----
\bar{u}	Tiempo de accionamiento del motor PAP final	ms
\bar{u}_1	Tiempo de accionamiento del motor PAP inicial	ms
V_f	Volumen de combustible	cm ³
t	Tiempo para consumir	S
ρ_b	Peso específico del combustible	g/cm ³
S	Área	m ²
D	Diámetro	mm

LISTA DE ABREVIACIONES

ANSI	Instituto Nacional Americano Estándar (American National Standar Institute)
AISI 1008	Lámina de acero para elaboración de tuberías
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
B.31.3	Código para tuberías de proceso
BJT	Transistor de unión bipolar
°C	Grados centígrados
CKP	Sensor de posición del cigüeñal
CMOS	Semiconductor metal-óxido complementario
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CORPAIRE	Corporación para el cuidado del aire
CTS	Sensor de temperatura del refrigerante del motor
DIPAC	Catálogo de productos de acero
DPFE	Sensor de presión diferencial retroalimentado
EEPROM	Memoria de solo lectura, programable y borrable eléctricamente
EGR	Recirculación de gases de escape
EPA	Agencia de protección ambiental
EPROM	Memoria solo de lectura, programable borrable
EVAP	Sistema evaporativo de gases del depósito de combustible
EVR	Válvula de vacío del sistema EGR
EURO	Normativa europea anticontaminación
FET	Transistor de efecto campo
H ₂ O	Agua
HC	Hidrocarburos
IAT	Sensor de temperatura del aire de admisión
J	Joule
JFET	Transistor de unión efecto campo
Kg	Kilogramo
°K	Temperatura absoluta grado Kelvin
KOEO	Llave en contacto, motor apagado
KOER	Llave en contacto, motor encendido
LCD	Pantalla de cristal líquido
LSB	Bit menos significativo

MAF	Sensor de flujo de masa de aire
MAP	Sensor de presión absoluta del colector de admisión
MHz	Mega Hertzio
min ⁻¹	Revoluciones por minuto
MOSFET	Transistor de efecto campo con semiconductor de metal óxido
MULTEC	Tecnología de inyección de combustible multipuerto
N ₂	Nitrógeno
NO _x	Óxidos de nitrógeno
NPT	Acoples rápidos cónicos
O ₂	Oxígeno
OBD	Diagnóstico abordó
Pa	Pascal
PCM	Módulo de control del motor
PCV	Ventilación positiva del cárter
PIC	Computadora programable
ppm	Parte por millón de
pF	Pico faradios
PWM	Modulación por ancho de pulso
RAM	Memoria solo de lectura
TPS	Sensor de posición de la mariposa de aceleración
uF	Micro faradios
V	Velocidad
volt	Voltios

LISTA DE ANEXOS

- A** Límites máximos de emisiones según la norma INEN 2204
- B** Proceso de quemado de placa electrónica
- C** Características de la tubería de acero AISI 1008
- D** Características de acoples rápidos
- E** Características de soportes de tuberías
- F** Algoritmo de programación
- G** Guía de laboratorio
- H** Planos del conjunto EGR

RESUMEN

El diseño, implementación y análisis de un sistema EGR electrónico variable en función del régimen de giro y carga, en el banco de pruebas del motor corsa 1.4 lt. OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz analiza la efectividad técnica y ambiental, basándose su desarrollo en el diseño y análisis tanto electrónico como mecánico. Con el fin de verificar su influencia en la reducción de emisiones contaminantes en especial los óxidos de nitrógeno que afectan al funcionamiento de las vías respiratorias y sistema inmunológico de los seres humanos.

El proceso de desarrollo del proyecto se fundamentó en recopilaciones de investigación técnica; así mismo, utilizando el diseño metodológico experimental se realizó pruebas en el motor de combustión interna corsa 1.4 litros de la Escuela de Ingeniería Automotriz utilizando el analizador de gases MGT-5; que permitió obtener parámetros de diseño electrónico y mecánico. Los mismos que a través del software de programación de micro-controladores fueron utilizados para la construcción del módulo de control electrónico estructurado con sistemas de alimentación, entrada, procesamiento; y salida. Así mismo, mediante catálogos técnicos los parámetros mecánicos establecidos sirvieron para la selección de tuberías las cuales conducen gas de escape a altas temperaturas.

Los resultados obtenidos con respecto al motor sin el sistema anticontaminación mostraron una reducción de óxidos de nitrógeno del 35%, y en lo que compete a consumo de combustible se consiguió un equilibrio, cumpliendo así con los objetivos propuestos en la investigación. Se recomienda hacer uso de este estudio para preservar la calidad de aire en el medio ambiente y la integridad física de los seres humanos.

ABSTRACT

The Design, implementation and analysis of a system EGR electronic variable in function of rules of rotation and load, in the bed of engine test corsa 1.4 lt. OBD of School of Automotive Engineering analyses the technic effectiveness and environmental, basing its development in the design and analysis electronic and mechanic. To verify its influence in the reduction of pollutant emissions in special the nitrogen oxides that affect to the functioning of airways and immunological system of human beings.

The process of development of the project is fundamented in compilations of technical research; likewise, using the methodological experimental design are realized tests in the engine of internal combustion corsa 1.4 liters of School of Automotive Engineering using the gas analyser MGT-5; that allowed to obtain parameters of electronic and mechanic design. The same that through the software of programmation of microcontrollers were used for the construction of module of electronic structured control with a system of powering, input, processing and the actuator. As also, through technic catalogues the mechanic parameters established served for the selection of pipes which conduct scape gas to high temperatures.

The obtained results in relation to the engine without the antipolluting system showed a reduction of nitrogen oxides of 35%, and which refers to the fuel consumption was obtained an equilibre, fulfilling with the proposed objectives of research. It is recommended to use this studio to preserve the quality of air in the environment and the physical integrity of the human beings.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde la implementación de un motor de combustión interna a gasolina en un vehículo autopropulsado, hasta la actualidad, se han percibido cambios tecnológicamente importantes en el desarrollo de la Industria Automotriz, cambios que sin duda alguna se han acoplado efectivamente a la necesidad ecológica mundial y han satisfecho demandas y requerimientos de todos los usuarios de automóviles.

Uno de esos cambios bastante novedoso fue la sustitución de los sistemas carburados, por controles más eficientes de inyección de combustible comandados por medios electrónicos. Innovación que ha sido orientada no solo a tener una mayor eficiencia con el menor consumo de combustible sino que también está enfocada al cuidado del ambiente. Un cuidado ambiental del cual sin duda todos somos responsables, y con más razón aún los fabricantes de automotores a nivel mundial.

Es así que en la actualidad las normativas y estándares internacionales exigen que los vehículos equipados con motores de combustión interna incorporen sistemas anticontaminación que reduzcan las emisiones de vapores de hidrocarburos, dióxidos de carbono, monóxidos de carbono, y los NOx.

Uno de los sistemas anticontaminante más importante es el sistema de recirculación de gases de escape (Exhaust Gases Recirculation, EGR). Responsable de recircular una pequeña cantidad de gases de escape hacia el múltiple de admisión con la finalidad de reducir la emisión de gases como los óxidos de nitrógeno NOx, hidrocarburos no combustionados HC, monóxidos de carbono CO, y demás resultantes del proceso de combustión.

El primer sistema EGR se desarrolló en la década del 70 y su operación se asemejaba con una aspiradora, es decir operaba mecánicamente con el vacío generado por el motor. Tuvo un gran impacto en el rendimiento, facilidad de conducción y fiabilidad. Actualmente el sistema ha evolucionado, y en combinación con modernos sistemas controlados por computadoras, han logrado aumentar la facilidad de conducción, y, de

hecho, proporciona un beneficio significativo tanto para el control de la contaminación como la mejora de la economía de combustible.

1.2 Justificación

Los medios de transporte tanto público como privado actualmente están dotados de sistemas de inyección electrónica cuyo fin es proporcionar una mayor eficiencia del motor, ahorro de combustible, y protección del medio ambiente.

Adicionalmente la implementación de nuevas y mejoradas tecnologías involucra un análisis profundo de cómo estos sistemas logran mejorar características de desempeño del motor, siendo a la vez amigables con el ambiente.

El presente proyecto busca mejorar las características de un motor, que no cuenta con sistema de recirculación de gases de escape EGR, con el propósito no solo de brindar un medio eficaz de compresión del funcionamiento del sistema EGR para el estudiante, sino también involucrarlo en el desarrollo de tecnologías cada vez más limpias y a favor del medio ambiente.

En el ámbito social, el desarrollo de tecnologías cada vez más limpias ha tenido, un gran impacto en la sociedad actual, tecnologías que al ser implementadas en vehículos urbanos hacen prever una buena calidad del aire que se inhala, es decir el impacto social está enfocado a aportar de manera positiva en la calidad de vida de la gente y en específico del aire que se respira.

Ambientalmente, el aporte de un sistema anticontaminación será siempre positivo, tratando de satisfacer necesidades humanas mediante el desarrollo tecnológico, pero siempre pendiente del impacto que dicho desarrollo provocará en la conservación del medio ambiente. En palabras simples, no existen impedimentos para el desarrollo de nuevas tecnologías, o incorporar las ya existentes, para el mejoramiento continuo a nivel personal, social y ambiental.

Es necesidad del Ingeniero Automotriz de la ESPOCH, poner en práctica todos sus conocimientos tecnológicos y ambientales para el desarrollo de nuevas tecnologías y aportar en la calidad de vida de los humanos manteniendo siempre un criterio innovador, científico y ambientalista.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar, implementar y analizar un sistema EGR electrónico variable en función del régimen de giro y carga, en el banco de pruebas del motor corsa 1,4 lt. OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Investigar los diferentes sistemas anticontaminación que se implementan en los vehículos de gama baja, media y alta, haciendo énfasis al sistema EGR.

Diseñar un sistema electrónico de control de recirculación de gases de escape EGR, en función del régimen de giro y carga del motor.

Implementar el sistema EGR en el motor corsa 1.4 Lt OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

Realizar la pruebas de funcionamiento y contaminación del sistema EGR implementado en el motor corsa 1.4 Lt OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

Determinar la eficacia del sistema de recirculación de gases de escape y su influencia en la reducción de emisiones contaminantes.

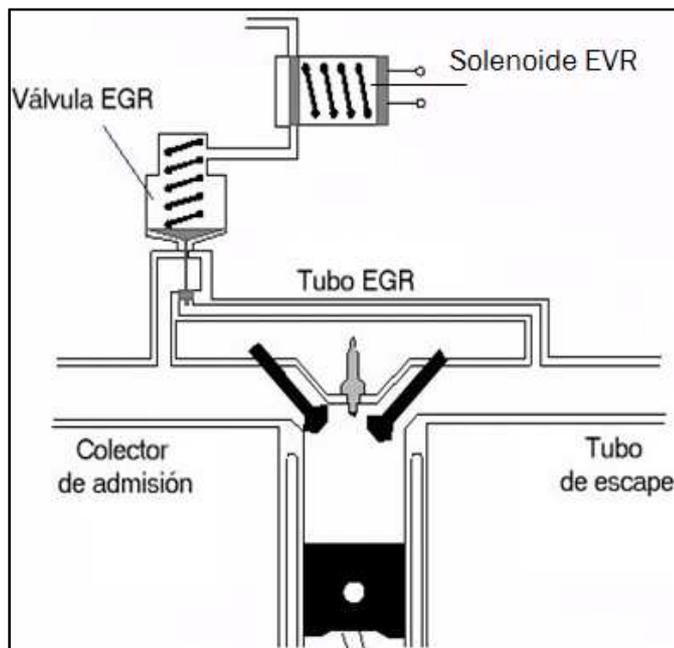
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de recirculación de gas de escape EGR en motores gasolina

El sistema de recirculación de gases de escape EGR, recircula una pequeña cantidad de gases provenientes del colector de escape, hacia la admisión, con el fin de diluir la mezcla formada en el colector de admisión, y reducir la concentración de oxígeno, con lo cual se reduce la formación de NOx (óxidos de nitrógeno), durante el proceso de combustión(MEGANEBOY, 2011).

Figura 1. Esquema del sistema EGR



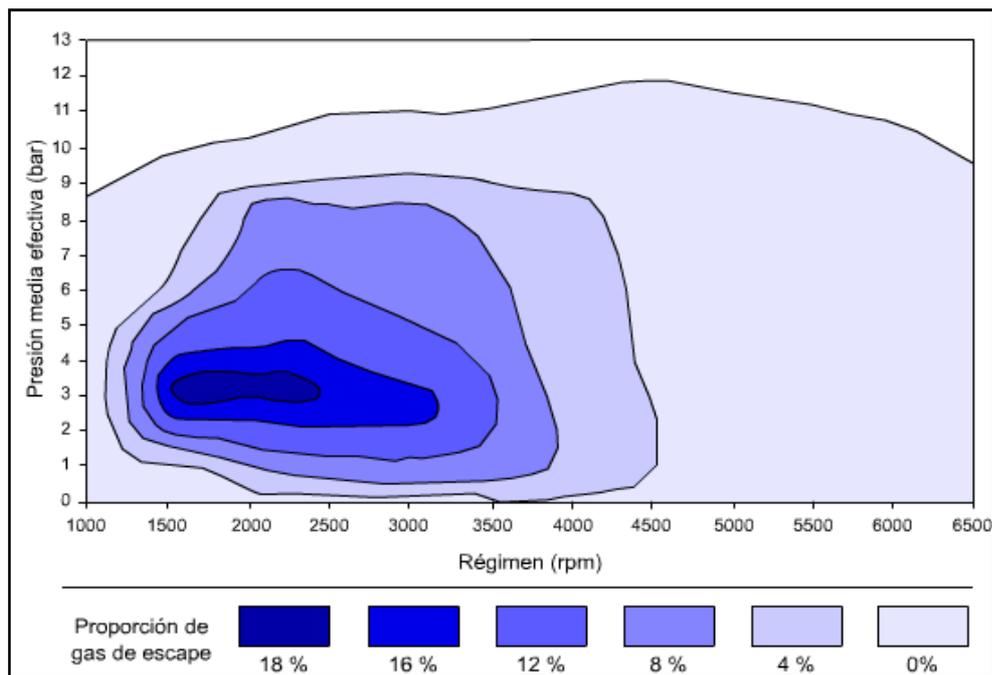
Fuente: www.miac.es/marcas/pico/develop/hta/images/egr_es.gif

2.1.1 Funcionamiento el sistema de recirculación de gases de escape. El sistema EGR, abre y cierra una válvula de desplazamiento longitudinal denominada actuador o válvula EGR, permitiendo que parte de los gases de escape que circulan a través del ducto de escape, sean tomados nuevamente y redirigidos a la admisión. Para ello se vale del uso de sensores que conjuntamente con el módulo de control permiten el paso de estos gases bajo ciertas condiciones de carga, régimen y temperatura del

motor. En motores de gasolina la proporción de gases recirculados no debe exceder del 14% del aire admitido, puesto que ello produciría problemas en la conducción. Sin embargo algunas bibliografías colocan este valor máximo hasta en un en un rango entre el 20% y 30% del aire admitido, todo ello en función del flujo másico de aire del motor en la condiciones pre establecidas.El objetivo de hacer recircular los gases de escape a la admisión es reducir la temperatura de combustión que favorece a la formación de NOx, para así reducir la emisión de estos (MEGANEBY, 2011).

En la Figura 2 se muestra la proporción de gas recirculado en un motor Ford Mondeo 2001 2.0 lt. gasolina. En el eje vertical está la presión media efectiva (que coincide con el par motor en cada régimen) y en el eje horizontal está el régimen; en toda el área azul más clara no hay nada de recirculación de gas de escape. El área azul más oscura indica las condiciones de máxima recirculación de este motor régimen entre 1.500 y 2.500 rpm, y muy poca carga (acelerador poco pisado)(RUEDA, 1999 págs. 12-15).

Figura 2. Proporción de gases de escape recirculados vs presión media efectiva



Fuente: <http://www.km77.com/glosario/r/recigase.asp>

La tasa de recirculación de gases de escape es de vital importancia por la cantidad de gas recirculado a la admisión, misma que se halla determinada en función de la carga, o flujo másico de aire que ingresa a través de la garganta de admisión (ALEGRÍA, 2007).

La tasa de recirculación de gases de escape está determinada por la siguiente fórmula, que involucra el flujo másico de aire.

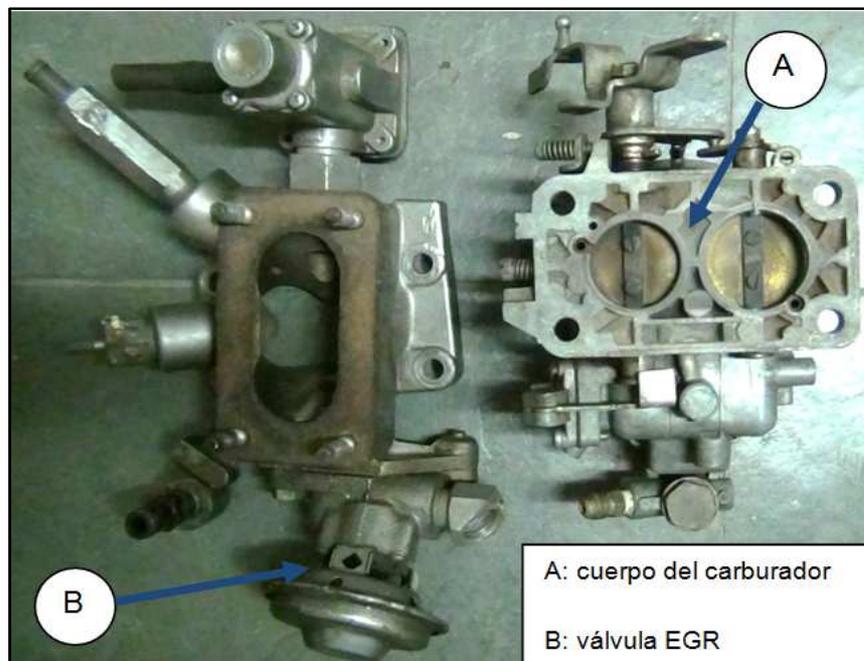
$$\%EGR = \frac{\text{Flujo másico de EGR}}{\text{Flujo másico de admisión}} * 100 \quad (1)$$

Donde el flujo másico de los dos gases esta dado en Kg/s.

2.1.2 Tipos de sistemas de recirculación de gas de escape. Los sistemas EGR se clasifican por el método de accionamiento del sistema en dos tipos de sistemas EGR neumático y EGR con control electrónico. El presente documento se centra en el diseño del sistema por comando electrónico (MEGANEBY, 2011).

2.1.2.1 Sistema EGR neumático. El método de accionamiento es netamente mecánico, y la válvula es abierta y cerrada gracias al vacío generado por el motor, es decir utiliza una válvula EGR controlada por vacío. Este tipo de sistemas se incorpora en algunos vehículos que no cuentan con sistemas de inyección electrónica de combustible.

Figura 3. Sistema EGR de mando mecánico



Fuente: Autores

2.1.2.2 Sistema EGR electrónico. El sistema EGR electrónico como su nombre lo indica incorpora un módulo de control del sistema que por lo general se incluye en el

módulo de control del motor PCM, y su activación se realiza por medio de actuadores netamente electrónicos.

Figura 4. Sistema EGR de mando electrónico



Fuente: <http://img718.imageshack.us/img718/7520/z61arrow.jpg>

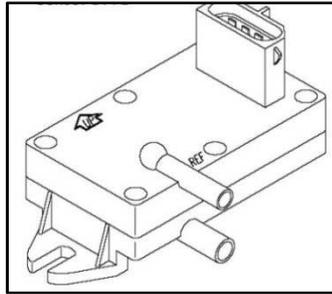
2.2 Gestión electrónica del sistema EGR

El control electrónico del sistema de recirculación de gases de escape lo realiza la PCM, basado en datos de sensores utilizados para el cálculo de la inyección de combustible. El sistema de EGR utiliza estos datos para controlar un actuador denominado válvula EGR (MEGANEBUY, 2011).

2.2.1 Sensores del sistema EGR. Básicamente los sensores del sistema EGR, informarán al módulo de control EGR el estado de funcionamiento del motor, y las condiciones bajo las cuales funcionará el sistema, el módulo de control determinará la magnitud de apertura de la válvula EGR, permitiendo controlar el flujo de gases de escape a la admisión (RUEDA, 2010).

2.2.1.1 Sensor DPFE (Sensor de Retroalimentación de Presión Diferencial). El sensor envía una señal del voltaje al PCM, mismo que interpreta esta como la presión en ducto de escape, y ajusta el solenoide de vacío para permitir que pase una cantidad adecuada de gas de escape.

Figura 5. Sensor DPFE



Fuente: <http://encendidoelectronico.com/eadmin/txt/DPFE%20-%201.jpg>

2.2.1.2 *Sensor CKP o sensor de régimen de giro.* Es el encargado de informar a la computadora de inyección, en todo momento, cual es el régimen de giro del motor. El PCM calcula el régimen de giro al cual se abrirá la EGR.

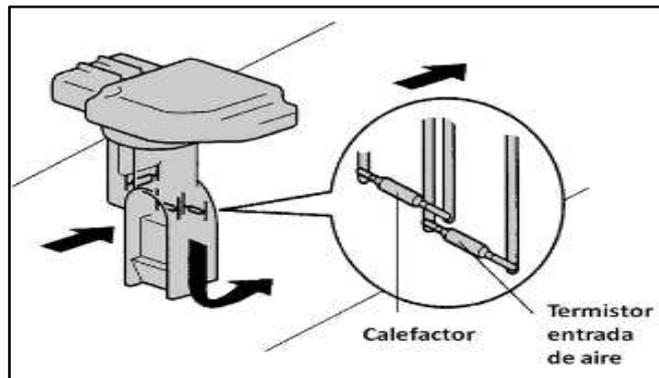
Figura 6. Sensor CKP



Fuente: Autores

2.2.1.3 *Sensor MAF o sensor de flujo de aire.* Informa a la PCM la temperatura y cantidad del flujo de aire que ingresa al motor. Con este dato se puede calcular la cantidad de flujo de gases EGR a recircular.

Figura 7. Sensor MAF



Fuente: <http://e-auto.com.mx/imagenes/manuales/electronica/varios/MAF-03.jpg>

2.2.1.4 *Sensor CTS o sensor de temperatura del refrigerante.* Informa a la PCM la temperatura del motor, para así determinar la activación o no del sistema EGR.

Figura 8. Sensor CTS



Fuente:<http://www.obd-codes.com/faq/images/ect-sensor.jpg>

2.2.1.5 *Sensor TPS o sensor de posición de la mariposa de aceleración.* Informa al PCM la carga del motor y la posición de la mariposa de aceleración, para determinar el momento exacto en el que se deben recircular los gases de escape.

Figura 9. Sensor TPS



Fuente: Autores

2.2.2 *Actuadores del sistema EGR.* El principal actuador del sistema EGR lo constituye la válvula de recirculación de gas de escape, sin embargo como se mencionó, en algunos casos la válvula se acciona por acción del vacío del motor, o mediante un control electrónico (MEGANEBY, 2011).

2.2.2.1 *Válvula EVR (Exhaust Vacuum Recirculate).* Es la encargada de proporcionar vacío o no a la válvula EGR, permitiendo que esta abra o cierre el paso de gases de escape.

Figura 10. Válvula EVR

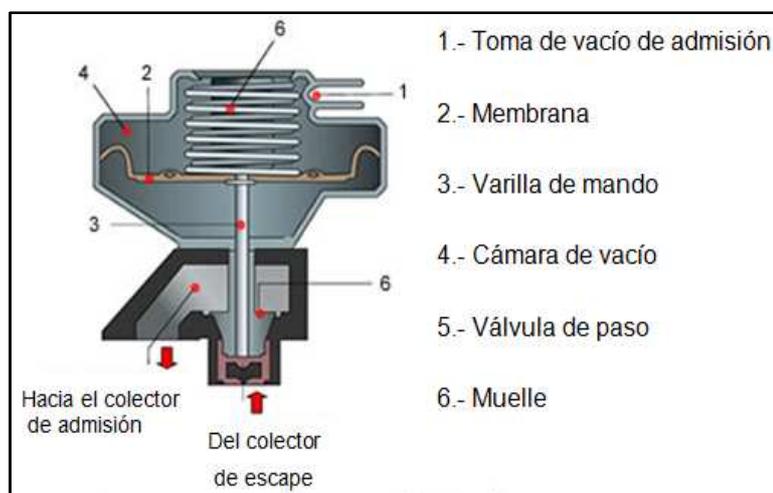


Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/imagesartic1/electrovalvula-egr.gif>

2.2.2.2 Válvula EGR. La válvula EGR dosifica el caudal de gases de escape recirculados es decir abre y cierra el paso de gases de escape hacia la admisión, es accionada, neumáticamente (por vacío), o electrónicamente mediante un micro controlador.

2.2.2.3 Válvulas EGR neumáticas. Son accionadas por vacío. Están constituidas por una membrana empujada por un muelle, que abre o cierra una válvula a través de una varilla hueca en cuyo extremo lleva un punzón. La varilla está acoplada a la membrana, que se mueve abriendo la válvula cada vez que la depresión actúa sobre la membrana y vence la presión del muelle. En este caso el vacío aplicado a la EGR, es controlado por la PCM mediante el Actuador EVR.

Figura 11. Válvula EGR Neumática



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-emisiones/egr-neumatica.jpg>

2.2.2.4 Válvulas EGR eléctricas o electromagnéticas. Trabajan autónomamente, es decir no usan el vacío generado por el motor. Constan de un solenoide que actúa al recibir señales eléctricas de la PCM cerrando o abriendo un paso por el que recirculan los gases de escape. El mayor o menor volumen de gases a recircular viene determinada por la PCM.

Figura 12. Válvula EGR Eléctrica



Fuente: <http://cli.gs/6nhkufn>

2.3 Sistemas complementarios al sistema de recirculación de gases de Escape

El sistema de recirculación de gas de escape funciona complementado por los sistemas de admisión y escape del motor de combustión interna por lo que es necesario conocer su constitución y el funcionamiento de los mismos.

2.3.1 Sistema de admisión de aire. El sistema de admisión es el encargado de filtrar y permitir el ingreso de aire hacia los cilindros. Está constituido de las siguientes partes.

