



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: "INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE
INFORMACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y COMPORTAMIENTO
DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MULTIPUNTO
FORD EFI"**

AUTORES: ALEX DARIO PALLO CHUQUIMARCA

BYRON JOEL SALAZAR BONILLA

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2017



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INFORMACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MULTIPUNTO FORD EFI**” realizado por los señores **ALEX DARIO PALLO CHUQUIMARCA** y **BYRON JOEL SALAZAR BONILLA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **ALEX DARIO PALLO CHUQUIMARCA** y **BYRON JOEL SALAZAR BONILLA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, agosto del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal. A la derecha de la firma se encuentra un sello circular con el texto "INGENIERÍA AUTOMOTRIZ" y un escudo central.

Washington Germán Erazo Laverde

DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ALEX DARIO PALLO CHUQUIMARCA**, con cédula de identidad N°0503291239 y **BYRON JOEL SALAZAR BONILLA**, con cédula de identidad N°0504079427, declaramos que este trabajo de titulación "**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INFORMACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MULTIPUNTO FORD EFI**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, agosto del 2017

Alex Darío Pallo Chuquimarca

C. C.: 0503291239

Byron Joel Salazar Bonilla

C. C.: 0504079427



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ALEX DARIO PALLO CHUQUIMARCA Y, BYRON JOEL SALAZAR BONILLA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INFORMACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MULTIPUNTO FORD EFI**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Alex Darío Pallo Chuquimarca

C. C.: 0503291239

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal, con el nombre 'BYRON JOEL' visible dentro de un círculo.

Byron Joel Salazar Bonilla

C. C.: 0504079427

DEDICATORIA

En Dios está mi vida y mis metas, todo ocurre bajo su voluntad y su tiempo perfecto. Le dedico este trabajo por haberme guiado en este enrevesado camino que estuvo colmado de sus bendiciones, por haberme dado la vida y por permitirme llegar a ser lo que ahora soy.

A mi incomparable madre María Piedad, son infinitas las razones por las cuales dedicarte esta meta, eres el motivo principal que me impulsa a lograr todo lo que me propongo, sé que nunca fue fácil llevar sola la batuta de un hogar, te dedico esto mamita por la valentía que le pusiste a toda una vida, por tu perseverancia, por nunca fallarnos ni decepcionarnos ni a mí ni a mis hermanos y por ser para mí una madre y un padre a la vez, Dios te lo pague de todo corazón.

A mi hermana Paulina Michelle, por ser como una segunda madre para mí, tu cariño y apoyo fueron primordiales en esta ardua travesía, son invaluable todas las cosas que has hecho por mí que no me alcanzaría la vida para recompensártelas, estoy tan orgulloso de la persona que eres y soy muy afortunado de ser tu hermano, además también se lo dedico a mi sobrino Agustín Patricio a quien quiero como si fuera mi hijo, llenan mi vida de alegría.

A mi hermano Luis Miguel, por todos tus consejos y palabras de aliento que me fueron muy útiles cuando más lo necesité, sé y estoy seguro que llegarás muy lejos.

A mi mejor amiga Jessica, por siempre escucharme y animarme, eres la primera persona que me mostró el verdadero significado de la palabra amistad, tú me conoces y aprecias por lo que realmente soy, mi estimación hacia ti es inmensa.

Byron Joel Salazar Bonilla

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la Virgencita de Guadalupe y a Jesús del gran poder por haberme brindado las bendiciones y las fuerzas para no rendirme en todo el trayecto de mi vida estudiantil.

Este logro profesional lo dedico de manera muy especial a mis padres Marcelo Pallo y Elsa Chuquimarca, son la fuente de mi felicidad, gracias a ustedes tuve la oportunidad de estudiar y elegir una profesión. Aun cuando los momentos fueron difíciles siempre me respaldaron, me aconsejaron y guiaron. Los amo mucho.

Quiero dedicar este trabajo a mi hermana Fernanda y a mi cuñado Nelson, esperando que les sirva de ejemplo para que cumplan sus sueños y metas profesionales.

En mis años como estudiante tuve la suerte de conocer a muchos compañeros de clase, pero a pocos puedo reconocerlos como amigos Henry, Klever, Javier, Cristian, Jair, Carlos, Juan, Stalin, Alexis, Álvaro, Karlita, Maribel y Nelly, gracias por su ayuda, su amistad y sus consejos de vida. A mis abuelitos, tíos, primos y familiares más cercanos, porque de alguna u otra manera me ayudaron e impulsaron a seguir caminando hasta alcanzar mi objetivo.

Hay muchas personas a las cuales dedicar este logro, pero quiero hacer una mención especial para mi amigo Joseph Cando que de seguro me está mirando desde el cielo, gracias por tu amistad sincera y tus consejos, en este logro también se plasma tu esfuerzo y dedicación.

Alex Darío Pallo Chuquimarca

AGRADECIMIENTO

Si de verdad te trazas una meta, la conseguirás limpia y honradamente, sin necesidad de recurrir a ningún tipo de subterfugio, sólo ahí entenderás el verdadero júbilo de lograrla.

Agradezco a Dios por la vida y por la salud de todas las personas importantes para mí que me han acompañado en este laborioso camino, las bendiciones serán reflejadas en la vida de cada uno de ustedes y de los suyos.

A mi madre y a mi hermana por ser los dos pilares que me sostuvieron para poder conseguir mi objetivo, su dedicación, amor y confianza me mantuvieron siempre en alto sin ánimo de desfallecer, estaré eternamente agradecido por todo lo que han hecho y hacen por mí.

A mi tía Cecilia Bonilla por el apoyo que me ha brindado, gracias por siempre ser una persona muy dadivosa y desprendida, sus buenas acciones siempre serán reflejadas con los éxitos y amor incondicional de María Cecilia y Sofía Daniela.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz que aportaron a mi formación académica, en especial al Ing. Germán Erazo mi tutor de proyecto, por ser una persona honesta y muy sabia, por demostrar que un estudiante es apreciable por el esfuerzo y la dedicación que muestra, su colaboración en el desarrollo de este trabajo fue fundamental para su éxito.

A la Universidad de la Fuerzas Armadas por permitir formarme como profesional y ser alguien que aportará con bien al desarrollo de la sociedad y del país.

Byron Joel Salazar Bonilla

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer eternamente a Dios y a la Virgencita de Guadalupe por cuidarme todos los días brindándome la sabiduría y la tenacidad para avanzar en cada uno de los momentos de mi vida.

Quiero extender un agradecimiento sincero y cariñoso a mis padres por estar junto a mí en los momentos más difíciles de mi vida, por cuidarme y protegerme siempre guiándome por el camino del bien.

Agradezco a nuestra empresa TALLERES NIAGARA Centro de Colisiones y a todas las personas que lo conforman, gracias por su apoyo, enseñanzas y experiencias que pude obtener ahí en el diario convivir.

A mi tío Orlando por su amistad y la ayuda incondicional que siempre me ofreció, de todo corazón espero que tengas una vida muy feliz y exitosa. A mi prima Lucia por aconsejarme y ser un ejemplo a seguir para toda nuestra familia, espero poder seguir tus pasos.

Quiero agradecer a mi compañero Joel Salazar por la confianza y dedicación que pusimos en este nuestro proyecto final de titulación.

Al Ing. Germán Erazo por ser un excelente profesor y ayudarme a concretar este proyecto de investigación. A los Ingenieros José Quiroz Y Leonidas Quiroz por facilitar los equipos e instalaciones que fueron necesarias para realizar las pruebas y mediciones del proyecto. Por último, quiero agradecer a mis compañeros de Electromecánica y Automotriz con los cuales compartí gratos momentos en las aulas como estudiantes de ingeniería.

Alex Darío Pallo Chuquimarca

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxv
RESUMEN	xxvii
ABSTRACT	xxviii

CAPÍTULO I

1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Antecedentes	1
1.3.	Planteamiento del problema	2
1.4.	Descripción resumida del proyecto	4
1.5.	Justificación e importancia.....	5

1.6.	Objetivos	5
1.6.1.	Objetivo general	5
1.6.2.	Objetivos específicos	5
1.7.	Metas del proyecto	6
1.8.	Hipótesis	7
1.9.	Variables de la investigación	7
1.10.	Metodología de desarrollo del proyecto	9
1.10.1.	Método inductivo	10
1.10.2.	Método deductivo	10
1.10.3.	Método analítico	10
1.10.4.	Método de síntesis	10
1.10.5.	Método experimental	11
1.10.6.	Método de medición	11
1.10.7.	Método de matematización.....	11
1.10.8.	Método estadístico y de probabilidades	12
1.10.9.	Método de la concreción.....	12

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	16
2.1.	Inyección electrónica a gasolina	16
2.2.	OBD-I (On Board Diagnostics).....	16

2.3.	OBD-II (On Board Diagnostics Second Generation)	20
2.4.	Luz MIL (Malfunction Indicator Light)	21
2.5.	Conector ALDL (Assembly Line Diagnostic Link).....	22
2.6.	Conector DLC (Data Link Connector)	23
2.7.	Parámetros para la generación de códigos de falla	24
2.8.	DTC (Diagnostic Trouble Code)	25
2.9.	Ciclo de conducción	25
2.10.	Parámetros de información de diagnóstico PID.....	25
2.10.1.	Modos o servicios de los PID	26
2.11.	PID's primarios	27
2.12.	PID's secundarios.....	29
2.13.	Componentes del sistema de inyección electrónica	31
2.14.	Sensores.....	31
2.14.1.	Sensor de temperatura de refrigerante ECT.....	32
2.14.2.	Sensor de temperatura de la carga de aire ACT	33
2.14.3.	Sensor de presión absoluta del múltiple MAP	35
2.14.4.	Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS	38
2.14.5.	Sensor de captación del perfil de ignición PIP.....	40
2.14.6.	Sensor de oxígeno o sonda lambda	42
2.15.	Unidad de control electrónica ECU	44
2.16.	Actuadores.....	45
2.16.1.	Inyectores	45

2.16.2.	Válvula de control de aire en ralentí IAC	47
2.16.3.	Válvula de recirculación de gases de escape (EGR).....	49
2.16.4.	Válvula del sistema de emisiones EVAP	49
2.16.5.	Bomba eléctrica de combustible.....	51
2.16.6.	Regulador de presión de combustible	51
2.16.7.	Bobina de encendido con distribuidor electrónico	52
2.17.	Regresión.....	53
2.18.	Regresión lineal	54
2.18.1.	Método de mínimos cuadrados	55
2.18.2.	Estimadores de mínimos cuadrados	56
2.19.	Regresión no lineal	57
2.19.1.	Regresión exponencial	58
2.19.2.	Regresión polinomial	59
2.20.	Series de Fourier.....	61
2.20.1.	Funciones periódicas.....	61
2.20.2.	Series trigonométricas de Fourier.....	61
2.20.3.	Coeficientes de las series trigonométricas de Fourier	63

CAPÍTULO III

3.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO MULTIPUNTO FORD EFI, PUESTA A PUNTO DEL MOTOR Y PRUEBAS	65
-----------	---	-----------

3.1.	Datos técnicos del motor	65
3.2.	Sistema de inyección de combustible ECC-IV de Ford.....	66
3.3.	Componentes del sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI.....	66
3.4.	Diagrama e instalación del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI.....	72
3.5.	Puesta a punto del motor	74
3.6.	Herramientas de diagnóstico automotriz electrónico	75
3.6.1.	Multímetro automotriz.....	75
3.6.2.	Escáner Master Launch X-431	76
3.6.3.	Escáner Carman Scan VG64	78
3.7.	Parámetros de información de diagnóstico del sistema de control electrónico Ford EFI a distintas condiciones de operación del motor	79
3.7.1.	Pruebas del sensor de temperatura del refrigerante ECT	80
3.7.2.	Pruebas del sensor de temperatura del aire ACT	81
3.7.3.	Pruebas del sensor de captación de perfil de ignición PIP.....	82
3.7.4.	Pruebas del sensor de posición del acelerador TPS.....	84
3.7.5.	Pruebas del sensor de oxígeno.....	86
3.7.6.	Pruebas del sensor de presión absoluta del múltiple de admisión MAP.....	88
3.7.7.	Pruebas de inyectores.....	90

3.7.8.	Pruebas de la válvula de control de aire de ralentí IAC.....	94
--------	--	----

CAPÍTULO IV

4.	MATEMATIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INFORMACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y ELABORACIÓN DE GUÍAS INTERACTIVAS	97
4.1.	Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de temperatura del refrigerante (ECT)....	97
4.1.1.	Resistencia del sensor vs temperatura del refrigerante	97
4.1.2.	Regresión exponencial de datos	99
4.1.3.	Función obtenida y curva generalizada	100
4.1.4.	Voltaje de señal vs temperatura del refrigerante	101
4.1.5.	Regresión exponencial de datos	102
4.1.6.	Ecuación obtenida y curva generalizada	103
4.2.	Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de posición del acelerador (TPS)	104
4.2.1.	Voltaje de señal vs resistencia del sensor RAB	104
4.2.2.	Regresión lineal de datos	106
4.2.3.	Ecuación obtenida y curva generalizada	107
4.2.4.	Voltaje de señal vs resistencia del sensor RBC	107
4.2.5.	Regresión lineal de datos.....	109
4.2.6.	Ecuación obtenida y curva generalizada	110

4.3.	Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de oxígeno.....	111
4.3.1.	Voltaje de señal vs tiempo.....	111
4.3.2.	Regresión polinomial de datos	113
4.3.3.	Ecuación obtenida y curva generalizada.....	114
4.4.	Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)	115
4.4.1.	Frecuencia vs presión de vacío.....	115
4.4.2.	Regresión lineal de datos.....	117
4.4.3.	Ecuación obtenida y curva generalizada.....	118
4.4.4.	Revoluciones vs presión de vacío	119
4.4.5.	Regresión lineal de datos.....	120
4.4.6.	Ecuación obtenida y curva generalizada.....	121
4.5.	Modelación matemática de la curva de funcionamiento del sensor de captación del perfil de ignición PIP por series de Fourier.....	122
4.5.1.	Descomposición del período correspondiente a un cilindro	122
4.5.2.	Aplicación de la serie trigonométrica de Fourier.....	123
4.5.3.	Ecuación obtenida y representación gráfica.....	126
4.6.	Guías interactivas utilizables mediante ordenadores.....	127
4.6.1.	Pixelmator	127
4.6.2.	Macromedia Flash 8 Professional	128

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO	136
5.1.	Factibilidad de la investigación.....	136
5.1.1.	Recursos materiales.....	136
5.1.2.	Talento humano.....	137
5.1.3.	Recursos financieros.....	137
5.1.4.	Recursos tecnológicos.....	140
5.2.	Título de la propuesta.....	141
5.2.1.	Estructura de la propuesta.....	142
5.2.2.	Desarrollo de la propuesta.....	142
5.2.3.	Influencia socioeconómica de la propuesta.....	142
	CONCLUSIONES	144
	RECOMENDACIONES	148
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
	ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variable independiente: parámetros de información de diagnóstico y comportamiento del sistema de control electrónico multipunto	7
Tabla 2.	Variable dependiente: obtención de funciones matemáticas que representen una correcta operatividad de los componentes del sistema de control electrónico Ford EFI	8
Tabla 3.	Metodología, instrumentación y laboratorios.....	12
Tabla 4.	Estandarizaciones protocolos de los sistemas OBD-II.....	21
Tabla 5.	Distribución de pines en el conector DLC de 16 pines.....	24
Tabla 6.	Modos de operación de los PID	26
Tabla 7.	Valores de los PID's primarios	28
Tabla 8.	Valores de los PID's secundarios.....	31
Tabla 9.	Condiciones de trabajo del sensor TPS	39
Tabla 10.	Especificaciones técnicas del motor	65
Tabla 11.	Registro de valores del sensor ECT.....	81
Tabla 12.	Registro de valores del sensor ACT.....	82
Tabla 13.	Registro de valores del sensor PIP	84
Tabla 14.	Registro de valores del sensor TPS.....	85
Tabla 15.	Registro de valores del sensor de oxígeno	88
Tabla 16.	Registro de valores del sensor MAP	90

Tabla 17.	Análisis del estado del funcionamiento de los inyectores	91
Tabla 18.	Registro de los valores de los inyectores.....	94
Tabla 19.	Registro de valores de la válvula IAC	95
Tabla 20.	Valores de la resistencia del sensor y temperatura del refrigerante, ECT.....	97
Tabla 21.	Valores calculados, resistencia y temperatura del refrigerante, ECT.....	98
Tabla 22.	Valores de voltaje de señal y temperatura del refrigerante, ECT	101
Tabla 23.	Valores calculados, voltaje de señal y temperatura del refrigerante, ECT.....	102
Tabla 24.	Valores de voltaje de señal y resistencia RAB del sensor TPS	104
Tabla 25.	Valores calculados, voltaje de señal y resistencia del sensor RAB, TPS.....	105
Tabla 26.	Valores de voltaje de señal y resistencia RBC del sensor TPS	108
Tabla 27.	Valores calculados, voltaje de señal y resistencia del sensor RBC, TPS	109
Tabla 28.	Valores de voltaje de señal y tiempo del sensor de oxígeno ...	111
Tabla 29.	Valores calculados, voltaje de señal y tiempo, O2.....	112
Tabla 30.	Valores calculados, voltaje de señal y tiempo, O2.....	113

Tabla 31.	Valores de frecuencia y presión de vacío del sensor MAP	115
Tabla 32.	Valores calculados, frecuencia y presión de vacío, MAP	116
Tabla 33.	Valores de revoluciones y presión de vacío del sensor MAP...	119
Tabla 34.	Valores calculados, revoluciones y presión de vacío, MAP	120
Tabla 35.	Valores reconocidos en el oscilograma del sensor PIP	123
Tabla 36.	Recursos materiales	136
Tabla 37.	Talento humano	137
Tabla 38.	Componentes del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI	137
Tabla 39.	Materiales e insumos necesarios para la instalación del sistema de control electrónico y la puesta a punto del motor Ford.....	138
Tabla 40.	Software utilizado en el proyecto de investigación.....	141
Tabla 41.	Equipo de diagnóstico automotriz utilizado en el proyecto de investigación	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Árbol de planteamiento de los problemas.....	3
Figura 2.	Diseño de la investigación	9
Figura 3.	Conector ALDL OBD-I	22
Figura 4.	Conector DLC OBD-II	23
Figura 5.	Sensor de temperatura del líquido refrigerante ECT.....	32
Figura 6.	Simulación del circuito del sensor ECT.....	33
Figura 7.	Sensor de temperatura de carga de aire ACT	34
Figura 8.	Simulación del circuito del sensor ACT.....	35
Figura 9.	Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión MAP	37
Figura 10.	Simulación del circuito del sensor MAP	37
Figura 11.	Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS.....	38
Figura 12.	Simulación del circuito del sensor TPS.....	39
Figura 13.	Sensor de captación del perfil de ignición PIP	40
Figura 14.	Simulación del circuito del sensor PIP	41
Figura 15.	Sensor de oxígeno.....	42
Figura 16.	Simulación del circuito del sensor de oxígeno	43
Figura 17.	Unidad de control electrónico ECU del motor Ford EFI	44
Figura 18.	Inyector a gasolina y sus partes	46
Figura 19.	Simulación del circuito de un inyector.....	47
Figura 20.	Válvula de control de aire en ralentí IAC.....	48

Figura 21.	Simulación del circuito de la válvula IAC	48
Figura 22.	Válvula de recirculación de gases de escape EGR	49
Figura 23.	Válvula del sistema de emisión de gases- cánister.....	50
Figura 24.	Bomba eléctrica de combustible	51
Figura 25.	Regulador de presión de combustible.....	52
Figura 26.	Distribuidor electrónico	53
Figura 27.	Ordenada al origen “y” y pendiente de una recta.....	55
Figura 28.	Método de mínimos cuadrados en la regresión lineal.....	56
Figura 29.	Curva de ajuste en la regresión exponencial	59
Figura 30.	Curva de ajuste de la regresión polinomial	60
Figura 31.	Función de onda cuadrada	62
Figura 32.	Motor Ford 2.9L	67
Figura 33.	Sensor ECT del motor Ford	67
Figura 34.	Sensor ACT del motor Ford	68
Figura 35.	Sensor TPS del motor Ford	68
Figura 36.	Sensor PIP del motor Ford	69
Figura 37.	Sensor de oxígeno del motor Ford.....	69
Figura 38.	Válvula IAC del motor Ford.....	70
Figura 39.	Bomba eléctrica de combustible del motor Ford	70
Figura 40.	Bobina de encendido y distribuidor del motor Ford.....	71
Figura 41.	Inyector del motor Ford.....	71

Figura 42.	Recirculación de gases de escape EGR.....	72
Figura 43.	Conexión de encendido	72
Figura 44.	Diagrama del sistema de control de inyección electrónica	73
Figura 45.	Multímetro automotriz	76
Figura 46.	Escáner automotriz Master Launch X-431	77
Figura 47.	Osciloscopio en el escáner Carman Scan VG64	78
Figura 48.	Oscilograma del sensor PIP	83
Figura 49.	Resistencias del sensor TPS	85
Figura 50.	Oscilograma del sensor TPS	86
Figura 51.	Curva de transferencia sensor de oxígeno	87
Figura 52.	Oscilograma del sensor de oxígeno.....	87
Figura 53.	Puntos en la curva de transferencia del sensor de oxígeno	88
Figura 54.	Oscilograma del sensor MAP	90
Figura 55.	Orden de encendido del motor Ford	91
Figura 56.	Oscilograma del inyector del cilindro #1	92
Figura 57.	Oscilograma del inyector del cilindro #2	92
Figura 58.	Oscilograma del inyector del cilindro #3	92
Figura 59.	Oscilograma del inyector del cilindro #4	93
Figura 60.	Oscilograma del inyector del cilindro #5	93
Figura 61.	Oscilograma del inyector del cilindro #6	93
Figura 62.	Oscilograma de la válvula IAC	96

Figura 63.	Diagrama de dispersión resistencia vs temperatura, ECT	98
Figura 64.	Curva de funcionamiento resistencia vs temperatura, ECT	100
Figura 65.	Diagrama de dispersión resistencia vs temperatura, ECT	101
Figura 66.	Curva de funcionamiento voltaje de señal vs temperatura, ECT.....	104
Figura 67.	Diagrama de dispersión voltaje de señal vs resistencia RAB, TPS.....	105
Figura 68.	Curva de funcionamiento voltaje de señal vs resistencia RAB, TPS.....	107
Figura 69.	Diagrama de dispersión voltaje de señal vs resistencia del sensor RBC, TPS.....	108
Figura 70.	Curva de funcionamiento voltaje de señal vs resistencia RBC, TPS.....	111
Figura 71.	Diagrama de dispersión voltaje de señal vs tiempo, O2	112
Figura 72.	Curva de funcionamiento voltaje de señal vs tiempo	115
Figura 73.	Diagrama de dispersión frecuencia vs presión de vacío, MAP	116
Figura 74.	Curva de funcionamiento frecuencia vs presión de vacío, MAP	118
Figura 75.	Diagrama de dispersión revoluciones vs presión de vacío, MAP	119
Figura 76.	Curva de funcionamiento revoluciones vs presión de vacío, MAP	122

Figura 77.	Reconocimiento del período de uno de los 6 cilindros.....	122
Figura 78.	Curva de funcionamiento sensor PIP.....	126
Figura 79.	Diseño de plantillas en Pixelmator.....	127
Figura 80.	Pantalla de inicio de la guía interactiva.....	129
Figura 81.	Pantalla de resumen de la guía interactiva.....	129
Figura 82.	Pantalla menú principal de la guía interactiva.....	130
Figura 83.	Pantalla de navegación de uno de los sensores.....	130
Figura 84.	Pantalla de navegación de PID's.....	131
Figura 85.	Pantalla de navegación de regresión.....	132
Figura 86.	Pantalla de navegación de series de Fourier.....	132
Figura 87.	Pantalla de navegación de Ford Bronco II.....	133
Figura 88.	Pantalla de navegación de créditos.....	133
Figura 89.	Botón de zoom para ampliación de imágenes.....	134
Figura 90.	Programación de uno de los botones en flash.....	134

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Ecuación de relación entre la variable de respuesta y la variable predictiva de la regresión lineal	54
Ecuación 2.	Fórmula de la recta del mejor ajuste por el método de mínimos cuadrados.....	55
Ecuación 3.	Estimador de mínimos cuadrados β	56
Ecuación 4.	Estimador de mínimos cuadrados α	57
Ecuación 5.	Media aritmética de “y”, método de mínimos cuadrados.....	57
Ecuación 6.	Media aritmética de “x”, método de mínimos cuadrados.....	57
Ecuación 7.	Fórmula de la cantidad S_{xy} en el método de los mínimos cuadrados de la regresión lineal	57
Ecuación 8.	Fórmula de la cantidad S_{xx} en el método de los mínimos cuadrados de la regresión lineal	57
Ecuación 9.	Ecuación de predicción de la regresión exponencial.....	58
Ecuación 10.	Logaritmos aplicados a la ecuación de predicción de regresión lineal.....	58
Ecuación 11.	Ecuación del método de mínimos cuadrados de la regresión exponencial.....	58
Ecuación 12.	Ecuación del método de mínimos cuadrados de la regresión exponencial.....	59
Ecuación 13.	Ecuación del método de mínimos cuadrados de la regresión polinomial.....	60

Ecuación 14.	Ecuación del método de mínimos cuadrados de la regresión polinomial.....	60
Ecuación 15.	Ecuación del método de mínimos cuadrados de la regresión polinomial.....	60
Ecuación 16.	Ecuación del método de mínimos cuadrados de la regresión polinomial	60
Ecuación 17.	Relación de periodicidad	61
Ecuación 18.	Ecuación de las series trigonométricas de Fourier.....	62
Ecuación 19.	Ecuación de las series trigonométricas de Fourier expresada en términos generales	62
Ecuación 20.	Frecuencia fundamental de las series de Fourier.....	63
Ecuación 21.	Número de armónicos de las series de Fourier.....	63
Ecuación 22.	Coeficiente a_0 de las series trigonométricas de Fourier.....	63
Ecuación 23.	Coeficiente a_n de las series trigonométricas de Fourier.....	63
Ecuación 24.	Coeficiente b_n de las series trigonométricas de Fourier.....	63
Ecuación 25.	Ecuación de período	83
Ecuación 26.	Ecuación de período con número de cilindros	83
Ecuación 27.	Relación de ciclo de trabajo (CT)	94

RESUMEN

En el trabajo de titulación se detalla la modelación para la obtención de funciones matemáticas y sus correspondientes curvas que representan el funcionamiento óptimo del sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI. Para ello se realizó la instalación total del sistema de control electrónico, el cual opera en conjunto con 6 tipos de sensores, y 3 actuadores comandados por la unidad de control electrónico ECU, además se efectuó la puesta a punto del motor, trabajando el motor en buenas condiciones, se procedió con la tabulación de los parámetros de información de diagnóstico PID's de los componentes del sistema de control electrónico a diferentes condiciones de operación del motor, es decir a diferentes regímenes de giro del mismo o tiempos de operación, se logró mediante el uso de diversos equipos de diagnóstico automotriz. Los datos del sistema de control electrónico recopilados se sometieron a diferentes procesos matemáticos, algunos a regresión y otros a las series de Fourier, concluido cada uno de estos modelos matemáticos propuestos, se obtuvo en cada uno de ellos una función matemática que al graficarla mediante software representa el funcionamiento teórico digitalizado de los componentes del sistema de control de inyección electrónica. Por último, se desarrollaron guías interactivas en las cuales se describe de manera detallada la obtención de los PID's y el empleo de los modelos matemáticos en ellos, de una manera generalizada, que sea utilizable en cualquier sistema de control electrónico que posea componentes similares.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMÓVILES - INYECCIÓN ELECTRÓNICA MULTIPUNTO**
- **SENSORES AUTOMOTRICES**
- **AUTOMÓVILES - MODELOS MATEMÁTICOS**

ABSTRACT

In the titration work it is detailed the modeling for obtaining mathematical functions and their corresponding curves representing the optimal performance of the Ford EFI electronic multipoint injection control system. For this, the electronic control system was installed in total, which operates in conjunction with 6 types of sensors, and 3 actuators commanded by the ECU electronic control unit. In addition, the engine was set up by working the engine in Good conditions, we proceeded with the tabulation of the PID diagnostic information parameters of the components of the electronic control system to different operating conditions of the engine, ie at different speeds of the same or operating times, was achieved by the Use of various automotive diagnostic equipment. The data of the collected electronic control system were submitted to different mathematical processes, some to regression and others to the series of Fourier, after completing each of these proposed mathematical models, in each one of them was obtained a mathematical function that when graphing it through software Represents the theoretical digitized operation of the components of the electronic injection control system. Finally, interactive guides were developed in which the PIDs are described in detail and the mathematical models are used in them in a generalized way that is usable in any electronic control system that has similar components. way that is usable in any electronic control system that has similar components.

KEY WORDS:

- **AUTOMOBILE – MULTI-POINT ELECTRONIC INJECTION**
- **AUTOMOTIVE SENSORS**
- **AUTOMOBILE - MATHEMATICAL MODELS**

CAPÍTULO I

1. Metodología de la investigación

1.1. Introducción

Este capítulo detalla la distinción de los antecedentes y el problema de la investigación, empezando por un análisis de su justificación e importancia, todos estos originaron el planteamiento de diversos objetivos que se fueron desarrollando paulatinamente a lo largo de la investigación, para llegar a una fructífera modelación matemática y una acertada obtención de las curvas que representan el funcionamiento óptimo del sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI.

1.2. Antecedentes

El origen de la inyección electrónica de combustible ha impulsado día a día a mejorar los parámetros característicos del automóvil, esto ha obligado a que su electrónica se vaya actualizando cada vez más, siendo preciso incorporar cada vez un mayor número de sensores, estos con la finalidad de influir en el proceso de alimentación y escape, ajustando de forma automática la cantidad de mezcla inyectada y estableciéndose así siempre dentro de las normas de contaminación permitidas.

Sea cual sea el tipo de inyección, esta basa su existencia en el empleo de la electrónica para la dosificación del carburante, reducción de agentes nocivos para el medio ambiente y la optimización de consumo de combustible.

Como lo menciona [Bosch, Catálogo Engine Management , 2015]: los sensores son componentes que están instalados en varios puntos del motor y sirven para enviar informaciones a la unidad de mando (señales de entrada). Los actuadores son componentes que reciben informaciones de la unidad de

mando y actúan en el sistema de inyección, variando el volumen de combustible que el motor recibe, corrigiendo el punto de encendido, ralentí. p. 1

(García G. , 2016), afirma en su redacción que: los sensores básicos dentro de la inyección electrónica son: CKP- sensor de posición del cigüeñal, MAP- sensor de presión absoluta, MAF- sensor de flujo de masa de aire, ECT- sensor de temperatura del refrigerante y TPS- sensor de posición de aceleración. También se encuentran los actuadores, entre ellos: inyectores, bomba de combustible, IAC- válvula de control de aire de entrada, EGR- válvula de recirculación de gases escape.

Los PID's son según (Rodríguez, 2014) son "códigos utilizados para solicitar datos de un vehículo, se utiliza como herramienta de diagnóstico que tradicionalmente se ha reservado a los técnicos automotrices que los usan como una herramienta de análisis mediante al conector OBD-II del vehículo".

Con la intención de mejorar los parámetros característicos del vehículo es de vital importancia realizar un análisis a fondo de los parámetros de información de diagnóstico generados por los sensores del motor y a la vez establecer un modelo matemático para graficar las curvas del comportamiento ideal de los sensores inmersos en la inyección electrónica.

1.3. Planteamiento del problema

El propósito del empleo de sensores en la electrónica del vehículo es el de interpretar magnitudes físicas y químicas, mismas que serán transmitidas como datos hacia el computador y este a su vez comandará de acuerdo al procesamiento de dichos datos, los actuadores del sistema.

El buen estado de los sensores se traduce en una dosificación de combustible ideal, con la cual se aprovecha al máximo las prestaciones del motor de combustión interna.

Los sensores del vehículo emplean parámetros de información, también conocidos por PID's, para el análisis de su correcto funcionamiento. Estos parámetros ayudan a establecer relaciones comparativas en base a distintas magnitudes lo que ayuda a crear curvas usando uno o más PID's.

Siempre hay la posibilidad de dar un diagnóstico errado sobre una buena operatividad de los sensores y actuadores del vehículo, lo que genera diversas confusiones y pérdidas no solo de tiempo sino económicas, esto se debe a una mala interpretación por valores incomprensibles sobre los parámetros de información de los componentes del sistema de control electrónico del motor, entonces de vital necesidad la determinación de curvas que sirvan como base para la verificación de su estado de operación.

Por estas razones el problema a investigar es: "La influencia de los parámetros de información de diagnóstico en la valoración del estado del sistema de control electrónico Ford EFI".

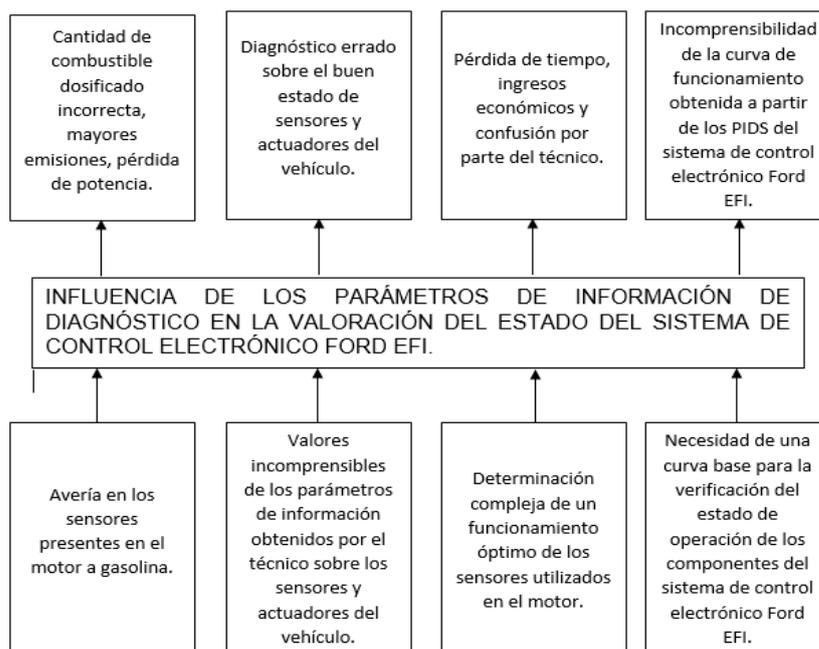


Figura 1. Árbol de planteamiento de los problemas

1.4. Descripción resumida del proyecto

En la investigación se realizó en primera instancia la recopilación de información clave, que sea de fuentes confiables, además de publicaciones científicas y sitios web.

Se efectuó luego la puesta a punto del motor, que comprendió la instalación tanto de partes indispensables en el funcionamiento mecánico del motor, así como todo lo concerniente al sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI.

Posteriormente se realizó un protocolo de pruebas para efectuar las mediciones de los parámetros de información de diagnóstico del sistema de control electrónico a distintas condiciones de operación del motor, mediante el uso de instrumentos tales como escáner, osciloscopio y multímetro.

Con los datos recopilados se realizó modelamiento para la obtención de funciones matemáticas que representan el desempeño de los sensores del sistema de control electrónico, para lograrlo se hizo uso de distintos tipos de regresiones entre ellas: regresión lineal, regresión exponencial y regresión polinómica, además de series de Fourier, según fue el caso.

Las curvas de las funciones obtenidas fueron representadas en Graph y en Wolfram Mathematica, estas dan una perspectiva digitalizada más clara de la correcta operatividad de los sensores.

Luego, se generó guías de práctica interactivas en Macromedia Flash 8 Professional que muestran al alumno detalladamente paso por paso el proceso de obtención de los parámetros de diagnóstico de sensores y actuadores del sistema de control electrónico Ford EFI, en conjunto con el modelo matemático de cálculo de funciones de las curvas que representan el funcionamiento de los sensores.

1.5. Justificación e importancia

Desde el empleo de la inyección electrónica como medio de control para la dosificación de combustible se han ido implementando en el sistema electrónico del motor cada vez una mayor cantidad de sensores, con la finalidad de realizar una inyección de combustible óptima que sea equivalente a un rendimiento eficaz del motor, su consumo y sus emisiones permitidas.

