



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN  
ELECTRÓNICA EN UN MOTOR GRAND VITARA J20A EN EL TALLER DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”.**

**LUIS HERIBERTO MERA LLIQUÍN  
LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO**

# **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

# **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2011**

**Espoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

**Enero 17 de 2011**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**LUIS HERIBERTO MERA LLIQUÍN**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN  
ELECTRÓNICA EN UN MOTOR GRAND VITARA J20A EN EL TALLER DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Celín Padilla  
DIRECTOR DE TESIS

---

Dr. Mario Audelo  
ASESOR DE TESIS

**Espoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

**Enero 17 de 2011**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN  
ELECTRÓNICA EN UN MOTOR GRAND VITARA J20A EN EL TALLER DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Celín Padilla  
DIRECTOR DE TESIS

---

Dr. Mario Audelo  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LUIS HERIBERTO MERA LLIQUÍN

**TÍTULO DE LA TESIS:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA EN UN MOTOR GRAND VITARA J20A EN EL TALLER DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”

**Fecha de Examinación:** 17 de Enero de 2011.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Carlos Santillán (Presidente Trib. Defensa)			
ING. Celín Padilla (Director de Tesis)			
DR. Mario Audelo (Asesor)			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA EN UN MOTOR GRAND VITARA J20A EN EL TALLER DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”

**Fecha de Exanimación:** 17 de Enero de 2011.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Carlos Santillán (Presidente Trib. Defensa)			
ING. Celín Padilla (Director de Tesis)			
DR. Mario Audelo (Asesor)			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

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

---

f) Luis Heriberto Mera Lliquín

---

f) Luis Fernando Buenaño Moyano

## **AGRADECIMIENTO**

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

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

**Luis Heriberto Mera Lliquín**

**Luis Fernando Buenaño Moyano**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis primeramente a Dios Por haberme dado la vida y ser mi guía en el camino del bien a mis padres Alejandro Mera y Rosalía LLIquín por haberme inculcado todos los valores de responsabilidad, respeto y humildad, a mis hermanas Marcia y Flor por haber hecho el gran esfuerzo para educarme, a mi hermana Lourdes por apoyarme en esos momentos donde creía que no encontraba la luz para continuar, también dedico esta tesis a mi querido cuñado Fabián Haro por sus consejos y su apoyo incondicional cuando he necesitado de él ,a mis queridos hermanos Juan y Fabián que pusieron un granito de arena para ser lo que soy, a mis tres maravillosos sobrinos David, Katherine y Cristina y sobre todo a mi querido Padrino Andreas Mittermeier por haberme apoyado incondicionalmente desde tan lejos todo este tiempo y a todos aquellos que hicieron posible culminar esta etapa de mi vida.

**Luis Heriberto Mera LLIquín.**



## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres, Luis Medardo Buenaño Silva y Amada Sulema Moyano Arboleda. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

**Luis Fernando Buenaño Moyano**

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos.....	4
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
2.1	Introducción a la inyección electrónica.....	5
2.2	Sistemas de inyección electrónica de gasolina.....	5
2.3	Ventajas de la Inyección Electrónica.....	6
2.4	Clasificación de los Sistemas de Inyección.....	7
2.4.1	Según el lugar de Inyección.....	7
2.4.1.1	Directa.....	7
2.4.1.2	Indirecta.....	8
2.4.2	Según el número de Inyectores.....	8
2.4.2.1	Monopunto.....	8
2.4.2.2	Multipunto.....	9
2.4.3	Según el número de inyecciones.....	9
2.4.3.1	Continua.....	9
2.4.3.2	Intermitente.....	10
2.4.3.2.1	Secuencial.....	10
2.4.3.2.2	Semisecuencial.....	10
2.4.3.2.3	Simultánea.....	11
2.4.4	Clasificación de los Sistemas de Inyección Electrónica según las Características de Funcionamiento.....	11
2.4.4.1	Inyección Mecánica (K-Jetronic).....	11
2.4.4.1.1	Sensores.....	12

2.4.4.1.2	Actuadores.....	12
2.4.4.1.3	Medidor de Flujo de Aire (Señal Base).....	13
2.4.4.1.4	Funcionamiento.....	14
2.4.4.1.5	Control de Marcha Mínima.....	15
2.4.4.1.6	Características Inportantes Adicionales.....	15
2.4.4.2	Inyección Electrónica (KE-Jetronic).....	15
2.4.4.2.1	Sensores.....	16
2.4.4.2.2	Actuadores.....	16
2.4.4.2.3	Medidor de Flujo de Aire (Señal Base).....	17
2.4.4.2.4	Funcionamiento.....	17
2.4.4.2.5	Control de Marcha Mínima.....	18
2.4.4.2.6	Características Importantes Adicionales.....	19
2.4.4.3	Inyección Electrónica (L-Jetronic, LE-Jetronic).....	19
2.4.4.3.1	Sensores.....	20
2.4.4.3.2	Actuadores.....	20
2.4.4.3.3	Sensor de Flujo de Aire tipo potenciómetro (Señal Base).....	21
2.4.4.3.4	Funcionamiento.....	21
2.4.4.3.5	Control de Marcha Mínima.....	23
2.4.4.3.6	Características Importantes Adicionales.....	24
2.4.4.3.6.1	LE-Jetronic.....	24
2.4.4.3.6.2	LE2-Jetronic.....	24
2.4.4.3.7	LH-Jetronic.....	24
2.4.4.4	Sistema de Inyección Electrónica del Motor Grand Vitara J20A.....	25
2.4.4.4.1	Sistema de Control Electrónico.....	27
2.4.4.4.2	Localización de Componentes en el Motor J20.....	28
2.4.4.4.3	Diagrama de Control del Sistema de Inyección J20A.....	30
<b>3.</b>	<b>SELECCIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....</b>	<b>31</b>
3.1	Diagnóstico del motor.....	31
3.2	Selección de Elementos y Accesorios para el funcionamiento del motor.....	31
3.2.1	Motor de Arranque.....	31
3.2.2	Radiador.....	32
3.2.3	Bomba de Combustible.....	33
3.2.4	Correa de Accesorios.....	33
3.3	Requerimientos del Sistema de Control para la Inyección Electrónica .....	33
3.3.1	ECM.....	34

3.3.2	Sensor MAF.....	34
3.3.3	Sensor IAT.....	35
3.3.4	Conectores.....	35
3.3.5	Cables.....	36
3.3.6	Relés.....	36
3.3.7	Fusibles.....	36
3.3.8	Switch.....	36
3.3.9	Testigos.....	36
3.3.10	Batería.....	37
3.4	Características del Sistema de Inyección.....	37
3.5	Diseño del Soporte.....	37
3.5.1	Identificación del Problema.....	38
3.5.2	Dimensionamiento.....	38
3.5.3	Dibujo de la Estructura.....	38
3.5.4	Análisis Estático de la Estructura.....	42
3.5.4.1	Simulación mediante software.....	43
3.5.4.1.1	Resultados de la Simulación.....	47
3.5.4.1.2	Tensión.....	48
3.5.4.1.3	Deformación.....	48
3.5.4.1.4	Factor de Seguridad.....	49
3.5.5	Análisis dinámico del banco de entrenamiento.....	50
3.5.5.1	Transmisión de Vibraciones del Motor.....	51
3.5.5.2	Frecuencia Natural de Vibración.....	52
3.5.5.3	Resonancia.....	53
3.5.5.4	Transmisibilidad.....	53
3.5.5.5	Análisis de Vibraciones en el Banco de Pruebas .....	55
3.5.5.6	Diseño Final.....	58
3.5.6	Conclusión del Diseño.....	60
3.6	Diseño del sistema de generación de fallas controlado por un ordenador.....	60
3.6.1	Diseño de la aplicación de Simulación de Fallas.....	61
3.6.2	Descripción de la programación del microcontrolador.....	62
3.6.3	Desarrollo del programa elaborado en Visual Basic.....	74
3.6.3.1	Descripción del programa elaborado en Visual Basic.....	75
3.6.3.2	Desarrollo de la programación en Visual Basic.....	77
3.6.4	Diseño del Circuito de Simulación de Fallas.....	105
3.6.4.1	Fuente de Tensión.....	106
3.6.4.2	Conexión del Microchip.....	107

<b>4.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO DE PRUEBAS</b>	<b>112</b>
4.1	Construcción del Soporte.....	112
4.2	Montaje del motor en el soporte.....	115
4.3	Ubicación e instalación de Accesorios en el Motor.....	117
4.3.1	Radiador.....	117
4.3.2	Batería.....	118
4.3.3	Motor de Arranque.....	118
4.3.4	Alternador.....	119
4.3.5	Bomba de Agua.....	120
4.3.6	Correa de Accesorios.....	120
4.4	Sistema Eléctrico.....	121
4.5	Sistema Electrónico.....	121
4.6	Ubicación e instalación de la ECU.....	121
4.6.1	Ubicación e instalación de Sensores y Actuadores.....	122
4.6.2	Ubicación e instalación de Tomas de Medición.....	122
4.7	Puesta a punto.....	122
4.7.1	Calibración de bujías.....	122
4.7.2	Distribución de Encendido inicial.....	122
4.7.3	Mantenimiento de Inyectores.....	123
4.8	Instalación del Sistema de Generación de Fallas.....	123
<b>5.</b>	<b>ENSAYOS Y ANÁLISIS</b>	<b>125</b>
5.1	Esquema del Equipo.....	125
5.2	Secuencia Operacional.....	127
5.3	Ubicación de tomas de medición.....	128
5.3.1	Sensor MAF.....	128
5.3.1.1	Ubicación del Sensor MAF en el motor J20A.....	129
5.3.2	Sensor IAT.....	130
5.3.2.1	Ubicación del Sensor IAT en el motor J20A.....	131

5.3.3	Sensor TP.....	132
5.3.3.1	Ubicación del Sensor TP en el motor J20A.....	133
5.3.4	Sensor CMP.....	134
5.3.4.1	Ubicación del Sensor CMP en el motor J20A.....	135
5.3.5	Sensor H2O2.....	136
5.3.5.1	Ubicación del Sensor H2O2 en el motor J20A.....	138
5.3.6	Sensor ECT.....	139
5.3.6.1	Ubicación del Sensor ECT en el motor J20A.....	140
5.3.7	Válvula IAC.....	140
5.3.7.1	Ubicación de la válvula IAC en el motor J20A.....	142
5.3.8	Inyectores.....	142
5.3.8.1	Ubicación de los inyectores en el motor J20A.....	144
5.3.9	Bobinas Individuales.....	144
5.3.9.1	Ubicación de las bobinas individuales en el motor J20A.....	146
5.3.10	Válvula EGR.....	147
5.3.10.1	Ubicación de la válvula EGR en el motor J20A.....	148
5.4	Toma de Datos del Sistema.....	149
5.4.1	Mediciones del sensor MAF.....	150
5.4.2	Mediciones del sensor IAT.....	150
5.4.3	Mediciones del sensor TP.....	151
5.4.4	Mediciones del Sensor CMP.....	152
5.4.5	Mediciones del Sensor H2O2.....	152
5.4.6	Mediciones del Sensor ECT.....	153
5.5	Generación de Fallas del Funcionamiento del Motor.....	153
5.6	Mantenimiento del Banco de Pruebas.....	174
5.7	Evaluación del Funcionamiento del Equipo.....	179
5.8	Elaboración del Manual de Procedimientos.....	181
5.9	Elaboración de Hojas de Laboratorio.....	181

**6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** 182

1.1	Conclusiones.....	182
1.2	Recomendaciones.....	183

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	
BIBLIOGRAFÍA.....	
LINKOGRAFÍA.....	

## LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
3.1	CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE ARRANQUE.....	32
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE.....	33
3.3	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN J20.....	37
3.4	PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES SELECCIONADOS EN INGENIERÍA.....	47
3.5	DATOS QUE SE ENVÍA AL MICROCONTROLADOR PARA HABILITAR PUERTOS.....	65
3.6	DATOS QUE SE ENVÍA AL MICROCONTROLADOR PARA DESHABILITAR PUERTOS.....	66
3.7	CARACTERÍSTICAS DEL INTEGRADO 7805.....	106
3.8	CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR PIC 16F877A.....	107
5.1	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL SENCOR MAF.....	129
5.2	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL SENSOR IAT.....	131
5.3	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL SENSOR TP.....	133
5.4	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL SENSOR CMP.....	135
5.5	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL SENSOR H2O2.....	138
5.6	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL SENSOR ECT.....	140
5.7	DESCRIPCIÓN DE PINES DE LA VÁLVULA IAC.....	141
5.8	DESCRIPCIÓN DE PINES DE LOS INYECTORES.....	143
5.9	DESCRIPCIÓN DE PINES DE LAS BOBINAS INDEPENDIENTES.....	146
5.10	DESCRIPCIÓN DE PINES DE LA VÁLVULA EGR.....	148
5.11	DATOS TOMADOS DEL MOTOR EN FUNCIONAMIENTO CON SCANNER.....	149
5.12	VALORES TOMADOS DEL SENSOR IAT.....	150
5.13	VALORES TOMADOS DEL SENSOR TP.....	151
5.14	VALORES QUE TOMA EL SENSOR ECT.....	153
5.15	CÓDIGOS DE FALLA POR DESTELLO.....	174
5.16	PLAN DE MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS.....	175
5.17	EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.....	180
5.18	EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE GENERACIÓN DE FALLAS.....	180

## LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Inyección Directa de Combustible.....	7
2.2	Inyección Indirecta de Gasolina.....	8
2.3	Inyección Monopunto.....	8
2.4	Inyección Multipunto.....	9
2.5	Inyección Continua.....	9
2.6	Inyección Secuencial.....	10
2.7	Inyección Semisecuencial.....	10
2.8	Inyección Simultánea.....	11
2.9	Inyección Mecánica K-Jetronic.....	12
2.10	Actuadores del Sistema K-Jetronic.....	13
2.11	Medidor de Flujo de Aire del Sistema K-Jetronic.....	14
2.12	Sistema de Inyección K-Jetronic.....	14
2.13	Actuadores del Sistema KE-Jetronic.....	16
2.14	Medidor de Flujo de Aire del Sistema KE-Jetronic.....	17
2.15	Esquema del Sistema KE-Jetronic.....	18
2.16	Válvula de Marcha mínima del Sistema KE-Jetronic.....	19
2.17	Ubicación del Interruptor de Mariposa en el Sistema L/LE – Jetronic.....	21
2.18	Diagrama del Sistema L/LE Jetronic.....	22
2.19	Esquema del Sistema de Inyección del Motor Grand Vitara J20.....	25
2.20	Localización de componentes en el vehículo Grand Vitara.....	28
2.21	Diagrama de control de l motor j20.....	30
3.1	Vista frontal de la estructura.....	39
3.2	Vista Superior de la estructura.....	39
3.3	Vista lateral de la estructura.....	40
3.4	Perfil principal.....	40
3.5	Dimensiones del perfil.....	41
3.6	Estructura en 3D.....	41
3.7	Croquizado de la estructura.....	43
3.8	Icono de Asistente Simulation Xpress.....	44
3.9	Representación de sujeciones en Solid Works.....	44
3.10	Ubicación de fuerzas distribuidas en Solid Works.....	46
3.11	Resultados de análisis de tensión en Solid Works.....	48
3.12	Resultados de deformación en Solid Works.....	49
3.13	Resultados del factor de seguridad en Solid Works.....	50
3.14	Movimientos lineales y rotacionales del motor.....	52
3.15	Relación entre la deflexión estática y la frecuencia natural.....	53
3.16	Relación entre transmisibilidad y la proporción entre la frecuencia impuesta y la frecuencia transmitida.....	54
3.17	Frecuencia Natural vs Deformación estática.....	55
3.18	Relación Entre Frecuencia impuesta/Frecuencia Natural y Número de rpm.....	57
3.19	Relación entre frecuencia impuesta y frecuencia natural sobre la transmisibilidad de vibraciones del montante de goma.....	58
3.20	Diseño final de la estructura en Solid Works.....	59



3.21	Motor y estructura final.....	59
3.22	Diagrama de flujo del programa del microcontrolador.....	62
3.23	Estructura de un dato que se envía serialmente.....	63
3.24	Pantalla Principal.....	75
3.25	Pantalla para seleccionar la teoría o generación de Fallas.....	76
3.26	Pantalla de representación del diagrama del motor J20.....	76
3.27	Pantalla de Generación de Fallas.....	77
3.28	Diagrama de flujo del programa Visual Basic.....	78
3.29	Diseño del circuito de control realizado en el programa Isis.....	105
3.30	Diseño del circuito fuente diseñado en ISIS.....	106
3.31	Conexiones necesarias en el PIC 16F877a.....	108
3.32	Conexión del puerto DB-9 al circuito MAX 232	109
3.33	Conexión de los microswitch 4066.....	109
3.34	Conexión del circuito de Potencia.....	110
3.35	Diseño final de la placa elaborada mediante el software ARES.....	110
3.36	Placa de circuito de la fuente diseñado en ARES.....	111
3.37	Placa de circuito de potencia diseñado en ARES.....	111
4.1	Base inferior de la estructura.....	113
4.2	Estructura superior e inferior.....	114
4.3	Ruedas de Goma.....	114
4.4	Estructura cubierta de pintura Antioxidante.....	115
4.5	Block de cilindros del motor J20.....	116
4.6	Tapa de válvulas del motor J20.....	116
4.7	Cigüeñal y albores de levas del motor J20.....	116
4.8	Admisión y componentes esenciales del motor J20.....	117
4.9	Múltiple de escape del motor J20.....	117
4.10	Radiador instalado en el Banco.....	118
4.11	Batería instalada en el Banco.....	118
4.12	Batería instalada en el Banco.....	119
4.13	Alternador instalado en el Banco.....	119
4.14	Bomba de agua instalada en el Banco.....	120
4.15	Bomba de agua instalada en el Banco.....	120
4.16	ECU instalada en el Banco.....	121
4.17	Modulo de control de generación de fallas.....	124
5.1	Esquema del equipo con sus componentes principales.....	125
5.2	Banco de pruebas con sus sistemas externos.....	112
5.3	Tablero del control y monitorización del motor.....	126
5.4	Banco de pruebas con todos sus componentes.....	126
5.5	Conector del sensor MAF.....	128
5.6	Conexión y valore del Sensor MAF y ECM.....	128
5.7	Conexión ente ECM y Acoplador del Sensor MAF.....	129
5.8	Vista posterior de la ECM y conexión del sensor MAF.....	129
5.9	Ubicación del sensor MAF en el Motor.....	130
5.10	Conector del Sensor IAT.....	130
5.11	Conexión y valore del Sensor IAT y ECM.....	131
5.12	Conexión ente ECM y Acoplador del Sensor IAT.....	131
5.13	Vista posterior de la ECM y conexión del sensor IAT.....	131
5.14	Ubicación del sensor MAF en el Motor.....	132
5.15	Conector del Sensor TP.....	132