Figura 13. Sistema de admisión de aire



Fuente: <http://i44.tinypic.com/zvsv2b.jpg>

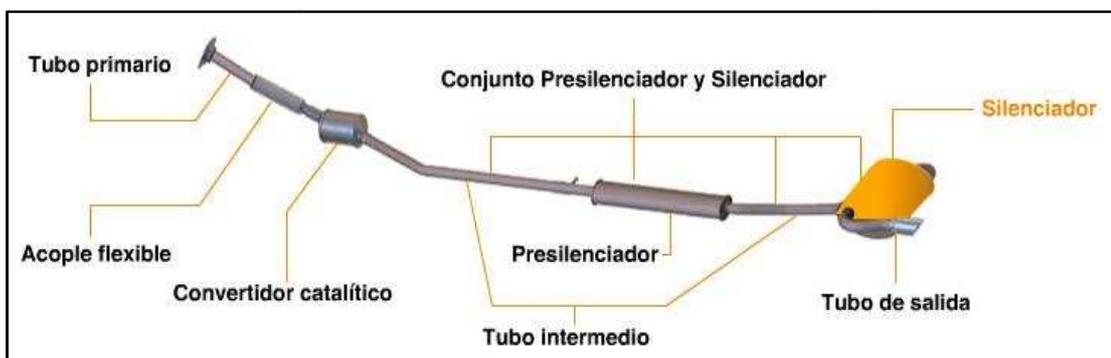
Tabla 1. Partes del sistema de admisión

Toma de ingreso del depurador.	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso de aire al Circuito de admisión. • Contiene el elemento filtrante.
Filtro de aire.	<ul style="list-style-type: none"> • Retiene partículas extrañas, abrasivos y humedad.
Sensor de Flujo de aire	<ul style="list-style-type: none"> • Informa a la PCM cantidad y temperatura de aire que ingresa al sistema
Cuerpo de aceleración.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el paso de mas o menos aire hacia los cilindros acelerando el motor. • Contiene el sensor TPS que informa la posición de la mariposa de aceleración. • Contiene la válvula IAC para el control de marcha mínima.
Colector de admisión.	<ul style="list-style-type: none"> • En el se inyecta el combustible disicado por medio de inyectores. • Diseñado para generar turbulencia. • Permite el ingreso de Aire y combustible mezclados a los cilindros.
Válvula de admisión.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el ingreso de mezcla a los cilindros y sella la cámara para una máxima compresión de los gases. • Es accionada por un eje de levas y un balancín. • La cara de sus asiento es cóncava para generar turbulencia.
Empaques y sellos.	<ul style="list-style-type: none"> • Evitan fugas de vacío y fallos devidas a estas fugas.

Fuente: Autores

2.3.2 Sistema de gases de escape. Su función es evacuar del interior de los cilindros los gases residuales del proceso de combustión, reduciendo en su recorrido emisiones y ruido resultado de la combustión. Está formado de las siguientes partes:

Figura 14. Sistema de escape



Fuente: <http://cli.gs/3q6ufcv>

Tabla 2. Partes del sistema de escape

Válvula de escape.	<ul style="list-style-type: none"> • Accionada por una leva, abre y cierra el ducto de escape. • Su asiento es convexo para facilitar salida de gases.
Colector de escape.	<ul style="list-style-type: none"> • Recibe los gases de escape de los 4 cilindros y disipa el calor generado por los mismos. • Esta fabricado de fundición de hierro y su superficie es pulimentada para facilitar la salida de gases.
Ducto principal de gases de escape	<ul style="list-style-type: none"> • Conecta el colector con el catalizador y el resto del sistema de escape.
Catalizador.	<ul style="list-style-type: none"> • Su función es segun el tipo (2 ó 3 vías reducir las emisiones de CO, CO2 e HC), mediante óxido-reducción.
Silenciador.	<ul style="list-style-type: none"> • Su función es reducir el ruido generado por la combustión dentro del motor.

Fuente: Autores

2.4 Otros sistemas anti contaminación en vehículos a gasolina

El sistema EGR complementa el funcionamiento de otros sistemas incorporados en vehículos a gasolina, cuyo fin es reducir emisiones, describiremos brevemente estos sistemas(ALONSO, 2002).

2.4.1 Sistema de Evaporación de gases (EVAP). Reduce las emisiones de hidrocarburos evaporados a causa del movimiento y temperatura en el depósito de combustible, recirculándolos a la admisión.

2.4.2 Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV). Recircular a la admisión los vapores del lubricante generados por el giro del cigüeñal y temperatura en el interior del cárter.

2.4.3 Sistema de inyección de aire secundario. Inyecta una pequeña cantidad de aire en el ducto de escape con el fin de favorecer la reducción de los hidrocarburos no quemados.

2.4.4 Sistema catalizador. En el catalizador se produce la oxidación química de los residuos de combustión (CO, CO₂, NO_x, HC), gracias a que en su estructura incorpora materiales preciosos como el paladio, platino y rodio.

2.5 Flujo másico de aire y eficiencia volumétrica en el colector

El flujo másico de aire y la eficiencia volumétrica en el colector son factores bastante influyentes para el sistema de recirculación de gases de escape puesto que conociendo cual es el flujo másico de aire, se puede determinar una tasa de gas de escape a recircular que se halle dentro del margen establecido (DÍAZ, 2010).

2.5.1 Flujo másico de aire en la admisión. El principal gas que ingresa a un motor de combustión interna lo constituye el aire, compuesto principalmente por Nitrógeno (78%), Oxígeno (21%), Vapor de agua (0,7%), y otras sustancias como Ozono, CO₂, hidrógeno y gases nobles (1%). Cuya combinación estequiometría con la gasolina permiten la transformación de energía.

El aire en el proceso de combustión tiene un comportamiento bastante aproximado a un gas ideal por lo que para efectos de cálculos y diseño se considera como un gas ideal gobernado por la ecuación.

$$P * V = \dot{m}RT(2)$$

Dónde:

P: Presión del aire, en N/m²

V: Volumen del aire, en cm³

m: flujo de masa del aire, en Kg/s

R: Constante particular del aire

T: Temperatura del aire, en K

La cantidad de masa que el motor consume por unidad de tiempo se conoce como flujo másico de aire. El flujo másico del aire para el motor de ciclo Otto lleva una estrecha relación con el régimen de giro del motor y el número de ciclos por vuelta del cigüeñal por lo que el cálculo de flujo másico para un ciclo del motor Otto corresponde a la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = \frac{P_o}{R \times T_o} \times \frac{\text{cilindrada}}{3} \times N \times A \quad (3)$$

Dónde:

P_o : Presión atmosférica, en N/m^2

R : constante particular del aire

T_o = Temperatura del aire, en $^{\circ}K$

N = Número de revoluciones, en rev/min

A : Numero de ciclos por cada vuelta del cigüeñal

Cilindrada: Hace referencia a la cilindrada unitaria, en este caso analiza un motor de pistón rotativo que como sabemos posee un rotor equivalente a 3 cilindros por ello se divide entre 3.

Ajustando la ecuación anterior para un motor de 4 cilindros alternativos tenemos:

$$\dot{m}_a = \frac{P_a * V_h * N * A}{R * T_a} \left[\frac{Kg}{s} \right] (4)$$

Dónde:

P_a : Presión en la admisión, en N/m^2

V_h : Cilindrada unitaria, en cm^3

N : Régimen de giro, en rpm

A : Número de ciclos por vuelta del cigüeñal

R : Constante particular del aire

T_a : Temperatura del aire de admisión, en $^{\circ}K$

Adicionalmente es importante conocer la relación entre el flujo másico y el caudal puesto que ello será de gran utilidad en el diseño de la tubería.

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} \left[\frac{m^3}{s} \right] (5)$$

Dónde:

\dot{Q} : flujo másico de aire, en kg/s

ρ : densidad del aire en Kg/m^3

2.5.2 Eficiencia volumétrica en el colector de admisión. Se denomina eficiencia volumétrica a la relación existente el volumen real de aire aspirado por unidad de tiempo y el volumen teórico de aire aspirado por unidad de tiempo suponiendo el 100% de la eficiencia volumétrica.

La eficiencia volumétrica es un factor adimensional y se calcula mediante la siguiente expresión matemática.

$$\eta_v = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_T} * 100(6)$$

Dónde:

\dot{Q}_R = Caudal real de aire aspirado, en lt/min

\dot{Q}_T = Caudal de aire teórico aspirado, en lt/min

Para calcular el caudal real de aire aspirado, se debe utilizar un equipo de diagnóstico que permitirá conocer el gasto másico en la admisión. Sin embargo esta expresión viene dada por la ecuación 5 correspondiente al gasto volumétrico:

$$\dot{Q}_R = \frac{\dot{m}_r}{\rho_2} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Para el cálculo de la densidad se procede a utilizar la siguiente relación matemática:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2 * P_1}{\rho_1 * P_2}(7)$$

Donde:

T_1 = Temperatura ambiente, en \mathcal{K}

T_2 = Temperatura en el colector de admisión, en \mathcal{K}

ρ_1 : Densidad del aire a temperatura ambiente, en Kg/m^3

Mientras que el caudal teórico de aire se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_T = \frac{V_h * N * \eta_v * \pi}{60} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (8)$$

Dónde:

V_h = Cilindrada unitaria, en cm^3

N = Número de revoluciones por minuto

η_v = eficiencia volumétrica del 100% = 1

2.5.3 Mezcla Estequiométrica aire-combustible. Se conoce como mezcla estequiométrica a la relación exacta de aire y combustible que debe ingresar a cada uno de los cilindros para producir una combustión completa. En motores gasolina esta

relación corresponde a 14,7:1 es decir 14,7 partes de aire y una de combustible y se determina por el factor lambda que indica si una mezcla está enriquecida o empobrecida(GALLEGOS, 2010).

Entonces si se habla de una mezcla rica (lambda < 1) se dice que hay un exceso de combustible, y se dice que la mezcla es pobre (lambda > 1) hablamos de un exceso en el aire admitido.

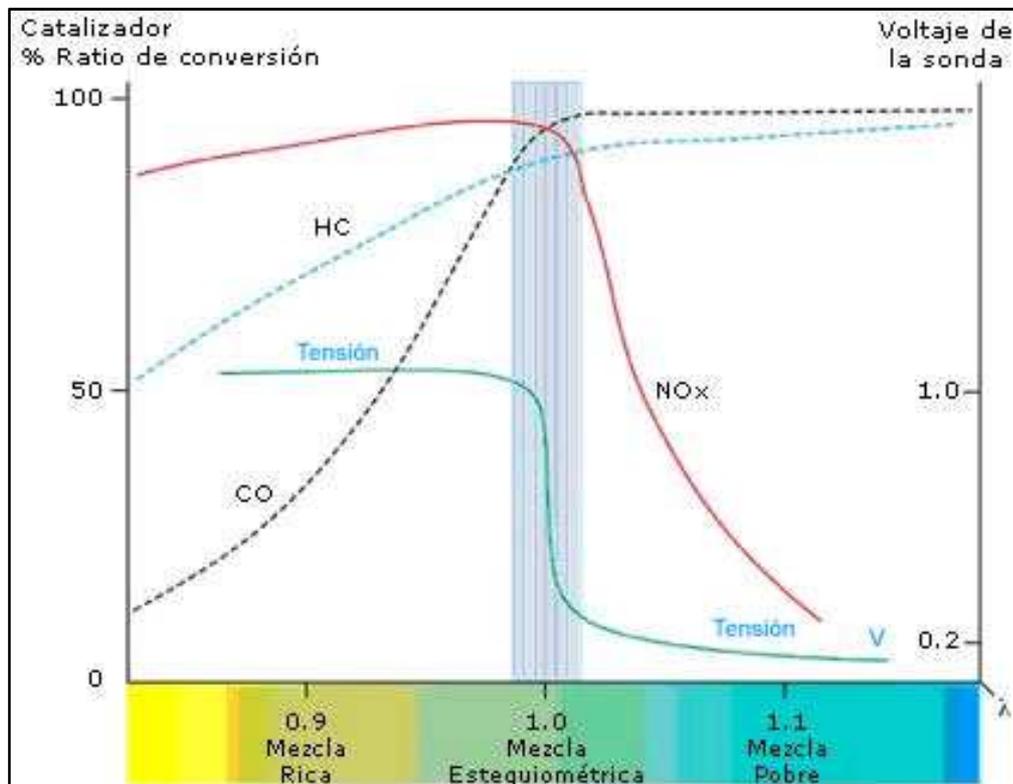
Para determinar el factor lambda se utiliza la siguiente formula:

$$Lambda (\lambda) = \frac{relación\ aire-combustible\ real}{relación\ aire-combustible\ teórica} \quad (9)$$

La condición de lambda igual 1, es inexistente puesto que no existe ningún sistema de control electrónico capaz de regular la cantidad exacta de aire y combustible debido a la gran gama de regímenes de giro del motor.

2.5.4 Composición de los gases resultantes en la combustión. Luego del proceso de combustión en motores de gasolina existen gases residuales este tipo de gases de escape presentan una estrecha relación con el factor lambda y sus características son descritas a continuación:

Figura 15. Combustión de la mezcla y emisiones de escape



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-emisiones/lambda-tension.jpg>

Como se puede visualizar en la gráfica la relación entre el factor lambda y los NOx es inversamente proporcional por lo que si lambda crece los NOx disminuyen. Adicionalmente se observan relaciones inversamente proporcionales entre lambda y los dióxidos de carbono, mientras que el oxígeno e hidrocarburos particulados crecen en proporción directa a este factor. Los monóxidos de carbono parecen tener una tendencia lineal al crecimiento de lambda si aumentar cuando la mezcla se empobrece.

En la Tabla 3 se muestran una breve descripción de los gases resultantes de la combustión en motores a gasolina.

Tabla 3. Descripción de los gases resultantes de escape

Gas de combustión	Característica
Nitrógeno (N2)	No es combustible, es incoloro e inodoro. No es Tóxico.
Oxígeno (O2)	Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Su concentración es censada, para determinar lambda.
Agua (H2O)	Se lo puede visualizar como un humo blanco o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo.
Dióxido de carbono (CO2)	Es un gas incoloro, no combustible y no tóxico, es indicativo de una combustión bastante buena, y su concentración en el ambiente produce alteraciones climatológicas como el efecto “invernadero”
Monóxido de carbono (CO)	Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En contacto con el aire ambiental se oxida formando dióxido de carbono CO2.
Óxidos nítricos (NOx)	Resultan de la combinación del oxígeno y el nitrógeno a causa de la alta presión y temperatura. Suelen ser de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios.
HC – Hidrocarburos	Son restos de Hidrocarburos no quemados en el proceso de combustión.

Fuente: Los Autores

2.6 Conceptos para el diseño y selección de tuberías para conducción de gases

El diseño de tuberías consiste en analizar los esfuerzos a los que el sistema está sometido con el fin de determinar dimensiones de las tuberías, brida y su tortillería, empaques, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor, juntas de expansión. También incluye el diseño de los elementos de soporte, tales como zapatas, resortes y colgantes, pero no incluye el de estructuras para fijar los soportes, tales como fundaciones, armaduras o pórticos de acero (GOTERA, 2005).

2.6.1 Procedimiento de diseño de tuberías. La lista siguiente muestra los pasos que deben completarse en el diseño mecánico de cualquier sistema de tuberías:

- a) Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones, tales como la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas.
- b) Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
- c) Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilidad y resistencia.
- d) Selección de las clases de "rating" de bridas y válvulas.
- e) Cálculo del espesor mínimo de pared (Schedule) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
- f) Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías.
- g) Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.

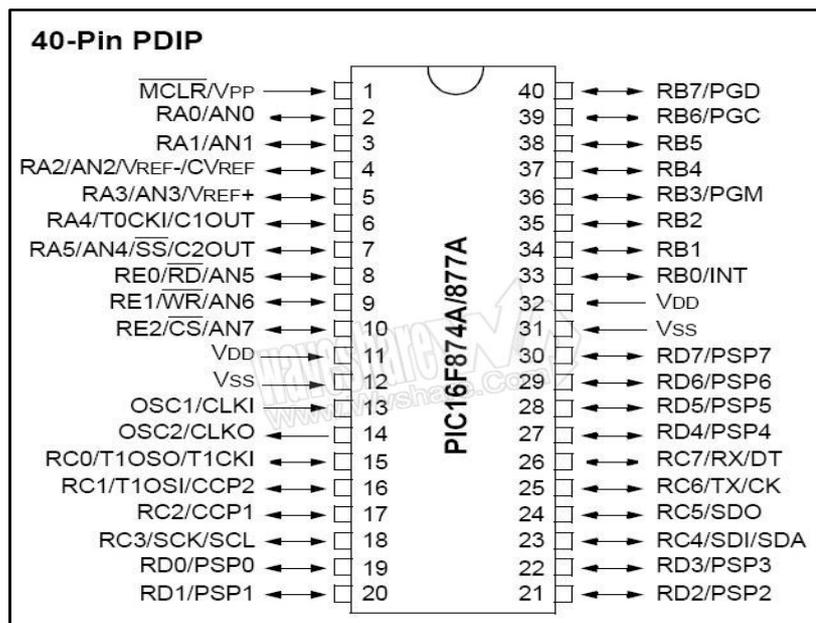
El análisis de flexibilidad tiene por objeto verificar que los esfuerzos en la tubería, los esfuerzos en componentes locales del sistema y las fuerzas y momentos en los puntos terminales, estén dentro de límites aceptables, en todas las fases de operación normal y anormal, durante toda la vida de la planta.

2.7 Arquitectura del módulo de control EGR (microcontrolador)

2.7.1 Arquitectura del PIC 16F877A. El PIC16F877 es un microcontrolador con memoria de programa tipo FLASH, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje ya que no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM, sino que permite reprogramarlo nuevamente sin ser borrado con anterioridad (GARCIA, 2008).

Fabricado con tecnología CMOS, su consumo de potencia es muy bajo y además es completamente estático, esto quiere decir que el reloj puede detenerse y los datos de la memoria no se pierden. Externamente, el encapsulado más común para este microcontrolador es el DIP (Dual In-line Pin) de 40 pines, propio para usarlo en experimentación.

Figura 16. Designación de pines PIC16F877A



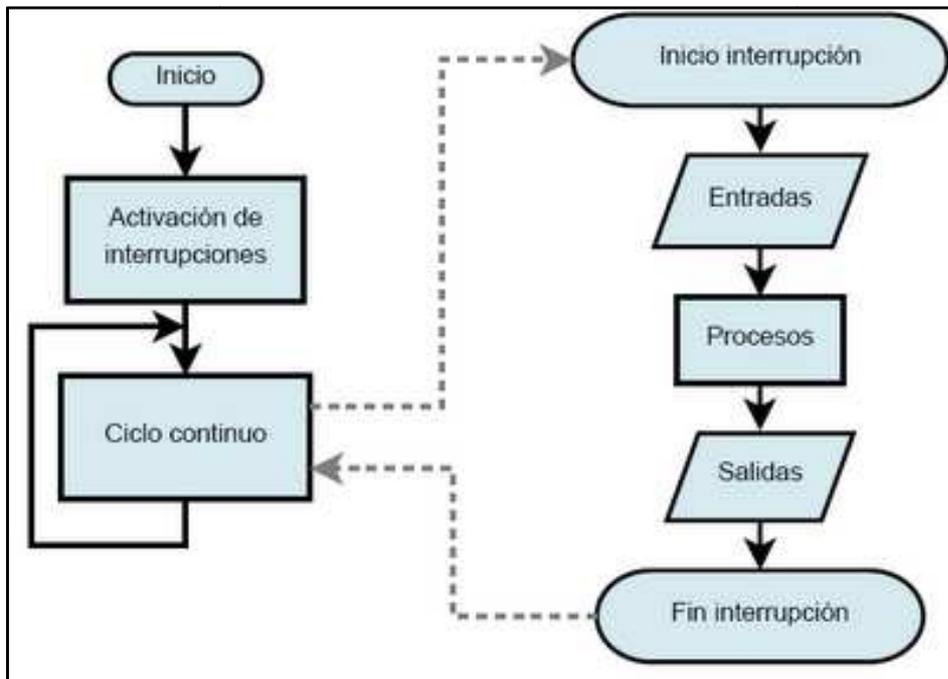
Fuente: http://www.wvshare.com/img/pinout/PIC16F877A_1.jpg

Internamente el microcontrolador 16F877 está constituido por las siguientes partes:

- Memoria de programa (FLASH)
- Memoria de datos RAM
- Memoria EEPROM de datos
- Reloj
- Ciclo máquina

2.7.2 Utilización de las interrupciones. Las Interrupciones son un método del que disponen los microcontroladores, para atender alguna circunstancia que requiera su inmediata atención. Al presentarse un pedido de interrupción el microcontrolador da por terminado cualquier instrucción en curso, y hará un salto a una subrutina de Interrupción, una vez terminada esta subrutina, volverá a su labor anterior.

Figura 17. Diagrama de bloque básico de un programa con subrutinas de interrupción



Fuente: <http://blog.solucioneselectronicasrl.com/wp-content/uploads/interrupciones.png>

Una vez terminado el tratamiento de la interrupción, es importante que el micro controlador siga con lo que estaba haciendo. Por eso se debe antes de tratar la Interrupción se guarde de alguna forma el estado del micro y al terminar la rutina del micro se restaure su estado antes del ingreso a la Subrutina.

En especial antes de ingresar a una interrupción se debe guardar el estado del REGISTRO STATUS, una buena manera es hacerlo en la pila o stack(BISMARCK, 2012).

2.7.3 Pantalla de cristal líquida (LCD) LMO16L. Una pantalla de cristal líquido o LCD (sigla del inglés liquid crystal display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica(BISMARCK, 2012).

Figura 18. Configuración de un LCD 2 x 16

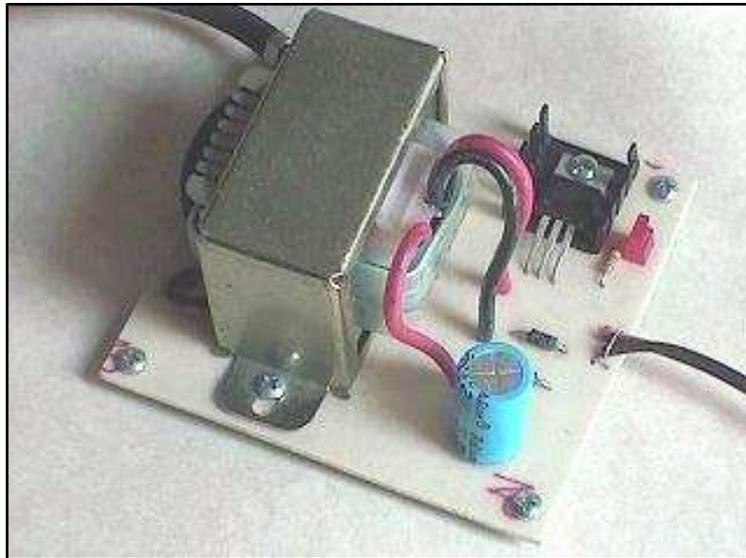


Fuente: http://ep.yimg.com/ca/l/yhst-27389313707334_2252_107171318

2.8 Elementos electrónicos usados en el módulo de control

2.8.1 Componentes activos. Los componentes activos son aquellos que son capaces de excitar los circuitos o de realizar ganancias o control del mismo. Fundamentalmente son los generadores eléctricos y ciertos componentes semiconductores. Estos últimos, en general, tienen un comportamiento no lineal, esto es, la relación entre la tensión aplicada y la corriente demandada no es lineal.

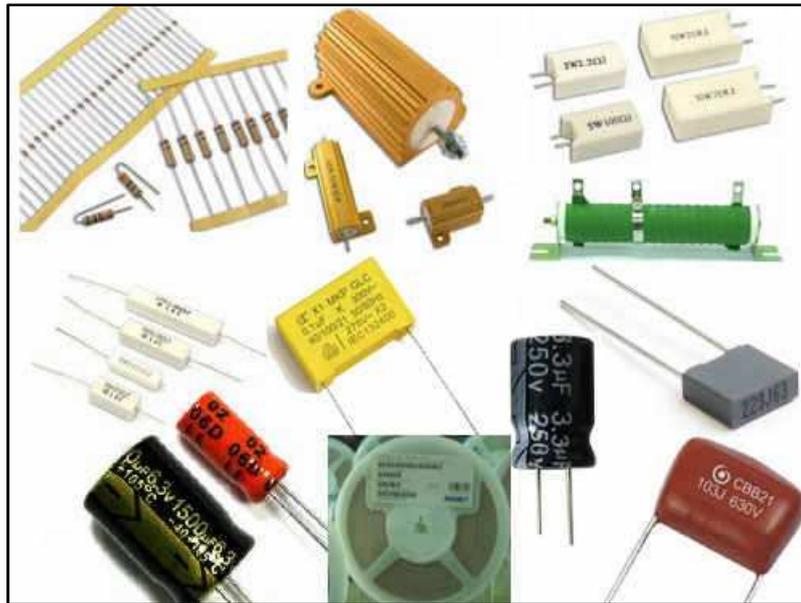
Figura 19. Componente electrónicos activos



Fuente: http://www.biyubi.com/proyecto_fuente9.jpg

2.8.2 Componentes pasivos. Son aquellos que no necesitan una fuente de energía para su correcto funcionamiento. No tienen la capacidad de controlar la corriente en un circuito. Los componentes pasivos se dividen en:

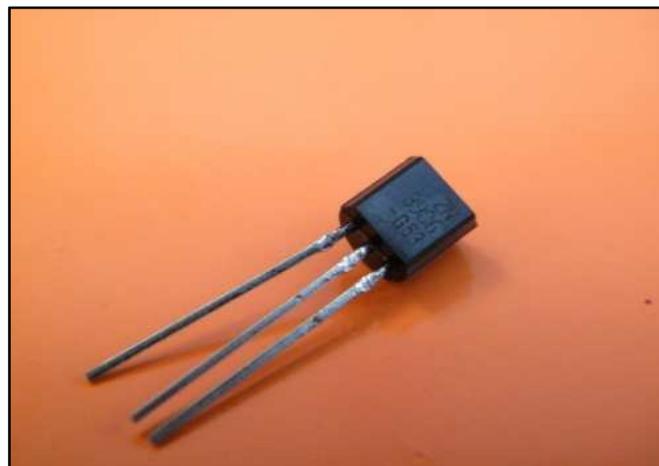
Figura 20. Componentes pasivos



Fuente: <http://www.iaecontrol.com.mx/images/componentespasivos.jpg>

2.8.2.1 Transistores bipolares BJT. Es un dispositivo electrónico que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. La constitución de sus patas son:

Figura 21. Transistor PNP

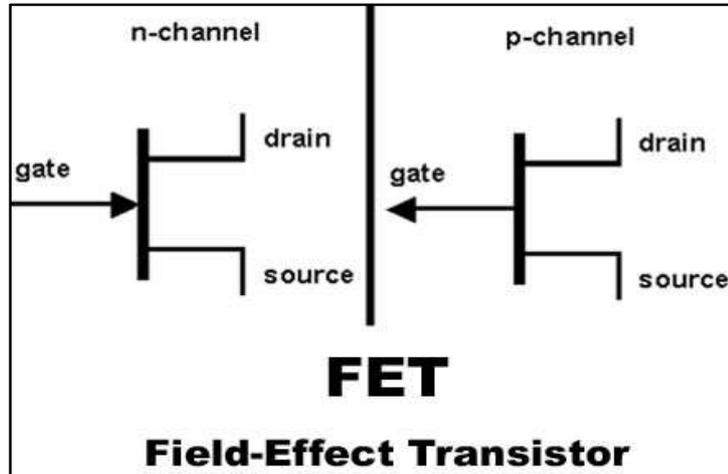


Fuente: <http://cli.gs/nl58c1k>

2.8.2.2 Transistores efecto campo (FET). Sirven para controlar la conductividad de un “canal” en un material semiconductor. El transistor de efecto de campo se comporta como un interruptor controlado por tensión, donde el voltaje aplicado a la puerta permite hacer que fluya o no corriente entre drenado y fuente.