El proyecto se justifica en el hecho de realizar los cálculos matemáticos correspondientes para formar curvas generalizadas que representen un óptimo funcionamiento de los sensores, en base a distintas relaciones entre los parámetros de información de diagnóstico tomados a diferentes condiciones de operación del motor, además de funciones matemáticas que lo representen.

Otra de las razones de vital importancia del proyecto es generar información relevante de los parámetros de información de diagnóstico haciendo uso de modelos matemáticos establecidos de acuerdo al tema de regresión, y las series de Fourier, lo cual conllevará a la obtención de líneas de tendencia con sus respectivas ecuaciones, estas a su vez darán un aspecto más evidente del funcionamiento ideal del sistema de control electrónico Ford EFI.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

- Investigar los parámetros de información de diagnóstico y comportamiento del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI.

1.6.2. Objetivos específicos

- Obtener información bibliográfica referente al tema en fuentes seguras y confiables.

- Realizar la instalación total y puesta a punto del sistema de control electrónico Ford EFI.
- Elaborar protocolos de pruebas para la obtención de los parámetros de información de diagnóstico, a distintas condiciones de operación, referentes al sistema de control electrónico Ford EFI.
- Efectuar un análisis matemático de los parámetros de información de diagnóstico adquiridos, para la obtención de curvas y sus ecuaciones que representen el funcionamiento correcto de los sensores del sistema.
- Desarrollar guías interactivas utilizables mediante ordenadores, en las que se describa de manera minuciosa cada paso en el proceso de toma de parámetros de información de diagnóstico y el modelo matemático de cálculo de las funciones que representen la correcta operatividad de los sensores del sistema de control de inyección electrónica multipunto.

1.7. Metas del proyecto

- Obtener un protocolo de pruebas confiable para el análisis de los parámetros de información de diagnóstico del sistema de control electrónico Ford EFI.
- Establecer parámetros de operatividad óptima de componentes de la inyección electrónica multipunto representada mediante curvas y sus funciones a partir del empleo de parámetros de información de diagnóstico.
- Generar guías interactivas de entrenamiento del sistema de control de inyección electrónica, en las que se indique la obtención de PID's del

sistema de control electrónico además de su análisis para la obtención de curvas que representen el desempeño de sus sensores.

1.8. Hipótesis

¿El empleo de parámetros de información de diagnóstico y comportamiento del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI para obtener funciones matemáticas que representen una correcta operatividad de sus componentes, contribuye a un diagnóstico óptimo del estado de sus componentes?

1.9. Variables de la investigación

Tabla 1

Variable independiente: parámetros de información de diagnóstico y comportamiento del sistema de control electrónico multipunto

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Los parámetros de información de diagnóstico PID's, son códigos en base a distintas magnitudes que se utilizan para establecer relaciones comparativas	Parámetros de información de diagnóstico	Temperatura del refrigerante	V °C	Medición	Protocolo de pruebas
		Temperatura del aire en la admisión	V °C	Medición	Protocolo de pruebas
		Velocidad	RPM	Medición	Protocolo de pruebas
		Posición de la mariposa de aceleración	V %	Medición	Protocolo de pruebas

CONTINÚA



con el fin de entender la correcta operatividad del sistema de control electrónico de un automóvil.

Posición de la válvula de control de velocidad de ralentí- IAC	V %	Medición	Protocolo de pruebas
Mezcla de combustible	V	Medición	Protocolo de pruebas
Presión absoluta del múltiple	V mmHg	Medición	Protocolo de pruebas
Flujo másico de aire	V g/seg	Medición	Protocolo de pruebas
Ancho de pulso de encendido	ms	Medición	Protocolo de pruebas
Porcentaje de tiempo para el control de flujo al EGR	%	Medición	Protocolo de pruebas
Caudal	m3/seg	Medición	Protocolo de pruebas

Tabla 2

Variable dependiente: obtención de funciones matemáticas que representen una correcta operatividad de los componentes del sistema de control electrónico Ford EFI

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
La regresión es el proceso estadístico por el cual se puede establecer	Regresión lineal	Regresión lineal	Voltaje (V)	Cálculo	Métodos matemáticos
			Presión (mmHg)		
			Revoluciones (RPM)		
			Resistencia (Ω)		
			Apertura de la mariposa ($^{\circ}$)		

CONTINÚA



relaciones entre una variable dependiente y una o más variables independientes	Regresión no lineal	Regresión exponencial	Voltaje (V) Temperatura (°C) Resistencia (Ω)	Cálculo	Métodos matemáticos
		Regresión polinómica	Voltaje (V) Tiempo (s)	Cálculo	Métodos matemáticos
Las series de Fourier son un método matemático usado para estudiar funciones de carácter periódico, mediante la representación de las mismas por una suma infinita de funciones sinusoidales	Series de Fourier	Serie trigonométrica de Fourier	Voltaje (V) Tiempo (s)	Cálculo	Métodos matemáticos

1.10. Metodología de desarrollo del proyecto

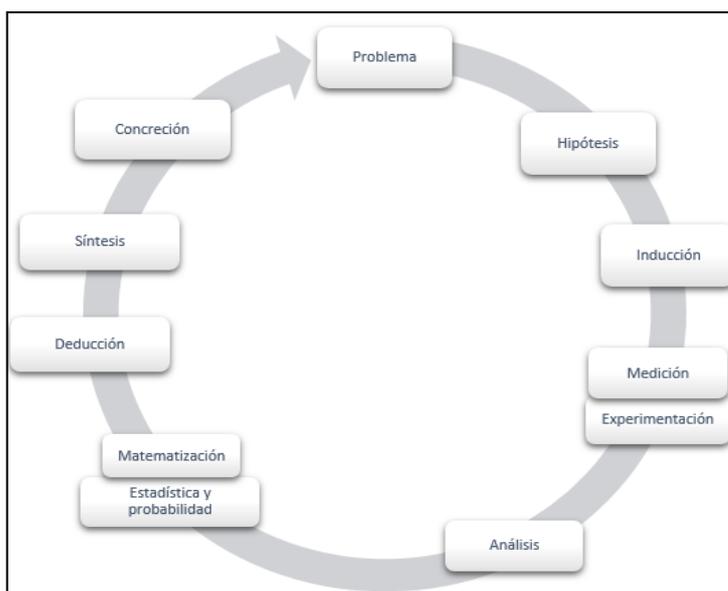


Figura 2. Diseño de la investigación

1.10.1. Método inductivo

La investigación se desarrolló a partir de los parámetros de información de diagnóstico obtenidos del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI de un banco de pruebas, por lo tanto, se consigue ampliar los resultados y método de matematización para todos los vehículos de inyección electrónica que dispongan de los mismos componentes que fueron objeto del análisis matemático realizado en la investigación.

1.10.2. Método deductivo

El diagnóstico del sistema de control electrónico del vehículo se enfoca principalmente en el análisis de los parámetros de información de diagnóstico que este muestra, esta investigación es deductiva debido a que dicho análisis se realizó con la intención de construir curvas que se enfoquen en el funcionamiento idóneo del sistema, así se pudo determinar el estado de los componentes mediante la curva resultante del proceso.

1.10.3. Método analítico

Según la veracidad y buen estado de la información por parte de los sensores del vehículo hacia el módulo de control electrónico se realiza una correcta dosificación de la cantidad de combustible inyectada, la investigación fue analítica porque se obtuvo los parámetros de información de diagnóstico necesarios, mismos que fueron analizados y clasificados a conveniencia para su posterior empleo en relaciones y cálculos matemáticos necesarios para la obtención de las curvas.

1.10.4. Método de síntesis

Al utilizar este método, y mediante las funciones de las curvas del funcionamiento idóneo de los componentes de la inyección electrónica multipunto Ford EFI, se logró dar una generalización acerca no sólo del

proceso estadístico y matemático de cálculo para la obtención de dichas curvas para todos los sistemas que dispongan de componentes similares en su sistema electrónico, sino también de una idea más concreta de su funcionamiento impecable.

1.10.5. Método experimental

En la obtención de los parámetros de información de diagnóstico se midió, manipuló y controló a distintas condiciones de operación del motor, mediante instrumentos de diagnóstico para posteriormente relacionarlas y realizar el análisis de curvas y sus ecuaciones.

1.10.6. Método de medición

Fue de medición en el aspecto de toma de las variables, refiriéndose a los parámetros de identificación de diagnóstico de los sensores y actuadores del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI, mediante el empleo de un protocolo de pruebas y de varios instrumentos de medición tales como, un escáner automotriz, un osciloscopio y un multímetro, herramientas necesarias y existentes en el laboratorio de Autotrónica, con el provechoso uso de sus magnitudes y escalas apropiadas.

1.10.7. Método de matematización

Los parámetros de información de diagnóstico que se obtuvieron, se emplearon en un modelo matemático de regresión en algunos casos y en series de Fourier en otros, para la formación de una curva de tendencia con su respectiva ecuación, misma que ejemplifica el funcionamiento ideal del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI.

1.10.8. Método estadístico y de probabilidades

La determinación de la condición favorable de los componentes del sistema de control electrónico se hizo de forma un tanto inexacta, casi imperceptible, debido a que la curva de tendencia se obtuvo a partir de un método estadístico, la regresión, en el que se busca la curva que mejor se ajuste a un conjunto de datos, en este caso los parámetros de información de diagnóstico, y que sirvió para un fin netamente comparativo.

1.10.9. Método de la concreción

La investigación fue de concreción ya que al final se realizó guías interactivas en las que se unificó todo el proceso para la toma de parámetros de información de diagnóstico y modelamiento de los mismos de una forma generalizada, utilizable en cualquier sistema de control electrónico que disponga de componentes similares en su estructura.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios

Táctica/Método	Descripción	Instrumento/Equipo	Laboratorio
Método inductivo	La investigación se desarrolló a partir de los parámetros de información de diagnóstico obtenidos del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI de un banco de pruebas, por lo tanto, se consigue ampliar los resultados y método de matematización para todos los vehículos de inyección electrónica que dispongan de los mismos componentes que fueron objeto del análisis matemático realizado en la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Escáner automotriz Master Launch X-431 • Multímetro • Osciloscopio Carman Scan VG 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de Mecánica de Patio Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Método deductivo	El diagnóstico del sistema de control electrónico del vehículo se enfoca	Ordenador	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica

CONTINÚA



	<p>principalmente en el análisis de los parámetros de información de diagnóstico que esta muestra, esta investigación es deductiva debido a que dicho análisis se realizó con la intención de construir curvas que se enfoquen en el funcionamiento idóneo del sistema, así se pudo determinar el estado de los componentes mediante la curva resultante del proceso.</p>	<p>Software empleado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excel 2016 • GRAPH • Wolfram Mathematica 10 	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>
Método analítico	<p>Según la veracidad y buen estado de la información por parte de los sensores del vehículo hacia el módulo de control electrónico se realiza una correcta dosificación de la cantidad de combustible inyectada, la investigación fue analítica porque se obtuvo los parámetros de información de diagnóstico necesarios, mismos que fueron analizados y clasificados a conveniencia para su posterior empleo en relaciones y cálculos matemáticos necesarios para la obtención de las curvas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escáner automotriz Master Launch X-431 • Multímetro • Osciloscopio Carman Scan VG 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>
Método de síntesis	<p>Al utilizar este método, y mediante las funciones de las curvas del funcionamiento idóneo de los componentes de la inyección electrónica multipunto Ford EFI, se logró dar una generalización acerca no sólo del proceso estadístico y matemático de cálculo para la obtención de dichas curvas para todos los sistemas que dispongan de componentes similares en su sistema electrónico, sino también de una idea más concreta de su funcionamiento impecable.</p>	<p>Calculadora científica</p> <p>Ordenador</p> <p>Software empleado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excel 2016 • GRAPH • Wolfram Mathematica 10 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>



Método experimental	La obtención de los parámetros de información de diagnóstico se midió, manipuló y controló a distintas condiciones de operación del motor, mediante instrumentos de diagnóstico para posteriormente relacionarlas y realizar el análisis de curvas y sus ecuaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Escáner automotriz Master Launch X-431 • Multímetro • Osciloscopio Carman Scan VG 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de Mecánica de Patio <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>
Método de medición	Fue de medición en el aspecto de toma de las variables, refiriéndose a los parámetros de identificación de diagnóstico de los sensores y actuadores del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI, mediante el empleo de un protocolo de pruebas y de varios instrumentos de medición tales como, un escáner automotriz, un osciloscopio y un multímetro, herramientas necesarias y existentes en el laboratorio de Autotrónica, con el provechoso uso de sus magnitudes y escalas apropiadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Escáner automotriz Master Launch X-431 • Multímetro • Osciloscopio Carman Scan VG 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de Mecánica de Patio <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>
Método de matematización	Los parámetros de información de diagnóstico que se obtuvieron, se emplearon en un modelo matemático de regresión en algunos casos y en series de Fourier en otros, para la formación de una curva de tendencia con su respectiva ecuación, misma que ejemplifica el funcionamiento ideal del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI.	<p>Calculadora científica</p> <p>Ordenador</p> <p>Software empleado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excel 2016 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>
Método estadístico y de probabilidades	La determinación de la condición favorable de los componentes del sistema de control electrónico se hizo de forma un tanto	Calculadora científica	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica <p>Universidad de las Fuerzas Armadas</p>



	<p>inexacta, casi imperceptible, debido a que la curva de tendencia se obtuvo a partir de un método estadístico, la regresión, en el que se busca la curva que mejor se ajuste a un conjunto de datos, en este caso los parámetros de información de diagnóstico, y que sirvió para un fin netamente comparativo.</p>	<p>Ordenador</p> <p>Software empleado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excel 2016 • GRAPH • Wolfram Mathematica 10 	<p>ESPE Extensión Latacunga.</p>
<p>Método de la concreción</p>	<p>La investigación fue de concreción ya que al final se realizó guías interactivas en las que se unificó todo el proceso para la toma de parámetros de información de diagnóstico y modelamiento de los mismos de una forma generalizada, utilizable en cualquier sistema de control electrónico que disponga de componentes similares en su estructura.</p>	<p>Ordenador</p> <p>Software empleado</p> <ul style="list-style-type: none"> • GRAPH • Wolfram Mathematica 10 • Pixelmator • Macromedia Flash 8 Professional 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>

Conclusiones del capítulo

- Una vez que se definió con claridad los antecedentes y problema de investigación, se desarrolló los demás puntos fundamentales como objetivos, metas y el desarrollo principal del proyecto.
- Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se utilizó diversos aspectos de la metodología de la investigación con el afán de ir aplicando cada uno de ellos a cada proceso que se cumple a lo largo de la investigación.
- Se precisa una prudente utilidad de realizar la presente investigación porque se establece una justificación de cada una de sus partes tratadas a lo largo de su desarrollo.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Inyección electrónica a gasolina

La inyección electrónica aparece y reemplaza a los sistemas de alimentación a carburador, este tipo de sistema busca reducir las emisiones de gases contaminantes producto de la combustión, así también reducir el consumo de combustible y mejorar la potencia de los motores a gasolina. Mendoza (2010) afirma que “la razón de la inclusión de la electrónica en este campo es para optimizar al máximo la energía que se genera en la explosión de la gasolina. Esto se consigue ajustando la relación estequiométrica (...). esta mezcla debe ser 14.7:1” p. 6

2.2. OBD-I (On Board Diagnostics)

El incremento del parque automotor trajo consigo el desarrollo industrial, pero a la vez incrementó la producción de gases contaminantes los cuales en la década de los 70 y principio de los 80 se clasificaron como nocivos para la salud de las personas. (García M. , 2013) menciona que: el OBD-I es un diagnóstico que en su momento fue obligatorio por parte del gobierno de los Estados Unidos, y muy especialmente por el gobierno de California que es el más estricto en el tema de emisiones, el sistema fue considerado como una gran ayuda en cuanto al diagnóstico, y es considerado como el pionero en la regulación de gases contaminantes. p. 5

(Ortiz, 2014) expresa que “Environmental Protection Agency (EPA) desarrolló regulaciones según las cuales todos los automóviles producidos en 1975 tuvieran 90 por ciento menos de emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono en comparación con los modelos producidos en 1970” p. 2.

De esta manera nace el primer diagnóstico a bordo (OBD), en su investigación (Rizzoni, Yong- Wha, & Ahmed, Estimation problems in engine control and diagnosis, 2000) sostienen que : un defecto en el sistema de control del motor afectaría significativamente los niveles generales de emisión del tubo de escape. La detección temprana y la advertencia de tales defectos permitirían la reparación oportuna de la parte defectuosa, de manera que el nivel de emisión pueda mantenerse dentro de niveles aceptables. Para ello, se ha introducido el denominado protocolo de diagnóstico a bordo (OBD) como parte del sistema de control del motor.

A continuación, se enumeran las funciones que lleva a cabo el sistema OBD:

- Detección de fallos de encendido
- Monitorización del convertidor catalítico
- Estimación evaporativa del depósito de purga de combustible
- Monitoreo del sistema de aire secundario
- Monitorización del sistema de combustible
- Comprobación del sistema de recirculación de los gases de escape
- Diagnóstico de todos los componentes relacionados con el sistema de control de emisiones
- Sistema de ventilación del cárter positivo
- Monitorización del termostato de refrigerante. p. 126

Si surge cualquier fallo en el sistema de inyección electrónico y esto ocasiona la generación en exceso de gases de combustión como lo menciona (Villamar, 2008) “el sistema lo detecta, memoriza y visualiza a través del testigo de aviso de gases de escape MIL (Malfunction Indicator Light)” p. 3. De esta manera el sistema OBD informa que existe un problema en el sistema de inyección electrónico y el conductor debe llevar el vehículo al taller.

La implementación de elementos electrónicos en los motores de combustión interna permitió incorporar el diagnóstico a bordo (OBD) y de esta manera (Gómez, 2002) declara que: en el sistema OBD-I los sensores suministran información eléctrica, análogas 8 voltios Max, y digitales 5 voltios Max. El módulo de control ECM, efectúa los cálculos respectivos, tiempo de pulsos, o amplitud del pulso y ciclo de pulso o ciclo de trabajo. El módulo de control suministra una señal de salida siempre digital. p. 64

El principio de funcionamiento del OBD-I como lo afirma (García M. , 2013): se basa en el monitoreo de pase o no pase de emisiones, por lo tanto, no se podía tener la localización y tampoco conocer que elemento era el que estaba generando la falla, para obtener este código sin la utilización de un equipo de diagnóstico, se debía realizar una conexión entre dos pines del DLC y de esta manera se generaba el destello de la luz MIL, para así obtener un código de dos dígitos y finalmente buscar el código en un manual de mantenimiento. p. 4

Según [Electroautomotores, 2010]: Los sistemas que conforman un control electrónico de motor son:

- El sistema de control lógico
- El sistema de control de marcha mínima
- El sistema de alimentación e inyección de combustible
- El sistema de encendido
- El sistema de refrigeración
- El sistema de admisión de aire

Los sistemas de control de emisiones:

- El sistema de ventilación positiva cerrada del cárter

- El sistema de control evaporativo
- El sistema de recirculación parcial de gases de escape
- El sistema de inyección adicional del aire
- El convertidor catalítico

Los sensores básicos de un sistema de inyección electrónica:

- Sensor de temperatura del refrigerante
- Sensor de temperatura de aire (sólo para multipunto)
- Sensor de posición del acelerador
- Sensores de presión absoluta del múltiple MAP
- Sensores de masa y flujo del aire MAF
- Sensores de oxígeno
- Sensor de velocidad del vehículo VSS.

(Morales & Valverde, 2010) expresan que: OBD-I fue la primera regulación de OBD que obligaba a los productores a instalar un sistema de monitoreo de algunos de los componentes controladores de emisiones en automóviles. Esto se volvió obligatorio en todos los vehículos a partir de 1991, los sistemas de OBD-I no eran tan efectivos porque solamente monitoreaban algunos de los componentes relacionados con las emisiones, y no eran calibrados para un nivel específico de emisiones. p. 24

Todas las falencias generadas con el sistema OBD-I permitió dar paso a una versión mejorada la cual unifica la fabricación a un solo modelo de conector DLC y modifica la estructura en la formación de códigos de falla. Esta versión sería conocida posteriormente como OBD-II.

2.3. OBD-II (On Board Diagnostics Second Generation)

El OBD-II mantiene el mismo objetivo que su anterior generación, el cual se centra en tener un monitoreo constante sobre los gases de escape, pero de una manera más precisa y de fácil acceso.

La normativa implantada hacia los sistemas OBD-II como lo menciona (Augeri, Módulo II Inyección Electrónica Avanzada Lección III, 2015): se diseñó en la gestión electrónica de los vehículos un mecanismo que permite ajustar el pulso de inyección para lograr un perfecto ciclado del sensor de oxígeno en todo momento (...). Se trata de que una vez logrado el lazo cerrado en el vehículo el PCM disponga de un ajuste adicional que permita que el ciclado del sensor de oxígeno se presente en un rango de valores óptimos, la finalidad de este procedimiento es que el desgaste normal de los componentes y los cambios de funcionamiento del motor en el tiempo no afecten la relación aire/combustible lógicamente en el momento en que el PCM detecta que luego del ajuste colocado las condiciones no mejoran se generará un código de falla referente al ajuste de combustible. p. 1

En su sitio web referente al análisis de sistemas electrónicos automotrices [GrupoCircuit, 2011], sostiene que: el sistema OBDII está diseñado para controlar las emisiones de los sistemas de control y algunos componentes del motor mediante el test continuo de componentes específicos del vehículo. Cuando se detecta un error, el sistema OBDII enciende el testigo de aviso de avería (MIL) y de esta forma avisar al conductor mediante la frase "Check Engine" o "Service Engine Soon". El sistema almacenará información importante sobre el error detectado de la forma más precisa posible para que el mecánico pueda encontrar la avería y solucionar el problema.

(Cervantes & Espinosa , 2009) explican que: El sistema OBD-II utiliza varios protocolos debido a que existen diversos tipos de computadoras de automóvil, así mismo la interfaz necesita varias condiciones para iniciar la comunicación. Por lo anterior existen varios protocolos con diferentes variantes en cuanto a velocidad y niveles de voltaje. p. 33. En la tabla 4 se muestran algunos de los protocolos de comunicación más importantes.

Tabla 4

Estandarizaciones protocolos de los sistemas OBD-II

Protocolos	Descripción
J1978	Herramienta común escáner
J1962	Conector común, localización similar, conector denominado DLC, ubicado debajo del panel de instrumentos, a 300 mm de los extremos del panel
J1930	Término y abreviaturas comunes
J1979	Modos de diagnóstico comunes
J2012	Códigos de falla y definiciones comunes

Fuente: (Gómez, 2002). p. 68

2.4. Luz MIL (Malfunction Indicator Light)

(Villamar, 2008), define a la luz MIL como “Una luz indicadora de falla de funcionamiento existente en el panel de instrumentos del vehículo que al encenderse significa precaución de revisión de la máquina” p. 79

En su investigación (Rizzoni, Onori, & Rubagotti, Diagnosis and Prognosis of Automovil Systems: motivations, history and some results, 2009) manifiestan que: cualquier componente que afecte directa o indirectamente a las emisiones, debe ser monitoreado. Si se detecta un fallo que podría causar que las emisiones superen el estándar regulado en más del 50%, se debe

encender una Luz Indicadora de Malfuncionamiento (MIL) en el tablero para advertir al operador de que se requiere reparación. p. 193

2.5. Conector ALDL (Assembly Line Diagnostic Link)

(Rueda, 2006) afirma que: “El conector de diagnóstico es una interface por la cual la ECU envía los datos al scanner. A través de éste pueden ser accesados los códigos de falla almacenados en la memoria RAM de la unidad de control electrónico (ECU)” p. 289

(Ortiz, 2014) manifiesta que: The General Motors Company fue el primer fabricante que incorporó el sistema de diagnóstico abordo en el cual se monitoreó los sistemas de inyección con capacidades y ajustes simples. El sistema se denominó ALCL (Assembly Line Communications Link) más conocido como ALDL (Assembly Line Diagnostic Link). El sistema de diagnóstico abordo, ALDL, incluye doce pines, de los cuales se utilizan nueve, la forma y distribución de los pines en el conector. Cada pin tiene una función específica usando un protocolo no estandarizado. p. 3-4

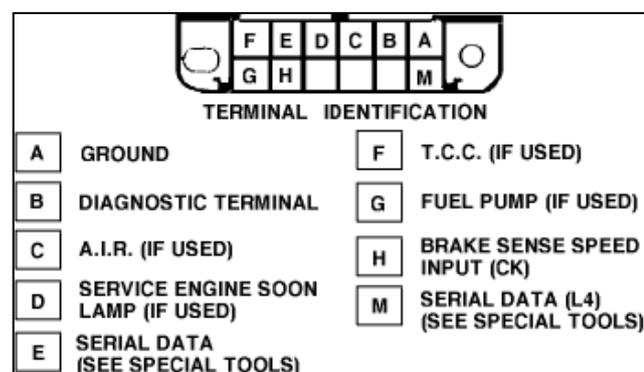


Figura 3. Conector ALDL OBD-I

Fuente: [OBD Codes, s. f.]

El sistema de control de inyección electrónica del motor Ford dispone de un conector de 7 pines, de los cuales se utilizan 4 pines, este fue desarrollado por la misma compañía para los motores producidos en los 80's.

2.6. Conector DLC (Data Link Connector)

(Morales & Valverde, 2010), anuncian que “la EPA estableció una norma que dicta que todos los vehículos que sean vendidos en USA a partir de 1996 deberán contar con un conector trapezoidal de 16 pines para el sistema de auto diagnóstico conocido hoy como OBD-II” p. 25

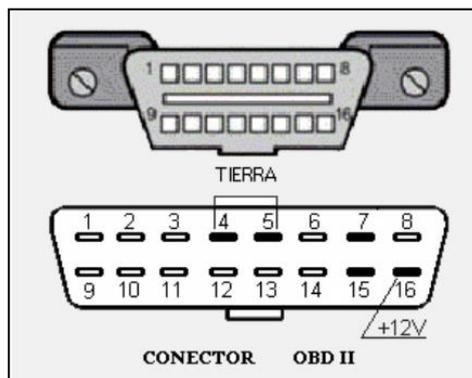


Figura 4. Conector DLC OBD-II

Fuente: (Morales & Valverde, 2010)

Como lo garantiza [AUTEL, 2015]: El DLC (conector de enlace de datos o conector de enlace de diagnóstico) es el conector estandarizado de 16 clavijas que actúa como interfaz entre las herramientas de diagnóstico del escáner y la computadora a bordo del vehículo.

En la mayoría de los vehículos, generalmente el DLC está ubicado a 12 pulgadas del centro del panel de instrumentos (tablero), debajo o cerca del lado del conductor. Si el conector de enlace de datos no está ubicado debajo del tablero, una etiqueta debe indicar su ubicación. En algunos vehículos

asiáticos y europeos, el DLC está ubicado debajo del cenicero, que debe retirarse para tener acceso al conector.

Tabla 5

Distribución de pines en el conector DLC de 16 pines

Terminal	Función
Contacto 2	Bus (+) J1850 VPM y PMW.
Contacto 4	Tierra chasis.
Contacto 5	Señal de tierra
Contacto 6	CAN alto (J-2284)
Contacto 7	Línea K ISO 9141-2 y keyword 2000.
Contacto 10	Bus (-) J1850.
Contacto 14	CAN bajo (J-2284)
Contacto 15	Línea L ISO 9141-2 y keyword 2000.
Contacto 16	Voltaje de batería.

Fuente: (Morales & Valverde, 2010). p. 26

2.7. Parámetros para la generación de códigos de falla

(Jami, 2006) asegura que: el sistema OBD-II monitorea que los vehículos no excedan los estándares permitidos en generación de gases de combustión, mediante el monitoreo del sistema de control de emisiones. Cuando el sistema o componentes se exceden de las tolerancias se almacenará un código de avería (DTC) y se encenderá la luz MIL. La estrategia de detección de falla y la operación de MIL están asociadas con ciclos de viaje y de conducción. p.

2.8. DTC (Diagnostic Trouble Code)

En su escrito (Augeri, Diagnóstico con scanner- OBDII Genérico, 2012), expresa que: el DTC es la información que se guarda en la memoria de almacenamiento activa (RAM) cuando un componente está funcionando de manera incorrecta. Como contramedida al fallo del componente el sistema enciende la luz MIL, por lo general un código de falla aparece luego de dos ciclos de conducción consecutivos. El sistema permite apagar la luz MIL luego de tres ciclos de conducción consecutivos sin que se detecte la falla. El DTC será borrado de la memoria luego de 40 ciclos de arranque y calentamiento de motor después que la luz MIL se haya apagado. p. 1

2.9. Ciclo de conducción

(Augeri, Diagnóstico con scanner- OBDII Genérico, 2012), declara que: un ciclo de conducción es una unidad de medida que utiliza la ECU para poder comprobar el funcionamiento de un componente, es decir la ECU podrá conocer cuantas veces falla un sensor luego que finalice cada ciclo de conducción. El cambio de temperatura que sufre el motor luego de un tiempo determinado de trabajo es lo que se denomina un ciclo de conducción. La información es proporcionada por el sensor ECT y la ECU se encarga de contar los ciclos generados. p.6

2.10. Parámetros de información de diagnóstico PID

[Gauges & Dashboards, 2010], manifiesta que: los códigos-P o OBD-II Pides (ID de parámetro), son códigos utilizados para solicitar datos de un vehículo, utilizados como herramienta de diagnóstico. Estos códigos son parte del estándar SAE J1979. Normalmente, un técnico automotriz usará PID's con una herramienta de exploración conectada al conector OBD-II del vehículo y se procesa cuando la herramienta de análisis solicita al bus de datos del

vehículo información del PID, un dispositivo en el bus reconoce al PID, e informa del valor del mismo al bus, la herramienta de análisis lee la respuesta y la muestra al técnico.

2.10.1. Modos o servicios de los PID

[SAE, 2002], sostiene en su redacción de la norma J1979 que: Existen diez modos de operación de los PID, entre ellos:

Tabla 6

Modos de operación de los PID

Código	Descripción
01	Muestra los parámetros actuales
02	Muestra los datos congelados por evento
03	Muestra los códigos de fallas de diagnóstico (Diagnostic Trouble Codes, DTC)
04	Borra los datos almacenados, incluyendo los códigos de fallas (DTC)
05	Resultados de la prueba de monitoreo de sensores de oxígeno (solo aplica a vehículos sin comunicación Controller Area Network, CAN)
06	Resultados de la prueba de monitoreo de componentes/sistema (resultados de la prueba de monitoreo de sensores de oxígeno en vehículos con comunicación CAN)
07	Muestra los códigos de fallas (DTC) detectados durante el último ciclo de manejo o el actual
08	Operación de control de los componentes/sistema a bordo
09	Solicitud de información del vehículo
0A	Códigos de fallas (DTC) permanentes (borrados)

Fuente: (SAE, 2002)

Para objeto de la presente investigación se requerirá del modo de servicio de PIDS (01) con el fin de obtener los datos necesarios en tiempo real para un eficiente análisis.

Los PID's son datos transferidos desde el módulo de control de potencia del automóvil hacia el escáner mediante una conexión entre ellos gracias al puerto DLC, mediante esta relación es posible al usuario observar los valores de funcionamiento de los distintos componentes del sistema de inyección electrónica.

2.11. PID's primarios

(Augeri, Módulo II Inyección Electrónica Avanzada Lección III, 2015), indica que: estos son algunos de los PID's primarios especificando su definición y sus valores típicos

MAP (Manifold Absolute Pressure = presión absoluta de la admisión)

Marcha lenta 0.5 volts. Sube con RPM 4.8 volts con el acelerador a fondo.

RPM (Revoluciones por minuto del motor)

700 - 900 en marcha lenta. RPM máximas varían según el motor. En condiciones normales de motor son de 4000 RPM máximo.

O211 & O221 (v) (Upstream Oxygen Sensors= sensores de oxígeno anteriores al catalizador)

Cambiando el voltaje DC entre 0 volts y 1 volts con 0.5 volts indicando una mezcla balanceada de combustible. El índice de cambio de los sensores debe seguir a las RPM. Con acelerador a fondo, el voltaje debe ir aproximadamente

a 0.9 volts y mantenerse sin fluctuación durante la aceleración. El voltaje común oscila entre 0.2 a 0.8 volts.

SFT1 & SFT2 (Short Fuel Trim correction= corrección del ajuste de combustible corto)

Esta señal es la causante del cambio de rico a pobre, de los sensores de oxígeno. En muchos casos, el SFT estará entre más o menos 10 %. Cuando ocurre un cambio de carga extrema (fuerte aceleración), es común tener un ajuste de corta duración de más o menos 25 %. Durante una aceleración a fondo, el SFT se irá a 0 % mientras que el sistema de combustible está en lazo abierto.

FPW1 & FPW2 (Fuel injector Pulse Width= ancho de pulso del inyector)

Ancho de pulso del inyector de combustible para cilindros de motor del banco 1 y 2. El valor normal en marcha lenta es de aproximadamente 3-5 ms. Durante la aceleración a fondo, el ancho de pulso del combustible se va a 18 - 24 ms.

TP (Throttle Position sensor voltage= voltaje del sensor de posición del acelerador)

Indica la demanda del conductor. Por lo general está entre 0.7 a 1.1 volts en marcha lenta. Acelerando a fondo puede llegar hasta los 4.6 volts. p.6

Tabla 7

Valores de los PID's primarios

PID	Unidad de medida
MAP	(v)
RPM	RPM

CONTINÚA



O211 y O221	(v)
SFT1 y SFT2	%
FPW1 y FPW2	Ms
TP	(v)

Fuente: (Augeri, Módulo II Inyección Electrónica Avanzada Lección III, 2015). p. 5

2.12. PID's secundarios

(Casa & León, 2011), reiteran en su trabajo que: algunos de los PID's secundarios y sus valores típicos son los siguientes

ECT (Engine Coolant Temperature sensor voltage= voltaje del sensor de temperatura del refrigerante del motor)

Refleja la temperatura del motor. Un típico motor caliente debe estar alrededor de los 0.6 volts. Las lecturas en un motor frío, variarán dependiendo de la temperatura ambiente. Entre 3.5 volts a 32° F (0° C) y 2.5 volts a 90° F (32° C).

SAP (Spark Advance= avance de encendido)

Indica lo que el PCM ha solicitado para un avance de encendido.

LFT1 & LFT2 (Long Fuel Trim corrections= correcciones del ajuste de combustible de largo alcance)

Indica cuanto ha corregido el PCM, al calcular ancho de pulso del combustible. La corrección permitida es de más o menos un 20 %. Pero los valores típicos oscilan entre más o menos un 12 %. Los valores del LFT son

un indicador de que el PCM está percibiendo un problema en desarrollo (marcha lenta pobre o alta presión de combustible)

IAC (Idle Air Control= control de aire de marcha lenta)

Indica en que porcentaje de tiempo, el PCM ha ordenado a la válvula IAC a controlar las RPM de marcha lenta. Por lo general, un 35 a 40 % en marcha lenta, con un motor normal. A medida que el voltaje TP aumenta, el IAC % debe aumentar también, para compensar el cierre del acelerador en la desaceleración (efecto “dashpot”).

EGRR (EGR Vacuum Regulator= regulador de vacío del EGR)

Indica en que porcentaje de tiempo, el PCM ha ordenado al regulador del EGR controlar el flujo al EGR. Debe ser de 0% en marcha lenta, e ir aumentando a medida que aumentan las RPM. Se requiere que el flujo del EGR controle las emisiones exhaustivas.

FLVL (Fuel Level= nivel de combustible)

Es un indicador de cuanto combustible hay en el tanque. Para pruebas de monitoreo de emisiones evaporativas, FLVL necesita estar entre 15 % y 85 %.

FTPT (Fuel Tank Pressure sensor= sensor de presión del tanque de combustible)

Indica la presión ambiente en el tanque de combustible para pruebas sobre emisiones evaporativas. Valores típicos son 0.2 a 0.6 volts. p. 14-17

Tabla 8**Valores de los PID's secundarios**

PID	UNIDAD
ECT	(v)
LFT1 y LFT2	(%)
SAP	Grados (APMS)
IAC	(%)
EGRR	(%)
FLVL	(%)
FTPT	(v)

Fuente: (Casa & León, 2011). p. 18

2.13. Componentes del sistema de inyección electrónica

Los sistemas de inyección electrónico están conformados por tres grupos que interactúan entre sí, estos son: sensores, unidad de control (ECU) y actuadores.