5.16	Conexión y valore del Sensor TP y ECM.....	133
5.17	Conexión ente ECM y Acoplador del Sensor TP.....	133
5.18	Vista posterior de la ECM y conexión del sensor TP.....	133
5.19	Ubicación del sensor TP en el Motor.....	134
5.20	Conector del Sensor CMP.....	134
5.21	Conexión y valore del Sensor CMP y ECM.....	135
5.22	Conexión ente ECM y Acoplador del Sensor CMP.....	135
5.23	Vista posterior de la ECM y conexión del sensor CMP.....	135
5.24	Ubicación del sensor CMP en el Motor.....	136
5.25	Conector del Sensor H2O2.....	137
5.26	Conexión y valore del Sensor H2O2 y ECM.....	137
5.27	Conexión ente ECM y Acoplador del Sensor H2O2.....	137
5.28	Vista posterior de la ECM y conexión del sensor H2O2.....	138
5.29	Ubicación del sensor H2O2 en el Motor.....	138
5.30	Conector del Sensor ECT.....	139
5.31	Conexión y valore del Sensor ECT y ECM.....	139
5.32	Conexión ente ECM y Acoplador del Sensor ECT.....	139
5.33	Vista posterior de la ECM y conexión del sensor ECT.....	140
5.34	Ubicación del sensor ECT en el Motor.....	140
5.35	Conector de la válvula IAC.....	141
5.36	Conexión ente ECM y Acoplador de la válvula IAC.....	141
5.37	Vista posterior de la ECM y conexión de la válvula IAC.....	141
5.38	Ubicación de la válvula IAC en el Motor.....	142
5.39	Conector del Inyector.....	143
5.40	Conexión ente ECM y Acoplador de los inyectores.....	143
5.41	Vista posterior de la ECM y conexión de los inyectores.....	144
5.42	Ubicación de los inyectores en el Motor.....	144
5.43	Conector de la bobina independiente.....	145
5.44	Conexión ente ECM y Acoplador de las bobinas independientes.....	145
5.45	Ubicación de las bobinas independientes en el Motor.....	146
5.46	Conector de la válvula EGR.....	147
5.47	Conexión ente ECM y Acoplador de la válvula EGR.....	147
5.48	Vista posterior de la ECM y conexión de la válvula EGR.....	148
5.49	Ubicación de la válvula EGR en el Motor.....	148
5.50	Grafica del sensor MAF.....	150
5.51	Grafica del sensor IAT.....	151
5.52	Grafica del sensor TP.....	151
5.53	Grafica del sensor CMP.....	152
5.54	Grafica del sensor O2.....	152
5.55	Grafica del sensor ECT.....	153
5.56	Pantalla de generación de fallas.....	154
5.57	Falla del sensor IAT.....	155
5.58	Falla del sensor MAF.....	155
5.59	Falla del sensor TP.....	156
5.60	Falla del Sensor CMP.....	156
5.61	falla del sensor H2O2.....	157
5.62	Falla del sensor ECT.....	158

5.63	Falla de la bomba de combustible.....	158
5.64	Falla del calentador de oxígeno.....	159
5.65	Falla de la válvula IAC.....	159
5.66	Falla en la bobinas de Encendido 1.....	160
5.67	Falla en la bobinas de Encendido 2.....	160
5.68	Falla en la bobinas de Encendido 3.....	161
5.69	Falla en la bobinas de Encendido 4.....	161
5.70	Falla del Inyector 1.....	162
5.71	Falla del Inyector 2.....	162
5.72	Falla del Inyector 3.....	163
5.73	Falla del Inyector 4.....	163
5.74	Falla de la EGR.....	164
5.75	Generación de Fallas Múltiples en la interfaz del programa.....	164
5.76	Uso del escáner en el banco.....	165
5.77	Pantalla principal del Escáner Carman.....	165
5.78	Visualización del Registro de Vuelo en el Escáner Carman.....	166
5.79	Localización de código P0100 en AutoData 3.24.....	167
5.80	Localización de código P0110 en AutoData 3.24.....	167
5.81	Localización de código P0120 en AutoData 3.24.....	168
5.82	Localización de código P0340 en AutoData 3.24.....	168
5.83	Localización de código P0130 en AutoData 3.24.....	169
5.84	Localización de código P0115 en AutoData 3.24.....	169
5.85	Localización de código P0505 en AutoData 3.24.....	170
5.86	Localización de código P2302 en AutoData 3.24.....	170
5.87	Localización de código P2305 en AutoData 3.24.....	171
5.88	Localización de código P2308 en AutoData 3.24.....	171
5.89	Localización de código P2311 en AutoData 3.24.....	172
5.90	Localización de códigos de falla de los inyectores en AutoData 3.24.....	172
5.91	Localización de código P0400 en AutoData 3.24.....	173

## LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
CMP	Sensor de posición del árbol de levas
ECM	Módulo de Control Electrónico
ECT	Sensor de Temperatura del Refrigerante
ECU	Módulo de Control Electrónico
EGR	Recirculación de Gases de Escape
H2O2	Sensor Calentado de Oxígeno
IAC	Control de Aire Adicional
IAT	Sensor de Temperatura de Aire
MAF	Sensor de Flujo de Aire Másico
TP	Sensor de posición del acelerador

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1:** Manual del Usuario
- ANEXO 2:** Diagrama del sistema de control de Inyección electrónica del motor Suzuki Grand Vitara j20A
- ANEXO 3:** Hoja de Laboratorio

## LISTA DE PLANOS

<b>PLANO 1:</b>	Estructura Soporte del Motor
<b>PLANO 2:</b>	Lista de Materiales
<b>PLANO 3:</b>	Plano de Conjunto
<b>PLANO 4:</b>	Perno M5
<b>PLANO 5:</b>	Perno M8
<b>PLANO 6:</b>	Tuerca M8
<b>PLANO 7:</b>	Tablero de Control
<b>PLANO 8:</b>	Base Izquierda
<b>PLANO 9:</b>	Base Derecha
<b>PLANO 10:</b>	Soporte del Radiador
<b>PLANO 11:</b>	Estructura Superior
<b>PLANO 12:</b>	Soporte Tanque de Combustible
<b>PLANO 13:</b>	Estructura Inferior

## **RESUMEN**

En el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, se procede a la implementación de un banco de pruebas de inyección electrónica en un motor grand vitara J20A, el cual se inició con un análisis previo de los elementos constitutivos del motor.

El Banco de Pruebas de inyección electrónica con motor grand vitara J20, fue diseñado con el propósito de unir tanto la instrucción teórica como la práctica, lo que apoyará al desarrollo de habilidades y destrezas en los estudiantes con un alto nivel de conocimiento y de esta manera puedan responder a las exigencias del mundo laboral.

Este banco de inyección electrónica fué diseñado para que simule situaciones reales de operación, siendo estas: funcionamiento normal y con fallas. El modelo consta de elementos en perfectas condiciones los cuales cumplen con los requerimientos adecuados de operación.

En los ensayos se utilizó herramientas y equipos de diagnóstico automotriz, siendo estos realizados en diferentes rangos y condiciones de trabajo del motor, para observar el comportamiento y registrar los datos que proporcione el sistema de inyección electrónica, tanto en modo de operación normal o de funcionamiento con fallas.

Se elaboró un plan de mantenimiento con la finalidad de evitar futuros inconvenientes, además se proporciona un manual de operación que ofrezca todos los pasos a seguir para su correcta operación, se recomienda en lo posible dejar que el motor alcance su temperatura normal de trabajo para un perfecto funcionamiento y así obtener una larga vida útil.

## SUMMARY

At the Automobile Engineering School of the Mechanics Faculty of the ESPOCH, the implementation of an Electronic Injection testing bank in a Grand Vitara J20A motor was carried out. A previous analysis of the motor components was initiated.

The Electronic Injection Testing bank with Grand Vitara J20 was designed to unite both the theoretical instruction and practice which will support the development of skills and training in the students with a high knowledge level so as to meet the labor world requirements.

This Electronic Injection Bank was designed to simulate real operation situations such as: normal and faulty functioning. The model consists of elements in perfect conditions which meet the adequate operation requirements.

In the trials tools and equipment of automobile diagnosis were used. They are carried out in different ranges and conditions of the motor work to observe the behavior and record the data from the electronic injection system in both normal operation and faulty functioning.

A maintenance plan was elaborated to avoid future inconveniences; moreover, an operation manual offering all the steps to be followed for a correct operation is provided. It is recommended, if possible, to let the motor reach its normal work temperature for its perfect functioning so as to obtain a long service life.



## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1. Antecedentes**

En la actualidad el desarrollo tecnológico a nivel automotriz avanza vertiginosamente con el pasar de los días, de manera especial en la evolución de los motores de combustión interna, provocando que el sector automotriz requiera de un profesional capacitado y actualizado de manera constante para la solución de todo tipo de problemas que se presentan en los automóviles, relacionando la práctica con la teoría, aprovechando la utilización de herramientas y equipos de avanzada tecnología con base informática.

Por tal motivo La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en su ininterrumpido desarrollo académico, científico y tecnológico instaura la Escuela de Ingeniería Automotriz en el año 2003 mediante resolución del Consejo Académico y Consejo Politécnico, la misma que inicia sus funciones en octubre del año 2004, desde aquel instante la Escuela de Ingeniería Automotriz asume la misión de formar profesionales capaces de integrarse al aparato productivo nacional, para solucionar problemas técnicos, científicos, contribuyendo de esta manera al desarrollo del país.

En su afán de cumplir con su misión la Escuela de Ingeniería Automotriz dispone al momento de dos galpones y áreas para recepción de vehículos, un taller que cuenta con elevadores, prensas, espacios para mecánica de patio y área de estacionamiento, además de un motor Grand Vitara J20A el cual fue destinado como recurso para impartir la cátedra de inyección electrónica; materia que consta en el pensum de estudios de la carrera y que es una de las más importantes para la preparación de los futuros profesionales.

Cabe recalcar que dicho motor fue concesionado a la escuela de ingeniería automotriz por las autoridades centrales de la politécnica para que hagan uso del mismo como material didáctico, sin embargo el motor requiere la implementación de varias partes de sus componentes para su correcto funcionamiento; por tal motivo el mismo no puede ser utilizado por el momento en actividades académicas.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto se percibe el deseo de la institución de continuar con el desarrollo académico mediante la implementación de laboratorios y talleres equipados con equipos y bancos de trabajo didácticos que puedan ofrecer al alumno una preparación integral, en consecuencia la escuela requiere de soluciones prácticas, innovadoras, técnicas y económicas que puedan contribuir con su propósito.

Refiriéndonos a instituciones colegas como en este caso La Escuela Superior Politécnica del Ejército cuyos laboratorios en parte han sido implementados por trabajos de grado de sus estudiantes, tales como bancos de pruebas de motores de combustión interna, sistemas electrónicos de luces entre otros, los estudiantes de la ESPOCH pueden aportar sus conocimientos para diseñar bancos de pruebas didácticos que pasen a formar parte de los laboratorios de la Escuela Automotriz.

El Ingeniero Automotriz de la ESPOCH está preparado para aplicar todas sus habilidades y destrezas en lo relacionado con el mantenimiento y reparaciones íntegras de motores de combustión interna tanto de diesel como de gasolina, así como de sus sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos e inyección electrónica; además de estar en capacidad de administrar un taller; por tanto contamos con los conocimientos necesarios para proponer soluciones como restablecer y lograr que un vehículo, en este caso un motor pueda volver a ser útil teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales de un profesional es actuar para solventar problemas que aquejan a la comunidad en la que se encuentra.

## **1.2. Justificación**

Los requerimientos actuales para un debido proceso de formación han hecho necesario la implementación de laboratorios de simulación de sistemas de inyección de combustible que contribuyan con la formación de los estudiantes, para ello la escuela constantemente busca soluciones alternativas que satisfagan los avances académicos universitarios.

La experiencia vivida como estudiantes nos ha impulsado a proponer una solución, la cual exponemos en el siguiente plan de tesis misma que comprende la implementación de un Banco de Pruebas en un motor de inyección electrónica, haciendo uso de los recursos de los que disponemos y promoviendo la reutilización del motor de Grand Vitara J20A con el que cuenta la escuela.

Al disponer de este nuevo equipo didáctico los estudiantes tendrán la posibilidad de relacionar la teoría impartida por sus maestros en la práctica, comprendiendo el funcionamiento de un motor de combustión interna con un sistema de inyección electrónica de combustible.

Este equipo le ofrecerá al alumno la posibilidad de aprender a interactuar con un motor real, haciendo uso de equipos de medición tales como: multímetro, osciloscopio, escáner automotriz entre otros. Y de esta forma pueda desarrollar habilidades y destrezas en lo relacionado al diagnóstico de los sistemas de inyección electrónica.

El docente contará con un equipo didáctico capaz de simular una situación real de funcionamiento ya que el banco de pruebas tendrá funciones para generar fallas, es decir, podrá acceder a los códigos de falla mediante un escáner automotriz, con lo cual las clases impartidas serán aprovechadas al máximo por todos los estudiantes.

Este proyecto innovador de investigación y desarrollo es factible realizarlo en el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz de una manera económica y técnica, aplicando los conocimientos adquiridos hacia la comunidad Politécnica, contribuyendo al desarrollo de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Implementar un banco de pruebas de inyección electrónica en un motor Grand Vitara J20A en el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Investigar el funcionamiento de los sistemas de inyección electrónica de combustible implementado en los vehículos.
- Seleccionar los elementos adecuados que incorporarán la estructura del banco de pruebas.
- Ensamblar y efectuar la puesta a punto del banco de pruebas
- Verificar el funcionamiento, generación de fallas y elaboración de guías de práctica del banco de pruebas.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Introducción a la Inyección Electrónica**

La **inyección electrónica** es una forma de inyección de combustible que se diferencia en varios tipos (monopunto, multipunto, secuencial, simultánea) pero básicamente todas se basan en la ayuda de la electrónica para dosificar la inyección del carburante y reducir la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera y a la vez optimizar el consumo.

Este es un sistema que reemplaza al carburador en los motores de gasolina. Su introducción se debió a un aumento en las exigencias de los organismos de control del medio ambiente para disminuir las emisiones de los motores.

Su importancia radica en su mejor capacidad respecto al carburador para dosificar el combustible y crear un mezcla aire / combustible, muy próxima a la estequiométrica (14,7:1 para la gasolina), lo que garantiza una muy buena combustión con reducción de los porcentajes de gases tóxicos a la atmósfera. La relación estequiométrica es la proporción exacta de aire y combustible que garantiza una combustión completa de todo el combustible.

La función es la de tomar aire del medio ambiente, medirlo e introducirlo al motor, luego de acuerdo a esta medición y conforme al régimen de funcionamiento del motor, inyectar la cantidad de combustible necesaria para que la combustión sea lo más completa posible.

Consta fundamentalmente de sensores, una unidad electrónica de control y actuadores o accionadores.

## **2.2 Sistemas de Inyección Electrónica de Gasolina**

En los motores de gasolina, la mezcla se prepara utilizando un carburador o un equipo de inyección. Hasta ahora, el carburador era el medio más usual de preparación de mezcla, medio mecánico. Desde hace algunos años, sin embargo, aumentó la tendencia a preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión. Esta tendencia se explica por las ventajas que supone la inyección de combustible en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como de limitación de elementos contaminantes en los gases de escape. Las razones de estas ventajas residen en el hecho de que la inyección permite ( una dosificación muy precisa del combustible en función de los estados de marcha y de carga del motor;

teniendo en cuenta así mismo el medio ambiente, controlando la dosificación de tal forma que el contenido de elementos nocivos en los gases de escape sean mínimos.

Además, asignando una electroválvula o inyector a cada cilindro se consigue una mejor distribución de la mezcla.

También permite la supresión del carburador; dar forma a los conductos de admisión, permitiendo corrientes aerodinámicamente favorables, mejorando el llenado de los cilindros, con lo cual, favorecemos el par motor y la potencia, además de solucionar los conocidos problemas de la carburación, como pueden ser la escarcha, la percolación, las inercias de la gasolina.

### **2.3 Ventajas de la Inyección Electrónica**

**Consumo reducido.-** Con la utilización de carburadores, en los colectores de admisión se producen mezclas desiguales de aire/gasolina para cada cilindro. La necesidad de formar una mezcla que alimente suficientemente incluso al cilindro más desfavorecido obliga, en general, a dosificar una cantidad de combustible demasiado elevada. La consecuencia de esto es un excesivo consumo de combustible y una carga desigual de los cilindros. Al asignar un inyector a cada cilindro, en el momento oportuno y en cualquier estado de carga se asegura la cantidad de combustible, exactamente dosificada.

**Mayor potencia.-** La utilización de los sistemas de inyección permite optimizar la forma de los colectores de admisión con el consiguiente mejor llenado de los cilindros. El resultado se traduce en una mayor potencia específica y un aumento del par motor.

**Gases de escape menos contaminantes.-** La concentración de los elementos contaminantes en los gases de escape depende directamente de la proporción aire/gasolina. Para reducir la emisión de contaminantes es necesario preparar una mezcla de una determinada proporción. Los sistemas de inyección permiten ajustar en todo momento la cantidad necesaria de combustible respecto a la cantidad de aire que entra en el motor.

**Arranque en frío y fase de calentamiento.-** Mediante la exacta dosificación del combustible en función de la temperatura del motor y del régimen de arranque, se consiguen tiempos de arranque más breves y una aceleración más rápida y segura desde el ralentí. En la fase de calentamiento se realizan los ajustes necesarios para una marcha redonda del motor y una buena admisión de gas sin

tirones, ambas con un consumo mínimo de combustible, lo que se consigue mediante la adaptación exacta del caudal de éste.

## **2.4 Clasificación de los Sistemas de Inyección**

Se pueden clasificar en función de cuatro características distintas:

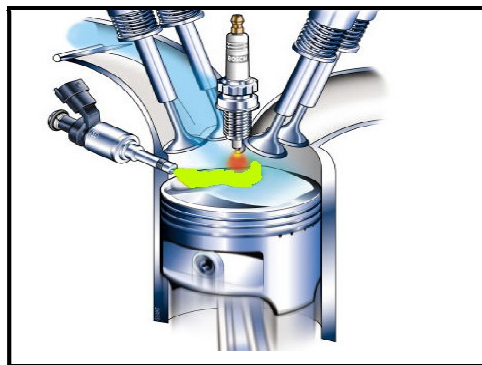
1. Según el lugar donde inyectan.
2. Según el número de inyectores.
3. Según el número de inyecciones.
4. Según las características de funcionamiento.

### **2.4.1. Según el lugar de Inyección**

Los sistemas de Inyección electrónica se dividen en: Inyección directa, Inyección Indirecta.