Los transistores de efecto de campo o FET se subdividen en los JFET y MOSFET. La configuración de sus tres terminales, se denominan puerta (gate), drenado (drain) y fuente (source).

Figura 22. Esquema transistor FET



Fuente: <http://cli.gs/cp4fvrc>

2.9 Equipo para análisis de gases MGT 5

2.9.1 Principio de funcionamiento. El instrumento determina los porcentajes en volumen de CO/CO₂/HC según el principio de la absorción selectiva de cada gas en la zona de la radiación infrarroja. El gas de escape a analizar es extraído del tubo de escape a través de la sonda. A continuación el agua contenida es separada y el gas de escape entra en la cámara de medición (MAHA, 2003).

Un haz de luz infrarroja dirigido a los elementos de medida es atenuado por los gases presentes en la cámara de medición. Dependiendo de cada tipo de gas la atenuación del haz luminoso se produce a longitudes de onda diferentes. (Espectro de absorción).

La absorción se intensifica en la medida que aumenta la concentración de los gases. Estas variaciones se detectan por medio de sensores electrónicos, delante de los cuales están montados filtros ópticos que únicamente dejan pasar rayos infrarrojos de la longitud de onda deseada.

En cambio, la determinación del porcentaje en volumen de oxígeno se realiza con un sensor químico, el cual emite una señal eléctrica que es proporcional al porcentaje en volumen de oxígeno. Opcionalmente es posible determinar el porcentaje en volumen de NO por medio del sensor correspondiente.

2.9.2 Partes constitutivas. El analizador de gases consta de las siguientes partes.

Figura 23. Vista frontal y posterior del equipo MGT-5



Fuente: <http://cli.gs/3cxehn>

2.9.2.1 Vista lateral equipo MGT-5. El analizador de gases MGT5 tiene dos partes laterales desplegables detrás de las cuales se encuentran los filtros. La apertura de las partes laterales para la sustitución de los filtros puede ser realizado por el controlador.

Figura 24. Vista lateral del equipo MGT - 5



Fuente: <http://cli.gs/whk0iw7>

2.9.2.2 Sonda flexible de gases de escape. Es la encargada de medición de los gases de escape consta de una grapa de fijación, pre filtro y tubo flexible de 8 metros. En el mango de la sonda de medición se encuentra una pieza adicional de tubo flexible para tapar la sonda (prueba de hermeticidad).

Figura 25. Sonda flexible



Fuente: <http://cli.gs/loyubnu>

2.9.3 Software de control del equipo. Adicionalmente se ha desarrollado un programa informático específico para el analizador de gases MGT5, el cual almacena todos los valores de medida y los visualiza en pantalla.

Figura 26. Interfaz software equipo MGT-5



Fuente: <http://cli.gs/letifxc>

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS TÉCNICO ACTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1 Evaluación general del estado del motor

El banco de pruebas motivo de análisis e implementación del sistema anticontaminación EGR, tiene las siguientes características.

- Serie del motor: C14SE
- Cilindrada total: 1389 cm³
- Potencia: 60 kW – 5800 min⁻¹
- Torque máximo: 114 Nm – 3400 min⁻¹
- Presión de compresión: 9,5 – 10 Bar
- Relación de compresión: 9,8:1
- Volumen del colector de admisión: 1440 cm³

El motor de combustión interna C14SE, posee todos sus sistemas auxiliares con un aparente estado de funcionamiento óptimo, a simple vista no existen problemas de fugas u otros indicativos de falla por lo que el primer paso es constatar si el motor enciende con normalidad.

Para realizar la prueba de funcionamiento KOER (Key ON Engine Run) es necesario instalar un switch de arranque, puesto que la tesis no dispone de un dispositivo de arranque adecuado para realizar las pruebas.

Durante la prueba de funcionamiento se detectaron los siguientes problemas:

- Marcha mínima inestable
- Luz indicadora de mal funcionamiento encendida
- Fuga de aceite entre la caja de velocidades y el volante de inercia

Una vez finalizada la prueba de funcionamiento se procedió a verificar y analizar las posibles causas de estas anomalías encontrándose las siguientes situaciones:

- Combustible sucio
- Aceite degradado
- Ausencia del elemento filtrante de combustible

Figura 27. Estado actual del motor C14SE



Fuente: Autores

Consecuentemente se procedió de forma inmediata a solucionar estos inconvenientes puesto que se necesita de un estado adecuado del motor para realizar la correspondiente implementación del sistema EGR.

3.1.1 *Mantenimiento preventivo y correctivo del motor C14SE.* Es esencial realizar un mantenimiento del motor con el fin de prevenir daños mayores a los ya existentes por lo que se procedió a inspeccionar y realizar un mantenimiento preventivo general del banco de pruebas.

3.1.1.1 *Limpieza del depósito de combustible.* Se procedió con la limpieza del depósito de combustible, puesto que al verificar la cantidad del mismo se notó suciedad excesiva debido a la sedimentación y a la presencia de agua en depósito.

Figura 28. Limpieza del depósito de combustible



Fuente: Autores

3.1.1.2 *Sustitución de aceite del motor.* Se realizó el cambio de aceite y se localizó el punto de fuga del mismo para su corrección. Se comprobó el mal estado del retenedor del cigüeñal y adicionalmente se constató la ausencia de uno de los pernos de sujeción del volante del motor.

Figura 29. Mantenimiento motor C14SE aceite degradado

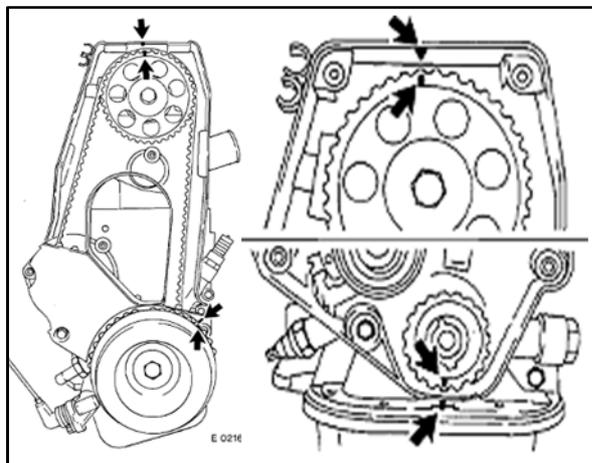


Fuente: Autores

3.1.1.3 *Afinamiento del motor.* Otra falla que se apreció fue la inestabilidad del motor al encenderse, lo cual generó vibraciones, con el consecuente apagado del motor, es decir el motor no ralentizaba y mucho menos desarrollaba su régimen de giro. Se procedió a la respectiva afinación del motor sin encontrar mejora alguna por lo que se procedió a la inspección del sincronismo de válvulas.

3.1.1.4 *Inspección del sincronismo de válvulas.* Se procedió a constatar las marcas de sincronismo de eje de levas y cigüeñal, para descartar fallas de encendido por mala sincronización.

Figura 30. Marcas de sincronización de eje de levas y cigüeñal



Fuente: Manual Opel Corsa B

3.1.1.5 Inspección del sistema de encendido del motor. El sistema de encendido se encontraba aparentemente en buen estado. La falla se detectó durante la prueba de compresión que denotó fisuras en las bujías de encendido, por lo que es necesario sustituirlas.

Bujías fisuradas comprometen el funcionamiento del motor puesto que generan el fenómeno de flash over que produce corrientes parásitas y deterioro de elementos mecánicos debido a la corrosión electrolytica de los mismos.

Figura 31. Bujías de encendido rotas



Fuente: Autores

3.1.1.6 Prueba de compresión. Se procedió a realizar una prueba de compresión para descartar posibles fallos en elementos internos del motor como anillos del pistón, descartándose este problema puesto que el valor promedio de presión de compresión se mostraba en 145 psig.

3.1.1.7 Revisión del sistema de refrigeración. Se notó una fuga de vapor de agua a través de la caja superior del radiador, lo cual no era normal y más bien era un factor de peligro, por lo que se deberá reparar ese punto de riesgo.

Figura 32. Tapa superior del radiador roto



Fuente: Autores

3.1.1.8 Inspección del sistema de control eléctrico y electrónico. Un punto importante fue la revisión del cableado de conexión de sensores y actuadores al PCM, para lo cual se utilizó un multímetro, y se midió continuidad en cables. Notándose defectos en conectores del sistema de inyección electrónica en sensores y actuadores por lo que es necesario sustituir estos conectores defectuosos.

Figura 33. Revisión de conexionado de sensores y actuadores



Fuente: Autores

Revisado el sistema de control electrónico del motor en su totalidad, se procedió a sustituir los conectores defectuosos, puesto que una mala conexión a tierra produce fallos de encendido e inestabilidad.

Figura 34. Conectores defectuosos



Fuente: Autores

Finalmente se procedió a la calibración del control de ralentí, con el procedimiento recomendado por el manual de mantenimiento. Mismo que recomienda desconectar los bornes de la batería y esperar 5 min, luego conectarlos y poner el switch de contacto en la posición de contacto por 5 veces sin encender el motor.

Figura 35. Válvula de control de marcha mínima



Fuente: Autores

Posterior al análisis del estado actual del motor C14SE y antes de proceder con la respectiva implementación y análisis del sistema objeto de la tesis se corrigieron todos estos fallos.

3.1.2 *Evaluación del estado del sistema de admisión.* Como se ha mencionado en capítulos anteriores el sistema EGR vincula directamente a los sistemas de admisión y escape del motor, por lo cual se inspeccionó el estado de cada uno de ellos.

Figura 36. Colector de admisión motor C14SE



Fuente: Autores

En la inspección general del colector de admisión y la correspondiente garganta de estrangulación no se encontró novedades que comprometieran el funcionamiento del sistema en general, en conclusión las condiciones son óptimas para proceder con la adaptación.

3.1.3 Evaluación de estado del sistema de escape. El sistema de escape será el punto de donde el sistema EGR tendrá su inicio por lo que es importante analizar el estado del mismo.

Figura 37. Colector de escape motor C14SE



Fuente: Autores

En la evaluación final el colector de escape no se presentó ninguna clase de daño significativo, el sensor de oxígeno instalado se halla en perfectas condiciones normales de funcionamiento.

3.1.3.1 Tubo primario de escape. El tubo primario de escape se halla fijado con pernos al colector de escape, este ducto conduce los gases de escape desde el colector al exterior y es uno de los puntos principales de análisis puesto que de este punto se procederá a extraer los gases que serán recirculados a la admisión.

Figura 38. Tubo primario de escape



Fuente: Autores

Finalizada la inspección del sistema se procede a verificar un punto del mismo donde los gases de escape estén lo suficientemente fríos como para proceder a la recirculación de los mismos.

3.2 Identificación del sistema de control electrónico del motor corsa 1,4 Lt.

Es importante identificar el sistema de control electrónico del motor puesto que de este se tomarán algunas señales de sensores que controlaran el funcionamiento del módulo EGR. Sin embargo hay que señalar que tanto el módulo de control del motor PCM, como la computadora de control del sistema de recirculación de gases de escape, EGR-M no tendrán ninguna comunicación entre ellas, es decir cada computadora trabajará independientemente, pero compartirán señales de sensores para su funcionamiento.

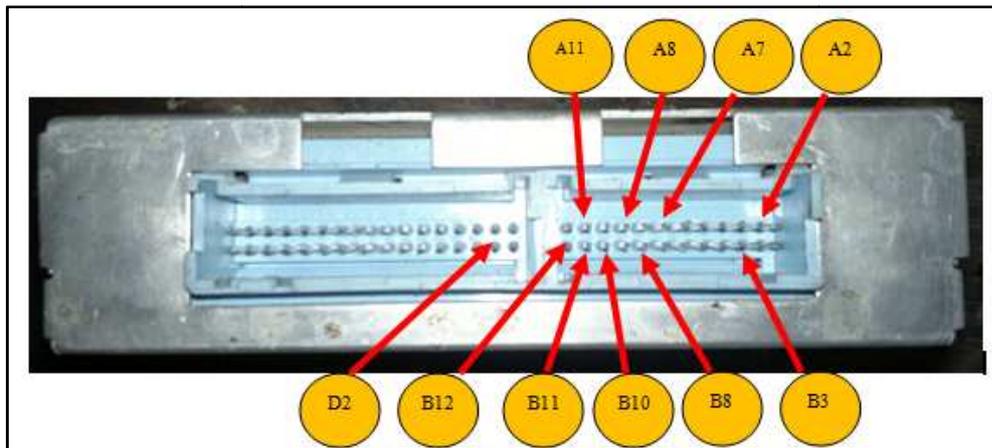
El sistema de control electrónico utilizado en el motor C14SE es el MULTEC - M, que es una inyección multipunto del tipo secuencial(AUTODATA, 2004).

El módulo de control de recirculación de gas de escape EGR-M será diseñado por los autores.

3.2.1 *Identificación de los pines de conexión para el módulo EGR.* Como se mencionó en el numeral anterior el módulo de control EGR necesita de la información de ciertos sensores para su correcto funcionamiento por lo que se procede a citar el correspondiente pin del sistema de control PCM que enviará las señales necesarias para la activación del módulo y la válvula EGR.

- B11: Pin de conexión al sensor de oxígeno
- B8: Alimentación 5 volt al sensor TPS
- D2: Tierra del PCM al sensor 0 volts sensor TPS
- A8: Señal del sensor TPS al PCM
- A2 (B3): Señal del sensor CKP al PCM
- B3 (A2): Señal del sensor CKP al PCM
- B10: tierra del PCM al sensor CKP
- B8: alimentación sensor MAP
- A11: tierra del PCM al sensor MAP
- A7: Señal del sensor MAP al PCM
- A11: tierra CTS
- B12: señal CTS

Figura 39. Pines de conexión módulo PCM



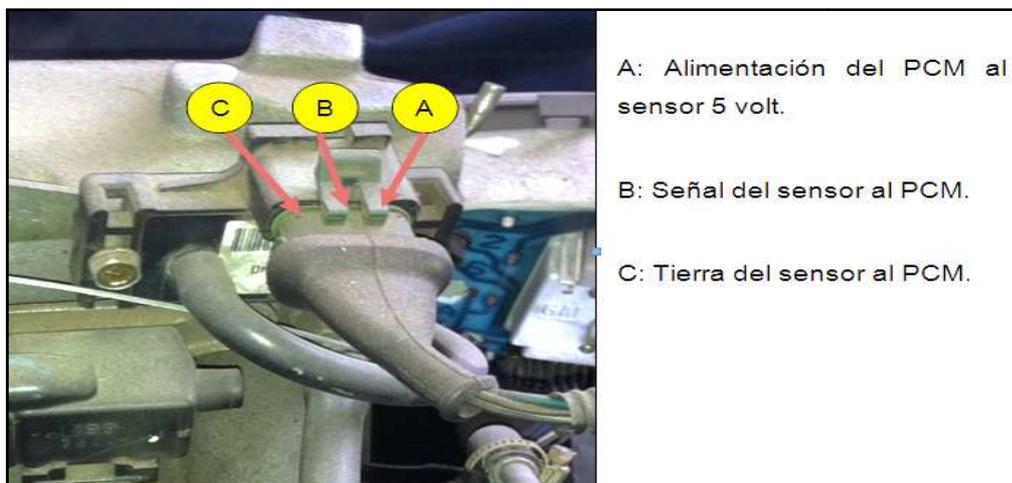
Fuente: Autores

3.2.2 Sensores del motor C14SE. La implementación del sistema EGR, implica usar sensores que son parte del banco de pruebas del motor C14SE estos sensores permitirán la activación de un actuador denominado EGR. A continuación una descripción de estos sensores.

3.2.2.1 Sensor MAP Manifold Absolute Pressure. Es quizá el sensor más importante para el sistema puesto que la carga de aire que ingresa al motor será detectada y convertida en señal eléctrica para el PCM, lo cual determinara cuanto debe abrirse la válvula de recirculación de gases de escape.

El sensor de presión absoluta del colector de admisión consta de 3 terminales denominados A, B y C, cuya designación se muestra en la Figura:

Figura 40. Sensor MAP motor C14SE



A: Alimentación del PCM al sensor 5 volt.

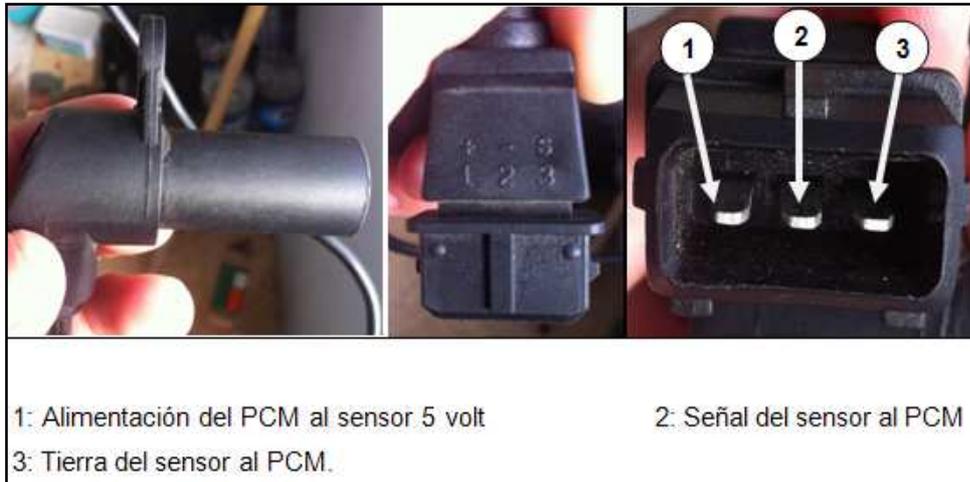
B: Señal del sensor al PCM.

C: Tierra del sensor al PCM.

Fuente: Autores

3.2.2.2. Sensor CKP. El sensor de posición del cigüeñal consta de 3 terminales denominados 1, 2 y 3, y su función será determinar el régimen de giro al cual habrá de funcionar el sistema de recirculación de gases de escape su designación es como muestra la Figura:

Figura 41. Sensor de posición del cigüeñal CKP



Fuente: Autores

3.2.2.3. Sensor de temperatura de refrigerante del motor CTS. El sensor de temperatura de refrigerante del motor determinará el momento en el que el sistema EGR empezara su funcionamiento mismo que se establece cuando el motor alcanza su temperatura normal de funcionamiento entre 80 y 100 ° C.

Consta de 2 terminales: La señal del sensor es interpretada por la computadora mediante un circuito divisor de voltaje en el interior del PCM.

Figura 42. Sensor de temperatura ECT



Fuente: Autores

3.2.2.4. Sensor de oxígeno. Por lo general este tipo de sonda está muy cerca de la salida de gases de escape, lo que permite que la misma trabaje a alta temperatura. El módulo de control EGR no prescindirá de la señal de este sensor, sin embargo es necesario conocerlo puesto que su funcionamiento está relacionado con las emisiones del motor. El sensor de oxígeno posee un único cable de conexión que es por el que se envía la señal del sensor hacia la PCM, misma que fluctúa entre 0,04 volt y 1 volt.

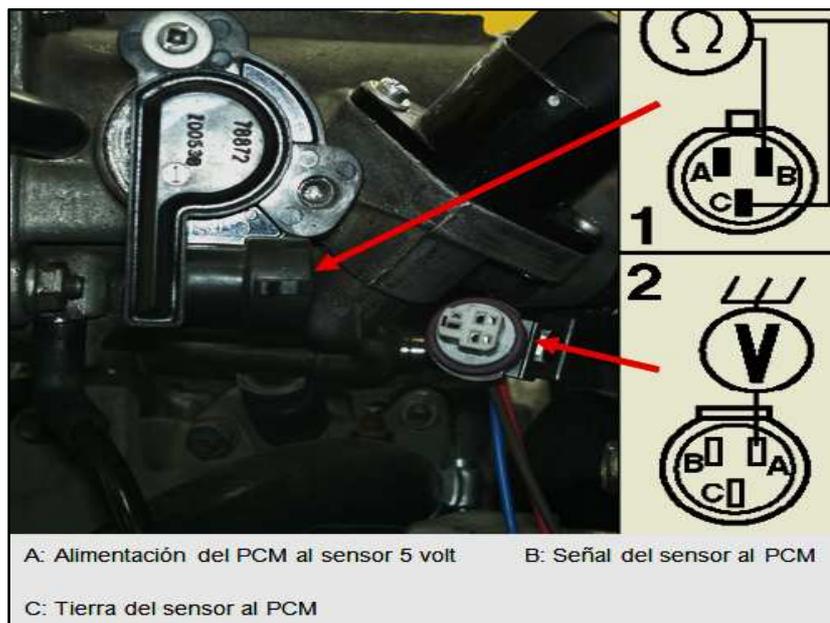
Figura 43. Sensor de oxígeno



Fuente: Autores

3.2.2.5. Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS. El sensor de posición de la mariposa de aceleración es el que proporcionará el dato de carga a la que es sometido el motor, consta de 3 terminales denominados A, B y C.

Figura 44. Sensor de posición de la mariposa TPS



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO EGR

El diseño electrónico correspondiente al sistema de recirculación de gases de escape esta dado en dos etapas:

- Toma de datos críticos para el diseño.
- Cálculo y selección de la tubería de recirculación de gases.
- Diseño del módulo de control de la válvula EGR.

4.1 Toma de datos críticos correspondientes al flujo de gas a través de la tubería EGR

Es necesario realizar la medición de factores que influirán en el diseño del sistema EGR, por lo que se procede a realizar las mediciones de estos factores para que el diseño sea lo más apegado a la realidad y dentro de nuestras posibilidades.

4.1.1 *Medición de velocidad de flujo de gases de escape.* Para la medición de la velocidad de flujo de gas a través del ducto de escape se utilizó un anemómetro mismo que verificó las siguientes velocidades en los siguientes regímenes del motor.

Figura 45. Toma de datos de velocidad usando anemómetro



Fuente: Autores

El régimen de motor para el cual se tomó las correspondiente mediciones va desde el ralentí hasta las 4000 rpm, puesto que el rango de apertura de la válvula EGR se halla entre las 2000 y 4000 rpm y sabiendo que el torque máximo del motor lo obtenemos a las 3400 rpm los datos representativos para el diseño de la tubería se hallan entre las 2000 y las 4000 rpm.

Tabla 4. Velocidad de gas de escape

Régimen de giro rpm	Velocidad gas de escape m/s
1000	13,69
2000	17,9
2500	22,5
3000	26,7
3500	29,8
4000	32,7
4500	35,5

Fuente: Autores

El valor de temperatura se tomó utilizando termo pares del tipo K, cuya aleación permite un rango de medición de temperatura desde los -18 °C hasta los 1300°C. Por ello el dato correspondiente a la temperatura de gases de escape del motor C14SE se halla en el rango de los 150°C a 250°C correspondientes al régimen de ralentí hasta las 5800 rpm. Considerándose este último valor como el valor crítico para el diseño de la tubería de recirculación de gas de escape.

Figura 46. Medición de temperatura en el ducto de escape



Fuente: Autores

El punto del cual los gases de escape habrán de extraerse se seleccionó por inspección de temperatura a diferentes distancias desde el colector de escape hasta el punto final del tubo primario de escape obteniéndose los datos mostrados en la Tabla:

Tabla 5. Temperatura de gases de escape

Longitud m	Temperatura °C
0	200-250
0,5	225
0,1	219
1,5	210

Fuente: Autores

4.1.2 *Presión media de gases de escape.* Para determinar la presión de gases de escape se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones, conocemos el valor de la presión de compresión (145 psi = 9,86 atm), durante el ciclo Otto teórico esta presión sube hasta los 514,51 psi o 35,01 atm. Y finalmente al terminar el tiempo de expansión e iniciar el escape la presión en el interior del cilindro es de 26,4 psi ó 1,796 atm. Este dato final se tomó para calcular las siguientes características de la tubería.

4.1.3 *Medición de presión absoluta en el colector de admisión.* El dato de flujo másico de aire se tomó mediante el equipo de diagnóstico Kargman en el correspondiente flujo de datos, estos datos arrojan la Tabla 6 correspondiente a los datos del sensor MAP.

Tabla 6. Datos sensor MAP proporcionados por herramienta de diagnóstico

MAP – Magneti Marelli GM – Bosch		
Presión absoluta del colector [N/m²]	Voltaje [volt]	Régimen de Giro [rpm]
72451,358	4,8 ± 10%	6500
66017,165	4,2± 10%	6000
60937,539	3,6± 10%	5500
54841,987	3,2± 10%	5000
45698,659	2,8± 10%	4500
38925,824	2,4± 10%	4000
35539,407	1,9± 10%	3500
30459,780	1,5± 10%	3000
23686,945	1,1± 10%	2500
18607,319	0,8 ± 10%	2000
12681,088	0,5± 10%	1000

Fuente: Autores

Utilizando los valores de la Tabla anterior correspondiente al sensor MAP, podemos determinar el flujo másico aproximado para cada régimen de giro para lo cual utilizamos la ecuación 4 correspondiente a la expresión matemática de estado para un gas ideal:

$$= \left(\frac{P_a * V_h * n * N}{R * T_a} \right) \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad (10)$$

Dónde:

P_a : 35539,407 N/m² (en la ciudad de Riobamba)

V_h : 347,25 cm³

n : 3500 rpm

N : 0,5

R : 286,7 J/kgK

T_a : 80°C = 353 K

Entonces:

$$= \left(\frac{35539,407 * 0,00034725 * 3500 * 0,5}{286,7 * 353 * 60} \right) \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$= 0,0035566 \frac{Kg}{s}$$

Tabla 7. Flujo másico real a través de la garganta de admisión

Régimen de giro [rpm]	Flujo másico [Kg/s]
6500	0,013465
6000	0,011326
5500	0,009583
5000	0,007840
4500	0,005880
4000	0,004452
3500	0,003557
3000	0,002613
2500	0,001693
2000	0,001064
1000	0,000363

Fuente: Autores

Se determinó el flujo másico real, correspondiente a la presión absoluta entregada por el sensor MAP se procede entonces a calcular la eficiencia volumétrica para el régimen donde existe mayor flujo másico de aire.