2.14. Sensores

Los sensores son los encargados de recolectar información del funcionamiento del motor de combustión con inyección electrónica. (Casa & León, 2011) enuncian que “Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas” p. 39

2.14.1. Sensor de temperatura de refrigerante ECT

Como lo menciona (Quimbita, 2016): la ECU monitorea, todas las caídas de voltaje, a través de la resistencia térmica y realiza los ajustes necesarios para cuando el motor este frío se enriquezca la mezcla de gasolina y se incremente en la marcha mínima. Cuando el motor alcanza su temperatura normal de operación, el sensor ECT envía la información a la ECU y en ese momento se activa la función de close loop (circuito cerrado) y el vehículo empieza a funcionar en condiciones de operación normales. p. 27-28

La mayoría de los sensores de temperatura son termistores del tipo NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo). (Coello, 2005) indica que “la resistencia interna del sensor irá disminuyendo con el incremento de la temperatura medida (...). Cuando está frío el sensor su conductibilidad es mala y esta aumenta con el incremento de la temperatura” p. 36



Figura 5. Sensor de temperatura del líquido refrigerante ECT

Fuente: [TOMCO, 2017]

(Panchi & Salazar, 2007), reiteran que: “El sensor ECT es un termistor del tipo NTC y se encuentra ubicado en el bloque de cilindros o en el cabezote, este sensor está roscado y tiene contacto directo con el líquido refrigerante” p.31

El sensor ECT cuenta con dos cables: un cable que conduce el voltaje de alimentación de (5v) y el voltaje de señal y otro cable para masa.

(Mendoza, 2010), asevera que “El rango de lectura del termistor debe ser de (-40 a 120)°C, se considera que la temperatura de funcionamiento óptimo va de los (70 a los 95) °C” p. 7

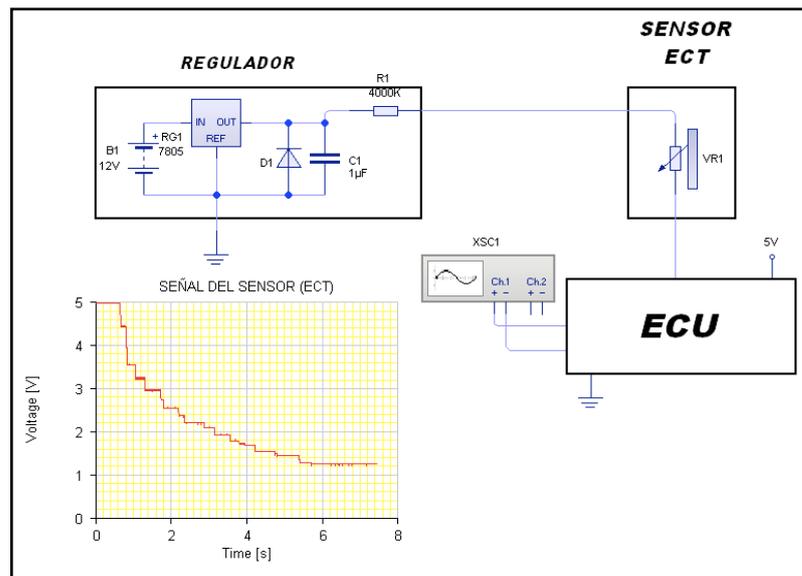


Figura 6. Simulación del circuito del sensor ECT

2.14.2. Sensor de temperatura de la carga de aire ACT

El sensor ACT es un termistor del tipo NTC y es el encargado de monitorear la temperatura del aire que ingresa al motor, con este parámetro la ECU puede determinar cuál es la masa de aire que ingresa y decidir la cantidad justa de combustible siempre intentando alcanzar la mezcla estequiométrica, como lo menciona (Mendoza, 2010) “se obtiene la temperatura del aire que pasa por la tobera de admisión. Coincide con la temperatura ambiente y es utilizada junto con la señal de caudal de aire para calcular su densidad. Es una señal continua” p. 7

(Quiroz & Quiroz, 2005), expresan que “la temperatura del aire de admisión es una de las entradas utilizadas para el control de:

- Liberación de combustible
- Punto electrónico del encendido (EST)
- Control del aire en ralentí (IAC)
- Sensor de temperatura del aire de la admisión” p. 82

En su libro (Rueda, 2006) anuncia que “el sensor ACT es una resistencia sensible a la temperatura o termistor de coeficiente negativo de temperatura (NTC), el cual tiene una resistencia de 400 o 500 Ohms a 10 °C y entre 150 a 200 Ohms a 37 °C” p.132

Por lo general el sensor ACT se encuentra ubicado en el conducto de aire del múltiple de admisión después del filtro de aire o puede encontrarse en el armazón del acelerador.



Figura 7. Sensor de temperatura de carga de aire ACT

Fuente: [Fuel Injection, 2014]

El sensor ACT cuenta con dos cables: un cable por el que circula el voltaje de alimentación (5v) y el voltaje de señal (2 - 3,5 v), y otro cable de masa.

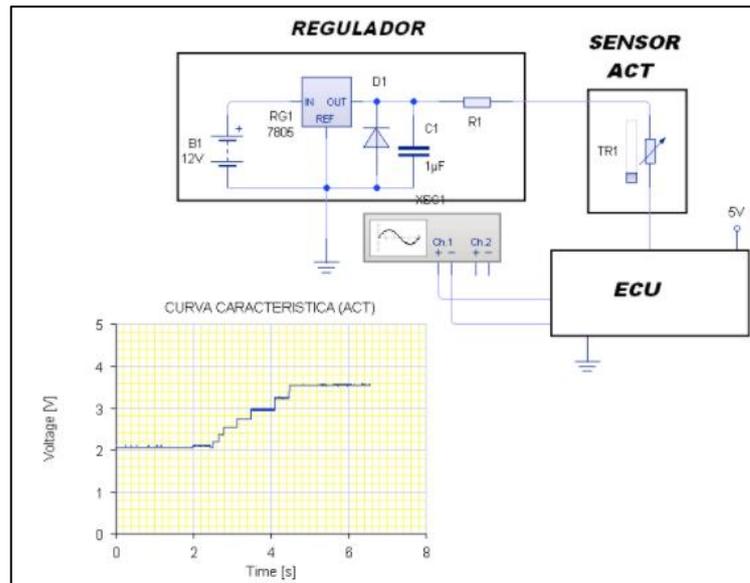


Figura 8. Simulación del circuito del sensor ACT

2.14.3. Sensor de presión absoluta del múltiple MAP

En su proyecto de investigación (Mansoor, Haneef, Akhtar, De Luca, & Udrea, 2015), exponen que “los sensores de presión emplean diferentes técnicas para la conversión de señales mecánicas (presión) en señales eléctricas” p. 67.

(Augeri, Módulo II Inyección Electrónica, 2016), afirma que: el sensor MAP puede enviar a la ECU una señal del tipo analógica o digital y está diseñado de forma que monitorea la presión de vacío en el múltiple de admisión. La variación de voltajes enviada a la computadora le permite definir la cantidad de masa de aire que está ingresando al motor para controlar el avance al encendido y dosificar de manera efectiva la inyección de combustible. p.18-20

El sensor MAP se encuentra ubicado en el múltiple de admisión, adicionalmente en el cuerpo del sensor se encuentra una toma de aire, la cual

se conecta mediante una manguera de caucho a cualquier parte del motor donde exista presión de vacío.

El sensor MAP del tipo digital al igual que el analógico cuenta con tres cables de conexión: voltaje de señal, voltaje de alimentación y voltaje de masa. Como lo menciona en su libro (Pardiñas, 2012), los sensores MAP “si son analógicos, el voltaje emitido será proporcional a la presión medida por el sensor. En el caso de los digitales, la señal será una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la presión medida por el sensor”p. 231

En su libro (Rueda, 2006), menciona que: la ECU suministra al sensor de presión absoluta del tipo analógica un voltaje de referencia de 5 voltios. En marcha mínima cuando la mariposa del acelerador está totalmente cerrada, la presión en el colector de admisión es baja (vacío alto), el sensor MAP envía a la ECU una señal que pueda variar entre 0,8 y 2,0 voltios. Con la mariposa de aceleración totalmente abierta, la presión en el colector de admisión es alta (vacío bajo) el sensor MAP envía a la ECU una señal que puede variar entre 3.8 y 4.6 voltios. p. 225-226

En si sitio web referente al análisis de componentes electrónicos automotrices [JOSEMACO'S, 2010] explica que: dentro del sensor MAP, se encuentra expuesto al vacío del múltiple (presión negativa) un cristal o capacitor variable, formado por dos placas separadas por una cámara conectada a la tubería expuesta al aire cuya presión o depresión quiere medirse.

[JOSEMACO'S, 2010], además reitera que: El capacitor o cristal, expuesto a la presión absoluta, es susceptible a deformaciones en su estructura molecular producida por las variaciones de la depresión del múltiple. A su vez el capacitor, está conectado a un oscilador, que, de acuerdo a la presión

absoluta, del múltiple, entrega un tren de pulsos cuya frecuencia será directamente proporcional al vacío del múltiple.

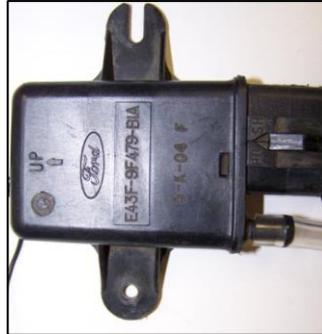


Figura 9. Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión MAP

Fuente: (Ruso, 2005)

Independientemente del tipo de señal que genere el sensor MAP, (Rosero, 2014) mantiene que “si la presión es baja la carga del motor es pequeña, el PCM inyectará poco combustible, en cambio si la presión en el múltiple es alta el PCM interpretará que la carga al motor es grande e inyectará más combustible” p. 27. Con los parámetros enviados, la ECU debe analizar los datos y determinar el avance al encendido así también la cantidad de combustible que debe ser inyectado por los inyectores.

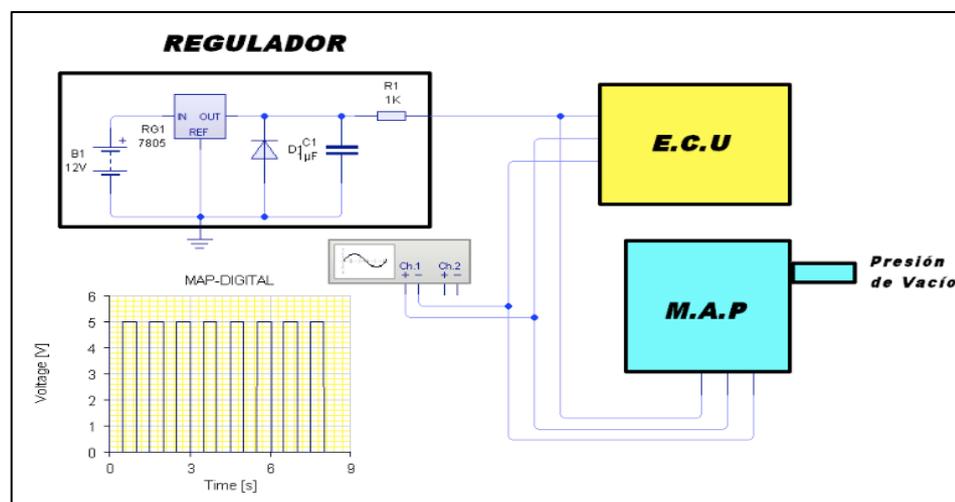


Figura 10. Simulación del circuito del sensor MAP

2.14.4. Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS

El sensor TPS es básicamente un potenciómetro como lo mencionan, (Panchi & Salazar, 2007): el sensor TPS es una resistencia variable, el cual se encuentra en el cuerpo de aceleración y tiene su elemento de variación solidario al eje de la mariposa. Cuando se mueve la mariposa el potenciómetro varía su resistencia al igual que la tensión. Esta variación de tensión es la utilizada por la ECU para determinar cuál es la apertura de la mariposa en todo momento. p. 31

(Quiroz & Quiroz, 2005) explican que: La función del TPS es informar al ECM los movimientos rápidos de la mariposa de aceleración, para fines de aceleración y desaceleración. Cuando una falla es detectada en el circuito TPS, el ECM no es capaz de ajustar la mezcla aire / combustible con rapidez, lo que origina un funcionamiento incorrecto del motor en ralentí. p. 79

La ECU con estos parámetros de funcionamiento del sensor TPS puede fácilmente como expresa (Rosero, 2014), “corregir la dosificación de combustible, corregir el avance del encendido, control de la marcha ralentí, control de la EGR y control de los cambios de la A/T (Transmisión Automática)” p. 28



Figura 11. Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS

Fuente: (Torres, autotecnico online, 2011)

El sensor TPS genera una señal del tipo analógica, este sensor cuenta con tres cables que canalizan: voltaje de referencia, voltaje de señal y voltaje de masa.

Como lo determinan (Nuñez & Otañez, 2013), “la señal de salida del sensor TPS inicia con una tensión mínima, y a medida que se abre la mariposa la tensión debe ir ascendiendo hasta llegar al valor máximo.” p. 64

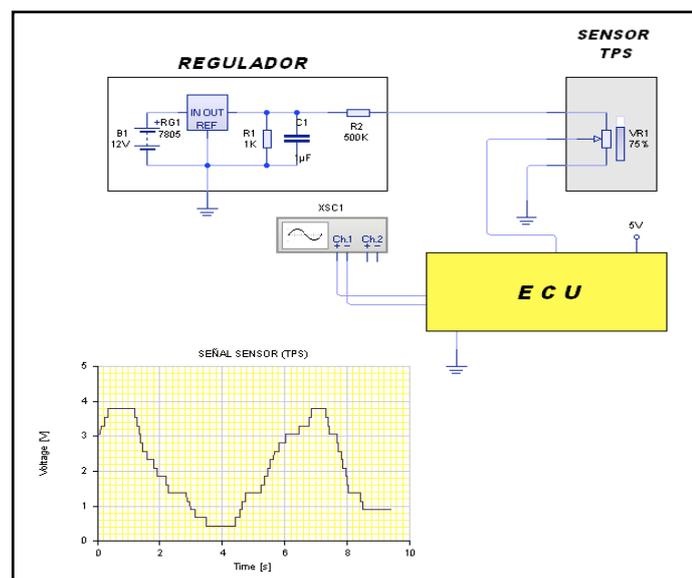


Figura 12. Simulación del circuito del sensor TPS

Tabla 9

Condiciones de trabajo del sensor TPS

Acción	Detalle
Marcha lenta	Es decir, cuando la mariposa de aceleración se encuentra en posición cerrada y estará en un rango mínimo de V_{min} : 0,5V
Apertura máxima o full throttle	La ECU detecta que el conductor presionó el pedal a fondo, sus valores de trabajo estarán comprendidos entre 4 y 4,6 voltios

Fuente: (Rueda, 2006). p. 223

2.14.5. Sensor de captación del perfil de ignición PIP

En su libro (Watson, 1991), menciona que “el funcionamiento del sensor PIP se basa en crear una barrera magnética para interrumpirla periódicamente, esto genera una señal eléctrica (onda cuadrada) que se envía al módulo de ignición TFI, para que la ECU determine el punto de encendido” p. 45-46



Figura 13. Sensor de captación del perfil de ignición PIP

Fuente: [SUPERMOTORS, s. f.]

El principio de funcionamiento del sensor PIP, según (Alonso, 1998): el sistema de encendido electrónico con generador de efecto Hall está compuesto por una barrera magnética (parte fija) y un tambor obturador (parte rotatoria). La barrera magnética está formada por un imán permanente con piezas conductoras y un circuito integrado de semiconductor Hall, que es un interruptor electrónico. p. 323-324

(Alonso, 1998): Cuando una de las pantallas del tambor obturador se sitúa en el entrehierro de la barrera magnética, desvía el campo magnético impidiendo que pase al circuito integrado, la capa de Hall queda prácticamente sin campo, con lo que se anula la tensión entre los bornes del generador, diciéndose entonces que el circuito integrado Hall desconecta. Cuando la

pantalla del tambor obturador abandona el entrehierro, el campo magnético atraviesa de nuevo la capa Hall y la tensión en bornes del generador es activa, conectando el circuito integrado. En ese momento tiene lugar el encendido. p. 323-324

(Jami, 2006), sostiene que: el sensor de captación del perfil de ignición (PIP) es un generador de impulsos del tipo efecto Hall, las señales que genera pueden ser de dos tipos un voltaje alto (5v) y un voltaje bajo (0v). Este sensor cuenta con tres cables: voltaje de referencia, voltaje de masa y el voltaje de referencia el cual envía la información al módulo de ignición. p. 61-62. El generador Hall detecta y pasa a la unidad de comando la velocidad del motor y da una señal de referencia indicando la posición del cilindro número 1 relativo al punto muerto superior.

El sensor PIP se localiza en el interior del distribuidor y en los motores que no cuentan con un distribuidor este sensor se encuentra cerca del cigüeñal (CKP).

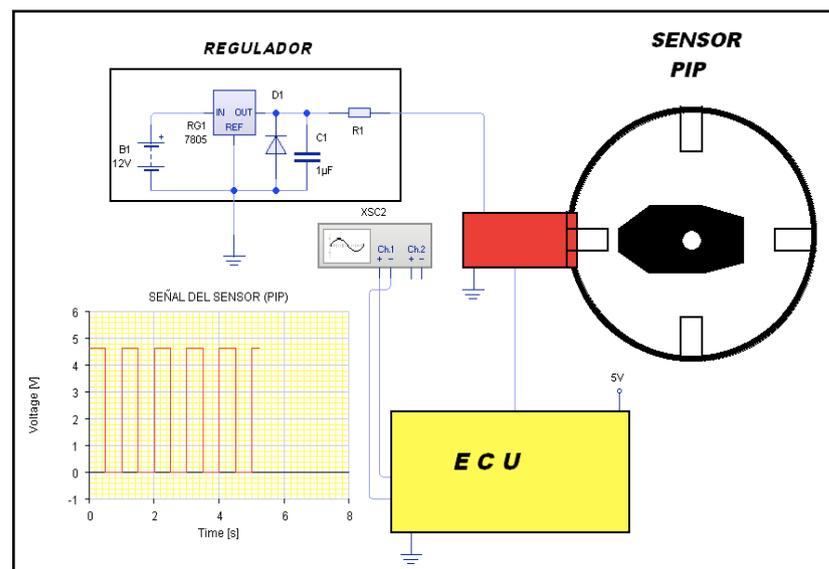


Figura 14. Simulación del circuito del sensor PIP

2.14.6. Sensor de oxígeno o sonda lambda

En su artículo científico (Ritter, y otros, 2016), declaran que: los sensores sólidos de gas electrolítico siguiendo el principio de detección del potencial mixto se operan generalmente a varios centenares de grados centígrados. Se caracterizan a menudo por medio de instalaciones de media celda, donde un lado del sensor hace frente a una atmósfera de gas de referencia, mientras que el otro lado se enfrenta a la mezcla de gases a analizar. Dado que se comparan dos compartimientos de gas, se necesita un sellado a alta temperatura. p.1

El sensor de oxígeno se encuentra ubicado en el múltiple de escape o en el tubo de escape, de esta manera tiene contacto directo con los gases de escape producto de la combustión.

(Amán & Castelo, 2012), opinan que el sensor de oxígeno “está constituido por un cuerpo cerámico, compuesto principalmente de dióxido de zirconio, puede ser también de titanio, y sus superficies internas están provistas de electrodos revestidos con una capa fina de platino, el cual es permeable a los gases” p. 33



Figura 15. Sensor de oxígeno

Fuente: (Robles, 2017)

(Jami, 2006), declara que “El Sensor de oxígeno o sonda Lambda tiene la misión de detectar la cantidad de oxígeno del sistema de escape. Cuando el sensor detecta alta concentración de oxígeno avisa a la computadora, la cual enriquece la mezcla” p. 40-41

(Quimbita, 2016), asegura que: La sonda lambda es capaz de detectar la proporción de oxígeno a partir de 300 grados centígrados, pudiendo llegar a alcanzar 900 grados centígrados. Cuando alcanza su temperatura de funcionamiento, la capa de óxido de circonio permite el paso de oxígeno por su interior. p. 34

(Laverde & Panchi, 2007) avalan que: Cuando la mezcla de aire y combustible no ha sido ajustada con precisión, se produce un aumento de emisiones. Sólo cuando la relación de la mezcla es de 1 kg de combustible a 14,7 kg de aire, se puede garantizar una combustión completa y el catalizador puede convertir los gases de escape nocivos en gases que son respetuosos con el medio ambiente. Y para conseguir este objetivo es necesario que el motor reciba en cada momento las cantidades exactas de aire y combustible. Esta relación exacta de aire y combustible se denomina con la letra griega Lambda (λ). p. 68

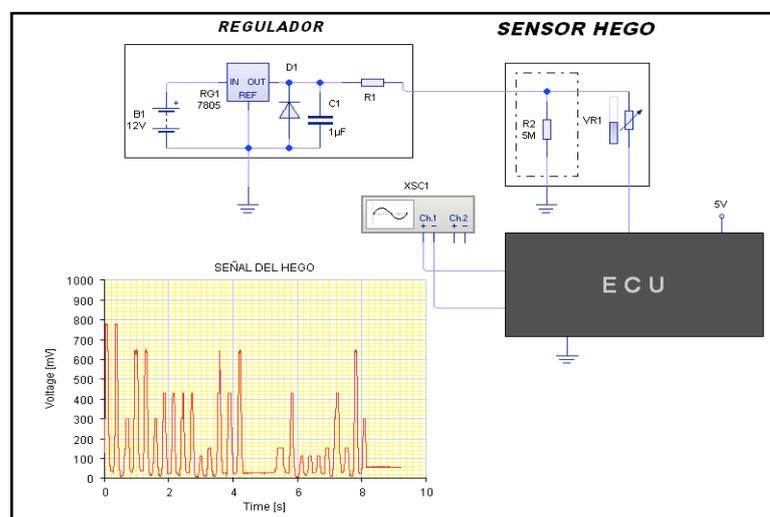


Figura 16. Simulación del circuito del sensor de oxígeno

2.15. Unidad de control electrónica ECU

(Coello, 2005) afirma que “la ECU es la encargada de recibir las señales enviadas desde cada uno de los sensores, estas señales son variaciones de voltaje o de resistencia eléctrica. Este conjunto de información es determinante a la hora de controlar a los inyectores” p. 109-112

En su libro (Rueda, 2006) declara que: la unidad de control electrónico dosifica la entrada de combustible, por lo tanto, controla el tiempo durante el cual deben permanecer abiertos los inyectores. Esta cantidad de combustible depende de varios factores como la temperatura del motor, velocidad del motor, carga y posición de la válvula mariposa (acelerador). Todos los cambios mencionados son captados por sensores que envían la información a la computadora. p. 69

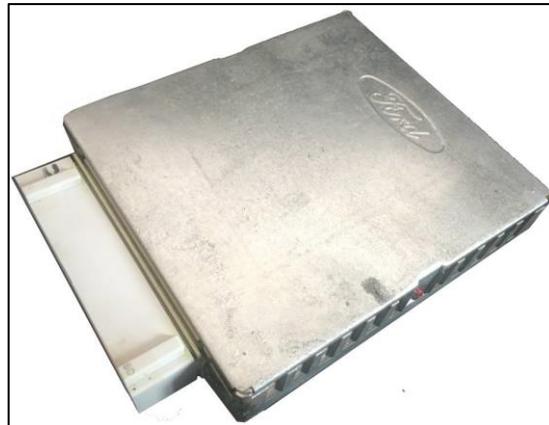


Figura 17. Unidad de control electrónico ECU del motor Ford EFI

(Watson, 1991) menciona que: El motor Ford 2.9L está conformado por un sistema MPFI-EEC-IV (Multiport Fuel Injection Electronic Engine Control - IV generation), este sistema se encarga de coordinar la interacción de elementos electrónicos y mecánicos del motor permitiéndole controlar la inyección de

combustible. Muchos de estos elementos permiten controlar el tiempo del encendido y también la generación de gases contaminantes. p. 40

(Verdaguer, 2006), manifiesta que: La computadora está constituida de la siguiente manera, sobre una placa de circuito impreso se encuentran: el circuito digital, la unidad analógica y las salidas de información, de esta manera se podrá conformar todo en un solo elemento. Los 60 pines de salida están rodeados de una lámina metálica para mejorar la disipación térmica. p. 113

2.16. Actuadores

Los actuadores son válvulas, bobinas o motores eléctricos que al recibir la información de la computadora son accionados y permiten variar los parámetros de funcionamiento del motor.

2.16.1. Inyectores

El desarrollo tecnológico implementado al mejoramiento del inyector permite reducir la cantidad de gases de combustión generados, en su artículo científico (Ohata, 2016) expresa que “la principal impulsión del desarrollo actual del motor es aumentar la economía de combustible, sin disminuir las prestaciones y el performance” p. 673

El inyector es una electro-válvula del tipo normalmente cerrado la cual es comanda mediante la generación de pulsos eléctricos, el inyector tiene dos posibles estados, cuando está abierto permite el paso del combustible y cuando está cerrado se lo impide, bajo este (Laverde & Panchi, 2007) explican que “la misión de los inyectores es inyectar el combustible en un tiempo

mínimo, adecuadamente pulverizado y de forma específica según el modo operativo momentáneo” p. 74

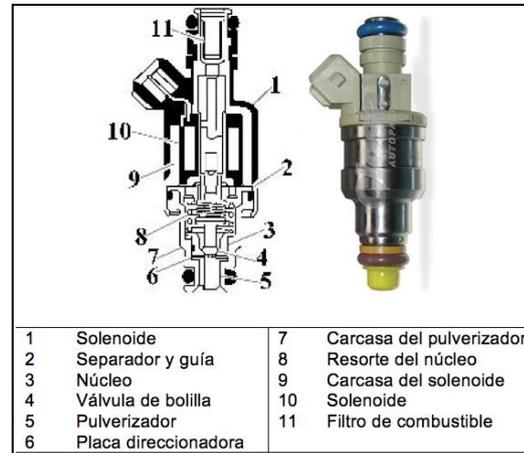


Figura 18. Inyector a gasolina y sus partes

Fuente: (Quiroz & Quiroz, 2005). p. 90

(Quiroz & Quiroz, 2005), aseveran que “el combustible pasa por el cuerpo del inyector y va a la placa direccionada. La placa posee agujeros calibrados para controlar el flujo de combustible y crear un chorro de formato cónico” p. 89. Una buena pulverización de combustible permite optimizar la combustión de la mezcla.

(Panchi & Salazar, 2007), exponen que: la ECU es la responsable de controlar los impulsos eléctricos que gobiernan la apertura de los inyectores. El ancho de pulso determina el tiempo que permanece abierto la aguja del inyector debido a que la alimentación del inyector es constante, la cantidad de combustible inyectado será proporcional al tiempo de duración del impulso eléctrico. p. 49

(Mendoza, 2010) afirma que: la señal que controla la apertura del inyector

es una señal digital cuadrada cuyo 1 lógico implica la apertura de la aguja de inyección y el 0 el cierre. Esta señal digital ha de pasar por una etapa de potencia, que adapte las señales de control provenientes del microcontrolador a los niveles adecuados para gobernar al inyector. p. 8

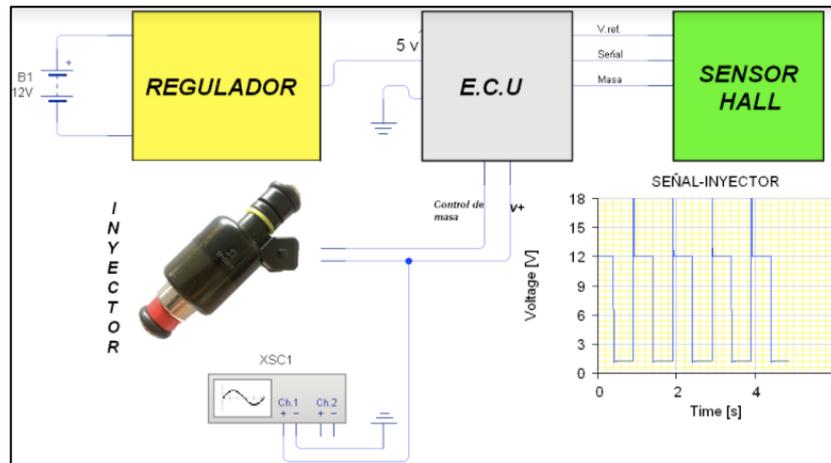


Figura 19. Simulación del circuito de un inyector

(Obando & Enríquez, 2001), manifiestan en su escrito que “la inyección está limitada al tiempo en que el inyector está abierto. El ancho del pulso es el período en que la corriente fluye a través del solenoide del inyector y se mide en milisegundos” p. 12

2.16.2. Válvula de control de aire en ralentí IAC

(Laverde & Panchi, 2007), exponen que: La válvula IAC (Idle Air Control) se encarga de proporcionar el aire necesario para el funcionamiento en marcha lenta. Estando el motor en marcha lenta, la cantidad de aire que pasa por la mariposa de aceleración es muy poco y la válvula IAC proporciona el resto del aire por un conducto. p.78



Figura 20. Válvula de control de aire en ralentí IAC

Fuente: (Burns, 2013)

(Obando & Enríquez, 2001), confirman que: este componente controla el flujo de aire en derivación por medio de la ECU y cumple las siguientes funciones:

- Mantener la velocidad de ralentí del motor
- Mejorar el arranque
- Compensar la proporción de mezcla cuando se desacelera
- Mejorar la conducción cuando el motor se calienta. p. 13

(Booster, s. f.), indica que “el sistema IAC utiliza a la PCM para controlar la válvula IAC que regula el volumen de aire que se desvía alrededor de la mariposa de aceleración cuando esta se encuentra cerrada” p. 1

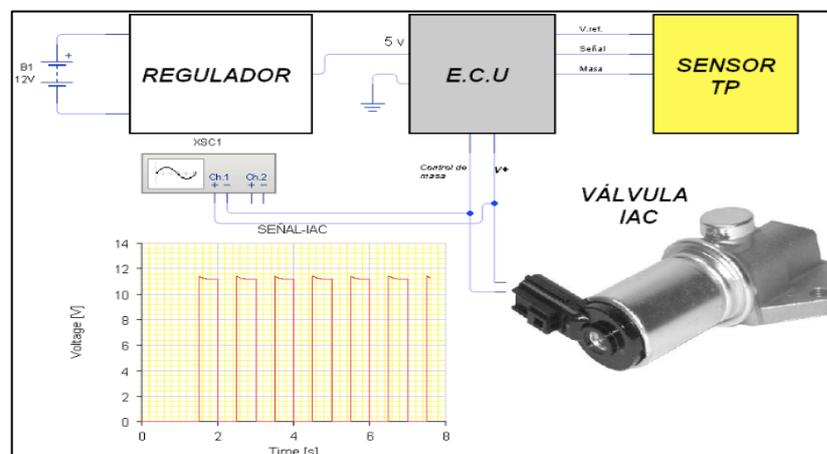


Figura 21. Simulación del circuito de la válvula IAC

2.16.3. Válvula de recirculación de gases de escape (EGR)

En su investigación (Li, Wu, & Xu, 2013), afirman que “la recirculación de gases de escape (EGR) es eficaz para mejorar la economía de combustible de los motores de gasolina de encendido por chispa” p. 130



Figura 22. Válvula de recirculación de gases de escape EGR

Fuente: (Torres, autotecnico online, 2013)

Como lo describen (Cajas & Russo, 2004) “el sistema de recirculación de gases controla el desprendimiento de NOx haciendo recircular los gases de escape dentro de la cámara de combustión a través del múltiple de admisión” p. 119

(García M. , 2013) menciona que: la combinación de la mezcla aire-combustible y los gases de escape permiten reducir las temperaturas de combustión hasta un valor promedio de 260°C. El PCM determina cuando, por cuanto tiempo, y que cantidad de gases son recirculados nuevamente al interior del motor para su posterior combustión. p. 27-28

2.16.4. Válvula del sistema de emisiones EVAP

(Augeri, Módulo II Inyección Electrónica Avanzada Lección III, 2015), menciona que “cerca del 20 % de los hidrocarburos sin quemar emitidos por

los automóviles está relacionado con los vapores de combustible que se generan en el tanque, el movimiento y otros factores pueden provocar el incremento de vapor de combustible” p. 23

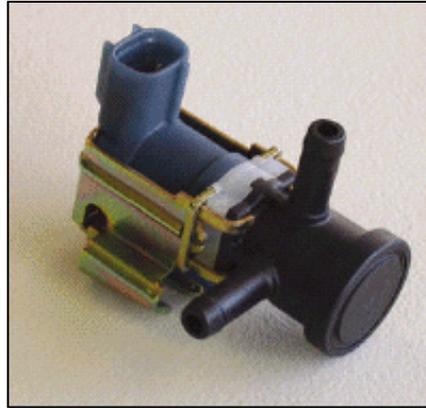


Figura 23. Válvula del sistema de emisión de gases- cánister

Fuente: [Geocities, s. f.]

En su libro (Rueda, 2006), explica que “cuando el motor está funcionando la válvula de purga se abre debido al accionamiento del diafragma, provocado por el vacío del motor. Con la apertura de la válvula de purga los gases de combustible son transferidos al cánister.” p. 245. Luego estos vapores son re-dirigidos hacia la base del cuerpo de la mariposa de aceleración para ingresar con el aire a la cámara de combustión.

(Quiroz & Quiroz, 2005), manifiestan que: el sistema de ventilación da garantía de una recuperación apropiada de los vapores de combustible. Cuando el motor no está funcionando, son recolectados en un depósito abastecido con carbón activado, y cuando el motor está funcionando, los mismos vapores son drenados del canister de carbón para el colector de admisión. p. 98

2.16.5. Bomba eléctrica de combustible

La bomba eléctrica forma parte del grupo de actuadores y es la encargada de enviar el combustible desde el depósito hacia el riel de inyectores. (Jami, 2006) menciona que “durante la operación esta bomba, debe suministrar combustible a los inyectores con una presión estable entre 35 y 55 psi” p. 86



Figura 24. Bomba eléctrica de combustible

Fuente: (Garzón, 2012)

(Amán & Castelo, 2012), cercioran que: La bomba eléctrica está gobernada mediante la alimentación de un relé principal, el cual es comandado por la ECU. Es de funcionamiento continuo y se encuentra ubicada dentro del tanque de combustible, la cual es activada por un motor eléctrico. El sistema viene equipado con un interruptor inercial, es decir una válvula roll over, que sirve de protección hacia el conductor en caso de un accidente. Usualmente la presión es de 5 bares y el caudal 2 litros por minuto, aproximadamente” p. 24

2.16.6. Regulador de presión de combustible

(Panchi & Salazar, 2007), afirman que: el regulador se encuentra ubicado en el carril de combustible, y está conformado por un diafragma cargado a resorte en el interior de un envase de metal. El regulador entra a funcionar cuando la presión de combustible sobrepasa el nivel establecido, el diafragma

se traslada a una posición en la que deja abierto una válvula por la cual retorna la gasolina hacia el depósito. p. 48



Figura 25. Regulador de presión de combustible

Fuente: [Bosch, Piezas de automóviles de Bosch, s.f.]

(Watson, 1991), alude que: los inyectores de los sistemas multipuntos alimentan el combustible inmediatamente arriba de la válvula de admisión, la presión a la que están inyectando cambia constantemente. Para compensar tales cambios, una manguera de vacío conecta el múltiple de admisión al lado seco del diafragma regulador de presión de combustible. p. 58

2.16.7. Bobina de encendido con distribuidor electrónico

La bobina de encendido forma parte fundamental del circuito eléctrico de ignición, como lo mencionan (Nuñez & Otañez, 2013) “la bobina de encendido no es más que un transformador eléctrico que transforma la tensión de batería en un impulso de alta tensión que hace saltar la chispa entre los electrodos de la bujía” p. 7

En su libro (Alonso, 1998) explica que: uno de los sistemas totalmente electrónicos es el de generador de impulsos donde el ruptor ha sido sustituido

por un sistema capaz de engendrar golpes de corriente y entregarlas al formador de impulsos, donde son amplificadas y transmitidas al circuito de mando de un transistor que realiza la conmutación. Los pulsos suelen ser engendrados mediante generadores de inducción o generadores fotoeléctricos. p. 315



Figura 26. Distribuidor electrónico

Fuente: (Lucas, s. f.)