#### **2.4.1.1. Directa**

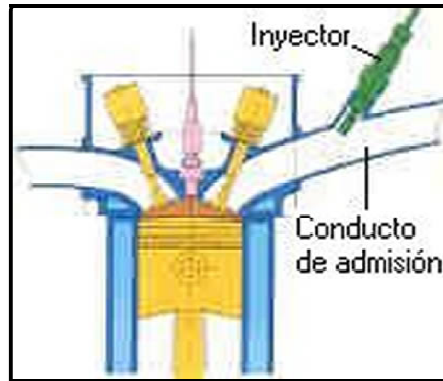
El inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión. Este sistema de alimentación es el más novedoso y se está empezando a utilizar ahora en los motores de inyección gasolina como el motor GDi de Mitsubishi o el motor IDE de Renault.



**Figura 2.1:** Inyección Directa de Combustible

#### **2.4.1.2. Indirecta**

El inyector introduce el combustible en el colector de admisión, encima de la válvula de admisión, que no tiene por qué estar necesariamente abierta. Es la más usada actualmente.

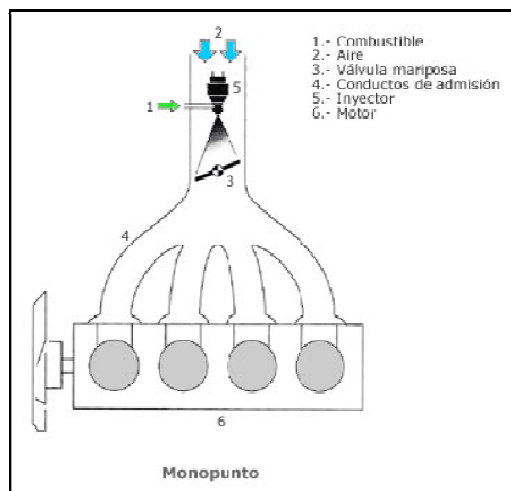


**Figura 2.2:** Inyección Indirecta de Gasolina

## 2.4.2. Según el número de Inyectores

### 2.4.2.1. Monopunto

El combustible es inyectado únicamente en el cuerpo del acelerador, es el más simple y económico, en el cual sólo existe un inyector al principio del múltiple de admisión, lugar donde se pulveriza el combustible.

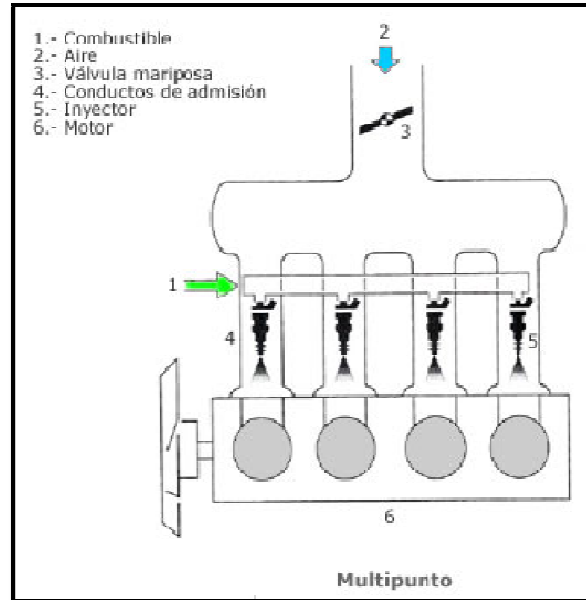


**Figura 2.3:** Inyección Monopunto

### 2.4.2.2. Multipunto



Hay un inyector por cilindro, pudiendo ser del tipo "inyección directa o indirecta". Es la que se usa en vehículos de media y alta cilindrada, con antipolución o sin ella.

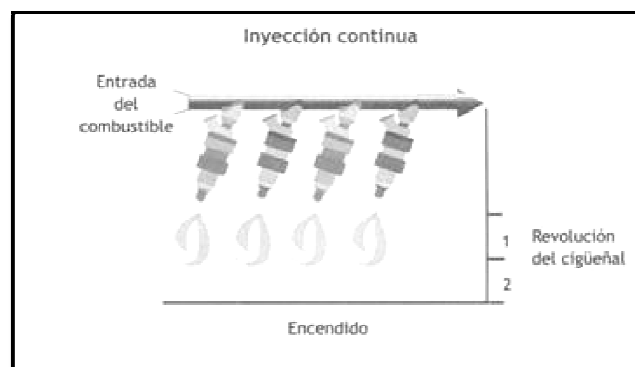


**Figura 2.4:** Inyección Multipunto

### 2.4.3. Según el número de inyecciones

#### 2.4.3.1. Continua

En este sistema de inyección, el combustible es rociado continuamente a partir de los inyectores.



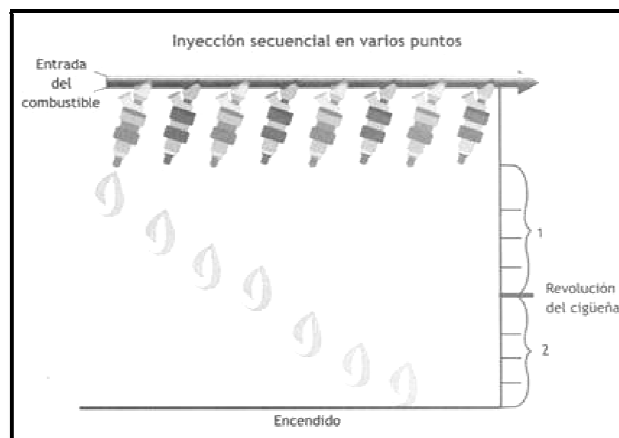
**Figura 2.5:** Inyección Continua

#### 2.4.3.2. Intermitente

Introduce el combustible de modo intermitente porque el inyector abre y cierra de acuerdo a órdenes que recibe de la central electrónica de mando. Hay tres tipos de Inyección Intermitente: Secuencial, semisequencial y simultánea.

#### 2.4.3.2.1. Secuencial

Los inyectores son activados y desactivados por pulso, uno a la vez, en el mismo orden que el encendido del motor.



**Figura 2.6:** Inyección Secuencial

#### 2.4.3.2.2. Semisecuencial

Los inyectores son abiertos o cerrados, por pulsos en grupos de dos o más en forma simultánea, pero nunca todos al mismo tiempo.



**Figura 2.7:** Inyección Semisequencial

#### 2.4.3.2.3. Simultanea

Todos los inyectores de combustible inyectan combustible en forma simultánea.



**Figura 2.8:** Inyección Simultánea

#### **2.4.4. Clasificación de los Sistemas de Inyección Electrónica según las Características de Funcionamiento**

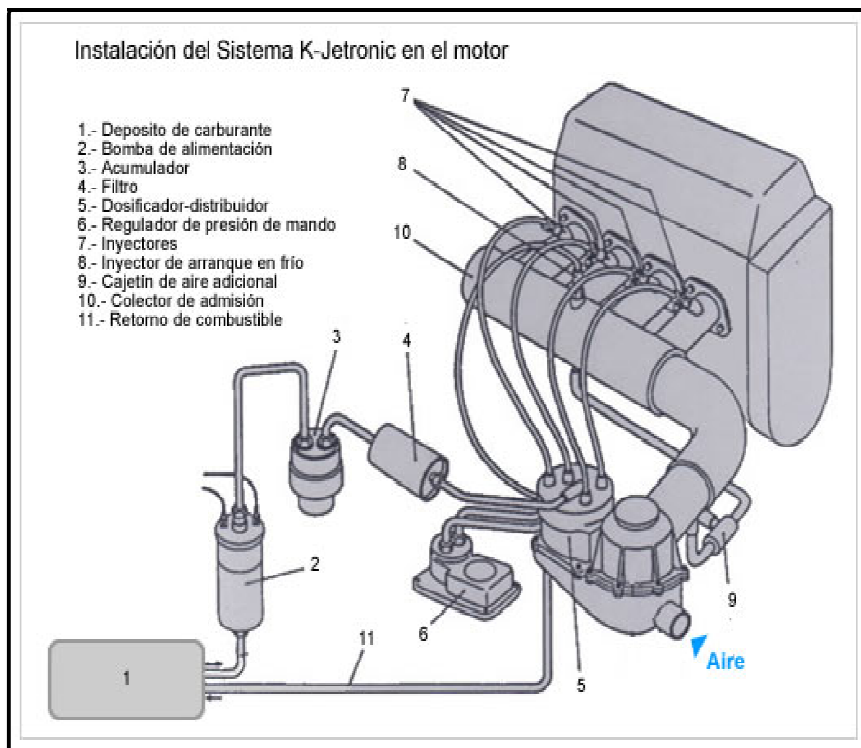
De acuerdo a las características de funcionamiento los sistemas de inyección se clasifican en:

##### **2.4.4.1. Inyección Mecánica (K-Jetronic)**

Es un sistema de inyección de tipo totalmente mecánico.

La inyección de la gasolina es de forma continua y con variación de caudal por medio de inyectores mecánicos que abren a la presión de tarado.

La regulación y control de la cantidad de gasolina es por medio de un distribuidor-dosificador hidráulico. La medida de la cantidad de aire de admisión se da por medio de un plato sonda que actúa sobre el distribuidor-dosificador.



**Figura 2.9:** Inyección Mecánica K-Jetronic

#### 2.4.4.1.1. Sensores

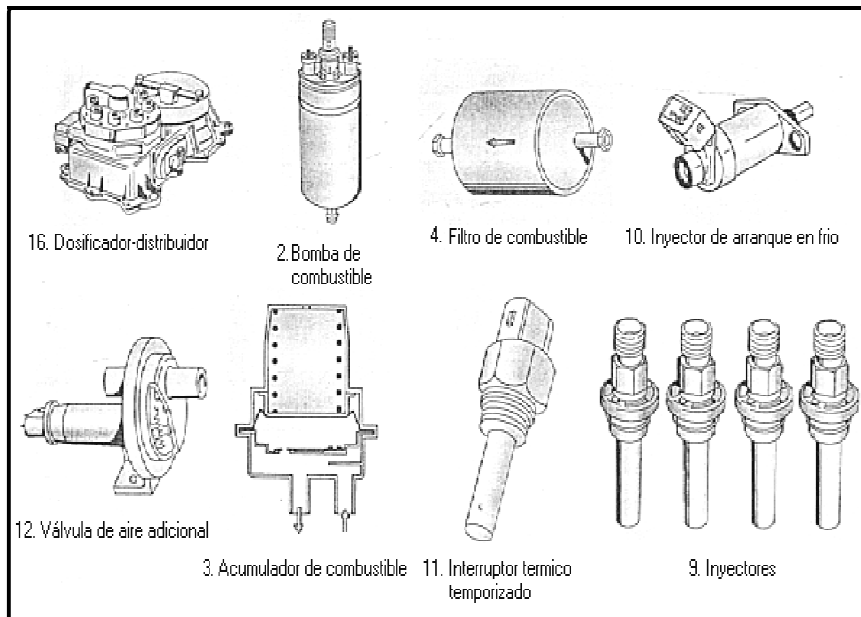
Los sensores de los que dispone el sistema son:

- Medidor del Caudal de Aire

#### 2.4.4.1.2. Actuadores

Los actuadores son los siguientes componentes:

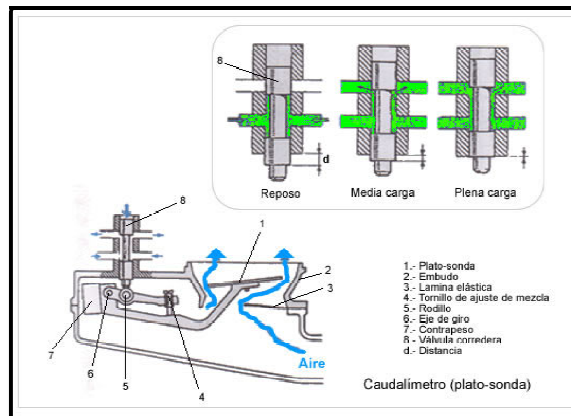
- Regulador de presión
- Regulador de fase de adelantamiento
- Válvula de presión diferencial
- Inyector de arranque en frío
- Inyectores
- Interruptor térmico temporizado
- Válvula de aire adicional
- Relevador



**Figura 2.10:** Actuadores del Sistema K-Jetronic

#### 2.4.4.1.3. Medidor de Flujo de Aire (Señal Base)

El regulador de mezcla cumple dos funciones medir el volumen de aire aspirado por el motor y dosificar la cantidad correspondiente de combustible para conseguir una proporción aire/combustible adecuada. El medidor del caudal de aire, situado delante de la mariposa en el sistema de admisión mide el caudal de aire. Consta de un embudo de aire (2) con un plato-sonda móvil colocado en el nivel de diámetro más pequeño. Cuando el motor aspira el aire a través del embudo, el plato (1) es aspirado hacia arriba o hacia abajo (depende de cada instalación), y abandona su posición de reposo. Un sistema de palancas transmite el movimiento del plato a la válvula corredera (8) que determina la cantidad de combustible a inyectar. Al parar el motor el plato-sonda vuelve a la posición neutra y descansa en un resorte (3) de lámina ajustable (en el caso de los platos-sonda que se desplazan hacia arriba). Para evitar estropear la sonda en caso de retornos de llama por el colector de admisión, el plato-sonda puede oscilar en el sentido contrario, contra el resorte de lámina, hacia una sección más grande. Un amortiguador de goma limita su carrera.

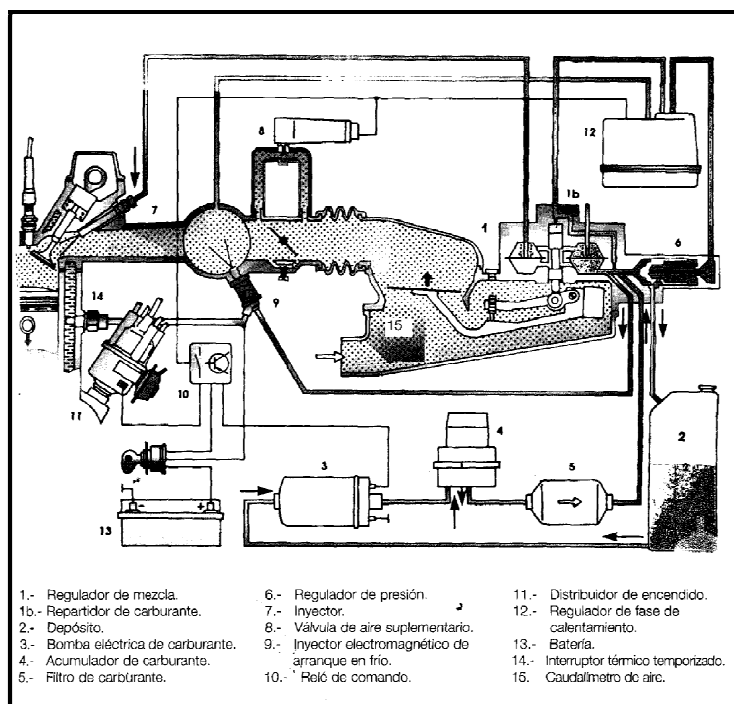


**Figura 2.11:** Medidor de Flujo de Aire del Sistema K-Jetronic

#### 2.4.4.1.4. Funcionamiento

El medidor de caudal se encuentra íntimamente reaccionado con el dosificador, y de este parten los tubos que llegan a cada uno de los inyectores.

Estos inyectores son mecánicos funcionando como toberas por los que sale el combustible pulverizado justo a la entrada de los colectores de admisión a los cilindros, estos comienzan a abrir en 3.3 kg/cm<sup>2</sup> y dan su caudal máximo a 5 kg/cm<sup>2</sup> que es la presión de suministro de la bomba.



**Figura 2.12:** Sistema de Inyección K-Jetronic

#### **2.4.4.1.5. Control de Marcha Mínima**

La electrobomba asegura una presión inmediata del circuito. Al poner el motor en marcha y durante un período prefijado en función de la temperatura el inyector de arranque en frío pulveriza gasolina a la presión de alimentación en el colector de admisión. Una válvula de aire adicional de mando electrónico a nivel de la mariposa asegura el ralentí acelerado. El enriquecimiento en frío se produce al hacerse más fácil la subida del pistón del distribuidor cuya presión de mando queda debilitada por el regulador.

En frío, el bimetálico tira de la válvula de fuga del regulador de la presión de mando.

Al ralentí, la válvula controlada electrónicamente, según la temperatura del motor y su velocidad, deja pasar la cantidad de aire suficiente para asegurar un ralentí de 750 a 850 rpm.

En frío se incrementa el valor del ralentí.

#### **2.4.4.1.6. Características Importantes Adicionales**

Este sistema realiza tres funciones fundamentales:

- a) Medir el volumen de aire aspirado por el motor mediante un caudalímetro especial.
- b) Alimentación de gasolina mediante una bomba eléctrica y envía gasolina hacia un repartidor que dosifica la cantidad a los inyectores.
- c) Preparación de mezcla: el volumen de aire aspirado por el motor en función de la posición de la mariposa constituye el principio esencial de dosificación de carburante. El volumen de aire está determinado por el caudalímetro que actúa sobre el repartidor. El caudalímetro y el repartidor hacen la función de regulador de la mezcla.
- d) La regulación de Lambda la realiza mediante una unidad electrónica separada.

#### **2.4.4.2. Inyección Electromecánica (KE-Jectronic)**

Es un sistema mixto de inyección mecánica-electrónica.

La inyección de gasolina es de forma continua y con variación de caudal por medio de inyectores mecánicos que abren a la presión de tarado.

Regulación y control de la dosificación por medio de un plato sonda que incorpora un potenciómetro para el cálculo de la cantidad de aire de admisión y actuación desde la unidad electrónica a un actuador de presión situado en el regulador-dosificador.

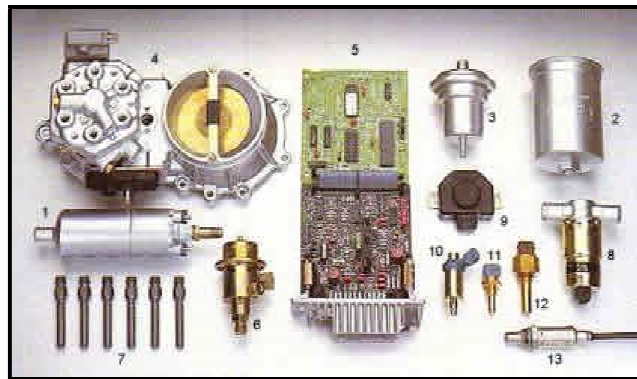
#### **2.4.4.2.1. Sensores**

Los sensores del sistema son:

1. Medidor de flujo de aire
2. Sensor Lambda
3. Transductor para la temperatura del agua
4. Transductor de temperatura de aire

#### **2.4.4.2.2. Actuadores**

Los actuadores son los siguientes:



**Figura 2.13:** Actuadores del Sistema KE-Jetronic

1. Bomba eléctrica de combustible
2. Acumulador de presión
3. Dosificador-distribuidor
4. ECU
5. Regulador de presión
6. Inyectores
7. Regulador de ralentí
8. Inyector de arranque en frío
9. Termocontacto temporizado



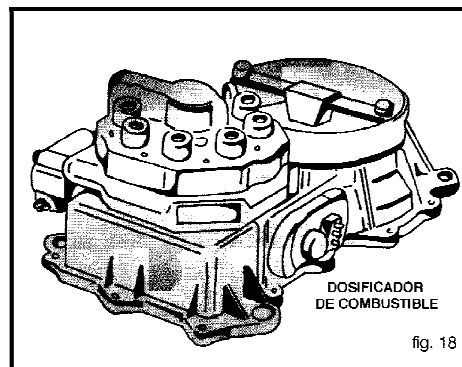
#### **2.4.4.2.3. Medidor de Flujo de Aire (Señal Base)**

La dosificación base de combustible se realiza por medio del caudalímetro y el repartidor de combustible. Según las condiciones de funcionamiento la cantidad de carburante será variable.