Utilizando el principio de que a mayor temperatura menor densidad tenemos:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1 * \rho_2}{P_2 * \rho_1} \quad (11)$$

Sabemos que $T_1 = 298\text{K}$, $T_2 = 353\text{K}$ y la densidad del aire es de $1,293 \text{ Kg/m}^3$. Entonces:

$$\rho_2 = \frac{P_2 \rho_1 * T_1}{P_1 T_2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_2 = \frac{35539,407 * 1,293 * 298}{72790 * 353} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_2 = 0,5329 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Utilizando este valor de densidad calculamos el flujo volumétrico de aire con la expresión:

$$\dot{Q}_R = \frac{\dot{m}_r}{\rho_2} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (12)$$

$$\dot{Q}_R = \frac{0,003557}{0,5329}$$

$$\dot{Q}_R = 0,006675 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para determinar la eficiencia volumétrica del motor se considera el factor altura sobre el nivel del mar, y se determina el flujo másico de aire necesario a nivel del mar para satisfacer las condiciones del motor. Por lo hacemos uso de la ecuación de estado y evaluamos para las condiciones a nivel del mar. Con la condición de que esta eficiencia se calculará cuando la presión en el colector es igual a la atmosférica, es decir la mariposa de gases totalmente abierta.

$$= \left(\frac{P_a * V_h * n * N}{R * T_a} \right) \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right] \quad (13)$$

Dónde:

P_a : 101320N/m^2 (Presión atmosférica a nivel del mar)

V_h : $347,25 \text{ cm}^3$

n : 6500 rpm

N : 0,5

R : 286,7 J/kgK

T_a : 80°C = 353 K

Entonces:

$$= \left(\frac{101320 * 0,00034725 * 6500 * 0,5}{286,7 * 353 * 60} \right) \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$= 0,01883 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{Q}_T = \frac{\dot{m}_r \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\rho_2}$$

$$\dot{Q}_T = \frac{0,01883}{0,5329}$$

$$\dot{Q}_T = 0,035335 \frac{m^3}{s}$$

Finalmente procedemos a calcular la eficiencia volumétrica considerando que a nivel de Riobamba se tiene un flujo másico de 0,013465. Para ello usamos la siguiente expresión:

$$\eta_v = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_T} * 100 \quad (14)$$

$$\eta_v = \frac{(0,013465)/0,5329}{0,035335} * 100$$

$$\eta_v = 71\%$$

Lo cual determina que por influencia de la altura sobre el nivel del mar la eficiencia volumétrica se ve reducida en un 29%. Adicionalmente se puede determinar la influencia de la tasa máxima de recirculación sobre esta eficiencia.

$$\eta_v = \frac{\dot{Q}_R - (\dot{Q}_R * 0,14)}{\dot{Q}_T} * 100 \quad (15)$$

$$\eta_v = \frac{[(0,013465) - (0,013465 * 0,14)]/0,5329}{0,035335} * 100$$

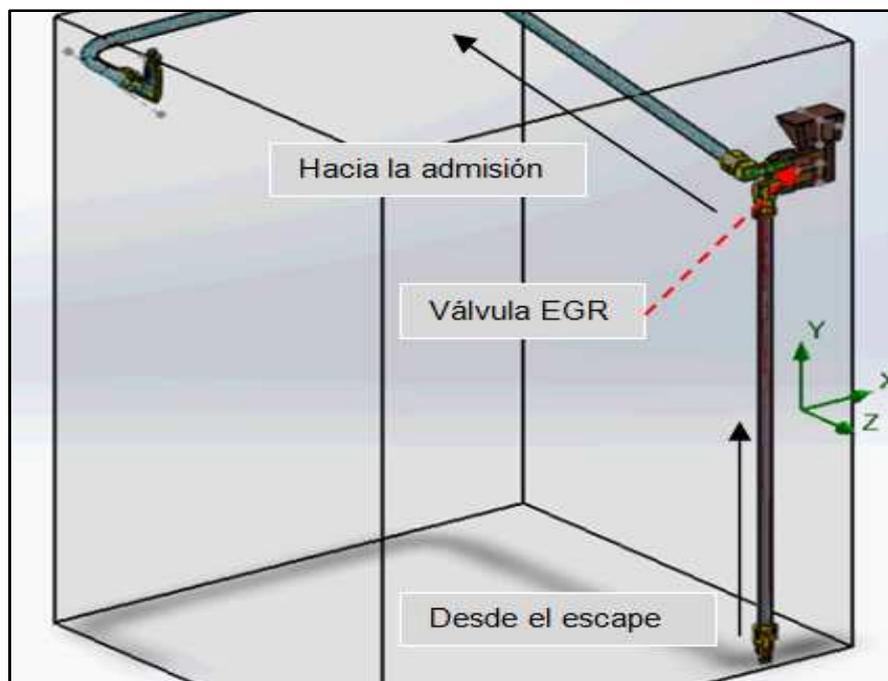
$$\eta_v = 61.49\%$$

Lo cual se considera como un indicativo de que la tasa máxima de gas recirculado no debe ser excedida puesto que con un mínimo porcentaje la eficiencia volumétrica en el colector de admisión se ve mermada en un 10%.

4.2 Cálculo y selección de la tubería de recirculación de gases de escape

La tubería del sistema EGR presenta la siguiente configuración correspondiente al recorrido de la misma desde el tubo primario de escape hasta el punto del colector de admisión donde la velocidad de los gases de admisión permitirá una adecuada homogenización entre los gases recirculados y el aire admitido.

Figura 47. Recorrido del sistema EGR



Fuente: Autores

4.2.1 Determinación de la tasa de recirculación de gas de escape. Para el cálculo correspondiente a la selección de la tubería se tomó en cuenta el flujo másico en el colector de admisión correspondiente al régimen de giro entre 2000 y 4000 rpm, puesto que para vehículos a gasolina el sistema EGR funciona en carga media y alta del motor pues en estas instancias se admite mayor cantidad de aire y se aumenta la formación de NOx.

La tasa de recirculación de gases de escape máxima no sobrepasará el 14% de gas de escape recirculado por lo que se determina de manera simple el 14% del gasto másico de admisión calculado en el numeral a través de la ecuación #15.

La expresión utilizada para el cálculo de la tasa de recirculación de gas de escape se muestra a continuación:

$$\%EGR = \frac{\text{Flujo másico de EGR}}{\text{Flujo másico de admisión}} * 100$$

Evaluando la expresión para los valores de flujo másico correspondientes al régimen de torque máximo podremos conocer cuál será el gasto másico de EGR a recircular.

La razón que justifica el por qué solo se utiliza el régimen de 3400-3500 rpm es por ser este el régimen de en el cual el motor entrega el máximo torque, punto en el que se recomienda la recirculación de gas de escape sea máxima.

Entonces:

$$\text{flujo másico EGR} = \frac{14 * 0,003557}{100} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\text{flujo másico EGR} = 0,00049798 \frac{Kg}{s}$$

Finalmente utilizando este valor se procede a calcular el caudal de EGR que será recirculado a la admisión. Cabe resaltar en este punto que para efectos de cálculo se toma el valor definido como un valor lo más apegado a la realidad es decir no se consideran pérdidas y se usa el mismo para determinar consecuentemente la sección transversal de la tubería EGR.

El valor para el caudal se evalúa con la siguiente expresión.

$$\dot{m} = \rho * \dot{Q}$$

Entonces

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\rho}$$

La densidad de gases de escape se determinó considerando el valor máximo de temperatura de gas de escape (600°C = 873K) y la p resión constante para un gas ideal, obteniendo el siguiente resultado.

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 * T_1}{T_2} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_2 = \frac{1,293 * 298}{873} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\rho_2 = 0,405 \frac{Kg}{m^3}$$

4.2.2 *Cálculo del diámetro de la tubería para la recirculación de gases de escape.* Utilizando la expresión de caudal, y teniendo en cuenta la densidad de gases de escape y su velocidad al régimen de las 3400 rpm, podemos determinar la sección transversal, y por consiguiente el diámetro de la tubería necesaria para el sistema EGR.

$$V = (29,8) \text{ m/s}$$

$$Q = 0,0012296 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{Q} = V * A \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Sabiendo que:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} [\text{m}^2]$$

Entonces:

$$D = \sqrt{\frac{4\dot{Q}}{V * \pi}} [\text{m}]$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,0012296}{29,8 * 3,1416}} [\text{m}]$$

$$D = 7,25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D = 7,25 \text{ mm}$$

Los datos calculados muestran entonces que para un flujo másico máximo de EGR, correspondiente a las 3400 rpm, a una temperatura del aire de admisión de 353K, y con un valor de tasa de EGR máximo del 14%, se debe utilizar un diámetro de tubería de 7,25 mm.

Para la selección de la tubería para recirculación de gases de escape procedemos a utilizar el catálogo DIPAC correspondientes a cañería galvanizada AISI – 1008.

Debido a no existir una tubería de similar o exacta dimensión que la calculada se procede a seleccionar la tubería más próxima y comercialmente disponible, misma que posee un diámetro interno de 16 mm.

Las características de la tubería seleccionada se muestran a continuación:

Esta tubería se fabrica con lámina de acero AISI-1008, se forma en frío y se suelda con equipos de inducción. Luego se calibra y corta en unidades que se prueban

hidrostáticamente a 50 Bar. Posteriormente se galvaniza en caliente por inmersión al espesor por las normas de calidad. Los extremos de esta tubería terminan en roscas cónicas NPT. Se suministra en longitudes de 6mts. Diseñada para la conducción de fluidos poco corrosivos como aceite, aire, agua, gas y vapor, a medias y bajas presiones.

4.2.3 *Cálculo del espesor mínimo de pared de la tubería.* Para el cálculo del espesor de la pared del tubo EGR se emplea la siguiente ecuación.

$$\sigma_T = \frac{P*d}{2t} - P \quad [Pa] \quad (16)$$

Dónde:

σ_T = Esfuerzo tangencial debido a la presión, en Pa.

P = presión de diseño, en Pa.

d = diámetro interior de la tubería en m.

t = espesor de la pared de la tubería en m.

Despejando de la ecuación anterior la expresión de espesor tenemos:

$$t = \frac{P * d}{2(P + \sigma_T)} [m]$$

Sabiendo que el valor de la presión de determinó del ciclo Otto teórico como 176127,4 Pa y que el esfuerzo máximo de tracción al que puede ser sometido la tubería proporcionado en las especificaciones de la misma, es de 340000000 Pa, y que el diámetro calculado es de 0,00725 m tenemos.

$$t = \frac{176127,4 * 0,00725}{2(176127,4 + 340000000)} [m]$$

$$t = 1,88 \times 10^{-6} m$$

$$t = 1,88 \times 10^{-3} mm$$

Lo cual es un valor que se ajusta a las especificaciones de la tubería que se seleccionó.

4.2.4 *Cálculo de deformación debida a cargas térmicas.* Otro de los factores importantes a considerarse en el diseño de la tubería es la deformación que sufre a causa de las cargas térmicas. Misma que se evaluó utilizando la siguiente ecuación.

$$\delta = \alpha * L * \Delta T_t(17)$$

Dónde:

δ = deformación debida a la temperatura, en m

α = coeficiente de expansión térmica, en $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

L = longitud de la tubería, en m

ΔT_t = diferencia de temperaturas, en $^{\circ}\text{C}$

Entonces evaluamos los valores obtenidos de especificaciones y catálogos para el acero AISI 1008. Adicionalmente conocemos los valores de longitud del tramo principal del sistema EGR, que es el directamente sometido a las mayores cargas térmicas. $L = 55$ cm y la diferencia de temperatura corresponde a:

$$\Delta T_t = (250 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_t = 225^{\circ}\text{C}$$

Características mecánicas del acero AISI 1008 según la norma ISO 65.

- Resistencia a la tracción: 340 MPa a 25°C .
- Módulo elástico: 190 – 210 GPa
- Límite Elástico: 285 MPa

Propiedades Térmicas.

- Expansión térmica: $13,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- Conductividad térmica: 59,5 W/m $^{\circ}\text{K}$

Utilizando la ecuación anterior tenemos:

$$\delta = (13,8 * 10^{-6}) * 0,55 * 225$$

$$\delta = 1,71 * 10^{-3}\text{m}$$

Es decir la tubería sometida a una temperatura constante de 250°C se deforma 1,71 mm. Sin embargo la tubería no se halla empotrada en soportes fijos, sino en soportes de caucho que permiten la expansión de la misma. Por lo que los esfuerzos longitudinales debidos a la expansión no se concentran.

4.2.5 Cálculo de pérdidas en accesorios de tuberías. Es inevitable la pérdida de presión a través del ducto por lo que para evaluar la pérdida de presión a través del mismo se considera la siguiente ecuación.

$$(P_1)^2 - (P_2)^2 = 51.5 * \rho * L * \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}} \quad (18)$$

Donde.

P_1 = Presión de diseño, en bar

P_2 = Presión final, en bar

ρ = Densidad del gas, en Kg/m³

Q = Caudal del gas, en m³/h

D = Diámetro interior de la tubería, en mm

L = Longitud de la tubería, en m

Entonces evaluamos los siguientes valores para la ecuación mostrada y tenemos:

P_1 = 1,76 bar

ρ = 0,405 Kg/m³

Q = 4,42 m³/h

D = 16 mm

L = 0,55 m

Entonces:

$$(P_1)^2 - (P_2)^2 = 51.5 * 0,405 * 1,55 * \frac{4,42^{1,82}}{16^{4,82}}$$

$$(P_1)^2 - (P_2)^2 = 0,0007593$$

$$(1,76)^2 - (P_2)^2 = 0,0007593$$

$$P_2 = \sqrt{1,76^2 - 0,0007593}$$

$$P_2 = 1,7598$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = 1,76 - 1,759$$

$$\Delta P = 0,001 \text{ mbar}$$

Que corresponde casi al 0,06% de la presión de diseño.

4.2.6 Selección de la válvula de recirculación de gas de escape. La selección de la válvula de control de recirculación de gases de escape se realizó, basada en el cálculo

del flujo volumétrico de gas de escape que la válvula entregará en condiciones de máxima apertura de la misma.

Conocido el diámetro de diseño de la misma (14 mm) y la velocidad con la que los gases atraviesan la válvula las 3500 rpm (29,8 m/s), se calculó el caudal de la misma y se relacionó con la tasa de recirculación de gas de escape, mediante las ecuaciones mostradas con anterioridad.

$$\dot{Q} = V * A \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{Q} = 29,8 * \frac{\pi * 0,014^2}{4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{Q} = 0,004587 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{m} = 0,012 * 0,405 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = 0,001858 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Sabiendo que el flujo másico de la admisión es de 0,0296 kg/s entonces:

$$\%EGR = \frac{0,001858}{0,003557} * 100$$

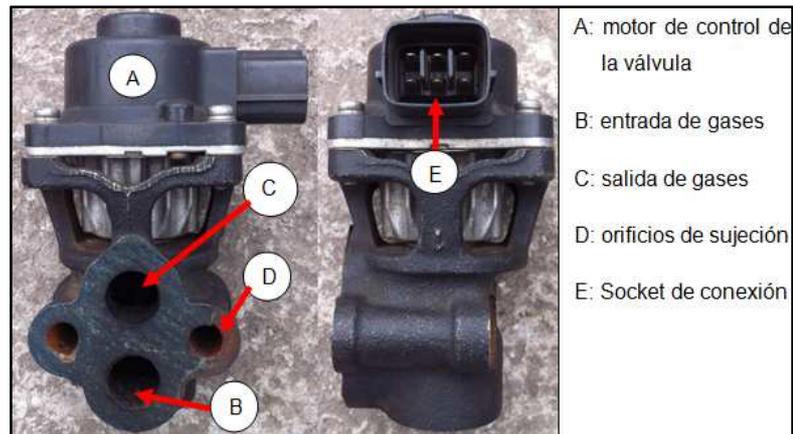
$$\%EGR = 52 \%$$

Lo que significa que la válvula seleccionada permite recircular hasta el 50 % del gas admitido, y considerando que para este tipo de válvulas el coeficiente de pérdidas localizadas se halla entre 0,6 y 0,7. Cumple con el objetivo de recircular el porcentaje de gas de escape asumido. Por lo que satisfizo las condiciones de diseño y ratificó la correcta selección de la válvula recirculación de gas de escape.

Adicionalmente se investigó que la válvula seleccionada se diseñó para resistir altas temperaturas por lo que satisface las condiciones de diseño.

Hay que hacer notar que el tipo de válvula EGR implementado, es del tipo electrónica, cuyo comando se realiza mediante un módulo electrónico que en este caso es independiente del módulo de control del motor, por lo que su funcionamiento dependerá las variables seleccionadas en la etapa de diseño del módulo EGR.

Figura 48. Válvula EGR seleccionada



Fuente: Autores

4.2.7 Selección de acoples para el armado del sistema. Los acoples rápidos se seleccionaron considerando los factores más severos de presión y temperatura y su disponibilidad en el mercado. Los acoples seleccionados presentan las siguientes características.

Figura 49. Acoples rápidos tipo NPT



Fuente: Autores

4.2.8 Selección de soportes de la tubería. La tubería está sometida a cargas estáticas ejercidas por el peso de los elementos como la válvula y su base. El peso de la válvula y sus bases es de 14,7 N, que aplicado sobre el área de la abrazadera que corresponde a 450 mm² nos da un esfuerzo resultante de 0,0327N/mm², lo cual está dentro del rango de especificaciones del fabricante y satisface las condiciones de diseño.

Figura 50. Abrazaderas para tubería

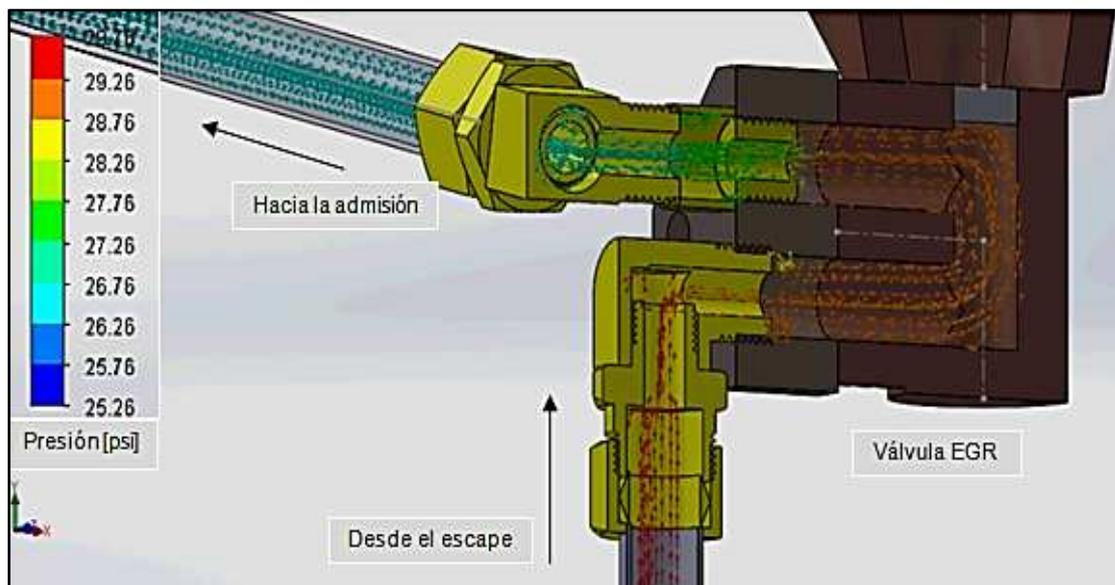


Fuente: <http://la.idealclamps.com/images2/products/list/1450.jpg>

4.3 Análisis del flujo de gases a través del circuito EGR mediante SOLIDWORKS

Para el análisis del flujo de gas recirculado a través de la tubería, se empleó el software de diseño SOLIDWORKS así se modelaron los datos tomados de la etapa de diseño y se consideró el gas de escape a 250°C, con un caudal de 0,01023 m³/s.

Figura 51. Flujo de gas al 100% a través de la tubería



Fuente: Autores

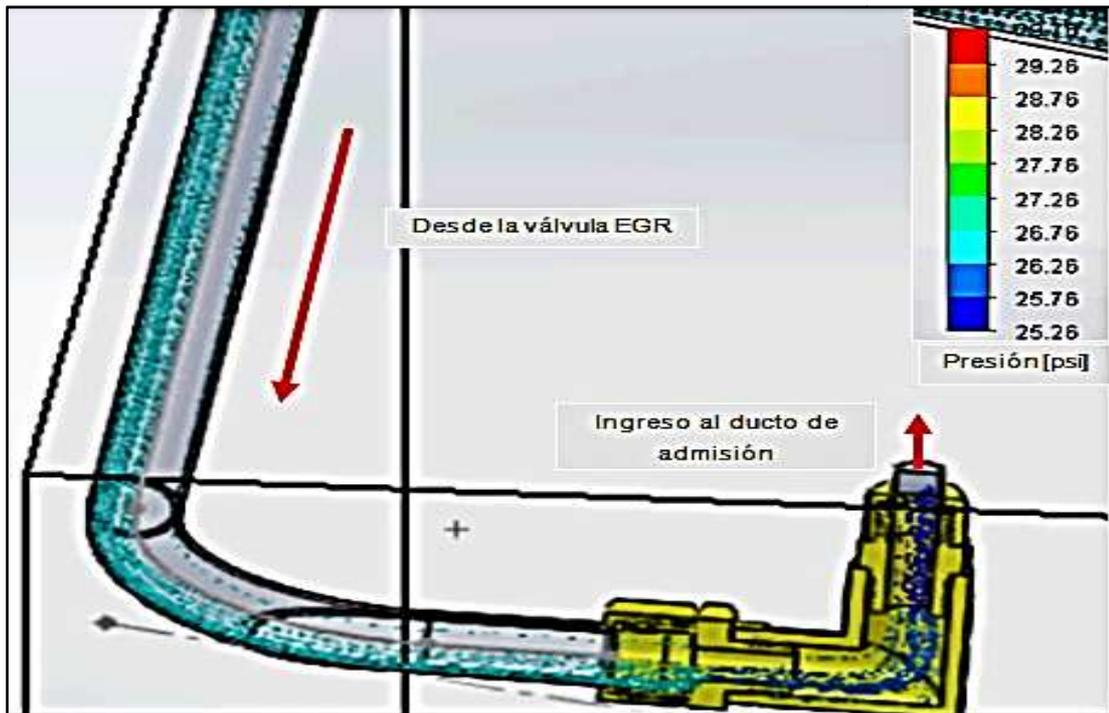
Como podemos apreciar en la simulación se observan diferentes zonas de comportamiento de los gases de escape mismas que corresponden al valor de presión de los mismos conforme circulan por la tubería.

Así en el tubo que viene desde el escape podemos observar el gas en rojo, debido a que en esa zona la presión y la temperatura son las más altas del sistema. Conforme

ingresan a la válvula EGR la presión se ve mermada en 0,5 psi, con lo cual la temperatura también se reduce.

A la salida de la válvula la presión se ve aún más aliviada y la temperatura decrece, motivo de que la presión también lo hace, ingresando al tubo B con aproximadamente 26 psi de presión. Para luego dirigirse a la admisión donde se verifica el siguiente comportamiento.

Figura 52. Ingreso del gas de escape a la admisión



Fuente: Autores

Al ingreso del gas recirculado a la admisión podemos verificar que decrece su presión pero su velocidad aumenta, lo cual favorecerá a la mezcla de este con aire limpio, homogeneizando de mejor forma la mezcla.

Conforme aumenta el régimen de giro del motor la velocidad de gases de escape también lo hace, por lo que el aumento de la misma también se nota en la tubería de gases de recirculación.

4.4 Diseño del módulo de control electrónico de la válvula EGR

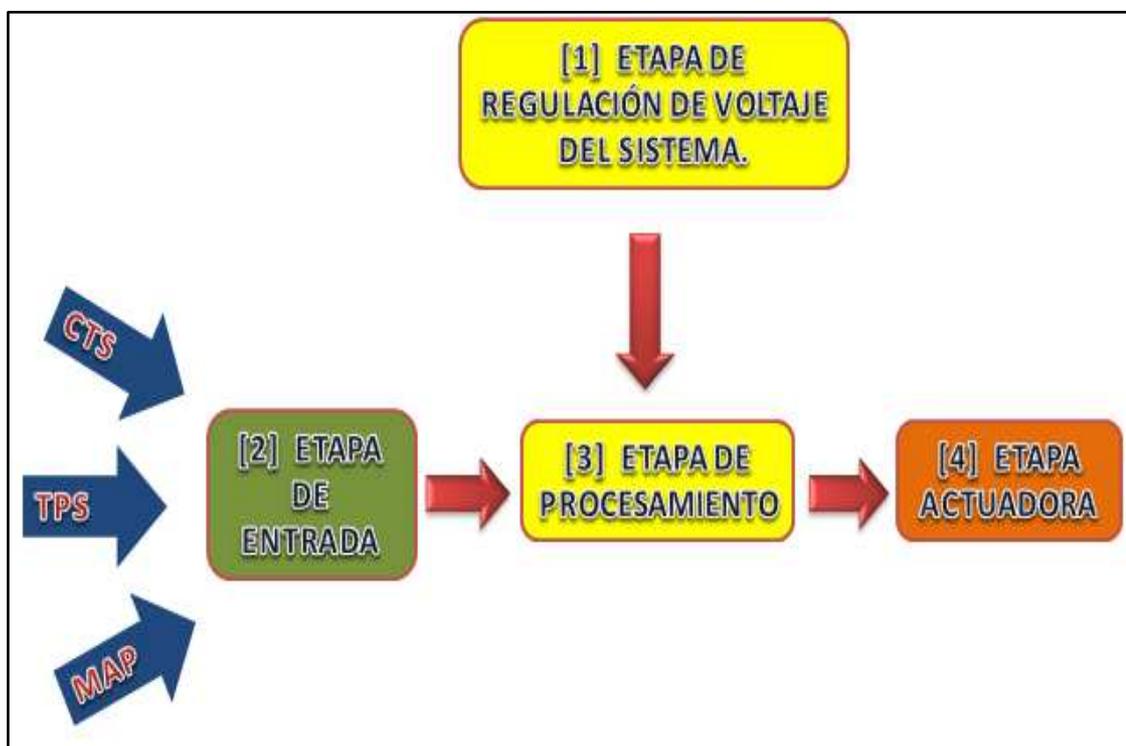
4.4.1 Características del sistema. El diseño del sistema electrónico anticontaminación EGR, implementado en el banco de pruebas del motor corsa 1.4Lt OBD dispone de las siguientes características:

- Presenta versatilidad en la construcción, conexión e instalación del sistema.
- Posee etapa de regulación de tensión para la alimentación del sistema.
- Utiliza señales electrónicas de entrada necesarias.
- La selección del micro controlador cumple con procesamiento de señales electrónicas de forma rápida y eficaz.
- La válvula EGR actuadora posee características adecuadas de trabajo.
- El Sistema dispone de un cuadro de visualización de la tasa de ERG a recircular.
- El proyecto realizado servirá como un banco de pruebas estudiantil para un estudio práctico del sistema anticontaminación.

4.4.2 Delimitación. El módulo de control diseñado solo podrá ser usado en motores gasolina de la serie C14SE, y en particular en el banco de pruebas del motor corsa 1.4 Lt. Si se quisiera usar en motores con diferente cilindrada se tendría que modificar los parámetros de diseño mecánico y electrónico. En motores diésel definitivamente el sistema no es aplicable.