2.17. Regresión

El principal problema a resolver mediante el uso de la estadística en el presente proyecto de investigación es el de la predicción, que no es más que según (Gorgas, Cardiel , & Zamorano, 2011), “prever la evolución de una variable estudiando su historia y/o relación con otras variables” p. 3

(Tusell, 2011), asegura que “existe una manera de relacionar ciertas variables, su relación corroboraría a poder obtener una función de dichos valores y a su vez aportaría a obtener predicciones de valores de variables, cuando se conoce el valor de otras” p.1

(Suárez & Tapia, 2014), manifiestan que: La regresión examina la relación entre dos variables, pero restringiendo una de ellas con el objeto de estudiar las variaciones de una variable cuando la otra permanece constante. En otras

palabras, la regresión es un método que se emplea para predecir el valor de una variable en función de valores dados a la otra variable. p.183

2.18. Regresión lineal

(Mendenhall , Beaver, & Beaver, 2008), describen que: Se considera el problema de intentar predecir el valor de una respuesta “y” con base en el valor de una variable independiente “x” y se empieza por suponer que la variable de interés, “y”, se relaciona linealmente con una variable independiente “x”. Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$y = \alpha + \beta x$$

Ecuación 1

Donde:

α = Ordenada al origen “y” (el valor de “y” cuando $x=0$)

β = Pendiente de la recta definida como el cambio en “y” para un cambio unitario en “x”

Este modelo describe una relación determinista entre la variable de interés “y”, denominada a veces variable de respuesta, y la variable independiente “x”, conocida como variable predictiva. p.503

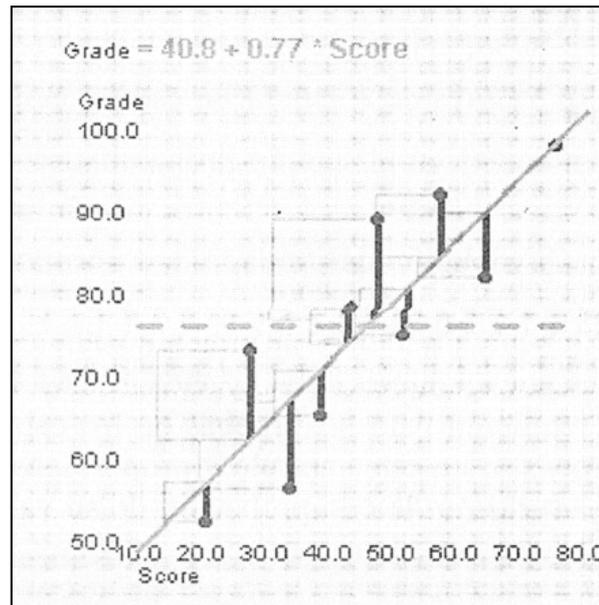


Figura 28. Método de mínimos cuadrados en la regresión lineal

Fuente: (Mendenhall , Beaver, & Beaver, 2008)

Las líneas verticales negras que se observan en la figura anterior, que van desde la recta de predicción a cada punto (x_i, y_i) ,representan las desviaciones de los puntos a partir de cada recta.

2.18.2. Estimadores de mínimos cuadrados

(Mendenhall , Beaver, & Beaver, 2008): La recta que minimiza la suma de cuadrados de las desviaciones de los valores observados de “y” con respecto a los valores predichos es la recta del mejor ajuste. Para encontrar los valores de a y b , osea, las estimaciones de α y β , se presentan las fórmulas siguientes:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

Ecuación 3

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Ecuación 4

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

Ecuación 5

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Ecuación 6

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

Ecuación 7

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

Ecuación 8

Donde:

a y b = Estimadores de mínimos cuadrados de α y β .

\bar{y}, \bar{x} = Medias aritméticas de x e y .

S_{xy}, S_{xx} = Cantidades

n = Número de valores a analizar. p. 506

2.19. Regresión no lineal

Se entiende por regresión no lineal cuando dos variables “ x ” e “ y ” están relacionadas de cualquier manera excepto de forma lineal. Se analizará la

regresión exponencial y polinomial como objeto de estudio para la presente investigación.

2.19.1. Regresión exponencial

(Suárez & Tapia, 2014), enuncian que: se considera regresión exponencial cuando la curva de “y” sobre ‘x’ es exponencial, es decir para cualquier x considerada, la media de la distribución está dada por la siguiente ecuación predictora:

$$y = \alpha \cdot \beta^x$$

Ecuación 9

Donde:

α y β = estimaciones de los parámetros conocidos de la curva.

Tomando logaritmos en ambos miembros:

$$\log y = \log \alpha + x \log \beta$$

Ecuación 10

Ahora se puede estimar $\log \alpha$ y $\log \beta$ para consecuentemente poder hallar α y β , aplicando el método de mínimos cuadrados, estas constantes quedarán fijadas al resolver simultáneamente las ecuaciones: p. 202

$$\sum \log y = \log \alpha \cdot N + \log \beta \cdot \sum x$$

Ecuación 11

$$\sum x \cdot \log y = \log \alpha \cdot \sum x + \log \beta \cdot \sum x^2$$

Ecuación 12

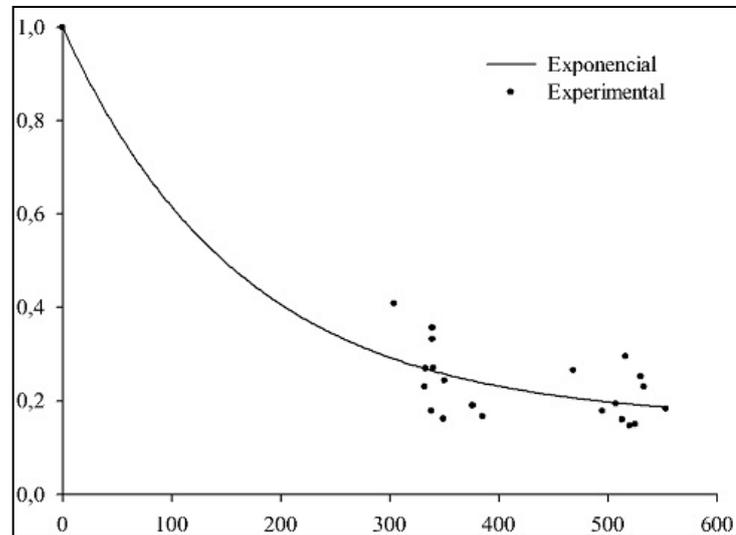


Figura 29. Curva de ajuste en la regresión exponencial

Fuente: (Zonta, Martinez, da Silva, Pruski, & dos Santos Marcelo, 2012)

2.19.2. Regresión polinomial

(Astorga, 2014), garantiza en su artículo que “Los modelos de regresión polinómica se usan cuando las variables presentes en el análisis muestran un comportamiento curvilíneo o no lineal, los estimadores de los parámetros de dicho modelo se obtienen mediante el empleo de mínimos cuadrados” p. 236

(Egas, 2009), sostiene que: El procedimiento de mínimos cuadrados puede ajustarse según las necesidades que tenga el comportamiento del diagrama de dispersión de valores, en este caso se trata de un polinomio de grado 3, definiendo las ecuaciones para hallar las estimaciones de los parámetros de la siguiente manera:

$$a \cdot n + b \cdot \sum x_i + c \cdot \sum x_i^2 + d \cdot \sum x_i^3 = \sum y_i$$

Ecuación 13

$$a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 + c \cdot \sum x_i^3 + d \cdot \sum x_i^4 = \sum x_i y_i$$

Ecuación 14

$$a \cdot \sum x_i^2 + b \cdot \sum x_i^3 + c \cdot \sum x_i^4 + d \cdot \sum x_i^5 = \sum x_i^2 y_i$$

Ecuación 15

$$a \cdot \sum x_i^3 + b \cdot \sum x_i^4 + c \cdot \sum x_i^5 + d \cdot \sum x_i^6 = \sum x_i^3 y_i$$

Ecuación 16

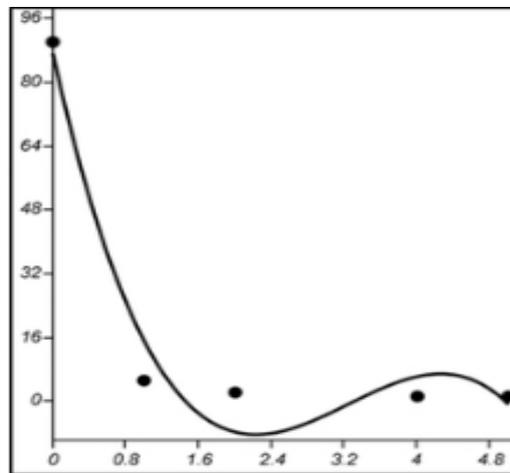


Figura 30. Curva de ajuste de la regresión polinomial

Fuente: (Iannacone & Alvarino, 2011)

(Egas, 2009): al reemplazar los datos inmersos en el sistema de ecuaciones y al resolver el mismo, se obtiene al final los cuatro valores correspondientes a las constantes de un polinomio de tercer grado, con lo que

se forma la gráfica de regresión correspondiente a los valores del diagrama de dispersión inicial.

2.20. Series de Fourier

(González, 1997), en su artículo asegura que “la idea básica de las series de Fourier es que toda función periódica de período T puede ser expresada como una suma trigonométrica de senos y cosenos del mismo período T ”

2.20.1. Funciones periódicas

(Fernández, 2004) determina “Una función es periódica si cumple la condición de periodicidad, es decir, si después de cada cierto intervalo de tiempo constante, llamado período, la función adquiere el mismo valor de partida. Matemáticamente, esto se expresa de la siguiente forma”

$$f(t) = f(t + T)$$

Ecuación 17

2.20.2. Series trigonométricas de Fourier

(Saquimux, 2011), declara en su escrito que: estas series llamadas series trigonométrica de Fourier convergen a los valores de $f(t)$ en todos los puntos del intervalo $[0, T]$ con posibles excepciones en los puntos de discontinuidad y los puntos extremos del intervalo. Un ejemplo inmediato, es su uso en análisis de redes eléctricas para estudiar la respuesta de estado permanente a una señal de entrada periódica que inicia idealmente en el tiempo igual a cero y dura para siempre.

(Saquimux, 2011): además, se usa para estudiar la señal de entrada y la respuesta de la red, en función del contenido de frecuencias. La idea de contenido de frecuencias de las formas de onda de señales es útil en los problemas de ingeniería, y constituyen la base de gran parte del lenguaje que usan los ingenieros principalmente los electricistas y electrónicos.

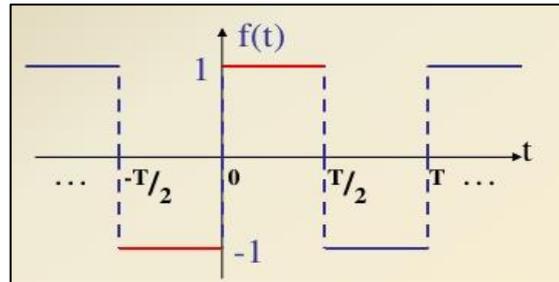


Figura 31. Función de onda cuadrada

Fuente: (Villacís, 2009)

(Villacís, 2009), confirma que: algunas funciones periódicas $f(t)$ de período T pueden expresarse por la siguiente serie, llamada serie trigonométrica de Fourier:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos(\omega_0 t) + a_2 \cos(2\omega_0 t) + \dots$$

$$+ b_1 \sin(\omega_0 t) + b_2 \sin(2\omega_0 t) + \dots$$

Ecuación 18

Expresándola en términos generales:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

Ecuación 19

Donde:

ω_0 = frecuencia fundamental

n = número de armónicos, valores de n para los que se calcula la ecuación.

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

Ecuación 20

$$n = \# \text{ de cilindros} \cdot T$$

Ecuación 21

2.20.3. Coeficientes de las series trigonométricas de Fourier

Según (Villacís, 2009), “los coeficientes de la serie trigonométrica de Fourier (a_0 , a_n y b_n) se calculan mediante las siguientes expresiones, que van de la mano del período de la función a analizar”

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_f} f(t) dt$$

Ecuación 22

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_f} f(t) \cos(n \omega_0 t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Ecuación 23

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_f} f(t) \sin(n \omega_0 t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Ecuación 24

Conclusiones del capítulo

- Se examinó y destacó documentos, trabajos de titulación, artículos e información de sitios web, confiables de los cuales se sustenta toda la información bibliográfica obtenida sobre los componentes del sistema de control de inyección electrónica multipunto y los parámetros de información de diagnóstico.
- Se constituyó los parámetros de funcionamiento de los sensores y actuadores del sistema de control electrónico multipunto.
- Se estableció ecuaciones de regresión y de series de Fourier para la obtención de funciones matemáticas que al graficarlas demuestren un funcionamiento impecable de los componentes del sistema de control electrónico.

CAPÍTULO III

En este capítulo se describe el proceso de instalación del sistema de control electrónico, la puesta a punto del motor y la obtención de los parámetros de identificación de diagnóstico de cada uno de los elementos del sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI, a diferentes condiciones de operación del motor.

3. Instalación del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI, puesta a punto del motor y pruebas

3.1. Datos técnicos del motor

En su sitio web referente a la investigación de modelos de vehículos de la marca Ford, [Bronco II Corral, 2017], menciona lo siguiente: el modelo 2.9L de la marca Ford, es un motor V6 (60°) de hierro fundido, este motor fue construido originalmente por Ford Motor Company en Colonia, Alemania. Una de las características de la marca en este modelo es la incorporación de un solo árbol de levas entre los dos cabezotes. El árbol de levas es accionado por cadena en lugar de engranajes, de esta manera obtiene el mismo sentido de giro que el cigüeñal. Las cabezas de los cilindros tienen un colector de escape de tres puertos convencional.

Este motor está comúnmente equipado con un sistema de inyección de combustible EEC-IV desarrollado por Ford.

Tabla 10

Especificaciones técnicas del motor

Especificaciones	
Desplazamiento del motor (pulgadas cúbicas)	177
Nº Cilindros	6

CONTINÚA



Disposición de Cilindros	Forma "V"
Diámetro x carrera	3.66 x 2.83
Índice de compresión	9.0:1
Tren de válvulas	Válvula de sobrecarga
Sistema de combustible	MPFI (Inyección de combustible electrónica Multiport)
Presión de combustible	30-40psi
Potencia	140hp @ 4600rpm
Torque	170hp @ 2600rpm
Presión de aceite	20psi @ ralentí 55psi @ 2000rpm
Orden de encendido	1-4-2-5-3-6

Fuente: [Bronco II Corral, 2017]

3.2. Sistema de inyección de combustible ECC-IV de Ford

En su libro referente a sistemas de inyección de la marca Ford (Watson, 1991), menciona que: el motor Ford 2.9L está conformado por un sistema MPFI-EEC-IV (Multiport Fuel Injection Electronic Engine Control - IV generation), este sistema se encarga de coordinar la interacción de elementos electrónicos y mecánicos del motor permitiéndolo controlar la inyección de combustible. Muchos de estos elementos permiten controlar el tiempo del encendido y también la generación de gases contaminantes. p. 40

El motor del Ford Bronco II posee un sistema de inyección electrónica multipunto del tipo semi-secuencial el cual está conformado por los siguientes componentes:

3.3. Componentes del sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI

El motor Ford 2.9L posee un sistema de inyección electrónica multipunto el cual está conformado por los siguientes sensores y actuadores:

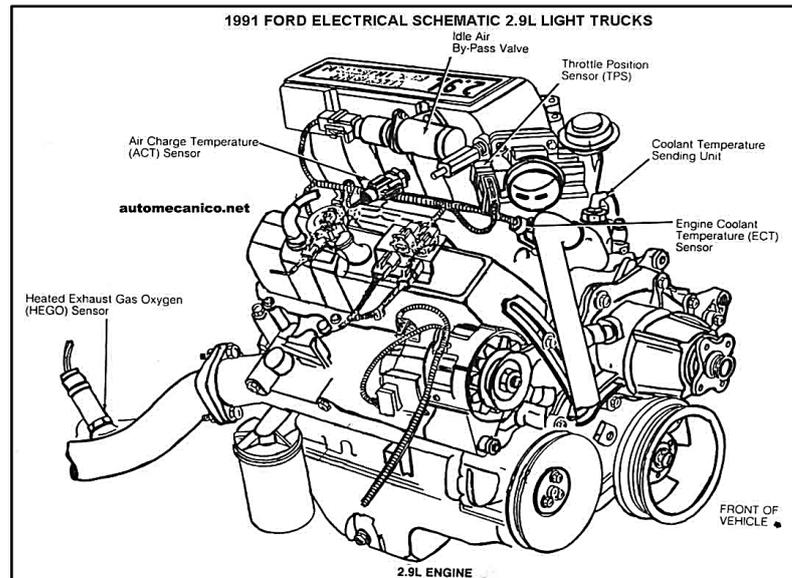


Figura 32. Motor Ford 2.9L

Fuente: [Automecanico, 2015]

Sensor de temperatura del refrigerante ECT

El sensor ECT, tiene como función principal monitorear la temperatura del líquido refrigerante del motor de combustión interna, en su parte interna se encuentra un termistor del tipo NTC, el sensor se encuentra ubicado en el boque de cilindros cerca de la bomba de agua.



Figura 33. Sensor ECT del motor Ford

Sensor de temperatura de aire ACT

El sensor ACT, informa a la ECU sobre las variaciones de temperatura de aire que se genera en el interior del múltiple de admisión, en su interior se encuentra un termistor NTC, el sensor se encuentra ubicado en uno de los conductos del múltiple de admisión.

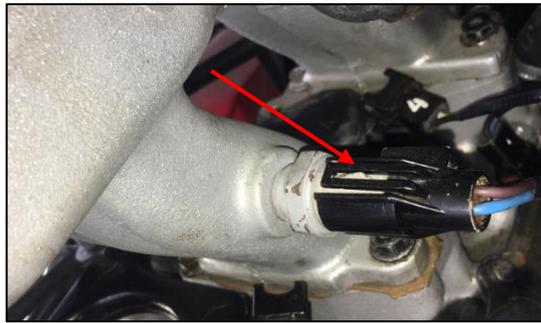


Figura 34. Sensor ACT del motor Ford

Sensor de posición de la mariposa de aceleración TPS

Sensor TPS tiene por objeto informar a la ECU sobre el ángulo de apertura y cierre de la mariposa de aceleración. El sensor se encuentra ubicado en el cuerpo de aceleración y su movimiento es solidario a la mariposa.



Figura 35. Sensor TPS del motor Ford

Sensor de captación del perfil de ignición PIP

El sensor PIP es el encargado de informar a la unidad de control electrónico sobre la velocidad y posición del cigüeñal, para que así la ECU sepa cuando activar o desactivar los inyectores, este sensor se encuentra ubicado en la parte interna del distribuidor.



Figura 36. Sensor PIP del motor Ford

Sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno o sonda lambda tiene la misión de monitorear la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape, con esta información la ECU puede realizar los ajustes correspondientes para mejorar la proporción de la mezcla, este sensor se encuentra ubicado en el múltiple de escape.



Figura 37. Sensor de oxígeno del motor Ford

Válvula de control de aire en ralentí (IAC)

La válvula IAC tiene como función principal la de estabilizar la velocidad del motor tanto en frío, como en condiciones de operación, incrementando el paso de aire a la cámara de combustión. Esta válvula se encuentra ubicada en el cuerpo de aceleración.

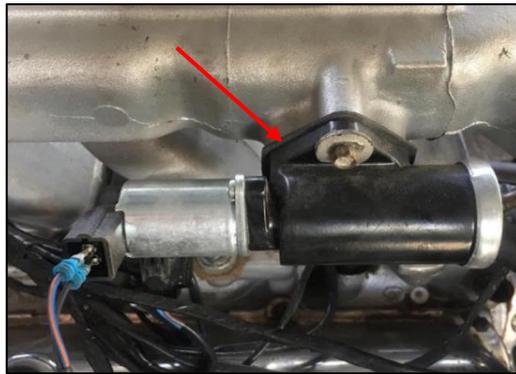


Figura 38. Válvula IAC del motor Ford

Bomba eléctrica de combustible

La bomba de combustible tiene como función principal succionar combustible del reservorio y transmitirlo hacia los inyectores con una presión que bordea entre los 35 y 55 psi.



Figura 39. Bomba eléctrica de combustible del motor Ford

Bobina de encendido con distribuidor electrónico

La bobina de encendido genera un voltaje de alta tensión, lo hace a través de la inducción electromagnética. Mediante el giro del distribuidor el voltaje es enviado a cada una de las bujías para generar la combustión de la mezcla.



Figura 40. Bobina de encendido y distribuidor del motor Ford

Inyectores

Los 6 inyectores del motor Ford se encuentran por encima del mismo, en medio de las dos tapas de válvulas, son comandados por la unidad de control electrónica y se encargan de surtir la cantidad idónea de combustible en cada cilindro.



Figura 41. Inyector del motor Ford

Válvula de recirculación de gases de escape neumática EGR

La válvula tiene como propósito permitir el paso de una cierta cantidad de gases combustionados hacia el múltiple de admisión, su activación va de la mano de la depresión generada en el múltiple de admisión.



Figura 42. Recirculación de gases de escape EGR

3.4. Diagrama e instalación del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI.

La conexión del encendido, así como del tablero de control se realizó por fuente y opinión propia de los investigadores, en el diagrama siguiente se presenta su distribución.

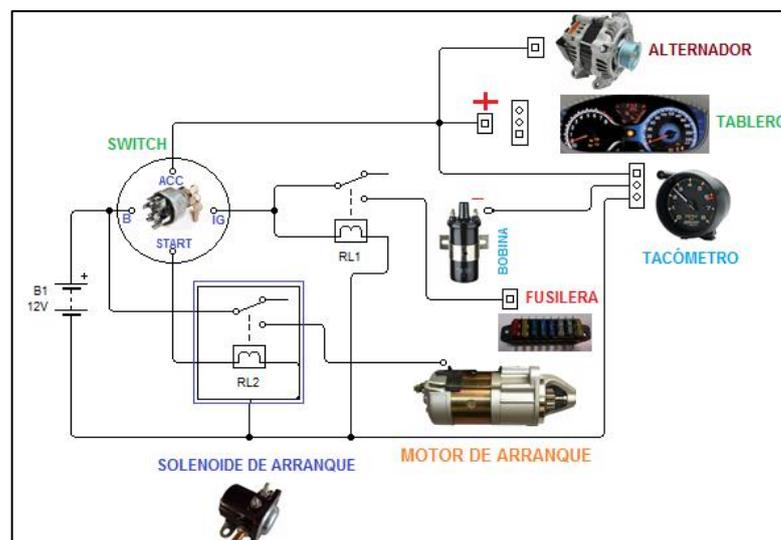


Figura 43. Conexión de encendido

3.5. Puesta a punto del motor

En su libro sobre sistemas automotrices (Alonso, 1998) menciona que: poner a punto el sistema de encendido, significa hacer saltar la chispa en el cilindro en el momento oportuno, es decir, disponer el distribuidor de tal forma, que las chispas salten en las bujías cuando los respectivos cilindros estén en condiciones de realizar la explosión. p. 283

Al motor Ford 2.9L se le ha sustituido el distribuidor con módulo electrónico y la puesta a punto se lo realizó de la siguiente manera:

- Se identificó en el motor el cilindro N.º 1 y se retiró la bujía.
- Como es un motor en V se retiró la tapa de válvulas del lado en el que está el cilindro N.º 1.
- Se giró entonces la polea del cigüeñal con la ayuda de una llave hasta que el cilindro N.º 1 se encuentre en el tiempo compresión.
- Para saber cuándo el cilindro N.º 1 se encontraba en el tiempo de compresión, sin encender el motor, se observó las válvulas que controlan el paso y salida de gases del cilindro, es decir tanto la válvula de admisión como la de escape, deben estar cerradas.
- Otra condición importante que se cumplió, es la de colocar una marca de referencia en la polea del cigüeñal una vez que se concluyó el paso anterior, esta marca corresponderá al punto cero, debido a que en ese instante se realizará el salto de la chispa en el primer cilindro.
- Se desmontó el distribuidor electrónico dañado y se instaló el distribuidor nuevo para lo cual se tuvo que sacar la tapa, y el rotor se debe colocar de tal manera que este apunte al puerto de salida que suministra la corriente eléctrica a la bujía cilindro N.º 1.
- Se debió ajustar el distribuidor de tal manera que se mantenga fijo y no gire.

- Se armó la tapa de válvulas y se colocó de nuevo la bujía del cilindro N.º 1.
- Se colocó nuevamente la tapa del distribuidor y los cables de bujías siguiendo el orden de encendido (1-4-2-5-3-6) y teniendo en cuenta el sentido de giro del rotor, en este caso en sentido horario.
- Como último paso encendió el motor y se comprobó el correcto funcionamiento.

Después de comprobar que el motor no presentó ninguna anomalía en su funcionamiento se realizó el mantenimiento preventivo del motor que consistió en:

- Cambio de aceite de motor
- Reemplazo de la banda de accesorios
- Sustitución del filtro de aire
- Sustitución del filtro de combustible
- Sustitución y calibración de bujías de encendido
- Sustitución de los cables de las bujías

3.6. Herramientas de diagnóstico automotriz electrónico

Son herramientas que permiten determinar el funcionamiento de componentes electrónicos del motor en tiempo real, con diferentes escalas, magnitudes o representaciones, según sea el caso.

3.6.1. Multímetro automotriz

(Augeri, Módulo I Manejo de equipos, 2016), define que el multímetro automotriz es: “Un instrumento eléctrico portátil para medir directamente

magnitudes eléctricas activas como corrientes y tensiones o pasivas, como resistencias y capacidades”



Figura 45. Multímetro automotriz

3.6.2. Escáner Master Launch X-431

Para poder obtener los datos de cada uno de los sensores a ser estudiados es necesario utilizar equipos electrónicos de diagnóstico, los cuales permiten ingresar al flujo de datos y de una manera rápida obtener los PID's en tiempo real. (Cervantes & Espinosa , 2009), afirman que “Es importante contar con una herramienta de diagnóstico que permita conocer cada una de las variables que ocasionaron el problema, lo que permitirá tener un automóvil en buenas condiciones, disminuyendo el consumo de combustible y mejorando la calidad de aire.” p. 9

(Morales & Valverde, 2010) reiteran que “En la actualidad existen en el mercado múltiples herramientas de diagnóstico automotriz con diversas características funcionales, tales que hacen a cada dispositivo mas versátil, cómodo, funcional entre otras muchas características.” p .56

Como se menciona anteriormente es fundamental elegir un escáner que pueda ingresar al flujo de datos de manera rápida y sin complicaciones. El motor Ford 2.9L es perfectamente compatible con el escáner Master Launch X 431.



Figura 46. Escáner automotriz Master Launch X-431

El su sitio web sobre asesoramiento mecánico automotriz [Auto Avance, 2017], explica que: el escáner Launch en su versión mejorada X431 Master, dispone de pantalla táctil, impresora integrada, su base de datos está extendida a 40 marcas de vehículos con modelos europeos, americanos y asiáticos, la adaptabilidad de este escáner lo hace compatible a toda clase de vehículos debida a que viene incluido con su dotación de serie de todos los conectores de diagnóstico más el CANBUS. Alimentación de 12 y 24 voltios. Una de las ventajas más destacadas se encuentra en la comunicación con el vehículo es más rápida que su antecesor, gracias a la nueva estructura del hardware del Launch Master X431. Puede diagnosticar todos los vehículos que posean toma de diagnóstico de 16PIN con un sólo conector.

3.6.3. Escáner Carman Scan VG64

El oscilograma automotriz se puede definir como una interfase gráfica que permite visualizar en tiempo real las señales eléctricas. (Calsina, 2010), expone que: “el osciloscopio automotriz permite controlar y diagnosticar las fallas mediante el despliegue de oscilogramas de las señales en los sensores, controladores y actuadores, las cuales deben cumplir o reproducir los oscilogramas patrones, establecidos en los manuales de mantenimiento del automóvil.” p. 23

[InForm Alliance ISC, 2016], en su sitio web referente a equipos de diagnóstico de la marca Carman expone: El escáner Carman Scan VG64 es una herramienta de diagnóstico profesional automotriz, tiene un software basada en PC, su pantalla es de 7 pulgadas táctil LCD, además tiene una función de osciloscopio digital de alta velocidad conformado por 4 canales de diagnóstico, cuenta también con las funciones de multímetro digital, controlador activador y el sensor simulador.



Figura 47. Osciloscopio en el escáner Carman Scan VG64

[InForm Alliance ISC, 2016]: Las funcionalidades de la versión VG64 es muy amplia, además de identificar códigos de falla mediante la conexión con el zócalo a bordo, tiene un apartado llamado “motortester” el cual le permite al técnico identificar cualquier tipo de avería de un sistema determinado. Cuenta con una memoria enmasada de 64Mb la cual le permite reaccionar de una manera muy rápida frente a diagnósticos como: códigos de problema, los datos actuales, activación, adaptaciones, calibraciones y procedimientos de servicio.

La funcionalidad de osciloscopio del escáner Carman Scan VG64, fue la que se utilizó para obtener las gráficas de cada uno de los componentes que conforman el sistema de inyección electrónica del motor Ford.

[Auto Avance, s.f.], indica que: Cualquier lectura de medición puede ser desplegada en un gráfico que muestre los cambios en un lapso de tiempo. Picos y fallas y la mayoría de cambios durante un minuto son claramente visibles, posee la captura de pantalla que le permite diferenciar perfectamente entre una señal normal y una inusual, además de poseer múltiples opciones que lo hacen muy versátil al momento de tomar mediciones.

3.7. Parámetros de información de diagnóstico del sistema de control electrónico Ford EFI a distintas condiciones de operación del motor

Es importante tener en consideración ciertas acciones al momento de realizar el registro de datos de los diferentes sensores del motor Ford.

- El motor debe encontrarse en un lugar plano y estable.
- Realizar un check-list de los diferentes sistemas del motor y revisar que los reservorios del motor se encuentren con el nivel recomendado por el fabricante.

- En algunos procesos para la obtención de datos es necesario encender el motor, por este motivo se recomienda que no exista ningún tipo de elemento que pueda obstruir sus partes móviles.
- Algunos puntos de medición se encuentran cerca de elementos calientes como el tubo de escape o el múltiple de escape, es necesario que utilice el equipo de protección adecuado para evitar accidentes o quemaduras.

3.7.1. Pruebas del sensor de temperatura del refrigerante ECT

Localizar el sensor ECT en el motor, éste se encuentra roscado en el bloque de cilindros.

Identificar el conector DLC (data link conector), este se encuentra en el panel frontal, cercano al tablero de instrumentos. Conectar el escáner y ubicarlo en una superficie estable.

Colocar el switch en KOEO es decir en “contacto”, encender el escáner y proceder a ingresar los datos del motor.

Identificar los cables que conforman el sensor ECT para lo cual debe utilizar el multímetro (DC), conectar la punta positiva del multímetro a cualquier cable del sensor, luego conectar la punta negativa del multímetro a la carrocería (masa) si el voltaje arrojado está entre el rango de 30 a 80 mv ese cable será de masa. Por el contrario, si el voltaje que se mide se encuentra entre 3 y 4.5 v ese cable será el cable de señal y alimentación.

Las mediciones se realizan con el motor funcionando para lo cual se observa la temperatura del motor en el escáner y se registra al igual que el voltaje de señal del sensor con la ayuda del multímetro, simultáneamente se

mide también la resistencia del sensor, sólo que esta se debe tomar con el sensor desconectado.

Repetir el proceso de medición y realizar el registro de datos a cinco medidas diferentes de temperatura, es recomendable realizar la primera medición con el motor frío y las demás a diferentes rangos de operación del motor.

Tabla 11

Registro de valores del sensor ECT

Medición	Temperatura (°C)	Resistencia del sensor (kΩ)	Voltaje de señal (V)
1	18	3.95	3.32
2	30.8	2.01	2.64
3	53.4	0.91	1.79
4	75.8	0.33	0.91
5	95.9	0.24	0.52

3.7.2. Pruebas del sensor de temperatura del aire ACT

Localizar el sensor ACT en el motor, este sensor se encuentra roscado en el múltiple de admisión.

Identificar el conector DLC, conectar el escáner, colocar el switch en KOEO es decir en “contacto”, encender el escáner y proceder a ingresar los datos del motor.

El sensor ACT está conformado por 2 cables, para identificarlos se utilizó el multímetro, se empieza por el voltaje de masa (30 - 80 mv) y el voltaje de señal (2 - 3,5 v), el voltaje de alimentación se lo toma desconectado el sensor en el mismo cable de señal (5v).

Se realizan dos mediciones la primera con el motor en KOEO, “contacto”, y la segunda con el motor en KOER es decir “encendido”, se toma el valor de temperatura que mide el sensor y que se exhibe en el escáner, a la vez se toma nota del voltaje de señal con la ayuda del multímetro, sin tardar se desconecta el sensor y se mide la resistencia entre sus dos pines, se registra todo en la tabla. Finalmente se conecta nuevamente el sensor.

Tabla 12

Registro de valores del sensor ACT

Medición	Temperatura (°C)	Resistencia del termistor (KΩ)	Voltaje de señal (V)
KOEO	18	43.4	1.46
KOER	20	45.5	1.54

3.7.3. Pruebas del sensor de captación de perfil de ignición PIP

Ubicar el sensor PIP en el motor, este sensor se encuentra en el interior del distribuidor.

Con el motor en KOEO se identifica primero con el multímetro el cable de masa (30-80mv) del sensor, luego el cable de voltaje de alimentación (12v), para esto hay que asegurarse que este voltaje sea constante.

Para ubicar el cable de voltaje de señal se conecta el multímetro al cable del sensor sobrante y con el motor en KOEO se procede a girar la polea del cigüeñal y se observa la variación en el multímetro de 0 y 12v.

Para visualizar el oscilograma del sensor PIP, se conecta la punta positiva del osciloscopio al cable de voltaje de señal del sensor, y la punta negativa a un punto de masa cualquiera. Se coloca el motor en KOER y se observa la

gráfica de funcionamiento del sensor PIP (onda cuadrada). A las RPM que se encuentre en ralentí, se va a calcular el período total y el período de un cilindro con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{120000}{RPM}$$

Ecuación 25

$$T = \#cil. * t$$

Ecuación 26

Donde:

T = período

t = período de un cilindro

$\# cil$ = número de cilindros del motor

Obtener el oscilograma del sensor, en la gráfica ubicar el período total (T) y el período de un cilindro (t), llenar la tabla de valores.

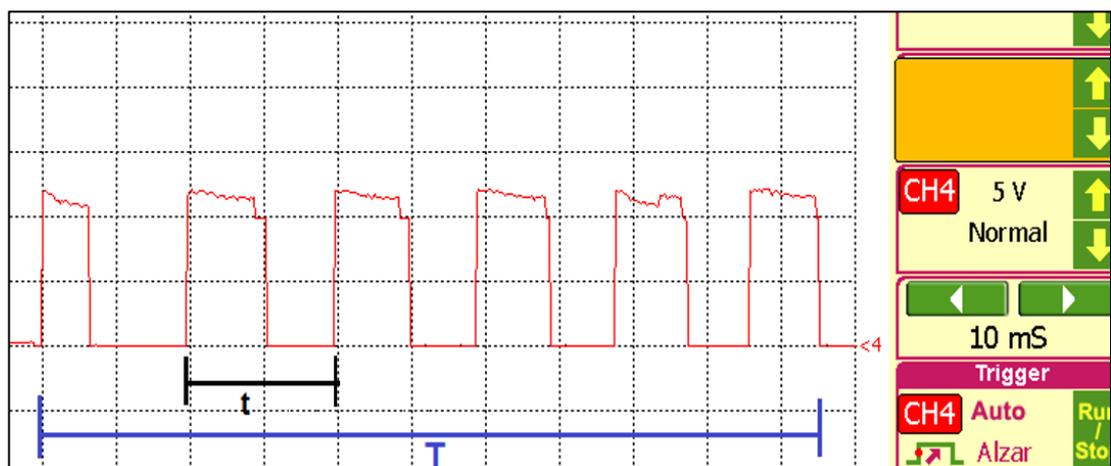


Figura 48. Oscilograma del sensor PIP

Tabla 13

Registro de valores del sensor PIP

Descripción	Valor
RPM	1050
Número de cilindros	6
Período total medido (T)	105 ms
Período total calculado (T)	114.28 ms
Período de un cilindro medido (t)	19.5 ms
Período de un cilindro calculado (t)	19.05 ms

3.7.4. Pruebas del sensor de posición del acelerador TPS

Localizar el sensor TPS en el motor, este sensor se encuentra ubicado en el cuerpo de aceleración. Luego reconocer el conector DLC y conectar el escáner.