El repartidor asegura la dosificación regular de carburante entre los diversos cilindros del motor, en función de la posición del disco flotante del caudalímetro de aire.

La posición del disco flotante define la medida de volumen de aire admitido por el motor. Una leva transmite el movimiento de este disco al pistón de mando que en función de su posición dentro del cilindro lleno de ventanas, abre una sección apropiada de estas ventanas de regulación a través de las cuales el carburante puede circular hacia el regulador de presión diferencial, y por consiguiente hacia los inyectores. Si el recorrido, del disco flotante es corto el pistón de mando se desplaza ligeramente mientras que si el desplazamiento es mayor, el pistón se desplaza en un recorrido más largo.

Es necesario que la presión de alimentación esté regulada con precisión ya que una pequeña variación puede influir directamente en la relación aire-carburante.



**Figura 2.14:** Medidor de Flujo de Aire del Sistema KE-Jetronic

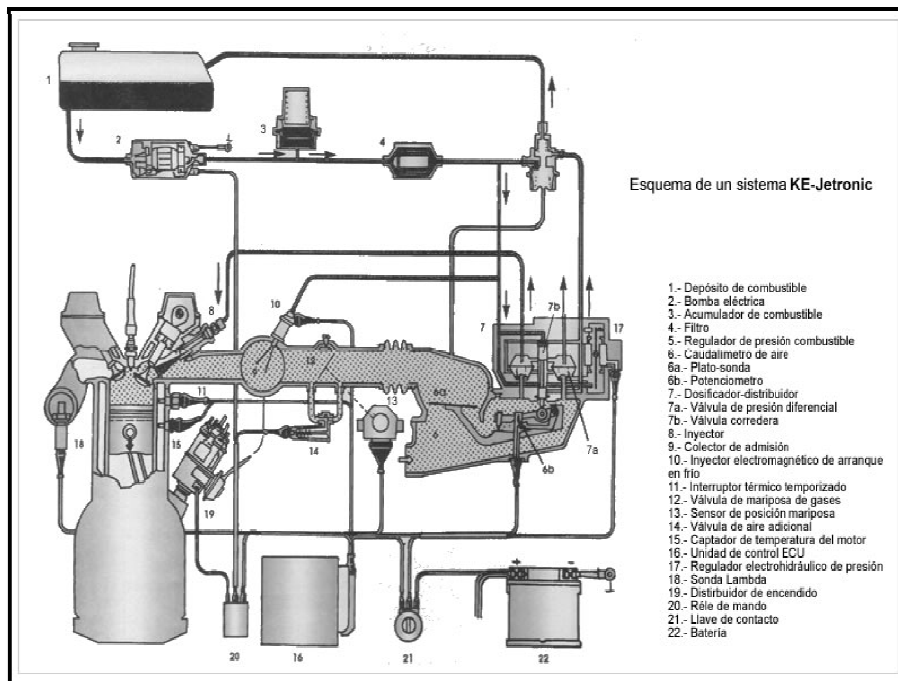
#### **2.4.4.2.4. Funcionamiento**

El sistema KE-Jetronic es un sistema de inyección hidromecánica. Un disco flotante desplazado por la fuerza de aire regula un pistón de dosificación de carburante, que determina una abertura más o menos grande de las ventanas de dosificación. La función de base de KE-Jetronic consiste en determinar la cantidad de carburante en función del volumen de aire de admisión que representa el parámetro de mando principal.

En referencia al sistema K-Jetronic este otro sistema detecta también otros parámetros de funcionamiento del motor mediante los captadores que envían unas señales a una central electrónica la cual pilota un regulador electrohidráulico de presión.

El regulador adapta el caudal a las diferentes condiciones según las medidas prescritas.

En caso de avería se selecciona siempre una función de emergencia permitiendo disponer de un sistema funcional.



**Figura 2.15:** Esquema del Sistema KE-Jetronic

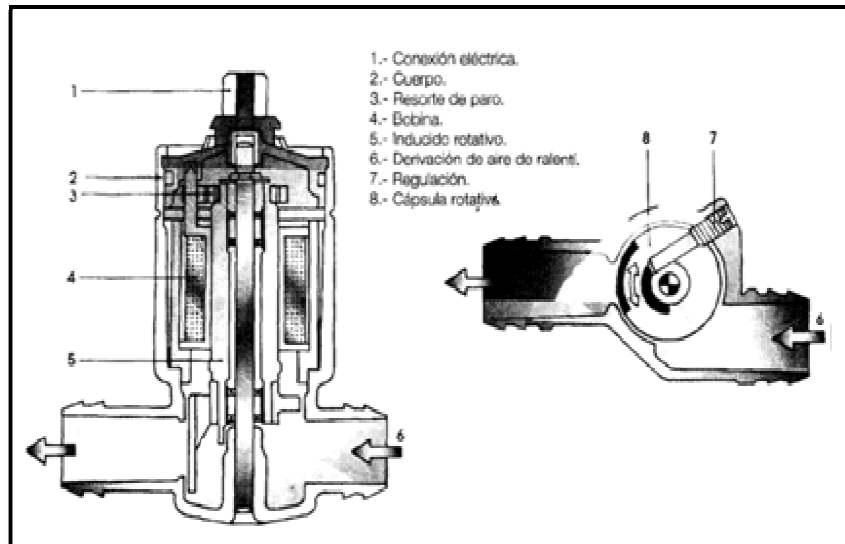
#### 2.4.4.2.5. Control de Marcha Mínima

La estabilización del régimen de ralentí se obtiene mediante la regulación del llenado de los cilindros, o dicho de otra manera por la reducción del consumo a ralentí durante los ciclos urbanos.

Un régimen mínimo demasiado elevado aumenta no tan sólo el consumo en ralentí sino el consumo global del vehículo.

Este ajuste se realiza mediante un regulador rotativo.

Este sistema permite estabilizar los valores de contaminación de los gases de escape. Este sistema compensa particularmente también las variaciones debidas al envejecimiento del motor y favorece la estabilidad del ralentí durante toda la vida de funcionamiento del motor.



**Figura 2.16:** Válvula de Marcha mínima del Sistema KE-Jetronic

#### **2.4.4.2.6. Características Importantes Adicionales**

Se controla la mezcla de combustible electrónicamente a través de un conmutador. El medidor de oxígeno es integrado posee una ECU.

#### **2.4.4.3. Inyección Electrónica (L-Jetronic, LE-Jetronic)**

Es un sistema de inyección controlada electrónicamente.

La inyección de gasolina es de forma intermitente y la dosificación se da mediante la variación del tiempo de inyección según las condiciones de funcionamiento.

El tiempo básico de inyección se determina mediante la información del número de revoluciones y cantidad de aire aspirado.

La cantidad de aire se mide mediante caudalímetro de compuerta (volumen).

La adaptación a las diferentes condiciones de marcha (arranque en frío, temperatura motor, etc.) las realiza la unidad electrónica aumentando o disminuyendo el tiempo de inyección según la información que recibe de los diferentes sensores.

#### **2.4.4.3.1. Sensores**

Los sensores con los que cuenta el sistema son:

1. Sensor de temperatura del refrigerante
2. Sensor de flujo de aire
3. Sensor de altitud
4. Señal del Tacómetro
5. Sensor de temperatura de aire
6. Sonda Lambda

#### **2.4.4.3.2. Actuadores**

Los actuadores del sistema son:

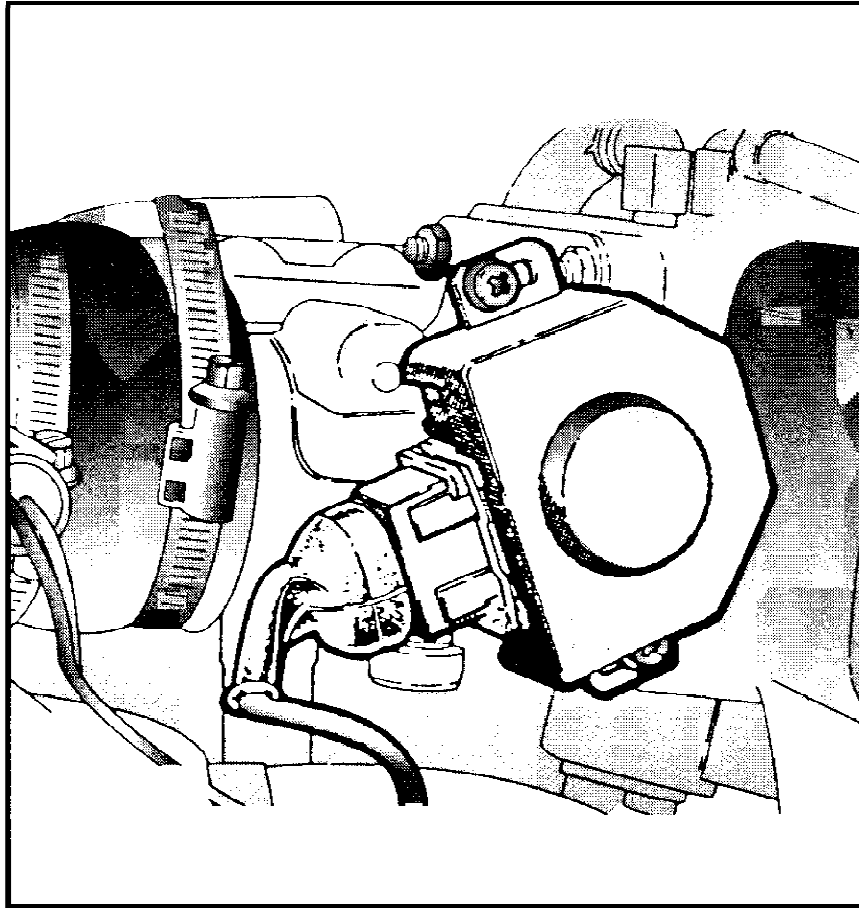
1. Válvula auxiliar de aire
2. Inyectores
3. Válvula mariposa
4. Bomba de combustible
5. Regulador de presión y altitud
6. Inyector de arranque en frío
7. Derivación de aire en marcha mínima

#### **2.4.4.3.3. Sensor de Flujo de Aire tipo potenciómetro (Señal Base)**

Éste es el mecanismo encargado de informar de la posición de la mariposa de los gases por medio de las dos señales relativas al estado de ralentí y plena carga.

Mediante esta información, se adapta el tiempo de inyección a los diferentes estados de carga del motor. Estando cerrado el interruptor de ralentí o el de plena carga, la unidad de mando

decide si tiene lugar la desconexión durante la marcha de deceleración o bien enriquecimiento a plena carga.

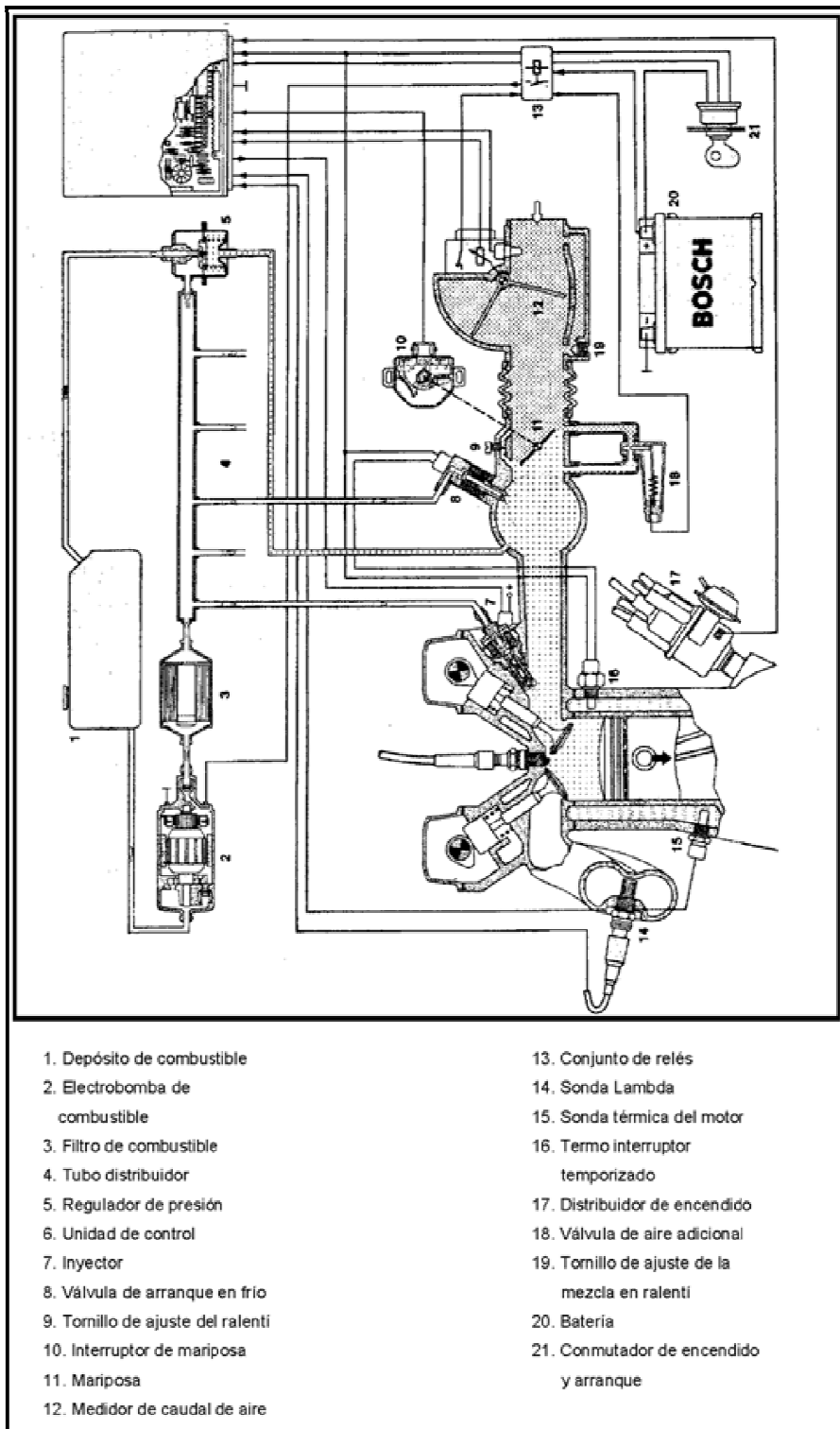


**Figura 2.17:** Ubicación del Interruptor de Mariposa en el Sistema L/LE - Jetronic

#### **2.4.4.3.4. Funcionamiento**

Es un sistema de inyección a mando electrónico, gracias al cual el carburante es inyectado por intermitencia en el colector de admisión.

**Medición del caudal de aire:** El caudal de aire aspirado por el motor es la magnitud de mando principal para el caudal de inyección de combustible. El aire aspirado circula a través del medidor del caudal de aire (12) y desvía la aleta-sonda móvil hasta un ángulo definido. Este ángulo es transformado mediante un potenciómetro en una señal eléctrica de tensión, llevándose luego dicha señal a la ECM (6)



**Figura 2.18:** Diagrama del Sistema L/LE Jetronic

**Control eléctrico del caudal de inyección de combustible:** La alimentación está asegurada mediante la electrobomba de combustible (2). Desde el depósito (1) el combustible llega a través del filtro (3) a la tubería de distribución (4) desde donde se ramifican las diferentes tuberías que van a los inyectores. El regulador de presión (5) de la tubería de distribución mantiene constante la presión del sistema.

De la unidad de mando (6) manda los impulsos para abrir y cerrar los inyectores (7) cuyo tiempo de apertura determina el caudal de combustible inyectado.

**Adaptación óptima:** Se realiza en los diferentes estados de servicio:

- **Arranque en frío:** la válvula de arranque en frío (8) inyecta durante el proceso de arranque un caudal adicional de combustible en el colector de admisión, de tal forma que se garantice un arranque en frío seguro. El interruptor térmico temporizado (16) determina el tiempo que la válvula de arranque en frío (8) permanece activada.
- **Fase de calentamiento:** durante la fase de calentamiento, la sonda térmica (15) asegura una alimentación mayor de combustible.
- **Plena carga:** el interruptor de mariposa (10) corrige la mezcla combustible/aire a un valor óptimo, es decir, asegura un enriquecimiento de la mezcla, ya que los motores, en el margen de carga parcial, están diseñados para el funcionamiento con mezcla pobre.

#### **2.4.4.3.5. Control de Marcha Mínima**

La válvula de aire adicional lleva al motor, eludiendo el paso por la mariposa, un caudal de aire adicional que aumenta el régimen del motor en frío. El mando se efectúa mediante una placa bimetal con calefacción eléctrica.

Se ajusta mediante el tornillo de regulación de Marcha mínima.

#### **2.4.4.3.6. Características Importantes Adicionales**

Partiendo del sistema original, y a base de modificar distintos aspectos, han aparecido múltiples variantes del L-Jetronic, de los que veremos a continuación las más representativas.

##### **2.4.4.3.6.1. LE-Jetronic**

Esta versión se distingue de la original en los siguientes puntos:

La unidad de control es más ligera y de menores dimensiones, gracias a que incorpora más circuitos integrados y menos componentes discretos.

##### **2.4.4.3.6.2. LE2-Jetronic**

El LE2 es una evolución sobre el sistema LE, cuya principal novedad es la integración de control de la fase de arranque en frío, con lo que se elimina, respecto a la LE, el inyector de arranque en frío y el termointerruptor temporizado. El calculador determina el enriquecimiento de la mezcla en frío en base al tiempo de acción sobre el arranque, la temperatura del motor (si es menor de 35°C) y el régimen del motor. Mientras dura esta fase de funcionamiento el calculador manda el doble de impulsos a los inyectores (cuatro en vez de dos) y se aumenta el flujo de aire por medio de la válvula de aire adicional. Este enriquecimiento extra disminuye según aumenta la temperatura del motor y el régimen de giro.