4.5 Diagrama de bloques del sistema

Figura 53. Diagrama de bloques del sistema



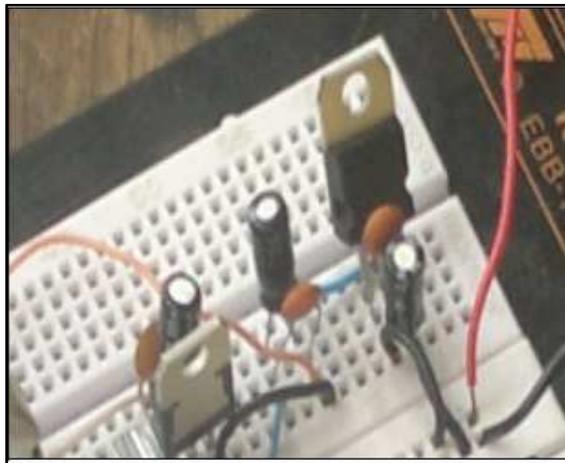
Fuente: Autores

4.6 Etapa reguladora de voltaje del sistema

Es la encargada de regular la tensión de 12 voltios provenientes de la batería motor a 5 voltios, tensión necesaria para el funcionamiento del microcontrolador Pic 16f877A, a continuación se muestra los componentes del circuito de alimentación.

- 2 Condensadores electrolíticos de 100 μ F
- 3 Condensadores cerámicos de $10 \cdot 10^4$ pF
- 1 Condensador electrolítico de 10 μ F
- 1 Regulador de 12V 7812
- 1 Regulador de 5V LM 7805

Figura 54. Circuito regulador de voltaje



Fuente: Autores

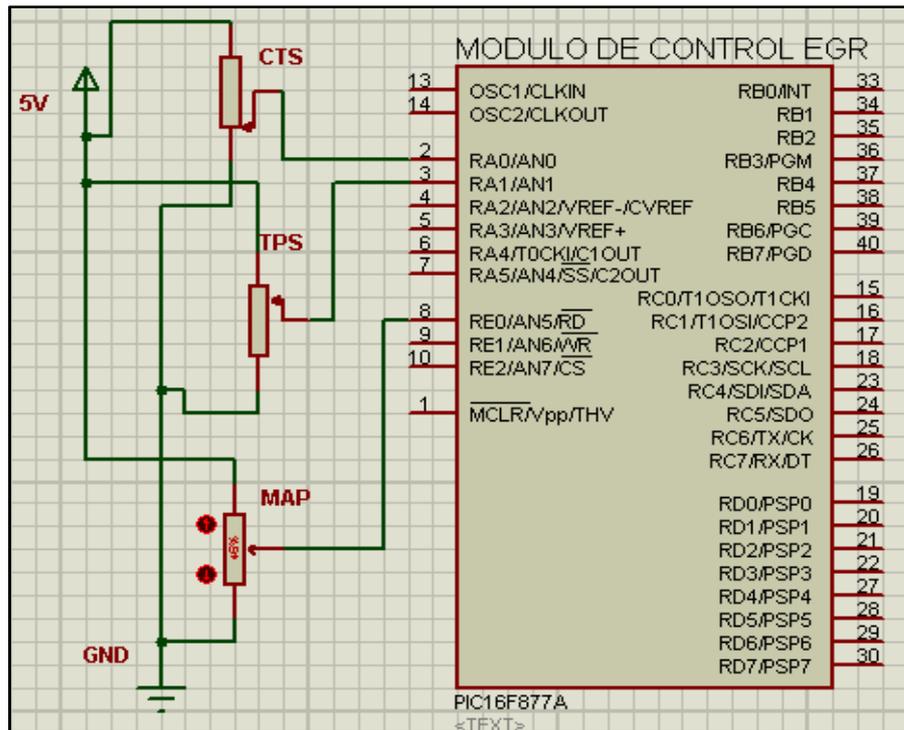
4.7 Etapa de entrada

Es la encargada de acondicionar las señales que provienen de los sensores análogos, que través de una conversión analógica - digital adecuará los datos para los procesos internos del procesador.

4.7.1 Selección de los sensores y parámetros de funcionalidad del sistema. En vista a las exigencias que se presentó en la selección de sensores, para el módulo de control EGR se decidió de los siguientes sensores para su funcionalidad:

- Sensor CTS
- Sensor TPS
- Sensor MAP

Figura 55. Esquema de las señales de entrada al micro controlador



Fuente: Autores

4.7.1.1 Parámetros de operación del sensor CTS en el módulo de control EGR. El sistema funciona cuando se alcance la temperatura de trabajo del motor ya que en ese punto la cámara de combustión posee la temperatura de trabajo adecuada para el buen funcionamiento del motor caso contrario si se procede a inyectar gases de escape a temperaturas inferiores el motor presenta inestabilidad.

4.7.1.2 Tabulación de datos para sensor CTS. Se procedió a tomar valores de convertidor analógico-digital (LSB) y voltaje de CTS, utilizando el siguiente circuito:

Figura 56. Circuito del convertidor analógico-digital (LSB)



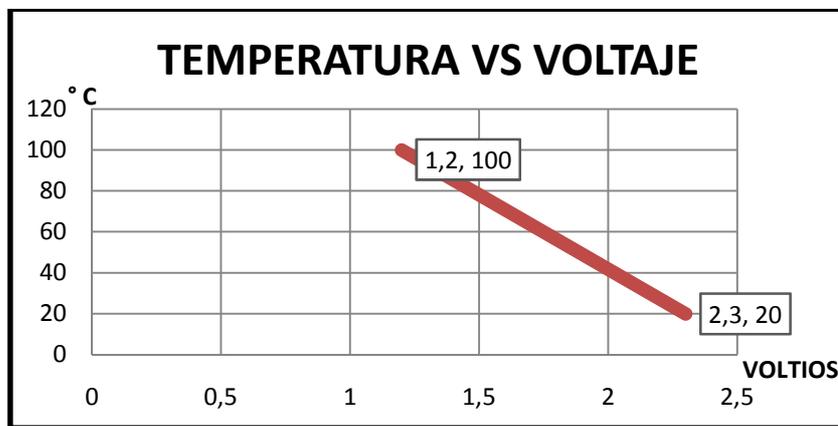
Fuente: Autores

Tabla 8. Tabulación de datos del convertor A/D (LSB) para sensor CTS

OPERACION DEL SISTEMA EGR	TEMPERATURA (°C)	VOLTAJE (Voltios)	VARIABLE CONVERTOR A/D (LSB)
NO OPERA EL SISTEMA EGR	20	2.3	482
OPERA EL SISTEMA EGR	77	1.8	379
	80	2.0	364
	88	1.5	334
	90	1.4	325
	95	1.3	315
	100	1.2	307

Fuente: Autores

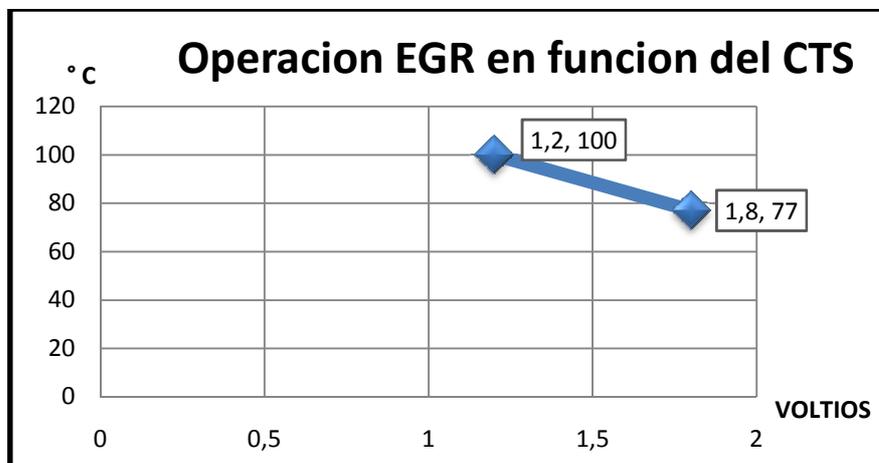
Figura 57. Temperatura del sensor CTS vs voltaje



Fuente: Autores

Debido al desgaste del sensor del CTS se necesitó de valores reales, los mismos que fueron de importancia para la señal de entrada al módulo de control EGR.

Figura 58. Operación del sistema EGR en función al sensor CTS



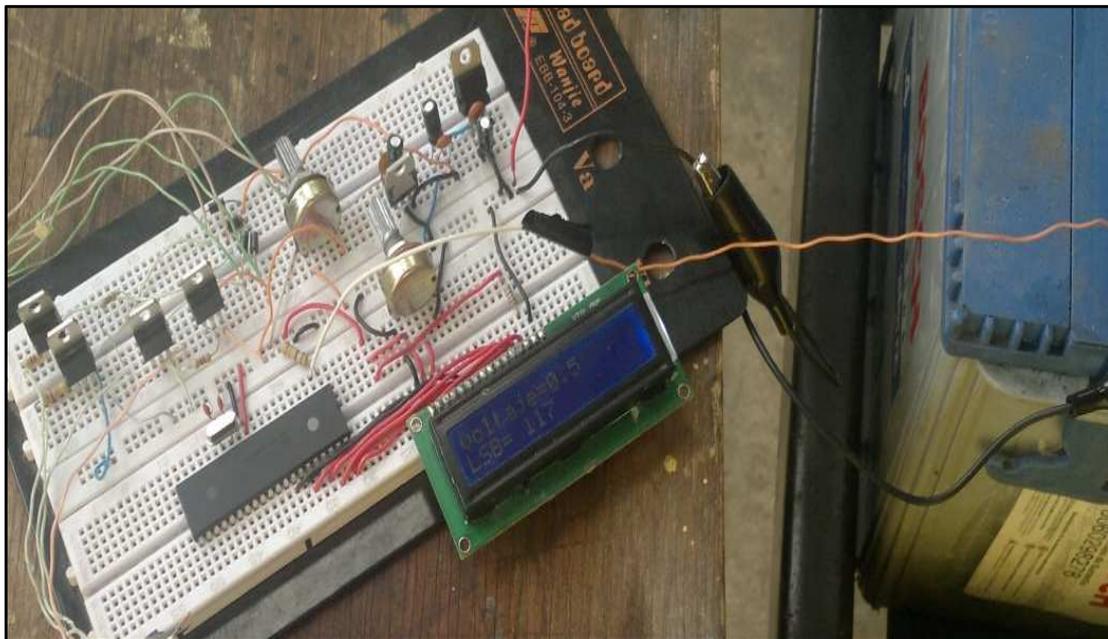
Fuente: Autores

La válvula EGR operará cuando el sensor CTS, se halle en un rango de temperatura de 77 °C a 100 °C, debido a que este es el rango de operación normal del motor. Se procedió a inyectar gases de escape a través del sistema EGR, a distintas temperaturas del motor y se observó en especial la emisión de gases de escape NOx, la cual incremento en mayor cantidad desde las temperaturas desde los 77°C a los 100°C.

4.7.1.3 Parámetros de operación del sensor TPS en el módulo de control EGR.El sensor TPS envía una de las señales de activación de la válvula EGR, mediante esta señal se inyecta gases de escape a distintas carga del motor y se regula la velocidad del vástago de la válvula EGR. Considerando la velocidad del vástago de la válvula como una proporción directa a la carga del motor.

4.7.1.4 Tabulación de datos para sensor TPS.Para la toma de datos correspondiente a la carga del motor se utiliza el circuito mostrado a continuación.

Figura 59.Datos del convertor A/D (LSB) para sensor TPS



Fuente: Autores

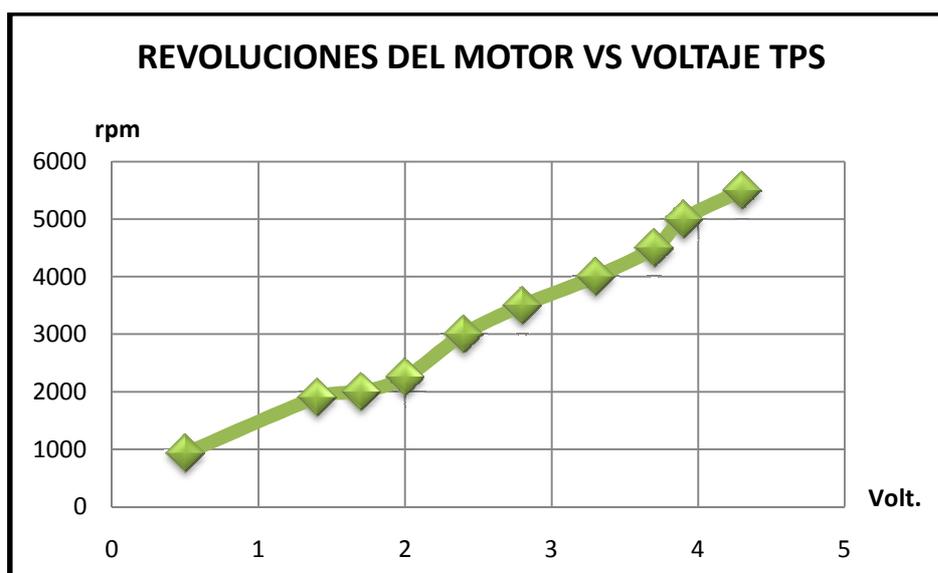
A continuación se utilizó circuito integrado y una LCD de visualización para tomar datos de voltaje, del convertidor analógico – digital (LSB) mostrados en la siguiente Tabla.

Tabla 9. Datos de diferentes parámetros del TPS a distintos regímenes

OPERACIÓN DEL SISTEMA EGR	REVOLUCIONES POR MINUTO (Rev/min)	VOLTAJE (VOLTIOS)	VARIABLE CONVERSION A/D (LSB)
NO OPERA EL SISTEMA	930	0.5	118
	1900	1.4	278
OPERA EL SISTEMA	2000	1.7	350
	2250	2.0	420
	3000	2.4	490
	3500	3.3	630
NO OPERA EL SISTEMA	4500	3.7	720
	5000	3.9	810
	5500	4.3	878

Fuente: Autores

Figura 60. Operación del motor en función del voltaje del sensor TPS



Fuente: Autores

La grafica mostrada representa las revoluciones del motor en función del voltaje del sensor TPS, datos importantes que fueron de gran importancia para el módulo de control EGR.

4.7.1.5 *Velocidad de desplazamiento del vástago en función de la carga de TPS.* En lo que corresponde a la velocidad del vástago de la válvula se reguló mediante la siguiente fórmula utilizando los datos mostrados a continuación:

Tabla 10. Datos de la ecuación para control de velocidad del vástago EGR

TIEMPO DE ACCIONAMIENTO (ms)	VARIABLE CONVERTOR A/D (LSB)	REVOLUCIONES POR MINUTO (Rev/min)
Max.= 50	350	2000
Min.= 100	630	4000

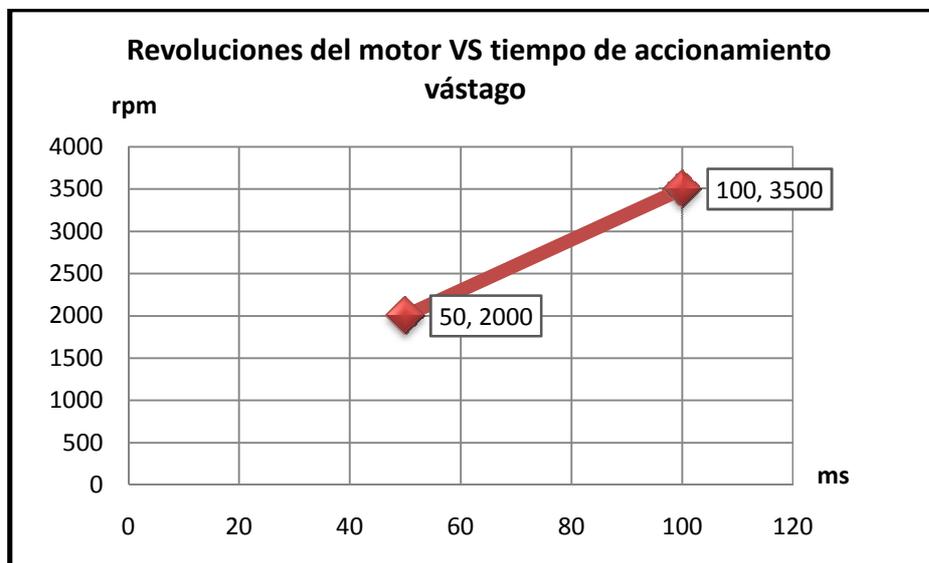
Fuente: Autores

La ecuación usada para determinar la velocidad del vástago se muestra de la siguiente forma

(11)



Figura 61. Revoluciones del motor en función del tiempo de accionamiento EGR

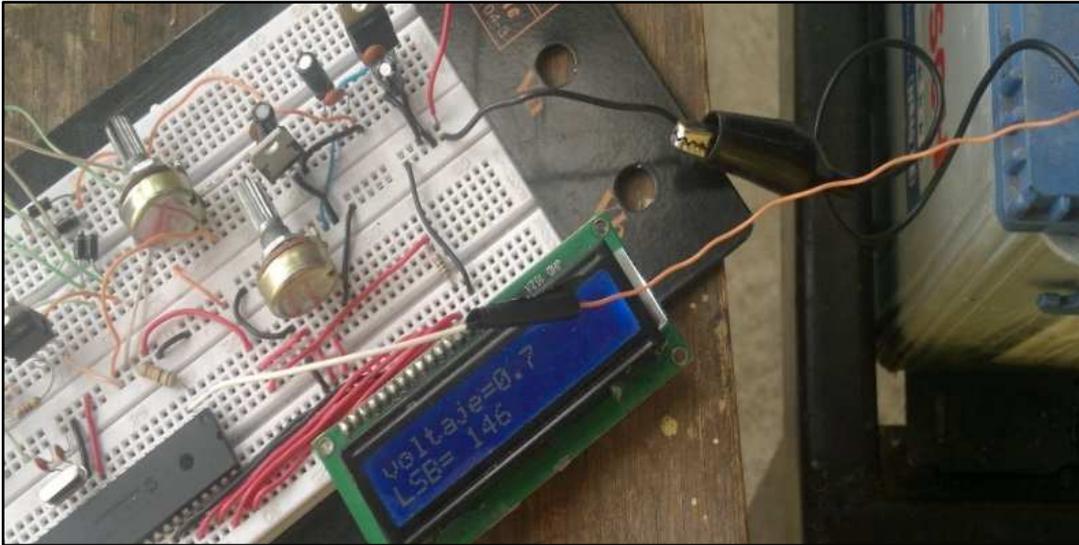


Fuente: Autores

Se aprecia en la gráfica que a 2000 rev/min la velocidad del vástago es mayor debido a que se inyectó menor cantidad de gases EGR, y a 3500 rev/min la velocidad del vástago es menor debido a que se inyectó mayor cantidad de gases.

4.7.1.6 Parámetros de operación del sensor MAP en el módulo de control. La señal del sensor MAP tiene como función informar al módulo del sistema EGR que debe abrir un determinado número de pasos de la válvula EGR en base a la masa de aire que ingresa al motor.

Figura 62. Circuito del conversor A/D (LSB) para sensor MAP



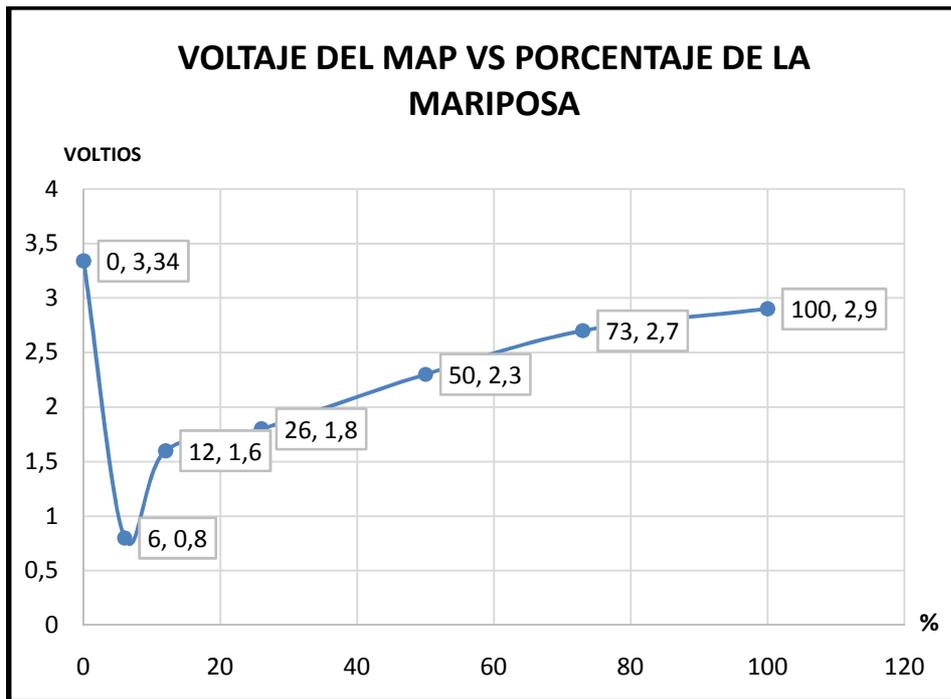
Fuente: Autores

TABLA 11. Operación de la EGR en función del régimen de giro y datos del MAP

OPERACIÓN DEL SISTEMA EGR	PORCENTAJE DE MARIPOSA (%)	CONDICIONES DEL MOTOR	VOLTAJE MAP (VOLTIOS)	A/D LSB
NO OPERA SISTEMA	0	KOEO	3.34	576
	12	RALENTÍ	1.6	276
OPERA SISTEMA	26	RÉGIMEN 2000 Rev/min	1.8	310
	50	CARGA MEDIA	2.3	379
	73	RÉGIMEN 4000 Rev/min	2.7	450
NO OPERA SISTEMA	100	PLENA CARGA	2.9	478
	6	DESACELERACIÓN	0.8	131

Fuente: Autores

Figura 63. Voltaje del MAP vs porcentaje de la mariposa de aceleración



Fuente: Autores

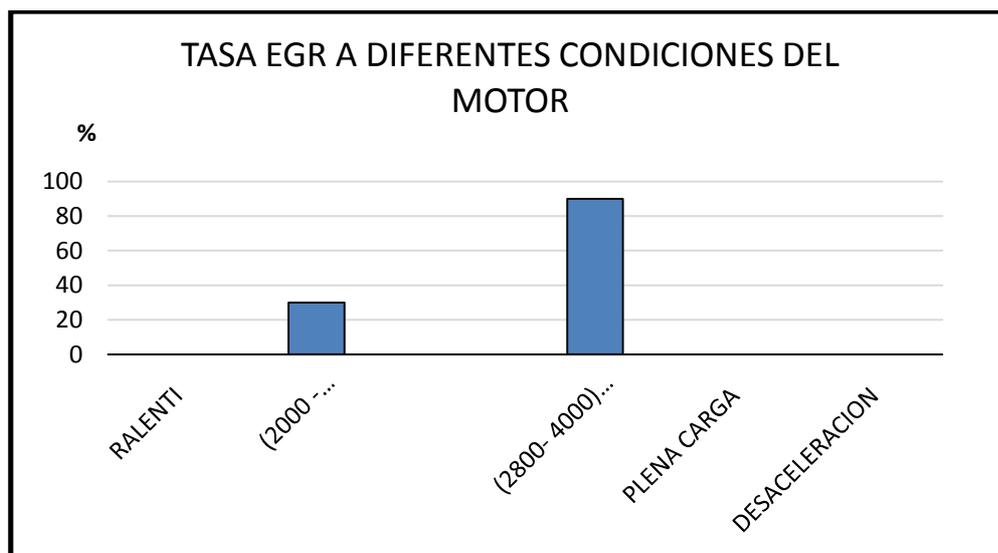
Como podemos apreciar, con el motor encendido, a medida que el porcentaje de apertura de la mariposa aumenta, el voltaje del MAP se comporta en un rango desde 1.6 V al ralenti hasta 2.9 V plena carga.

Tabla 12. Datos de la tasa de EGR en función de apertura de válvula

CONDICIONES DEL MOTOR	VOLTAJE (VOLTIOS)	PORCENTAJE DE APERTURA DE LA VALVULA (%)	INDICATIVO DE VISUALIZACIÓN
KOEO	3.34	0	NO INDICATIVO
RALENTI	1.6		
REGIMEN 2000 Rev/min a CARGA MEDIA	1.8-2.3	30	LED AZUL
CARGA MEDIA a REGIMEN 4000 Rev/min	2.3-2.7	90	LED ROJO
PLENA CARGA	2.9	0	NO INDICATIVO
DESACELERACION	0.8		

Fuente: Autores

Figura 64. Tasa EGR a diferentes regímenes de motor



Fuente: Autores

El porcentaje de apertura de la válvula queda determinada por el cálculo del flujo másico de aire realizado en la etapa de cálculo y selección de la tubería del sistema EGR. Debido a la rapidez del cambio de voltaje del sensor MAP al acelerar y desacelerar el cálculo realizado del flujo de aire tiende a variar rápidamente con respecto a la velocidad de la válvula, es por esta razón que se decidió tomar 2 parámetros para el porcentaje de apertura de la válvula a continuación se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Apertura de la válvula según régimen y carga del motor

RÉGIMEN DE GIRO (rpm)	VACÍO GENERADO (N/m ²)	FLUJO DE AIRE $\left[\frac{Kg}{s}\right]$	PORCENTAJE DE APERTURA DE LA VALVULA (%)
1000	84660,439	0,016	0
2000	76194,395	0,029	
2500	67728,351	0,032	30
2800	59262,307	0,034	
3500	50796,263	0,034	90
4000	42330,220	0,032	0
4500	33864,176	0,029	
5000	25398,132	0,024	

Fuente: Autores

4.8 Etapa de procesamiento

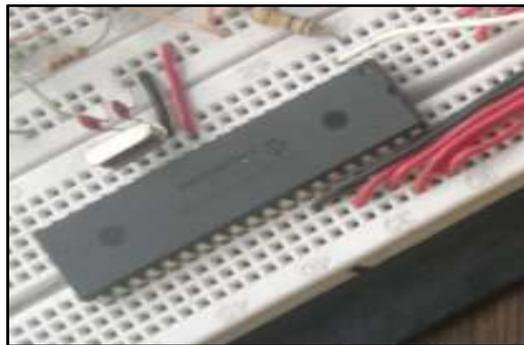
Es la encargada de recibir todas las señales de entrada, convertirlas de analógicas a digitales, consecuentemente mediante estos datos procesados por el microcontrolador calcula la apertura de la válvula a distintos regímenes del motor. Los componentes de la etapa de procesamiento son:

- Pic16F877A
- Cristal de cuarzo de 20MHz
- 2 Condensadores cerámicos de $2 * 10^2$ pF

4.8.1 Selección del microcontrolador. El microcontrolador PIC 16F877A posee las características necesarias para cumplir con el procesamiento de las señales de sensores utilizadas, posee entradas analógicas suficientes y pines de ON - OFF para accionar la válvula EGR a continuación las características que distinguen a este microcontrolador.

- Memoria de programa: FLASH, 8 K de instrucciones de 14 bits c/u
- Fuentes de interrupción : 13
- Encapsulado: DIP de 40 pines
- Frecuencia oscilador : 20 MHz (máxima)
- Líneas de E/S: 6 del puerto A, 8 del puerto B, 8 del puerto C, 8 del puerto D y 3 del puerto E, además de 8 entradas análogas
- Convertidor Análogo/Digital de 10 bits multicanal (8 canales de entrada)

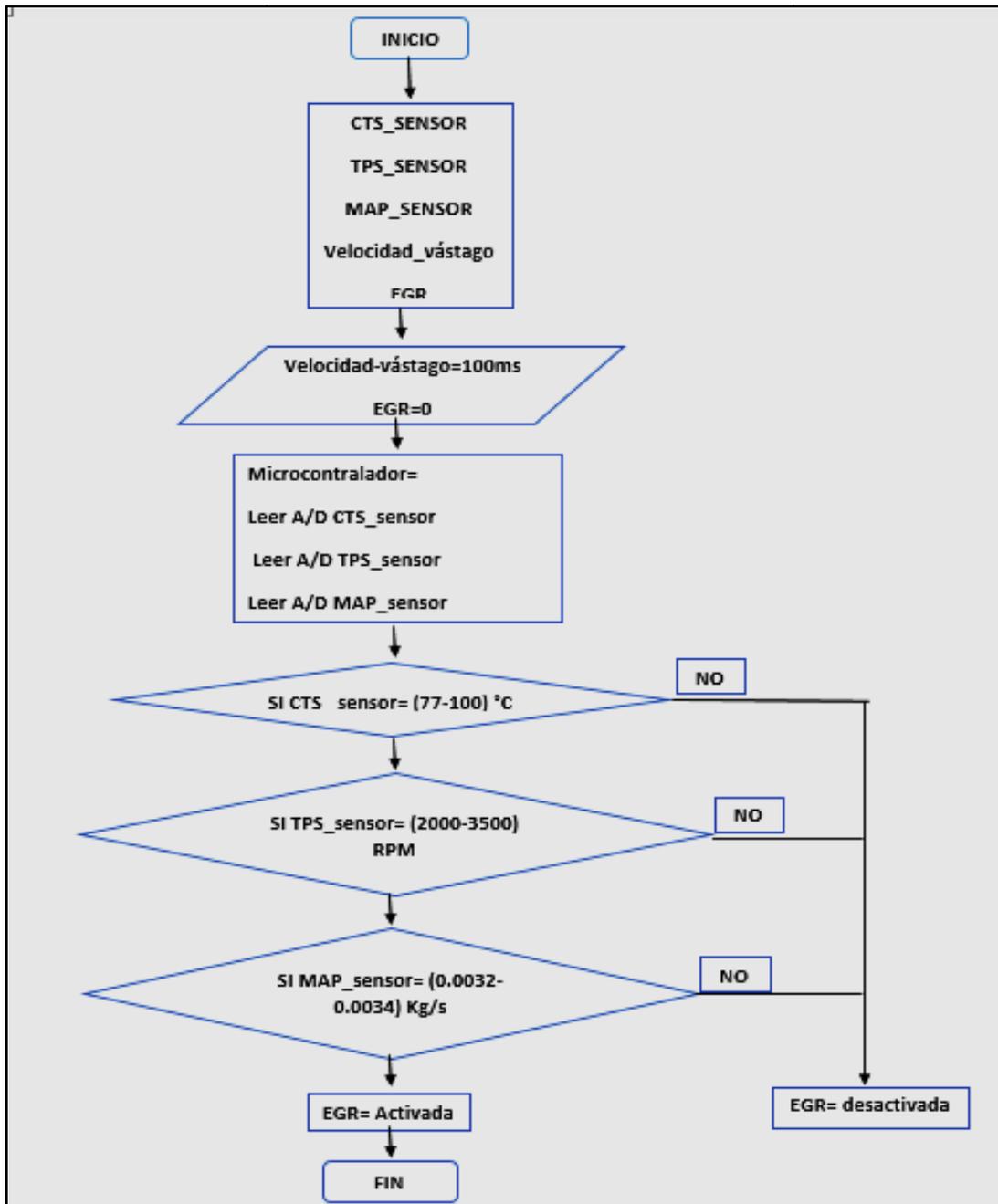
Figura 65. Microcontrolador PIC 16F877A



Fuente: Autores

4.8.2 Diagrama de flujo. El diagrama de flujo determina en forma ordenada como se realizan los procesos de recepción de señales y envío de señales de accionamiento del actuador por lo que se vuelve primordial conocer la estructura del mismo.

Figura 66. Diagrama de flujo de la programación



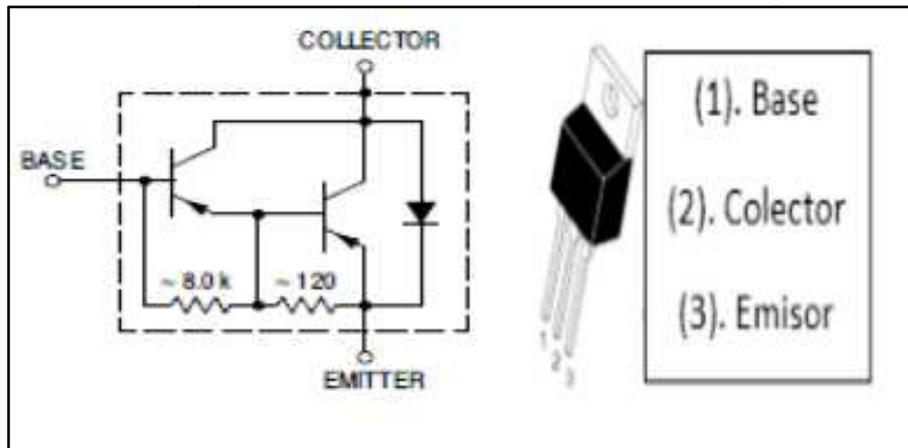
Fuente: Autores

4.9 Etapa actuadora

La etapa actuadora es la encargada de recibir y poner en accionamiento los actuadores, acorde a los órdenes procesados por el microcontrolador.

4.9.1 Análisis de la zona de trabajo del transistor NPN TIP 110

Figura 67. Diagrama interno y externo del transistor NPN TIP 110



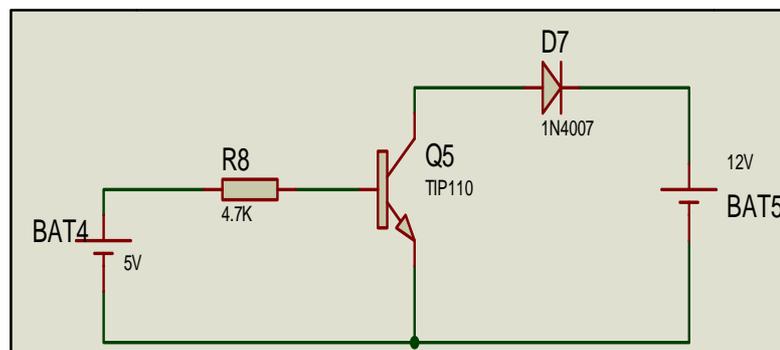
Fuente: http://www.onsemi.com/pub_link/collateral/tip110-d.pdf

Figura 68. Características de trabajo del transistor TIP 110

RATING	SYMBOL	TIP 110 TIP115	UNIT
Collector – Emitter Voltage	Vceo	60	Vdc
Collector – Base Voltage	Vcb	60	Vdc
Emitter – Base Voltage	Veb	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous - PEAK	Ic	2.0 4.0	mADC
Base Current	Ib	50	mADC
Total Power Dissipation Ta = 25°C	Pd	50 0.4	W
Unclamped Inductive Load Energy	E	2.0 0.016	mJ
Operating and Storage Junction	Tj		°C

Fuente: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/TIP110-D.PDF

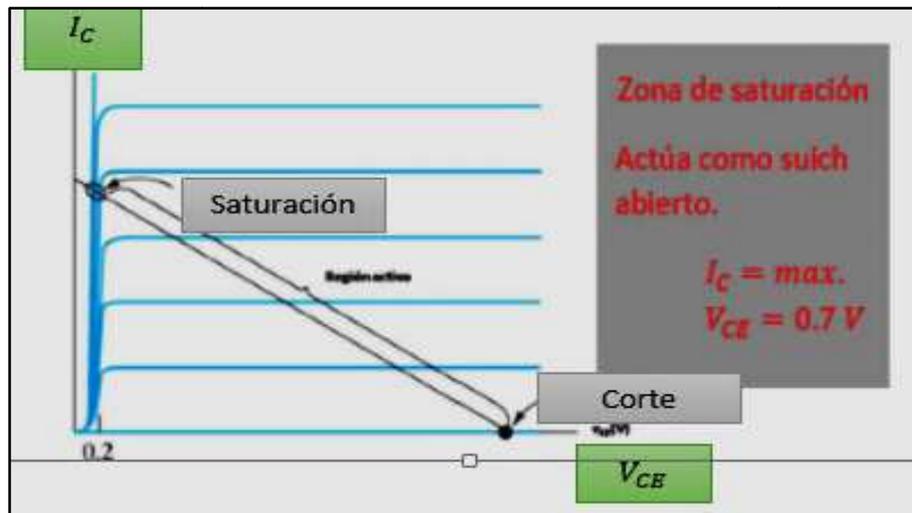
Figura 69. Esquema del circuito control de potencia.



Fuente: Autores

El Transistor NPN TIP 110 trabaja en la *zona de saturación* es decir cuando el PIC envía una señal de voltaje de 5V este actúa en la zona mencionada, a continuación se da a conocer la zona de trabajo del transistor, y datos reales tomadas con un multímetro el momento del accionamiento.

Figura 70. Zona de trabajo del transistor del TIP 110



Fuente: Autores

Tabla 14. Datos obtenidos en la zona de saturación del TIP 110

VOLTAJE				
VALOR	0.20 V	0.18V	0.25V	1.12 A

Fuente: Autores

Se puede concluir que el transistor TIP 110 trabaja en la zona de saturación, gracias a los datos reales que se obtuvo en la medición con el multímetro, y posteriormente plasmándose estos datos a la Tabla14.

CAPÍTULO V

5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EGR EN EL BANCO DE PRUEBAS

5.1 Adaptaciones mecánicas en el sistema de gases de escape

Para la correspondiente extracción de los gases de escape desde el conducto principal de circulación de los mismos se procede a hacer una perforación cuyo diámetro corresponde al diámetro de diseño de la tubería. Luego utilizando suelda oxiacetilénica se procedió a soldar una tuerca de paso y rosca iguales al acople rápido destinado a ubicarse en este punto,

La zona escogida para la perforación corresponde al sector de la tubería donde la temperatura de la misma es de 250 °C como valor máximo. Esto con el fin de no alterar demasiado las características del aire de admisión cuando el gas sea recirculado.

Para garantizar la estanqueidad del sistema los acoples rápidos utilizados son cónicos a lo largo de la extensión de la rosca lo cual permite un mejor ajuste y sello del sistema, adicionalmente se utiliza un sellador sintético para acoples roscados denominado locktite.

Figura 71. Adaptación del ducto EGR en el escape



Fuente: Autores

5.2 Adaptaciones mecánicas en el sistema de admisión de aire

De igual forma que en el ducto de escape, se procede a utilizar acoples rápidos, con la diferencia de que en la garganta de admisión no se perforará ningún orificio adicional con el fin de prevenir desajustes en la geometría del cuerpo de estrangulación. A cambio de aquello se utilizará uno de los orificios correspondientes a una toma de vacío suspendida donde se ubica la purga del cánister sistema suspendido debido a no contar con el depósito de carbón activado.

El sector objeto de la adaptación corresponde a la zona después de la mariposa de estrangulación, que es donde se halla una mayor velocidad del aire admitido, y el mayor vacío posible, con el fin de permitir una adecuada mezcla entre el aire de ingreso al colector de admisión y el gas recirculado desde el escape.

Figura 72. Adaptación de la tubería en el colector de admisión



Fuente: Los Autores

5.3 Montaje del sistema de recirculación de gases de escape EGR

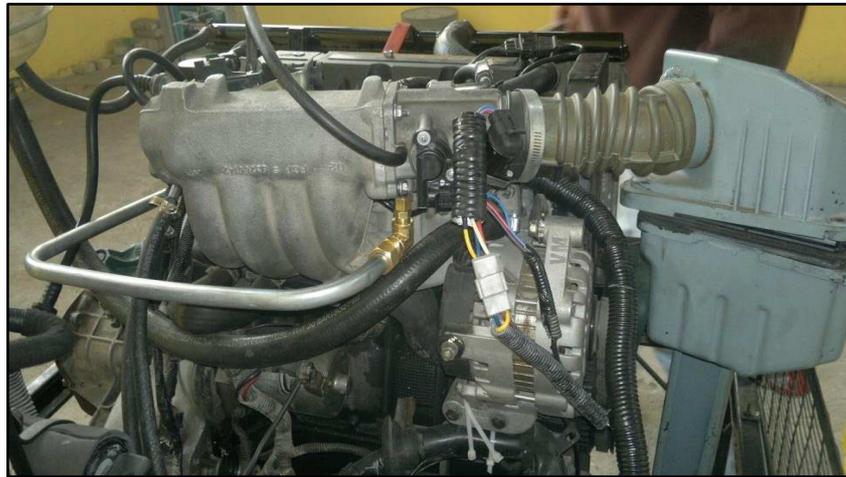
La válvula EGR consta de un ducto de entrada y otro de salida mismos que comunican el colector de escape y el de admisión respectivamente, mediante la tubería. Se realizó una adaptación mecánica mediante la construcción de una base que hace calce con la estructura de la EGR, en esta base se procede a realizar los taladros correspondientes a la inserción de los acoples rápidos para unir finalmente el ducto de escape y el de admisión mediante la tubería y la válvula EGR.

Figura 73. Montaje del sistema EGR



Fuente: Autores

Figura 74. Montaje del sistema EGR



Fuente: Autores

El montaje final del sistema queda con la configuración mostrada, quedando lo más aproximadamente igual al montaje de diseño. El paso siguiente constituye verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas específicas.

5.3.1 Soportes del sistema de tuberías. Con el fin de evitar fallos o desajustes en el sistema debido a las vibraciones del motor, se colocaron abrazaderas para tubería con recubrimiento de caucho y sujeción por pernos la razón de haber seleccionado este tipo de soportes es por su resistencia a la elongación de hasta un 350 %, y una resistencia al tracción de 8 N/mm^2 como valor mínimo. La ubicación de los mismos corresponde al punto más cercano a donde se concentran las cargas estáticas debido al peso de la válvula y su base.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS TÉCNICO -AMBIENTAL COMPARATIVO DE RESULTADOS

6.1 Prueba de régimen de giro en función de la tasa de EGR recirculada

Para la construcción de las curvas de régimen de giro y tasa de recirculación de gas de escape del motor C14SE, se utilizan los datos tomados de forma experimental y que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Decremento de revoluciones en función de la tasa de EGR recirculado

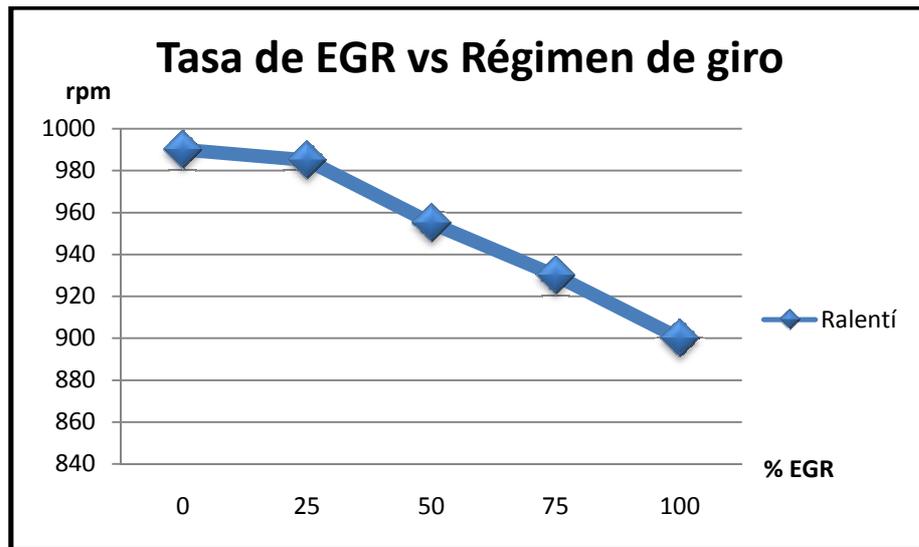
Régimen (rpm)	Porcentaje de gas recirculado. (%)				
	0	25	50	75	100
1000	990	985	955	930	900
2000	2000	1980	1965	1950	1910
2500	2500	2490	2475	2455	2420
3000	3000	2995	2980	2965	2960
3500	3500	3490	3487	3485	3480
4000	4000	3990	3975	3955	3930
4500	4500	4490	4480	4465	4440
5000	5000	4980	4965	4950	4910
5500	5500	5460	5445	5415	5390
6000	6000	5910	5885	5850	5790

Fuente: Autores

6.1.1 Influencia del EGR en el régimen de giro del motor. Las gráficas hacen referencia a como decreció el régimen de giro del motor conforme se abría la válvula de recirculación de gases de escape con el fin de denotar la influencia del sistema en el funcionamiento del motor.

Se tomó como referencia los datos correspondientes al ralentí, a las 3400 rpm a las 4000 rpm y a las 6000 rpm con el fin de tener puntos representativos que denoten el funcionamiento del motor conforme crece la tasa de recirculación de gas de escape.

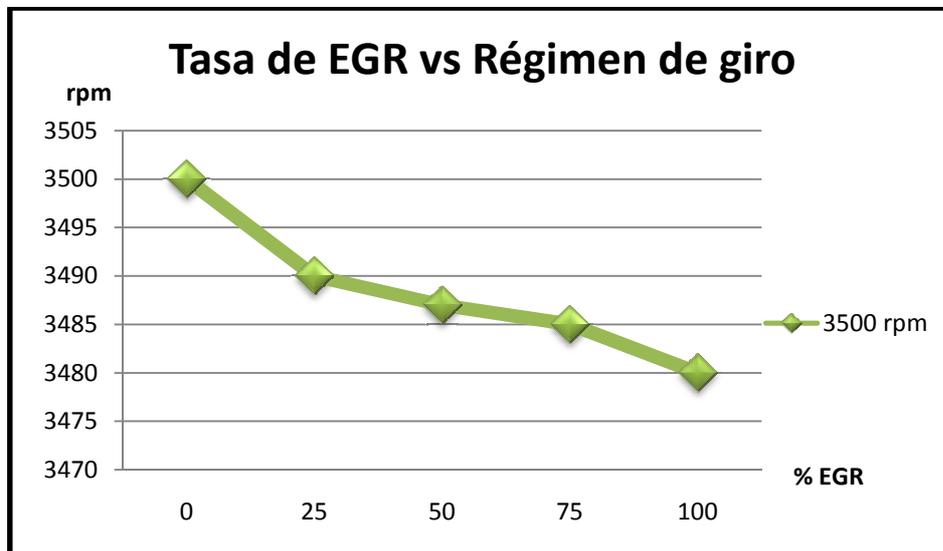
Figura 75. Influencia del EGR en marcha lenta



Fuente: Autores

Como se puede apreciar el régimen de giro establecido al ralentí como 1010 rpm, decrece a causa de hacer ingresar gas de escape en condiciones no adecuadas. Cayendo hasta 100 revoluciones lo cual se notó con una inestabilidad de giro bastante alta.

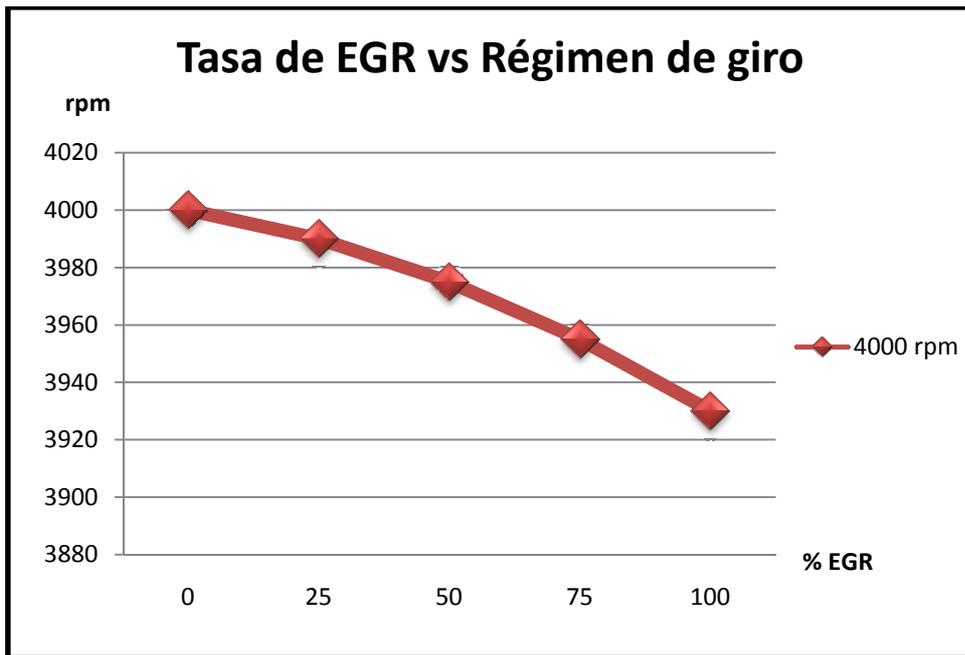
Figura 76. Influencia del EGR a las 3500 rpm



Fuente: Autores

De igual forma que en el caso anterior las revoluciones decaen, sin embargo se puede apreciar que estas caen en un rango menor dando una pérdida de giro de 20 rpm, lo cual confirma que al haber mayor flujo de aire los gases de escape se mezclan de mejor forma.

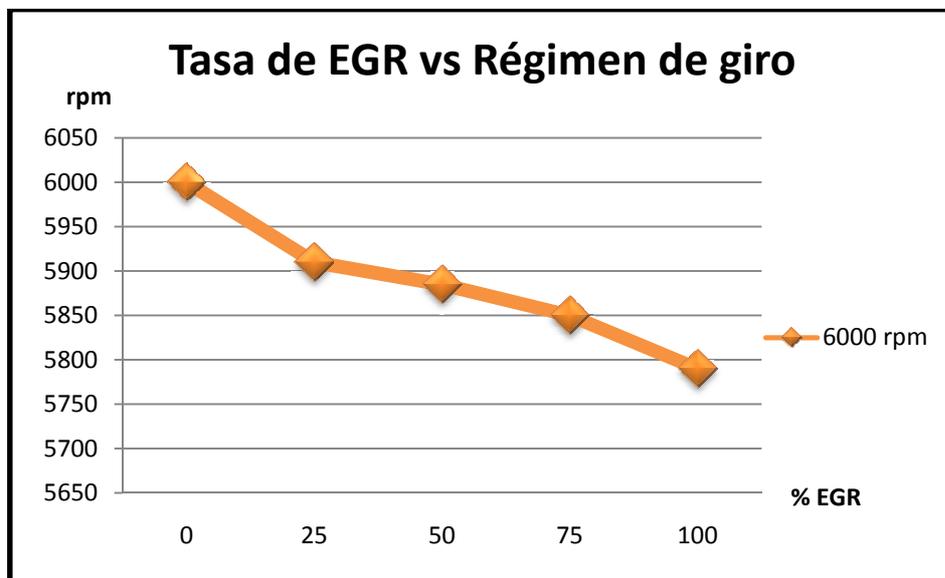
Figura 77. Influencia del EGR a las 4000 rpm



Fuente: Autores

De igual forma el decremento de revoluciones no resultó estar en un rango demasiado grande puesto que a este régimen la homogeneización de la mezcla es bastante buena.

Figura 78. Influencia del EGR a las 6000 rpm



Fuente: Autores

En este caso se observa nuevamente que el régimen decae en un rango de 200 rpm lo cual determinó que a este régimen no es recomendable la recirculación de gas de escape.

6.2 Pruebas de consumo de combustible

Es importante también conocer que volumen de combustible que utilizaba el motor en su funcionamiento normal y cuál fue la diferencia una vez instalado el sistema de recirculación de gas de escape.

6.2.1 Toma de datos de consumo de combustible. Se consideró un volumen de combustible determinado y se midió el tiempo en el que este se consumió variando la tasa de EGR a diferentes regímenes del motor.

Tabla 16. Consumo de combustible

0% EGR			
250 ml			
rpm	t (s)	Consumo Kg/h	consumo cm³/h
1000	436,61	1,400	2061,336
2000	244,75	2,498	3677,221
2500	180,67	3,384	4981,457
3000	122,16	5,006	7367,387
3500	100,75	6,069	8933,002
4000	65,64	9,316	13711,151

Fuente: Autores

Tabla 17. Consumo de combustible con tasa de EGR al 100%

100% EGR			
250 ml			
rpm	t (s)	Consumo Kg/h	consumo cm³/h
1000	242,56	2,521	3710,422
2000	186,7	3,275	4820,567
2500	144,7	4,226	6219,765
3000	119,56	5,115	7527,601
3500	95,66	6,392	9408,321
4000	58,67	10,423	15340,037

Fuente: Autores

6.2.2 Cálculo del consumo de combustible. Se procede a determinar el consumo de combustible utilizando la siguiente relación matemática:

$$Ct = 3600 \frac{Vf}{t} \left[\frac{cm^3}{h} \right] \quad (12)$$

$$Ct = 3.6 \frac{Vf \cdot \rho b}{t} \left[\frac{Kg}{h} \right] \quad (13)$$

Dónde:

Vf = volumen de combustible, en cm^3

t = tiempo para consumir Vf , en segundos.

ρb = Peso específico del combustible, en g/cm^3 .

Entonces sabiendo que Vf es igual a 250 cm^3 y ρb es igual a $0,6795 \text{ g/cm}^3$, y calculando para un régimen de 3400 rpm tenemos que $t = 100,75 \text{ s}$. considerando la tasa de EGR nula tenemos:

$$Ct = 3.6 \frac{250 * 0,6795}{100,75} \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$Ct = 6,07 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$Ct = 3600 \frac{250}{100,75} \left[\frac{cm^3}{h} \right]$$

$$Ct = 8933 \left[\frac{cm^3}{h} \right]$$

Ahora procedemos a evaluar para el mismo régimen de giro con el 100% de EGR y tenemos el dato de $t = 95,66 \text{ s}$.

$$Ct = 3.6 \frac{250 * 0,6795}{95,66} \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

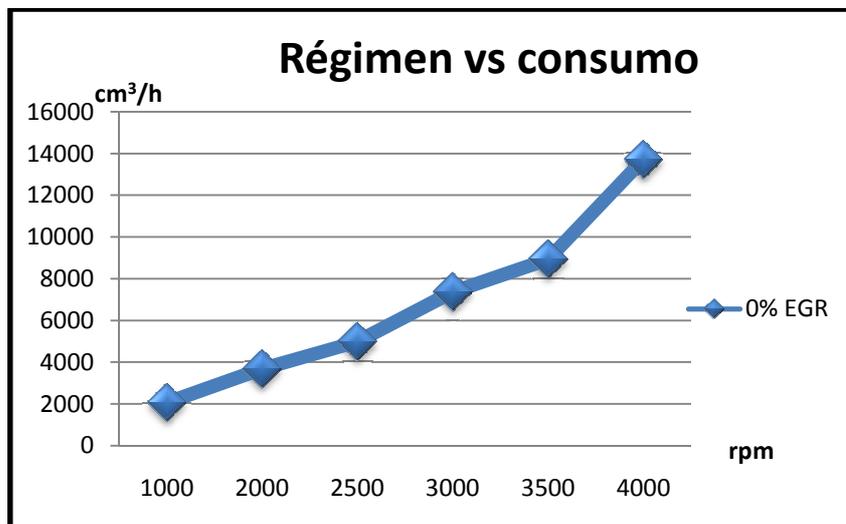
$$Ct = 6,392 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$Ct = 3600 \frac{250}{95,66} \left[\frac{cm^3}{h} \right]$$

$$Ct = 9408,321 \left[\frac{cm^3}{h} \right]$$

6.2.3 Gráficas de consumo de combustible

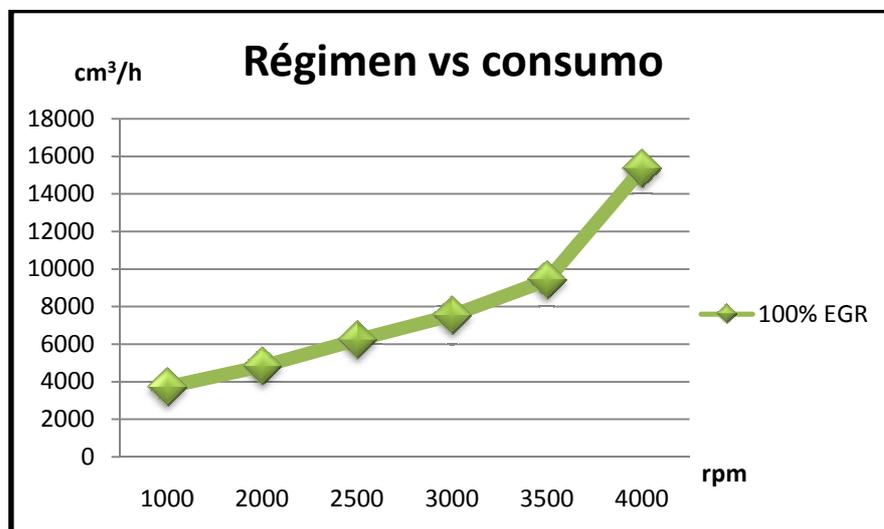
Figura 79. Régimen vs consumo de combustible con 0% de EGR



Fuente: Autores

Como se puede observar en la gráfica el consumo de combustible del motor crece conforme crecen las revoluciones del motor, situación que es normal al no estar sometido a cargas y la energía únicamente se disipa moviendo el volante de inercia.

Figura 80. Régimen vs consumo de combustible con 100% de EGR

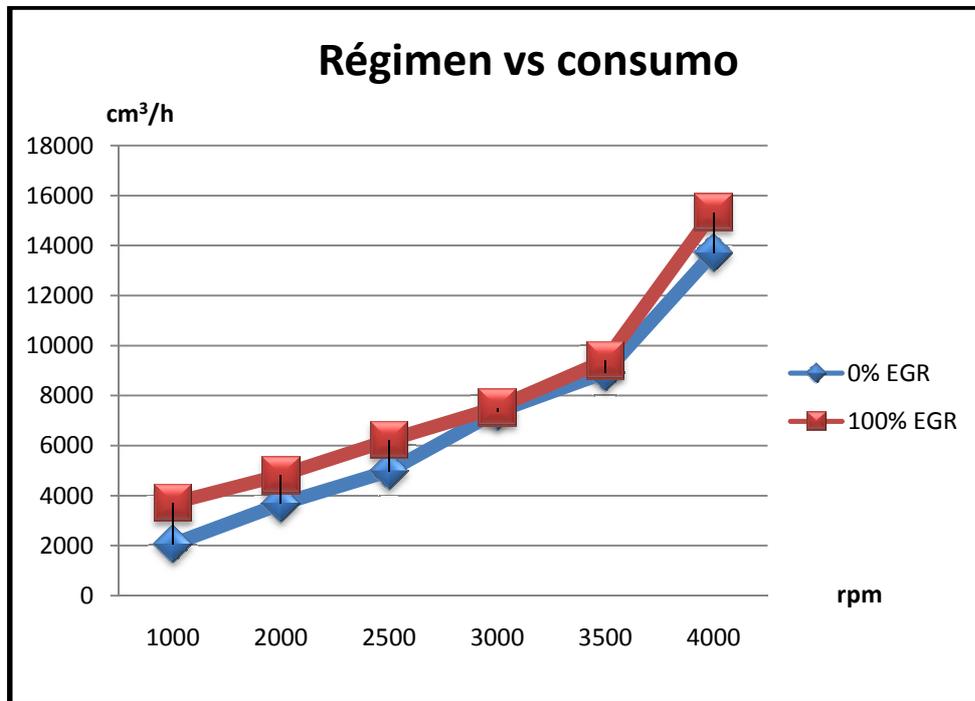


Fuente: Autores

Con la activación de la EGR se observa un comportamiento similar al anterior, el consumo crece conforme aumenta el régimen de giro, sin embargo recordemos que el régimen decrecía conforme aumentaba el porcentaje de EGR recirculado, entonces el mayor consumo obedece a que el módulo de control detecta un empobrecimiento de la mezcla e intenta compensarlo inyectando mayor cantidad de combustible.

6.2.4 Comparativa del consumo de combustible a 3400 rpm

Figura 81. Consumo de combustible a 3400 rpm y con tasa EGR nula y al 100%



Fuente: Autores

En este se observa que la curva tiende a intersecarse en el intervalo de las 3000 a 3500 rpm lo que indica que el consumo es casi igual en ese rango. Comprobándose otra razón de por qué se inyecta EGR en este intervalo y no bajo cualquier régimen del motor.

6.3 Prueba de análisis de gases

Una de las funciones del sistema de recirculación de gas de escape es la reducción de emisiones contaminantes en especial del NOx por lo que también se procedió a realizar un análisis de gases para verificar su eficiencia en la reducción de dicho gas y su influencia en la emisión de otros gases contaminantes.

6.3.1 Recomendaciones de uso del equipo MGT 5. El equipo analizador de gases MGT 5 cuenta con elementos que son bastante sensibles por lo que su manipulación se debe realizar con mucho cuidado y concentración, por lo que se den hacer caso a las siguientes recomendaciones para su uso y manipulación.

Coloque el equipo sobre una superficie firme.

Figura 82. Instalación del equipo analizador de gases MGT – 5



Fuente: Autores

Utilice equipo de seguridad y protección personal antes de iniciar la prueba.

Asegúrese de que se halle conectado de forma adecuada a la toma de energía y verifique que esta no sea insegura o poco fiable.

Coloque el motor a prudente distancia del equipo para evitar tropiezos, y golpes.

Se recomienda tener a mano la guía de usuario para solucionar posibles problemas.

6.3.2 *Procedimiento de uso del equipo analizador de gases MGT 5.* Para proceder con el respectivo análisis de gases debe conocerse a profundidad el equipo por lo que es recomendable leer el manual de usuario antes de usar el analizador de gases.

Primero proceda a encender el equipo o computador donde se halla instalado el software de control del equipo analizador de gases.

Inmediatamente encienda el equipo analizador de gases.

Ingrese al interfaz de usuario marcado por el ícono con las siglas MAHA.

Aparecerán una serie de avisos de no existencia de conexión y falta de base de datos actualizada. Hacer caso omiso a estas advertencias, y esperar unos segundos hasta que el dispositivo sea reconocido.

Figura 83. Inicio del interfaz del analizador de gases de escape



Fuente: Autores

Una vez reconocido el dispositivo le pedirá seguir una serie de instrucciones para realizar pruebas de funcionamiento del equipo. Como lo es el test de hermeticidad.

Figura 84. Test automático de hermeticidad del equipo MGT - 5



Fuente: Autores

Una vez caliente el equipo proceda a buscar en las opciones análisis de gases y seleccione las especificaciones correspondientes al vehículo.

La interfaz de análisis de gases aparecerá en cuanto haya realizado correctamente todos los procedimientos.

Figura 85. Interfaz para selección de análisis de gases



Fuente Autores

Es tiempo de iniciar con el análisis de gases colocando la sonda en el tubo de escape, y verificando los valores mostrados en la pantalla.

Detalles de cómo guardar datos y solución de algunos problemas se especifican en el manual de usuario del equipo.

6.3.3 Valores de emisiones antes de la adaptación

Tabla 18. Concentraciones de gases en el tubo de escape con 0% EGR

0% de Flujo de gas de escape						
Emisiones	Régimen de giro (rpm)					
	900	1500	2000	2500	3000	3500
% V CO _{korr}	0,80	0,83	0,81	0,74	0,68	0,73
% V CO ₂	13,30	13,10	13,30	13,39	13,46	13,50
ppm NOx	2810	3290	3478	3220	3111	3101
ppm HC	371,00	225,00	149,00	112,00	46,00	75,00
% V O ₂	1,33	1,49	1,38	1,51	0,89	0,92
Lambda	1,03	1,04	1,04	1,05	1,02	1,02

Fuente: Autores

Como se puede observar en la Tabla 18 los valores correspondientes a las emisiones del motor antes de ser influenciado por el sistema EGR muestran valores que se hallan acordes a los límites establecidos en la normativa ecuatoriana NTE INEN 2204. Misma que se muestra en el Anexo A.

6.3.4 Valores de emisiones después de la adaptación. Los valores tomados después de la adaptación corresponden a la Tabla 19 cuya coincidencia con la Tabla anterior es estructural, pero los valores mostrados difieren de la anterior debido a que ahora existe un sistema que ayuda a reducir emisiones.

Tabla 19. Concentraciones de gases en el tubo de escape con 25% EGR

25% de Flujo de gas de escape						
Emisiones	Régimen de giro (rpm)					
	900	1500	2000	2500	3000	3500
% V CO _{Korr}	1,77	1,13	0,87	0,84	0,76	0,65
% V CO ₂	10,4	11,7	13	13,3	13,4	13,6
ppm Nox	2800	3000	3500	3300	3450	3480
ppm HC	2050	1219	497	297	203	136
% V O ₂	5,1	3,39	1,83	1,44	1,54	1,36
Lambda	1,127	1,092	1,044	1,033	1,045	1,042

Fuente: Autores

Tabla 20. Concentraciones de gases en el tubo de escape con 50% EGR

50% de Flujo de gas de escape						
Emisiones	Régimen de giro (rpm)					
	900	1500	2000	2500	3000	3500
% V CO_{Korr}	2,58	1,63	1,44	1,2	1,06	0,93
% V CO₂	9	10,4	11,4	11,8	12,3	11,8
ppm Nox	1800	2450	2670	2980	2790	1200
ppm HC	2620	1509	957	690	371	310
% V O₂	7,38	4,73	3,88	3,32	3,35	5,91
Lambda	1,222	1,147	1,122	1,111	1,127	1,274

Fuente: Autores

Tabla 21. Concentraciones de gases en el tubo de escape con 75% EGR

75% de Flujo de gas de escape						
Emisiones	Régimen de giro (rpm)					
	900	1500	2000	2500	3000	3500
% V CO₂	9,2	9,3	11,7	11,7	11,7	11,6
ppm Nox	1760	3401	2990	2930	2470	2750
ppm HC	2520	2100	845	968	807	1508
% V O₂	6,74	5,09	3,34	3,48	3,82	3,8
Lambda	1,214	1,069	1,097	1,105	1,139	1,104

Fuente: Autores

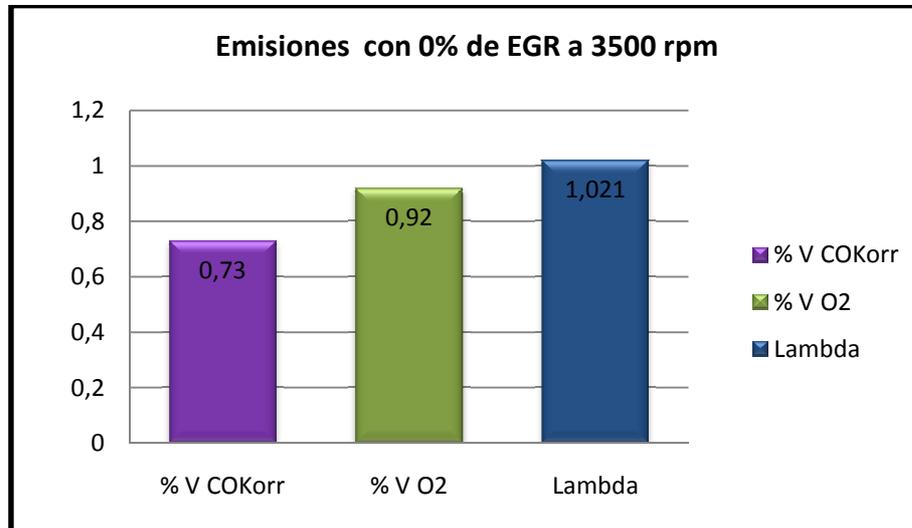
Tabla 22. Concentraciones de gases en el tubo de escape con 100% EGR

100% de Flujo de gas de escape						
Emisiones	Régimen de giro (rpm)					
	900	1500	2000	2500	3000	3500
% V CO_{Korr}	4,49	1,88	1,75	1,85	1,88	1,25
% V CO₂	8,9	10,7	10,7	11,2	11,5	12,4
ppm Nox	3010	3115	2397	2900	2880	2858
ppm HC	3100	2230	1285	1416	1587	1165
% V O₂	4,75	4,63	4,8	4,14	3,59	2,97
Lambda	0,981	1,09	1,152	1,103	1,074	1,048

Fuente: Autores

Mediante la Figura 86 podemos verificar el valor de emisiones antes y después de la adaptación del sistema EGR.

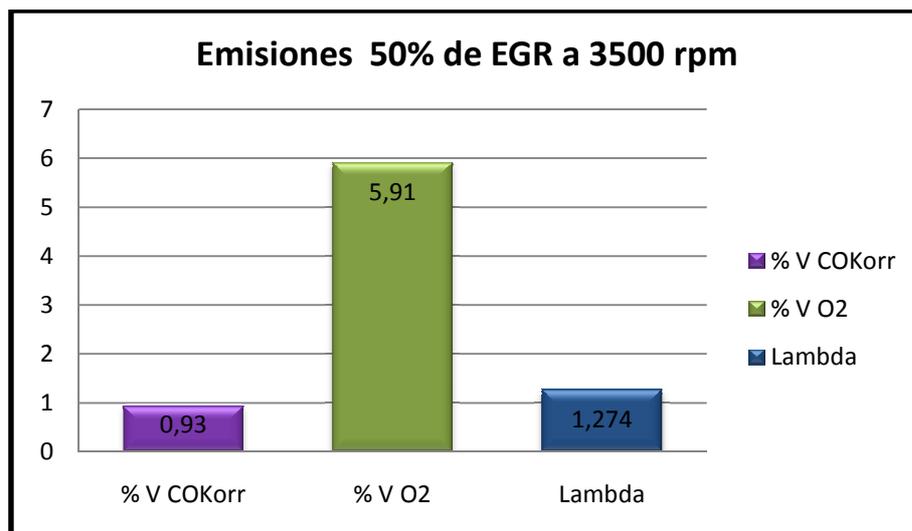
Figura 86. Valor de emisiones antes de la adaptación



Fuente: Autores

La Figura anterior muestra el valor de emisiones tomados en el banco de pruebas, donde se puede apreciar el monóxido de carbono corregido (CO_{Korr}), oxígeno (O_2) y el factor lambda (λ). Donde podemos apreciar valores dentro de los límites.

Figura 87. Emisiones después de la adaptación con 50% de EGR

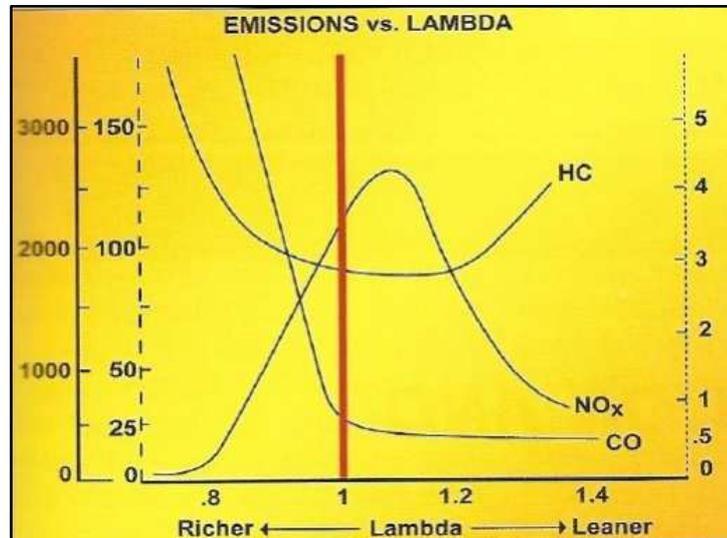


Fuente: Autores

En esta Figura 87 se observó como las emisiones de oxígeno han aumentado lo cual coincide con el aumento del factor lambda, esto debido a que las emisiones de oxígeno

tienden a crecer cuando lambda crece mientras que los NOx descienden conforme crece lambda.

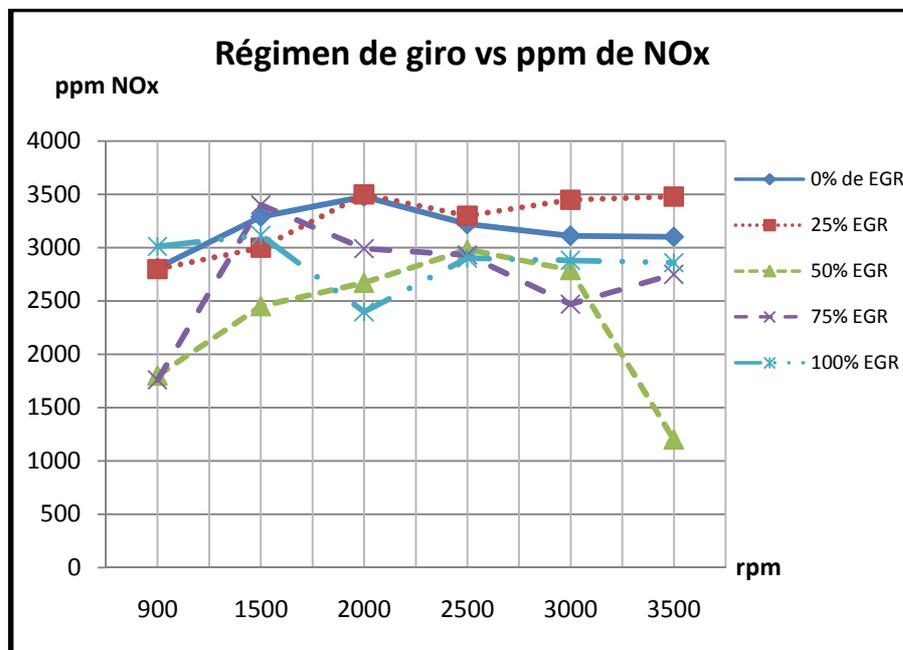
Figura 88. Emisiones contaminantes y su comportamiento según lambda



Fuente: http://i1057.photobucket.com/albums/t389/manolossi_XXL/3_zpsb0df4bff.jpg

Mediante una gráfica comparativa pudimos observar cómo se comportaban las emisiones de gases a diferentes regímenes del motor.

Figura 89. Régimen de giro vs concentración de NOx

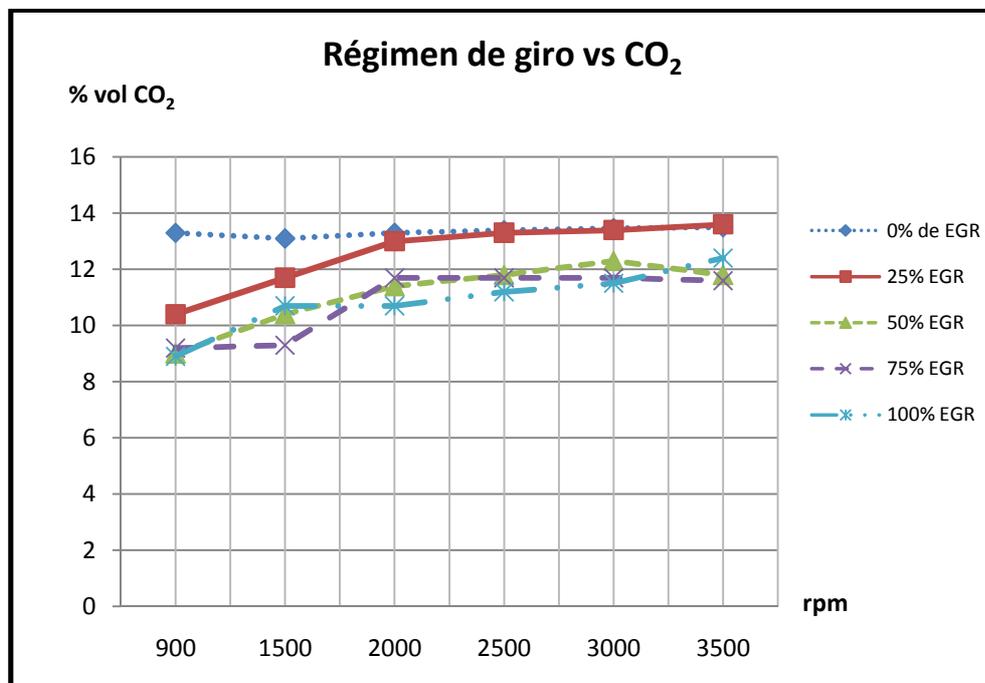


Fuente: Autores

Como se pudo apreciar las curvas de emisiones de NOx difieren de la curva inicial, observando que al 25% de gas recirculado, las emisiones de NOx aumentan de las

2000 a las 3500 rpm, probablemente debido a que existía una gran concentración de oxígeno y nitrógeno presentes en los gases de escape, mientras que a partir del 50% de EGR se observa un decremento significativo especialmente en este punto puesto que para el 75% y 100%, nuevamente crecen los NOx. Esto hace presumir que con una tasa del 50% de recirculación de gas de escape, tenemos una máxima reducción de los NOx, sin embargo el aumento de NOx con una mayor tasa de EGR, hace suponer que la computadora del motor PCM, intenta compensar el aumento de oxígeno inyectando más combustible y aumentando la temperatura al interior de la cámara con lo que se producen las condiciones necesarias para la reacción del nitrógeno y el oxígeno produciendo mayor formación del compuesto NOx. Ahora analizaremos las gráficas correspondientes a los demás compuestos de escape.

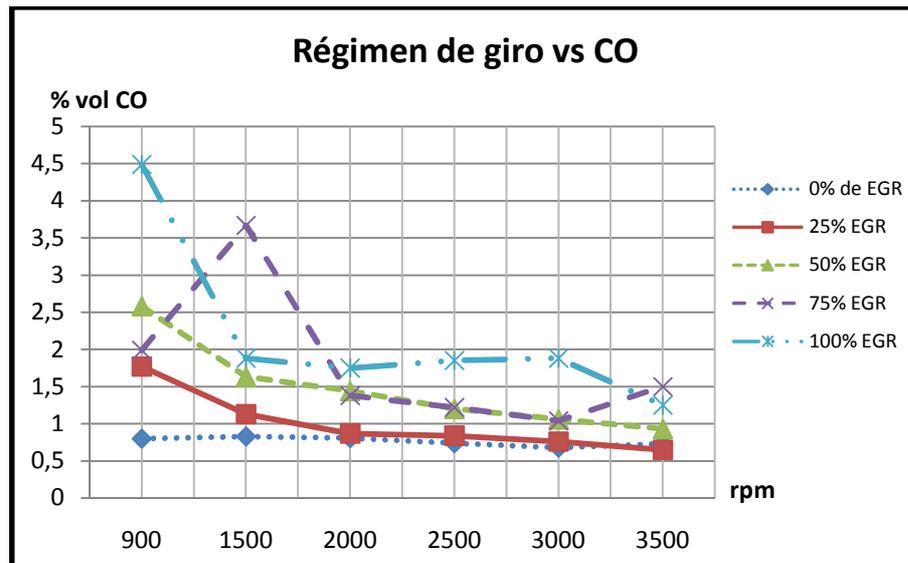
Figura 90. Régimen de giro vs dióxido de carbono



Fuente: Autores

El resultado final mostró que los monóxidos de carbono también se reducen de igual forma a partir del 25% de gas recirculado, estos debido a que como observamos en la gráfica de emisiones contaminantes estos decrecen conforme crece lambda. Lo cual corrobora una alta concentración de oxígeno en el ducto de escape, lo que deberá reflejar una alta concentración de hidrocarburos no quemados, y alta concentración de monóxidos de carbono.

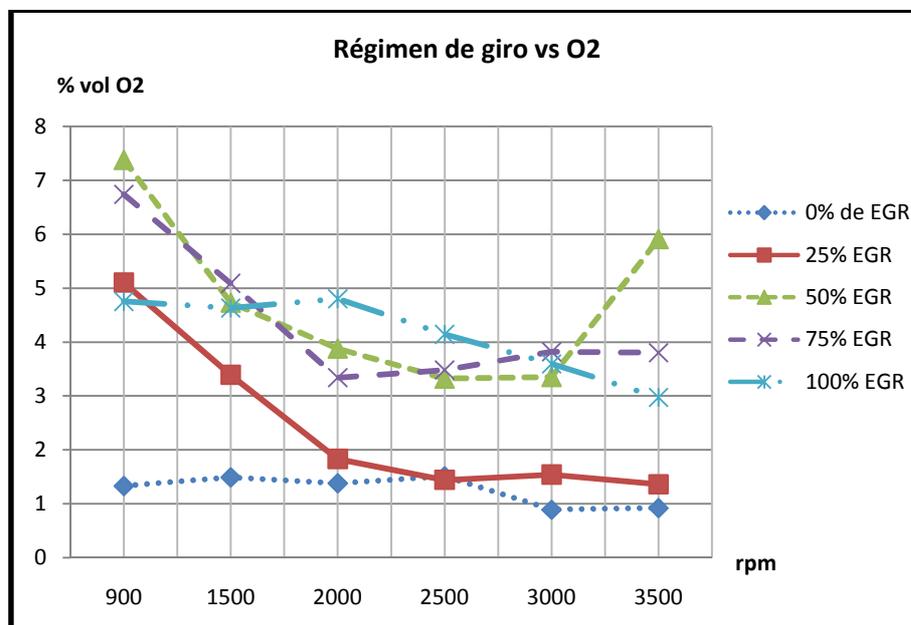
Figura 91. Régimen de giro vs monóxidos de carbono



Fuente: Autores

Se pudo constatar la presencia de una alta concentración de monóxidos de carbono, esto debido a que al hacer recircular el gas de escape y reducir el oxígeno con el cual se combina el combustible, la combustión es incompleta por ello su excesiva presencia.

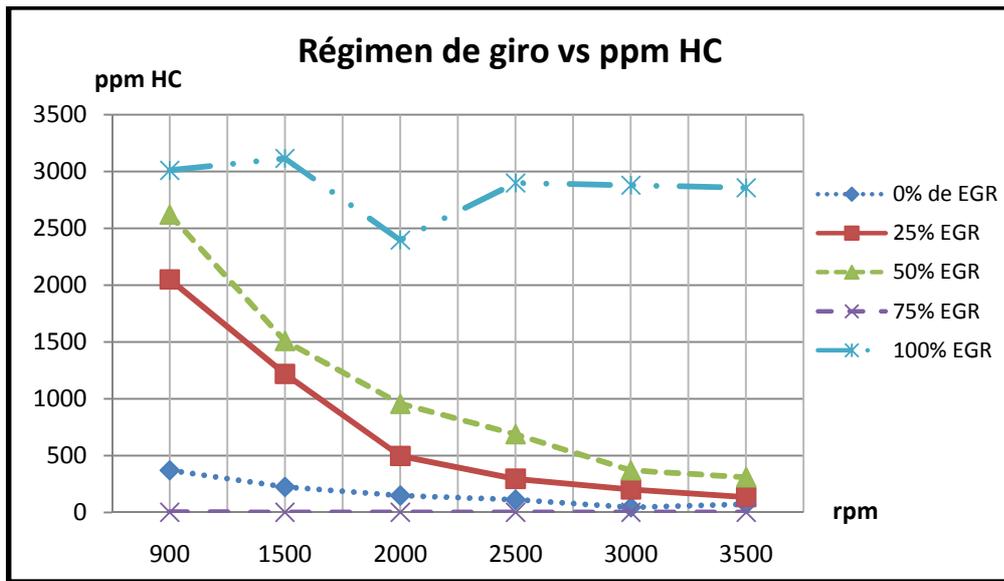
Figura 92. Régimen de giro vs oxígeno



Fuente: Autores

En esta gráfica se puede constatar la alta presencia de oxígeno en el escape, lo cual es un espejo de la gráfica de NOx y constata el comportamiento de los gases, a mayor presencia de oxígeno en el escape menor es la presencia de NOx.

Figura 93. Régimen de giro vs ppm de hidrocarburos



Fuente: Autores

Se pudo constatar con el análisis de la gráfica anterior la razón por la que se aumentó el consumo de combustible, puesto que la concentración de hidrocarburos no quemados, es bastante alta, especialmente con una tasa del 100% de EGR.

CAPÍTULO VII

7. GUÍA DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1 Guía de instalación

A continuación se describe el procedimiento utilizado para implementar el sistema de recirculación de gas de escape automático.

7.1.1 Etapa de selección. Proceda a seleccionar los elementos a ensamblar según se especifica en la etapa de diseño. Los elementos seleccionados deben tener idénticas o mejores características que los citados en la etapa de diseño.

Figura 94. Selección de elementos para el sistema EGR



Fuente: Autores

7.1.1.1 Adaptación en el tubo primario de escape. Se procede a realizar una adaptación soldando una tuerca con similar paso de rosca y diámetro para acoplar el terminal de la tubería.

Figura 95. Adaptación del tubo primario de escape



Fuente: Autores

7.1.1.2 Adaptación de la válvula EGR. Para la fijación y asentamiento de la válvula EGR, se debe construir una base adecuada con idénticas medidas a las de la válvula EGR, para fijarla con pernos pasantes. Adicionalmente se debe roscar los orificios de la válvula para acoplar los correspondientes racores para la tubería.

Figura 96. Base de válvula EGR



Fuente: Autores

7.1.1.3 Adaptación del colector de admisión. Se recomienda realizar una adecuada adaptación mecánica en el colector de admisión verificando no alterar sus características constructivas y teniendo en cuenta que el orificio a practicar deberá estar localizado después de la mariposa de gases para obtener una adecuada homogeneización del gas recirculado con el aire de admisión.

Figura 97. Adaptación del sistema de admisión



Fuente: Autores

7.1.1.4 Armado del circuito EGR. Proceda colocando de manera adecuada los terminales y acoples en el punto de partida del circuito, es decir en el tubo de escape.

Figura 98. Armado del sistema EGR



Fuente: Autores

7.1.1.5 Acople de tuberías. Utilizando llaves de boca adecuadas (22mm, 23mm y 24mm), ajuste los terminales de la tubería al respectivo collarín de sujeción de la tubería introduciendo la tubería hasta el tope del collarín. Repita el procedimiento en ambos extremos del tubo.

7.1.1.6 Acople de la base EGR. Ajuste los terminales en forma de codo en los orificios roscados, asegurándose de utilizar locktite para asegurar su sello estanco.

Debido a la cercanía de los orificios utilice un nepló en uno de los orificios para lograr el ajuste adecuado sin que los elementos interfieran o choquen al ser ajustados.

7.1.1.7 Acople de la tubería EGR al ducto de admisión. Para el caso particular del banco de pruebas en análisis, se realizó una adaptación en uno de los taladros de fábrica para acoplar el sistema EGR, en este punto se usó terminales de reducción para poder ajustar la tubería al diámetro del orificio en la garganta de admisión. Para casos particulares se recomienda analizar el punto de ingreso del gas recirculado con el fin de garantizar una adecuada mezcla de los gases.

7.1.1.8 Ubicación de la válvula EGR. Finalmente se ubicó la válvula de recirculación de gas de escape en su respectiva base utilizando pernos adecuados y un empaque resistente a la temperatura.

7.1.1.9 Inspección de armado. Revise minuciosamente que cada acople y terminal se halle conectado de una manera adecuada.

7.2 Guía de mantenimiento

Para el motor corsa OBD II 1.4 lt, los servicios de mantenimiento deben ser efectuados tanto en el sistema mecánico, sistema del cuerpo de aceleración, como también en el sistema electrónico. Para proceder al mantenimiento se tendrá en cuenta todos los pasos que se va a describir detalladamente en plan de mantenimiento a continuación expuesto. El control de mantenimiento queda específicamente a cargo de los estudiantes y su tutor a cargo. Los trabajos de servicio técnico se debe iniciar cuando el motor y el sistema de cañerías esta frio, esperando 15 minutos desde que la llave se colocó en posición OFF.

7.2.1 Plan de mantenimiento preventivo. El plan de mantenimiento preventivo del motor corsa 1.4 lt. se lo realizara por horas de trabajo debido a que es un motor estacionario. En la tabla 23 se describen los procedimientos a realizar conforme se ejecutan ciclos de trabajo quedando definido un ciclo de trabajo como el periodo en el que el motor se enciende, alcanza su temperatura normal de funcionamiento y el ventilador se enciende manteniendo la temperatura del motor entre 90 y 100°C. Sin embargo el mantenimiento del sistema de EGR se puede realizar también según se indica en el manual de mantenimiento del motor J20 del modelo Vitara SZ.

Tabla 23. Plan de mantenimiento preventivo

Horas de Trabajo	Inspección y Mantenimiento
Cada 2 ciclos de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar la carbonilla que se acumula por emisiones de gases de escape en los contornos de entrada y salida de la válvula. No utilizar herramienta de borde afilado. • Limpiar los contornos de las cañerías por la carbonilla acumulada. • Limpiar el cuerpo de aceleración en especial la entrada de gases. • Todo este proceso de limpieza se lo realiza con limpiador de carburador o WD40.
Cada 3 ciclos de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Reajustar 5 grados los acoples rápidos con una llave de boca e inspeccionar que al reajustarlos no estén cedidos. • Desarmar la válvula EGR, posteriormente proceder a limpiar su empaque caso contrario si está roto proceder al mantenimiento correctivo. • Reajustar 5 grados las bases de los apoyos de la cañería con una llave de boca e inspeccionar que al reajustarlos no estén cedidos. Caso contrario proceder al mantenimiento correctivo. • Inspeccionar que los cauchos de los apoyos no estén cedidos por el calor de los gases de escape. Caso contrario proceder al mantenimiento correctivo.
Cada ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar que el cableado eléctrico de los sensores vitales para el sistema EGR (MAP, CTS, TPS), no este pelado o exista cortos. Caso contrario aplicar el mantenimiento correctivo. • Inspeccionar el cableado de la válvula EGR, hacia el modulo no estén en contacto o pelados. Caso contrario aplicar el mantenimiento correctivo.

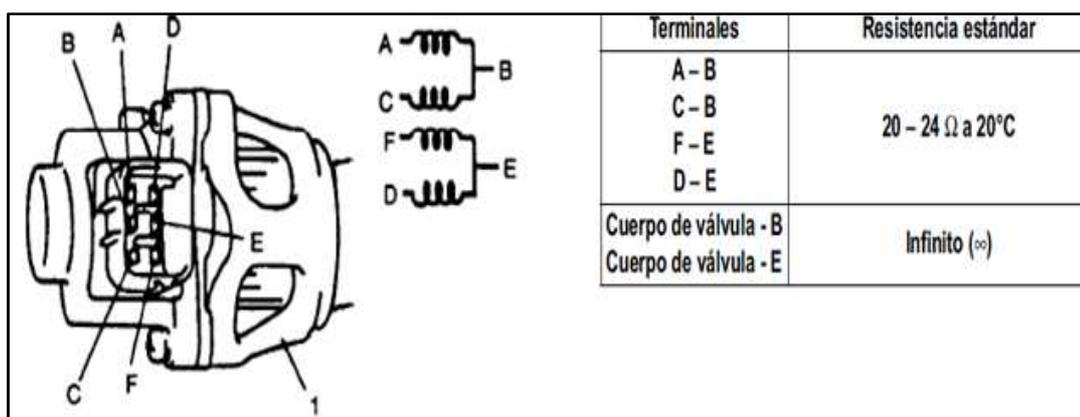
Fuente: Autores

7.2.2 *Plan de mantenimiento correctivo.* En vista de cualquier daño de componente electrónico o mecánico se debe comprobar los elementos caso contrario sustituirlos.

7.2.2.1 *Comprobación de resistencia de terminales la EGR.* Comprobar la resistencia entre cada par de terminales de la válvula EGR como muestra la Figura 99.

De confirmarse el mal estado del bobinado de la válvula EGR proceda a su sustitución. Generalmente este tipo de válvulas son de una vida útil prolongada por lo que su avería no se produce con frecuencia.

Figura 99. Comprobación de terminales válvula EGR



Fuente: Manual de mantenimiento Suzuki XL-7

7.2.2.2 Comprobación de la resistencia del sensor CTS. Compruebe los siguientes datos en el sensor, utilice un multímetro. Realizar una prueba en KOEO.

Figura 100. Comprobación del sensor CTS



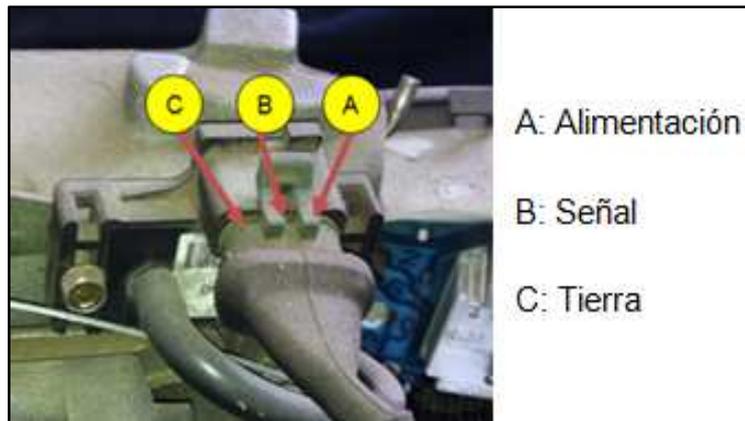
Fuente: Autores

De no comprobarse los valores mostrados proceda sustituir el sensor.

7.2.2.3 Comprobación del sensor TPS. El sensor TPS muestra la siguiente configuración y los siguientes valores de funcionamiento. Compruebe dichos valores de no encontrar coincidencias en los valores sustituya el sensor.

7.2.2.4 Comprobación del sensor MAP. El sensor MAP puede comprobarse en una prueba con el motor apagado y llave de contacto en ON. Verifique los siguientes valores para cada pin del sensor. De no encontrar coincidencias sustituya el sensor.

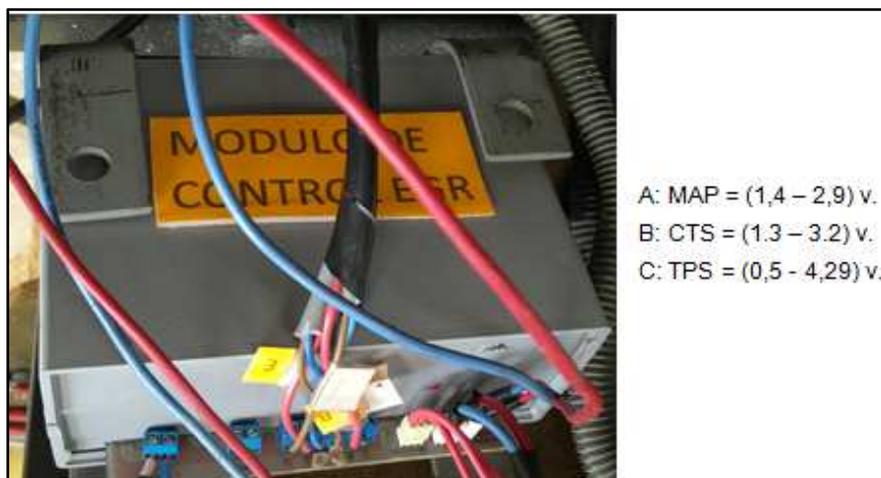
Figura 101. Comprobación del sensor MAP



Fuente: Autores

7.2.2.5 Comprobación del módulo EGR. Utilizando un multímetro digital comprobar los siguientes valores en con la llave en la posición de ON y el motor encendido. De no encontrar coincidencia en los valores mostrados revise el módulo de control y de comprobar su mal estado comuníquese con el fabricante.

Figura 102. Comprobaciones en módulo de control EGR



Fuente: Autores

Nota: La designación de cada señal de entrada y de la fase de alimentación se encuentra impreso en la placa.

7.2.2.6 Comprobación de cañerías y racores. Para evitar daños en las cañerías y racores realice el mantenimiento preventivo recomendado, de notarse alguna clase de anomalía en racores o tuberías sustituya el elemento defectuoso por uno nuevo.

Figura103. Comprobación de tuberías y racores



Fuente: Autores

CAPÍTULO VIII

8. COSTOS Y PRESUPUESTO

Los costos mostrados a continuación corresponden a los realizados en la implementación y diseño del sistema EGR.

8.1 Costos de diseño y construcción del sistema EGR

8.1.1 *Costos directos.* Corresponden a los costos de materiales implementos e insumos utilizados en la etapa de diseño construcción y análisis del sistema EGR.

Tabla 24. Costos directos de producción

Cant.	Descripción	Costo Unitario	Costo Total (\$)
1	Válvula EGR	280,00	280,00
1	Socket de conexión para EGR	25,00	25,00
2	Kit de Resistencias, capacitores, diodos rectificadores, pulsadores	30,00	60,00
5	Reguladores de 5V	1,00	5,00
5	Reguladores de 12V	1,00	5,00
5	Transistores BJT	2,00	10,00
5	Transistores FET (Efecto Campo)	2,60	13,00
4	Relés de 5V	1,50	6,00
4	Relés de 12V	2,00	8,00
5	PIC 18F877A	30,00	150,00
5	LCD	20,00	100,00
1	Recarga de gas para analizador de gases MGT 5	280,00	280,00
1	Adaptación del ducto de escape.	15,00	15,00
1	Cañería para conexión del sistema EGR	50,00	50,00
n	Acoples rápidos para tubería	50,00	50,00
TOTAL.			\$ 1057,00

Fuente: Autores

8.1.2 *Costos indirectos.* Corresponden los gastos en actividades de asesoramiento y detalles del sistema EGR que no influyeron en la construcción del mismo pero aumentaron el costo.

Tabla 25. Costos indirectos

Cantidad.	Descripción.	Costo.
-	Documentación e investigación.	\$ 200,00
-	Asesoramiento técnico.	\$ 600,00
-	Movilización y transporte.	\$ 100,00
-	Imprevistos.	\$ 522,00
	TOTAL.	\$ 1422,00

Fuente: Autores

8.1.3 Imprevistos. Corresponden a los costos de mantenimiento preventivo y correctivo del banco de pruebas previo su adaptación y análisis.

Tabla 26. Imprevistos

Cant.	Descripción	Costo \$
1	Retenedor de aceite	20,00
1	Perno del volante del motor	10,00
1	Kit de insumos par limpieza del depósito de combustible.	15,00
1	Litro de pintura para tanque de combustible.	15,00
1	Filtro de combustible.	5,00
1	Kit de abrazaderas para mangueras.	2,00
1	Reparación de casa superior del radiador.	75,00
1	Kit para cambio de aceite.	25,00
1	Estructura para tablero de instrumentos.	15,00
1	Kit de sockets de conexión para sensores defectuosos.	30,00
1	Reparación de computadora automotriz.	300,00
1	Insumos de limpieza y combustible.	10,00
	TOTAL.	522,00

Fuente: Autores

8.2 Costos totales

Tabla 27. Costos totales

Costos Directos.	\$ 1057,00
Costos Indirectos.	\$ 1422,00
Costo Total.	\$ 2479,00

Fuente: Autores

La factibilidad económica del proyecto se ve limitada al nivel investigativo que existe sobre el tema de dispositivos anticontaminación por lo que, no es factible su construcción en masa puesto que se deben analizar más factores que influyen en el desempeño del sistema.

CAPÍTULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

Conocimos los diferentes sistemas anticontaminación que se implementan en los vehículos de gama baja, media y alta, haciendo énfasis al sistema EGR.

Diseñamos un sistema electrónico de control de recirculación de gases de escape EGR, en función del régimen de giro, carga y temperatura del motor.

Implementamos el sistema EGR en el motor corsa 1.4 Lt OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

Realizamos la pruebas de funcionamiento y contaminación del sistema EGR implementado en el motor corsa 1.4 Lt OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz. Obteniendo las siguientes conclusiones.

Luego de haberse realizado una prueba de régimen de giro vs tasa de EGR se pudo visualizar que las revoluciones decrecieron conforme el actuador EGR se abría, lo cual simulaba fallos relacionados con la EGR. Comprobando de esta forma que un mal funcionamiento de este actuador afecta el funcionamiento del motor.

Verificamos mediante una prueba de consumo de combustible que el sistema EGR incide en el aumento de consumo del mismo cuando es activado en régimen de giro del motor donde la carga del mismo no amerita, mientras que al ser activado en la zona adecuada el consumo es casi similar al de un motor sin EGR. Hay también que recordar que el sistema actúa únicamente bajo ciertas condiciones del motor y sobretodo el régimen del motor no siempre es constante por lo que su acción es momentánea y limitada.

Se verificó la relación entre el factor lambda y las emisiones de NOx puesto que como se puede visualizar en la gráfica de emisiones su relación es inversamente proporcional por lo que el sistema instalado es eficiente para el motor C14SE.

Se pudo verificar la importancia de los sistemas anticontaminación implementados en vehículos a gasolina.

Se determinó que las exigencias de incorporación de este tipo de sistemas en vehículos en general, corresponden a solucionar un problema medioambiental más que un problema de requerimientos de potencia.

9.2 Recomendaciones

Llevar a cabo un estudio más profundo de la dinámica de los gases de escape y su influencia en el rendimiento del motor.

Implementar un manual de mantenimientos preventivos para cada uno de los bancos de pruebas de la escuela y ponerlos en ejecución como método de aprendizaje para los estudiantes.

Implementar bancos de pruebas para medición de temperatura, velocidad y presión de gases de admisión y escape para futuros análisis.

Mantener actualizados los equipos de diagnóstico y análisis para futuros estudios.

Realizar un diseño adecuado de algún elemento auxiliar para el acople de los motores estacionarios de la Escuela de Ingeniería Automotriz, al banco dinamométrico de freno de agua, localizado en el laboratorio de motores de la facultad para futuros análisis del rendimiento del motor, y estudio de curvas de torque y potencia.

BIBLIOGRAFÍA

ALEGRÍA, José. 2007. Flujo másico de admisión . [En línea] 28 de Septiembre de 2007. [Citado el: 02 de Septiembre de 2013.] <http://www.mailxmail.com/getPdf.cfm?qs=3/emision-gases-17283-completo.pdf>.

ALONSO, José. 2002. *Técnicas del automóvil: Inyección de gasolina y dispositivos anticontaminación*. Barcelona : PARANINFO, 2002.

ANIS, K. 2012. blogsolucioneselectronicasrl.com. [En línea] 11 de 04 de 2012. [Citado el: 27 de 08 de 2013.] <http://blog.solucioneselectronicasrl.com/wp-content/uploads/interrupciones.png>.

—. **2010.** waveshareelectronics.com. [En línea] 14 de 09 de 2010. [Citado el: 30 de 08 de 2013.] http://www.wvshare.com/img/pinout/PIC16F877A_1.jpg.

—. **2007.** www.circuitstoday.com. [En línea] 12 de 04 de 2007. [Citado el: 13 de 08 de 2013.] <http://www.circuitstoday.com/wp-content/uploads/2009/08/fet-field-effect-transistor.jpg>.

ASE. 2004. www.obd-codes.com. [En línea] 17 de 01 de 2004. [Citado el: 25 de 07 de 2013.] <http://www.obd-codes.com/faq/images/ect-sensor.jpg>.

AUTODATA. 2004. *MODULOS DE CONTROL*. California : s.n., 2004.

BISMARCK, Giovanni. 2012. Constitución de una pantalla LCD. [En línea] 2012. [Citado el: 09 de Septiembre de 2013.] <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21591/1/TESINA%20INTERRUPCIONES%20ATMEGA169.pdf>.

BOOSTER, Beto. Encendido electronico. [En línea] [Citado el: 05 de Septiembre de 2013.] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf3/sistemas-egr-ford-sensores-dpfe/sistemas-egr-ford-sensores-dpfe.pdf>.

—. **1995.** Encendidoelectronico.com. [En línea] 15 de 03 de 1995. [Citado el: 08 de 07 de 2013.] <http://encendidoelectronico.com/eadmin/txt/DPFE%20-%201.jpg>.

CRUZ, A. 2013. automotriz.net. [En línea] 08 de 05 de 2013. [Citado el: 23 de 08 de 2013.] http://www.automotriz.net/tecnica/images/conocimientos-basicos/26/config-sist-admision_2.gif.

DÍAZ, Rodrigo. 2010. *Termodinámica Automotriz*. Riobamba : ECOFYCENTER, 2010.

—. **1987.** *Texto básico: Motores de combsutiión interna*. Riobamba : PEDAGÓGICA FREIRE, 1987.

FAJARDO, Salvador. 1997. e-auto.com.mx. [En línea] 21 de 08 de 1997. [Citado el: 17 de 07 de 2013.] <http://e-auto.com.mx/imagenes/manuales/electronica/varios/MAF-03.jpg>.

FONSECA, Franklin. 2011. “*DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN EL TUBO DE ESCAPE* . Latacunga : s.n., 2011.

GALLEGOS, M. 2010. Estiقيometría de motores a gasolina. [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 03 de Septiembre de 2013.] <http://mgallegosantos.files.wordpress.com/2010/01/emisiones-contaminantes.pdf>.

GARCIA, Eduardo. 2008. *Compilador CCCS y simulador proteus para microcontroladores PIC*. México : ALFAOMEGA, 2008.

GOTERA, Eddin. 2009. Calculo y diseño de tuberías para transportar gas caliente. [En línea] 14 de Marzo de 2009. [Citado el: 20 de Julio de 2013.]

KAE. 2008. commons.wikimedia.org. [En línea] 14 de 10 de 2008. [Citado el: 05 de 09 de 2013.] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ea/Componentes.JPG/800px-Componentes.JPG>.

MAGANBIT, SA. 1998. 3.bp.blogspot.com. [En línea] 12 de 08 de 1998. [Citado el: 03 de 09 de 2013.] http://3.bp.blogspot.com/_sBQ4VusnoUE/Srag4yp_ojI/AAAAAAAAAE4/0284eKNNNh8/s1600/preamp_lificador5.jpg.

MAGNABIT, C.A. 2005. ep.yimg.com. [En línea] 10 de 07 de 2005. [Citado el: 18 de 08 de 2013.] http://ep.yimg.com/ca/I/yhst-27389313707334_2252_107171318.

—. **1990.** www.electronicamagnabit.com. [En línea] 14 de 10 de 1990. [Citado el: 11 de 09 de 2013.] <http://www.electronicamagnabit.com/tienda/1161-1868-large/transistor-pnp-bc557.jpg>.

MAGNATE, E. 2008. www.umo.com.co. [En línea] 18 de 07 de 2008. [Citado el: 25 de 08 de 2013.] <http://www.umo.com.co/content/116/img/gallery/images/Partes%20Sistema%20de%20escape.JPG>.

MAHA, Company. 2003. *Manual de usuario MGT5 analizador de gases*. Haldenwang/Allgäu : Aignaviva-Girona, 2003.

MEGANEBY, Dani. 2011. Sistemas anticontaminación del motor a gasolina. [En línea] 2011. [Citado el: 30 de Julio de 2013.] http://www.aficionadosalamecanica.com/sistema_egr.htm.

—. **2013.** www.aficionadosalamecanica.com. [En línea] 05 de 01 de 2013. [Citado el: 01 de 08 de 2013.] <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-emisiones/egr-neumatica.jpg>.

—. **2013.** www.aficionadosalamecanica.com. [En línea] 05 de 01 de 2013. [Citado el: 15 de 08 de 2013.] <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-emisiones/valvula-egr.jpg>.

—. **2013**. www.aficionadosalamecanica.com. [En línea] 05 de 01 de 2013. [Citado el: 28 de 07 de 2013.] <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-emisiones/egr-neumatica.jpg>.

MEGANEBY, Dany. 2013. www.aficionadosalamecanica.com. [En línea] 05 de 01 de 2013. [Citado el: 06 de 08 de 2013.] <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-emisiones/egr-electrica.jpg>.

OROZCO, José. 2006. *Diagnóstico y servicio de inyección electrónica*. México : DIGITAL COMUNICACIONES, 2006.

ROSETO, Alberto. 2005. www.miac.es. [En línea] 11 de 10 de 2005. [Citado el: 25 de 08 de 2013.] www.miac.es/marcas/pico/develop/hta/images/egr_es.gif.

RUEDA, Jesús. 2010. *Manual técnico de fuel injection*. Colombia : DISELI, 2010.

RUEDA, S.L. 1999. [Km77.com](http://www.km77.com). [En línea] 20 de 11 de 1999. [Citado el: 06 de 07 de 2013.] <http://www.km77.com/glosario/r/recigase.asp>.

RUEDA, S.L. 1999. Tasa de recirculación de gases de escape en motores a gasolina. [En línea] 1999. [Citado el: 01 de Septiembre de 2013.] <http://www.km77.com/glosario/r/recigase.asp>.

SOLIDWORK. 2011. *Diseño de tuberías*. California : s.n., 2011.