Colocar el switch en la posición de KOEO y encender el escáner, luego se debe ubicar el apartado de PID's en el escáner para poder observar la variación (ángulo de apertura) del sensor TPS, para comprobar su funcionamiento se acciona la mariposa del acelerador y a la par se debe modificar el valor del ángulo de apertura del TPS en el escáner.

El sensor TPS está constituido por 3 cables, con la ayuda del multímetro identifique, cual cable conduce el voltaje de masa, voltaje de señal y el voltaje de referencia.

Seleccionar un ángulo de apertura del acelerador visualizándolo en el escáner, mantener fijo este valor, y medir el voltaje de señal haciendo uso del multímetro en la escala DC.

Luego sin mover el acelerador, desconectar el sensor y con el multímetro en la opción para medir resistencia hacer las mediciones: RAB y RBC como se observa en el gráfico:

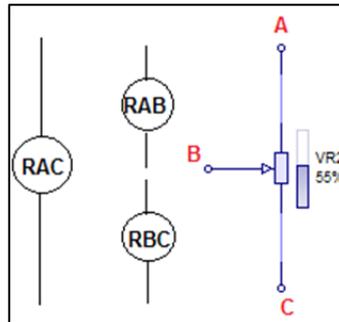


Figura 49. Resistencias del sensor TPS

Conectar nuevamente el sensor para comprobar que no cambió el ángulo de posición. Repetir 5 veces este procedimiento a distintas posiciones del acelerador, registrar las mediciones en la tabla siguiente.

Tabla 14

Registro de valores del sensor TPS

Medición	Apertura de la mariposa de aceleración (°)	Resistencia RAB (kΩ)	Resistencia RBC (kΩ)	Voltaje de señal (v)
1	0	4.09	1.37	0.97
2	18.1	3.91	2.25	1.56
3	38.3	3.09	2.59	2.21
4	60.2	1.79	3.04	3.18
5	79.4	0.99	3.88	4.09

Para obtener del oscilograma del sensor se conecta la punta positiva del osciloscopio al cable de voltaje de señal, y la punta negativa a cualquier punto de masa.

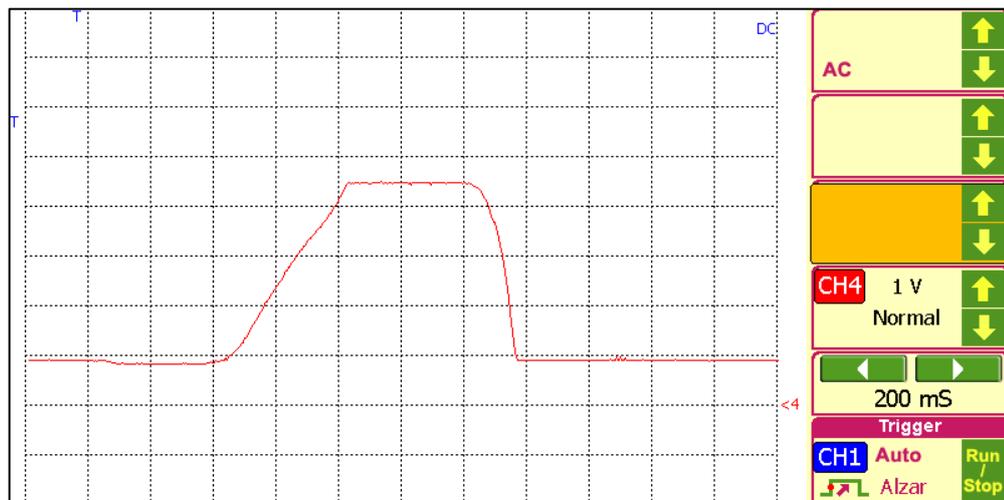


Figura 50. Oscilograma del sensor TPS

3.7.5. Pruebas del sensor de oxígeno

Localizar el sensor de oxígeno en el motor, este sensor se encuentra ubicado en el múltiple de escape. Es importante recordar que éste motor tiene el sistema OBDI y por lo tanto solo cuenta con un sensor de oxígeno.

El sensor de oxígeno está conformado por 4 cables, el primero (negro) conduce el voltaje de señal que tiene un rango de trabajo de 0.1 – 0.9 v, el segundo (gris) es de tierra y los dos restantes corresponden al calefactor que lleva incorporado en su parte interna (alimentación y tierra).

Para observar el oscilograma de funcionamiento de sensor de oxígeno, se procede a conectar de la siguiente manera, la punta positiva del osciloscopio se conecta en el cable de voltaje de señal del sensor y la punta negativa en cualquier punto de masa cercano al sensor.

Colocar el motor en la posición de KOER y encender el osciloscopio, modificar la escala de voltaje y tiempo para obtener una curva en donde se pueda observar la transición de mezcla rica a mezcla pobre y hacer una captura de pantalla. Identificar 5 puntos de manera estratégica a lo largo de la curva de transferencia como se muestra en la imagen y registrar los datos.

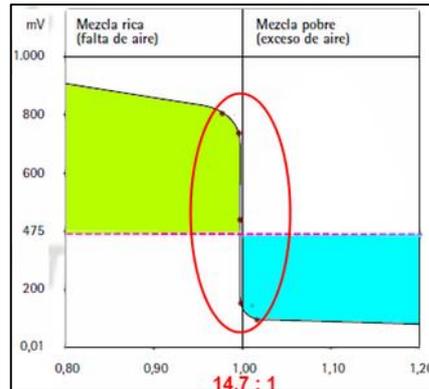


Figura 51. Curva de transferencia sensor de oxígeno

Fuente: [AutoDaewooSpark, 2017]

Se recomienda realizar esta medición con el motor a temperatura de funcionamiento.

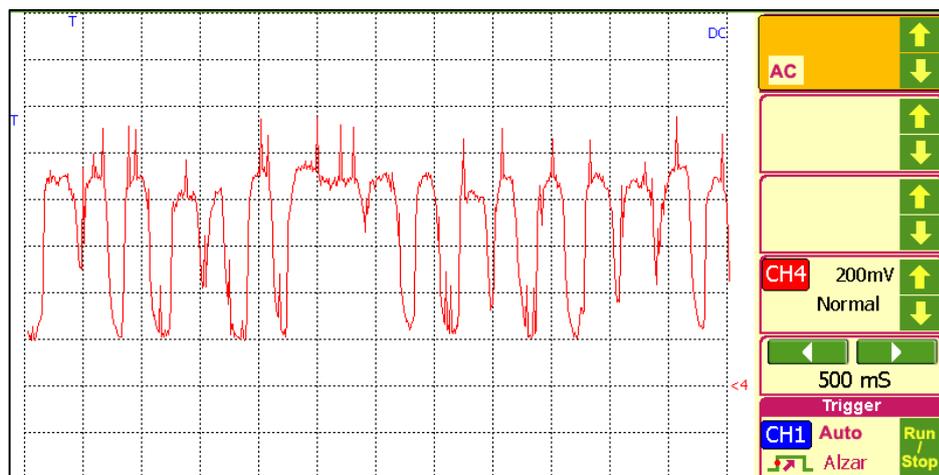


Figura 52. Oscilograma del sensor de oxígeno

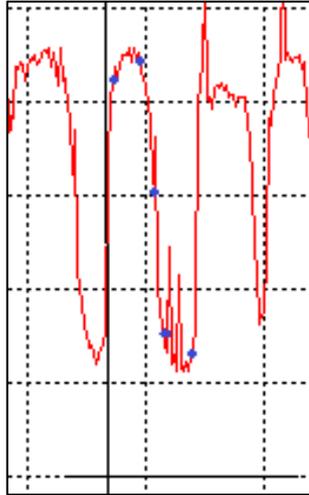


Figura 53. Puntos en la curva de transferencia del sensor de oxígeno

Tabla 15

Registro de valores del sensor de oxígeno

Medición	Voltaje de señal (V)	Tiempo (s)
1	0.85	0.041
2	0.885	0.1411
3	0.6	0.2066
4	0.3	0.2417
5	0.26	0.3665

3.7.6. Pruebas del sensor de presión absoluta del múltiple de admisión MAP

Hallar el sensor MAP en el motor, este sensor se encuentra ubicado en el cuerpo de aceleración o en algún lugar cercano al ducto de ingreso de aire, es importante revisar que el conjunto de cables y la manguera de vacío que conectan al sensor MAP no presenten rasgos de desgaste o cortes.

Colocar el switch en la posición de KOEO es decir en contacto.

Identificar el conector DLC, conectar el escáner y luego encenderlo, revisar en la pantalla del escáner que no se exhiba ningún código de diagnóstico de falla.

El sensor MAP está conformado por 3 cables, se utiliza un multímetro para identificar cual cable conduce el voltaje de señal, el voltaje de masa, o el voltaje de referencia.

En el escáner desplegar los valores de parámetros de información de diagnóstico PID's y fijarse en el valor presente de la presión de vacío.

Conectar la punta positiva del medidor de frecuencia al cable de voltaje de señal del sensor y la punta negativa a un punto de masa cercano cualquiera, observar el valor de frecuencia.

Colocar el switch en la posición de KOER, es decir encender el motor.

Con el motor en ralentí tomar nota de las revoluciones del motor, de la frecuencia presente en el cable de voltaje de señal y la presión de vacío generada.

Efectuar 4 mediciones a diferentes revoluciones de funcionamiento del motor y registrar los datos obtenidos en la tabla siguiente:

Tabla 16

Registro de valores del sensor MAP

Medición	RPM	Frecuencia (Hz)	Presión de vacío (inHg)
1	0	138.12	7
2	1050	107.29	17
3	1250	103.74	20
4	1390	101.42	22
5	1800	94.49	25

Obtener el oscilograma de sensor MAP conectando la punta positiva del osciloscopio al cable de voltaje de señal, y la punta negativa a un punto cualquiera de masa.

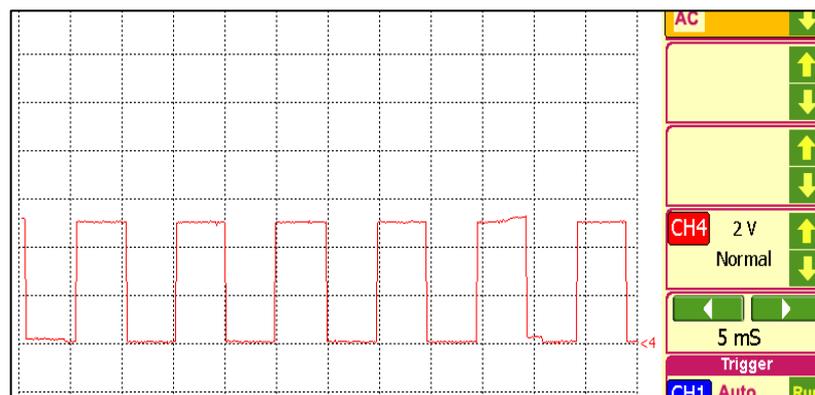


Figura 54. Oscilograma del sensor MAP

Apagar el motor y desconectar todos los equipos utilizados

3.7.7. Pruebas de inyectores

Localizar los inyectores en el motor. Los inyectores se encuentran por debajo del múltiple de admisión, en medio de las tapas de válvulas.

Para medir la resistencia del bobinado del inyector, con el motor apagado, se desconectan todos los inyectores y con el multímetro en la escala de Ω se

procede a medir la resistencia en los pines de cada uno y diagnosticarlos de la siguiente manera:

Tabla 17

Análisis del estado del funcionamiento de los inyectores

Resistencia (Ω)	Diagnóstico
0 - 5	Funcionamiento normal (inyectores de baja impedancia)
10 - 20	Funcionamiento normal (inyectores de alta impedancia)
$\Omega > 20$	Inyector en corto circuito
$\Omega = 0$	Bobinado del inyector abierto

Colocar el switch en la posición de KOEO es decir en contacto, el inyector está conformado por dos cables en su socket, con la ayuda de un multímetro se procede a identificar, el voltaje de alimentación (12v) y el voltaje de control de masa (80mv), que provienen de la ECU.

Al finalizar la medición se apaga completamente el motor y se vuelve a conectar todos los inyectores. Se puede usar de referencia la figura 55 para ingresar la información de manera ordenada.

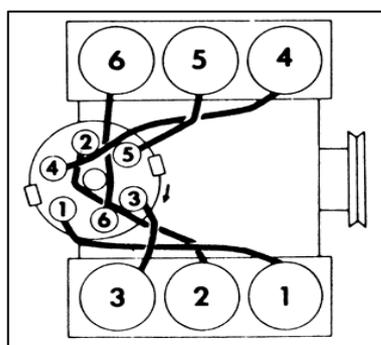


Figura 55. Orden de encendido del motor Ford

Fuente: [Bronco II Corral, 2017]

Para visualizar el oscilograma del funcionamiento del inyector se conecta la punta positiva del osciloscopio en el cable de control de masa del inyector y la punta negativa a masa del motor, se enciende el osciloscopio y se coloca el switch en KOER luego se ajusta la escala del osciloscopio hasta visualizar toda la curva.

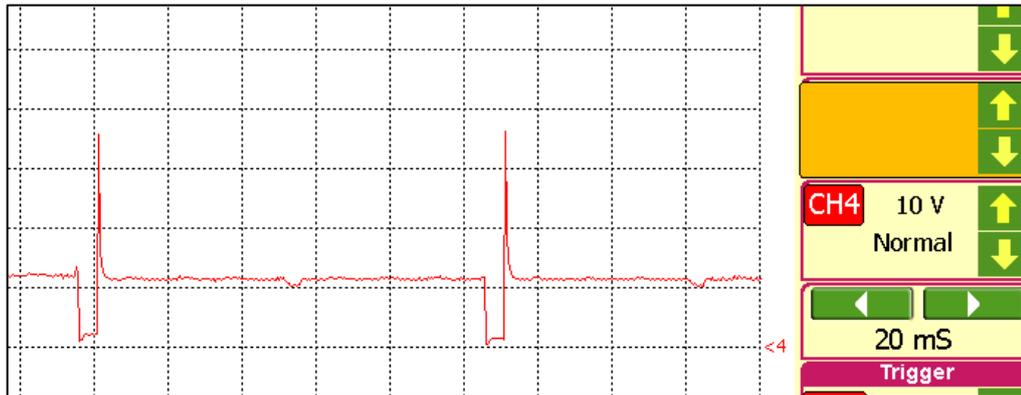


Figura 56. Oscilograma del inyector del cilindro #1

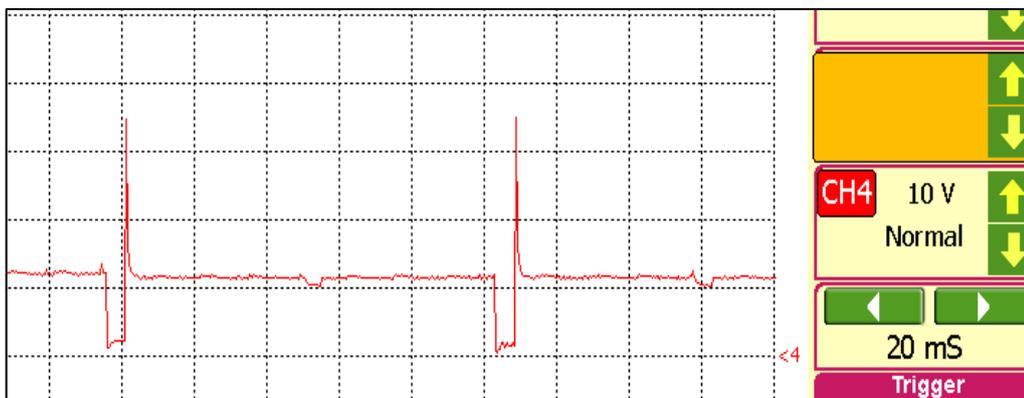


Figura 57. Oscilograma del inyector del cilindro #2

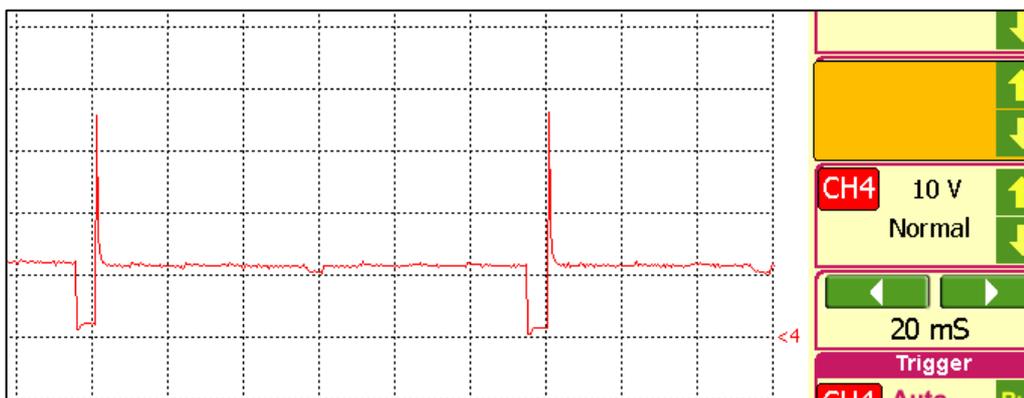


Figura 58. Oscilograma del inyector del cilindro #3

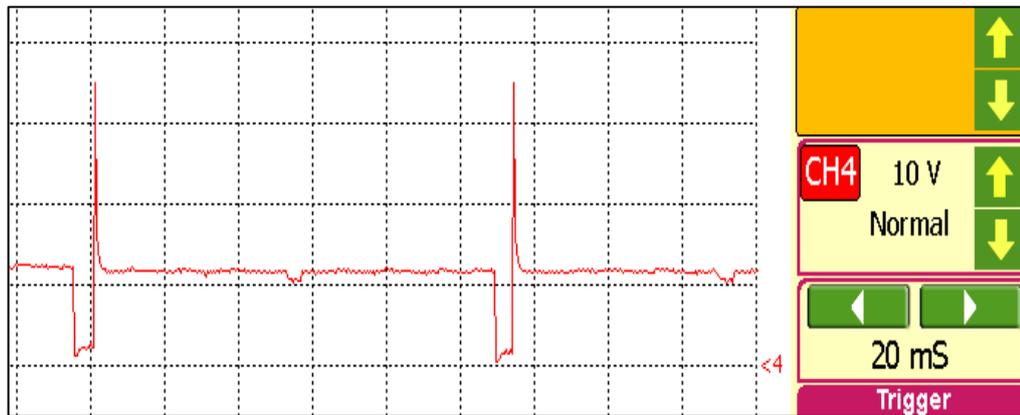


Figura 59. Oscilograma del inyector del cilindro #4

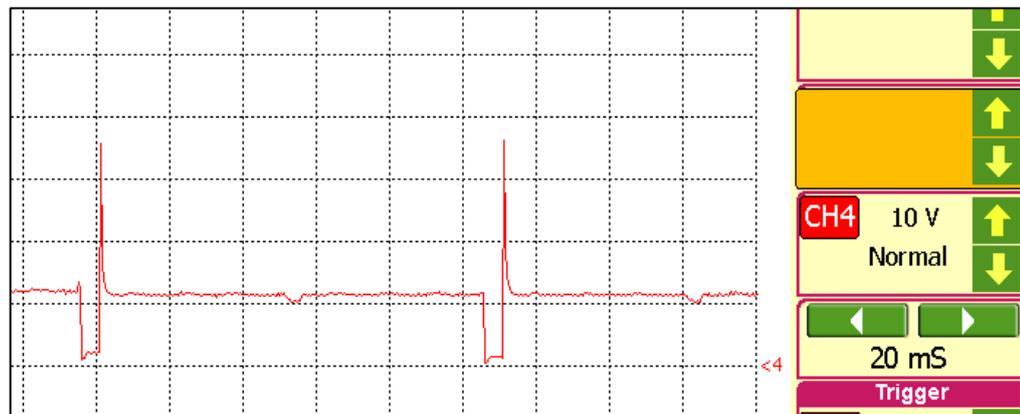


Figura 60. Oscilograma del inyector del cilindro #5



Figura 61. Oscilograma del inyector del cilindro #6

Obtenido el oscilograma cada uno de los inyectores calcular la relación de ciclo de trabajo CT de los mismos.

$$CT = \frac{T_i}{T_i + T_{off}}$$

Ecuación 27

Donde:

CT =Relación de ciclo de trabajo (%)

T_i = período de activación del inyector (ms)

T_{off} = período de desactivación (ms)

Tabla 18

Registro de los valores de los inyectores

Inyector	Resistencia del bobinado (Ω)	Voltaje de alimentación (V)	Voltaje de control de masa (V)	Períodos en el oscilograma (ms)		Relación de ciclo de trabajo CT (%)
				T_i	T_{off}	
1	2.6	11.93	21.7	5.5	104	5.023
2	2.7	11.94	20.9	6	103	5.505
3	2.6	11.94	4.2	6	114	5
4	14.4	11.93	24.3	6	109	5.217
5	2.6	11.93	4.8	5	105	4.545
6	14.5	11.92	3.9	5	104	4.587

3.7.8. Pruebas de la válvula de control de aire de ralentí IAC

Localizar la válvula IAC en el motor, esta válvula se encuentra ubicada en el cuerpo de aceleración. Luego identificar el cable de alimentación y el cable de control de masa con el multímetro.

Medir la resistencia del bobinado de la válvula, con el motor apagado, se retira su conector, con el multímetro en la escala de Ω se toma lectura de la resistencia en los pines de la válvula.

Luego, colocar el switch en la posición KOEO y medir el voltaje de alimentación y el voltaje de control de masa en el conector de la válvula, utilizando el multímetro en la escala DC, al finalizar la medición apagar el motor y conectar nuevamente la válvula.

Tabla 19

Registro de valores de la válvula IAC

Descripción	Valor
Resistencia del bobinado (Ω)	9.8
Voltaje de alimentación (v)	11.79
Voltaje de control de masa (mv)	88.3

Para visualizar el oscilograma del funcionamiento de la válvula IAC se conecta la punta positiva del osciloscopio en el cable de control de masa de la válvula y la punta negativa a masa del motor, se enciende el osciloscopio y se coloca el switch en KOER, encendido.

Se observa cómo se activa y desactiva la válvula a diferentes parámetros de funcionamiento, ralentí y aceleración brusca y finalmente se realiza una captura de pantalla.

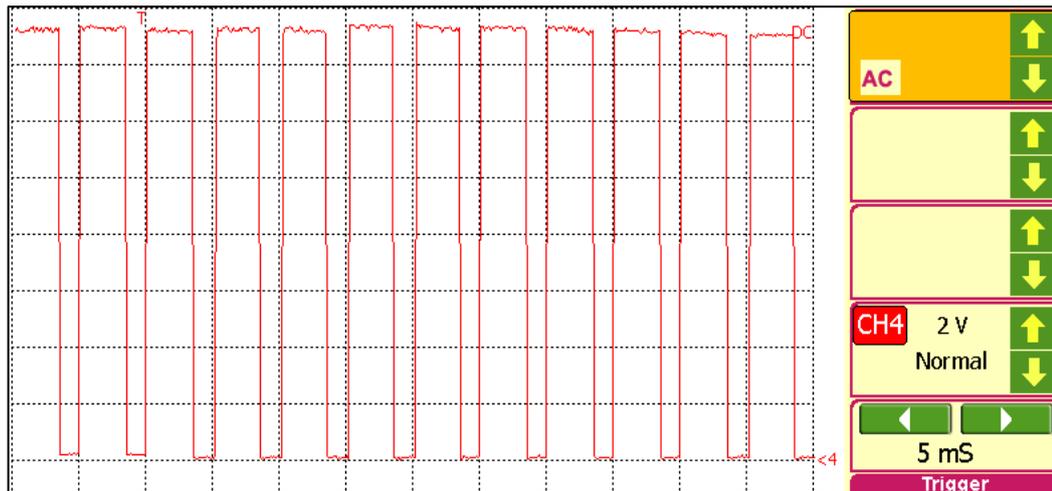


Figura 62. Oscilograma de la válvula IAC

Conclusiones del capítulo

- Se dio una pequeña reseña de los componentes que posee el motor Ford y la función que desempeñan en el mismo, también se dio a conocer las herramientas de diagnóstico automotriz ocupadas para la toma de datos.
- Se presentó los circuitos eléctricos instalados en el motor tanto el de control de inyección electrónica como el de encendido, además se definió el procedimiento seguido para la puesta de punto del motor Ford.
- Se establecieron los protocolos de prueba para la recopilación de parámetros de información de diagnóstico necesarios de sensores y actuadores, para su correspondiente análisis matemático.

CAPÍTULO IV

4. Matemización de los parámetros de información de diagnóstico y elaboración de guías interactivas

En este capítulo se describe el análisis matemático empleado en los parámetros de información de diagnóstico obtenidos en el anterior capítulo, clasificándolos a conveniencia para poderlos someter a un proceso de regresión sea lineal o no lineal, o a series de Fourier, con el fin de obtener funciones matemáticas que al graficarlas representen el óptimo funcionamiento de los componentes del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI. Además, se explica el proceso de la elaboración de las guías interactivas utilizables mediante ordenadores en las que se visualiza de una forma generalizada la toma de PID's y su modelamiento matemático.

4.1. Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de temperatura del refrigerante (ECT)

4.1.1. Resistencia del sensor vs temperatura del refrigerante

Los datos obtenidos en la tabla 11 se toman a consideración para el siguiente análisis, en el cual los valores de la resistencia del sensor representan a los valores de "Y" y los valores de la temperatura representan a los valores de "X", siendo así:

Tabla 20

Valores de la resistencia del sensor y temperatura del refrigerante, ECT

Nº	Y (resistencia del sensor)	X (temperatura)
1	3.95	18
2	2.01	30.8

CONTINÚA



3	0.91	53.4
4	0.33	75.8
5	0.24	95.9

Los datos recopilados se presentaron en el plano cartesiano para lo cual se hace uso del software graficador GRAPH.

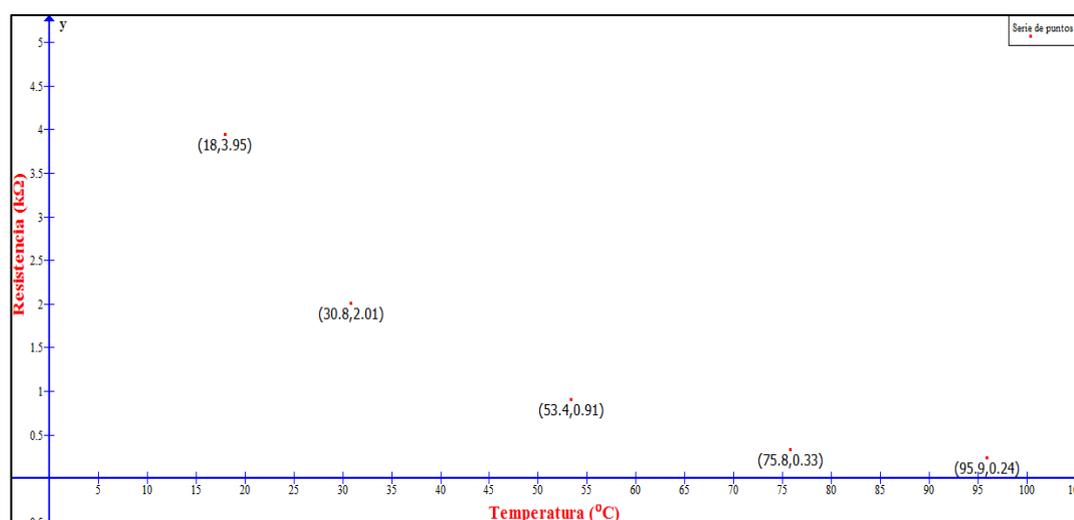


Figura 63. Diagrama de dispersión resistencia vs temperatura, ECT

Se observó que los puntos en el diagrama de dispersión tienen un comportamiento curvilíneo exponencial, con lo que se resuelve emplear un análisis de regresión de tipo no lineal exponencial, se debió completar la siguiente tabla de valores, mismos que se hallaron a partir de cálculos realizados con los valores de PID's de la tabla 20, quedando de esta manera:

Tabla 21

Valores calculados, resistencia y temperatura del refrigerante, ECT

Nº	X	Y	$\log Y$	X^2	$X \cdot \log Y$
1	18	3.95	0.596	324	10.738
2	30.8	2.01	0.303	948.64	9.338
3	53.4	0.91	-0.040	2851.56	-2.187

CONTINÚA 

4	75.8	0.33	-0.481	5745.64	-36.496
5	95.9	0.24	-0.619	9196.81	-59.437
$\sum X$		$\sum \log Y = -0.242$		$\sum X^2$	$\sum X \cdot \log Y$
= 273.9				= 19066.65	= -78.044

4.1.2. Regresión exponencial de datos

Luego, se reemplazó los valores obtenidos en la tabla 21, en las ecuaciones 11 y 12, y resolviendo se logró un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, mismo que dio como resultado:

$$\begin{cases} \sum \log y = \log \alpha \cdot N + \log \beta \cdot \sum x \\ \sum x \cdot \log y = \log \alpha \cdot \sum x + \log \beta \cdot \sum x^2 \end{cases}$$

$N = 5$ (Número de datos del sensor)

$$\begin{cases} -0.242 = \log \alpha \cdot 5 + \log \beta \cdot 273.9 \\ -78.044 = \log \alpha \cdot 273.9 + \log \beta \cdot 19066.65 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 5 \cdot \log \alpha + 273.9 \cdot \log \beta = -0.242 \\ 273.9 \log \alpha + 19066.65 \cdot \log \beta = -78.044 \end{cases}$$

$$\log \alpha = \frac{\Delta \alpha}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} -0.242 & 273.9 \\ -78.044 & 19066.65 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & 273.9 \\ 273.9 & 19066.65 \end{vmatrix}}$$

$$\log \alpha = \frac{-4614.129 - (-21376.252)}{95333.25 - 75021.21}$$

$$\log \alpha = \frac{16762.123}{20312.04}$$

$$\log \alpha = 0.825$$

$$\alpha = 6.68071315$$

$$\log\beta = \frac{\Delta\beta}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 5 & -0.242 \\ 273.9 & -78.044 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & 273.9 \\ 273.9 & 19066.65 \end{vmatrix}}$$

$$\log\beta = \frac{-390.22 - (-66.284)}{95333.25 - 75021.21}$$

$$\log\beta = \frac{-323.936}{20312.04}$$

$$\log\beta = -0.0159$$

$$\beta = 0.96395742$$

4.1.3. Función obtenida y curva generalizada

Una vez hallados los valores de los estimadores de los parámetros conocidos de la curva se reemplazaron en la ecuación de tipo exponencial, dejando una función que se graficó y que demuestra la operación teórica del sensor al relacionar su resistencia y su temperatura de operación.

$$y = \alpha \cdot \beta^x$$

$$y = 6.68071315 \cdot 0.96395742^x$$

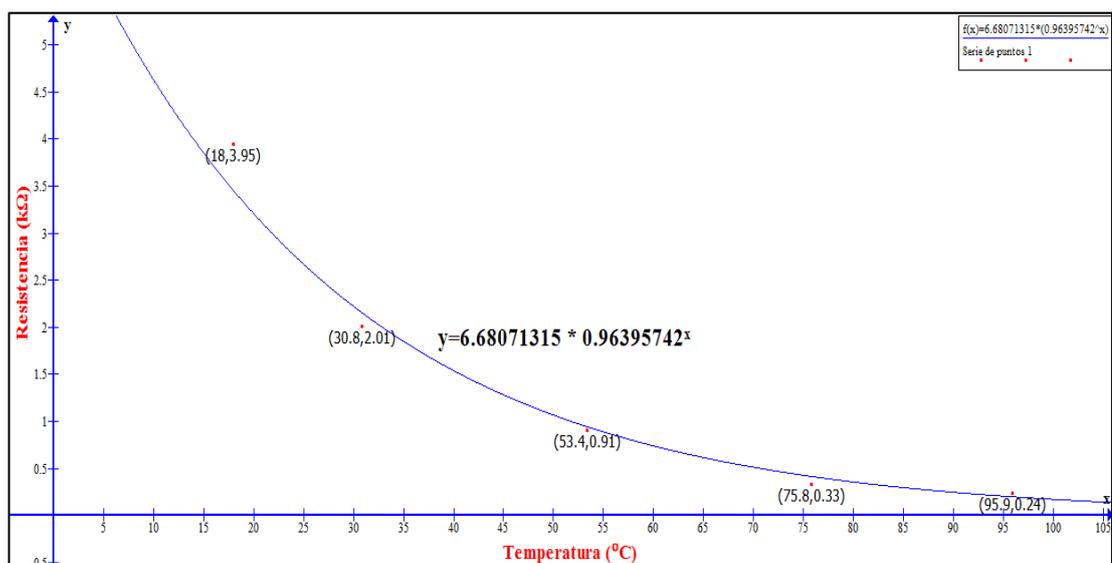


Figura 64. Curva de funcionamiento resistencia vs temperatura, ECT

4.1.4. Voltaje de señal vs temperatura del refrigerante

Se toman a consideración los datos de voltaje de señal y temperatura de la tabla 11 para el próximo análisis, los valores de voltaje de señal del sensor representan a los valores de “Y” y los valores de la temperatura representan a los valores de “X”.

Tabla 22

Valores de voltaje de señal y temperatura del refrigerante, ECT

Nº	Y (voltaje de señal)	X (temperatura)
1	3.32	18
2	2.64	30.8
3	1.79	53.4
4	0.91	75.8
5	0.52	95.9

Los datos presentes en la tabla 22 se representaron en el plano cartesiano para lo cual se hizo uso del software GRAPH.