##### **2.4.4.3.7. LH-Jetronic**

El sistema LH-Jetronic se basa en el mismo principio que el L-Jetronic, salvo las diferencias que se detallan a continuación:

La medición de la cantidad de aire que entra al motor se hace por medio de un caudalímetro de "hilo caliente", en lugar del tradicional por "aleta sonda". Este caudalímetro funciona de la siguiente forma: en el interior del tubo de medición se tiende un hilo de platino de poco grosor (70 mm). Este hilo se mantiene a 120°C por encima de la temperatura del aire de admisión haciendo circular por él una corriente eléctrica. El aire que entra al motor produce un efecto de enfriamiento del hilo de platino, lo que provoca que la resistencia del mismo varíe. El circuito al que está



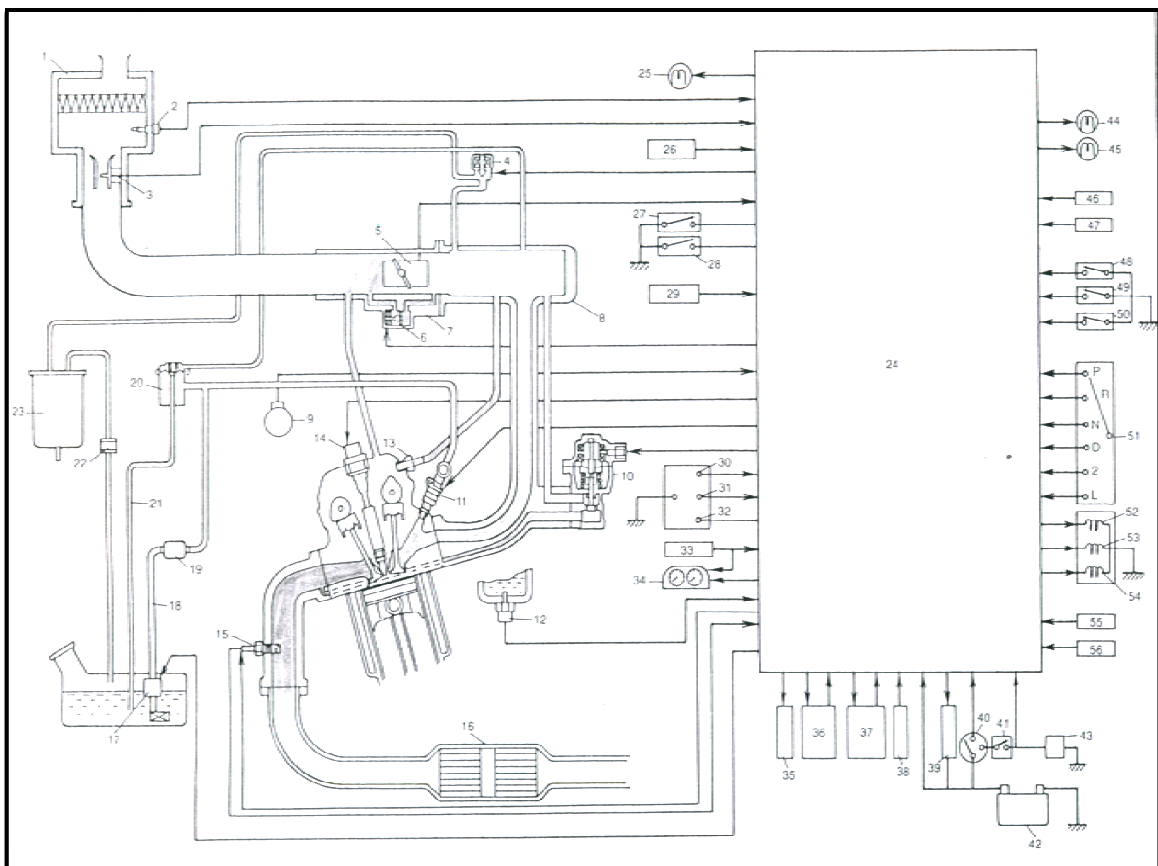
asociado el hilo de platino detecta esta variación de resistencia y corrige la corriente que atraviesa el hilo para mantener la temperatura constante a 120°C superior a la del aire de admisión.

#### 2.4.4.4. Sistema de Inyección Electrónica del Motor Grand Vitara J20A

El sistema de motor y sistema de control de emisiones tiene 4 subsistemas principales: sistema de admisión de aire, sistema de descarga de combustible, sistema de control electrónico y sistema de control de emisiones.

El sistema de admisión de aire incluye el depurador de airé, sensor de flujo de aire masico cuerpo de la mariposa de gases, válvula de control de aire de ralentí y colector de la admisión.

El sistema de descarga de combustible incluye la bomba de combustible, tubo de descarga, regulador de presión de combustible, inyectores de combustible, etc.



**Figura 2.19:** Esquema del Sistema de Inyección del Motor Grand Vitara J20

1. Depurador de aire
2. Sensor de temperatura de aire de admisión
3. Sensor de flujo de aire masivo
4. Válvula de purga del recipiente EVAP
5. Sensor de posición de la mariposa de gases
6. Válvula de control de aire de ralentí
7. Cuerpo de la mariposa de gases
8. Colector de admisión
9. 9. Sensor de posición del árbol de levas
10. Válvula EGR (si está instalado)
11. Inyector de combustible
12. Sensor de temperatura de refrigerante del motor
13. Válvula PCV
14. Conjunto de la bobina de encendido
15. Sensor de oxígeno calentado (si está instalado)
16. Convertidor catalítico de tres vías (si está instalado)
17. Bomba de combustible
18. Tubería de alimentación de combustible
19. Filtro de combustible
20. Regulador de presión de combustible
21. Tubería de retorno de combustible
22. Válvula de control de presión del tanque
23. Recipiente EVAP
24. ECM/PCM (Módulo de control del motor/Módulo de control de tren de potencia)
25. Luz indicadora de malfuncionamiento (luz "CHECK ENGINE")
26. Cargas eléctricas
  - Desempañador trasero (si está instalado)
  - Luces (M/T)
27. Interruptor de presión de la dirección asistida (si está instalado)
28. Interruptor del ventilador del calentador
29. Resistencia de ajuste de CO (si está instalado)
30. Terminal del interruptor de diagnóstico
31. Terminal del interruptor de diagnóstico
32. Terminal de salida de ciclo de trabajo

33. Sensor de velocidad del vehículo
34. Medidor combinado
35. Relé del ventilador del condensador de A/C (si está instalado)
36. Amplificador A/C (si está instalado)
37. Conector de enlace de datos/módulo de control de inmovilizador (si está instalado)
38. Módulo de control de ABS (si está instalado)
39. Relé principal
40. Interruptor principal
41. Interruptor de posición de estacionamiento punto muerto en el interruptor de posición de la transmisión (A/T)
42. Batería
43. Interruptor magnético del motor de arranque
44. Luz "OID OFF" (A/T)
45. Luz "POWER" (A/T)
46. Interruptor de luces (A/T)
47. Interruptor de luz de parada (A/T)
48. Interruptor de corte de sobremarcha. (A/T)
49. Interruptor de cambio (A/T)
50. POWER/NORMAL
51. Interruptor de 4WD baja (A/T)
52. Interruptor de posición de la transmisión (A/T)
53. Válvula solenoide A (A/T)
54. Válvula solenoide B (A/T)
55. Válvula solenoide TCC (A/T)
56. Sensor de velocidad de entrada (A/T)
57. Sensor de velocidad (salida) de vehículo. (A/T)

#### **2.4.4.4.1. Sistema de Control Electrónico**

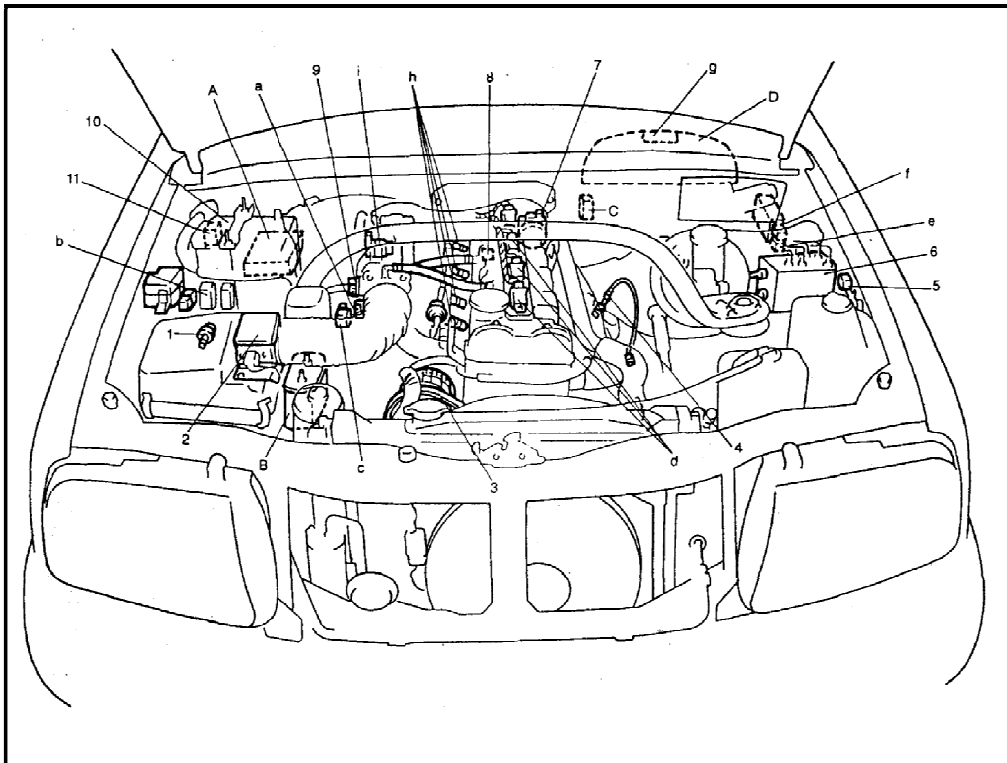
El sistema de control electrónico se compone de **1)** distintos sensores que detectan el estado del motor y las condiciones de la conducción, **2)** ECM (PCM) que controla los distintos dispositivos de acuerdo con las señales de los sensores y **3)** distintos dispositivos controlados.

Por su función, se dividen en los siguientes subsistemas:

- Sistema de control de la inyección de combustible
- Sistema de control del calentador del sensor de oxígeno calentado (si está instalado)
- Sistema de control de aire de ralentí
- Sistema de control de la bomba de combustible
- Sistema de control de emisiones evaporativas
- Sistema de control del encendido
- Sistema EGR (si está instalado)

Además, con el modelo 4 A/T, el PCM controla la A/T.

#### 2.4.4.4.2. Localización de Componentes en el Motor J20



**Figura 2.20:** Localización de componentes en el vehículo Grand Vitara

## **Sensores de información**

1. Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT)
2. Sensor sensor de flujo de masa de aire (MAF)
3. Interruptor de presión de la dirección asistida (si está instalado)
4. Sensor de oxígeno calentado (si está instalado)
5. Conector del monitor
6. Módulo de control ABS (si está instalado)
7. Sensor de posición del árbol de levas (CMP)
8. Sensor de temperatura de refrigerante (ECT)
9. Sensor de posición de la mariposa de aceleración (TP)
10. Batería
11. Resistencia de ajuste CO (si está instalada)

## **Dispositivos de control**

- a) Válvula de control de aire de ralentí (IAC)
- b) Relé del motor del ventilador del condensador A/C (si está instalado)
- c) Válvula de purga del recipiente EVAP
- d) Conjuntos de la bobinas de encendido
- e) Relé principal Relé de la bomba de combustible
- f) Luz indicadora de malfuncionamiento (luz "CHECK ENGINE")
- g) Inyectores
- h) Válvula EGR (si está instalada)

## **Otros**

- A. ECM (PCM)
- B. Recipiente EVAP (Si está instalado)
- C. Conector de enlace de datos
- D. Medidor combinado

### 2.4.4.4.3. Diagrama de Control del Sistema de Inyección J20A

El diagrama presentado en la figura 2.20 muestra las entradas y salidas de la ECM y como las gestiona.

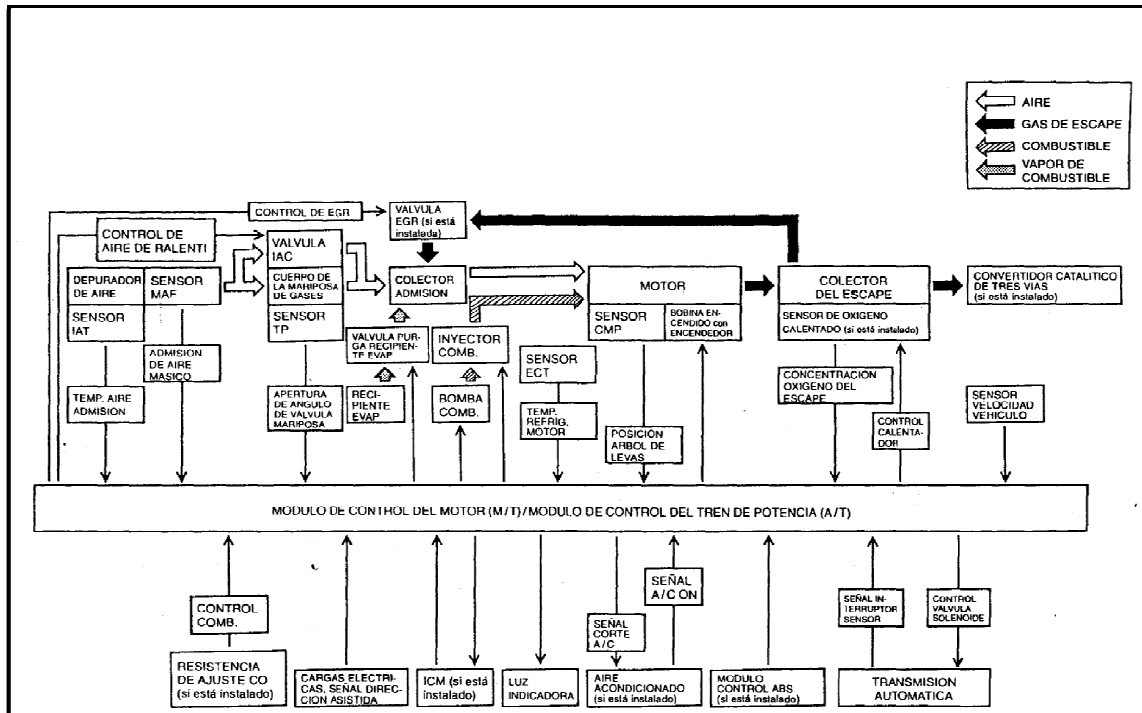


Figura 2.21: Diagrama de control de l motor j20

## **CAPÍTULO III**

### **3. SELECCIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA**

#### **3.1. Diagnóstico del Motor**

El motor J20A el cual es objeto de la realización de este trabajo de grado fue donado a la escuela de Ingeniería Automotriz por parte de las autoridades de la ESPOCH debido a que este sufrió serias averías por lo tanto se encargó a los estudiantes su reparación; sin embargo el motor solo disponía de parte de sus elementos mecánicos por lo que luego de su restauración parcial este no podía ser encendido.

Al momento de ser encargado a nosotros para su restauración total realizamos un análisis que determinó que al motor le faltaba elementos mecánicos como: motor de arranque, bomba de combustible, radiador, y toda su parte eléctrica y electrónica entre ellos ECU, sensor MAF, sensor IAT, cableado y conectores.

#### **3.2. Selección de Elementos y Accesorios para el funcionamiento del motor**

##### **3.2.1. Motor de arranque**

La selección de elementos y accesorios para el correcto funcionamiento del motor partió con la selección del motor de arranque ya que este es el principal elemento para el arranque del conjunto.

El motor de arranque que implementamos fue adquirido en una casa de venta de repuestos usados. El modelo es el original del vehículo por lo tanto todas sus características de funcionamiento son las óptimas para nuestro motor asegurándonos de que el elemento se encontraba en buen estado.

**Tabla 3.1: CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE ARRANQUE**

<b>Voltaje</b>		12 V	
<b>Salida</b>		0.9 KW	
<b>Valor nominal</b>		30 s	
<b>Sentido de Rotación</b>		Horario visto del lado del piñon	
<b>Longitud de la escobilla</b>		17.0 mm	
<b>Número de dientes del piñón</b>		8	
<b>Prestaciones</b>		<b>Condiciones</b>	<b>Garantía</b>
<b>Alrededor de 20°C</b>	<b>Características sin carga</b>	11.5 V	60 A máximo 6600 rpm mínimo
	<b>Características de carga</b>	9 V 150 A	2.8 N.m (0.28 Kg-m) 1900 rpm mínimo
	<b>Corriente de rotor bloqueado</b>	5 V	500 A máximo 11.3 N.m (1.13 Kg-m) mínimo
	<b>Voltaje de funcionamiento del interruptor magnético</b>		8 V máximo

### 3.2.2. Radiador

El radiador es el elemento principal del sistema de refrigeración. El elemento fue adquirido en el mismo almacén de repuestos usados siendo este perteneciente al mismo modelo de vehículo por lo que sus características de funcionamiento serán las adecuadas; sin embargo al ser un elemento usado debe procederse a su comprobación.

En primera instancia se debe realizar una inspección minuciosa para verificar si existen formaciones de depósitos de óxido, que van a dificultar la circulación de refrigerante y la evacuación del calor.



Luego se realizó la prueba de estanqueidad para lo cual se sellaron los conductos, y se sumergió en agua acoplado en la boca de llenado la manguera del compresor de aire, al mismo tiempo que se observa si aparecen burbujas en el agua lo cual es indicio de que existen fugas en el radiador por algún tubo del panel o en las soldaduras de los tanques del radiador. Mediante esta prueba se pudo constatar que el radiador se encuentra en buen estado.

### **3.2.3. Bomba de Combustible**

La bomba que implementamos al sistema es una bomba nueva genérica de marca adquirida en un almacén de repuestos eléctricos.

**Tabla 3.2: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE**

<b>Tipo</b>	<b>Original</b>	<b>Genérica</b>
<b>Voltaje</b>	12 V	12 V
<b>Presión sin carga</b>	250 a 300 Kpa	240 a 296 Kpa
<b>Presión con carga</b>	210 a 260 Kpa	209 a 257 Kpa

Estos datos muestran que las propiedades de funcionamiento son adecuados para la alimentación del motor.

### **3.2.4. Correa de Accesorios**

La correa seleccionada es nueva de marca Dongil Superstar y su nomenclatura es 5PK1050

### **3.3. Requerimientos del Sistema de Control**

Los elementos faltantes para el sistema de inyección electrónica de este modelo de motor son los siguientes:

### **3.3.1. ECM**

El módulo de control del tren de potencia es el componente más importante del motor ya que este comandará el sistema de inyección electrónica así como su autodiagnóstico. El módulo implementado fue conseguido en una empresa aseguradora; se trata de una ECU de motor Grand Vitara 2003 accidentado, sin embargo por encontrarse instalada en el interior del habitáculo no sufrió daños físicos.

