



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO ELECTRÓNICO DE
PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA”**

VILLAVICENCIO PINO PABLO DANIEL

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 26 del 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

PABLO DANIEL VILLAVICENCIO PINO

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO ELECTRÓNICO DE
PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA”**

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:

Dr. Mario Audelo G.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Constante N.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Pablo Daniel Villavicencio Pino

TÍTULO DE LA TESIS:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO
ELECTRÓNICO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE
INYECTORES A GASOLINA”**

Fecha de Examinación: Noviembre 26, del 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|---------|------------|-------|
| Ing. Ángel Tierra (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA) | | | |
| Dr. Mario Audelo G. (DIRECTOR DE TESIS) | | | |
| Ing. Diego Constante N. (ASESOR) | | | |

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

RECOMENDACIONES: _____

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

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que se presenta, 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 del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Pablo Daniel Villavicencio Pino

DEDICATORIA

A Dios, por su respaldo incondicional durante toda mi vida, por darme la fortaleza para comenzar cuando los demás abandonan; a mis padres: Ángel Rogelio Villavicencio Zúñiga y a Emerenciana de Jesús Pino Ronquillo por su amor y constante apoyo no solo durante toda mi carrera estudiantil, si no durante toda mi vida, este triunfo también es de ustedes; a mis hermanos y demás familiares que siempre han estado pendientes de mí. A todos ustedes, porque son parte fundamental de mi vida, porque hemos construido una fuerte y sólida relación a lo largo de toda una vida, porque los amo, porque nos amamos.

Pablo Daniel Villavicencio Pino

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, a mis hermanos, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a Riobamba, a la gente que me recibió con amabilidad en esta ciudad, a los maestros que me brindaron sus conocimientos y amistad, a mis compañeros y amigos. A todos ustedes muchísimas gracias por acompañarme durante este tiempo de carrera estudiantil.

Pablo Daniel Villavicencio Pino

CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES

| | | |
|-------|----------------------------|---|
| 1.1 | Introducción..... | 1 |
| 1.2 | Justificación..... | 2 |
| 1.3 | Objetivos | 3 |
| 1.3.1 | Objetivo general.. .. | 3 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos..... | 3 |

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | Los inyectores de gasolina | 4 |
| 2.1.1 | Constitución y funcionamiento..... | 4 |
| 2.1.2 | Modulación de ancho de pulso y ciclo útil de funcionamiento. | 6 |
| 2.1.3 | Clasificación de los inyectores..... | 7 |
| 2.1.4 | Tipos de circuitos controladores de inyectores | 11 |
| 2.1.5 | Curva característica del inyector..... | 12 |
| 2.1.6 | Mantenimiento..... | 16 |
| 2.2 | El sonido | 22 |
| 2.2.1 | Parámetros físicos del sonido..... | 22 |
| 2.2.2 | Características o cualidades del sonido..... | 24 |
| 2.2.3 | Velocidad de propagación del sonido | 24 |
| 2.2.4 | Fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido..... | 25 |
| 2.3 | Ultrasonido | 26 |
| 2.3.1 | Aplicaciones del ultrasonido | 27 |
| 2.3.2 | Limpieza ultrasónica..... | 27 |

3. DISEÑO DEL BANCO ELECTRÓNICO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 3.1 | Diseño del hardware..... | 34 |
| 3.1.1 | Riel de inyectores..... | 34 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1.2 | Soporte del riel de inyectores y probetas..... | 37 |
| 3.2 | Diseño del software | 41 |
| 3.2.1 | Sistema para la prueba de ángulo de inyección | 42 |
| 3.2.2 | Sistema para la prueba de flujo de inyección de combustible..... | 42 |
| 3.2.3 | Sistema para la prueba de estanqueidad de los inyectores | 42 |
| 3.2.4 | Sistema para la activación de la limpieza ultrasónica | 44 |
| 3.2.5 | Frecuencia y PWM para la variación de la velocidad de la bomba | 44 |
| 3.2.6 | Simulación..... | 50 |

4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO ELECTRÓNICO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Materiales utilizados | 52 |
| 4.1.1 | Construcción de la estructura principal general | 52 |
| 4.1.2 | Construcción del soporte de inyectores y probetas..... | 53 |
| 4.1.3 | Construcción del riel de inyectores y sus acoples..... | 53 |
| 4.2 | Construcción de la tarjeta electrónica..... | 54 |
| 4.3 | Análisis de costos..... | 58 |

5. FASE EXPERIMENTAL

| | | |
|-----|-----------------------------|----|
| 5.1 | Prueba de inyectores..... | 61 |
| 5.2 | Análisis De Resultados..... | 64 |

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 6.1 | Conclusiones..... | 66 |
| 6.2 | Recomendaciones..... | 67 |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|----|--|
| 1 | Velocidad del sonido en algunos medios. 25 |
| 2 | Valores de presión según los valores del registro CCPR1L:CCP1CON<5:4> 51 |
| 3 | Selección de materiales para la estructura principal..... 52 |
| 4 | Dispositivos para la construcción de la tarjeta electrónica..... 55 |
| 5. | Análisis de costos de la construcción de un solo equipo. 59 |

LISTA DE FIGURAS

| | | Pág. |
|----|--|------|
| 1 | Constitución del inyector electromagnético de gasolina. | 5 |
| 2 | Señal al transistor de potencia que gobierna al inyector..... | 6 |
| 3 | Modulación del ancho de pulso y ciclo útil de una señal digital. | 7 |
| 4 | Inyector con válvula de aguja..... | 8 |
| 5 | Inyector con válvula de disco. | 9 |
| 6 | Inyector con válvula tipo bola..... | 9 |
| 7 | Tipos de conexiones eléctricas. | 9 |
| 8 | Tipos de conexiones de los inyectores..... | 10 |
| 9 | Tipos de inyectores según la alimentación de combustible. | 11 |
| 10 | Circuitos controladores de inyectores..... | 12 |
| 11 | Curvas características del inyector..... | 12 |
| 12 | Curva característica de un inyector controlado por voltaje. | 13 |
| 13 | Curva característica de un inyector controlado por amperaje..... | 15 |
| 14 | Atomización correcta e incorrecta de combustible..... | 16 |
| 15 | Constitución del canister. | 17 |
| 16 | Patrones correctos de atomización. | 19 |
| 17 | Limpieza ultrasónica de inyectores..... | 20 |
| 18 | Longitud de onda. | 23 |
| 19 | Frecuencia de una señal. | 23 |
| 20 | Periodo y amplitud de una señal sinusoidal..... | 24 |
| 21 | Frecuencia de infrasonidos, sonidos y ultrasonidos. | 26 |
| 22 | Transductor ultrasónico..... | 29 |
| 23 | Fases de la cavitación ultrasónica..... | 30 |
| 24 | Influencia de la frecuencia ultrasónica en el líquido de limpieza..... | 31 |
| 25 | Diseño de la estructura principal. | 34 |
| 26 | Diseño del riel de inyectores y sus acoples. | 36 |
| 27 | Análisis de esfuerzos del soporte de inyectores. | 38 |
| 28 | Diseño del soporte del riel de inyectores y probetas. | 40 |
| 29 | Equipo ensamblado. | 40 |
| 30 | Entorno de programación MPLAB IDE V8.63..... | 41 |

| | | |
|----|--|----|
| 31 | Diagrama de flujo de la prueba de ángulo de inyección. | 43 |
| 32 | Diagrama de flujo de la prueba de flujo de inyección. | 44 |
| 33 | Diagrama de flujo de la prueba de estanqueidad. | 45 |
| 34 | Diagrama de flujo de la limpieza ultrasónica. | 46 |
| 35 | Fórmula del periodo del PWM del PIC 16F877A. | 47 |
| 36 | Bits del registro T2CON para la configuración del prescalizador. | 48 |
| 37 | Fórmula del periodo del ciclo útil del PWM del PIC 16F877A. | 49 |
| 38 | Simulación del sistema en ISIS de Proteus V 7.7. | 51 |
| 39 | Estructura principal. | 53 |
| 40 | Soporte de inyectores y probetas. | 53 |
| 41 | Riel de inyectores y sus acoples. | 54 |
| 42 | Prueba del circuito en protoboard. | 56 |
| 43 | Creación de las pistas en ARES de Proteus V 7.7. | 57 |
| 44 | Vista del circuito armado en ARES. | 57 |
| 45 | Armado de la placa electrónica. | 58 |
| 46 | Prueba de ángulo de inyección de inyectores Volkswagen. | 62 |
| 47 | Prueba de flujo de inyección de inyectores Volkswagen. | 62 |
| 48 | Limpieza de los inyectores en la tina ultrasónica. | 63 |
| 49 | Prueba de ángulo de inyección luego de la limpieza ultrasónica. | 63 |
| 50 | Prueba de flujo de inyección luego de la limpieza ultrasónica. | 63 |
| 51 | Volumen entregado por los inyectores - prueba de ángulo de inyección. | 64 |
| 52 | Volumen entregado por los inyectores - prueba de flujo de inyección. | 64 |
| 53 | Inyección pos limpieza ultrasónica - prueba de ángulo de inyección. | 65 |
| 54 | Inyección pos limpieza ultrasónica - prueba de flujo de inyección. | 65 |

LISTA DE ABREVIACIONES

| | |
|-----|---|
| PWM | Modulación de ancho de pulso. |
| RPM | Revoluciones por minuto. |
| IAC | Válvula de control de paso de aire. |
| PIC | Circuito integrado programable. |
| CI | Circuito integrado. |
| CCP | Módulo capturador, comparador y modulación de ancho de pulso. |

LISTA DE ANEXOS

- A** Manual del usuario.
- B** Programación del microcontrolador seleccionador de pruebas.
- C** Programación del microcontrolador generador de pulsos.

RESUMEN

El presente proyecto investigativo está basado en el estudio de los inyectores electromagnéticos a gasolina y su mantenimiento. Los inyectores son actuadores importantes para el funcionamiento del motor, por tal razón es indispensable conocer su estructura interna, funcionamiento y correcto mantenimiento. Para ello optó por el Diseño y Construcción de un Banco Electrónico de Pruebas y Limpieza de Inyectores a Gasolina.

Atendiendo al llamado actual de la preservación del medio ambiente, se hace necesario obtener una óptima combustión, esto se logra cuando los inyectores de gasolina hacen su trabajo eficientemente de modo que los residuos de la combustión sean menores. Mediante la investigación y puesta en práctica de los conocimientos adquiridos en la Escuela de Ingeniería Automotriz, se logró construir el equipo antes mencionado con el fin de darle a estos actuadores el mantenimiento adecuado mediante la limpieza por ultrasonido, así como también la realización de diferentes pruebas que verifiquen su correcto funcionamiento.

Las consecuencias de no darle mantenimiento a los inyectores se manifiestan durante el funcionamiento del motor con ritmo defectuoso en las revoluciones por minuto y una disminución en la potencia al acelerar. Los especialistas en la materia recomiendan el primer mantenimiento a los treinta mil kilómetros.

Con la utilización de este equipo se ha verificado que los inyectores de gasolina funcionan correctamente luego de efectuado el mantenimiento, comprobando que el consumo de combustible es menor y que el motor funciona de manera óptima con lo cual, extendemos la vida útil de nuestro vehículo. Estas y otras características se desarrollan con respaldos teóricos y prácticos a lo largo de esta investigación.

ABSTRACT

The present investigation is based on a study of electromagnetic-fuel injectors and their maintenance. The injectors are important actuators for the engine performance. Therefore, it is essential to know its internal structure, running and a right maintenance. An electronic-test bank and a fuel-injector cleaning have been designed and constructed.

On the other hand, it is important to get a right combustion in order to damage the environment. Providing that the fuel-injectors work efficiently, there will be less combustion residues. The equipment mentioned above was constructed to maintain these actuators correctly by means of ultrasonic cleaning and the different test execution. Besides, different tests were applied to check a right performance. This research is based on knowledge and practice acquired in the Automotive Engineering School.

If injectors are not maintained on time, default performance and power decrease will appear in the revolutions per minute when speeding up during the engine running. Experts recommend the first maintenance at 30 000 Kilometers.

Fuel injectors work correctly after a proper maintenance using this equipment. In addition to, the fuel combustion is less and the engine works correctly. Thus, the car lifespan will be longer. These and other characteristic are developed with a theoretical and practice information throughout this investigation.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El inyector de gasolina es el actuador principal en los sistemas de inyección, los hay mecánicos y electromagnéticos. Los inyectores mecánicos actualmente no se usan, estos formaron parte de la evolución de los sistemas de inyección actuales, su funcionamiento se basaba en la inyección del combustible por efecto de la presión existente en el sistema de inyección. Los inyectores que actualmente se fabrican y por ende se utilizan son los electromagnéticos, los cuales se detallan en este estudio; por lo cual, a menos de que se indique lo contrario, cuando se exponga la palabra “inyectores”, estamos tratando específicamente de inyectores electromagnéticos a gasolina.

En los diferentes sistemas de inyección electrónica, se busca proteger al sistema de alimentación de combustible de partículas sólidas u otros elementos extraños, incorporando filtros de combustibles. Sin embargo hay diminutas impurezas que logran pasar los filtros antes mencionados y muchas de ellas se instalan en los inyectores originando una mala inyección, lo que produce deficiencias en el funcionamiento del sistema y por ende del motor. Además, si a este problema le añadimos el hecho de que los inyectores al estar en contacto con la cámara de combustión, eventualmente podrían taponarse por la adhesión de residuos de una mala combustión, entonces estamos tratando sobre un problema al que se le debe dar solución.

Los estragos de la falta de mantenimiento de los inyectores se ven reflejados durante la conducción, como por ejemplo un ritmo defectuoso en las revoluciones por minuto y una disminución en la potencia a la hora de acelerar, por tal razón, la mayoría de las personas que conocen de este tema, recomiendan su mantenimiento cada treinta mil kilómetros (30000 Km) aproximadamente.

Existen dos tipos de mantenimiento de inyectores. El primero consiste en la adhesión de un solvente líquido al tanque de combustible y en la mayoría de los casos se lo realiza por canister. El segundo es por medio de un banco electrónico de pruebas y limpieza por

ultrasonidos. En este estudio, se expondrá cada uno de ellos y se considerarán sus ventajas, desventajas y diferencias.

1.2 Justificación

La atomización incorrecta de combustible por cualquier inconveniente en el sistema de inyección, genera un consumo adicional de combustible, ya que la unidad de control del motor, previo a la recepción de señales de diferentes sensores, calcula el tiempo que debe enviar la señal de voltaje a los inyectores para su funcionamiento. En su afán de corregir la inyección, la unidad de control prolonga el tiempo de señal, lo que nos da como resultado un mayor consumo de combustible y por ende de dinero.

Bajo el mando de la unidad de control del motor, el trabajo de los inyectores es aportar con la cantidad necesaria de combustible para tener una mezcla correcta con el aire (cuyo flujo también es controlado por la unidad de control), y así realizar una óptima combustión. El mal funcionamiento de los inyectores, ya sea por taponamiento u otros inconvenientes, producirán una pérdida de eficiencia y por ende una mala combustión, lo que conlleva a una contaminación mayor que la de la combustión en condiciones normales de funcionamiento. Además de la inestabilidad en marcha mínima, pérdida de potencia, ahogamientos, problemas al arrancar; preocupa la cantidad adicional de emisión de gases contaminantes emitidos a la atmósfera.

En muchas de las ocasiones, el funcionamiento incorrecto de los inyectores no solo se debe al taponamiento por sedimento del combustible. En el trabajo de los inyectores hay piezas que se encuentran en movimiento y dos de ellas se encuentran en constante contacto, se trata de la válvula obturadora y su asiento, elementos que a la larga pueden desgastarse y generar pérdida de estanqueidad e inconvenientes en la atomización del combustible.

Con la limpieza de los inyectores, estos recuperan su funcionalidad evitando la contaminación innecesaria, recobrando las condiciones óptimas de funcionamiento. Asimismo, si procedemos a realizar diferentes pruebas a los inyectores, como ensayos de flujo de combustible, estanqueidad y ángulo de atomización, podremos dar un diagnóstico acertado y con este, tomar decisiones sobre el descarte de los mismos o la continuidad de su uso.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un banco electrónico de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

Investigar el trabajo de los inyectores, sus tipos y mantenimiento.

Investigar el funcionamiento, características y utilidades del ultrasonido.

Estudiar los diferentes métodos de limpieza de inyectores y establecer prioridades entre ellos de acuerdo con sus características.

Diseñar el circuito electrónico que simule las pulsaciones necesarias para el funcionamiento de los inyectores, la activación del ultrasonido para su limpieza, así como también el sistema de control de velocidad de la bomba para ajustar la presión.

Analizar el resultado del funcionamiento del banco de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina por ultrasonido.

Elaborar un manual ilustrativo de operaciones para el usuario, en búsqueda de un fácil acceso para la correcta manipulación del equipo.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Los inyectores de gasolina

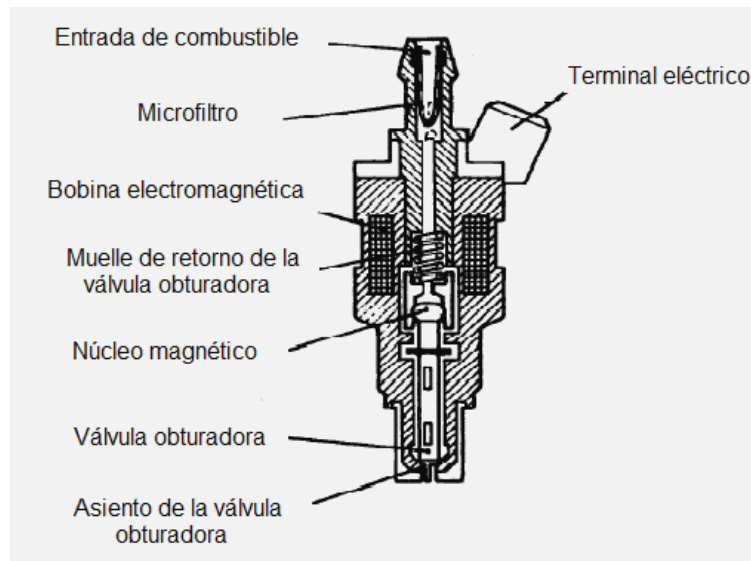
Los inyectores son válvulas electromagnéticas encargadas de suministrar el combustible al motor, estos poseen un orificio de entrada de combustible en donde se aloja una fina malla filtrante o microfiltro de aproximadamente veinte micras. También posee uno o varios orificios por donde sale el combustible, estas salidas están fabricadas con tolerancias muy pequeñas, al abrir tienen un espesor aproximado de una micra, lo que permite la fina pulverización o atomización del combustible. Solo se mantienen abiertos entre dos y quince milisegundos aproximadamente, dependiendo de las condiciones de trabajo del motor.

Los inyectores están controlados por la unidad de control del motor, la misma que al enviar un impulso electrónico abre el inyector, esto permite que el combustible logre pasar a través de los pequeños orificios dosificadores por el efecto de la presión del sistema de alimentación de combustible.

Todo el sistema de inyección depende del buen funcionamiento de los inyectores, estos funcionan con doce voltios, y su consumo de corriente depende de la resistencia interna de su bobina. A mayor resistencia menor es el consumo de corriente y viceversa. Esto puede corroborarse fácilmente con la ley de Ohm, la cual establece que la corriente en un circuito cerrado es inversamente proporcional a la resistencia de la carga conectada al circuito. [1]

2.1.1 Constitución y funcionamiento. Los inyectores de gasolina están constituidos por una entrada de combustible, un microfiltro, una bobina electromagnética, un núcleo magnético, una válvula obturadora y su asiento, un muelle de recuperación de la posición de la válvula obturadora y el terminal eléctrico por donde llega la señal para su funcionamiento. Todos los inyectores electromagnéticos de gasolina tienen esta constitución interna sin importar a qué tipo de clasificación a la que pertenezcan.

Figura 1. Constitución del inyector electromagnético de gasolina



Fuente: <http://herediacity.olx.co.cr/limpieza-de-inyectores-gasolina-a-domicilio-costa-rica-iid-431228111.jpg>

El combustible llega al inyector e ingresa en el pasando por el microfiltro. Inicialmente el inyector se encuentra cerrado, esto es por la acción del muelle de retorno de la válvula obturadora que empuja a la misma contra su asiento, es decir, no hay flujo de combustible hacia el motor. Cuando la unidad de control envía la señal eléctrica al inyector, su bobina interna genera un campo electromagnético con la fuerza suficiente para levantar su núcleo magnético, el cual es solidario a la válvula obturadora. Como se explicó antes, este espacio entre la válvula obturadora y su asiento es muy pequeño, a demás de permitir la salida del combustible del inyector, permite la pulverización o atomización del mismo, lo cual contribuye para la correcta combustión de la gasolina.

Cuando la unidad de control cesa de enviar la señal hacia el inyector, el campo electromagnético de su bobina interna desaparece, permitiendo al muelle de retorno de la válvula obturadora recuperar su posición original y por ende empujar la válvula obturadora contra su asiento, cortando el flujo y atomización del combustible.

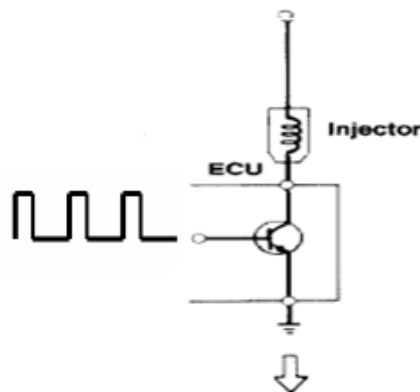
Los circuitos de inyección controlados por la unidad de control, se pueden conectar en una de dos maneras fundamentales. El primer método consiste en alimentar a los inyectores

constantemente por uno de sus pines y el sistema controlador conecta y desconecta el lado de la tierra del circuito. A la inversa, los inyectores pueden estar constantemente conectados a tierra mientras que el sistema controlador conecta y desconecta el positivo o la alimentación del inyector. No hay ninguna ventaja de rendimiento en cualquiera de los métodos antes mencionados, ya que se han probado en laboratorios el funcionamiento de los inyectores conectados en ambos sentidos teniendo resultados satisfactorios. Sin embargo, el 95% de los sistemas están conectados de modo que el sistema controlador conecta y desconecta el circuito a tierra. [2]

2.1.2 Modulación de ancho de pulso y ciclo útil de funcionamiento. Hemos visto el funcionamiento de los inyectores, pero ahora es preciso centrarnos en la señal que envía la unidad de control hacia el inyector hasta uno de sus pines. Consideremos el sistema que conecta y desconecta a tierra uno de los pines del inyector.

Dentro de la unidad de control, un microprocesador es el que genera la señal que permitirá el funcionamiento del inyector, esta señal llega a un transistor de potencia que gobierna la conexión y desconexión del inyector. El transistor mencionado (tres pines) funciona como una especie de interruptor, que al llegar una señal digital eléctrica a su pin de excitación, permite la comunicación entre los otros dos pines. Ahora bien, los pines de comunicación del transistor están conectados, el uno a tierra y el otro a uno de los pines del inyector. Es así que al llegar la señal digital desde el microprocesador al transistor en mención este conecta el inyector a tierra, y cuando cesa la señal, el inyector es desconectado. Este proceso sucede a altas frecuencias.

Figura 2. Señal al transistor de potencia que gobierna al inyector

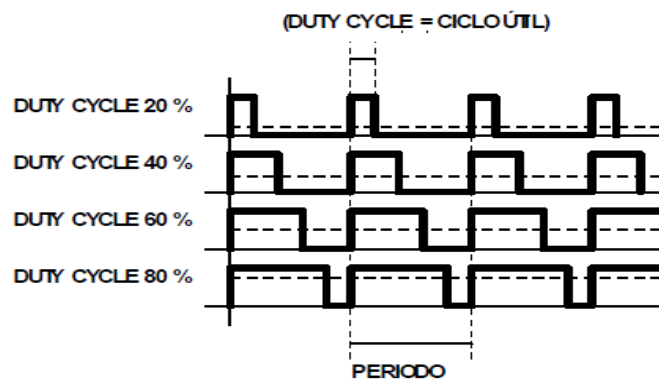


Fuente: http://www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf

Ahora bien, el microprocesador maneja el tiempo de la señal mediante la modulación del ancho de pulso (PWM), la cual es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica. En otras palabras, permite la variación del tiempo entre el estado alto y bajo de una señal digital.

El tiempo en el que la señal está en alto se denomina ciclo útil de la señal (Duty Cycle) y esta se expresa como un porcentaje entre el periodo de la señal y el ancho del pulso. [3] Se puede observar en la figura 3 diferentes señales digitales con un mismo periodo, pero con diferentes anchos de pulso y por obvias razones, diferentes porcentajes de ciclo útil de la señal digital en cada una de ellas.

Figura 3. Modulación del ancho de pulso y ciclo útil de una señal digital



Fuente: <http://flameofknowledge.wordpress.com/2010/02/24/sobre-arduino-y-pwm/>

2.1.3 Clasificación de los inyectores. Los inyectores se clasifican de acuerdo a sus características. Así tenemos la clasificación por:

- Impedancia.
- Válvula obturadora.
- Conector eléctrico.
- Alimentación de combustible.

2.1.3.1 Clarificación por impedancia. La impedancia del inyector describe la resistencia eléctrica de la bobina del mismo. Éstos se agrupan generalmente en dos categorías:

- Baja Impedancia: de 1.7 a 3 ohmios.

- Alta Impedancia: de 10 a 16 ohmios.

La mayoría de los fabricantes han utilizado ambos tipos de inyectores, sin embargo, la tendencia actual es utilizar inyectores de alta impedancia en los vehículos que actualmente se producen. La ventaja primaria de los inyectores de baja impedancia es un tiempo de accionamiento más corto; estos inyectores de combustible, generalmente son controlados mediante corriente.

La ventaja primaria de los inyectores de alta impedancia es el hecho de que se genera menos calor en los transistores de potencia que los comandan y no tienen necesidad de utilizar ningún resistor externo para limitar la corriente que circula por ellos; estos inyectores de combustible generalmente son controlados mediante voltaje.

2.1.3.2 Clasificación por su válvula obturadora. El principio de funcionamiento es el mismo en todos los inyectores electromagnéticos, pero existen tres tipos diferentes de válvulas obturadoras que permiten el paso de combustible y su atomización:

- Inyector con válvula de aguja.
- Inyector con válvula de disco.
- Inyector con válvula de bola.

Inyector con válvula de aguja.- Este es el tipo de inyector más usado porque ha demostrado tener mayor eficiencia que los otros tipos de inyectores con válvulas obturadoras diferentes. Una aguja afilada calza sobre su asiento obturando el paso de combustible y cuando se energiza la bobina del inyector, se retira la aguja permitiendo que el combustible se pulverice. Son menos propensos a taponarse, pero a la larga esto es inevitable.

Figura 4. Inyector con válvula de aguja



Fuente: <http://testengineargentina.blogspot.com/2007/04/inyectores-diferentes-tipos.html>

Inyector con válvula tipo disco.- En este tipo de inyectores, la aguja se sustituye por un disco plano y una placa con pequeñas perforaciones. Éstos trabajan muy bien con un buen cono de pulverización pero son más propensos a que se tapen los agujeros por depósitos de carbonilla.

Figura 5. Inyector con válvula de disco



Fuente: <http://testengineargentina.blogspot.com/2007/04/inyectores-diferentes-tipos.html>

Inyector con válvula tipo bola: Éstos utilizan una bolilla y un alojamiento hembra como válvula y pulverizador, tienen una atomización excelente y un cono de pulverización ancho pero son propensos a taparse con depósitos del barniz provenientes del combustible.

Figura 6. Inyector con válvula tipo bola



Fuente: <http://testengineargentina.blogspot.com/2007/04/inyectores-diferentes-tipos.html>

Figura 7. Tipos de conexiones eléctricas



Fuente: <http://testengineargentina.blogspot.com/2007/04/inyectores-diferentes-tipos.html>

2.1.3.3 Clasificación por conector eléctrico. Para la mayoría de inyectores, hay dos tipos de conexiones eléctricas. En el primer tipo mostrado a la izquierda en la figura 7, el enchufe calza por fuera del inyector generando de esta forma un sello impermeable. Esta conexión ha quedado perenne hasta nuestros días desde el año de 1974 cuando apareció el sistema de inyección L-Jetronic la cual los utilizaba. La segunda conexión mostrada a la derecha en la figura 7, el enchufe se inserta internamente en el inyector con la desventaja de no proteger completamente la conexión entre el conector del inyector y el enchufe del cual tratamos. Actualmente, todavía existen algunos inyectores que usan este tipo de enchufe que se empleó sobre todo en los inyectores Bosch entre los años 1967 y 1973 con el sistema D-Jetronic.

Lamentablemente, varios fabricantes japoneses, por ejemplo Subaru y Toyota decidieron hacer sus propios conectores en los años 80. Éstos utilizaban un enchufe de forma oval no compatibles con el resto de los conectores que había en el mercado.

Figura 8. Tipos de conexiones de los inyectores



Fuente: [http:// www.ignyteparts.com/injector_connection_types.htm](http://www.ignyteparts.com/injector_connection_types.htm)

2.1.3.4 Clasificación por alimentación de combustible. Existen dos tipos: los inyectores electromagnéticos de alimentación superior de combustible, los cuales son los más utilizados en el mundo entero, y los inyectores de alimentación lateral de combustible, los cuales son comunes observar en los sistemas de inyección monopunto como el inyector del cuerpo de aceleración.

Figura 9. Tipos de inyectores según la alimentación de combustible



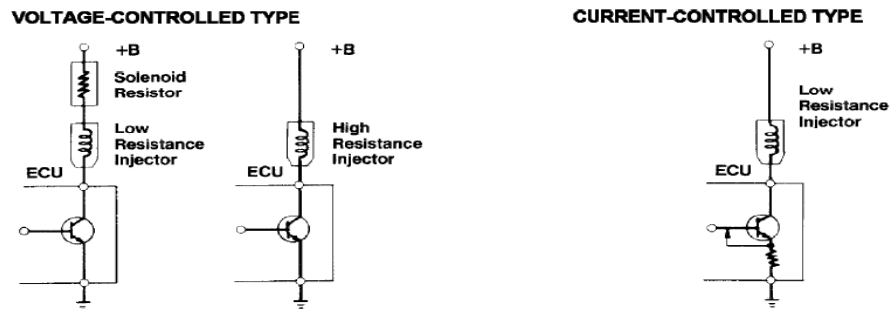
Fuente: <http://dyno-comp.com/blog/category/dyno-comp-products/page/2/>

2.1.4 Tipos de circuitos controladores de inyectores. Hay dos tipos de circuitos excitadores de transistores los cuales se utilizan para operar los inyectores de combustible, estos son los circuitos controladores de voltaje (para inyectores de baja resistencia pero mayormente utilizada para los de alta impedancia) y los circuitos controladores de corriente (exclusivamente para inyectores de baja impedancia). Si no existiera alguna forma de control, el flujo de corriente a través del inyector haría que su bobina se sobrecaliente, lo que podría causar un daño al inyector.

2.1.4.1 Circuito de control de voltaje y de corriente. El circuito controlador de voltaje funciona dentro de la computadora al igual que un interruptor sencillo, ya que no tiene que preocuparse por limitar el flujo de corriente. Cuando el transistor está activado completa el circuito, y cuando está desactivado provoca la apertura del circuito. Algunos fabricantes llaman al circuito "interruptor de saturación", esto es porque cuando se activa el transistor, este permite que el campo magnético se cree en el inyector para construir a la saturación. El circuito de control de corriente es más complejo que el circuito controlador de voltaje porque como el nombre indica, tiene que limitar el flujo de corriente además de su función de conectar y desconectar uno de los pines del inyector. Una vez que el transistor es activado, el sistema no va a limitar el flujo de corriente hasta que ha pasado suficiente tiempo para que la válvula obturadora del inyector se haya abierto. Este periodo está preestablecido por el fabricante del sistema, el cual está basado en la cantidad de flujo de corriente necesaria para abrir el inyector, generalmente entre dos y seis amperios. Una vez que la válvula obturadora del inyector está abierta, el flujo amplificador es reducido considerablemente para el resto de la duración del pulso, esto es para proteger al inyector del sobrecalentamiento. Este proceso es correcto porque se necesita muy poco amperaje para mantener el inyector abierto respecto al amperaje de apertura del inyector.

Hay un par de métodos de reducción de la corriente. El más común es el que retrae el voltaje disponible para el circuito (similar a disminuir la luz de un led con un potenciómetro). El otro método consiste en variar las conexiones y desconexiones del circuito, lo cual se hace tan rápido que el campo magnético jamás se detiene y por lo tanto, la válvula obturadora permanece abierta pero con la intensidad de corriente reducida de manera significativa. Véase el lado derecho de la figura 10. La ventaja del circuito de control de corriente es el corto período de tiempo para abrir el inyector. Esto es producto de la velocidad con la que el flujo de corriente alcanza su pico debido a la baja resistencia del circuito. Además, el inyector se cierra más rápidamente cuando el transistor se desactiva debido a la baja corriente que se necesita para mantener el inyector abierto.

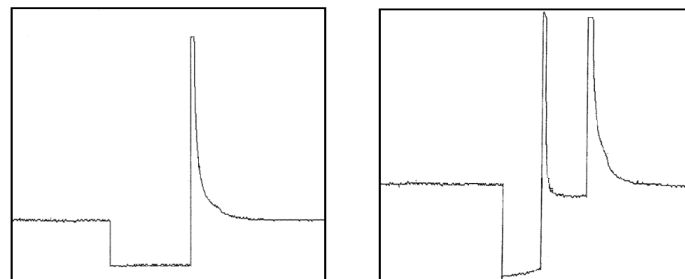
Figura 10. Circuitos controladores de inyectores



Fuente: www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf

2.1.5 Curva característica del inyector. Como se ha expuesto, existen dos circuitos que comandan al inyector. A continuación se muestra la curva característica voltaje-tiempo del inyector cuando está gobernado por voltaje y corriente respectivamente.

Figura 11. Curvas características del inyector



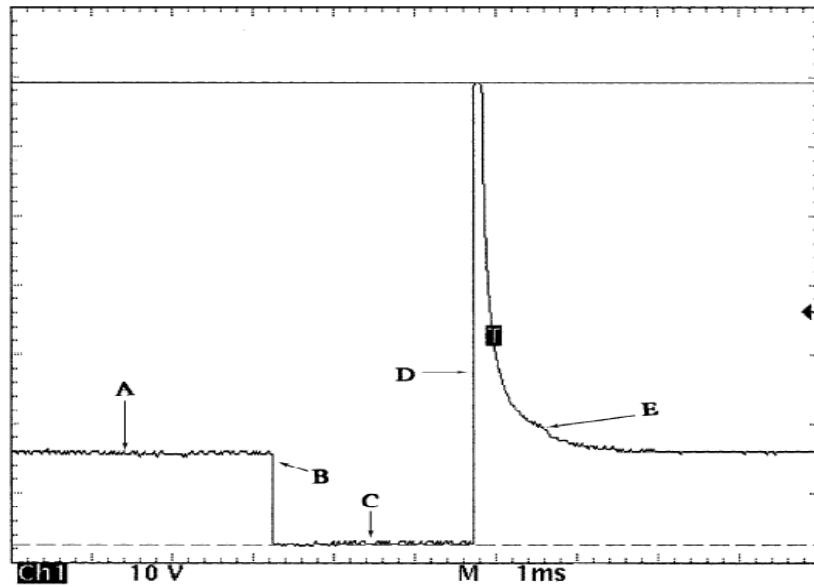
Curva característica de un inyector controlado por voltaje

Curva característica de un inyector controlado por amperaje

Fuente: Autor

2.1.5.1 Interpretación de la forma de onda de un inyector controlado por voltaje. La figura 12 muestra el espectro o la curva característica de un inyector controlado por voltaje, con un pin conectado a positivo y el otro conectado y desconectado a tierra.

Figura 12. Curva característica de un inyector controlado por voltaje



Fuente: www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf

El punto "A" es donde el voltaje se suministra al inyector. Aunque la tensión nominal de funcionamiento es de doce voltios, una tensión de una buena carrera en caliente suele ser de más de trece voltios. Este punto, comúnmente conocido como tensión de circuito abierto, es crítico porque en caso de haber un déficit de voltaje, el inyector no consigue suficiente corriente de saturación. Las ligeras fluctuaciones de tensión son normales y no son motivo de preocupación, sin embargo, las grandes fluctuaciones de voltaje en la línea de alimentación crean problemas en el rendimiento del inyector.

El punto "B" es donde el sistema de control completa el circuito de tierra. La forma de onda en este punto debe ser limpia, similar al lado de un cuadrado, es decir debe presentarse hacia abajo sin bordes redondeados. Esta línea vertical puede verse distorsionada en el caso de que el transistor que gobierna el circuito del inyector dentro de la unidad de control esté débil o defectuoso. Es durante este período que la saturación del devanado del inyector está teniendo lugar.

El punto "C" representa la caída de voltaje a través del devanado del inyector, este punto debe estar muy cerca a la tierra de referencia del osciloscopio, pero no la debe tocar, esto se debe a que el transistor que controla el circuito del inyector tiene una pequeña resistencia eléctrica característica. Cualquier desplazamiento significativo de la tierra de referencia del osciloscopio es un indicativo de un problema en el circuito de tierra que necesita ser reparado.

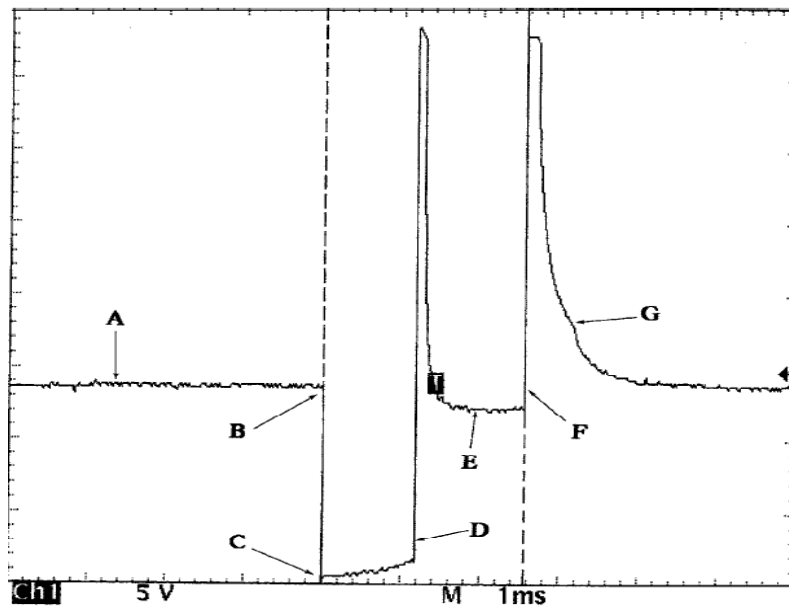
Los puntos entre "B" y "D" representa el tiempo en milisegundos que el inyector está siendo energizado o abierto. Esta línea en el punto "C" debe permanecer plana. Cualquier distorsión o curvatura hacia arriba indica un problema de tierra, un corto circuito, o como se expuso anteriormente, un transistor débil. El punto "D" representa el estado eléctrico del devanado del inyector. La altura de este pico de tensión o impulso inductivo, es proporcional al número de espiras y el flujo de corriente a través de las mismas. Cuanto más sea el flujo de corriente y mayor número de vueltas, mayor es el potencial para un retroceso de tensión. Este pico inductivo debe ser limpio como uno de los lados de un cuadrado, de no ser así, esto es indicativo de que la bobina interna del inyector está débil.

Normalmente, se debería apreciar un mínimo de treinta y cinco voltios en la parte superior del punto "D". Si se observa este valor, es porque el circuito que gobierna al inyector contiene un diodo zener utilizado para fijar este voltaje. Si un diodo zener no se utiliza en el circuito, el pico inductivo de un buen inyector será de sesenta voltios o más.

En el punto "E", a medida que la tensión se disipa se observa una pequeña joroba. Esto es por el núcleo magnético que permite el cierre del inyector. Recordemos que el núcleo es de hierro y el campo magnético generado por la bobina creará una sobretensión en él. Esta joroba de pivote en el punto "E" debe ocurrir cerca del final de la pendiente hacia abajo, y no después. Si se produce después de que la pendiente ha terminado y la tensión se ha estabilizado, es debido a que el núcleo magnético del inyector está ligeramente pegado, lo que indicaría un inyector defectuoso. Si se observa más de una joroba, se debe a una distorsión de la aguja o su asiento. Esta condición defectuosa del inyector se conoce como "flotación de la válvula obturadora".

2.1.5.2 Interpretación de la forma de onda de un inyector controlado por corriente. La figura 13 muestra el espectro o la curva característica de un inyector controlado por corriente, con un pin conectado a positivo y el otro conectado y desconectado a tierra.

Figura 13. Curva característica de un inyector controlado por amperaje



Fuente: www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf

Los puntos A, B y C tienen exactamente la misma interpretación que la del espectro de un sistema controlado por voltaje.

Justo después del punto "C", nótese que el espectro inicia una curva ascendente. Este aumento ligeramente inductivo es creado por el efecto de la regulación o retracción del voltaje y es normal. Es porque la baja resistencia del circuito permite una rápida acumulación del campo magnético, que a su vez es creado el efecto de la retracción de voltaje.

El punto "D" es el inicio de la limitación de corriente, también es conocido como "tiempo de retención". Antes de este punto, el transistor ha permitido el flujo de corriente para abrir el inyector. Al tiempo que el punto "D" se produce, el núcleo central del inyector ha sido desplazado por lo que se ha abierto el inyector. El sistema logra esto permitiendo el paso de sólo unos pocos voltios a través del sistema para mantener el mínimo de corriente requerido para conservar el inyector abierto.

En el punto "E", el espectro nos muestra que está tan sólo unos pocos voltios por debajo del voltaje del sistema y el inyector está en la limitación de corriente. Esta línea podría mantenerse plana y estable como se muestra aquí, o puede ciclar de arriba hacia abajo rápidamente. Ambos son métodos normales para limitar el flujo de corriente y cualquier distorsión puede indicar devanados en cortocircuito.

Punto "F" es el verdadero punto de desvío del transistor. La parte superior del punto "F" (el segundo impulso inductivo) es en donde se crea el campo magnético causado por el colapso del final de apagado del transistor. Este aumento debe ser como el pico en la parte superior de la letra "D". Punto "G", muestra una pequeña joroba. Esto se produce por la acción mecánica de cierre de la válvula obturadora del inyector. Si se observa más de una joroba, se debe a una distorsión de la aguja o su asiento. Esta condición defectuosa del inyector se conoce como "flotación de la válvula obturadora". Todo esto igual al espectro del inyector controlado por voltaje.

2.1.6 Mantenimiento. Los problemas empiezan a surgir cuando las partículas, químicos y barnices contenidos en la gasolina, se acumulan en el interior del inyector; en el microfiltro, en la válvula obturadora y en su asiento o en los orificios de salida. Dichos sedimentos se cristalizan, como consecuencia de las diferencias de temperaturas a las que está sometido el motor.

Figura 14. Atomización correcta e incorrecta de combustible

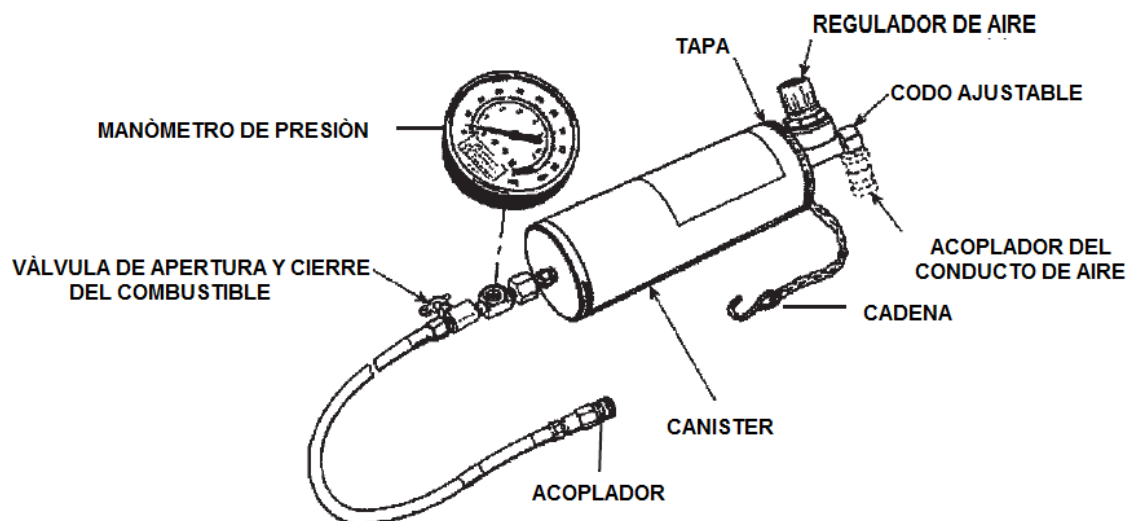


Fuente: <http://herediacity.olx.co.cr/limpieza-de-inyectores-gasolina-a-domicilio-costa-rica-iid-431228111>

Esta acumulación de depósitos puede cambiar drásticamente el funcionamiento de los inyectores y por lo tanto el buen funcionamiento del vehículo. Técnicamente se ha demostrado que una acumulación de partículas en el interior del inyector de sólo un par de micrones, puede reducir el caudal hasta en un 25%, es decir, cualquier partícula en el interior del inyector puede afectar el caudal de combustible, cambiar la correcta atomización, provocando emisiones de escape innecesarias, un mayor consumo de combustible y un funcionamiento inadecuado del motor. Por estas razones es necesario que se le dé el mantenimiento a los inyectores. Existen dos métodos para limpiar o dar mantenimiento a los inyectores: limpieza sin retirar los inyectores de su lugar y retirándolos respectivamente. El método de limpieza sin retirar los inyectores consiste en hacer funcionar a los mismos en su lugar de trabajo y hacer circular por ellos un líquido limpiador mientras funciona el motor. En muchas ocasiones las personas agregan estos líquidos limpiadores directamente en el tanque del combustible. El método de mantenimiento retirando los inyectores, a más de darle una limpieza a los inyectores, se les efectúan pruebas que nos indican si estos están funcionando de manera correcta o incorrecta.

2.1.6.1 Mantenimiento de inyectores por canister. La limpieza de los inyectores sin retirarlos de su lugar de trabajo tiene una manera correcta de hacerse y es a través del sistema de limpieza por canister. Este equipo contiene los siguientes elementos:

Figura 15. Constitución del canister



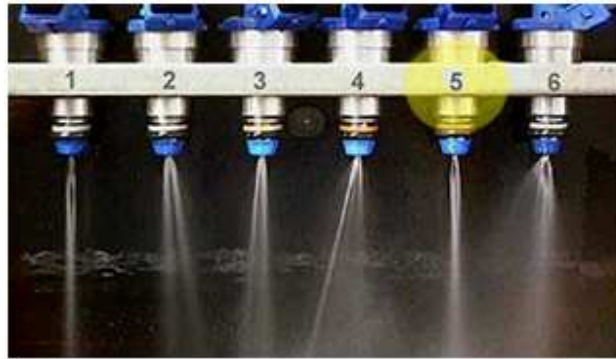
<http://images.harborfreight.com/manuals/95000-95999/95834.pdf>

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a. Encender el motor hasta que alcance su temperatura normal de funcionamiento y luego apagarlo.
- b. Desactivar la bomba de combustible del vehículo. En muchas ocasiones solo es necesario desconectar el relé de la bomba de combustible.
- c. Cerrar completamente la válvula de apertura y cierre del paso del líquido limpiador.
- d. Retirar la tapa del cilindro y llenar el recipiente con un líquido limpiador de sistemas de inyección de combustible aprobado. Colocar la tapa del cilindro sin olvidar su respectivo empaque.
- e. Usar la cadena del equipo para colgarlo desde el capó del vehículo.
- f. Consultar el manual de servicio del vehículo para determinar las especificaciones de operación de presión de combustible.
- g. Bloquear la línea de retorno de combustible del riel de inyectores para evitar que ingrese el líquido limpiador al tanque de combustible.
- h. Abrir completamente el regulador de aire.
- i. Conectar una manguera de aire en el codo ajustable y encender el compresor. Regular su presión a no más de 100 psi.
- j. Ajustar el regulador de aire con las especificaciones de presión del sistema de combustible del fabricante del vehículo.
- k. Abrir la válvula de apertura y cierre del paso de combustible limpiador.
- l. Encender el motor del vehículo, y dejar correr entre 1.000 y 1.500 revoluciones por minuto.
- m. Dejar funcionar el motor del vehículo hasta que se apague, esto es porque el combustible limpiador se agota.
- n. Colocar la llave del interruptor del vehículo en OFF, esto es necesario que para cuando se conecte la bomba, esta no funcione.
- o. Cerrar la válvula de apertura y cierre del paso de combustible limpiador del equipo.
- p. Apague el compresor de aire y desconecte la manguera del codo ajustable.
- q. Para liberar la presión en el canister, abrir completamente el regulador de aire.
- r. Remover el acoplador del riel de combustible y retirar el equipo limpiador.
- s. Retirar el bloqueo del retorno de combustible y conectar la manguera destinada para este fin.
- t. Habilitar la bomba de combustible.
- u. Encender el motor del vehículo y verificar que no hayan fugas de combustible.

2.1.6.2 Mantenimiento de inyectores en un banco de pruebas y limpieza por ultrasonido. Dentro del vehículo es imposible observar el funcionamiento de los inyectores, por tal motivo es necesario desmontarlos y ponerlos en un banco de pruebas.

Figura 16. Patrones correctos de atomización



Fuente: www.tallercalderon.com/blog/estos-pueden-ser-sus-inyectores/

Los inyectores de la figura 16 nos muestran un ejemplo de una incorrecta atomización del combustible, excepto el quinto inyector. Esto es solo posible observarlo en un banco de pruebas. Aunque el vehículo con estos inyectores funciona regularmente bien, en realidad la marcha en mínimo resulta alterada, la distribución del combustible entre los cilindros no es homogénea y la mala atomización crea depósitos de carbón en los pistones y en las válvulas con el consecuente deterioro de los mismos.

No hay que olvidar que los inyectores son en parte mecánicos, y es precisamente la parte mecánica la que es afectada por los depósitos antes mencionados. Por tal razón, los inyectores deben ser desmontados del vehículo, para ser analizados cuidadosamente en cuanto a la existencia de fugas, atomización y flujo de alimentación de combustible con un amplio programa de simulación. A continuación se expone el objetivo de las pruebas para los inyectores.

Prueba de Fugas: Consiste en observar si hay fugas o no por la punta o cuerpo de ensamblaje del inyector.

Prueba de atomizado: Consiste en observar la calidad del atomizado y el ángulo de inyección, el cual no debe ser superior a treinta grados.

Prueba de Flujo de combustible: Consiste en medir la cantidad de combustible que suministran los inyectores al motor, pudiéndose comprobar la deficiencia o exceso de entrega de combustible en cada uno.

Limpieza de los inyectores por ultrasonido: Es la única manera de eliminar las partículas y así garantizar que los inyectores queden realmente limpios y retornen a su condición original de funcionamiento. El proceso de limpieza por ultrasonido destruye en solo 10 minutos, todas las partículas y agentes contaminantes cristalizados que se encuentran en el interior del inyector, los cuales impiden el correcto flujo de combustible a través de estos, devolviéndolos a sus condiciones normales de funcionamiento.

Figura 17. Limpieza ultrasónica de inyectores



Fuente: <http://providencia.olx.cl/limpieza-de-inyectores-con-ultrasonido-a-domicilio-iid-431713999>

2.1.6.3 Diferencias entre el mantenimiento por canister y por medio de un banco de pruebas y limpieza por ultrasonidos. La utilización de ambos mantenimientos es ampliamente aceptado no solamente en nuestro medio si no dentro del mundo automotriz en general, sin embargo es necesario resaltar las diferencias entre estos métodos para conocer cuál de ellos es el mejor y porqué razones lo es.

El método de mantenimiento por canister.

- No se retiran los inyectores de su lugar.
- Se usa un líquido limpiador inflamable.

- Se combustiona el líquido limpiador enviando gases tóxicos a la atmósfera.
- No se puede observar la inyección del inyector.
- No se prueba el funcionamiento los inyectores.
- Menor limpieza en los inyectores que el método por ultrasonidos.
- Permite limpiar internamente al sistema.
- Riesgo de daño a los sensores de oxígeno y los convertidores catalíticos debido a la mayor concentración de químicos perjudiciales en el líquido limpiador.
- Puede desalojar a menudo partículas que son parte del riel de inyectores y con esto tapar el inyector.
- Mantenimiento más económico.

El método de mantenimiento en un banco de pruebas y limpieza por ultrasonido.

- Se retiran los inyectores de su lugar.
- Se usa un líquido limpiador no inflamable.
- A la atmósfera no se envían gases productos de una combustión, ya que no se combustiona el líquido limpiador.
- Se puede observar la inyección del inyector al momento de las pruebas.
- Se introducen los inyectores en una tina de ultrasonidos que limpia efectivamente los depósitos o taponamientos en el inyector.
- Se somete los inyectores a un generador de pulsos que se asemejen a los que envía la unidad de control del motor tanto en las pruebas como en la limpieza ultrasónica.
- Permite probar el funcionamiento de los inyectores (estanqueidad, atomización y flujo de inyección) antes y después de la limpieza ultrasónica.
- Las pruebas se realizan para una comprobación precisa de tolerancias de inyección de combustible que proporciona el fabricante de inyectores como máximo de un 10% de diferencia entre cada inyector.
- Mantenimiento relativamente más costoso.

Como se puede notar en las características de cada mantenimiento, hay considerables diferencias entre ambos métodos, las cuales sugieren que el mejor mantenimiento entre los sistemas comparados es el mantenimiento en un banco de pruebas y limpieza de inyectores por ultrasonido

2.1.6.4 Consecuencias de un mal trabajo de mantenimiento. Luego de un servicio de limpieza de inyectores en un taller, hay una forma de comprobar que el trabajo se ha hecho mal. Los síntomas más comunes son: demasiado consumo de gasolina o un inyector que quede abierto. En el último caso el cilindro se llena de gasolina y puede trancar el motor al momento de la ignición, por lo que corre el riesgo de tapar el pistón o comprimirlo. Con esta situación, una chispa puede generar una explosión, que a su vez causa grietas en el bloque de cilindros, las válvulas y las tapas de compresión.

Un buen trabajo se prueba antes y después de limpiar los inyectores. Otra cosa a tener en cuenta es que algunos productos de limpieza, entre ellos los aditivos que se agregan en el tanque de combustible de los automóviles y ciertos solventes usados en el canister pueden eventualmente dañar el catalizador del vehículo.

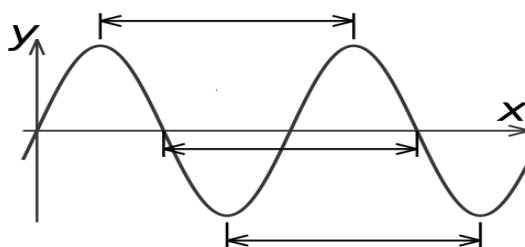
2.2 El sonido

Hemos visto que la limpieza de inyectores por ultrasonido es la más efectiva, por lo tanto es menester estudiar el ultrasonido y su comportamiento. Para ello debemos comenzar con una breve introducción sobre la física del sonido. El sonido es un conjunto de vibraciones múltiples que pueden estimular el oído humano. Estas vibraciones provienen desde un punto o foco, el cual produce un cambio de presión en el medio. Estas vibraciones producen que las partículas del medio reaccionen unas con otras, propagándose las perturbaciones de presión en todas direcciones en forma de ondas. Dicho de otra manera, el sonido es una onda y una onda es una perturbación que se propaga en un medio. Cabe resaltar que en una onda se propaga energía, no materia. El sonido se transmite a través de medios materiales, sólidos, líquidos o gaseosos pero nunca a través del vacío, se produce cuando un cuerpo vibra con una frecuencia comprendida entre 20 y 20000 Hz y existe un medio material en el que pueda propagarse.

2.2.1 Parámetros físicos del sonido. El sonido posee ciertos parámetros que le dan su naturaleza particular. El comprenderlos nos dará un acertado criterio para poder “manipularlos” de mejor manera.

Longitud de onda.- Indica el tamaño de una onda. Es la distancia entre el principio y el final de una onda completa (ciclo). Si la velocidad de propagación es constante, la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia.

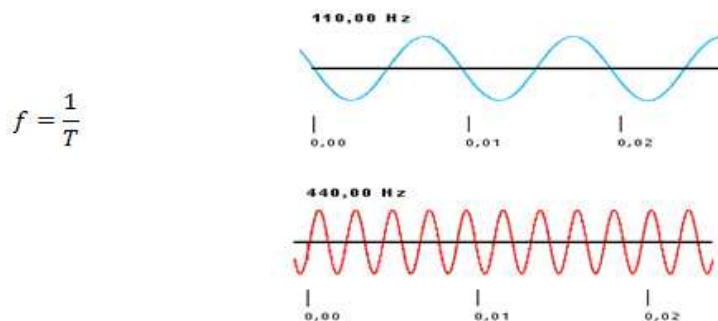
Figura 18. Longitud de onda



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_de_onda

Frecuencia.- Número de ciclos que se producen por unidad de tiempo. Según el Sistema Internacional, la frecuencia (f) se mide en hercios (Hz). Otras unidades para indicar la frecuencia son revoluciones por minuto (rpm). La frecuencia está íntimamente relacionada con el periodo (T).

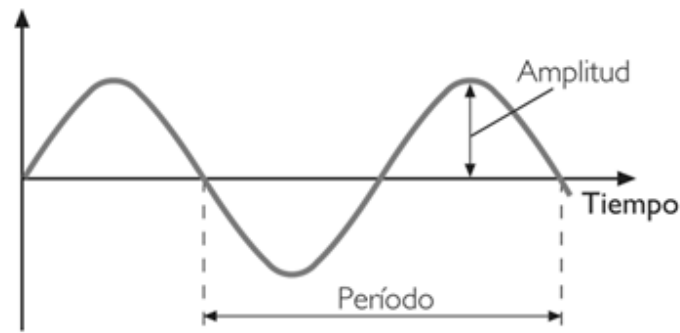
Figura 19. Frecuencia de una señal



Fuente: <http://campusvirtual.unex.es/cala/cala/mod/glossary/print.php?id=6541&mode=&hook=ALL&sortkey=&sortorder=&offset=40>

Periodo.- Es el tiempo necesario para que se vuelva a repetir un ciclo y se mide en segundos.

Figura 20. Periodo y amplitud de una señal sinusoidal



Fuente: <http://www.rcubero.es/acustica/Acustica%20Musical.htm>

Amplitud.- Indica la cantidad de energía que contiene una señal sonora.

Duración.- Es el tiempo transcurrido entre el comienzo y el final del sonido. Es un parámetro que aunque importante, no requiere de mayor análisis.

2.2.2 Características o cualidades del sonido. El sonido posee tres cualidades fundamentales, estas son: el tono, la intensidad y el timbre.

Tono.- Viene determinado por la frecuencia de las ondas sonoras y es lo que nos permite distinguir entre sonidos graves, agudos o medios.

La intensidad.- Es la cantidad de energía acústica que contiene un sonido. Está relacionada con la amplitud.

El timbre.- Esta cualidad es la que permite distinguir dos sonidos, por ejemplo, entre la misma nota con igual intensidad producida por dos instrumentos musicales distintos.

2.2.3 Velocidad de propagación del sonido. La velocidad de propagación de la onda sonora o velocidad del sonido depende de las características del medio en el que se transmite dicha propagación tales como: presión, temperatura, densidad, humedad, entre otros. [4]

Tabla 1. Velocidad del sonido en algunos medios

| ESTADO | MEDIO | VELOCIDAD (m/s) |
|---------|-----------------------|-----------------|
| Gaseoso | Aire (a 20 °C) | 340 |
| | Hidrógeno (a 0 °C) | 1286 |
| | Oxígeno (a 0 °C) | 317 |
| | Helio (a 0 °C) | 972 |
| Líquido | Agua (a 25 °C) | 1493 |
| | Agua de mar (a 25 °C) | 1533 |
| Sólido | Aluminio | 5100 |
| | Cobre | 3560 |
| | Hierro | 5130 |
| | Plomo | 1322 |
| | Caucho | 54 |

Fuente: <http://www.naturaleza-asombrosa.info/2010/11/la-asombrosa-velocidad-del-sonido-en.html>

En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos mayores que en los gases. El sonido se propaga en el aire a una velocidad de 340 m/s a temperatura normal (aproximadamente a 20°C). En el agua, un valor típico de velocidad del sonido son 1500 m/s, en este medio la densidad varía mucho en función de factores como la profundidad, la temperatura o la salinidad. En materiales metálicos, el sonido se propaga a velocidades superiores a las anteriores.

2.2.4 Fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido. Las ondas sonoras en su camino de propagación encuentran a su paso obstáculos y la interacción con ellos generan fenómenos físicos, estos son: absorción, reflexión, refracción, difracción o dispersión y difusión.

Absorción.- Cuando una onda sonora alcanza una superficie, la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio.

Reflexión.- Una onda cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar ni rodear se refleja, por lo general rebota al medio del cual proviene.

Refracción.- Es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente.

Difracción o dispersión.- Hablamos de difracción cuando el sonido, ante determinados obstáculos o aperturas, en lugar de seguir la propagación en la dirección normal, se dispersa.

Difusión. Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no sólo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas.

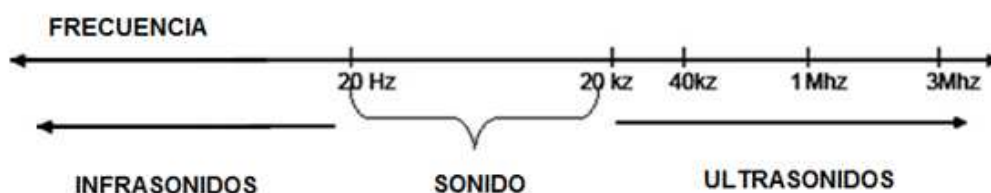
Reverberación y Eco.- Consiste en la prolongación que sufre un sonido después de que el manantial sonoro ha dejado de emitirlo. Si después de la extinción de la fuente se perciben uno o más sonidos parecidos al enviado pero separados en el tiempo, en ese caso no existe reverberación, sino eco.

Potencia.- La potencia acústica es la cantidad de energía radiada en forma de ondas por unidad de tiempo por una fuente determinada. La potencia acústica depende de la amplitud.

2.3 Ultrasonido

El ultrasonido es una onda sonora cuya frecuencia supera el límite perceptible por el oído humano, es decir las ondas no pueden ser escuchadas porque la frecuencia se ubica sobre los 20.000 Hz.

Figura 21. Frecuencia de infrasonidos, sonidos y ultrasonidos



Fuente: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/ultrasonido.php>

Como los ultrasonidos también son ondas, tienen las mismas características físicas del sonido que las antes expuestas, es decir: frecuencia, amplitud, periodo y longitud de onda. La única diferencia es la frecuencia, que como se expuso anteriormente, esta es mayor.

2.3.1 Aplicaciones del ultrasonido. Entre las aplicaciones más importantes de los ultrasonidos se citan: los dispositivos de sonar, los detectores de grietas en los materiales metálicos o ensayos no destructivos que se basan en el hecho de que las grietas reflejan parcialmente la energía ultrasonora incidente; las “líneas de retardo” ultrasónicas utilizadas en las calculadoras electrónicas, que se basan en el hecho de que la propagación de los ultrasonidos en los sólidos es de entre cien y mil metros por segundo, por lo tanto inferior a la velocidad de las ondas electromagnéticas (3×10^8 m/s).

También se usan en la medida de propiedades elásticas de los sólidos y de materias plásticas artificiales como los altos polímeros; en el trabajo mecánico de materiales extremadamente duros, donde el utensilio se sustituye por una cabeza radiante ultrasónica con una pasta abrasiva intermedia; la producción de emulsiones entre dos líquidos de densidad diferente mediante las irradiaciones de la superficie de separación; la precipitación de partículas en suspensión en un gas por efecto de la coagulación de las mismas y que se produce por la acción de una intensa radiación ultrasonora.

Además, se aplican en ciertos procedimientos metalúrgicos, como el refinado de los granos cristalinos durante el enfriamiento de las coladas fundidas, la ventilación de metales fundidos mediante irradiación por ultrasonido y la soldadura del aluminio mediante la irradiación ultrasónica de las superficies que se van a soldar, para eliminar la capa superficial de óxido. [5] Finalmente, se aplican también los ultrasonidos en bacteriología (destrucción de microorganismos) y en medicina (curación de enfermedades del oído, neuritis, periartritis, artrosis y úlceras) y en el campo automotriz para limpieza de inyectores, vástagos de válvulas IAC y algunos otros elementos.

2.3.2 Limpieza ultrasónica. La limpieza ultrasónica consiste en la utilización de los ultrasonidos para eliminar de manera efectiva la suciedad u otros elementos extraños que se adhieren a la superficie de un cuerpo tales como delgadas capas de grasa, depósitos de carbón, moho, óxido, sulfataciones, entre otros. Las frecuencias utilizadas para la gama de limpieza por ultrasonidos de 20.000 ciclos por segundo o Kilohercio (KHz) a más de 100.000

KHz. Las frecuencias más comúnmente usados para la limpieza industrial son aquellos entre 20 KHz y 50 KHz. Las frecuencias superiores a 50KHz se usan más comúnmente en limpiadores ultrasónicos pequeños de mesa tales como las que se encuentran en las tiendas de joyería y oficinas dentales.

Para efectuar la limpieza ultrasónica, es indispensable un equipo limpiador ultrasónico el cual es un módulo que utiliza los ultrasonidos y una adecuada solución de limpieza para limpiar diferentes objetos. Los ultrasonidos no son efectivos sin la solución de limpieza; éstos precisan una solución apropiada para cada objeto y la suciedad a limpiar.

En un limpiador ultrasónico, el objeto a limpiar se coloca en una cámara que contiene un líquido conductor de ultrasonidos. Un generador de ultrasonidos incorporado en la cámara, o en algunos casos sumergido en la solución limpiadora, produce ondas ultrasónicas en el fluido con una señal eléctrica oscilante a la frecuencia de ultrasonidos, el mismo que produce en el líquido millones de microscópicos "huecos" o "vacío" parcial de burbujas. Este fenómeno se denomina cavitación, del cual hablaremos más adelante.

2.3.2.1 Transductores de ultrasonidos. En forma general, un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Un transductor ultrasónico convierte la energía eléctrica en energía mecánica en forma de sonido y viceversa.

Los transductores son generalmente de material piezoeléctrico (titanato de plomo o titanato de bario) y a veces, magnetostrictivos (hechos de un material como el níquel o la ferrita). Generalmente se utilizan transductores del tipo piezoeléctrico por cuanto es posible desarrollar transductores con frecuencias mucho más elevadas que otros tipos, superando los 22KHz. Los elementos de baja frecuencia suelen ser más gruesos, y los elementos de altas frecuencias más delgados.

Los transductores que usamos para enviar o recibir señales ultrasónicas a través de sólidos o líquidos pueden operar en cualquier dirección si es requerido, pero para señales ultrasónicas enviadas a través del aire u otros gases, los transductores son usados con diafragmas y en envolturas que pueden hacer la utilización más especializada. Los transductores de ultrasonidos importantes son todos piezoeléctricos o magnetostrictivos, porque estos tipos de transductores hacen uso de la vibración en la masa del material.

La magnetoestricción es el cambio de dimensiones de un material magnético cuando es magnetizado y desmagnetizado. Un transductor magnetoestrictivo consiste en un núcleo de metal magnetoestrictivo en el cual hay una bobina. La onda eléctrica es aplicada a la bobina, cuya inductancia es medianamente alta, así el uso de este sistema está restringido a frecuencias ultrasónicas bajas.

La principal aplicación de los transductores magnetoestrictivos ha sido en la limpieza ultrasónica. Los transductores piezoeléctricos tienen un rango de aplicación más amplio, aunque la energía que generan no se aproxima a la de una unidad magnetoestrictiva. Los cristales transductores están cortados de tal manera que producen la máxima vibración o sensibilidad en una dirección dada. Los cristales están metalizados en caras opuestas para conseguir contactos eléctricos, y pueden ser usados como transmisores o receptores de ondas de ultrasonidos. Los niveles de impedancia son altos, y los niveles de señal serán milivoltios cuando son usados como receptores y unos pocos voltios cuando son usados como transmisores. Aunque los transductores piezoeléctricos se usan como limpiadores ultrasónicos, sus principales aplicaciones son en dispositivos de seguridad y procesado de señales.

Figura 22. Transductor ultrasónico

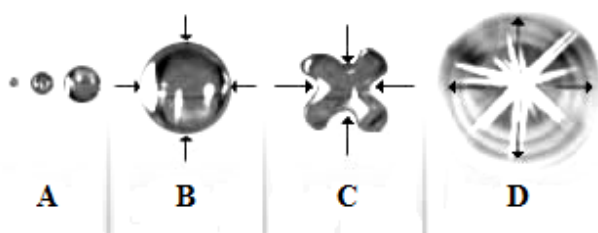


Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/ultrasonic-transducers-for-cleaning-376296312.html>

2.3.2.2 Cavitación ultrasónica. Es el fenómeno mediante el cual es posible comprender el principio del lavado por ultrasonido. En un medio líquido, las señales de alta frecuencia producidas por un oscilador electrónico y enviadas a un transductor especialmente colocado en la base de una batea de acero inoxidable que contiene dicho líquido, generan ondas de compresión y depresión a una altísima velocidad. Esta velocidad depende de la frecuencia de trabajo del generador de ultrasonido. Las ondas de compresión y depresión en el líquido originan la cavitación ultrasónica.

Los líquidos se caracterizan por el hecho que sus partículas tienen una posibilidad de movimiento mucho mayor que en los sólidos, pero están sujetas a fuerzas de atracción muy superiores a aquellas existentes en los gases. En particular el agua es un líquido molecular, evapora a todas las temperaturas pero hierve a una temperatura bien definida. Ahora bien, ¿qué sucede cuando exponemos una cierta cantidad de agua a temperatura ambiente a un intenso campo ultrasónico?

Figura 23. Fases de la cavitación ultrasónica



Fuente: <http://inyectoresporultrasonido.blogspot.com/2010/01/como-funciona-el-lavado-por-ultrasonido.html>

Durante la fase de depresión (figura 23 Fase A) se crean en el seno del líquido una infinidad de burbujas de gas que se agrandan mientras dura la fase de depresión acústica. Esta formación de burbujas microscópicas de gas es el inicio de la cavitación, es decir la formación de cavidades gaseosas en el interior del líquido. Durante la segunda fase de compresión ultrasónica (figura 23 Fase B), la enorme presión ejercida sobre las burbujas recién expandidas, comprime a las mismas aumentando enormemente la temperatura del gas en ellas contenido (figura 23 Fase C) hasta que las burbujas colapsan implotando con la consiguiente expulsión de una enorme cantidad de energía (figura 23 Fase D). La energía

provocada por la implosión de las burbujas de gas, golpean la superficie del objeto a limpiar interactuando tanto físicamente como químicamente. Físicamente tendremos un fenómeno de microbarrido (limpieza de los más intrincados detalles) a una altísima frecuencia (cerca de 40.000 veces por segundo en una máquina que funciona a 40 KHz.) y químicamente con el efecto detergente de la sustancia química presente en el líquido limpiador.

2.3.2.3 Frecuencias de trabajo. Otros parámetros importantes para obtener buenos niveles de cavitación en un líquido son la frecuencia del generador ultrasónico y el transductor utilizado. La frecuencia del generador ultrasónico es importante porque determina el tamaño del punto de cavitación en el interior del líquido. A mayor frecuencia del generador, menor es el tamaño del punto de cavitación generado, mientras que a menor frecuencia, mayor es el tamaño de los puntos de cavitación.

Está claro que un punto más grande requerirá de una energía mayor para implotar y en consecuencia entregará también una mayor energía, mientras que un punto de cavitación más pequeño necesita menos energía para implotar y también menor será la energía que va a entregar. Sin embargo, la alta frecuencia permite generar en una misma unidad de tiempo muchos puntos de cavitación, permitiendo una mejor homogeneidad de cavitación por unidad de superficie.

Para disponer de un ejemplo práctico, podemos asemejar la cavitación de alta frecuencia con un papel de lija de grano muy fino mientras que la baja frecuencia la semejamos a un papel de lija de grano muy grueso. El fin del papel es el de lijar, pero es evidente que se pueden obtener resultados muy diferentes según se utilice un tipo de grano grueso o uno de grano fino.

Figura 24. Influencia de la frecuencia ultrasónica en el líquido de limpieza



Fuente: www.testlab.com.ar/introlavado.php

2.3.2.3 Solución limpiadora. La suciedad se adhiere a las superficies, de lo contrario se cae. La solución limpiadora debe ser apta para retirar la suciedad sin ultrasonidos, ya que la verdadera actividad de ultrasonidos es ayudar a la solución a hacer su trabajo, el agua normalmente no es eficaz. La solución de limpieza contiene ingredientes diseñados para hacer la limpieza por ultrasonidos más eficaz, estas contienen detergentes, agentes humectantes y otros componentes, y tienen una gran influencia en el proceso de limpieza. La correcta composición de la solución es muy dependiente del objeto a limpiar. La solución no debe reaccionar en una forma indeseable con el objeto que se ha limpiado.

Las soluciones basadas en agua son más limitadas en su capacidad para eliminar los contaminantes químicos por acción disolvente que otras soluciones, por ejemplo, para las partes delicadas con una capa delgada de grasa. Las soluciones inflamables no deben utilizarse, ya que pueden ser peligrosas y podrían causar accidentes. Se suelen utilizar ciertos ácidos y lejías para ciertos elementos, pero sólo deben utilizarse si no reaccionan con el objeto que se está limpiando o tanque del limpiador. Una gran ventaja de las soluciones limpiadoras es que estas se deben reponer cuando se han usado notablemente.

2.3.2.4 Utilización de la limpieza ultrasónica. Los limpiadores por ultrasonidos se utilizan en la industria del automóvil, deportiva, impresión, marina, médica, farmacéutica, en galvanoplastia, en unidades de disco, componentes y en ingeniería. Los materiales adecuados para la limpieza por ultrasonidos son de acero inoxidable y acero dulce, aluminio, cobre, latón y otras aleaciones, madera, plásticos, caucho y tela. [5]

2.3.2.5 Ventajas de limpieza por ultrasonidos. Las principales ventajas de la limpieza ultrasónica se listan a continuación:

- **Calidad de limpieza.**- A través de los ultrasonidos conseguimos una limpieza de máxima calidad a nivel superficial, sin importar que las piezas tengan una difícil configuración o recovecos internos. Los sistemas de limpiezas por ultrasonidos son capaces de limpiar las piezas más complejas aunque tengan agujeros ciegos
- **Ahorro de tiempo.**- Gracias a los sistemas de limpieza por ultrasonidos es posible limpiar, desengrasar o incluso decapar superficies de todo tipo que contengan

residuos de espesores importantes. Todo ello se consigue de una forma rápida, segura y respetando el metal base.

- **Amigable con el medio ambiente.-** El consumo de líquidos detergentes para la limpieza es mínimo, y además es reutilizable en muchas ocasiones. Por medio de esta limpieza, no existe contaminación polutiva.
- **Ahorro de mano de obra.-** Esto es debido a la rapidez de la limpieza por ultrasonidos y también a que una vez que introducimos las piezas en la tina ultrasónica, no es necesaria la presencia del operario, pudiendo desarrollar otras tareas productivas.
- **Limpieza sin riesgos.-** La limpieza por ultrasonidos, debido a sus características, está considerada como un sistema de limpieza sin riesgos para la persona y el entorno del área de trabajo. El ultrasonido es completamente inocuo para los seres humanos.

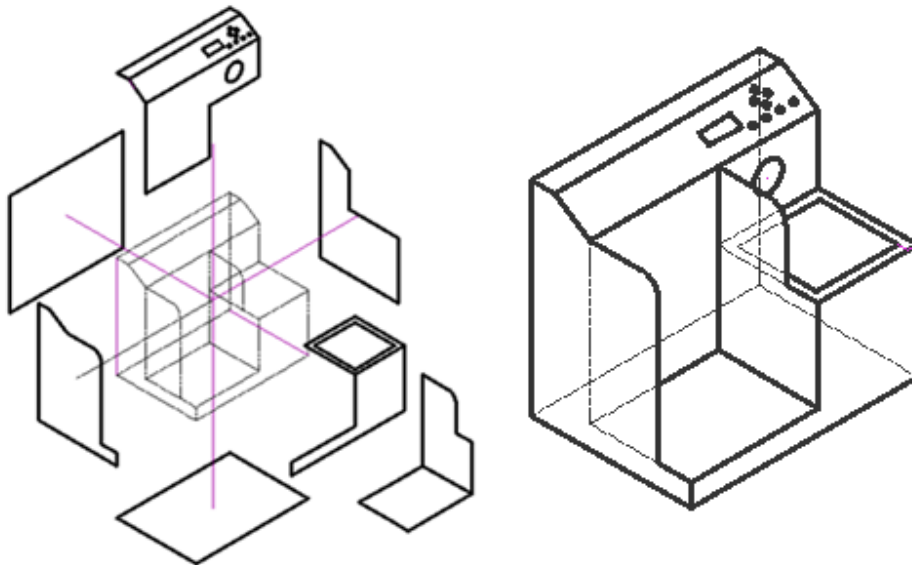
CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL BANCO ELECTRÓNICO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA

3.1 Diseño del hardware

El diseño de la parte física del banco de pruebas está constituido de tal modo que este sea lo más amigable posible con el operario, está compuesto fundamentalmente de dos partes, la estructura en sí, y el riel de inyectores con su estructura y acoples. El dibujo del diseño fue hecho en una la versión libre estudiantil de AutoCad 2013. La estructura física la componen siete elementos de diferente configuración. A continuación se muestra el despiece y los elementos ensamblados.

Figura 25. Diseño de la estructura principal



Fuente: Autor.

3.1.1 Riel de inyectores. Para el diseño del riel de inyectores tenemos que considerar la presión de trabajo para determinar el espesor mínimo que éste debe tener. Como se expuso en el fundamento teórico, la presión de trabajo de los inyectores en la mayoría de los casos es de 40 PSI, sin embargo hay algunos inyectores que trabajan a una presión mayor,

aproximadamente 55 PSI. Por esta razón se ha considerado una presión de 75 PSI para el diseño.

Para la determinar el espesor mínimo del riel de inyectores se utilizó la ecuación de Barlow [6], la cual se describe a continuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma_t} \quad (1)$$

Donde:

- e es el espesor requerido
- P es la presión interna del sistema [$\frac{Kg}{cm^2}$]
- D es el diámetro externo (mm)
- σ_t es el esfuerzo de trabajo del material a utilizar

La variable σ_t está determinada por la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = F_s \times \sigma_f \quad (2)$$

Donde:

- F_s es una constante de reducción y es de 0,6
- σ_f es el esfuerzo de fluencia del material a utilizar

Para el riel de inyectores se ha seleccionado el acero estructural A36 por su facilidad de soldabilidad y adquisición. Su límite de fluencia es 36000 PSI. Una vez obtenido los datos necesarios y haberlos convertido a las unidades que precisa la ecuación utilizada, procedemos a efectuar el cálculo comenzando por el esfuerzo de trabajo del acero.

$$\sigma_t = 0,6 \times 2549,28 \frac{Kg}{cm^2} \quad (3)$$

$$\sigma_t = 1529,28 \frac{Kg}{cm^2} \quad (4)$$

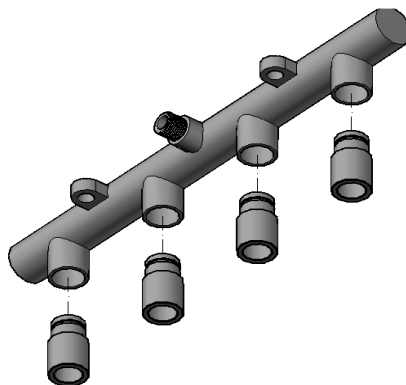
Obtenido este valor, procedemos a realizar el cálculo final para obtener el espesor que necesitamos.

$$e = \frac{5,2725 \frac{Kg}{cm^2} \times 22mm}{2 \times 1529,78 \frac{Kg}{cm^2}} \quad (5)$$

$$e = 0,038 \text{ mm} \quad (6)$$

Como se puede ver, el espesor requerido es muy pequeño ya que de igual manera, la presión de trabajo es pequeña. Si consideramos un factor de seguridad de 3, tenemos que el espesor corresponde a 0,11 mm. En el mercado no existe una tubería con paredes de este espesor, por ello se ha tomado el espesor comercial de una tubería de 2 mm y con ello, tenemos la certeza de que el riel va a funcionar sin ningún tipo de problemas. El banco de pruebas y por ende el riel de inyectores está diseñado de modo que se pueda efectuar el mantenimiento de cuatro inyectores a la vez. Esto es debido a que en nuestro medio, la mayor cantidad de vehículos funcionan con este número de inyectores; sin embargo, esto no quiere decir que no se pueda efectuar el mantenimiento de seis e incluso ocho inyectores, solo que en estos casos existe la particularidad de que el tiempo de mantenimiento es mayor. Además de la disposición para cuatro inyectores, el riel tiene su entrada para el líquido de pruebas y también dos elementos por donde ingresarán los pernos del soporte de inyectores y probetas para asegurar el riel y también, para asegurar un correcto funcionamiento del riel al pasar el líquido de pruebas hacia los inyectores, se ha diseñado cuatro ensambles de modo que estos permitan un acople rápido y seguro entre los inyectores y el riel.

Figura 26. Diseño del riel de inyectores y sus acoples



Fuente: Autor

3.1.2 Soporte del riel de inyectores y probetas. La estructura para montar asegurar el riel con los inyectores y fijar las probetas en el banco, se ha diseñado de modo que permita asegurar tanto el riel como las probetas de manera rápida y sencilla. Ahora bien, teniendo en cuenta que esta estructura debe soportar la fuerza de empuje de la presión ejercida en el riel de inyectores, se realizará un análisis de esfuerzos para determinar la sección transversal de la estructura.

Para determinar la fuerza de empuje desde el riel hacia la estructura por cada inyector, consideramos la presión de diseño del riel (75PSI) y su diámetro interno (18 mm ó 90/127 in) para el área, así tenemos:

$$F = PA \quad (7)$$

$$F = 75 \frac{lb}{in^2} * \frac{\pi \left(\frac{90}{127} in\right)^2}{4} \quad (8)$$

$$F = 29,58 lb \quad (9)$$

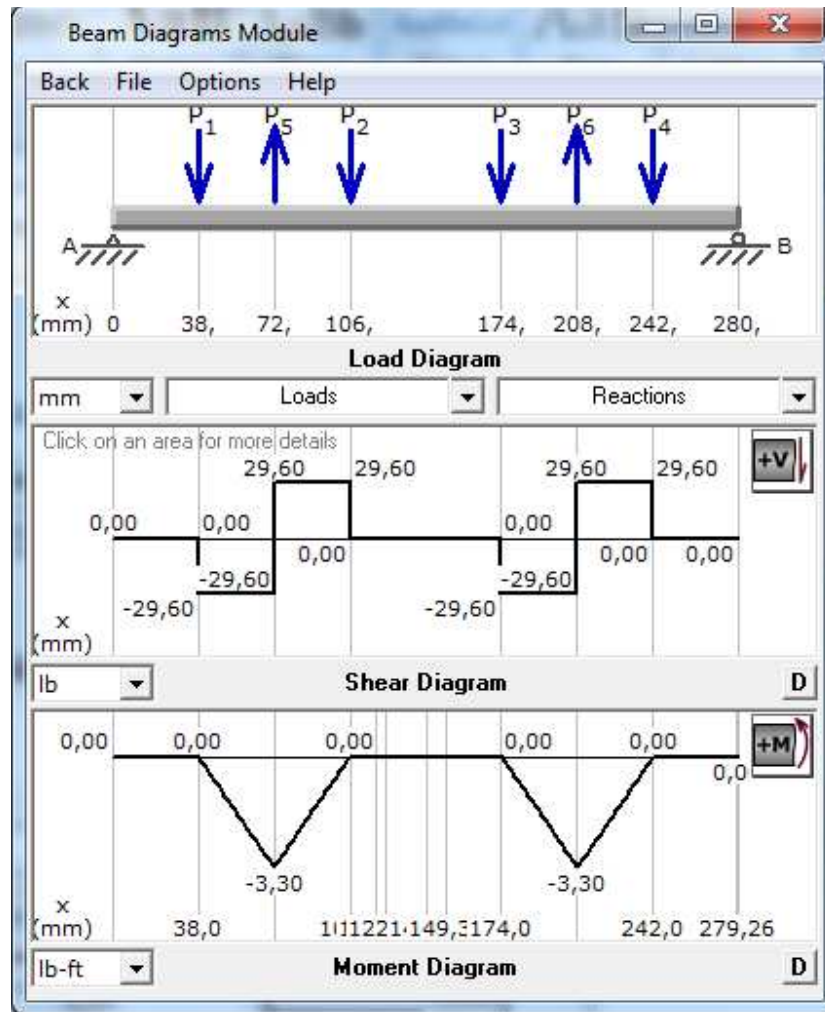
La fuerza obtenida será igual en los cuatro puntos en donde se apoyan los inyectores, con las cuales podemos realizar un análisis de esfuerzos para determinar en qué punto de la estructura el esfuerzo cortante es máximo. Para ello nos valemos del software MDSolids, el cual nos muestra el diagrama de cargas en conjunto con el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector. Ver la figura 27.

Como podemos observar, el esfuerzo cortante máximo se da en las fuerzas P5 y P6 que representan los pernos donde se sujetará el riel a la estructura. La suma de los esfuerzos en donde se concentran las fuerzas P5 y P6 nos dan el esfuerzo cortante máximo y su valor es 59,20 lb. Ahora, necesitamos el esfuerzo máximo admisible o esfuerzo de trabajo del material que se va a usar. El material a usar, es un acero de baja aleación con resistencia a la fluencia de 25000 lb/in². Así tenemos:

$$Esfuerzo Admisible = \frac{Resistencia\ a\ la\ fluencia}{Coeficiente\ de\ seguridad} \quad (10)$$

$$Esfuerzo Admisible = \frac{25000 \frac{lb}{in^2}}{3} = 8333,3 \frac{lb}{in^2} \quad (11)$$

Figura 27. Análisis de esfuerzos del soporte de inyector



Fuente: Autor

Por último tenemos

$$A = \frac{P}{\sigma} \quad (12)$$

Donde:

- A es la sección transversal mínima necesaria para soportar la fuerza P
- σ es el esfuerzo admisible.

Por lo tanto:

$$A = \frac{59,20 \text{ lb}}{8333,3 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}} \quad (13)$$

$$A = 0,007 \text{ in}^2 = 4,6 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

Del material seleccionado, existen láminas o platinas de diferentes secciones en el catálogo virtual de Adelca [7], del cual se ha seleccionado el de sección en milímetros de 3 x 30, el cual cumple hasta la saciedad el requerimiento del diseño.

Los pernos que sujetarán el riel son de acero de baja aleación de diámetro de ¼ in y 10 cm (3,94 in) de largo (L). Para verificar que estos resistan a la fuerza (F) axial sometidos, calcularemos la deformación δ de los mismos. Para ello es necesario el módulo de elasticidad (E) y calcular la sección transversal de los pernos (A):

$$\delta = \frac{FL}{AE} \quad (15)$$

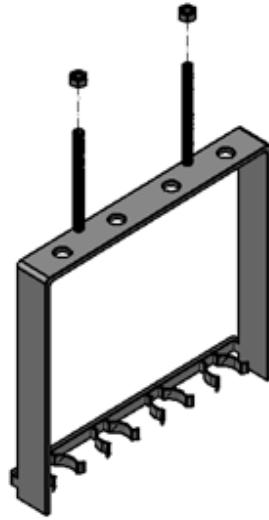
$$\delta = \frac{(59,2 \text{ lb})(3,94 \text{ in})}{\pi(125 \text{ in})^2(28400000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2})} \quad (16)$$

$$\delta = 1,67 \times 10^{-10} \text{ in} = 4,2 \times 10^{-9} \text{ mm} \quad (17)$$

Como podemos observar la deformación es casi nula, por lo tanto va muy bien en la estructura. Es necesario rescatar, que el dato de resistencia a la fluencia del material también es obtenido de acuerdo a las características del material [8] que señala el catálogo antes mencionado.

Una vez obtenido los datos necesarios para la estructura, se ha procedido al diseño gráfico, el cual se muestra en la siguiente figura. Como se puede observar, se le ha añadido una estructura inferior de modo que permita acoplar y desacoplar las probetas sin mucho esfuerzo.

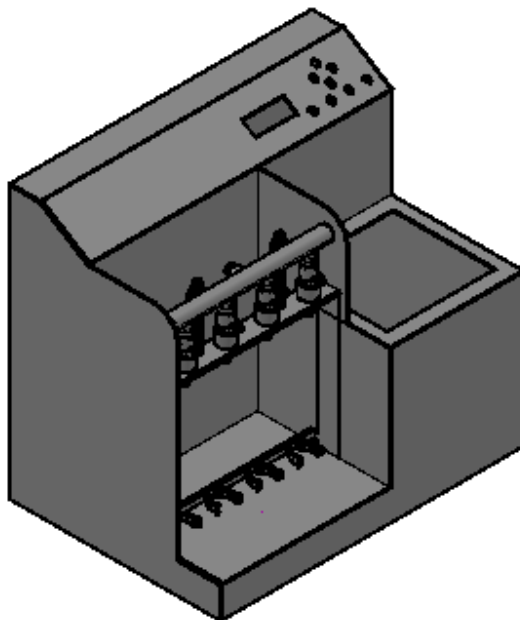
Figura 28. Diseño del soporte del riel de inyector y probetas



Fuente: Autor

Una vez ensamblado todos los elementos que constituyen el hardware del banco de pruebas, el resultado final lo muestra la figura 29.

Figura 29. Equipo ensamblado

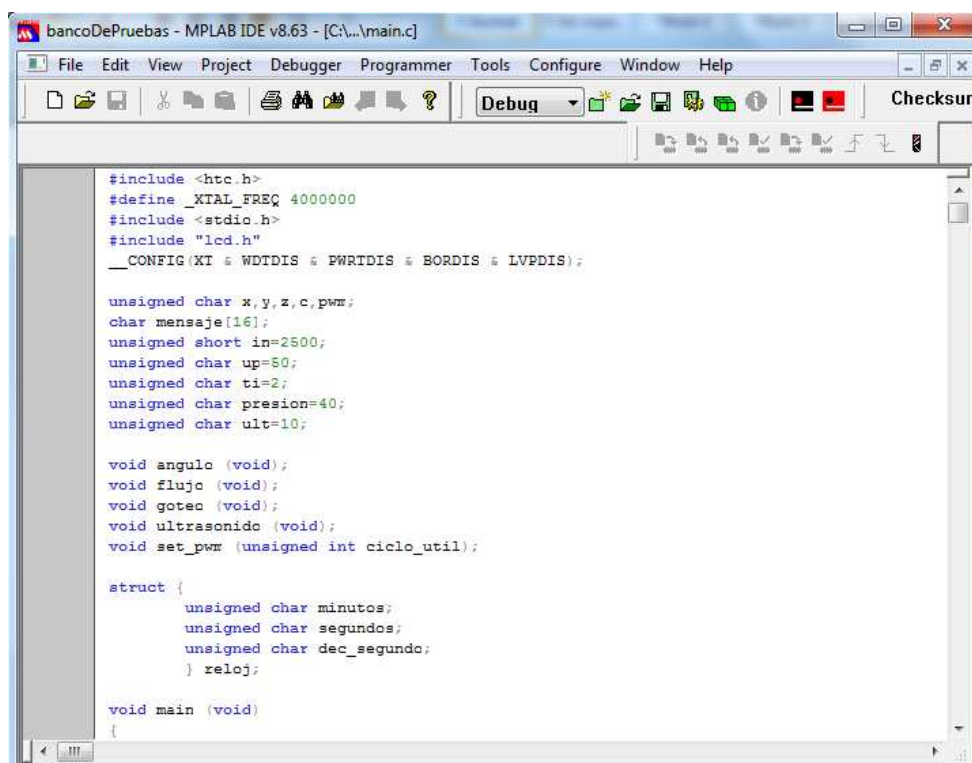


Fuente: Autor

3.2 Diseño del software

Los elementos más destacados para la constitución del software lo conforman los microcontroladores. Estos son circuitos integrados programables mediante los cuales podemos realizar el control de distintos periféricos. El lenguaje de programación seleccionado es el C de HiTech, el mismo que es uno de los lenguajes propios de la empresa que expende los microcontroladores PIC. El desarrollo de la programación se lo ha hecho en la plataforma MPLAB IDE V8.63 que se encuentra disponible de manera gratuita en la página de Microchip [9] en versiones actuales. El MPLAB IDE, a más de permitir la programación y la compilación del código fuente, nos permite depurar así como correr la programación paso a paso y además, dispone del software PICKit2 el cual nos permite pasar el programa de la computadora hacia los microcontroladores mediante el programador de PIC del mismo nombre. La selección de los diferentes dispositivos electrónicos nos permite garantizar un periodo de vida útil de al menos un año, con la condición de usar el equipo de manera segura, tal cual como lo muestra el manual del usuario.

Figura 30. Entorno de programación MPLAB IDE V8.63



```
bancoDePruebas - MPLAB IDE v8.63 - [C:\...\main.c]
File Edit View Project Debugger Programmer Tools Configure Window Help
Debug Checksum

#include <htc.h>
#define XTAL_FREQ 4000000
#include <stdio.h>
#include "lcd.h"
__CONFIG(XT & WDTDIS & FWRTDIS & BORDIS & LVPDIS);

unsigned char x,y,z,c,pwm;
char mensaje[16];
unsigned short in=2500;
unsigned char up=50;
unsigned char ti=2;
unsigned char presion=40;
unsigned char ult=10;

void angulo (void);
void Flujo (void);
void gotec (void);
void ultrasonido (void);
void set_pwm (unsigned int ciclo_util);

struct {
    unsigned char minutos;
    unsigned char segundos;
    unsigned char dec_segundo;
} reloj;

void main (void)
{
```

Fuente: Autor

El banco de pruebas contiene cuatro opciones específicas: ángulo de inyección, flujo de combustible, estanqueidad y limpieza ultrasónica. Para cada una de ellas hay un fragmento de código independientemente cuyos diagramas de flujo se muestra a continuación. El código fuente se encuentran en el anexo A y B.

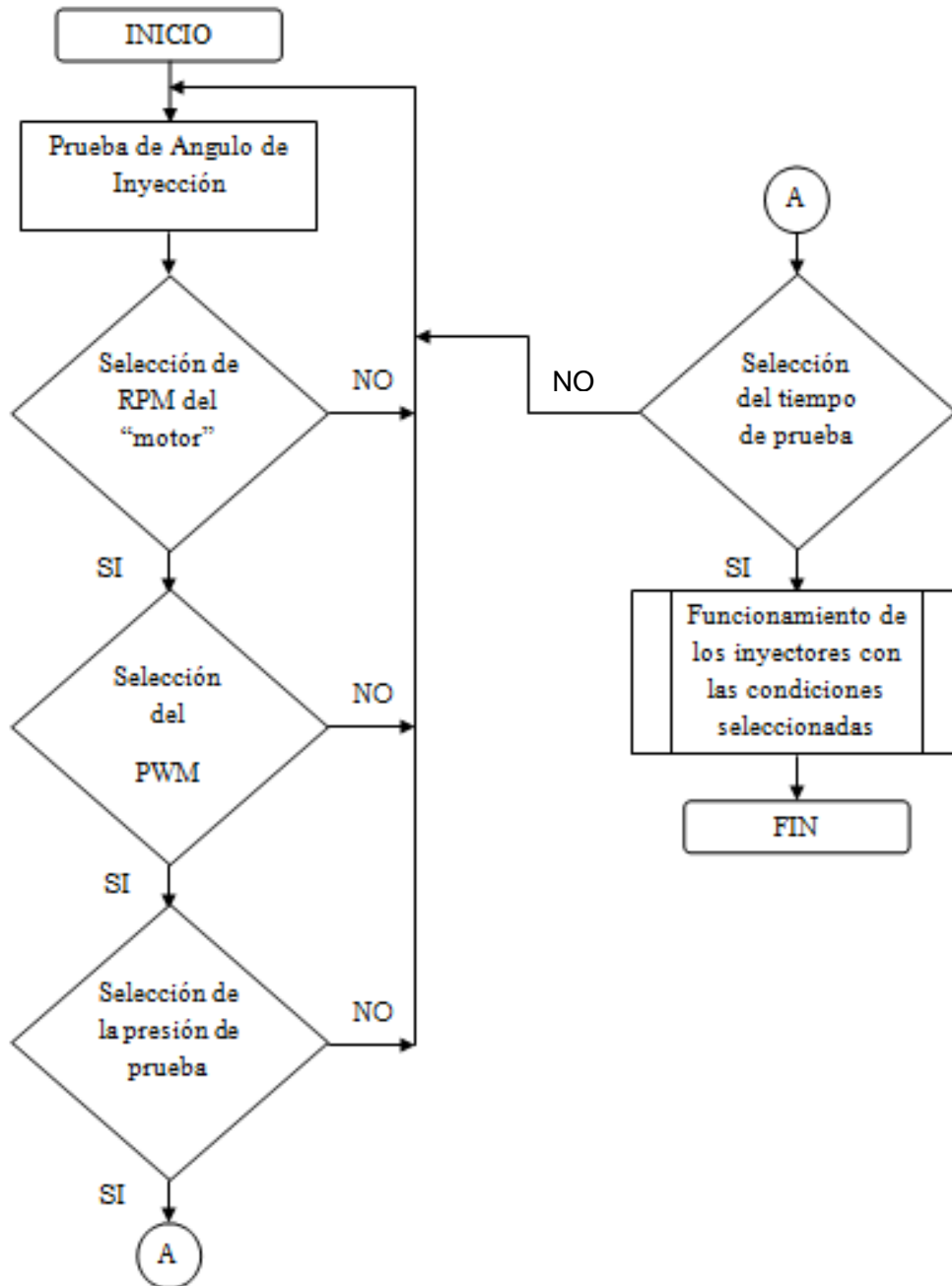
3.2.1 *Sistema para la prueba de ángulo de inyección.* La prueba de ángulo de inyección consiste en someter a los inyectores a un régimen de funcionamiento similar a su actividad dentro del motor para observar el ángulo de atomización del combustible.

Para ello nos valemos de los microcontroladores para que envíen la señal digital correspondiente hacia los inyectores teniendo en cuenta las revoluciones por minuto del motor (entre 750 – 5500), el ancho de pulso o ciclo útil (en porcentajes del periodo del 10% al 90%), la presión (que debe ser seleccionada de acuerdo a la presión de funcionamiento normal en el motor, la presión disponible oscila entre 40 y 60 PSI con paso de 5 PSI) y el tiempo de prueba (de uno a cinco minutos). Ver la figura 31.

3.2.2 *Sistema para la prueba de flujo de inyección de combustible.* Consiste en enviar una señal digital en estado lógico igual a uno durante un determinado tiempo, para medir la cantidad de combustible que los inyectores están entregando. Los inyectores en buen estado no deben tener exceder el 10% de cantidad de combustible entregado por cada inyector. Para esta prueba el microcontrolador envía esta señal durante un tiempo ya establecido el cual es igual a 15 segundos. Ver la figura 32.

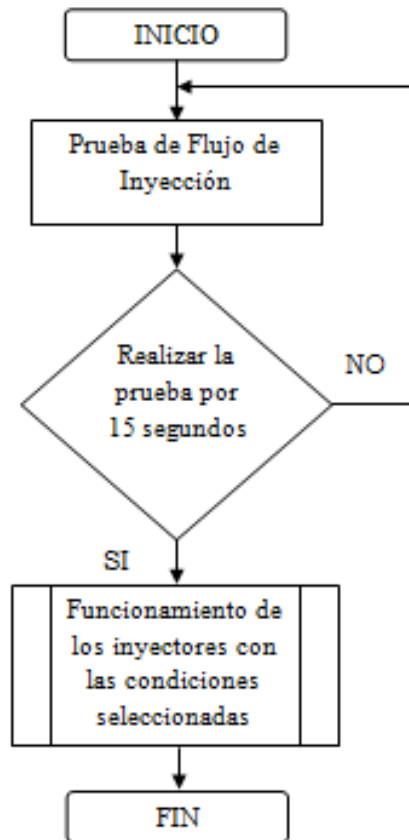
3.2.3 *Sistema para la prueba de estanqueidad de los inyectores.* Consiste en someter a los inyectores a una presión que superior en un 10% a la presión normal de funcionamiento, con la característica principal de que los inyectores no estén funcionando. Esto se hace para verificar la existencia o no de fugas de combustible. Los inyectores en buen estado no deben gotear en un minuto de prueba. Para esto, uno de los microcontroladores efectúa el control de la velocidad de la bomba de combustible con el PWM según la presión seleccionada. Para obtener una mayor presión, debemos conseguir una mayor velocidad de la bomba y esto lo conseguimos con la variación del ancho de pulso. Ver la figura 33.

Figura 31. Diagrama de flujo de la prueba de ángulo de inyección



Fuente: Autor

Figura 32. Diagrama de flujo de la prueba de flujo de inyección



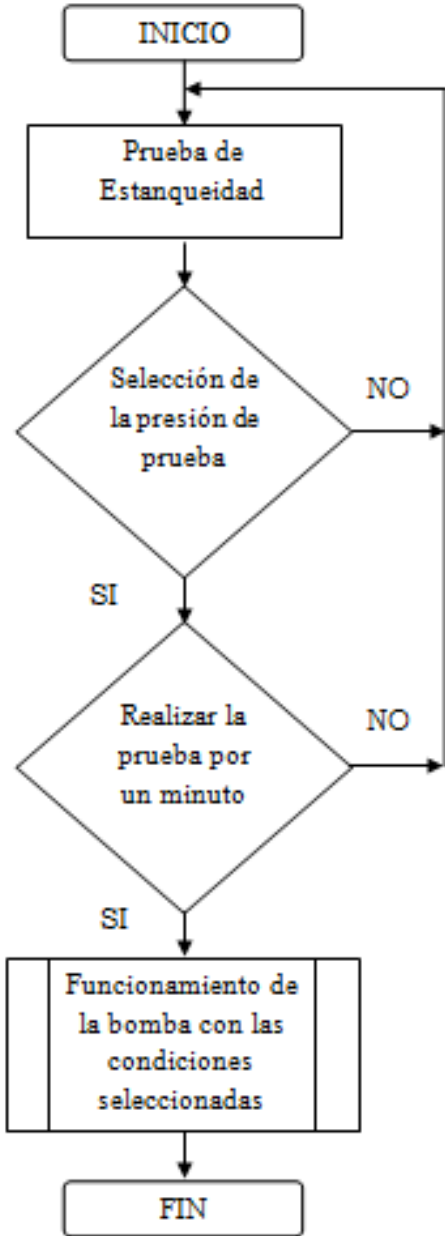
Fuente: Autor

3.2.4 *Sistema para la activación de la limpieza ultrasónica.* Los microcontroladores se encargan de activar el transductor de ultrasonido para efectuar la limpieza de los inyectores, al mismo tiempo que se envía una señal digital hacia los inyectores para hacerlos funcionar a una revolución establecida de 2500 revoluciones por minuto. Ver la figura 34.

3.2.5 *Frecuencia y PWM para la variación de la velocidad de la bomba.* El fin de tener un sistema que permita controlar la variación de la velocidad de la bomba es aumentar o disminuir la presión que va a efectuar al bombear el líquido limpiador. Para ello el microcontrolador seleccionado dispone de un módulo denominado CCP (capturador, comparador y PWM) el cual nos permite hacer las tres cosas que indica su nombre, es decir, capturar valores específicos, comparar valores específicos y por último generar una señal digital modulando su ciclo útil. Para seleccionar uno de los tres, basta configurar los registros del PIC que indica la hoja de datos (Data Sheet) del microcontrolador en modo PWM. Las

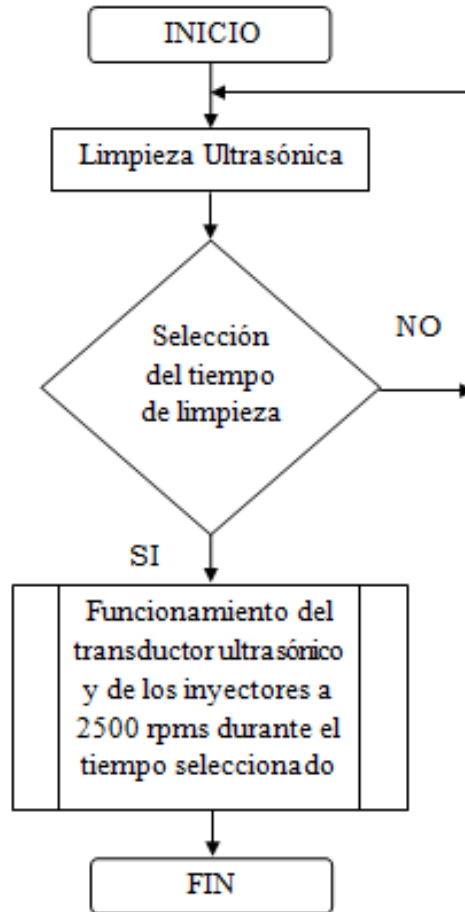
hojas de datos de los microcontroladores se encuentran en la página de la casa fabricante Microchip de manera gratuita (www.microchip.com).

Figura 33. Diagrama de flujo de la prueba de estanqueidad



Fuente: Autor

Figura 34. Diagrama de flujo de la limpieza ultrasónica



Fuente: Autor

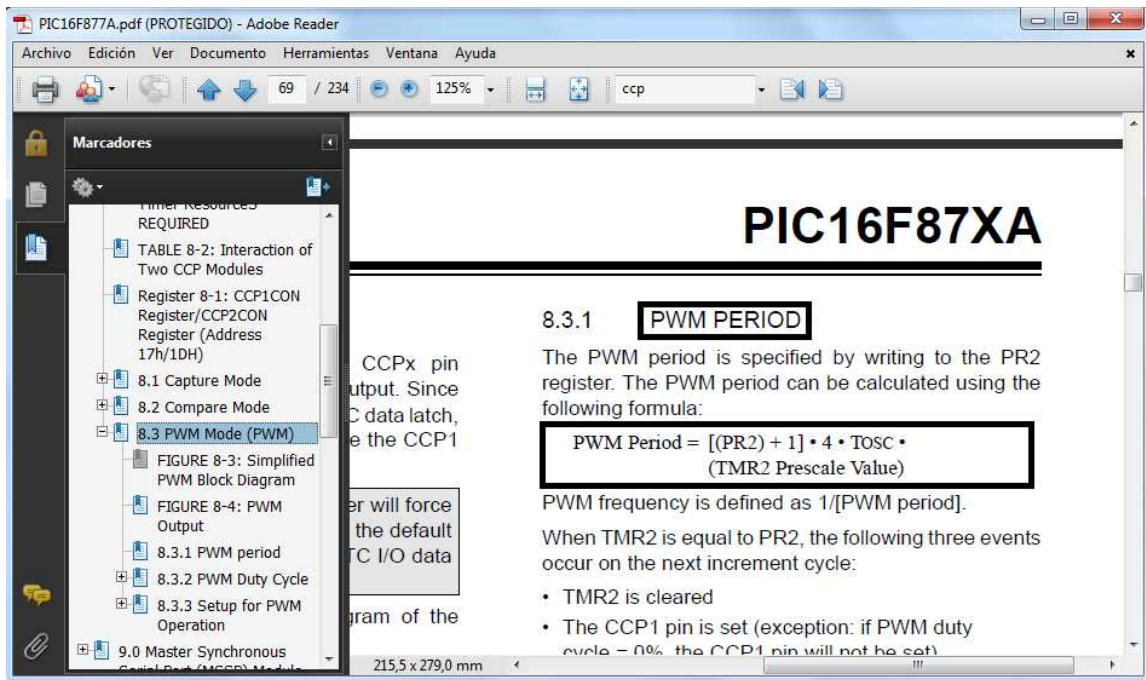
La misma hoja técnica nos presenta ciertas ecuaciones, las cuales permiten obtener el cálculo del periodo, frecuencia y ciclo útil de la señal digital. Para el cálculo del periodo y por ende de la frecuencia, nos muestra la siguiente ecuación:

$$PWM\ Period = \{(PR2) + 1\} * 4 * T_{osc} * TMR2\ Prescaler\ Value \quad (18)$$

Donde:

- **PWM Period:** es el periodo de la señal digital que obtendremos por el pin del microcontrolador destinado para este fin.

Figura 35. Fórmula del periodo del PWM del PIC 16F877A



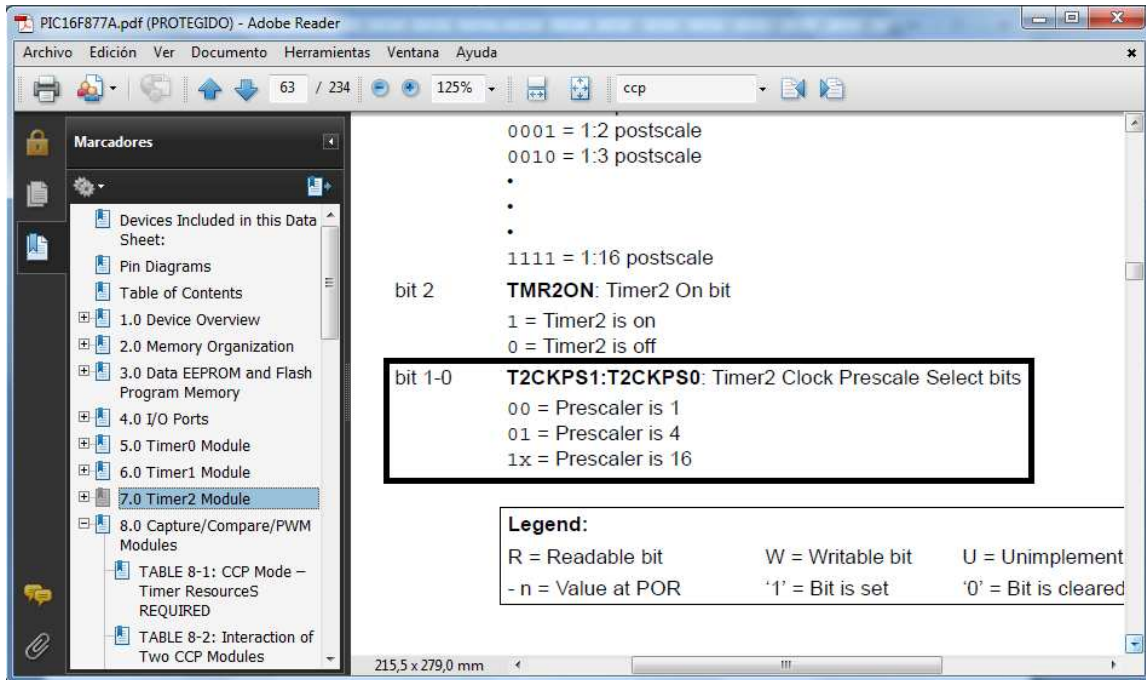
Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

- **PR2:** es el valor con el que se carga al registro PR2 de ocho bits. Al ser un registro de ocho bits, el valor máximo que admite en el sistema de numeración binario es de 11111111 (ocho unos) y en el sistema de numeración decima es 255.
- **Tosc:** es el periodo de oscilación, el cual está definido por el cristal oscilador que necesita el microcontrolador para su funcionamiento. El cristal seleccionado es de 4MHz.
- **TMR2 Prescaler Value:** es el valor que permite aumentar o disminuir la frecuencia de oscilación y admite tres valores: uno, cuatro o dieciséis y se ha utilizado este último. Este valor se lo configura en los dos últimos bits del registro T2CON que es el registro que gobierna el módulo TMR2.

Teniendo en cuenta que la frecuencia es el inverso del periodo e inversa, entonces:

$$\frac{1}{F_{pwm}} = \{(PR2) + 1\} * 4 * \frac{1}{F_{osc}} * TMR2 \text{ Prescaler Value} \quad (19)$$

Figura 36. Bits del registro T2CON para la configuración del prescalizador



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

$$\frac{1}{F_{pwm}} = \{(255) + 1\} * 4 * \frac{1}{4 \text{ MHz}} * 16 \quad (20)$$

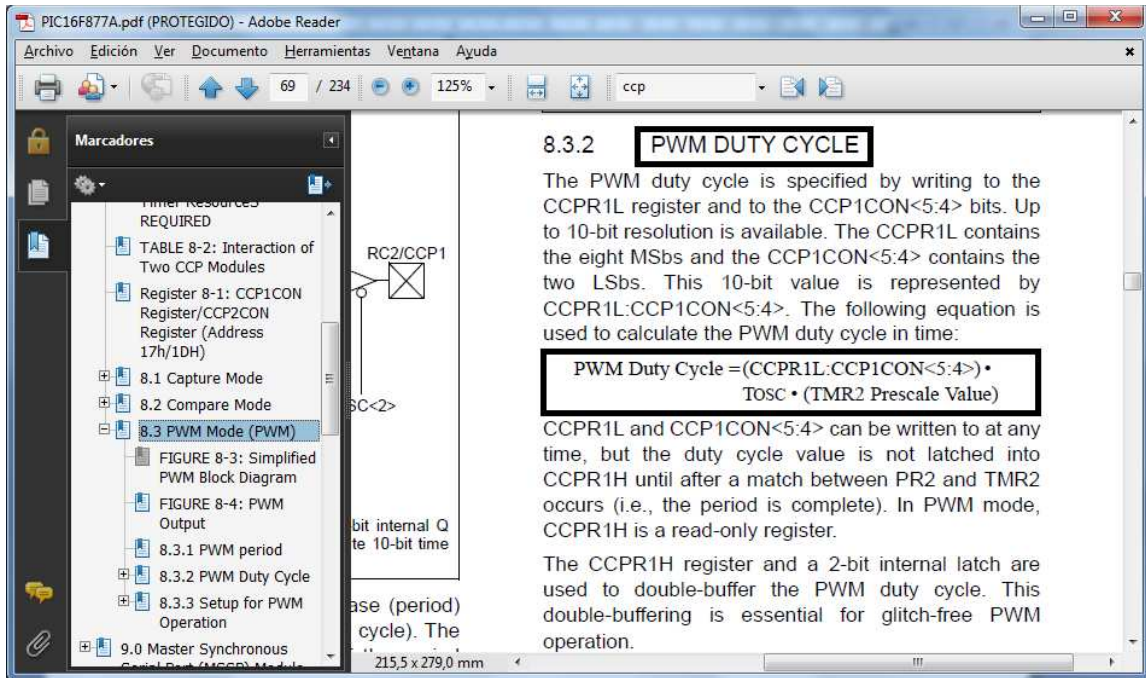
$$\frac{1}{F_{pwm}} = 0,004,4096 \text{ s} \quad (21)$$

$$F_{pwm} = 244,14 \text{ Hz} \quad (22)$$

Esto quiere decir que para los valores configurados, nuestra frecuencia de la señal digital que comandará la bomba es de 244,14 Hz y el periodo será 0,004096 segundos, es decir aproximadamente 4 ms. Ahora bien, de esos 4 ms debemos calcular que porcentaje de ese tiempo la señal digital va a estar en estado lógico igual a uno y que parte en cero (ciclo útil del PWM o PWM duty cycle), para ello la hoja de datos nos presenta la siguiente fórmula:

$$PWM \text{ Duty Cycle} = CCPR1L:CC1CON < 5:4 > * T_{osc} * (TMR2 \text{ Prescaler Value}) \quad (23)$$

Figura 37. Fórmula del periodo del ciclo útil del PWM del PIC 16F877A



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

Donde:

- **PWM Duty Cycle** = es el ciclo útil que queremos obtener de la señal digital del PWM.
- **CCPR1L:CCP1CON<5:4>** = es el valor cargado a este registro de diez bits (el modo PWM funciona a diez bits y utiliza el registro CCPR1L de 8 bits y los bits 4 y 5 del registro CCP1CON para completar los diez bits para su trabajo).
- **Tosc**: es el periodo de oscilación, el cual está definido por el cristal oscilador que necesita el microcontrolador para su funcionamiento. Como se ha mencionado antes, el cristal seleccionado es de 4MHz.
- **TMR2 Prescaler Value**: es el valor que permite aumentar o disminuir la frecuencia de oscilación y admite tres valores: uno, cuatro o dieciséis y como se ha dicho antes, se ha utilizado el valor de dieciséis.

La aplicación de esta fórmula consiste en que averiguar qué valor se va a colocar en el registro de diez bits CCPR1L:CCP1CON<5:4> para saber el porcentaje del ciclo útil de la señal digital del PWM. No olvidemos que el periodo de la frecuencia obtenida de 244,14Hz es de 0,004096 s. Para el funcionamiento de la bomba se ha considerado el 50% del periodo, es decir: 0,002048s (aproximadamente 2 ms), entonces:

$$0,002048 \text{ ms} = CCPR1L:CC1CON < 5:4 > * \frac{1}{4 \text{ MHz}} * (16) \quad (24)$$

$$CCPR1L:CC1CON < 5:4 > = \frac{0,002048 \text{ s}}{0,000004 \text{ s}} \quad (25)$$

$$CCPR1L:CC1CON < 5:4 > = 512 \quad (26)$$

Lo cual indica que para obtener el ciclo útil del 50% hay que cargar al registro CCPR1L:CCP1CON<5:4> con el valor 512 en el sistema numérico decimal. Ahora bien, conectando la bomba directamente a una fuente con el voltaje y la corriente necesaria para su funcionamiento, proporciona una presión de aproximadamente 100 psi. Al enviarle la señal digital con el 50% del ciclo útil, la bomba proporciona una presión de aproximadamente 50 psi, lo cual demuestra que la velocidad ha disminuido y por ende la presión de entrega es menor.

Para poder proporcionar la presión necesaria al sistema según las pruebas, se ha creado una variable que recoja el valor seleccionado por el usuario y según ella cambie el valor en el registro CCPR1L:CCP1CON<5:4> el cual al ser un registro de 10 bits admite como valor máximo en el sistema de numeración binaria 1111111111 (diez unos) y 1023 en el decimal, lo cual representaría un ciclo útil del 100% y por ende la presión del 100%. Para obtener los valores que se deben cargar al registro mencionado, se ha utilizado el método de ensayo y error, el cual consiste en probar con distintos valores hasta conseguir el valor correspondiente para determinadas presiones. En la tabla 2 se muestran los valores correspondientes del registro para las determinadas presiones con el Mosfet IRFP150N (transistor que gobierna la bomba).

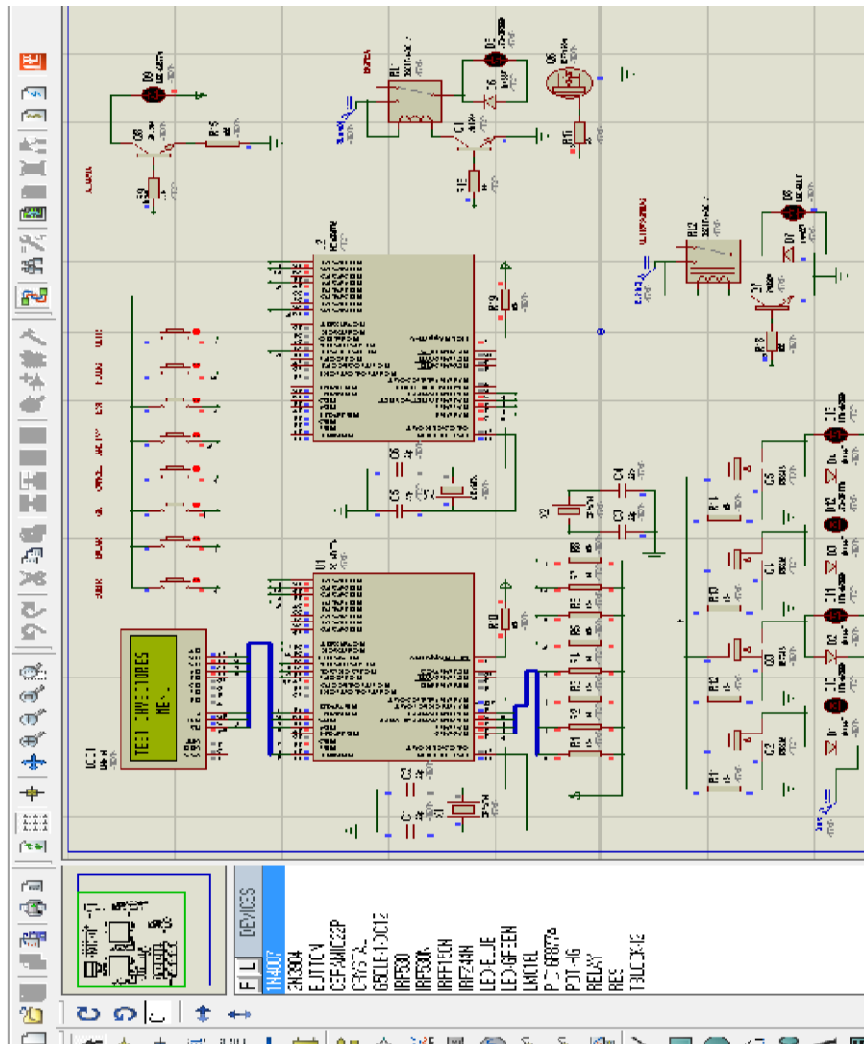
3.2.6 Simulación. La simulación del funcionamiento del sistema en general permite verificar que el funcionamiento del circuito sea acorde con la programación. Esto nos permite corregir los errores que se hayan podido cometer durante la programación de los microcontroladores. La figura 38 muestra la simulación se efectuó en la plataforma ISIS del software Proteus V7.7.

Tabla 2. Valores de presión según los valores del registro CCPR1L:CCP1CON<5:4>

| PRESIÓN (PSI) | CCPR1L:CCP1CON<5:4> |
|---------------|---------------------|
| 40 | 435 |
| 45 | 470 |
| 50 | 515 |
| 55 | 540 |
| 60 | 580 |

Fuente: Autor

Figura 38. Simulación del sistema en ISIS de Proteus V 7.7



Fuente: Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO ELECTRÓNICO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA

4.1 Materiales utilizados

Una vez establecido el diseño, es necesaria la selección de los materiales para la construcción íntegra de la parte física del banco de pruebas. En la tabla 3, se muestra a continuación los materiales para cada uno de los elementos constitutivos del equipo. La selección de estos materiales obedece a una serie de parámetros, entre los cuales destacan la resistencia a la corrosión, disponibilidad y bajo costo de adquisición.

Tabla 3. Selección de materiales para la estructura principal

| ELEMENTO | MATERIAL | DIMENSIONES |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Estructura General | Tol galvanizado | 0.75 mm de espesor |
| Soporte de Inyectores y Probetas | Platina de Hierro Fundido | 4mm x 46 mm |
| Riel de Inyectores | Acero estructural A36 | Ø ext: 22mm espesor: 2mm |
| Acoples entre inyectores y Riel | Acero Inoxidable 304 | Ø 3/4 " |

Fuente: Autor

4.1.1 Construcción de la estructura principal general. La estructura física está hecha de una lámina galvanizada de 0,75mm de espesor, está constituida de 7 elementos cortados y doblados en base al diseño, que luego fueron unidas con aproximadamente 100 remaches de ¼ de pulgada con la finalidad de obtener una estructura fuerte y firme. Como bien se expuso, la estructura es de material galvanizado. La idea principal de la selección de este material es por su capacidad de resistir al oxido y a la corrosión; sin embargo, se consideró

necesario la cobertura de la estructura con una pintura anticorrosiva, que a mas de adicionar un plus en la protección del equipo, proporciona un buen acabado.

Figura 39. Estructura principal



Fuente: Autor

4.1.2 Construcción del soporte de inyectores y probetas. La estructura para montar los inyectores y las probetas en el banco fue hecha con una platina de hierro. Para evitar que los inyectores junto con los acoples salgan despedidos por la presión en el riel, tal como se mostró en el diseño, se ha añadido dos pernos de modo que una vez instalado el riel, se puedan asegurar firmemente a esta estructura. De igual manera fue cubierta con pintura anticorrosiva para evitar su deterioro.

Figura 40. Soporte de inyectores y probetas



Fuente: Autor

4.1.3 Construcción del riel de inyectores y sus acoples. El riel de inyectores ha sido construido tal como se ha diseñado, con el acero estructural A36 el cual ha sido seleccionado por sus características de resistencia y fácil soldabilidad. Está disponible para

que cuatro inyectores funcionen a la vez. La soldadura se ha realizado con electrodos 6011 y se han hecho pruebas para verificar la inexistencia de fugas. Una vez construido se han eliminado todo tipo de asperezas por la soldadura, se ha procedido al lijado y posterior acabado optando por una pintura anticorrosiva de color plata.

Los acoples fueron hechos de acero inoxidable 304 ya que este material tienen alta protección contra la corrosión. El número de unidades creadas fueron cuatro. Como se puede observar en la figura 41 dispone de un taladro central por donde el líquido de pruebas pasa del riel hacia los inyectores, además; para su correcto funcionamiento en la operación del banco, se ha dispuesto de una ceja que albergue un empaque, de modo que permita una correcta estanqueidad para evitar fugas del líquido de ensayo durante las pruebas a los inyectores.

Figura 41. Riel de inyectores y sus acoples



Fuente: Autor

4.2 Construcción de la tarjeta electrónica.

Para la elaboración de circuitería encargada del funcionamiento del equipo y para el sistema encargado de trasladar el líquido de pruebas hacia los inyectores, se han seleccionado los siguientes componentes:

Tabla 4. Dispositivos para la construcción de la tarjeta electrónica

| CANT. | ELEMENTO | DESCRIPCIÓN |
|--------------|-------------------------|---|
| 2 | µc 16F877A | Circuito integrado programable |
| 2 | CI 7805 | Regulador de voltaje a 5V |
| 27 | Resistencias | Limita el paso de corriente |
| 2 | 2N3904 | transistor NPN de baja señal |
| 2 | Osciladores | Indispensable para el funcionamiento del µc |
| 8 | Condensadores | Cerámicos para los µc y electrolíticos para los CI 7805 |
| 4 | IRFZ44N | Mosfet de canal N y de rápida respuesta para el funcionamiento de los inyectores |
| 1 | IRFP150N | Mosfet de canal N, de rápida respuesta y alta potencia para el funcionamiento de la bomba |
| 1 | IRF530N | Mosfet de canal N para el control del relé de la bomba de combustible |
| 1 | Relé | 12V y corriente máx. de 30 A |
| 1 | Relé | 12V y 15A |
| 1 | LM016L | Display de 2x16 |
| 1 | Zumbador | Alarma que indica la finalización de cada prueba |
| 6 | Diodos | Para protección de los circuitos de baja potencia |
| 8 | Pulsadores | Para a selección de las pruebas |
| 22 | Conectores de bloque | De 2 terminales para inyectores, bomba, pulsadores |
| 1 | Fuente | 12V y 7A para el circuito de alta potencia |
| 1 | Fuente | 9V y 300mA para el circuito de baja potencia |
| 2 | Ventiladores | Auxiliares de evacuación de calor |
| 1 | Transductor ultrasónico | Con la batea de acero inoxidable y generador generador de alta frecuencia |
| 1 | Disipador de calor | Para el mosfet controlador de la bomba |
| 1 | Bomba de combustible | 12V y 4.3 A |
| 1 | Manómetro de presión | De 0 a 16 Bares, con glicerina |

Fuente: Autor.

Tal como lo muestra la tabla 4, el microcontrolador seleccionado es el PIC 16F877A de la empresa Microchip debido a sus características físicas e internas. Contiene cuarenta pines, dispone de tres módulos contadores, un módulo CCP (Capturador – Comparador – PWM con 10 bits de resolución), permite proteger la información de la programación. También posee otros registros que aunque no se los ha utilizado no dejan de ser muy importantes, como por ejemplo el módulo convertidor análogo – digital, entre otros.

Resulta indispensable verificar el funcionamiento del circuito electrónico de manera real, para ello se montó el circuito en una protoboard para corroborar el trabajo hecho por el simulador, ya que por ejemplo, éste no muestra aumentos de temperatura en ciertos dispositivos, y al armar el circuito tenemos una idea clara de lo que realmente está ocurriendo en la circuitería que se ha diseñado. A continuación se muestra la figura 41 en la cual se presenta el funcionamiento del circuito.

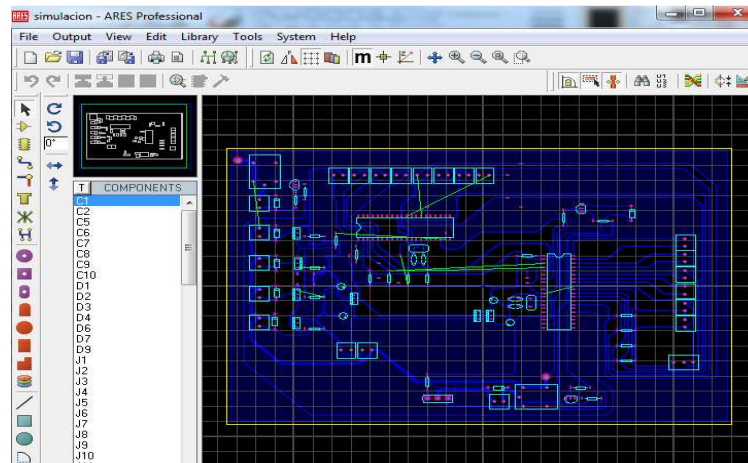
Figura 42. Prueba del circuito en protoboard



Fuente: Autor

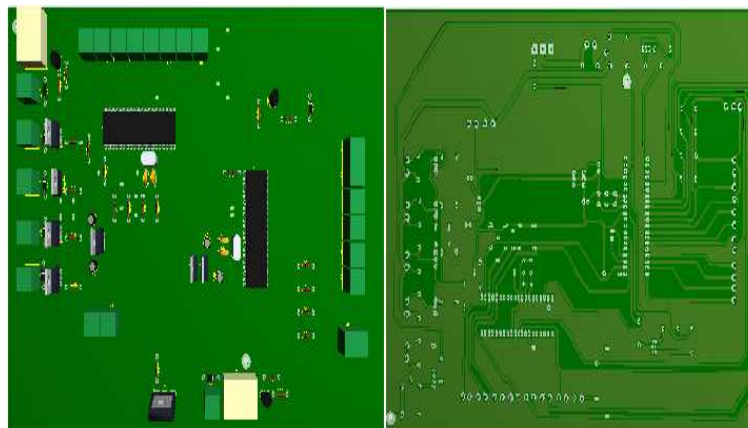
Para la construcción de la tarjeta electrónica, se ha utilizado la plataforma ARES del software Proteus V7.7 la cual también nos permite la visualización en 3D de la placa ya construida. Al tener un circuito con un cierto grado de complejidad y tamaño, es necesaria conexión a tierra a un chasis general para evitar la generación de “ruidos” que pudieran entorpecer el funcionamiento de los microcontroladores.

Figura 43. Creación de las pistas en ARES de Proteus V 7.7



Fuente: Autor

Figura 44. Vista del circuito armado en ARES



Fuente: Autor

Una vez hecho el circuito se procede a la impresión en un papel térmicamente sensible con una impresora a laser para posteriormente pasarlo a una placa de circuitos o "baquelita". Luego se procede a la perforación de los taladros que albergarán los pines de todos los elementos necesarios para el funcionamiento del circuito. Una vez hecho esto se procede a la soldadura de estos dispositivos y de los "puentes" que son conductores parte del circuito, los cuales no pudieron ser parte del diseño de pistas en ARES.

Figura 45. Armado de la placa electrónica



Fuente: Autor

4.3 Análisis de costos

Para la construcción del banco en mención, uno de los criterios para la selección de materiales y componentes ha sido su costo de adquisición teniendo muy en cuenta que esto no perjudique al equipo en cuanto a calidad y garantía. Además, es necesario saber cuál ha sido la inversión económica al construir un equipo de estas características. En la tabla 5 se muestra el costo de materiales y mano de obra para la construcción de una unidad.

Como podemos observar, el costo total al realizar un solo equipo es de setecientos nueve dólares con once centavos. Sin embargo, si consideramos construir en algunos ejemplares en serie, el costo se verá reducido significativamente ya que por ejemplo, no se tendría q gastar dinero en elementos que ya disponemos, entre ellos se puede mencionar el programador de microcontroladores. Otro adicional a tener en cuenta es que para construir este equipo, se necesita solo el 60% de una lámina, es decir que el 40% restante se puede utilizar para construir otros equipos. Del mismo modo no habría sobrantes de pinturas, cables, cintas, silicón y entre otros, los cuales podrían ser utilizados para la construcción de otras unidades. Si a esto le sumamos el hecho de adquirir dispositivos y componentes en cantidades considerables, bien podrían haber descuentos.

Teniendo en cuenta algunos de los criterios antes mencionados, al construir en serie diez unidades, se requiere de una inversión de \$6044,30 dólares. Esto nos da como resultado un costo por unidad de \$ 604,43 dólares, con lo que el costo por unidad comparado con el anterior se ha reducido en un 14,76%.

Tabla 5. Análisis de costos de la construcción de un solo equipo

| ANÁLISIS DE COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL BANCO | |
|---|---------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTOS |
| Lámina 0,70 mm espesor | 22,27 |
| Probetas | 40 |
| Tubo estructural diámetro 3/4 | 3 |
| Acero inoxidable 304 3/4" x 20cm para acoples | 3 |
| Tina ultrasónica | 280 |
| Platina para soporte inyectores y riel | 1,5 |
| Manguera de presión 2m | 3,6 |
| Acoples roscables y embonables | 7 |
| Manómetro de presión con glicerina | 28 |
| LCD, 2 pic 16f877a | 18 |
| Llave de paso, 3 uniones perdidas, 2 T, 2 codos 1/4" | 7,8 |
| Baquelita, cloruro férrico, papel termosensible | 4,49 |
| Borneras, sockets, resistencias, suelda | 9,65 |
| Transistor controlador de la bomba y disipador de calor | 4 |
| Cable 2 en 1 cableado 15m # 20 | 5,25 |
| Transistores para inyectores y otros elementos | 12,5 |
| Fuente 13,8V y 7A | 58 |
| Pistola de silicón con 10 barras | 4 |
| Bomba de gasolina genérica | 22 |
| Dispositivos electrónicos | 16,05 |
| Pintura | 20 |
| Trabajo riel y acoples | 40 |
| Dobles de la lámina para la estructura general | 1 |
| Ensamble de equipo y pintura | 65 |
| Programador de pics | 33 |
| TOTAL | 709,11 |

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5. FASE EXPERIMENTAL

El banco electrónico de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina, está hecho de modo que su operación sea fácil, cómoda, sencilla y secuencial. Los dispositivos de mando se encuentran ubicados en la parte superior derecha del equipo y los componen:

- El interruptor de encendido.
- Pulsador de prueba de ángulo de inyección.
- Pulsador de prueba de flujo de inyección.
- Pulsador de prueba de estanqueidad de los inyectores.
- Pulsador de activación de la limpieza ultrasónica.
- Pulsador de aumento de variables.
- Pulsador de disminución de variables.
- Pulsador de aceptar opciones.
- Pulsador de cancelar opciones.
- Pantalla para visualización de instrucciones.
- Válvula de liberar la presión del riel.
- Manómetro indicador de presión.

Las pruebas pueden seleccionarse según las necesidades del operario, sin embargo, los pulsadores de activación de las pruebas para los inyectores están dispuestos de manera que estas puedan seleccionarse en el orden de izquierda a derecha, desde la prueba de ángulo de inyección, hasta la limpieza ultrasónica.

Como se ha mencionado antes, las pruebas permiten seleccionar algunas opciones, entre ellas el aumento o disminución de las revoluciones a las que funcionarán los inyectores, el ciclo útil de la señal digital en porcentaje del periodo, la presión de prueba y el tiempo. Para ello basta seleccionar una de las pruebas y la pantalla de caracteres irá guiando de manera clara al operario acerca de las opciones a realizar con los pulsadores de aumento, disminución, aceptar y cancelar las opciones.

Una característica adicional que también se ha mencionado, es la activación de una alarma, la cual indica al usuario cuando ha terminado la operación del equipo, por lo que el operario pudiera estar realizando otras actividades y acudir para realizar la siguiente prueba al escuchar el llamado del equipo. Es necesario señalar que hay que tener en cuenta el nivel del líquido de pruebas antes de realizar cualquier operación de mantenimiento a los inyectores observando el lado izquierdo del equipo en donde se encuentra el indicador. De hacer falta el líquido de pruebas se debe añadir, para ello hay que tirar de la ceja del conducto desplazable de ingreso de líquido limpiador que se encuentra sobre el indicador de nivel. Por último, un detalle muy importante a señalar es la operación del sistema de limpieza de ultrasonido, la cual no se debe efectuar sin líquido limpiador, ya que el equipo ultrasónico puede dañarse sin más remedio que adquirir uno nuevo. El nivel del líquido debe ser tal que cubra por unos cuantos milímetros la placa porta-inyectores, así nos aseguramos que el procedimiento de la limpieza ultrasónica es la correcta.

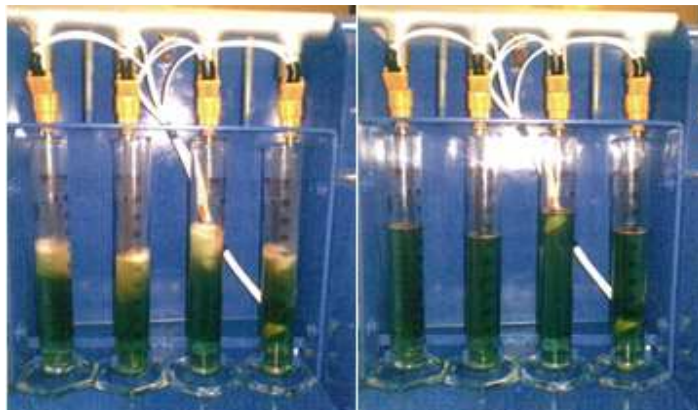
Se ha realizado un manual de operaciones para el usuario el cual se muestra en el anexo A. En este se detalla de manera clara y objetiva las características del bando de pruebas, su descripción general, las precauciones y recomendaciones a tener en cuenta, así como también las instrucciones paso a paso del uso del equipo, desde como instalar los inyectores hasta la limpieza ultrasónica.

5.1 Prueba de inyectores

Para corroborar el funcionamiento del banco de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina, se han hecho pruebas a varios inyectores, demostrando que el equipo es funcional. A continuación se muestran algunas imágenes del funcionamiento del equipo así como de las pruebas a la que fueron sometidos los inyectores de un Volkswagen Gol.

Una vez retirados los inyectores de su lugar de trabajo y medir su resistencia, se corroboró que son inyectores de alta impedancia. Luego de ello se procedió a montarlos en el equipo y hacer las respectivas pruebas. En la prueba de ángulo de inyección, se pudo observar que los patrones de inyección eran distintos en cada uno de los inyectores, lo más notorio fue que la inyección tenía un cierto grado de inclinación hacia los lados en dos de ellos, las características de las pruebas fueron a 750 rpm, un 10% de ciclo útil del pwm, la presión de prueba 40 PSI igual a la de trabajo, y el tiempo de prueba fue de cinco minutos.

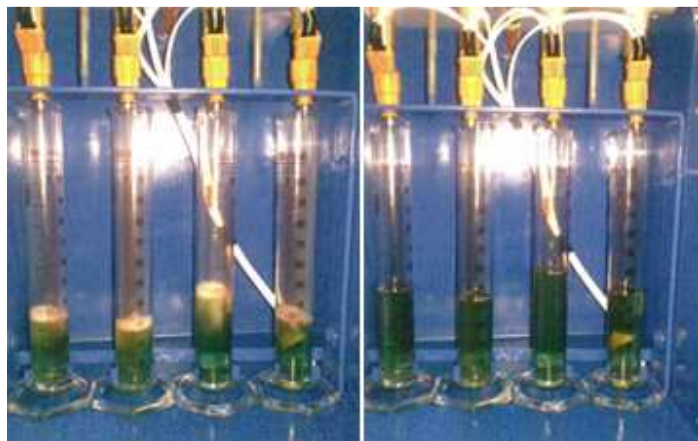
Figura 46. Prueba de ángulo de inyección de inyectores Volkswagen



Fuente: Autor

En la prueba de ángulo de inyección, con el inyector permanentemente abierto durante 15 segundos a 40 PSI el resultado se muestra en la figura 47.

Figura 47. Prueba de flujo de inyección de inyectores Volkswagen



Fuente: Autor

Durante la prueba de estanqueidad, aunque en dos de los inyectores mostraron humedad en el lado de la válvula obturadora, no se registraron goteos al ser sometidos a una presión de 45 PSI que es el 12,5% superior a la presión normal de trabajo durante un minuto. Luego de las pruebas, se desmontaron los inyectores del banco para someterlos a la limpieza ultrasónica por 10 minutos.

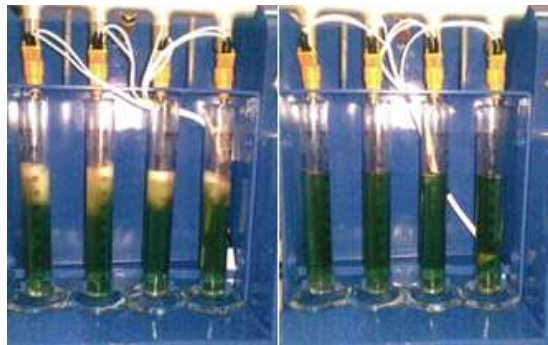
Figura 48. Limpieza de los inyectores en la tina ultrasónica



Fuente: Autor

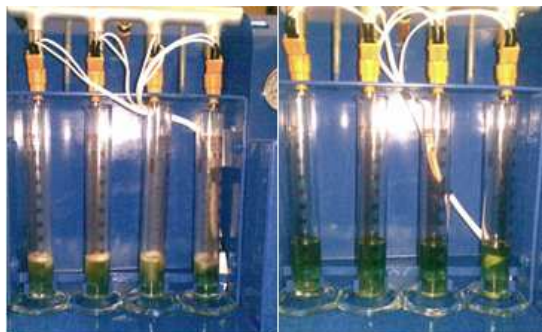
Una vez finalizada la limpieza por ultrasonidos, se volvieron a montar los inyectores al banco para realizar las mismas pruebas iniciales. Los resultados se pueden ver a simple vista.

Figura 49. Prueba de ángulo de inyección luego de la limpieza ultrasónica



Fuente: Autor

Figura 50. Prueba de flujo de inyección luego de la limpieza ultrasónica

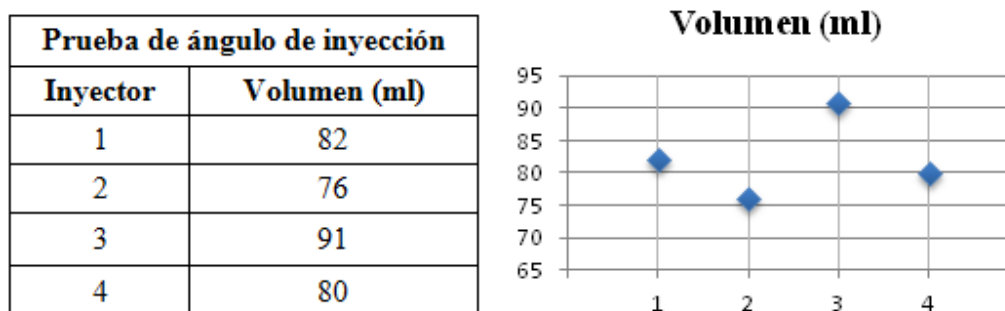


Fuente: Autor

5.2 Análisis De Resultados

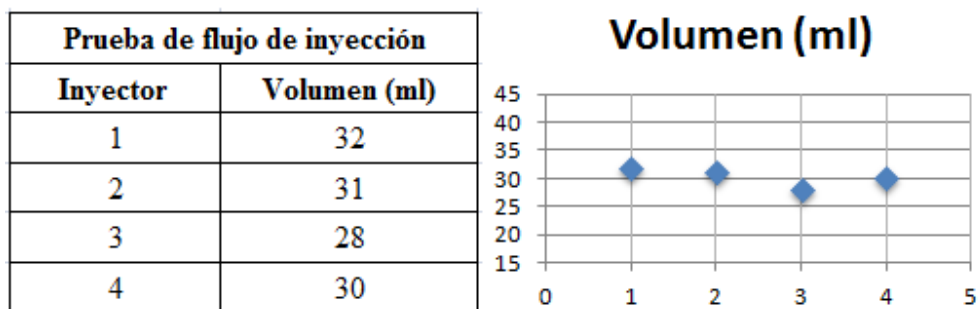
Los datos de los volúmenes del líquido de pruebas entregados por los inyectores sometidos al banco electrónico de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina, nos indican que estos no han estado inyectando cantidades iguales de combustible, ya que los datos muestran una dispersión irregular que oscilan entre 76 y 91 ml en la prueba de ángulo de inyección y entre 28 y 40 ml en la prueba de flujo de inyección. Como se puede observar, los patrones gráficos son similares.

Figura 51. Volumen entregado por los inyectores - prueba de ángulo de inyección



Fuente: Autor

Figura 52. Volumen entregado por los inyectores - prueba de flujo de inyección

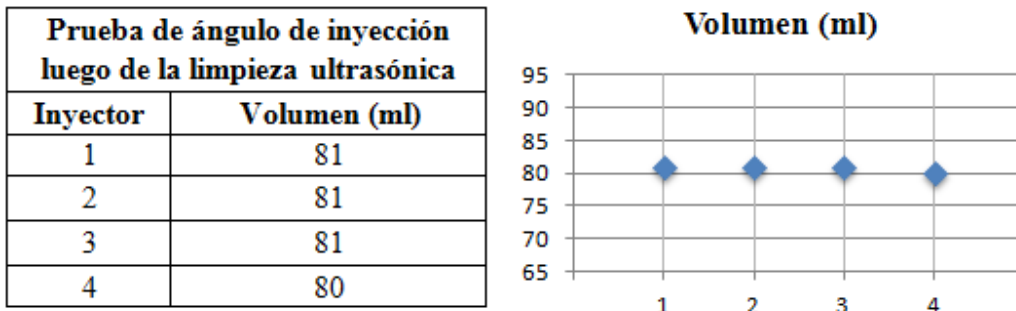


Fuente: Autor

Ahora bien, los resultados luego de haber sometido los inyectores a la limpieza ultrasónica nos revelan dos cosas particulares. La primera es que se puede constatar que efectivamente los inyectores tenían residuos de carbonilla u otros depósitos entre la válvula obturadora y su asiento. La segunda consideración señalada y a tener en cuenta es que, como se mencionó en capítulos anteriores, el método de limpieza por ultrasonidos es indiscutiblemente eficaz.

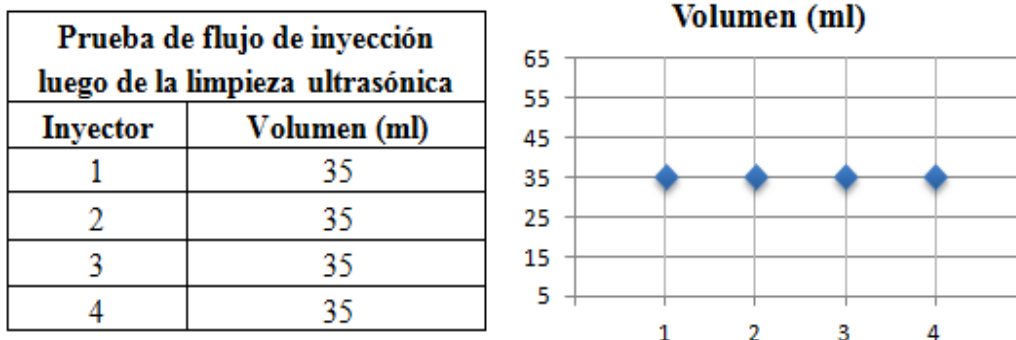
Para constatar lo antes mencionado se muestran las figuras 53 y 54 en las cuales se muestran los datos de los mismos inyectores con la particularidad de haber sido sometidos a la limpieza por ultrasonidos. Como se puede observar, la dispersión ha desaparecido casi en su totalidad. Los resultados son elocuentes.

Figura 53. Inyección pos limpieza ultrasónica - prueba de ángulo de inyección



Fuente: Autor

Figura 54. Inyección pos limpieza ultrasónica - prueba de flujo de inyección



Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las comparaciones realizadas en base al estudio de los equipos de mantenimiento de inyectores a gasolina, establecen que el mantenimiento en un banco electrónico de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina es la mejor opción para el rendimiento del motor.

La limpieza por ultrasonido se basa en la cavitación producida por las condiciones de trabajo del un transductor piezoeléctrico a altas frecuencias y a las condiciones de densidad, presión de vapor y otras características del líquido limpiador.

Se pudo constatar la efectividad del mantenimiento de los inyectores por medio del ultrasonido, teniendo en cuenta el funcionamiento de estos antes y después de la limpieza por ultrasonidos.

La aplicación del equipo de limpieza ultrasónica no se limita a la limpieza de inyectores, si no que es de mucha utilidad para el mantenimiento de otros elementos que requieran una limpieza de precisión.

El uso adecuado de los elementos electrónicos para el control de los inyectores y la bomba de combustible, proveen el control seguro de estos elementos, ya que la programación del microcontrolador está dispuesta para que trabajen por tiempos establecidos de modo que impidan el sobrecalentamiento.

Para el adecuado funcionamiento del equipo es necesario que se sigan las instrucciones que se establecen en el manual del usuario, con el fin de garantizar un correcto trabajo y la apropiada manipulación del mismo.

6.2 Recomendaciones

Asegurarse de que la red de conexión eléctrica a la que se va a conectar el banco tenga una conexión de tierra a una varilla de cobre de 1m como mínimo, ya que esto nos ayudará a proteger al equipo de cualquier descarga eléctrica.

Verificar que haya líquido en el tanque del banco observando el nivel del depósito antes de realizar cualquier prueba.

Utilizar un líquido limpiador para efectuar las pruebas, jamás use combustible de ninguna naturaleza ya que por ser inflamables podrían causar incendio.

Al ingresar los acoples al riel y los inyectores a los acoples, colocar una pequeña capa de grasa fina o vaselina en los empaques de estos.

Para evitar fugas, asegurar firmemente el riel con los inyectores montados al soporte de inyectores y probetas. Para esto es necesario valernos de las herramientas apropiadas.

Se debe tener en cuenta que la válvula de liberación de la presión del riel en el equipo esté cerrada antes de realizar cualquier prueba.

No dejar los acoples instalados en el riel de inyectores, ya que los empaques de estos pueden malograrse al retirarlos luego de algún tiempo de estar colocados en el riel.

No hacer funcionar el sistema de limpieza ultrasónica sin líquido limpiador, ya que este puede dañarse.

En la limpieza ultrasónica, asegurarse de que el líquido limpiador dentro de la cuba, cubra unos cuantos milímetros la placa porta-inyectores.

Antes de comenzar una prueba, retire el líquido de pruebas de las probetas de la prueba anterior para obtener lecturas fidedignas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Boylestad, Introducción al Análisis de circuitos, Pág. 97, Año 2004.
- [2] http://www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf.
- [3] <http://injector-rehab.com/shop/idc.html>.
- [4] <https://sites.google.com/site/lasondasyelsonido/aracteristicas-del-sonido/la-velocidad-de-propagacion-del-sonido>.
- [5] <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ultrasonidoAPLICAC.htm>.
- [6] Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo, Eugene F. Megyesy.
- [7] http://www.adelca.com/sitio/esp/catalogo_productos.php
- [8] http://zeus.dci.ubiobio.cl/~caaici/Apuntes/Materiales/Capitulos%20Libros/Groover/propiedades_mecanicas_de_los_materiales.pdf.
- [9] <http://www.microchip.com>.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO J., Técnicas del Automóvil: Inyección de Gasolina y Dispositivos Anticontaminación, Thomson – Paraninfo Editores, España 2002.

BENSON Carlin, Ultrasonica, Urmo S.A.

BLITZ Jack, Fundamento de los Ultrasonidos, Editorial Alhambra S.A.

GIL Hermógenes, Manuales Técnicos del Automóvil Sistemas de Inyección de Gasolina, Ediciones Ceac S.A. España 2002.

JARAMA Wilson, Manual del Corsa, Ediciones América Libros Técnicos, Quito – Ecuador, Edición 2006.

MANUAL CEAC DEL AUTOMÓVIL, Grupo Editorial Ceac S.A. Barcelona – España 2003.

MEGYSEY Eugene F., Manual de Recipientes a Presión, Diseño Y Cálculo, Limusa Aloriega Editores.

SANTANDER Jesús, Manual Técnico Fuel Injection, Ediseli Editores, Cuarta Edición, 2010.

USATEGUI José Angulo, Electrónica Fundamental 1. Teoría y práctica: desde la válvula hasta el circuito integrado, Paraninfo Sam Madrid.

WAKERLY John F., Diseño Digital: Principios y Prácticas, Tercera Edición. Pearson Educación, México 2007.

LINKOGRAFÍA

SISTEMA DE CONTROL POR VOLTAJE Y AMPERAJE DE INYECTORES DE GASOLINA DE BAJA Y ALTA RESISTENCIA

http://www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf

2012 - 02 -15

ESPECTROS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES

<http://www.pc-oscilloscopes.com/fuel-injection.html>

2012 - 02 -15

FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES ELECTROMAGNÉTICOS

<http://www.autodiagnosicsandpublishing.com/feature/fuel-injector-testing.htm>

2012 - 02 -15

DIAGNÓSTICO DE INYECTORES

<http://www.omitec.com/us/support/tech-tips-gen/waveform-analysis/wave-14/>

2012 - 02 -15

CIRCUITO CONTROLADORES DE INYECTORES

<http://www.stealth316.com/2-injectortypes.htm>

2012 - 02 -20

BOMBA DE COMBUSTIBLE

<http://www.autoshop101.com/forms/h22.pdf>

2012 - 02 -20

TIPOS DE INYECTORES

http://www.popularhotrodding.com/tech/0303phr_fuel_injector_tech/

2012 - 02 -24

LIMPIEZA DE INYECTORES POR ULTRASONIDO

<http://www.rowand.net/Shop/Tech/DIYFuelInjectorCleaning.htm>

2012 - 03 -02

PROCESO DE LIMPIEZA DE INYECTORES

<http://www.cruzinperformance.com/injsteps.html>

2012 - 03 -02

FÍSICA DEL SONIDO

<http://muscana.com/articulo/690/fisica-del-sonido>

2012 - 03 -02

CAVITACIÓN ULTRASÓNICA

<http://www.testlab.com.ar/introlavado.php>

2012 - 03 -06

TRANSDUCTORES

http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/trans_sonido.htm

2012 - 03 -06