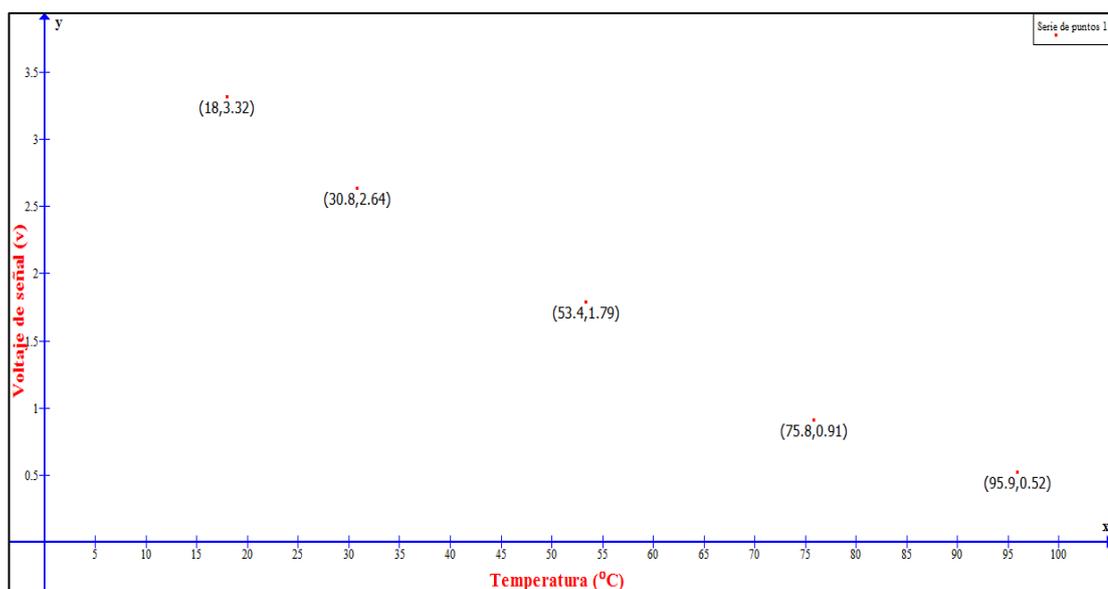


Figura 65. Diagrama de dispersión resistencia vs temperatura, ECT

Los puntos en el diagrama de dispersión tuvieron un comportamiento curvilíneo exponencial, se decidió ocupar un análisis de regresión de tipo no lineal exponencial, para lo cual hubo que completar la siguiente tabla de valores:

Tabla 23

Valores calculados, voltaje de señal y temperatura del refrigerante, ECT

Nº	X	Y	logY	X ²	X.logY
1	18	3.32	0.547	400	10.94
2	30.8	2.64	0.164	1600	6.56
3	53.4	1.79	-0.176	3600	-10.56
4	75.8	0.91	-0.479	6400	-38.32
5	95.9	0.52	-0.752	10000	-75.2
$\sum X$ = 273.9		$\sum \log Y = 0.871$		$\sum X^2$ = 19066.65	$\sum X \cdot \log Y = 5.528$

4.1.5. Regresión exponencial de datos

Se sustituyó los valores de la tabla 23 en las ecuaciones 11 y 12, y resolviendo se obtuvo un sistema de ecuaciones con dos incógnitas.

$$\begin{cases} \sum \log y = \log \alpha \cdot N + \log \beta \cdot \sum x \\ \sum x \cdot \log y = \log \alpha \cdot \sum x + \log \beta \cdot \sum x^2 \end{cases}$$

$N = 5$ (Número de datos del sensor)

$$\begin{cases} 0.871 = \log \alpha \cdot 5 + \log \beta \cdot 273.9 \\ 5.528 = \log \alpha \cdot 273.9 + \log \beta \cdot 19066.65 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 5 \cdot \log \alpha + 273.9 \cdot \log \beta = 0.871 \\ 273.9 \log \alpha + 19066.65 \cdot \log \beta = 5.528 \end{cases}$$

$$\log \alpha = \frac{\Delta \alpha}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 0.871 & 273.9 \\ 5.528 & 19066.65 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & 273.9 \\ 273.9 & 19066.65 \end{vmatrix}}$$

$$\log \alpha = \frac{16607.052 - (1514.119)}{95333.25 - 75021.21}$$

$$\log \alpha = \frac{15092.933}{20312.04}$$

$$\log \alpha = 0.743$$

$$\alpha = 5.52982506$$

$$\log \beta = \frac{\Delta \beta}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 5 & 0.871 \\ 273.9 & 5.528 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & 273.9 \\ 273.9 & 19066.65 \end{vmatrix}}$$

$$\log \beta = \frac{27.64 - (238.567)}{95333.25 - 75021.21}$$

$$\log \beta = \frac{-210.927}{20312.04}$$

$$\log \beta = -0.0103$$

$$\beta = 0.97638388$$

4.1.6. Ecuación obtenida y curva generalizada

Obtenidos ya los valores de los estimadores de los parámetros conocidos de la curva se reemplazaron en la ecuación de tipo exponencial, dejando una función que al graficarla demuestra la operación teórica del sensor al relacionar su voltaje de señal y su temperatura de operación.

$$y = \alpha \cdot \beta^x$$

$$y = 5.52982506 \cdot 0.97638388^x$$

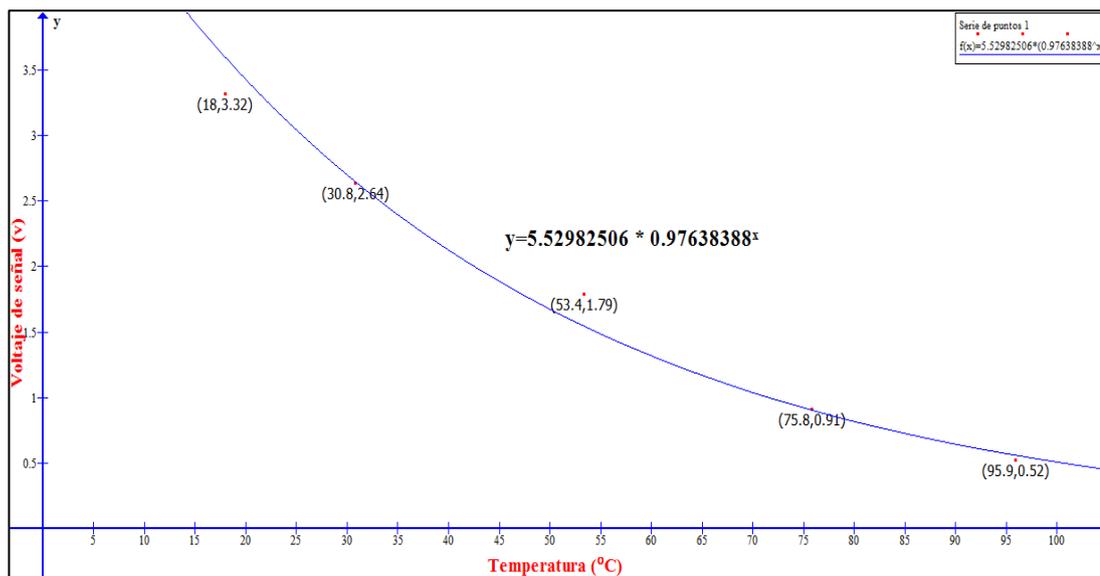


Figura 66. Curva de funcionamiento voltaje de señal vs temperatura, ECT

4.2. Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de posición del acelerador (TPS)

4.2.1. Voltaje de señal vs resistencia del sensor RAB

Se tomó en cuenta los datos del sensor TPS recopilados en la tabla 14, definiendo los valores del voltaje de señal como los valores de “Yi” y los valores de la resistencia RAB como los valores de “Xi”.

Tabla 24

Valores de voltaje de señal y resistencia RAB del sensor TPS

Nº	Yi (voltaje de señal)	Xi (resistencia RAB)
1	0.97	4.09
2	1.56	3.91
3	2.21	3.09
4	3.18	1.79
5	4.09	0.99

Los valores correspondientes a “Yi” y a “Xi”, se representaron en el plano cartesiano, usando como herramienta informática el software GRAPH, obteniendo el siguiente diagrama:

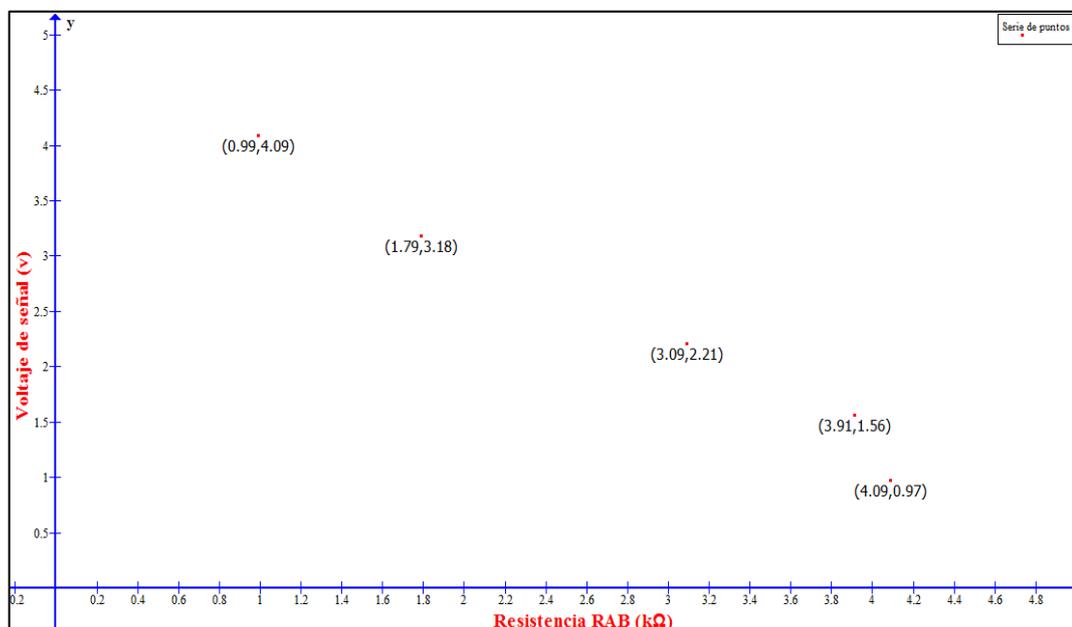


Figura 67. Diagrama de dispersión voltaje de señal vs resistencia RAB, TPS

Los puntos representados en el diagrama de dispersión tuvieron comportamiento lineal descendente por lo que se decidió analizarlos con el modelo de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, siendo de gran importancia completar la siguiente tabla de valores:

Tabla 25

Valores calculados, voltaje de señal y resistencia del sensor RAB, TPS

Nº	X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	4.09	0.97	16.728	0.941	3.967
2	3.91	1.56	15.288	2.434	6.099
3	3.09	2.21	9.548	4.884	6.828
4	1.79	3.18	3.204	10.112	5.692

CONTINÚA



5	0.99	4.09	0.980	16.728	4.049
$\sum Xi$ = 13.87	$\sum Yi$ = 12.01	$\sum Xi^2$ = 45.749	$\sum Yi^2 = 35.099$	$\sum Xi.Yi$ = 26.637	

4.2.2. Regresión lineal de datos

Los valores obtenidos en la tabla 25 se sustituyeron en las ecuaciones de regresión 8, 7, 6, 5, 4 y 3 de esta manera se obtuvieron valores esenciales para el cálculo de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β .

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

$$S_{xy} = 26.637 - \frac{(13.87)(12.01)}{5}$$

$$S_{xy} = -6.679$$

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

$$S_{xx} = 45.749 - \frac{(13.87)^2}{5}$$

$$S_{xx} = 7.274$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{12.01}{5} = 2.402$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{13.87}{5} = 2.774$$

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{-6.679}{7.274} = -0.91826341$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 2.402 - (-0.918)(2.774) = 4.94926271$$

4.2.3. Ecuación obtenida y curva generalizada

Por último, se reemplaza los valores de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β en la ecuación de tipo lineal y se grafica la función obtenida en GRAPH, la curva resultante muestra el funcionamiento ideal teórico del sensor TPS.

$$a = \alpha ; \quad b = \beta$$

$$y = \alpha + \beta x$$

$$y = 4.94926271 - 0.91826341x$$

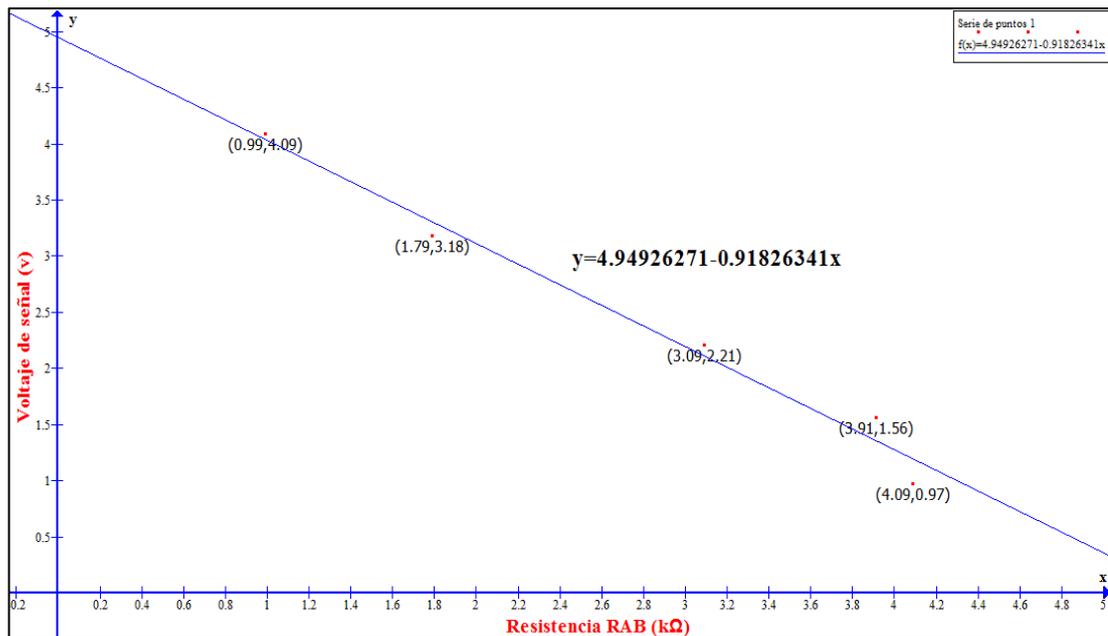


Figura 68. Curva de funcionamiento voltaje de señal vs resistencia RAB, TPS

4.2.4. Voltaje de señal vs resistencia del sensor RBC

En este análisis a diferencia del anterior se tomaron los datos de la tabla 14 teniendo en cuenta los valores de la resistencia RBC como los valores de

“Xi”, y los mismos valores del voltaje de señal del sensor TPS como los valores de “Yi”, se expresan en la tabla siguiente:

Tabla 26

Valores de voltaje de señal y resistencia RBC del sensor TPS

Nº	Yi (voltaje de señal)	Xi (resistencia RBC)
1	0.97	1.37
2	1.56	2.25
3	2.21	2.59
4	3.18	3.04
5	4.09	3.88

Se representaron entonces, los valores de “Yi” y “Xi” en el plano cartesiano, usando el software GRAPH, obteniendo el diagrama:

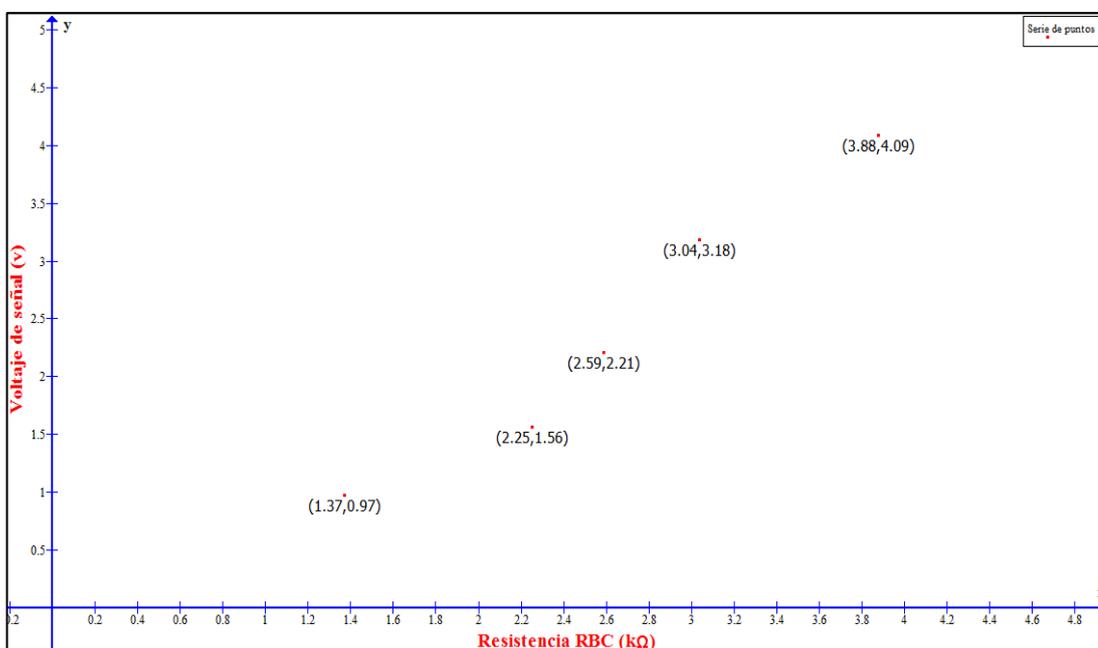


Figura 69. Diagrama de dispersión voltaje de señal vs resistencia del sensor RBC, TPS

Los puntos graficados en el diagrama de dispersión mostraron comportamiento lineal ascendente por lo que se resolvió analizarlos también con el modelo de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, siendo necesario completar primero la siguiente tabla de valores:

Tabla 27

Valores calculados, voltaje de señal y resistencia del sensor RBC, TPS

Nº	X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	1.37	0.97	1.878	0.941	1.329
2	2.25	1.56	5.063	2.434	3.510
3	2.59	2.21	6.708	4.884	5.724
4	3.04	3.18	9.241	10.112	9.667
5	3.88	4.09	15.054	16.728	15.869
	$\sum X_i$ = 13.13	$\sum Y_i$ = 12.01	$\sum X_i^2$ = 37.944	$\sum Y_i^2 = 35.099$	$\sum X_i \cdot Y_i$ = 36.099

4.2.5. Regresión lineal de datos

Los valores calculados en la tabla 27 sirvieron para hacer uso de las ecuaciones de regresión 8, 7, 6, 5, 4 y 3, así se obtuvieron valores fundamentales para el cálculo de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β .

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

$$S_{xy} = 36.099 - \frac{(13.13)(12.01)}{5}$$

$$S_{xy} = 4.561$$

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

$$S_{xx} = 37.944 - \frac{(13.13)^2}{5}$$

$$S_{xx} = 3.464$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{12.01}{5} = 2.402$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{13.13}{5} = 2.626$$

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{4.561}{3.464} = 1.31662298$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 2.402 - (1.316)(2.626) = -1.05545195$$

4.2.6. Ecuación obtenida y curva generalizada

Al final, se reemplaza los valores obtenidos de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β en la ecuación de tipo lineal y se grafica la función obtenida, la curva alcanzada muestra el funcionamiento ideal teórico del sensor TPS de sus variables analizadas en el proceso.

$$a = \alpha ; \quad b = \beta$$

$$y = \alpha + \beta x$$

$$y = -1.05545195 + 1.31662298x$$

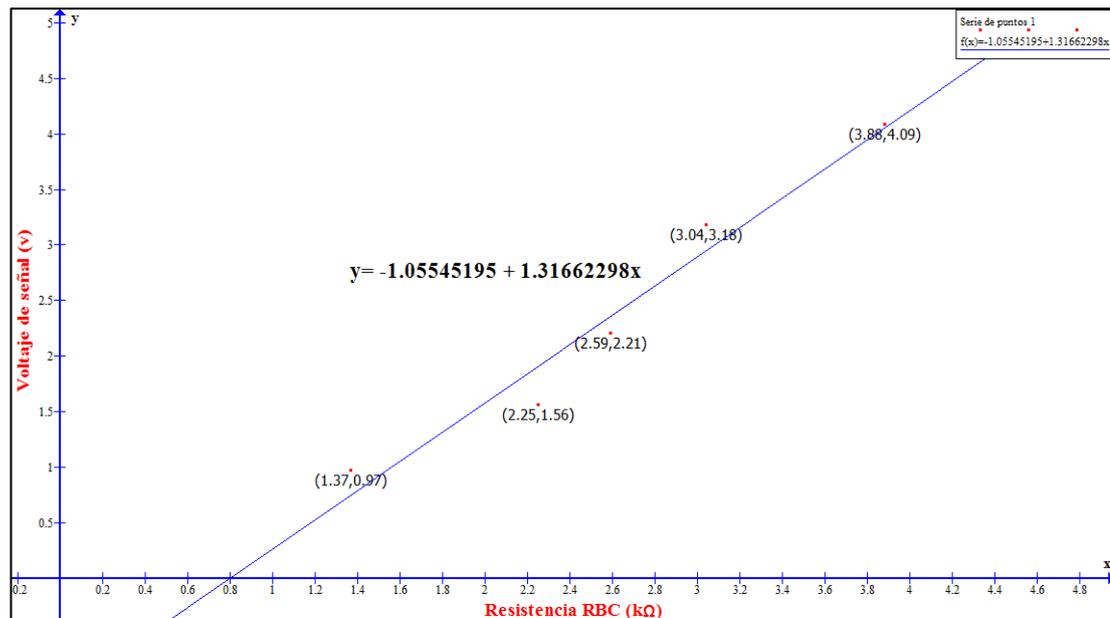


Figura 70. Curva de funcionamiento voltaje de señal vs resistencia RBC, TPS

4.3. Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de oxígeno

4.3.1. Voltaje de señal vs tiempo

En este análisis se ocupó los datos localizados anteriormente en la curva de transferencia del sensor de oxígeno presentes en la tabla 15, precisando los valores del voltaje de señal del sensor como los valores de “Yi” y los valores del tiempo como los valores de “Xi”.

Tabla 28

Valores de voltaje de señal y tiempo del sensor de oxígeno

Nº	Yi (voltaje de señal)	Xi (tiempo)
1	0.85	0.41
2	0.885	0.1411
3	0.6	0.2067

CONTINÚA



4	0.3	0.2417
5	0.26	0.3665

A continuación, se representaron los valores correspondientes a “Yi” y a “Xi”, tomándolos en cuenta como puntos en el plano, con la ayuda del programa GRAPH, se obtuvo el siguiente diagrama:

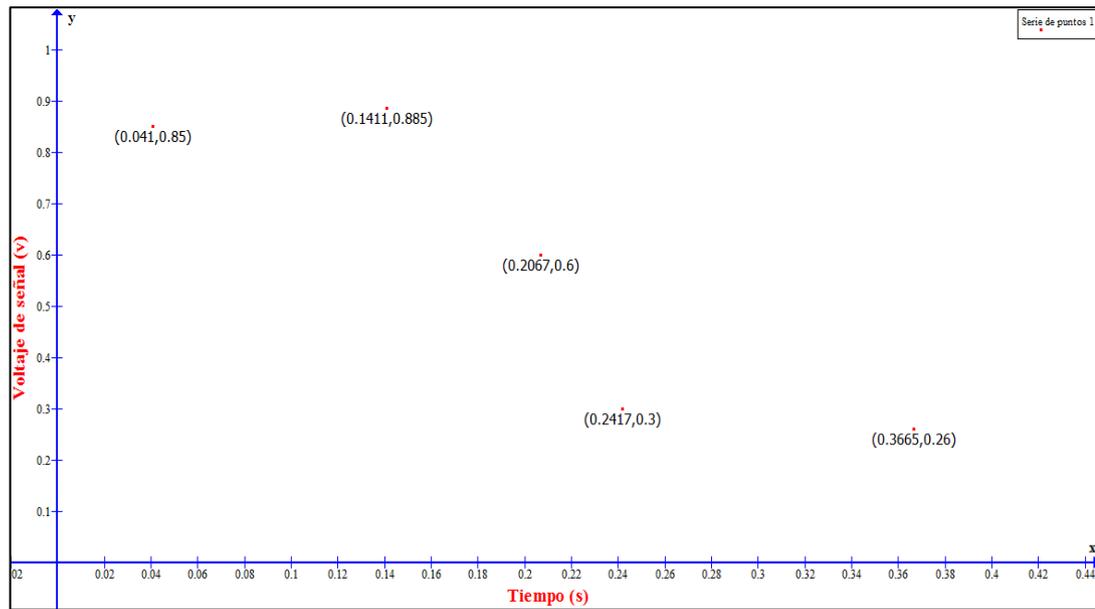


Figura 71. Diagrama de dispersión voltaje de señal vs tiempo, O2

Los puntos del diagrama de dispersión muestran un comportamiento curvilíneo, similar a la curva de una función polinómica, razón por la que se determinó analizarlos con el modelo de regresión no lineal polinomial, para lo cual se debió calcular los valores presentados la siguiente tabla:

Tabla 29

Valores calculados, voltaje de señal y tiempo, O2

Nº	X_i	Y_i	X_i^2	X_i^3	X_i^4
1	0.41	0.85	0.001681	6.8921×10^{-5}	2.8258×10^{-6}
2	0.1411	0.885	0.01990921	0.00280919	0.00039638

CONTINÚA



3	0.2067	0.6	0.04272489	0.00883123	0.00188542
4	0.2417	0.3	0.05841889	0.01411985	0.00321277
5	0.3665	0.26	0.13432225	0.0492291	0.01804247
	$\sum Xi = 0.997$	$\sum Yi = 2.895$	$\sum Xi^2 = 0.25705624$	$\sum Xi^3 = 0.0750583$	$\sum Xi^4 = 0.02367985$

Tabla 30

Valores calculados, voltaje de señal y tiempo, O2

Nº	Xi^5	Xi^6	$Xi.Yi$	$Xi^2.Yi$	$Xi^3.Yi$
1	1.1586×10^{-7}	4.7501×10^{-9}	0.03485	0.00142885	5.8583×10^{-5}
2	5.5929×10^{-5}	7.8915×10^{-6}	0.1248735	0.01761965	0.00248613
3	0.00037731	7.7991×10^{-5}	0.12402	0.02563493	0.00529874
4	0.00082487	0.00019937	0.07251	0.01752567	0.00423595
5	0.00661256	0.0024235	0.09529	0.03492379	0.01279957
	$\sum Xi^5 = 0.00787079$	$\sum Xi^6 = 0.00270876$	$\sum Xi.Yi = 0.4515435$	$\sum Xi^2.Yi = 0.09713289$	$\sum Xi^3.Yi = 0.02487898$

4.3.2. Regresión polinomial de datos

Los valores calculados presentes en las tablas 29 y 30 se sustituyeron en las ecuaciones de regresión 13, 14, 15 y 16, obteniendo de esta manera un sistema de ecuaciones de 4 incógnitas, resolviéndolo se alcanzó cuatro valores correspondientes a los coeficientes de una función cúbica.

$$a.n + b. \sum x_i + c. \sum x_i^2 + d. \sum x_i^3 = \sum y_i$$

$$a. \sum x_i + b. \sum x_i^2 + c. \sum x_i^3 + d. \sum x_i^4 = \sum x_i y_i$$

$$a. \sum x_i^2 + b. \sum x_i^3 + c. \sum x_i^4 + d. \sum x_i^5 = \sum x_i^2 y_i$$

$$a. \sum x_i^3 + b. \sum x_i^4 + c. \sum x_i^5 + d. \sum x_i^6 = \sum x_i^3 y_i$$

$$5a + 0.997b + 0.25705624c + 0.0750583d = 2.895$$

$$0.997a + 0.25705624b + 0.0750583c + 0.02367985d = 0.4515435$$

$$0.25705624a + 0.0750583b + 0.02367985c + 0.00787079d = 0.09713289$$

$$0.0750583a + 0.02367985b + 0.00787079c + 0.00270876d = 0.02487898$$

$$a = 0.4104$$

$$b = 14.5119$$

$$c = -101.1016$$

$$d = 164.7199$$

4.3.3. Ecuación obtenida y curva generalizada

Al final se reemplazan los cuatro valores obtenidos del sistema de ecuaciones en una función de tipo cúbica y se ordenan sus términos, también se grafica dicha función en GRAPH, la curva resultante muestra el funcionamiento óptimo teórico del sensor de oxígeno del motor.

$$y = 0.4104 + 14.5119x - 101.1016x^2 + 164.7199x^3$$

$$y = 164.7199x^3 - 101.1016x^2 + 14.5119x + 0.4104$$

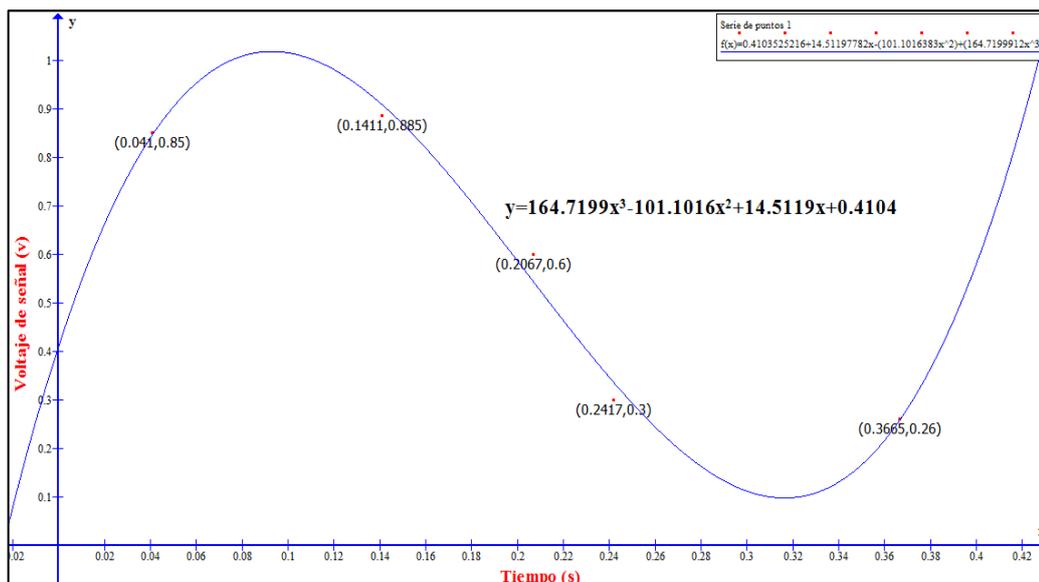


Figura 72. Curva de funcionamiento voltaje de señal vs tiempo

4.4. Análisis de regresión de los parámetros de información de diagnóstico del sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)

4.4.1. Frecuencia vs presión de vacío

En el presente análisis se tomaron en cuenta los datos recolectados de la tabla 16, siendo los valores de frecuencia tomados en cuenta como los valores de “Yi” y los valores de la presión de vacío como los valores de “Xi”.

Tabla 31

Valores de frecuencia y presión de vacío del sensor MAP

Nº	Yi (frecuencia)	Xi (presión de vacío)
1	138.12	7
2	107.29	17
3	103.74	20
4	101.42	22
5	94.49	25

Se procedió entonces a graficar los valores correspondientes a “Yi” y a “Xi” en el plano cartesiano, usando GRAPH, obteniendo el siguiente diagrama de dispersión:

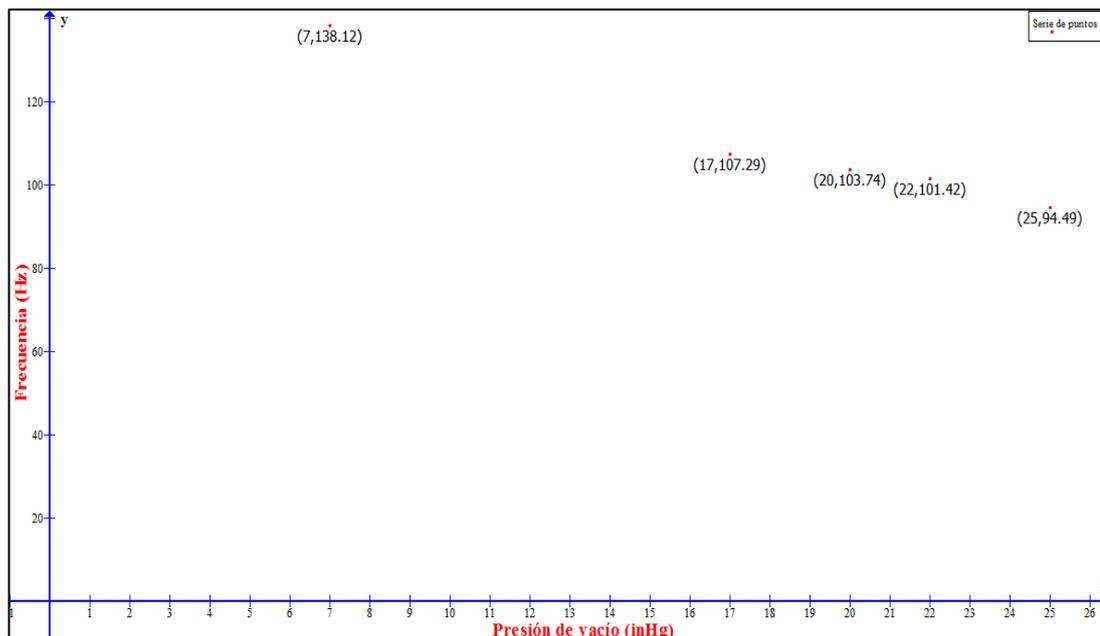


Figura 73. Diagrama de dispersión frecuencia vs presión de vacío, MAP

Se observó que los puntos presentes en el diagrama tuvieron un comportamiento lineal descendente por lo tanto se sugirió utilizar un modelo de regresión lineal para analizarlos, por el método de mínimos cuadrados, siendo de necesario calcular primero los valores de la siguiente tabla:

Tabla 32

Valores calculados, frecuencia y presión de vacío, MAP

Nº	X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	7	138,12	49	19077,1344	966,84
2	17	107,29	289	11511,1441	1823,93
3	20	103,74	400	10761,9876	2074,8
4	22	101,42	484	10286,0164	2231,24

CONTINÚA 

5	25	94,49	625	8928,3601	2362,25
$\sum Xi = 91$	$\sum Yi$ = 545.06	$\sum Xi^2 = 1847$	$\sum Yi^2$ = 60564.643	$\sum Xi.Yi$ = 9459.06	

4.4.2. Regresión lineal de datos

Los valores calculados presentes en la tabla 32 sirvieron para sustituirlos en las ecuaciones 8, 7, 6, 5, 4 y 3 así se alcanzaron valores de mucha importancia para el cálculo de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β .

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

$$S_{xy} = 9459.06 - \frac{(91)(545.06)}{5}$$

$$S_{xy} = -461.032$$

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

$$S_{xx} = 1847 - \frac{(91)^2}{5}$$

$$S_{xx} = 190.8$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{545.06}{5} = 109.012$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{91}{5} = 18.2$$

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{-461.032}{190.8} = -2.41631027$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 109.012 - (-2.416)(18.2) = 152.988847$$

4.4.3. Ecuación obtenida y curva generalizada

Se reemplaza al final los valores obtenidos de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β en la ecuación de tipo lineal y se la representa en GRAPH, se obtuvo una curva resultante que muestra el funcionamiento óptimo del sensor MAP.

$$a = \alpha ; \quad b = \beta$$

$$y = \alpha + \beta x$$

$$y = 152.988847 - 2.41631027 x$$

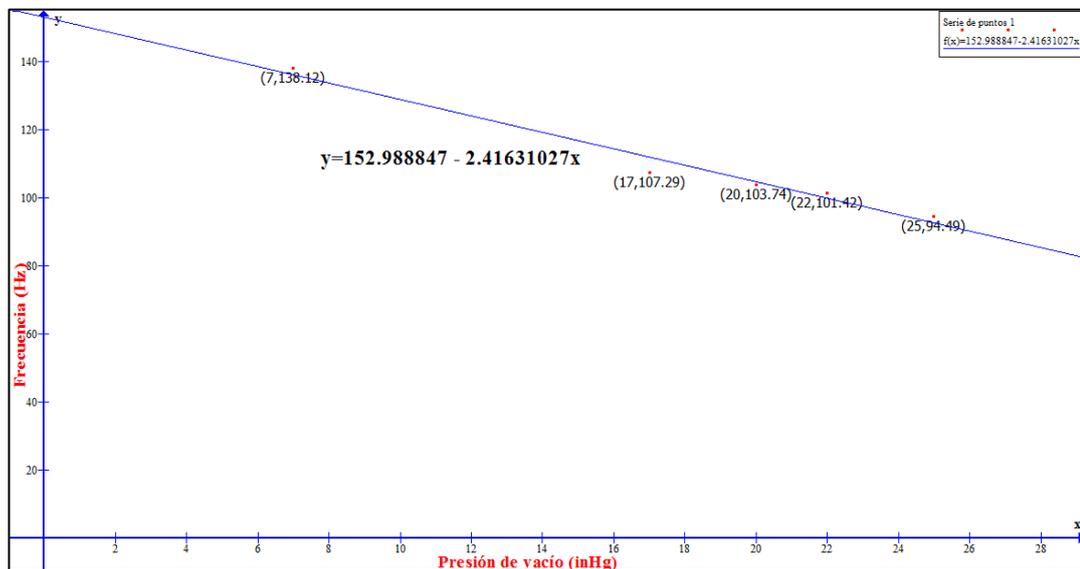


Figura 74. Curva de funcionamiento frecuencia vs presión de vacío, MAP

4.4.4. Revoluciones vs presión de vacío

En el siguiente cálculo se tomaron en cuenta los datos recaudados de la tabla 16, los valores de revoluciones son asumidos como los valores de “Yi” y los valores de la presión de vacío como los valores de “Xi”.