El modelo de ECU es J20 A/T con 4 sócalos de tres filas , que a diferencia del modelo M/T de 4 sócalos de 2 filas tiene la capacidad de controlar más servicios, por ejemplo estado de marchas, aire acondicionado, entre otros accesorios; sin embargo los modelos Grand Vitara en nuestro país todos los vehículos ya sean M/T o A/T operan con la ECU A/T esto debido a que la programación interna de esta ECU le permite funcionar sin accesorios adicionales ya que los considera opcionales comportándose esta como la ECU apropiada para cualquier modelo Grand Vitara por lo que esto no nos ocasionaría inconveniente alguno.

Visto esto procedemos a la comprobación de su operación instalando la ECU adquirida en un vehículo Grand Vitara de las mismas características que nuestro motor el cual pertenece a la institución, realizando todas las comprobaciones requeridas entre ellas:

- El escáner muestra funcionamiento correcto de todos los componentes en todas las exigencias al vehículo
- Se presenta ausencia de códigos de mal funcionamiento.
- Se observa que todos los componentes del motor funcionan adecuadamente.

Entonces tenemos la seguridad de que la ECU elegida está en perfectas condiciones y es la adecuada para comandar nuestro motor.

### **3.3.2. Sensor MAF**

El sensor de flujo de masa de aire es el sensor principal de todo el sistema de inyección electrónica del motor J20A debido a que este proporciona la señal base a la ECU para que el motor trabaje en sus distintos regímenes.

El sensor MAF que vamos instalar pertenece al mismo vehículo accidentado del que conseguimos la ECU y cabe recalcar que el modelo de motor al que pertenecía era J20A por lo que este sensor trabajara correctamente con nuestro motor.

Visualmente no sufría ningún desperfecto físico y se procedió a instalar en otro vehículo Grand Vitara de las mismas características (vehículo de la institución) verificando que el sensor trabaja adecuadamente en todos los regímenes y realizamos las siguientes pruebas.

- Al realizar comprobaciones eléctricas vía multímetro estas eran correctas.
- Al conectar el escáner no se observó código de averías alguno, además la monitorización de datos era continua y correcta.

Finalmente el sensor se encuentra en buenas condiciones para trabajar con nuestro motor

### **3.3.3. Sensor IAT**

El sensor de Temperatura de Aire de Admisión se encuentra instalado en el mismo cuerpo de depurador en el que se encuentra el MAF y vino incluido en el sensor MAF que adquirimos.

Se le realizó pruebas de inspección visual que demostraban que físicamente no presentaba daños.

También se realizó pruebas de funcionamiento sumergiendo la parte de detección del sensor en agua fría y luego la calentamos gradualmente para medir la variación de resistencia que el sensor presenta al funcionar.

Por último las pruebas en el vehículo real tanto de escáner como eléctricas dando estas positivas.

### **3.3.4. Conectores**

Los conectores que requiere este motor siendo estos conectores de la ECM, sensores, actuadores, DLC y monitor; los conseguimos del mismo auto accidentado; presentando estos buen estado físico y propiedades adecuadas de continuidad al comprobar con el multímetro.

### **3.3.5. Cables**

Los cables necesarios para el sistema de inyección electrónica se obtuvieron de un arnés de cables de un vehículo accidentado siendo estos de iguales propiedades y características que los originales.

Los cables para el sistema de arranque se obtuvieron en un almacén eléctrico siendo estos: para la batería número 6, para el arranque número 10; para sistema de carga 8; para la caja de fusibles número 12.

### **3.3.6. Relés**

Los Relés que vamos a usar según el diagrama eléctrico son 2 uno para la bomba de combustible, y otro para el módulo de control del sistema de inyección electrónica.

Estos relés son de marca BOSCH Universales de 5 patas y soportan 12 V a 30 A.

### **3.3.7. Fusibles**

De acuerdo a la caja de fusibles de la que disponíamos para implementar los circuitos de protección necesarios y de acuerdo al diagrama se adquirieron los siguientes fusibles: para el principal, uno de clavija grande de 40 A; y para los otros circuitos, fusibles de clavija (mini) de 30A, 25A, 20A.

### **3.3.8. Switch**

El switch utilizado para el encendido del motor es de tipo universal de tres posiciones, y de cinco pines con su respectivo sócalo y llave de seguridad.

### **3.3.9. Testigos**

Los testigos que usamos son leds azules de 12 voltios con su respectivo conector tomando en cuenta que se deben ubicar en sentido de la corriente.

### 3.3.10. Batería

La Batería que utilizamos es nueva de marca BOSCH de 12 V, 30 A y 12 celdas, adecuada para el correcto funcionamiento y carga del motor ya que el motor no cuenta con accesorios eléctricos.

### 3.4. Características del Sistema de Inyección

Las características del sistema del sistema de Inyección para el motor J20 de Suzuki Grand Vitara se indican en la tabla 3.3

**Tabla 3.3:** CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN J20

<b>Identificación del Motor</b>		<b>Valor Específico</b>
Cilindrada	cc	1995
Relación de Compresión	1:	9.8
Octanaje mínimo	RON	91
Sistema de Encendido	Marca	Mitsubishi
Sistema de Encendido	Tipo	EGI
Sistema de Encendido	Descripción	MAF-DIS
Ubicación de disparo	Marca	Árbol de levas
Sistema de Combustible	Tipo	SUZUKI
Sistema de Combustible	Descripción	EGI
Sistema de Combustible	Tipo	MH-s
Medidor de aire		Flujo de masa de aire
Módulo de Control Combinado de encendido y combustible	Descripción	Si
Número de Cilindros	Tipo	4.DOHC
Enchufe de diagnóstico	OBDII	Si

### 3.5. Diseño del Soporte

Para este proceso se aplicarán los criterios de diseño por lo que el diseño debe cubrir una necesidad planteada que es una estructura para soportar un motor marca SUZUKI modelo GRAND

VITARA J20A, la misma que debe cumplir las prestaciones para el normal funcionamiento del motor, permitir el desmontaje y montaje de sus sistemas sin dificultad.

### **3.5.1. Identificación del Problema**

El problema que se plantea es el de diseñar una estructura para soportar el motor marca **SUZUKI modelo GRAND VITARA J20A** de cuatro cilindros; lo que se requiere es que la estructura se asemeje al habitáculo original del vehículo para no afectar el funcionamiento normal del motor, también debe dar cabida a todos los sistemas externos del motor como tanque de combustible, sistema de refrigeración, sistema eléctrico y sistema de admisión originales y asegurar el correcto funcionamiento del mismo.

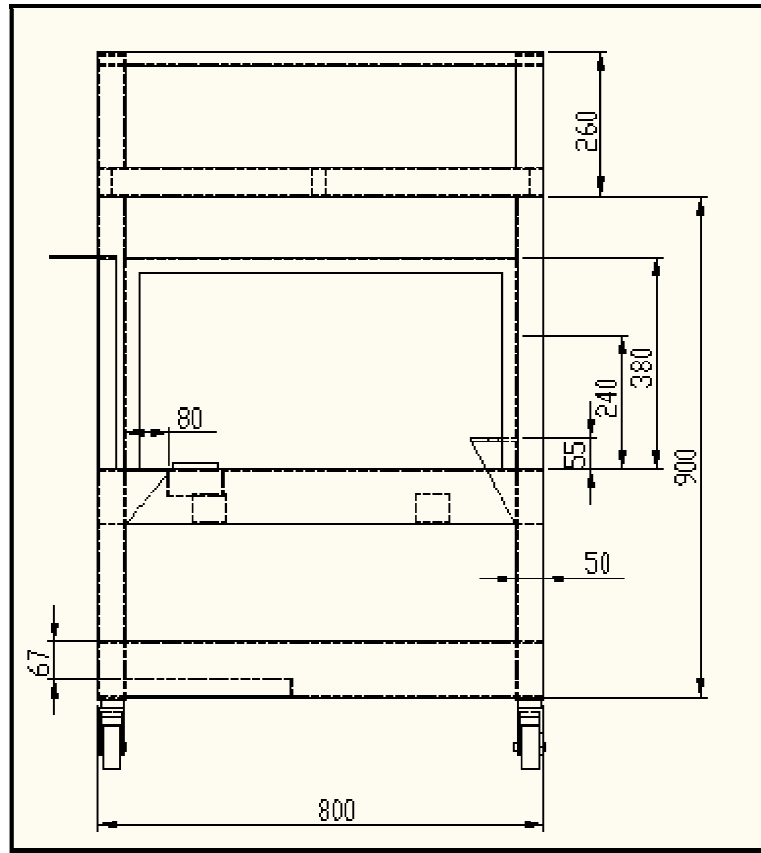
### **3.5.2. Dimensionamiento**

El dimensionado está relacionado con el problema; es decir una estructura con las medidas necesarias para simular el habitáculo original del vehículo, para dar soporte a todos los sistemas. En el dimensionamiento se deben tomar consideraciones referentes a la seguridad, estética, ergonomía, utilidad, materiales y disponibilidad de estos; además se tomo en cuenta la altura promedio del hombre que en nuestro medio es de 1.70 m aproximadamente, con lo cual vamos a definir una altura adecuada para que el banco de pruebas pueda ser manipulado por cualquier persona sin importar su estatura; con estas consideraciones se procedió a realizar un diseño adecuado, el cual se apega a un análisis de cálculo de resistencia de materiales y vibraciones, todo esto para optimizar recursos y obtener una estructura confiable.

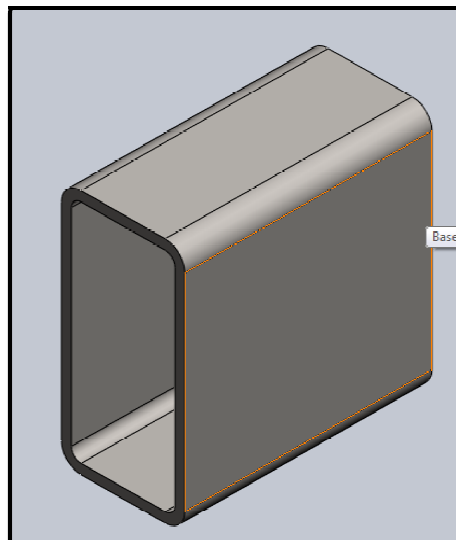
### **3.5.3. Dibujo de la Estructura**

Se procedió a realizar el bosquejo de la estructura que satisfaga los requerimientos anteriormente mencionados. Este diseño se lo realizó con la ayuda del programa SOLID WORKS. Como podemos observar a continuación el diseño se lo efectuó en tres dimensiones, con lo cual se logro una mejor visualización de la estructura



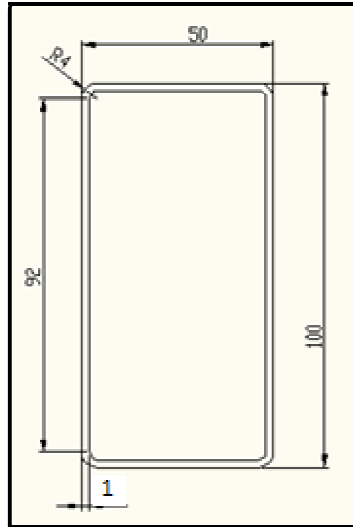


**Figura 3.3:** Vista lateral de la estructura.

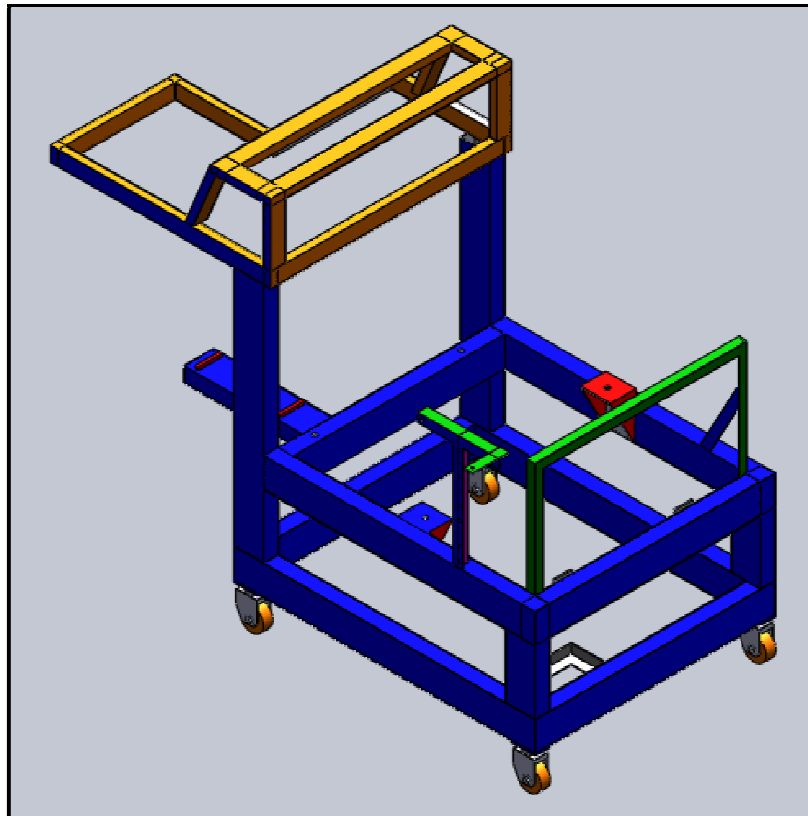


**Figura 3.4:** Perfil principal





**Figura 3.5:** Dimensiones del perfil



**Figura 3.6:** Estructura en 3D

### 3.5.4. Análisis Estático de la Estructura

El análisis estructural se lo realizo con la ayuda del programa **SolidWorks PREMIUM** 2010, el cual es adecuado para la creación de prototipos para futuros productos. La descripción oficial del producto es:

**SolidWorks PREMIUM** es la base de los prototipos digitales, porque produce modelos 3D exactos que validan la forma, el ajuste y la función de un diseño antes de construirlo. **SolidWorks PREMIUM** proporciona un conjunto integrado de herramientas para la documentación y el diseño mecánico 3D, la creación de sistemas enrutados y la validación digital de los datos de diseño, que minimiza la necesidad de prototipos físicos.

Las combinaciones de productos Mechanical para la colaboración asociativa 2D y 3D, así como software de gestión de datos para realizar un seguimiento de todos los componentes de diseño de un prototipo digital.

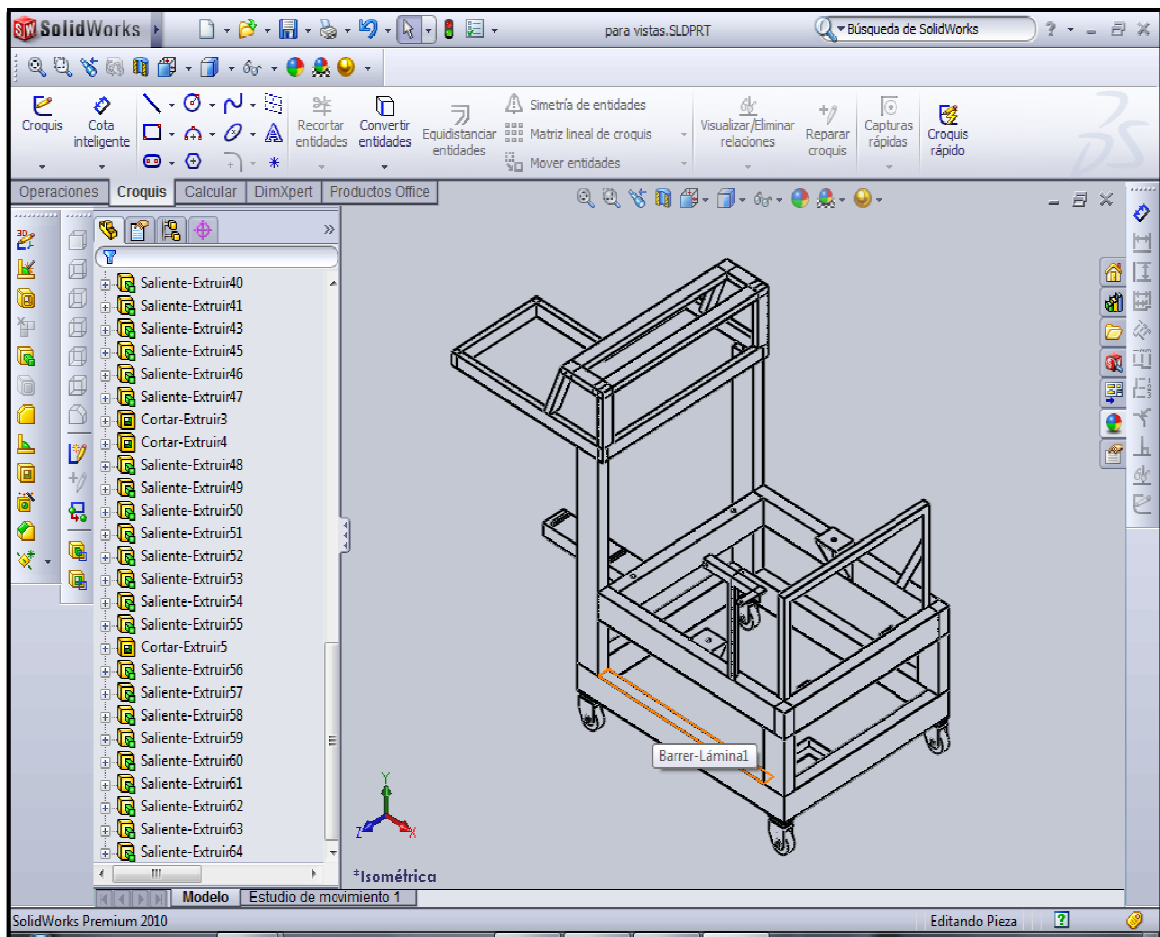
Éstas son algunas de las características principales de **SolidWorks PREMIUM**

- Recursos de aprendizaje
- Gestión de datos y comunicación
- Documentación de diseño y fabricación
- Personalización y automatización
- Diseño de piezas de chapa
- Interfaz con Auto CAD
- Diseño de estructuras.
- Diseño de piezas soldadas
- Diseño de ensamblajes.
- Diseño de piezas.
- Análisis de tensión.
- Análisis del Factor de Seguridad.
- Análisis de Esfuerzos.
- Análisis de espesor
- Análisis de fluidos
- Análisis de cortes sesgados
- Análisis de geometría

**SolidWorks PREMIUM** ofrece herramientas automatizadas para diseñar sistemas enrutados, incluidos tubos y conductos complejos, además de mazos y cables eléctricos, también posee una amplia biblioteca de diseño y modelos normalizados para ayudar a los diseñadores a crear y validar prototipos digitales 3D más completos. Además combina funcionalidad de simulación de movimiento y análisis de tensión estrechamente integrada y fácil de usar, que permite validar los prototipos digitales y predecir el funcionamiento del diseño en condiciones reales antes de construir el producto.

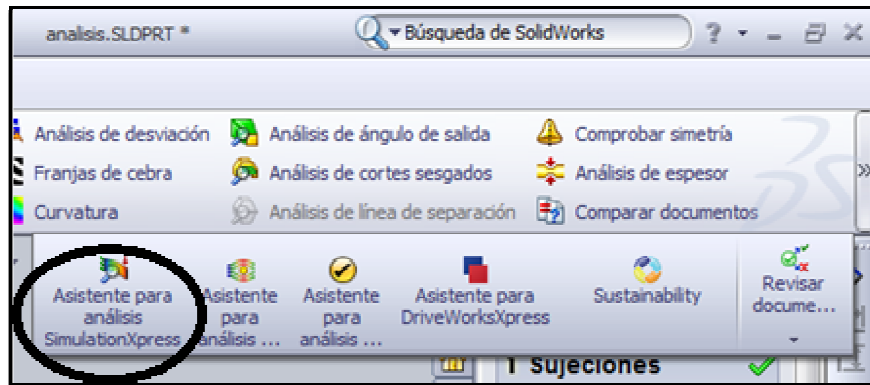
### 3.5.4.1. Simulación mediante software

Como primera etapa se procedió a croquizar en el programa **SolidWorks PREMIUM 2010**



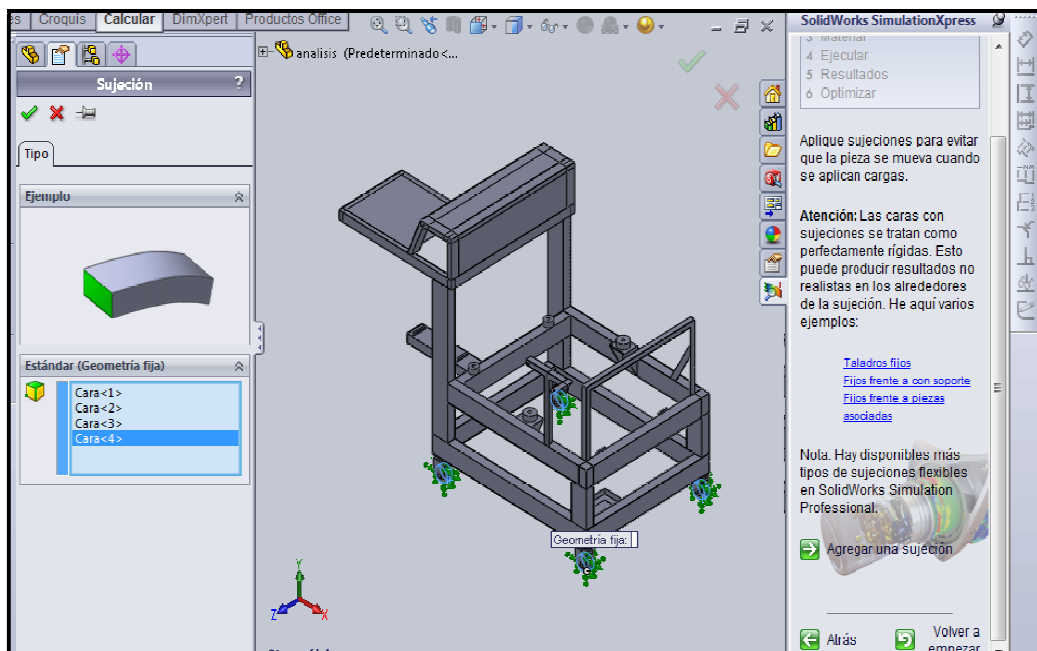
**Figura 3.7:** Croquizado de la estructura

Una vez realizado esto se hizo el análisis estructural de nuestro banco, para lo cual se procedió a la utilización de la opción de **asistente para análisis Simulation Xpress** es decir el Análisis de Tensiones; como podemos observar en la siguiente grafica.



**Figura 3.8:** Icono de Asistente Simulation Xpress

Seguidamente se procedió a colocar las sujeciones las cuales fueron colocadas en cada uno de los lugares que la estructura va a tener sus puntos de apoyo, es decir en los 4 lugares en los cuales están ubicadas las llantas de apoyo del banco de pruebas.



**Figura 3.9:** Representación de sujeciones en Solid Works

Luego se procedió al cálculo de las fuerzas distribuidas en los 4 puntos de apoyo del motor con respecto a la estructura.

El cálculo de las fuerzas que van a actuar en la estructura se la realizó, obteniendo el peso del motor con todos sus elementos como podemos observar a continuación.

$$\begin{aligned} \text{Masa motor} &= 248 \text{ Kg.} \\ \text{Gravedad} &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ \text{PESO motor} &= \text{Masa motor} \times G && (3.1) \\ \text{PESO motor} &= 248 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\ \\ \text{PESO} &= 2432.88 \text{ N} \\ \text{Fuerza} &= 2432.88 \text{ N} \end{aligned}$$

Como margen de seguridad se incremento un 10% más a las fuerzas aplicadas a manera de garantía, esto es a causa del peso del motor con lo cual se obtuvimos siguientes datos.

$$\begin{aligned} \text{Fuerza. Garantía} &= 2432.88 \text{ N} \times 10\% &= 243.288 \text{ N} \\ \text{Fuerza. Garantía} &= 243.288 \text{ N} \\ \text{Fuerza total} &= \text{Fuerza 1} + \text{Fuerza Garantía} \\ \text{Fuerza total} &= 2432.88 \text{ N} + 243.288 \text{ N} \\ \text{Fuerza total} &= 2676.168 \text{ N} \end{aligned}$$

Como son 4 apoyos que posee el motor la fuerza se va a dividir en cuatro dando un resultado de 669.042N redondeando 670N, con lo cual se va a realizar el análisis de tensión de la estructura lo cual se ilustra en la siguiente grafica.

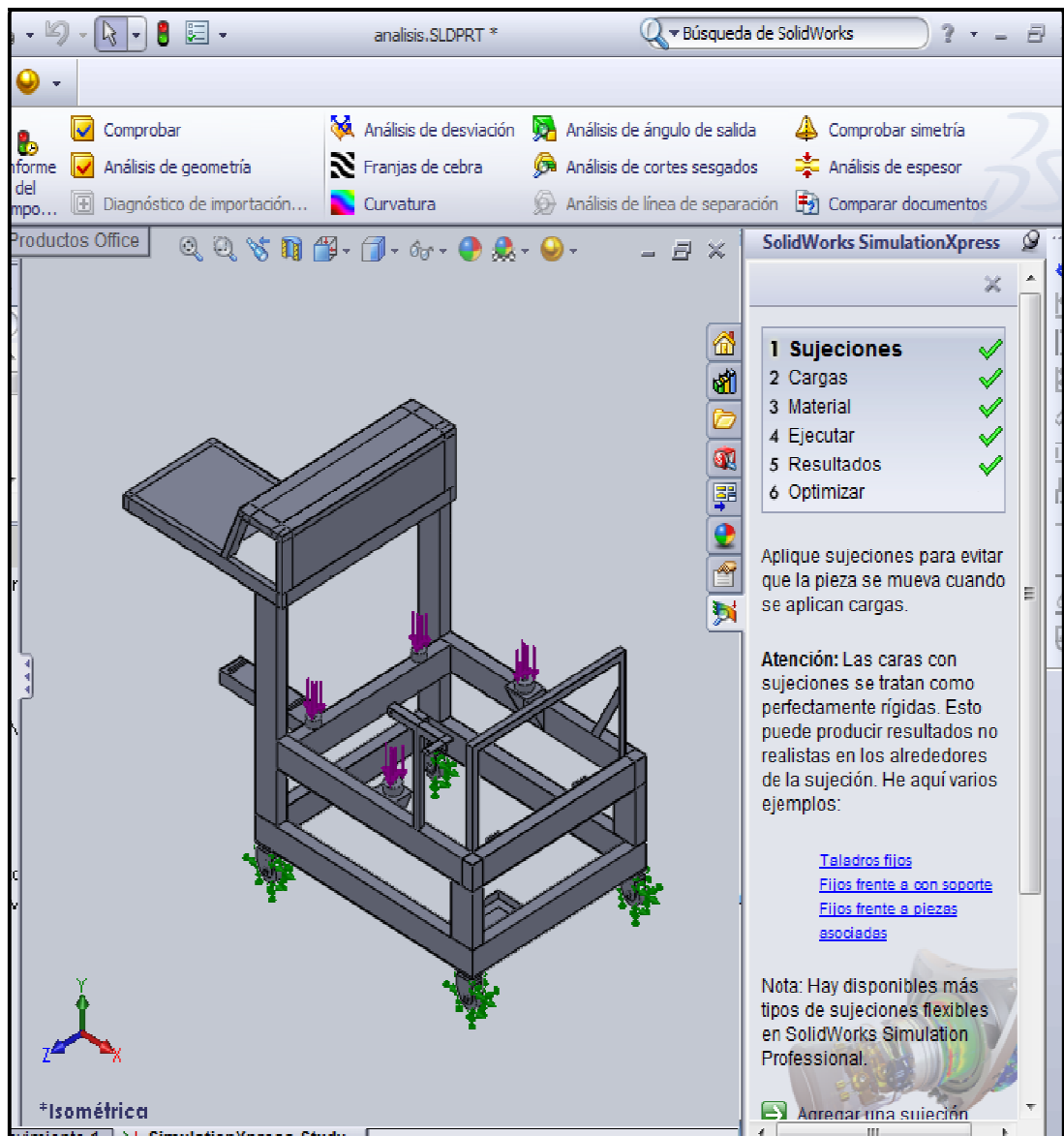


Figura 3.10: Ubicación de fuerzas distribuidas en Solid Works.

$$F1=F2=F3=F4=670N$$

Una vez definidas las restricciones de cargas se procedió a escoger el material apropiado que en nuestro caso es el **ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A36)**. Las propiedades de este acero se ubican en la tabla 3.4

**Tabla 3.4: PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES SELECCIONADOS EN INGENIERÍA<sup>[1]</sup>**

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Resistencia última			Fluencia <sup>a</sup>		Módulo de elasticidad, GPa	Módulo de rigidez, GPa	Coeficiente de expansión térmica 10 <sup>-6</sup> /°F	Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm)
		Tensión, MPa	Compresión <sup>b</sup> , MPa	Cortante, MPa	Tensión, MPa	Cortante, MPa				
<b>ACERO:</b>										
Estructural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	200	77	11.7	23
Alta resistencia										
ASTM-A242	7860	480			345	205	200	77	11.7	22
ASTM-A441	7860	460			320		200	77	11.7	21
ASTM-A572	7860	415			290		200	77	11.7	24
Templado										
ASTM A-514	7860	760			690	380	200	77	11.7	18
AISI 302										
Laminado en frío	7920	860			520		190	75	17.3	12
Recocido	7920	655			260	150	190	75	17.3	50
Acero de refuerzo										
Resistencia media	7860	480			275		200	77	11.7	
Alta resistencia	7860	620			415		200	77	11.7	
<b>FUNDICIÓN:</b>										
Fundición gris										
4.5% C, ASTM A-48	7200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Hierro fundido										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
<b>ALUMINIO:</b>										
Aleación 1100-H14 (99% Al)	2710	110		70	100	55	70	26	23.6	9
Aleación 2014-T6	2800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Aleación 2024-T4	2800	470		280	325		73		23.2	19
Aleación 5456-H116	2830	320		185	230	130	72		23.9	16
Aleación 6061-T6	2710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Aleación 7075-T6	2800	570		330	500		72	28	23.6	11
<b>COBRE</b>										
Libre de oxígeno (99.9% Cu)										
Recocido	8910	220		150	70		120	44	16.9	45
Endurecido	8910	390		200	265		120	44	16.9	4
Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)										
Laminado en frío	8470	510		300	410	250	105	39	20.9	8
Recocido	8470	320		220	100	60	105	39	20.9	65
Latón rojo (85% Cu, 15% Zn)										
Laminado en frío	8740	585		320	435		120	44	18.7	3
Recocido	8740	270		210	70		120	44	18.7	48
Estano bronce (88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			145		95		18.0	30
Manganeso bronce (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	8360	655			330		105		21.6	20
Aluminio bronce (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	8330	620	900		275		110	42	16.2	6

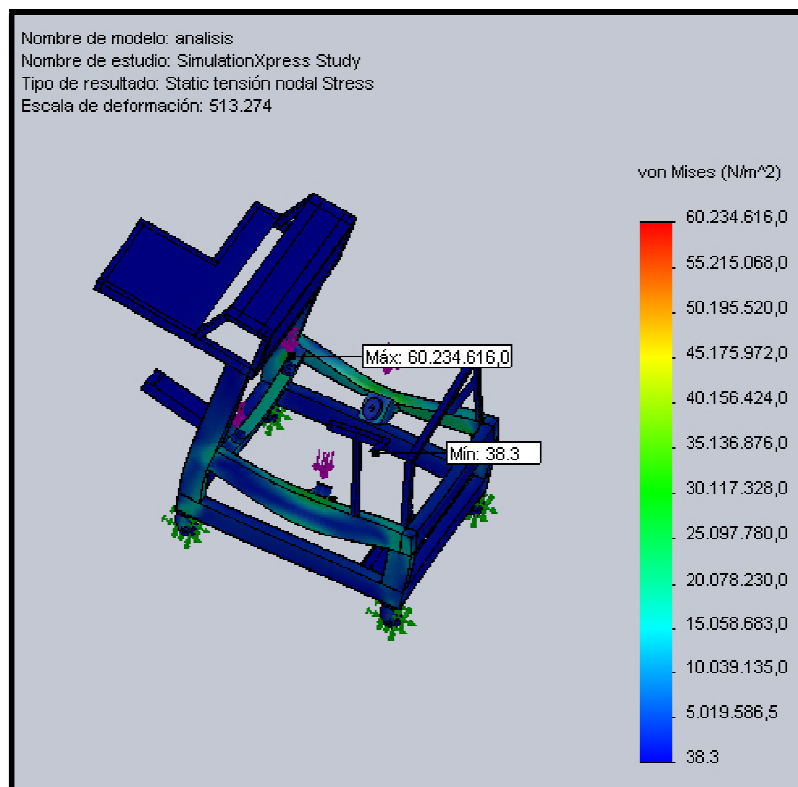
### 3.5.4.1.1. Resultados de la Simulación

Después de realizar el cálculo estructural con ayuda de la herramienta **Simulation Express** el programa presenta la siguiente gráfica de resultados los cuales analizaremos:

<sup>[1]</sup> BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Russell. Mecánica de Materiales. Tercera Edición. México: Mc Graw - Hill Interamericana. 2004 Apéndice B

### 3.5.4.1.2. Tensión

Como podemos observar en la figura 3.11, la tensión máxima es de 60.23MPa lo cual está dentro de los rangos que posee el acero estructural, ya que el mismo puede llegar a soportar una tensión de 400MPa según la tabla de propiedades del material, mientras que la tensión **Mínima** es de 38.3MPa

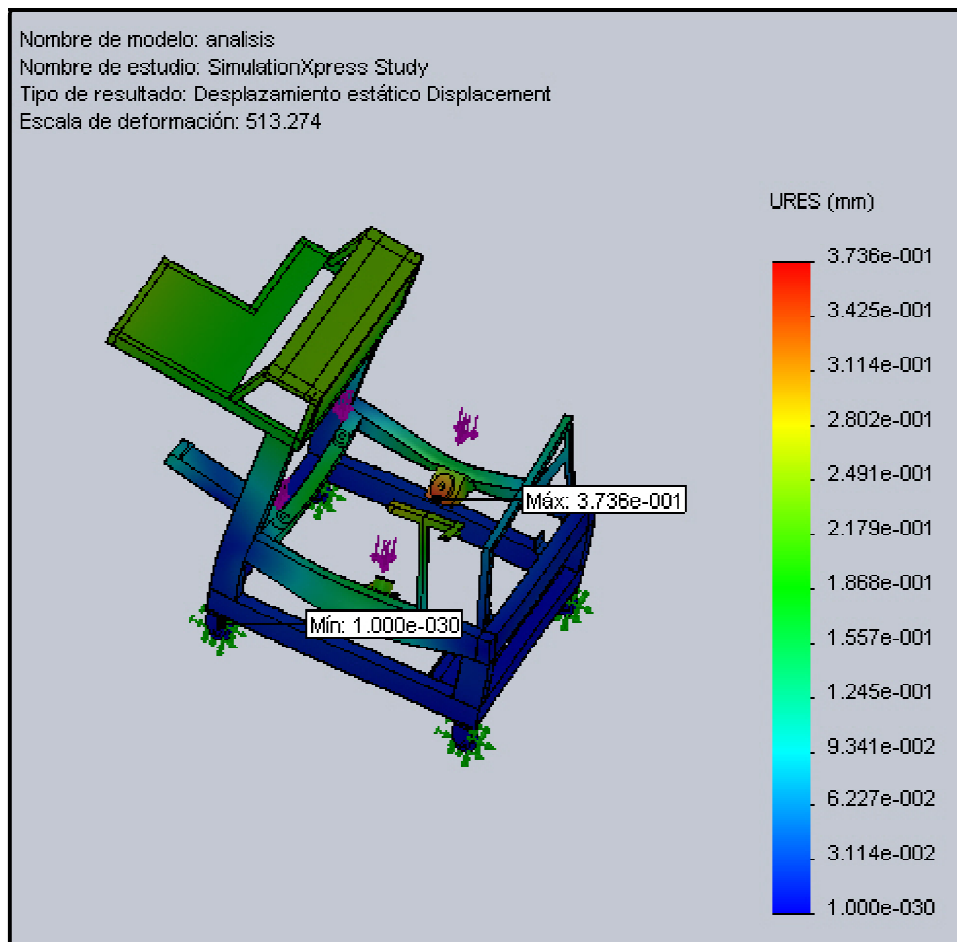


**Figura 3.11:** Resultados de análisis de tensión en Solid Works.

### 3.5.4.1.3. Deformación

Notamos que la mayor deformación va a estar presente en los cuatro apoyos sobre los cuales se va a encontrar el motor, como anteriormente se mencionó la estructura va a estar sometida a una deformación del tipo deformación elástica o reversible es decir, el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación. Ya que la deformación máxima que va a sufrir la estructura en uno de sus apoyos es de  $3.736 \times 10^{-1}$  mm distinguimos que esta se mantiene siempre dentro del límite elástico del material.



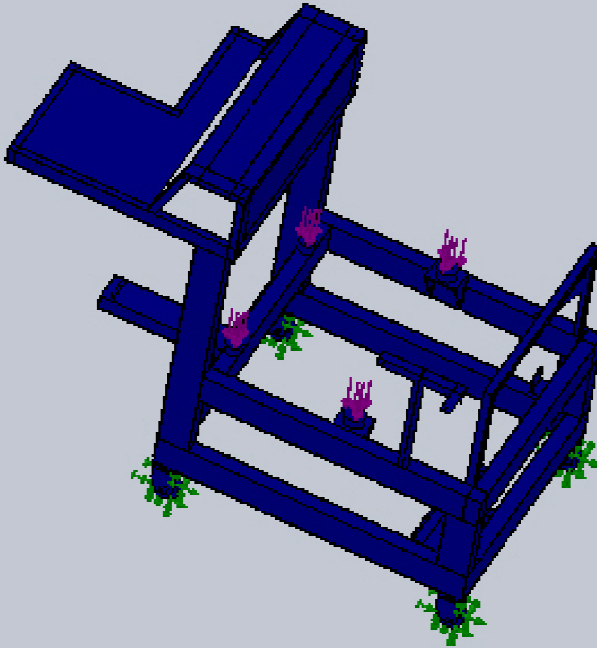


**Figura 3.12:** Resultados de deformación en Solid Works.

#### 3.5.4.1.4. Factor de Seguridad

Los resultados de la simulación muestran que nuestra estructura tiene un Factor de Seguridad mínimo de **4.20**, así también podríamos decir que este posee un factor de seguridad muy bueno en lo que se refiere a seguridad ya que según el instituto de estandarización *American Institute of Steel Construction*, nos recomienda un valor promedio de 1.67 para poder asegurar la seguridad de la estructura. Como nos podemos dar cuenta el factor de seguridad que posee nuestra estructura **casi triplica** el valor que recomienda el *American Institute of Steel Construction*.

Nombre de modelo: analisis  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Rojo < FOS = 1 < Azul



**Figura 3.13:** Resultados del factor de seguridad en Solid Works.

### **3.5.5. Análisis dinámico del banco de pruebas**

Luego de haber realizado el análisis estructural estático, nos concentraremos en realizar el análisis dinámico del banco de pruebas. El análisis dinámico del banco de pruebas se centró en el estudio de los efectos producidos por las vibraciones generadas por el funcionamiento del motor. Si estas vibraciones se transmitieran directamente a la estructura del banco de pruebas, podrían producir fatiga de los elementos constructivos del banco, afectar tanto a los puntos de unión y de soldadura, así como a los elementos electrónicos y otros componentes del banco de pruebas. Para una mejor comprensión de los efectos de las vibraciones del motor sobre la estructura que lo soporta, es necesario conocer algunos conceptos que se describen a continuación.

### 3.5.5.1. Transmisión de Vibraciones del Motor

Las vibraciones originadas en el motor son causadas por el movimiento cíclico de los elementos recíprocos y por los cambios rápidos de la presión del gas, los cuales ocurren a través de cada ciclo de operación. Estas variaciones de inercia y presión del gas generan tres tipos de vibraciones las cuales son transferidas al bloque de cilindros:

- Vibraciones verticales y horizontales.
- Reacciones por las variaciones de torque.
- Oscilaciones de torsión por cigüeñal

El motor y la caja de cambios deben ser suspendidas de tal forma que se permita un amplio grado de libertad cuando las masas giren alrededor de un centro de rotación imaginario conocido como eje principal el cual permite que las vibraciones del motor y caja de cambios sean lo menor posible, debido a que las masas se encuentran uniformemente distribuidas alrededor de éste eje. Se puede considerar que el motor oscila alrededor de un eje, el cual pasa a través del centro de gravedad del motor y de la caja de cambios. Esto produce normalmente un eje de oscilación con una inclinación aproximada de 10 a 20° del eje del cigüeñal para obtener un mayor grado de libertad, los montantes deben estar dispuestos de tal forma que estos ofrezcan la menor resistencia al esfuerzo cortante en la base de goma. Si el movimiento de un motor con montaje flexible no posee ninguna restricción, éste puede tener seis modos de vibración. Cada modo de movimiento puede ser resuelto en tres ejes que pasan por el centro de gravedad del motor. Estos movimientos pueden describirse de la siguiente forma. <sup>[3]</sup>

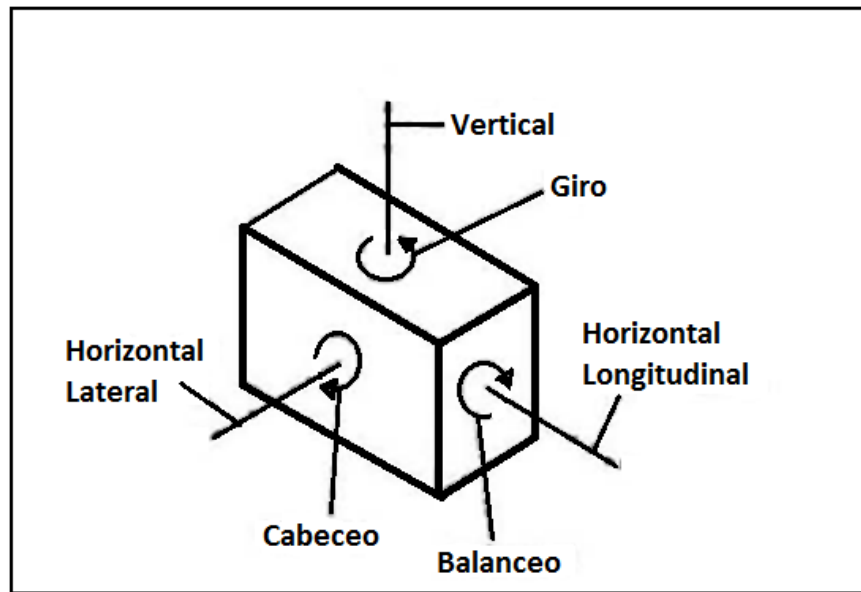
#### **Movimientos Lineales**

- Horizontal - Longitudinal
- Horizontal- Lateral
- Vellical

#### **Movimientos Rotacionales**

- Balanceo
- Cabeceo
- Giro

<sup>[2]</sup> HEISLER, Heinz, *Advanced Vehicle Technology*, Segunda Edición, Editorial Butterworth-Heinemann, Gran Bretaña 2002, p. 9.



**Figura 3.14:** Movimientos lineales y rotacionales del motor.

### 3.5.5.2. Frecuencia Natural de Vibración

Cuando un cuerpo elástico es flexionado y liberado este oscilará hacia arriba y hacia abajo a un ritmo uniforme. La amplitud de este movimiento cíclico decrece progresivamente y el número de oscilaciones por minuto del montante de goma es conocido como frecuencia natural de vibración. A continuación se presenta una relación entre la deflexión estática impuesta sobre el montante de goma por la masa suspendida y la frecuencia natural de vibración del caucho.

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{x}} \quad (3.2)$$

Donde  $n_0$  es la frecuencia natural de vibración, en vibraciones por minuto (vib/min) y  $x$  es la deflexión estática del caucho en metros (m)

Esta relación entre la deflexión estática y la frecuencia natural puede ser vista en la siguiente figura.

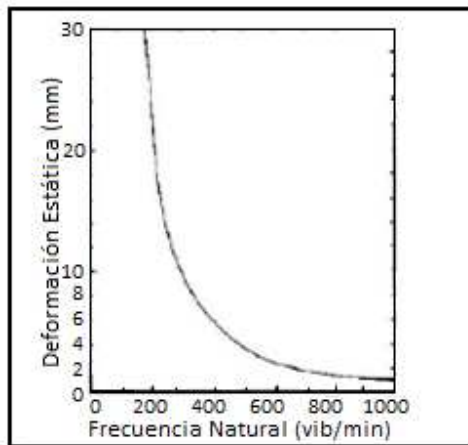


Figura 3.15: Relación entre la deflexión estática y la frecuencia natural

### 3.5.5.3. Resonancia

Resonancia es una sincronización no deseada de una frecuencia externa, provocada por el movimiento del motor y las fluctuaciones de presión en el motor, y la frecuencia natural de oscilación del soporte elástico de goma. De esta manera la resonancia ocurre cuando: (Ecuación 3.3)

$$\omega = \omega_n \quad (3.3)$$

Donde:  $\omega$  es la frecuencia externa impuesta y  $\omega_n$  es la frecuencia natural. <sup>[3]</sup>

### 3.5.5.4. Transmisibilidad

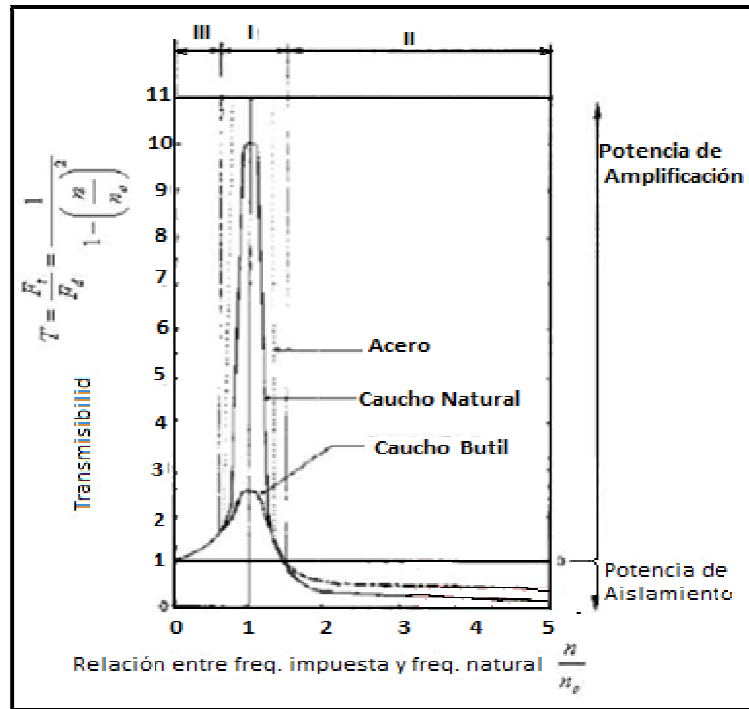
La transmisibilidad puede ser utilizada para estimar las condiciones críticas de resonancia que deben ser prevenidas o por lo menos evitadas. La transmisibilidad (T) puede ser definida como la relación de la fuerza transmitida o amplitud que pasa a través del soporte de goma hacia el chasis y la fuerza o amplitud impuesta por las oscilaciones del motor; de esta forma tenemos que: (Ecuación 3.4)

$$T = \frac{F_t}{F_d} \quad (3.4)$$

Donde:  $F_t$ , es la fuerza o amplitud transmitida y  $F_d$  es la fuerza o amplitud impuesta.

<sup>[3]</sup> HEISLER, Heinz, *Advanced Vehicle Technology*, Segunda Edición, Editorial Butterworth-Heinemann, Gran Bretaña 2002, p. 11.

A continuación podemos observar la relación entre transmisibilidad y la proporción entre la frecuencia impuesta y la frecuencia transmitida.



**Figura 3.16:** Relación entre transmisibilidad y la proporción entre la frecuencia impuesta y la frecuencia transmitida.

La gráfica anterior puede ser dividida en tres zonas como se explica a continuación:

**Zona 1:** éste es el rango de resonancia y debe ser evitado. Esta ocurre cuando el valor de la frecuencia impuesta es muy cercano al valor de la frecuencia natural. Si se utilizaran montajes de acero, la vibración crítica de resonancia se aproximaría al infinito, pero el caucho natural limita la transmisibilidad a 10. Por otro lado si se utiliza el caucho sintético de Butil, sus propiedades de absorción reducen el pico a aproximadamente 2.5. Una desventaja de este tipo de materiales es su alta sensibilidad a la temperatura, volviéndose notablemente rígido a bajas temperaturas.

La amortiguación que ofrecen los montantes del motor es necesaria para reducir el excesivo movimiento del montante cuando pasa a través de la resonancia, pero a velocidades sobre la de resonancia, más vibraciones son transmitidas al chasis o estructura que las que ocurriera si no, existiera amortiguación. <sup>[4]</sup>

<sup>[4]</sup> HEISLER, Heinz, *Advanced Vehicle Technology*, Segunda Edición, Editorial Butterworth-Heinemann, Gran Bretaña 2002, p. 12.

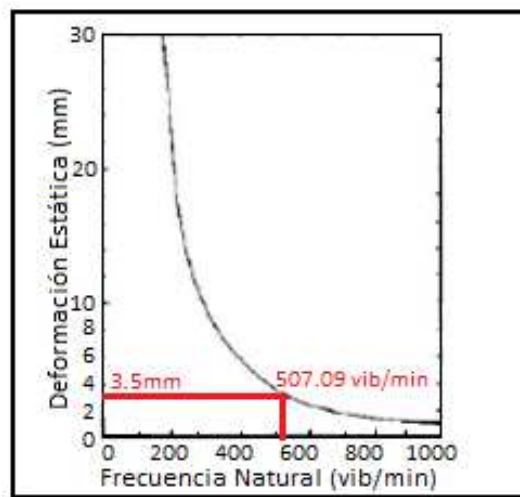
**Zona II:** ésta es la zona recomendable de trabajo, donde la relación de la frecuencia impuesta y la frecuencia natural de vibración de los montantes de goma es tan grande como 1.5 y la transmisibilidad es menor a 1. Bajo estas condiciones los picos de resonancia que pasan al chasis son minimizados.

**Zona III:** ésta zona es conocida como la zona de reducción de *shock* y solamente ocurre cuando la frecuencia impuesta es más baja que la frecuencia natural. Generalmente esto sólo se visualiza con montantes con caucho muy suave y cuando el motor inicialmente arranca y pasa rápidamente de esta región de relación de frecuencia. <sup>[5]</sup>

### 3.5.5.5. Análisis de Vibraciones en el Banco de Pruebas

Para el análisis de vibraciones en el banco de pruebas del motor **SUZUKI modelo GRAND VITARA J20**, partimos de la deformación estática medida en los montantes de goma, la cual alcanza un valor de 3.5mm tanto para el soporte izquierdo como para el soporte derecho.

Mediante la fórmula de la frecuencia natural vibración y la tabla, obtenemos la frecuencia natural de vibración del montante de goma para la deflexión estática de 3.5mm (0.0035m), de esta forma tenemos:



**Figura 3.17:** Frecuencia Natural vs Deformación estática

<sup>[5]</sup> HEISLER, Heinz, *Advanced Vehicle Technology*, Segunda Edición, Editorial Butterworth-Heinemann, Gran Bretaña 2002, p. 13.

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{x}} \quad (3.2)$$

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{0.0035m}}$$

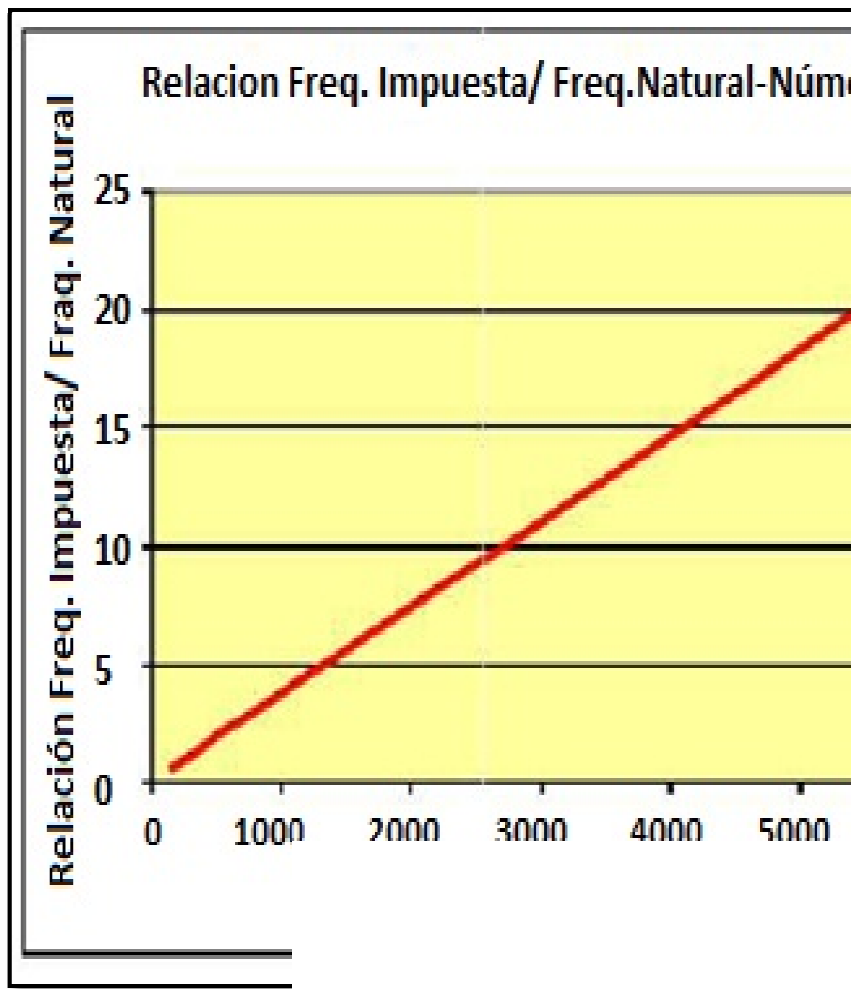
$$n_0 = 507.09 \text{ vib}/\text{min}$$

La frecuencia natural de vibración obtenida es de 507.09 *Vib/min*, es decir una frecuencia de 8.452 Hz. Como se explicó anteriormente, para evitar anomalías y vibraciones excesivas producidas por un efecto de resonancia, es necesario evitar la sincronización de la frecuencia natural de vibración y la frecuencia impuesta sobre el montante por el funcionamiento propio del motor.

Se conoce que un motor que trabaja dentro de un régimen de 750 rpm hasta las 6000 rpm, produce vibraciones que van desde los 25 Hz hasta los 200 Hz. Para el caso del motor **SUZUKI modelo GRAND VITARA J20A**, la frecuencia natural calculada anteriormente se iguala con la frecuencia impuesta por el motor, cuando este gira a aproximadamente 200 a 300 rpm, es decir solo en el momento del arranque del motor.

Debido a que este régimen de 200 a 300 rpm se consigue durante el instante en que arranca el motor, no se producen anomalías ni vibraciones excesivas en la estructura cuando el motor se encuentra en su régimen normal de funcionamiento es decir entre las 800 y 6000 rpm. Recordando la condición de resonancia  $\frac{n}{n_0} = 1$  (es decir la frecuencia impuesta debe ser igual a la frecuencia natural de vibración), en el siguiente gráfico podemos observar la relación de la frecuencia impuesta por el motor y la frecuencia natural de vibración a medida que el motor aumenta de régimen de 800 rpm a 6000 rpm.





**Figura 3.18** Relación Entre Frecuencia Impuesta/Frecuencia Natural

Se puede observar en la gráfica anterior, a medida que aumenta la relación entre la frecuencia impuesta por el motor y la frecuencia natural del sistema, se evita así la condición de resonancia. Cuando el motor gira en el régimen de 2190 rpm, la relación entre frecuencia impuesta y natural alcanza un valor de 3.47; llegando a un régimen de 6000 rpm. En la siguiente gráfica podemos observar la relación entre frecuencia impuesta y frecuencia natural sobre la transmisibilidad del montante de goma a la estructura.

ERROR: undefined  
OFFENDING COMMAND: image

STACK:

/unknownerror  
-dictionary-  
--image--