Tabla 33

Valores de revoluciones y presión de vacío del sensor MAP

Nº	Yi (revoluciones)	Xi (presión de vacío)
1	0	7
2	1050	17
3	1250	20
4	1390	22
5	1800	25

Se comenzó así por graficar los valores de “Yi” y a “Xi” en el plano cartesiano, haciendo uso del software GRAPH, obteniendo el diagrama de dispersión que se muestra:

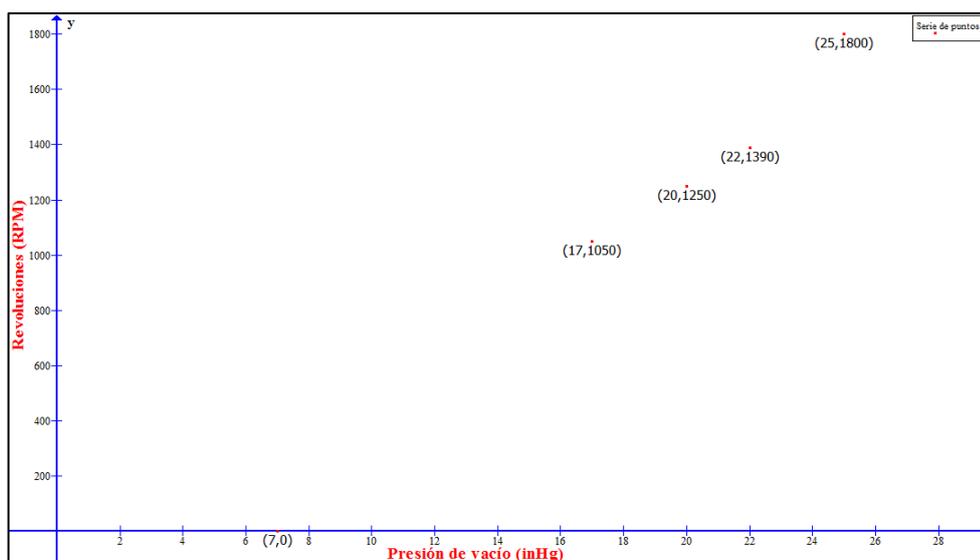


Figura 75. Diagrama de dispersión revoluciones vs presión de vacío, MAP

Se reconoció que los puntos graficados en el diagrama mostraban un comportamiento lineal ascendente así que se sugirió propuso utilizar el modelo de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, siendo de mucha importancia calcular los valores de la siguiente tabla:

Tabla 34

Valores calculados, revoluciones y presión de vacío, MAP

Nº	X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	7	0	49	0	0
2	17	1050	289	1102500	17850
3	20	1250	400	1562500	25000
4	22	1390	484	1932100	30580
5	25	1800	625	3240000	45000
$\sum X_i = 91$ $\sum Y_i = 5490$ $\sum X_i^2 = 1847$ $\sum Y_i^2 = 7837100$ $\sum X_i \cdot Y_i = 118430$					

4.4.5. Regresión lineal de datos

Los valores obtenidos en la tabla 34 se reemplazaron en las ecuaciones 8, 7, 6, 5, 4 y 3, con esto se alcanzó valores para la matematización de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β .

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

$$S_{xy} = 118430 - \frac{(91)(5490)}{5}$$

$$S_{xy} = 18512$$

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

$$S_{xx} = 1847 - \frac{(91)^2}{5}$$

$$S_{xx} = 190.8$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{5490}{5} = 1098$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{91}{5} = 18.2$$

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{18512}{190.8} = 97.0230608$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 1098 - (97.023)(18.2) = -667.819706$$

4.4.6. Ecuación obtenida y curva generalizada

Por último, se sustituyen los valores de los estimadores de mínimos cuadrados de α y β logrados, en la ecuación de tipo lineal y se grafica la misma en GRAPH, se obtiene una curva resultante que muestra el funcionamiento ideal del sensor MAP al relacionar las dos variables de interés.

$$a = \alpha \quad ; \quad b = \beta$$

$$y = \alpha + \beta x$$

$$y = -667.819706 + 97.0230608 x$$

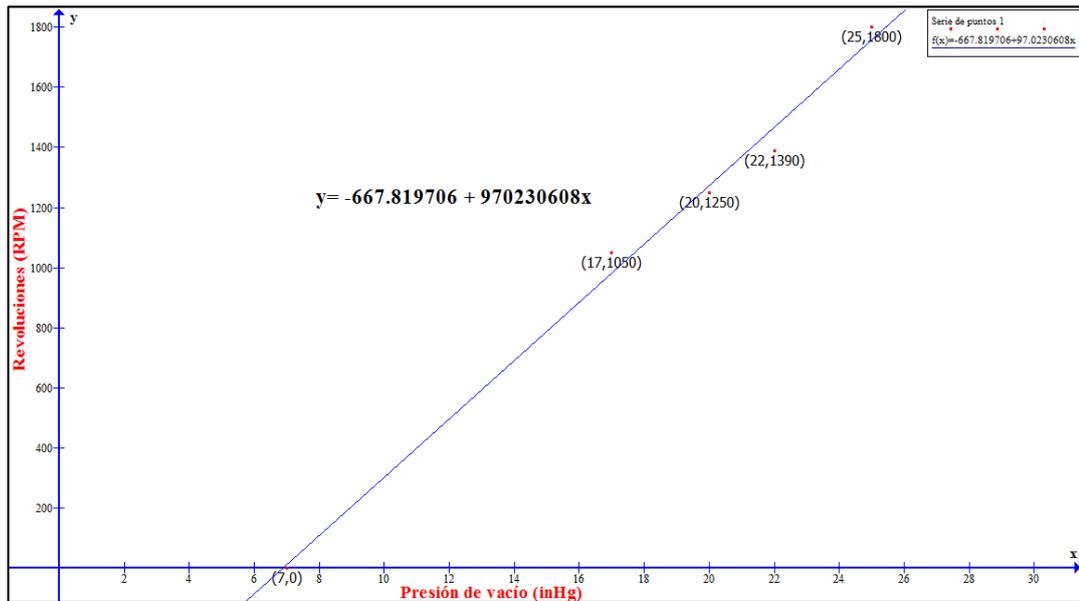


Figura 76. Curva de funcionamiento revoluciones vs presión de vacío, MAP

4.5. Modelación matemática de la curva de funcionamiento del sensor de captación del perfil de ignición PIP por series de Fourier

4.5.1. Descomposición del período correspondiente a un cilindro

Con el oscilograma capturado correspondiente al funcionamiento del sensor captador de perfil de ignición a 1050 RPM, se reconoció primero el período de uno de los 6 cilindros, tabla 13, se descompone entonces este período en dos tiempos, el primero que será cuando el sensor envíe de señal 12 voltios y el segundo cuando el sensor marque 0 voltios.

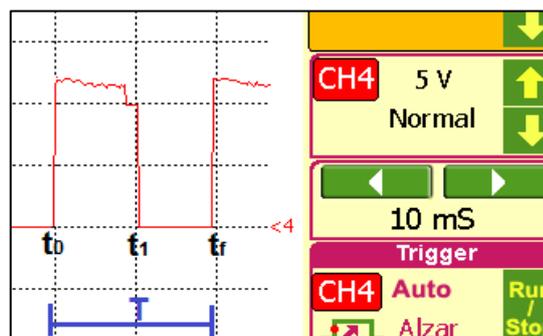


Figura 77. Reconocimiento del período de uno de los 6 cilindros

Tabla 35

Valores reconocidos en el oscilograma del sensor PIP

Descripción	Valor
Período T (ms)	19.5
Tiempo t_0 (ms)	0
Tiempo t_1 (ms)	10.5
Tiempo t_f (ms)	9

Se calculó el número de armónicos n con la ecuación 21 dando el siguiente resultado:

$$n = \# \text{ de cilindros} \cdot T$$

$$n = 6 * 19.5$$

$$n = 117$$

4.5.2. Aplicación de la serie trigonométrica de Fourier

Se empezó por fijar los rangos de proyección de la función que representa a la curva de voltaje de señal vs tiempo del sensor hallada a 1050 RPM, es decir, la función tendrá un valor de 12 voltios cuando el tiempo esté comprendido entre 0 y 10.5 segundos, y tendrá un valor de 0 voltios cuando el tiempo esté comprendido entre 10.5 y 19.5 segundos.

$$f(t) = \begin{cases} 12, & 0 < t < 10.5 \\ 0, & 10.5 < t < 19.5 \end{cases}$$

Luego se calculan los valores de los coeficientes de la serie trigonométrica de Fourier (a_0, a_n y b_n), haciendo uso de las ecuaciones 21, 22 y 23.

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_f} f(t) dt$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \left[\int_{t_0}^{t_1} f(t) dt + \int_{t_1}^{t_f} f(t) dt \right]$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \left[\int_0^{10.5} 12 dt + \int_{10.5}^{19.5} 0 dt \right]$$

$$a_0 = \frac{2(12)}{T} \left[t \Big|_0^{10.5} \right]$$

$$a_0 = \frac{24}{19.5} [10.5 - 0]$$

$$\mathbf{a_0 = 12.923}$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_f} f(t) \cos(n \omega_0 t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \left[\int_{t_0}^{t_1} f(t) \cos(n \omega_0 t) dt + \int_{t_0}^{t_f} f(t) \cos(n \omega_0 t) dt \right]$$

$$a_n = \frac{2}{T} \left[\int_0^{10.5} 12 \cos(n \omega_0 t) dt + \int_{10.5}^{19.5} 0 \cos(n \omega_0 t) dt \right]$$

$$a_n = \frac{2(12)}{T(n \omega_0)} \left[\sin(n \omega_0 t) \Big|_0^{10.5} \right]$$

$$a_n = \frac{2(12)}{T(n \frac{2\pi}{T})} [\sin(n \omega_0 (10.5)) - \sin(n \omega_0 (0))]]$$

$$\mathbf{a_n = \frac{12}{\pi n} \sin(10.5 n \omega_0)}$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_f} f(t) \sin(n \omega_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \left[\int_{t_0}^{t_1} f(t) \sin(n \omega_0 t) dt + \int_{t_0}^{t_f} f(t) \sin(n \omega_0 t) dt \right]$$

$$b_n = \frac{2}{T} \left[\int_0^{10.5} 12 \sin(n \omega_0 t) dt + \int_{10.5}^{19.5} 0 \sin(n \omega_0 t) dt \right]$$

$$b_n = -\frac{2(12)}{T(n \omega_0)} \left[\cos(n \omega_0 t) \Big|_0^{10.5} \right]$$

$$b_n = -\frac{2(12)}{T(n * \frac{2\pi}{T})} [\cos(n \omega_0 (10.5)) - \cos(n \omega_0 (0))]]$$

$$b_n = \frac{12}{\pi * n} [1 - \cos(10.5 n \omega_0)]$$

Se reemplaza entonces los coeficientes de la serie trigonométrica de Fourier en su ecuación expresada de forma general (ecuación 19) y se además se reemplaza la equivalencia de la frecuencia fundamental (ecuación 20) y se resuelve.

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n \omega_0 t) + b_n \sin(n \omega_0 t)]$$

$$a_0 = 12.923$$

$$a_n = \frac{12}{\pi * n} \sin(10.5 n \omega_0)$$

$$b_n = \frac{12}{\pi * n} [1 - \cos(10.5 n \omega_0)]$$

$$f(t) = \frac{1}{2} (12.923) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{12}{\pi n} \sin(10.5 n \omega_0) \cos(n \omega_0 t) + \frac{12}{\pi n} [1 - \cos(10.5 n \omega_0)] \sin(n \omega_0 t) \right]$$

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} [\sin(10.5 n \omega_0) \cos(n \omega_0 t) + [1 - \cos(10.5 n \omega_0)] \sin(n \omega_0 t)]$$

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} [\sin(10.5 n \omega_0) \cos(n \omega_0 t) + \sin(n \omega_0 t) - \cos(10.5 n \omega_0) \sin(n \omega_0 t)]$$

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} [\sin(10.5 n \omega_0 - n \omega_0 t) + \sin(n \omega_0 t)]$$

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} \left[\sin\left(10.5 n \frac{2\pi}{T} - n \frac{2\pi}{T} t\right) + \sin\left(n \frac{2\pi}{T} t\right) \right]$$

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} \left[\sin\left(10.5 n \frac{2\pi}{19.5} - n \frac{2\pi}{19.5} t\right) + \sin\left(n \frac{2\pi}{19.5} t\right) \right]$$

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} \left[\sin(1.077 \pi n - 0.103 \pi n t) + \sin(0.103 \pi n t) \right]$$

4.5.3. Ecuación obtenida y representación gráfica

La ecuación resultante, representa la onda de funcionamiento del sensor de captación del perfil de ignición PIP, la cual se procede a graficar mediante el uso del programa Wolfram Mathematica 10, en donde se tomó en consideración el número de armónicos calculados ($n=117$) para su representación y se obtuvo lo siguiente:

$$f(t) = 6.4615 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{12}{\pi n} \left[\sin(1.077 \pi n - 0.103 \pi n t) + \sin(0.103 \pi n t) \right]$$

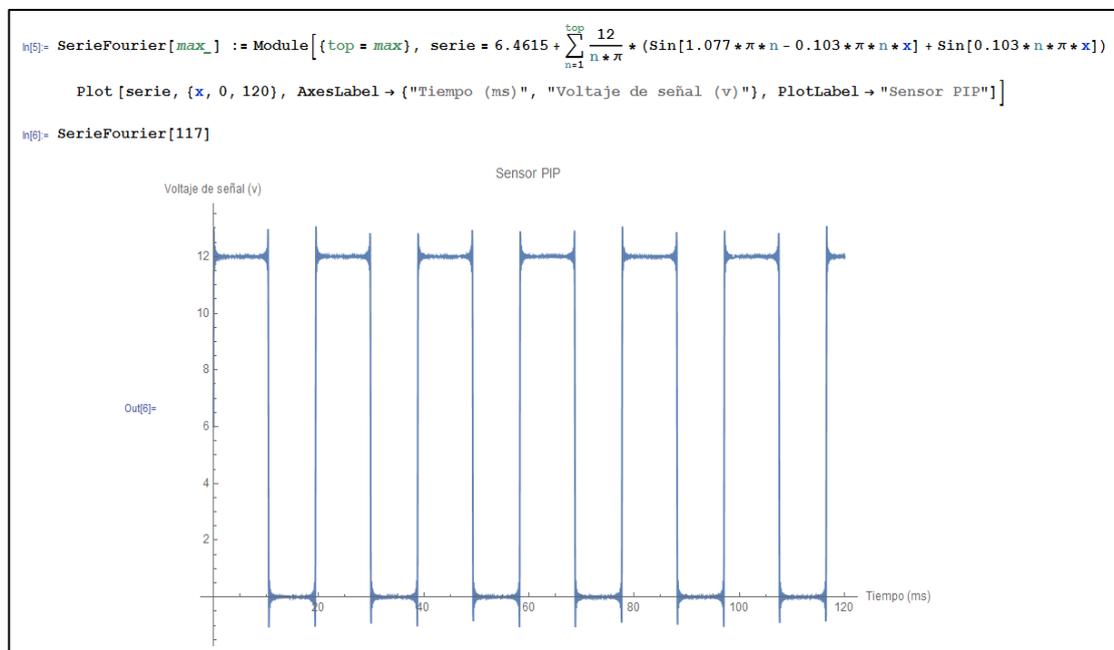


Figura 78. Curva de funcionamiento sensor PIP

4.6. Guías interactivas utilizables mediante ordenadores

Se desarrollaron guías interactivas intuitivas mediante el uso del software Macromedia Flash 8 Professional y de pixelmator, con el fin de explicar al usuario de la manera más simple el proceso de obtención de los parámetros de información de diagnóstico de los sensores y su análisis de regresión según corresponda. Se realizó una interfaz en la que todas las guías se despliegan en un solo archivo de flash de extensión (.swf).

4.6.1. Pixelmator

Gitonga, D., (2013). Opina que “Pixelmator es un software gráfico de edición de imágenes desarrollado para Mac OS X, por pixelmator equipo Ltd. Es una aplicación que combina el código abierto y las tecnologías de Mac OS X. Pixelmator tiene funciones de selección, pintura, retoque, herramientas de navegación, de corrección y gestión del color, así como la edición de imágenes por capas. Pixelmator usa Core Image y OpenGL, tecnologías que utilizan la tarjeta de video del Mac para el procesamiento de la imagen”

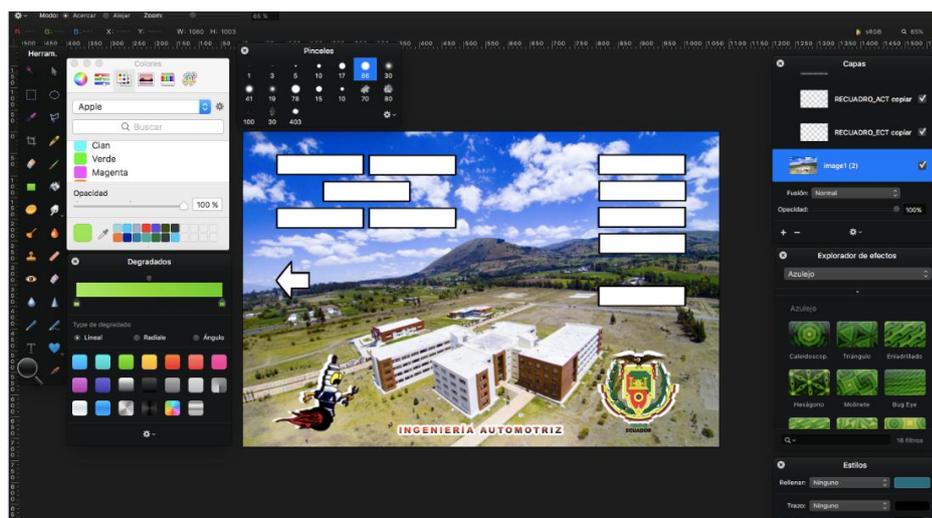


Figura 79. Diseño de plantillas en Pixelmator

Mediante este software se diseñaron las plantillas de las guías, así como todas las imágenes que se despliegan en la presentación, todas se trabajaron en un formato de resolución HD de 1080x720 ppi, estas irían explicando paso a paso la obtención de PID's y su análisis de regresión y series de Fourier.

4.6.2. Macromedia Flash 8 Professional

Macromedia Flash conforme (myosevich, 2016): Es una plataforma multimedia que se utiliza para crear aplicaciones interactivas, animaciones independientes y en la web. Utilizado de diferentes formas y en una serie de dispositivos, incluyendo teléfonos móviles el lenguaje de scripts ActionScript, puedes manipular el contenido Flash. Una vez creada la animación Flash, Macromedia Flash la convierte en un formato llamado Shockwave Flash o, simplemente SWF.

Primero se cargaron todas las imágenes elaboradas en pixelmator a la biblioteca de Macromedia Flash, luego se continuó con la organización de las mismas según cómo se quería que se desplegara el programa una vez finalizado.

Se comenzó con una pantalla inicial en las que se tiene el tema del proyecto de investigación y además 2 botones, uno de ellos que despliega el menú principal representado por la figura de una casa y el otro despliega un resumen de todo el trabajo de titulación realizado, representado por la figura de una hoja.

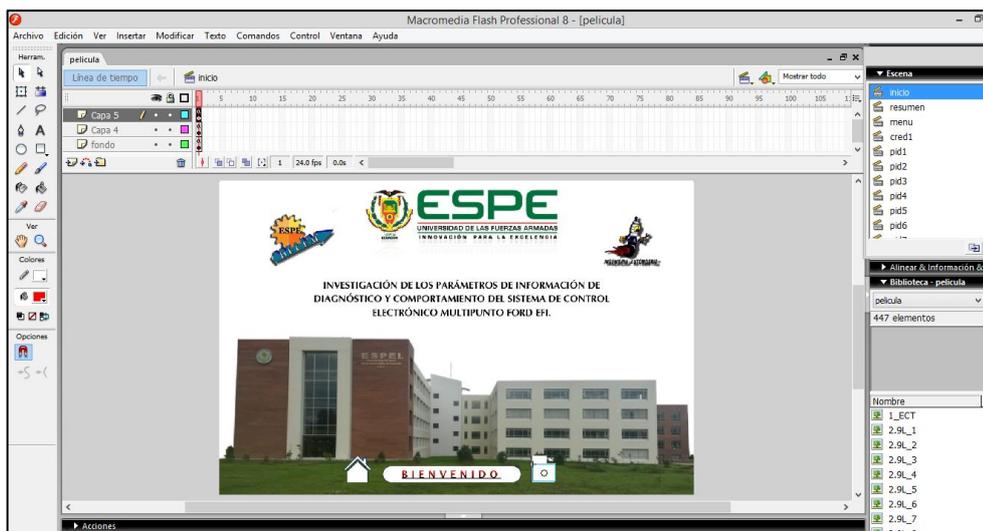


Figura 80. Pantalla de inicio de la guía interactiva

En la pantalla de resumen del proyecto de investigación, se describió de manera general todo lo realizado en su desarrollo, se colocó además de un botón que le lleva al usuario a la pantalla del menú principal.

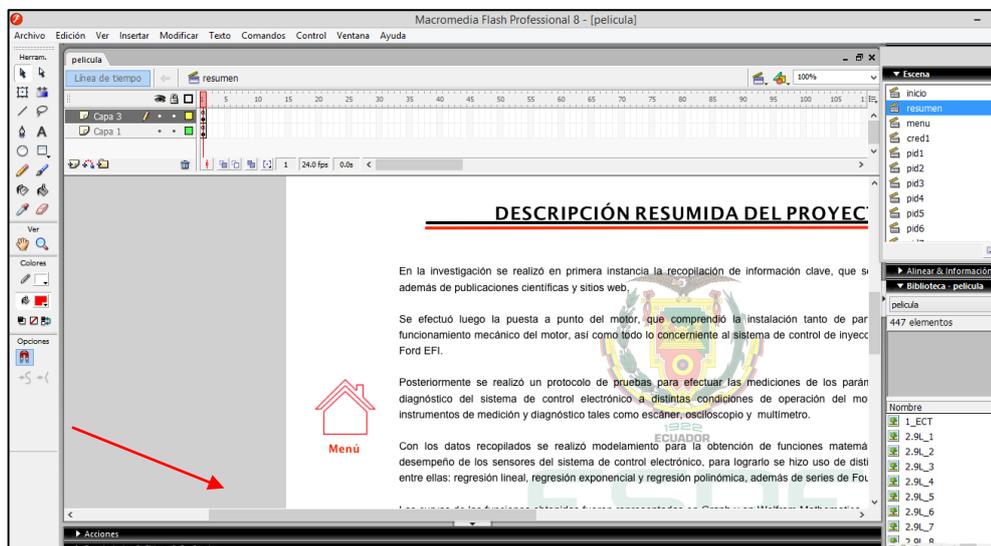


Figura 81. Pantalla de resumen de la guía interactiva

La pantalla de menú principal muestra varias opciones en las que el usuario puede navegar, están distribuidas mediante botones con nombres de los sensores del sistema de control electrónico, un botón de regresión y uno de

créditos de los autores. También existe un botón para regresar a la pantalla de inicio de la guía.

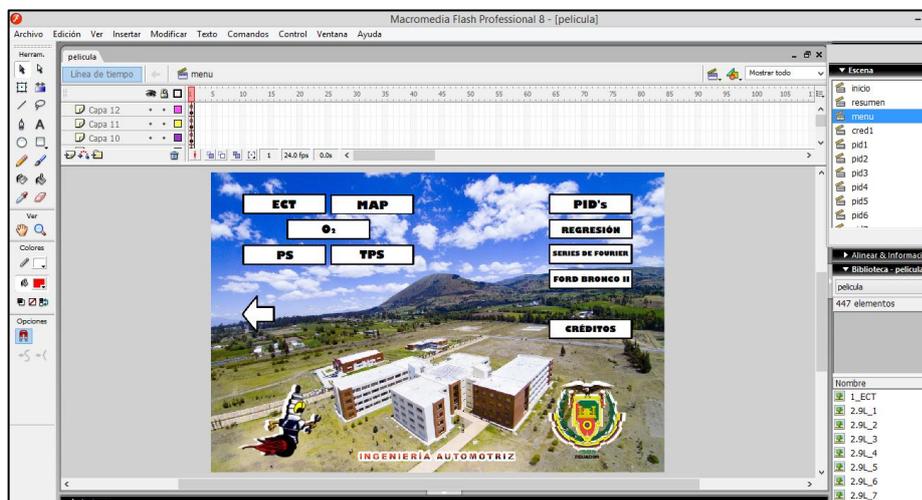


Figura 82. Pantalla menú principal de la guía interactiva

Cada uno de los botones de los sensores despliega una presentación, en la que se da de manera detallada una breve descripción del sensor, su funcionamiento, su localización y curva teórica, una simulación, el procedimiento de toma de parámetros de información de diagnóstico y un procedimiento para el análisis de datos por regresión.

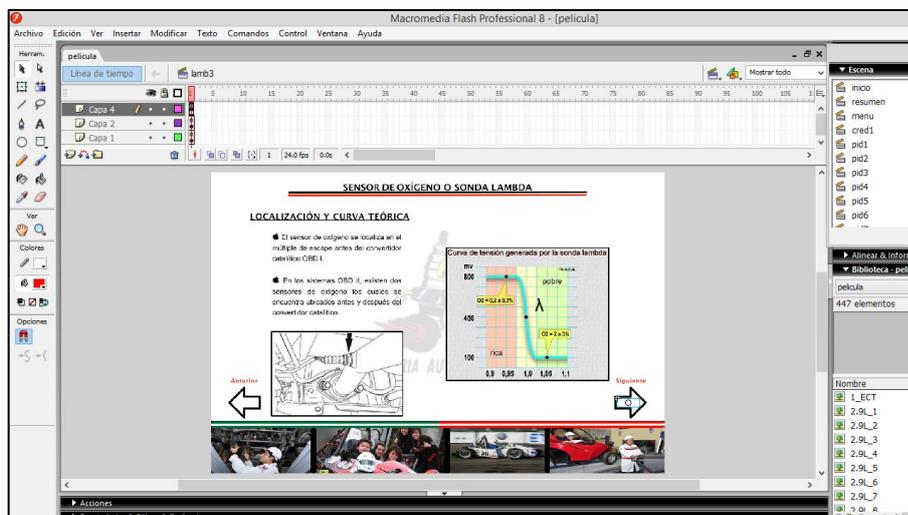


Figura 83. Pantalla de navegación de uno de los sensores

El botón de PID's muestra información relevante de los parámetros de información de diagnóstico, además de sus tipos, primarios y secundarios, y los valores y unidades con las que opera cada uno de ellos, además al final muestra un procedimiento descrito de manera general de la toma de PID's del vehículo.

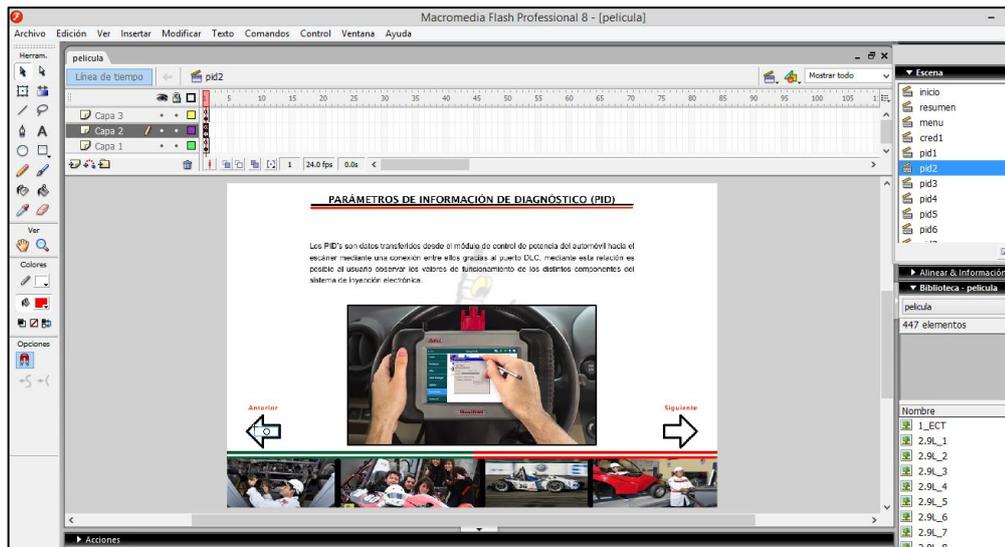


Figura 84. Pantalla de navegación de PID's

El botón de regresión muestra una pantalla que indica su definición y un submenú, navegable mediante dos botones uno muestra información de regresión lineal y del método de mínimos cuadrados y el otro muestra información de la regresión no lineal y de dos de sus tipos, regresión exponencial y regresión polinomial, todos estos temas fueron de suma importancia incluirlos en la guía, ya que en ellos se da teoría del provenir de los métodos y fórmulas de cálculo efectuado en el proyecto.

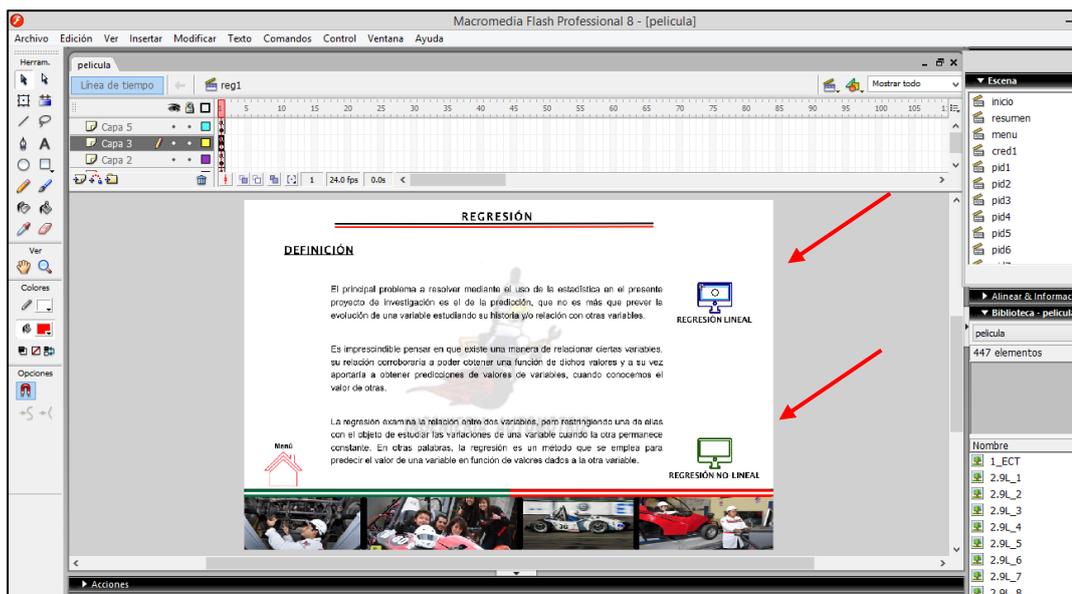


Figura 85. Pantalla de navegación de regresión

El botón de series de Fourier despliega información teórica importante de este tema, además se describen las fórmulas empleadas en el análisis de cualquier sensor de tipo hall.

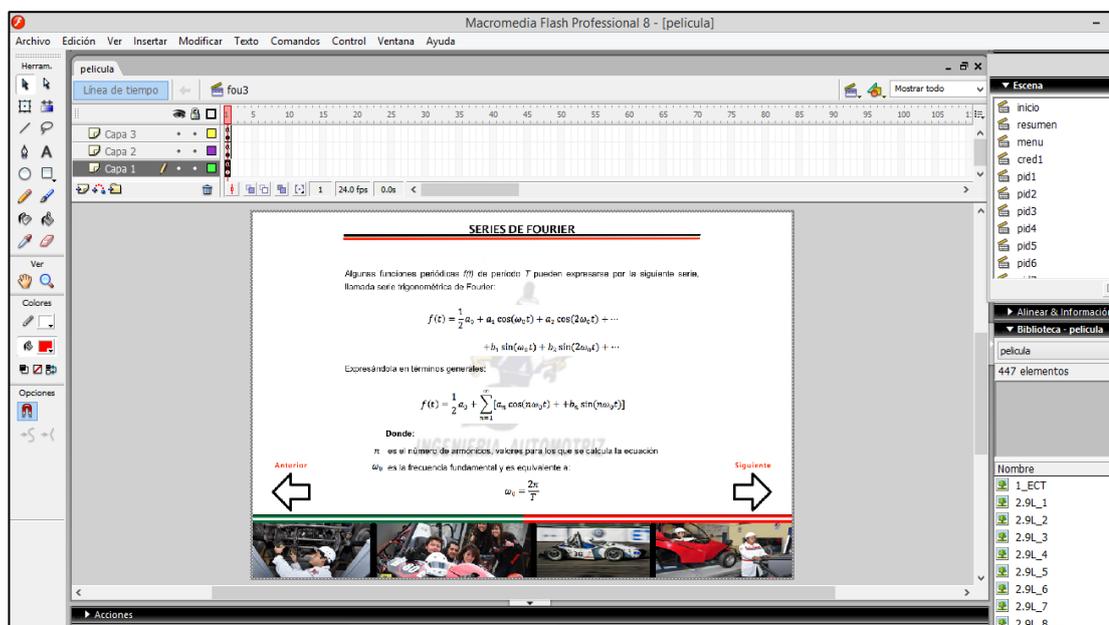


Figura 86. Pantalla de navegación de series de Fourier

Al accionar el botón Ford Bronco II muestra la información relevante correspondiente al motor Ford 2,9L V6 del banco de pruebas, en donde se incluyó además una reseña importante sobre las fallas que presentó el mismo en su versión norteamericana.

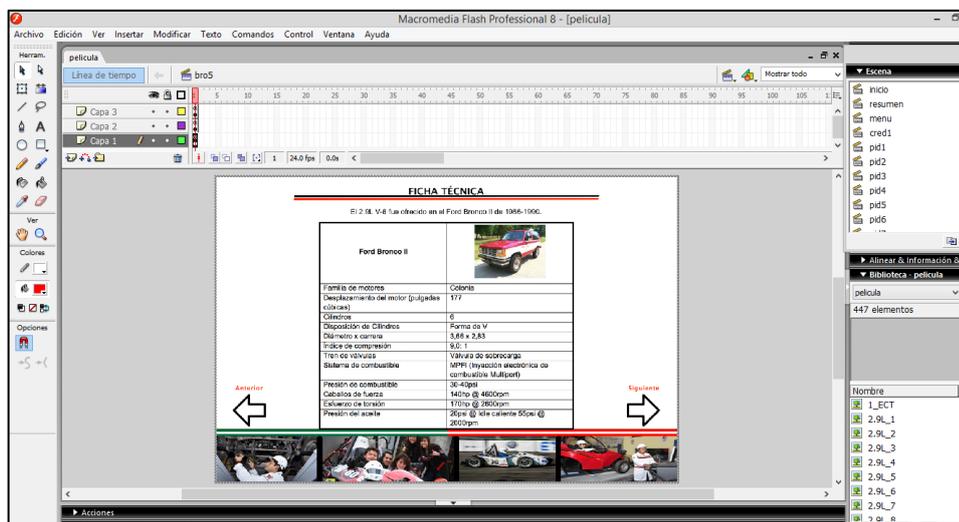


Figura 87. Pantalla de navegación de Ford Bronco II

El botón de créditos presenta talento humano que contribuyó al desarrollo del proyecto de investigación, el director del proyecto y los investigadores, con una pequeña reseña de cada uno de ellos.

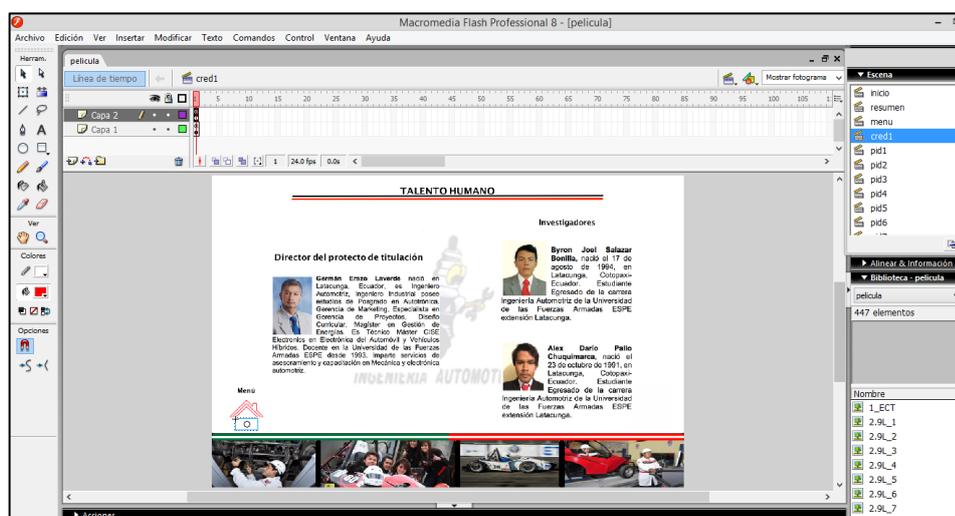


Figura 88. Pantalla de navegación de créditos

Mientras se está navegando una de las guías de cualquiera de los sensores se encuentran otros botones, como por ejemplo una lupa, esta se colocó con el fin de agrandar una imagen si se desea apreciarla de una mejor manera.

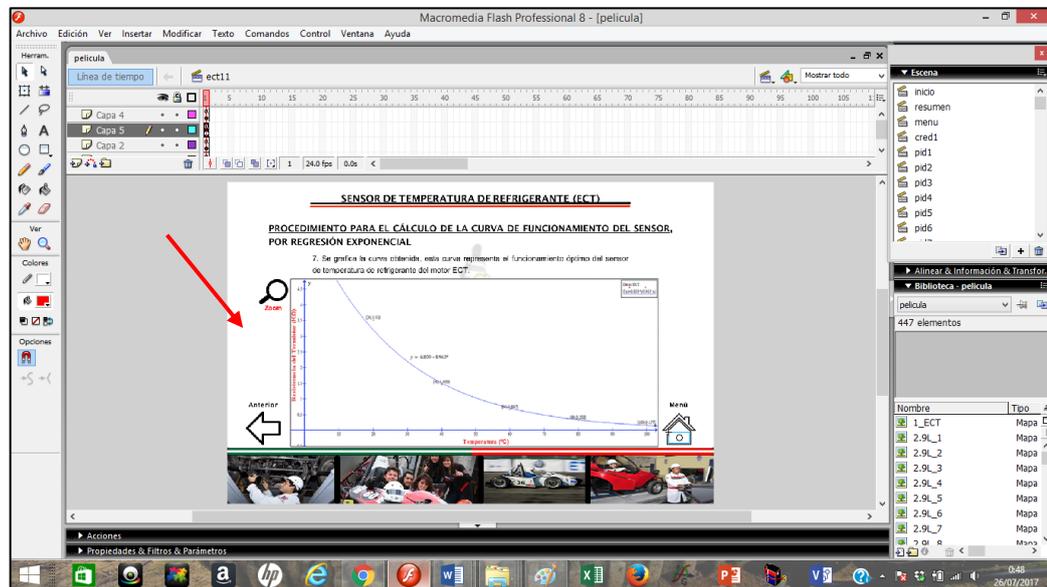


Figura 89. Botón de zoom para ampliación de imágenes

Todos los botones y acciones colocados en la guía interactiva fue programado uno por uno mediante fotogramas, tomando en cuenta el orden de presentación de las pantallas según el botón que el usuario deseara ocupar.

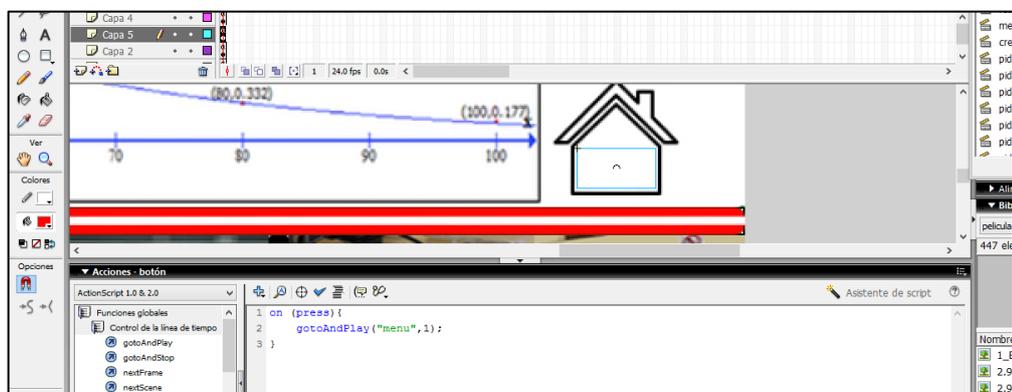


Figura 90. Programación de uno de los botones en flash

Conclusiones del capítulo

- Se describió el proceso de clasificación de los parámetros de información de diagnóstico tabulados en el capítulo anterior, para su correspondiente empleo en el modelo matemático propuesto.
- Se empleó un análisis matemático de regresión lineal y no lineal, según la tendencia o forma que mostraban los parámetros de información de diagnóstico al ser representados en el plano cartesiano, siendo de tipo lineal, exponencial o polinomial.
- Se aplicó también el modelo matemático de las series trigonométricas de Fourier, este se utiliza únicamente para formas de onda cuadradas y periódicas, con esta se hizo el análisis del oscilograma del sensor PIP.
- Se expuso todas las funcionalidades y contenidos de las guías interactivas realizadas en Macromedia Flash 8 Professional, para su uso en general.

CAPÍTULO V

5. Marco administrativo

Los recursos económicos y administrativos del proyecto de investigación definen los parámetros que se vinculan directamente con el cumplimiento de los objetivos propuestos.

5.1. Factibilidad de la investigación

Recursos materiales y humanos son indispensables para el éxito del proyecto de investigación, siempre con el afán de contribuir con un aporte que sea de utilidad para la sociedad, por eso es que se han tomado en cuenta algunos puntos.

5.1.1. Recursos materiales

Estos recursos engloban a todos los útiles de uso necesario en el desarrollo del proyecto, se precisa a continuación una lista detallada de los mismos:

Tabla 36

Recursos materiales

Orden	Ítem
1	Unidad de Control Electrónico
2	Cableado
3	Elementos de conexión
4	Sensores
5	Actuadores
6	Accesorios, lubricantes

5.1.2. Talento humano

La nómina de las personas del grupo de talento de apoyo que contribuyó en el desarrollo de la investigación se muestra a continuación:

Tabla 37

Talento humano

Grupo de talento de apoyo	Joel Salazar	Investigadores
	Alex Pallo	Investigadores
	Germán Erazo	Director del proyecto de titulación
	José Quiroz	Jefe Laboratorio Autotrónica (Uso de instrumentación)
	Leonidas Quiroz	Jefe de Laboratorio Mecánica de patio (Uso de instrumentación)

5.1.3. Recursos financieros

La cobertura del costo total del proyecto de investigación es por recursos propios de los investigadores, su costo total es de \$3559.53, este valor se detalla en 2 tablas diferentes, en las que se divide, los componentes del sistema de control de inyección electrónica multipunto Ford EFI, y en los materiales e insumos necesarios para la instalación eléctrica y la puesta a punto del motor.

Tabla 38

Componentes del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI

Componentes del motor Ford Bronco V6 2.9L EFI				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Distribuidor electrónico	1	260.00	260.00

CONTINÚA 

2	Tapa de distribuidor	1	12.00	12.00
3	Sensor de oxígeno	1	40.00	40.00
4	Sensor ECT	1	15.00	15.00
5	Sensor MAP	1	35.00	35.00
6	Válvula IAC	1	60.00	60.00
7	Inyectores	4	85.00	340.00
8	Bobina de encendido	1	40.00	40.00
9	Trompo de aceite	1	8.00	8.00
10	Unidad de control electrónico ECU	1	1200.00	1200.00
11	Cableado	1	300.00	300.00
12	Bujías	6	8.20	49.20
13	Cables de bujías	1	60.00	60.00
14	Bomba de gasolina	1	40.00	40.00
15	Termocupla del refrigerante	1	8.00	8.00
16	Termocupla de aceite	1	8.00	8.00
TOTAL				2475.20

Los componentes del sistema de control de inyección electrónica multipunto del motor Ford EFI tienen un costo total de \$2475.20, se detallan todos y cada uno de los elementos constituyentes del sistema que fue comprado o reparado según fue el caso.

Tabla 39

Materiales e insumos necesarios para la instalación del sistema de control electrónico y la puesta a punto del motor Ford

Materiales e insumos necesarios para la instalación del sistema de control electrónico y la puesta a punto del motor Ford				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total

CONTINÚA



1	Aceite 15w40 (lt)	6	5.33	32.00
2	Filtro de aceite	1	6.00	6.00
3	Filtro de aire	1	10.00	10.00
4	Spray limpia carburadores	1	4.50	4.50
5	Filtro de combustible	1	5.00	5.00
6	Refrigerante (gal)	2	6.00	12.00
7	Tapa de radiador	1	13.00	13.00
8	Depósito de refrigerante	1	10.00	10.00
9	Gasolina (gal)	15	1.48	22.20
10	Manguera de gasolina (mt)	5	1.20	6.00
11	Abrazaderas	8	1.50	12.00
12	Manguera de refrigerante (mt)	2	22.00	22.00
13	Banda de distribución	1	8.00	8.00
14	Rebobinaje motor de arranque	1	30.00	30.00
15	Limpieza de inyectores	1	10.00	10.00
16	Tacómetro	1	45.00	45.00
17	Multímetro	1	35.00	35.00
18	Pernos (varios tamaños)	1	8.00	8.00
19	Switch de encendido	1	6.00	6.00
20	Fusilera	1	4.00	4.00
21	Relé de 12V	3	3.50	10.50
22	Resistencia para primario de bobina	1	1.00	1.00
23	Fusible	5	0.30	1.50
24	Cable #10	10	0.24	2.40
25	Cable #16	25	0.30	31.50
26	Cable gemelo 18	8	0.28	2.24
27	Terminales pequeños	12	0.15	1.74
28	Conectores	4	1.25	5.00
29	Taípe	5	0.50	2.50

CONTINÚA



30	Protector de conexiones (metro)	6	0.50	3.00
31	Solenoides de arranque	1	18.00	18.00
32	Terminales de cobre	3	1.75	5.25
33	Guaípe (lb)	5	1.00	5.00
34	Empaques del múltiple de escape	1	20.00	20.00
35	Empaques de las tapas de válvula	1	8.00	8.00
36	Empaque del cárter	1	12.00	12.00
37	Tubo de silicón gris	2	2.50	5.00
38	Base de la bobina de encendido	1	6.00	6.00
39	Ángulo de acero (metro)	6	1.00	6.00
40	Plancha de aluminio	1	10.00	10.00
41	Remaches	1	1.00	1.00
42	Correas plásticas (paq.)	1	1.75	1.75
43	Palanca, cable y seguro del acelerador	1	5.25	5.25
42	Rueda del banco de pruebas	1	7.00	7.00
43	Plancha de acrílico (metro)	½	12.00	6.00
44	Fibra de carbono (metro)	½	12.00	6.00
45	Transporte, peajes y alimentación Joel Salazar	1	300.00	300.00
46	Transporte, peajes y alimentación Alex Pallo	1	300.00	300.00
TOTAL				1084.33

5.1.4. Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos comprenden todos los programas (software) y equipos de diagnóstico utilizados en la investigación. A continuación, se detallan todos los recursos tecnológicos utilizados en cada una de las etapas del desarrollo de la investigación, tanto de tabulación de datos como de procesamiento y cálculo de los mismos:

Tabla 40

Software utilizado en el proyecto de investigación

Etapa del proyecto	Software	Detalle
Puesta a punto del motor	Live Wire	Diseño de diagramas eléctricos
Obtención de gráficas	Excel	Tabulación y análisis de datos
	Graph	Graficador de funciones matemáticas
	Wolfram Mathematica 10	Procesador y graficador de operaciones matemáticas
Elaboración de la guía interactiva	Pixelmator	Editor de imagen
	Macromedia Flash 8 Professional	Plataforma de animación

Tabla 41

Equipo de diagnóstico automotriz utilizado en el proyecto de investigación

Orden	Ítem
1	Multímetro Automotriz
2	Escáner Carman Scan VG64
3	Escáner Master Launch X-431

5.2. Título de la propuesta

Con el empleo del modelo matemático propuesto se obtiene curvas que representan el funcionamiento óptimo de los componentes en común de todos los sistemas de control de inyección electrónica, además se otorga la factibilidad para que personas con poco conocimiento acerca del funcionamiento de sensores y actuadores entiendan el comportamiento de dichos elementos de una manera teórica, práctica e interactiva.

5.2.1. Estructura de la propuesta

El proyecto de investigación está orientado a realizar un aporte científico acerca de la obtención de curvas que representen un funcionamiento ideal de los componentes del sistema de control electrónico, a partir de la obtención de sus parámetros de información de diagnóstico, se obtiene además una fuente de consulta para la realización de futuros temas relacionados con la investigación del comportamiento y análisis de las señales de los sensores electrónicos que conforman cualquier tipo de sistema de inyección electrónica a gasolina.

5.2.2. Desarrollo de la propuesta

La propuesta está conformada por diferentes recursos indispensables para su realización como el recurso material, el talento humano y el recurso financiero. Estos recursos permiten obtener un valor económico por la constitución de la parte teórica y práctica del proyecto de investigación.

La investigación tiene un costo aproximado de \$3559.53, omitiendo el recurso humano.

5.2.3. Influencia socioeconómica de la propuesta

La influencia socioeconómica definida para la generación y obtención del proyecto de investigación representa beneficios en diferentes aspectos como el beneficio personal, del cual comparte todo el equipo de investigación al obtener conocimientos que pueden fortalecer y permitir desarrollos investigativos en el futuro en el ámbito automotriz. Se considera a los estudiantes de ingeniería como los beneficiarios principales debido a que obtienen una nueva fuente de consulta la cual se enfoca a comprender y entender el comportamiento de los componentes del sistema de inyección electrónica de los motores de combustión interna mediante la obtención de curvas del funcionamiento teórico de los mismos.

Conclusiones del capítulo

- Se realizó el presupuesto de gastos en materiales e insumos que fueron necesarios para la instalación total del sistema de control electrónico en el motor Ford Bronco II 2,9L.
- Se desarrolló una propuesta en la cual solo se describe el hecho de la obtención de curvas de los componentes del sistema de control de la inyección electrónica, es decir el modelo matemático propuesto.
- Se planteó al modelo matemático como un análisis base, utilizable para futuras investigaciones referentes al estudio de las curvas de los componentes del sistema de control de inyección electrónica.

CONCLUSIONES

- Se investigó y matematizó los parámetros de información de diagnóstico del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI del motor Ford Bronco II y cómo estos influyen en su comportamiento.
- Se obtuvo y compendió gran parte de información bibliográfica pertinente y precisa a la investigación realizada, a través de libros, artículos, sitios web confiables y trabajos de titulación.
- Se realizó la instalación total del sistema de control de inyección electrónica EFI tipo EEC-IV en el motor Ford Bronco II.
- Se presentó un procedimiento con el objetivo de efectuar la puesta a punto del motor Ford Bronco II.
- Se elaboró varios protocolos de pruebas que muestran detalladamente los pasos para la obtención de los parámetros de información de diagnóstico de los componentes del sistema de control de inyección electrónica a distintas condiciones de operación del motor Ford, mismos que son aplicables en la mayoría de sistemas de control con componentes similares.
- Se efectuó una modelación matemática con cada grupo de parámetros de información de diagnóstico obtenido de cada sensor del sistema de control de inyección electrónica, basada en un análisis de regresión y de series de Fourier, con el propósito de obtener ecuaciones que representen el funcionamiento óptimo de cada uno de ellos.
- Se desarrolló una guía interactiva en Macromedia Flash 8 Professional utilizable mediante ordenadores en la cual se muestra de manera detallada el proceso para la toma de PID's de los componentes del sistema de control electrónico y su correspondiente matematización.
- Fue indispensable desarrollar la matematización de los parámetros de información de diagnóstico para corroborar el desempeño de los sensores del sistema de control de inyección electrónica de tal forma que se tenga clara la concepción de como la unidad de control electrónico utilizará estos valores para procesar la información generada en el vehículo

- El diagnóstico acerca del estado de inyectores tanto de alta como de baja impedancia presentes en el motor Ford, de acuerdo a los valores arrojados de la resistencia de su bobinado es que se encuentran en funcionamiento normal.
- La relación del ciclo de trabajo CT calculada de los inyectores está entre los valores de 4.5- 5.5%, esto se debe a que los inyectores funcionan en dos grupos el primero conformado por los inyectores 1, 4 y 2 y el segundo conformado por los inyectores 5, 3 y 6, esta disposición obedece al orden de encendido del motor Ford.
- La matematización de los PID's del sensor de temperatura del refrigerante ECT del sistema de control de inyección electrónica EFI mostró una curva del tipo exponencial la cual está influenciada por los valores de la resistencia del termistor y de la temperatura del refrigerante en el primer caso, y el voltaje de señal y la temperatura del sensor en el segundo caso, estos valores tuvieron una relación inversamente proporcional en ambos casos, por ser un termistor del tipo NTC.
- De los datos recopilados sobre el sensor de temperatura de carga de aire ACT, se deduce que aquí en la ciudad de Latacunga la diferencia que existe en que cuando el motor se encuentra apagado y cuando se encuentra encendido es que la temperatura del aire aumenta 2 grados centígrados y el voltaje de señal que envía el sensor aumenta alrededor de 0.1 voltios.
- Al aplicar el modelo matemático de regresión lineal a los PID's del sensor de posición del acelerador TPS, se obtuvo dos curvas, la de la primera función matemática obtenida del sensor TPS, muestra un comportamiento descendente, es decir que el valor del voltaje de señal es inversamente proporcional al de la resistencia RAB, mientras que la curva de la segunda función matemática exhibe un comportamiento ascendente, con lo que se deduce una relación directamente proporcional entre el voltaje de señal del sensor y la resistencia RBC.
- La parte analizada del oscilograma del sensor de oxígeno del sistema de control electrónico multipunto Ford EFI, presenta su curva de

transferencia de mezcla rica a mezcla pobre en un tiempo aproximado de 250 milisegundos.

- El sensor de oxígeno se encuentra funcionando en rangos aproximados de 0.2 y 0.95 V lo que significa que precede de un funcionamiento normal y aceptable.
- El diagrama de dispersión realizado con puntos procedentes del voltaje de señal y tiempo del sensor en su curva de transferencia es de carácter curvilíneo, presentó una forma de una función polinómica de tercer grado, por lo que se resolvió realizar la matematización por regresión polinomial
- Es posible utilizar una función polinómica de cuarto grado como referencia para el cálculo de la curva de mejor ajuste a los puntos del diagrama de dispersión del sensor de oxígeno, todo depende de cómo sea la disposición de estos en el plano.
- La curva obtenida a partir del análisis de la frecuencia y de la presión de vacío del sensor de presión absoluta del múltiple de admisión MAP mostró un comportamiento lineal inversamente proporcional, es decir cuando la frecuencia de onda de la señal digital generada por el sensor disminuye, la presión de vacío aumenta.
- Por otra parte, la curva alcanzada al relacionar y matematizar las revoluciones del motor con la presión de vacío del sensor MAP, exhibió un comportamiento contrario al primero realizado, siendo este lineal y directamente proporcional, al aumentar las RPM aumenta también la presión de vacío.
- La primera función matemática obtenida a partir de los PID's del sensor TPS luego del análisis de regresión, muestra un comportamiento descendente, es decir que el valor del voltaje de señal es inversamente proporcional al de la resistencia RAB, mientras que la curva de la segunda función matemática exhibe un comportamiento ascendente, con lo que se deduce una relación directamente proporcional entre el voltaje de señal del sensor y la resistencia RBC.
- El número de armónicos influye de manera sustancial a la forma de onda cuadrada de la ecuación obtenida del sensor PIP por series de

Fourier, es decir entre se calcule con más armónicos la onda será más cuadrada y sin presencia de ruido en su forma, mientras que si se calcula con menos armónicos la onda será más curvilínea y presentará mayor cantidad de ruido.

- El modelo matemático aplicado, así como las curvas de las ecuaciones obtenidas a partir de datos reales, pueden ser utilizadas como un modelo base para el diagnóstico del correcto desempeño de componentes como los estudiados en esta investigación de cualquier sistema de control de inyección electrónica, mediante el análisis y la comparación
- Las curvas de todas las ecuaciones obtenidas no pasan por todos los puntos ubicados en los diagramas de dispersión, ya que lo que se buscó fue a la curva que mejor se ajuste a ellos y que represente un funcionamiento óptimo teórico de los sensores, mas no un real.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda futuros proyectos de investigación que se enfoquen en desarrollar un software con el cual se pueda obtener las curvas con el modelo matemático propuesto, con sólo realizar el ingreso de los parámetros de información de diagnóstico de los componentes del sistema de control de inyección electrónica y que compare las curvas obtenidas con otras que se encuentren en una base de datos en la que existan curvas del funcionamiento ideal de dichos componentes de la mayoría de modelos y marcas de vehículos.
- Es importante no realizar cortocircuitos en los cables de alimentación de los sensores, ya que pueden afectar gravemente a la unidad de control electrónico.
- Hay que fijarse muy bien en la conexión que se realiza en el conector de la ECU ya que de colocar un cable de señal en un puerto de masa pueden sufrir daños los componentes de la computadora, como los transistores o el microprocesador.
- Antes de encender el motor, este debe encontrarse en un lugar plano y estable y se debe revisar que los todos los fluidos del motor estén en niveles precisos, también se debe observar que no existan elementos que interfieran en sus partes móviles y que todo se encuentre correctamente conectado.
- Es recomendable tener mucha cautela con el manejo de los equipos de diagnóstico automotriz, para evitar cualquier tipo de desperfecto en los mismos.
- Utilizar equipo de protección, gafas, guantes y mandil, ya que existen partes del motor que se calientan mucho cuando este está en funcionamiento, se recomienda tener mucho cuidado en este aspecto.
- Tener en cuenta de utilizar las escalas apropiadas para la obtención de los oscilogramas de los diferentes componentes del sistema de control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS Y ARTÍCULOS

- Bosch, R. (2015). *Catálogo Engine Management 2015*. México, D.F.: Bosch Autopartes.
- Coello, E. (2005). *Sistemas de Inyección Electrónica de Gasolina*. Quito: Ediciones América.
- González, G. (1997). Series de Fourier, Transformadas de Fourier y Aplicaciones. *Divulgaciones Matemáticas*, 43-60.
- Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. (2011). *Estadística Básica Para Estudiantes de Ciencias*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Iannacone, J., & Alvariño, L. (2011). Aspectos cuantitativos de los parásitos del pejesapo *Sicyases sanguineus* (Müller & Troshel, 1843) (Perciformes: Gobiesocidae) de la zona costera de Chorrillos, Lima, Perú. *Neotropical Helminthology*, 56-72.
- Li, T., Wu, D., & Xu, M. (2013 de marzo de 2013). Thermodynamic analysis of EGR effects on the first and second law efficiencies of a booster spark-ignited direct-injection gasoline engine. *ELSEVIER*, 130-138.
- Mansoor, M., Haneef, I., Akhtar, S., De Luca, A., & Udrea, F. (29 de Abril de 2015). Silicon diode temperature sensor-A review of applications. *ELSEVIER*, 64-71.
- Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, R. (2008). *Introducción a la Probabilidad y Estadística*. México, D. F.: Cengage Learning.
- Ohata, A. (2016). Automotive engine control with rational function satisfying inequality constraint. *ELSEVIER*, 673-678.
- Pardiñas, J. (2012). *Comprobación de los sistemas de inyección de gasolina (Sistemas auxiliares del motor)*. España: Editex.
- Ritter, T., Hagen, G., Jaroslaw, K., Wiegärtner, S., Schubert, F., & Moss, R. (2016). Self- heated HTCC-based ceramic disc for mixed potential sensors and direct conversion sensors for automotive catalysts. *Elsevier*, 1-10.

- Rizzoni, G., Onori, S., & Rubagotti, M. (2009). Diagnosis and Prognosis of Automovil Systems: motivations, history and some results. *IFAC*, 191-202.
- Rizzoni, G., Yong- Wha, K., & Ahmed, S. (2000). Estimation problems in engine control and diagnosis. *IFAC* , 125-131.
- Rueda, J. (2006). Manual técnico de fuel inyection. Guayaquil: Diseli Editores.
- Saquimux, J. (2011). *Serie Trigonométrica de Fourier*. Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Suárez, M., & Tapia, F. (2014). *Interaprendizaje de estadística básica*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Tusell, F. (2011). *Análisis de regresión. Introducción teórica y práctica basada en R*. Bilbao: Universidad del País Vasco.
- Verdaguer, A. (2006). *Manual de diagnóstico y búsqueda de fallas de la inyección electrónica*. Buenos Aires: Manuales Negri.
- Watson, B. (1991). *Manual de Fuel Injection FORD*. Naucalpán de Juárez: Prentice- Hall Hispanoamerica.
- Zonta, J., Martinez, M., da Silva, D., Pruski, F., & dos Santos Marcelo. (2012). Modelagem da infiltração em solos com encrostamento superficial. Parte II: condutividade hidráulica variando no tempo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 471-479.

TESIS

- Amán, A., & Castelo, J. (2012). *Costrucción de un tablero didáctico de un sistema de inyección electrónica Motronic Mp 9.0 de Volkswagen Gol 1.8 modelo 2002 para la Escuela de Ingeniería Automotriz*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Cajas, C., & Russo, G. (2004). *Diseño y construcción de un módulo de pruebas de inyección electrónica de gasolina monopunto (TBI)*. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.

- Calsina, V. (2010). *Diseño y construcción del osciloscopio automotriz "KAL 1.0" para el diagnóstico electrónico del automóvil*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Casa , E., & León, E. (2011). *Análisis de los parámetros de información de diagnósticos PID's y ajustes de combustible LFT-SFT mediante el uso del escáner en vehículos de la marca chevrolet D'max 3.0 pertenecientes a la ESPE extensión Latacunga*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Cervantes, I., & Espinosa , S. (2009). *Escáner automotriz de pantalla táctil*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- García, M. (2013). *Elaboración de un manual técnico para el análisis del diagnóstico electrónico de vehículos con sistema OBD-II para el taller AMBAMAZDA durante el año 2012*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gomez, J. (2002). *Uso del control electrónico de motores y la inyección electrónica de combustible, en motores gasolina*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Jami, D. (2006). *Diseño y construcción de un módulo de entrenamiento de inyección electrónica Ford EEC*. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Laverde, C., & Panchi, D. (2007). *Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento para inyección electrónica a gasolina del vehículo Chevrolet Vitara G1600 del laboratorio de motores*. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Mendoza, J. (14 de junio de 2010). *Desarrollo de una unidad de control electrónica (ECU) para el gobierno de motores de combustión interna*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Morales, C., & Valverde, U. (15 de Abril de 2010). *Scanner automotriz interfaz PC*. México: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 26 de Junio de 2017, de Instituto Politécnico Nacional.
- Nuñez, L., & Otañez, O. (2013). *Implementación de un banco didáctico para el estudio de funcionamiento de los sistemas de encendido electrónico del automóvil en la escuela de Ingeniería Automotriz*. Riobamba, Ecuador: Escuela Politécnica del Chimborazo.

- Obando, O., & Enríquez, B. (2001). *Diseño y construcción del módulo de inyección y encendido y pruebas de funcionamiento del motor Ford 6V EFI 2.9L*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Ortiz, J. (2014). *Diseño de escáner automotriz OBDII multiprotocolo*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Panchi, F., & Salazar, D. (2007). *Adaptación de un sistema de inyección electrónica de combustible multipunto MPFI en un vehículo Lada modelo 2104 fabricado en el año 1994*. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Quimbita, S. (2016). *Análisis del control de emisiones de gases de combustión del motor gasolina Toyota serie 2TR cuando se generan DTC'S en el sistema de control electrónico*. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Quiroz, J., & Quiroz, L. (2005). *Diseño y construcción de un módulo de entrenamiento del sistema de inyección electrónica de gasolina del vehículo Corsa Wind*. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército Latacunga.
- Rosero, M. (2014). *Implementación de un banco de pruebas automatizado para el diagnóstico del motor Optra 1.8 del laboratorio de Autotrónica*. Latacunga, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Villamar, I. (2008). *Estudio y Análisis de los sistemas de Diagnóstico en los automóviles modernos, Sistemas OBD*. Cuenca: Universidad del Azuay.

NETGRAFÍA

- Auto Avance. (2017). *Auto Avance*. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de Scanner Automotriz X 431 Master Launch: <http://www.autoavance.co/equipos-diagnostico-automotriz/scanner-automotriz-x-431-master-launch>
- Auto Avance. (s.f.). *Auto Avance*. Recuperado el 17 de Junio de 2017, de Osciloscopio Automotriz OTC 3840F: <http://www.autoavance.co/equipos-diagnostico-automotriz/osciloscopio-automotriz-otc-3840f>

- AutoDaewooSpark. (2017). *AutoDaewooSpark*. Recuperado el 7 de marzo de 2017, de Sonda Lambda, Sensor Lambda o Sensor de Oxígeno: <http://www.autodaewoospark.com/sonda-lambda.php>
- Automecanico. (2015). *Automecanico*. Recuperado el 19 de enero de 2017, de Fuel Injection Ford Diagrams: <http://automecanico.com/auto2012/esqford11.html>
- Booster, B. (s. f.). *Encendido electrónico*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de Curso de sistemas de control de marcha mínima (ralentí): <https://encendidoelectronico.com/sistemas-ralenti/control-de-marcha-minima-parte-1/>
- Bosch, R. (s.f.). *Piezas de automóviles de Bosch*. Recuperado el 21 de febrero de 2017, de Regulador de presión: http://br.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/bomba_eltrica_de_combustivel/regulador_de_pressao/regulador_de_pressao_1.html
- Bronco II Corral. (2017). *Bronco II Corral*. Recuperado el 5 de marzo de 2017, de Ford 2.9L V-6 Engines (1986-1990): http://www.broncoiicorral.com/tech_library/ford-2-9l-v-6-engines-1986-1990/
- Burns, K. (27 de julio de 2013). *Exploreforum*. Recuperado el 15 de enero de 2017, de How to: IAC valve cleaning thread (w/pics): <http://www.exploreforum.com/forums/index.php?threads%2Fhow-to-iac-valve-cleaning-thread-w-pics.84220%2F>
- Egas, D. (16 de noviembre de 2009). *Slideshare*. Recuperado el febrero 15 de 2017, de Regresión polinomial: https://es.slideshare.net/diegoegas/regresion-polinomial-2512264?qid=862bc923-d79b-4226-8ae6-45d3a4222090&v=&b=&from_search=1.
- Electroautomotores. (25 de enero de 2010). *Blogger*. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de Sistema OBD1: <http://electroautomotores.blogspot.com/2010/01/sistema-obd1.html>
- Fernández, R. (25 de julio de 2004). *Seminarios*. Recuperado el 1 de marzo de 2017, de Funciones Periódicas y Transformadas de Fourier: https://www.uam.es/personal_pas/txrf/fourier.html

- Fuel Injection. (17 de marzo de 2014). *La casa del sensor*. Recuperado el 14 de enero de 2017, de Sensor Temperatura Aire (IAT- ACT- NTC): <https://lacasadelsensor.wordpress.com/2014/03/17/42/>
- García, G. (12 de febrero de 2016). *Pruebaderuta*. Recuperado el 15 de junio de 2017, de Sensores y actuadores en el sistema de inyección electrónica: <https://www.pruebaderuta.com/sensores-y-actuadores-en-el-sistema-de-inyeccion-electronica.php>
- Garzón, J. (10 de noviembre de 2012). *El automóvil al desnudo*. Recuperado el 8 de junio de 2017, de Motores de combustión interna en automoción (PARTE IV): <http://jeroitim.blogspot.com/2012/11/motores-de-combustion-interna-en.html>
- Gauges & Dashboards. (11 de junio de 2010). *OBD-II Resource*. Recuperado el 20 de febrero de 2017, de OBD-II PIDs: <http://obdcon.sourceforge.net/2010/06/obd-ii-pids/>
- Geocities. (s. f.). *Geocities mecánica*. Recuperado el 1 de julio de 2017, de Operación del Sistema EVAP: <http://www.geocities.ws/mecanicainacap/canister.html>
- Gitonga, D. (16 de noviembre de 2013). *EHowenespañol*. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de Definición de Macromedia Flash: http://www.ehowenespanol.com/definicion-macromedia-flash-hechos_78686/
- GrupoCircuit. (23 de mayo de 2011). *GrupoCircuit*. Recuperado el 24 de febrero de 2017, de El protocolo OBD / OBD2 / EOBD: <http://www.grupocircuit.com/el-protocolo-obd2-eobd/>
- InForm Alliance ISC. (2016). *InForm Alliance ISC*. Recuperado el 14 de abril de 2017, de Carman Scan VG64: <http://www.carmanscan.eu/vg/>
- JOSEMACO'S. (25 de septiembre de 2010). *JOSEMACO'S*. Recuperado el 23 de julio de 2017, de Sensores MAP, características y mediciones.: <https://josemaco.wordpress.com/2010/09/25/sensores-map-caracteristicas-y-mediciones/>
- Lucas. (s. f.). *Electrónica de coches*. Recuperado el 29 de enero de 2017, de Encendido electrónico Ford Cortina: http://electronicadecoches.com/tienda/product.php?id_product=20

- myosevich. (19 de enero de 2016). *Bloguer*. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de 5 softwares de edicion de imagen: <http://metrosportif.blogspot.com/2016/01/5-softwares-de-edicion-de-imagen.html>
- OBD Codes. (s. f.). *OBD-Codes*. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de FAQ: How to read older GM codes for free: <https://www.obd-codes.com/faq/read-gm-2-digit-obd-codes-free.php>
- Robles, M. (13 de junio de 2017). *Atracción 360*. Recuperado el 30 de enero de 2017, de Si tu coche no pasa la verificación, tal vez esto está fallando: <http://www.atraccion360.com/que-es-el-sensor-de-oxigeno>
- Rodríguez, C. (5 de septiembre de 2014). *Soloelectronicos*. Recuperado el 6 de julio de 2017, de Auto-Diagnosis de su automovil gracias al Interfaz OBD: <https://soloelectronicos.com/tag/codigos-obd-ii/>
- Ruso, R. (8 de noviembre de 2005). *SHO Forum*. Recuperado el 8 de abril de 2017, de MAP sensor programmimg: <http://www.shoforum.com/index.php?threads%2Fmap-sensor-programmimg.123360%2F>
- SUPERMOTORS. (s. f.). *SUPERMOTORS*. Recuperado el 14 de junio de 2017, de PIP Sensor: <https://www.supermotors.net/registry/20487/78480-2>
- TOMCO. (2017). *TOMCO*. Recuperado el 28 de junio de 2017, de SENSOR DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE (CTS): <http://www.tomco.com.mx/sensor-de-temperatura-del-refrigerante.html>
- Torres, A. (4 de junio de 2011). *autotecnico online*. Recuperado el 22 de julio de 2017, de Cómo Probar El Sensor TPS: <http://autotecnico-online.com/ford/4.0L/como-probar-el-sensor-tps-1>
- Torres, A. (5 de julio de 2013). *autotecnico online*. Recuperado el 20 de julio de 2017, de Cómo probar la válvula EGR, el sensor DPFE, y el solenoide de vacío de Ford: <http://autotecnico-online.com/ford/3.0L-3.8L/como-probar-la-valvula-EGR-y-sensor-DPFE-4>
- Villacís, P. (23 de octubre de 2009). *Slideshare*. Recuperado el 29 de abril de 2017, de Serie de Fourier: <https://es.slideshare.net/sanpatrick1/serie-de-fourier-2331307>

NORMAS

SAE. (2002). *SAE J1979: 2002 Diagnostic Teste Modes*. Washigton, D. C.: SAE Standards.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

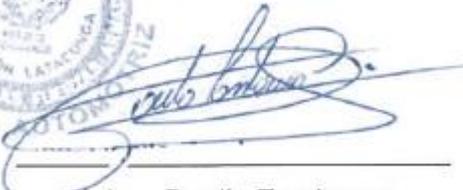
Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **ALEX DARIO PALLO CHUQUIMARCA Y BYRON JOEL SALAZAR BONILLA.**

En la ciudad de Latacunga, a los **18 días del mes de agosto del 2017.**



Ing. Germán Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Aprobado por



Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADÉMICO