



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO
DE BANCO DE PRUEBA Y LIMPIEZA DE INYECTORES PARA
EL SECTOR AUTOMOTRÍZ**

SERGIO ALEJANDRO LUJAN

GABRIEL ALEJANDRO IBARRA

CÓRDOBA, 18 DE SEPTIEMBRE DE 2016



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que se presenta, es original y basado en procesos de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en el INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO. En tal virtud, los fundamentos teóricos, científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le corresponde al INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

DEDICATORIA

A Dios, por su respaldo incondicional durante toda mi vida, a nuestras familias por su amor y constante apoyo, a nuestros amigos por estar siempre en las buenas y en las malas y a los profesores por forjar nuestros conocimientos.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

AGRADECIMIENTO

A Dios, a nuestros padres, a nuestros hermanos, a los profesores que nos brindaron su conocimiento y amistad, a nuestros compañeros y amigos por estar siempre.

A todos ustedes muchísimas gracias



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Aprobado por el Departamento de Electrónica en cumplimiento de los requisitos exigidos para otorgar el Título de Ingeniero en Electrónica al Señor SERGIO ALEJANDRO LUJAN - DNI 31222104

Revisado por:

.....
Ing. Juan Cayetano Galleguillo

Tribunal Examinador

.....
Ing. Juan Cayetano Galleguillo
Presidente del Tribunal Examinador

.....
Ing. Eduardo Daniel Toselli
Vocal del Tribunal Examinador

.....
Ing. Carlos Vázquez
Vocal del Tribunal Examinador

Córdoba, 18 de septiembre de 2016



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Aprobado por el Departamento de Electrónica en cumplimiento de los requisitos exigidos para otorgar el Título de Ingeniero en Electrónica al Señor GABRIEL ALEJANDRO IBARRA - DNI 33327569

Revisado por:

.....
Ing. Juan Cayetano Galleguillo

Tribunal Examinador

.....
Ing. Juan Cayetano Galleguillo
Presidente del Tribunal Examinador

.....
Ing. Eduardo Daniel Toselli
Vocal del Tribunal Examinador

.....
Ing. Carlos Vázquez
Vocal del Tribunal Examinador

Córdoba, 18 de septiembre de 2016



CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
2.1 LOS INYECTORES DE COMBUSTIBLE.....	17
2.1.1 Constitución y funcionamiento.....	17
2.1.2 Modulación de ancho de pulso y ciclo útil de funcionamiento.....	19
2.1.3 Clasificación de los inyectores.....	20
2.1.3.1 Clasificación por impedancia.....	21
2.1.3.2 Clasificación por su válvula obturadora.....	21
2.1.3.3 Clasificación por conector eléctrico.....	23
2.1.3.4 Clasificación por alimentación de combustibles.....	23
2.1.4 Tipos de circuitos controladores de inyectores.....	24
2.1.4.1 Circuitos de control de voltaje y de corriente.....	24
2.1.5 Curva característica del inyector.....	25
2.1.5.1 Interpretación de la señal de un inyector controlado por voltaje.....	26
2.1.5.2 Interpretación de la forma de onda de un inyector controlado por corriente.....	28
2.1.6 Mantenimiento.....	29
2.1.6.1 Mantenimiento de los inyectores en un banco de pruebas y limpieza por ultrasonido.....	30
2.1.6.2 Consecuencias de un mal trabajo de mantenimiento.....	32
2.2 INTRODUCCIÓN A LA LIMPIEZA POR ULTRASONIDO.....	33
2.2.1 Principio de funcionamiento del ultrasonido.....	33
2.2.2 Etapas de limpieza.....	34
2.2.3 Cavitación acústica.....	35
2.3 ONDAS LONGITUDINALES ULTRASÓNICAS.....	35
2.4 TRANSDUCTORES ULTRASÓNICOS.....	37
2.4.1 Transductores Magnetostrictivos (TM).....	37
2.4.2 Transductores Piezoeléctricos (TP).....	38
2.5 LÍQUIDOS / QUÍMICOS.....	39
3. IMPLEMENTACIÓN.....	40
3.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO.....	40
3.1.1 Funcionamiento general del sistema ultrasónico.....	40
3.1.2 Funcionamiento general del sistema de inyección.....	41
3.1.3 Funcionamiento general del sistema hidráulico.....	41
3.2 FRECUENCIA DE TRABAJO.....	42
3.2.1 Circuito equivalente de un cristal piezoeléctrico.....	42
3.2.2 Cálculo de parámetros.....	44
3.3 MICROCONTROLADOR.....	45
3.4 PREAMPLIFICADOR ULTRASÓNICO.....	46



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

3.4.1 Cálculo de potencia y rendimiento del preamplificador ultrasónico.....	46
3.5 AISLACIÓN ENTRE CIRCUITOS.....	49
3.6 ETAPA DE POTENCIA ULTRASÓNICA.....	49
3.6.1 Cálculo de potencia y rendimiento en la etapa de potencia ultrasónica.....	50
3.7 FILTRO ULTRASÓNICO.....	53
3.8 TRANSDUCTOR UTILIZADO.....	54
4. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE BANCO DE PRUEBA Y LIMPIEZA DE INYECTORES... 56	
4.1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE LA PLACA MAESTRA DE CONTROL.....	56
4.1.1 Diseño esquemático del circuito de habilitación de actuadores y protecciones. .57	
4.1.2 Diseño de la placa maestra en Altium Designer.....	58
4.1.3 Construcción de la placa maestra.....	59
4.2 DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO PREAMPLIFICADOR ULTRASÓNICO... 60	
4.2.1 Diseño esquemático del circuito de potencia ultrasónica.....	60
4.2.2 Diseño de la placa ultrasónica en Altium Designer.....	61
4.2.3 Construcción de la placa ultrasónica.....	62
4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO.....	63
4.3.1 Armado del banco de pruebas.....	65
4.4 DISEÑO DE SOFTWARE.....	68
4.4.1 Control de display.....	69
4.4.2 Control de teclado.....	70
4.4.3 Tareas Periódicas.....	71
4.4.4 Cuenta regresiva.....	71
4.4.5 Menú simple y combo.....	72
4.4.6 Menú de Activación.....	74
4.4.7 Administrador de Menú.....	75
4.4.8 Controlador de Inyector.....	76
4.4.9 Limpieza de inyectores.....	77
4.4.10 Prueba rápida de inyector.....	78
4.4.11 Prueba manual de inyector.....	79
4.4.12 Prueba de inyector automática.....	80
4.4.13 Loop principal.....	81
4.5 ANÁLISIS DE COSTOS.....	83
5. FASE EXPERIMENTAL.....	84
5.1 PRUEBA DE INYECTORES.....	84
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
6.1 GUÍA DE USUARIO.....	88
6.2 RECOMENDACIONES.....	91
6.3 CONCLUSIONES.....	92
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
7.1 BIBLIOGRAFÍA.....	94
7.2 LINKOGRAFIA.....	95



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

LISTA DE ABREVIACIONES

PWM	Modulación por ancho de pulso.
RPM	Revoluciones por minuto.
LED	Diodo emisor de luz.
BJT	Transistor de unión bipolar.
TM	Transductores magnetostrictivos.
TP	Transductores piezoeléctricos.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

LISTA DE ANEXOS

**A PLANOS ESTRUCTURALES DEL PROTOTIPO DE BANCO DE PRUEBAS
Y LIMPIEZA DE INYECTORES**



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

RESUMEN

El siguiente proyecto de investigación está basado en el estudio de los inyectores electromecánicos de gasolina y su mantenimiento. Los inyectores son actuadores de suma importancia para el funcionamiento del motor, por tal razón es indispensable conocer su estructura interna, funcionamiento y correcto mantenimiento. Por tal motivo se optó por diseñar un prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores.

Atendiendo al llamado actual de la preservación del medio ambiente, se hace necesario obtener una óptima combustión, esto se logra cuando los inyectores de combustible hacen su trabajo eficientemente de modo que los residuos de combustión sean menores.

Mediante la investigación y puesta en práctica de los conocimientos adquiridos en el INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO, 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 (RPM) y una disminución de la potencia al acelerar. Los especialistas recomiendan el primer mantenimiento a los 50mil km.

Con la utilización de este equipo se ha verificado que los inyectores de combustible 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, se extiende la vida útil del vehículo. Estas y otras características se desarrollan con respaldo teóricos y prácticos a lo largo de esta investigación.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

ABSTRACT

The present investigation is based on the study of electromechanic 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 right maintenance. An electronic test and cleaning bank have been designed and constructed.

On the other hand, it is important to get a right combustion in order to decrease the environmental damage. 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 UNIVERSITY INSTITUTE AERONAUTICO.

The power and performance of the engine will decrease if the injectors maintenance is not performed on time. Experts recommend the first maintenance at 50 000 kilometers.

Fuel injectors work better after a proper maintenance using this equipment. That means, 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 combustible es el actuador principal en los sistemas de inyección, los hay mecánicos y electromecánicos. Los inyectores mecánicos actualmente no se utilizan, estos forman parte de la evolución de los sistemas de inyección actuales, su funcionamiento se basa en la inyección de 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 electromecánicos, los cuales se detallan en el estudio; por lo cual, a menos que de se indique lo contrario, cuando se exponga la palabra “inyectores”, se estará tratando específicamente de inyectores electromecánicos de combustible.

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 y muchas de ellas se instalan en los inyectores originando una mala inyección de combustible, lo que produce deficiencia en el funcionamiento del sistema y por ende en el motor. Además, si a este problema se le añade el hecho de que los inyectores al estar en contacto con la cámara de combustión, eventualmente podrían taparse por la adhesión de residuos de una mala combustión, entonces se está tratando sobre un problema al que se debe dar solución.

Los estragos de la falta de mantenimiento de los inyectores se ven reflejados durante la conducción, como por ejemplo el 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 50 mil Km aproximadamente.

Existen dos tipos de mantenimiento de inyectores. El primero consiste el la adhesión de solventes líquidos al tanque de combustible y en la mayoría de los casos se los realiza por canister. El segundo es por medio de un banco de prueba y limpieza por ultrasonidos.

1.2 JUSTIFICACIÓN



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 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 la señal, lo que 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 perfecta 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 estabilidad de la 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 sedimentos de 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 suelen desgastarse y generan pérdidas 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 se procede a realizar diferentes pruebas a los inyectores, como ensayos de flujo de combustible, estanqueidad, ángulo de atomización, se podrá 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 prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores por ultrasonido.

1.3.2 Objetivos específicos

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



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 simula las pulsaciones necesarias para el funcionamiento de los inyectores.

Diseñar el circuito electrónico y de potencia para activar el ultrasonido.

Analizar el resultado del funcionamiento del banco de pruebas y limpieza de inyectores.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 LOS INYECTORES DE COMBUSTIBLE

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 a quince milisegundos aproximadamente, dependiendo de las condiciones de trabajo del motor.

Los inyectores están controlados por la unidad de control del motor, la cual al enviar un pulso 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.

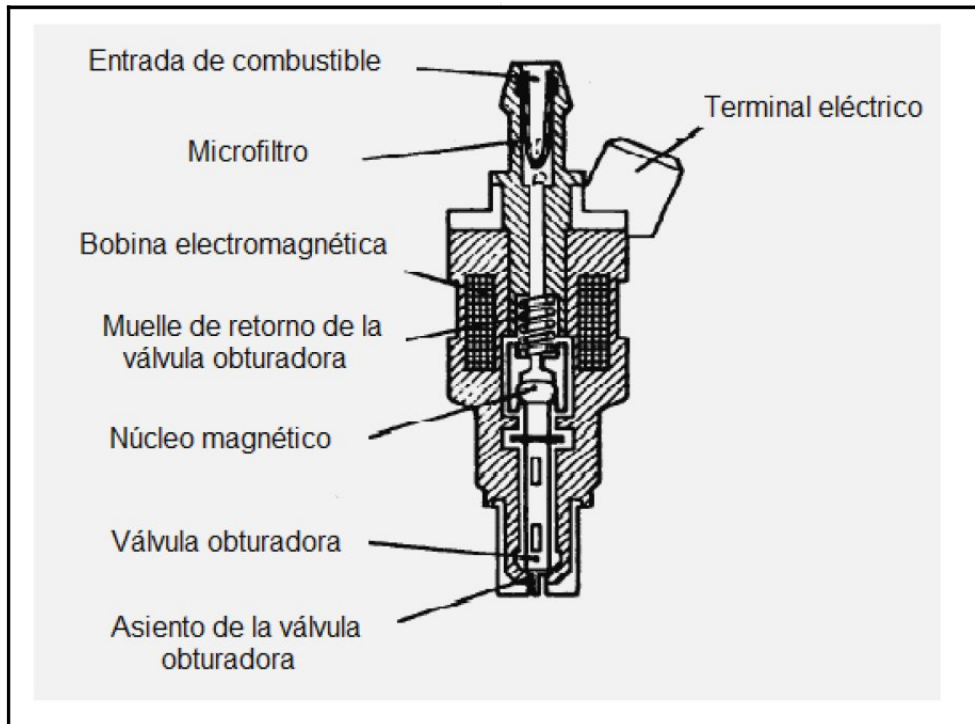
2.1.1 Constitución y funcionamiento

Los inyectores de combustible 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 electromecánicos de combustible tienen esta constitución interna sin importar a qué tipo de clasificación pertenezcan. [1]

Figura 1. Constitución del inyector electromagnético de combustible



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



El combustible llega al inyector e ingresa en él pasando por el microfiltro. Inicialmente el inyector está cerrado, esto es por la acción del muelle de retorno de la válvula obturadora que empuja 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 magnético con la fuerza suficiente para levantar su núcleo magnético, el cual está ligado a la válvula obturadora. Como se explicó antes, este espacio entre la válvula obturadora y su asiento es muy pequeño, además 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 deja de enviar la señal al inyector, el campo magnético de su bobina desaparece, permitiendo al muelle de retorno de la válvula obturadora recupere su posición original y por ende empujar la válvula obturadora contra su asiento, cortando la atomización del combustible.

Los circuitos de inyección controlados por la unidad de control, se pueden conectar de dos maneras.

La primera consiste en alimentar a los inyectores constantemente por uno de sus pines y el sistema controlador conecta y desconecta el lado de GND del circuito. A la inversa, los inyectores pueden estar constantemente conectados a GND mientras que el sistema controlador conecta y desconecta el positivo o la



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

alimentación de tensión 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 GND.

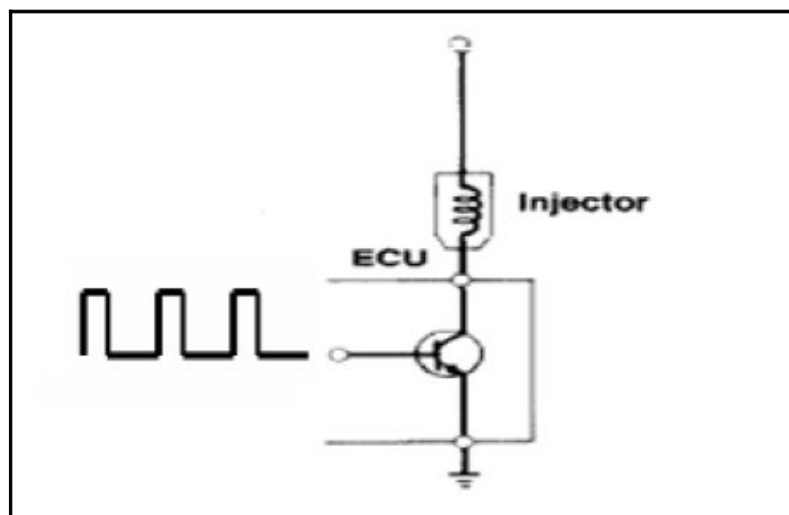
2.1.2 Modulación de ancho de pulso y ciclo útil de funcionamiento

Explicado el funcionamiento de los inyectores, se puede poner foco a la señal que envía la unidad de control hacia el inyector. Se eligió el sistema que conecta y desconecta GND de uno de los pines del inyector.

Dentro de la unidad de control, un microcontrolador 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 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, uno a GND y el otro a un pin del inyector. [2]

Es así que al llegar una señal digital desde el microcontrolador al transistor antes mencionado este conecta el inyector a GND, y cuando corta la señal, el inyector es desconectado.

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



Ahora bien, el microcontrolador maneja el tiempo de la señal mediante la modulación del ancho de pulso (PWM), la cual es la técnica en la que modifica al



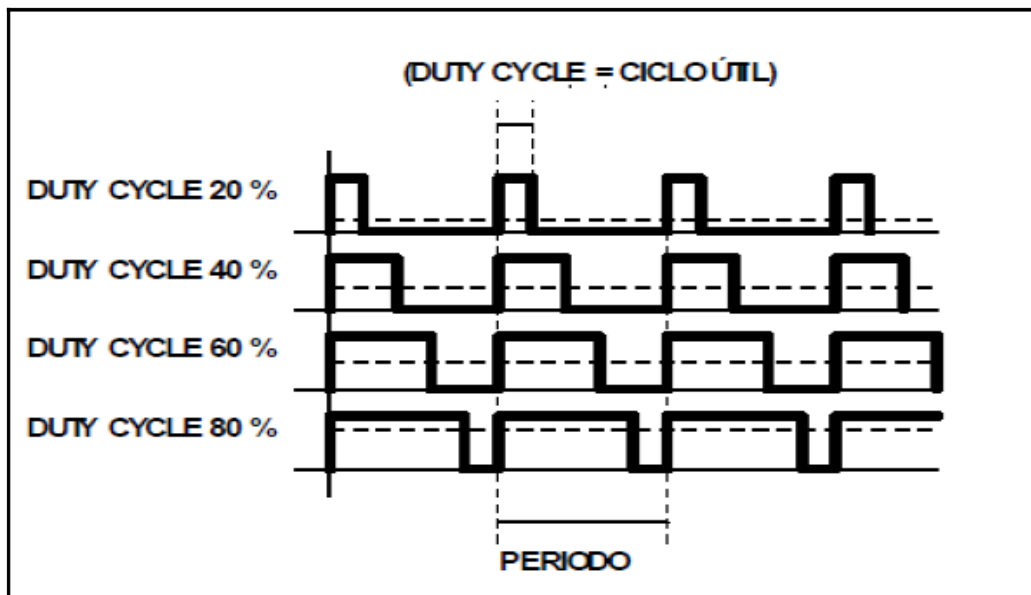
INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 de 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 de ancho de pulso y ciclo útil de una señal digital



2.1.3 Clasificación de los inyectores

Los inyectores se clasifican de acuerdo a sus características:

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



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

2.1.3.1 Clasificación 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 vehículos que actualmente se producen. La ventaja primaria de los inyectores de baja impedancia es el 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 ninguna resistencia externa para limitar la corriente que circulan 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 utilizado porque ha demostrado tener mayor eficiencia que los otros tipos de inyectores con válvula obturadoras diferentes. Una aguja afilada calza sobre su asiento obturando el paso del combustible y cuando se energiza la bobina del inyector, se retira la aguja permitiendo que el combustible se pulverice. Son menos propensos a taparse.

Figura 4 Inyector con válvula de aguja



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



INYECTOR CON VÁLVULA DE 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 barniz provenientes del combustible.

Figura 5 Inyector con válvula de disco



INYECTOR CON VÁLVULA TIPO BOLA

Éstos utilizan una bolilla y un alojamiento hembra como válvula y pulverizador, tiene 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



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



2.1.3.3 Clasificación por conector eléctrico

Varios fabricantes japoneses hacen sus propios conectores, éstos utilizan un enchufe de forma oval no compatible con el resto de los conectores estándares en el mercado

Figura 7 Tipos de conexiones de los inyectores



2.1.3.4 Clasificación por alimentación de combustibles

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 de observar en los sistemas de inyección monopunto.

Figura 8 Tipos de inyectores segun la alimentacion de combustible



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



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 alta impedancia, y los circuitos controladores de corriente 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 daño al inyector.

2.1.4.1 Circuitos de control de voltaje y de corriente

El circuito controlado por voltaje funciona dentro de una 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 transistor para construir la saturación.

El circuito de control de corriente es más complejo que el circuito controlado por voltaje porque como su nombre lo 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 2 a 6 amperes, una vez que la válvula obturadora del inyector está abierta, el flujo de corriente es reducido considerablemente para el resto de la duración del pulso, esto es para proteger al inyector de sobrecalentamiento. Este proceso es correcto ya que se necesita muy poca corriente para tener al inyector abierto con respecto a la corriente que se necesita en su apertura.

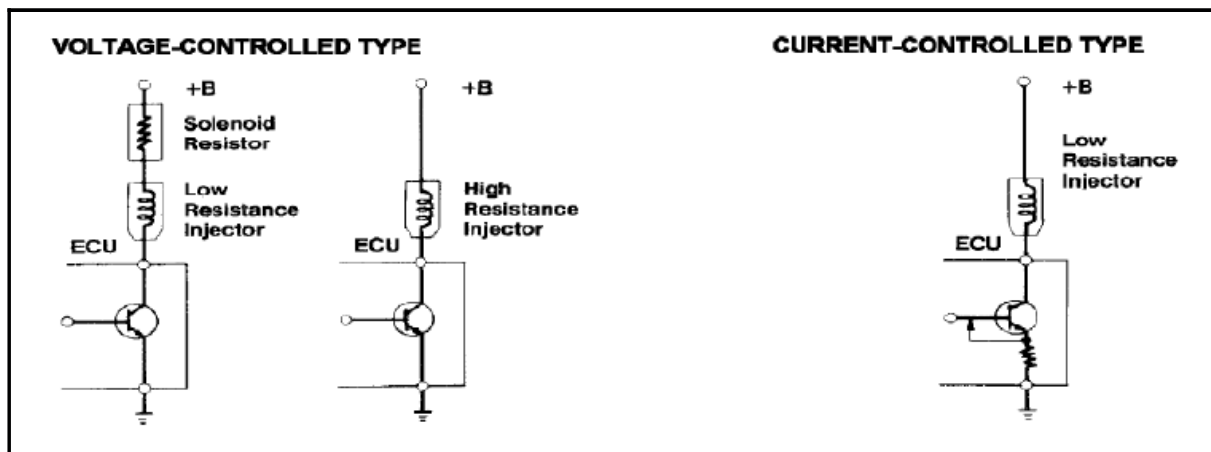


INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Hay un par de métodos de reducción de 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 9**. La ventaja de el circuito de control de corriente es el corto periodo de tiempo para abrir el inyector. Esto es el 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 al inyector abierto.

Figura 9 Circuitos Controladores de Inyectores



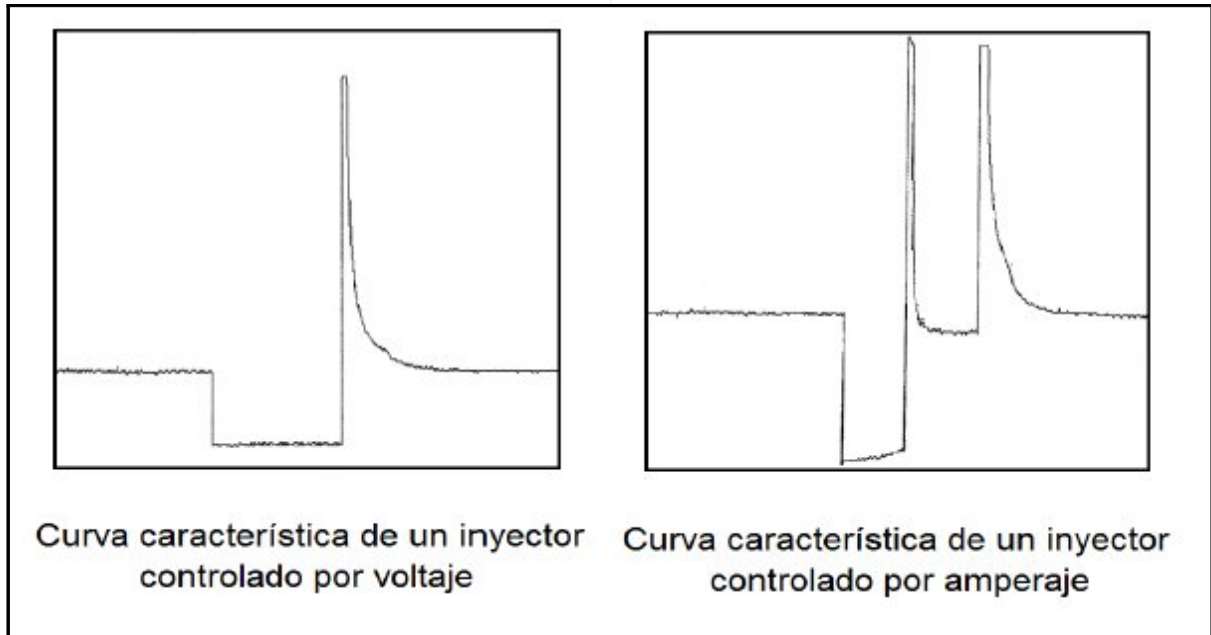
2.1.5 Curva característica del inyector

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 10. Curva característica del inyector



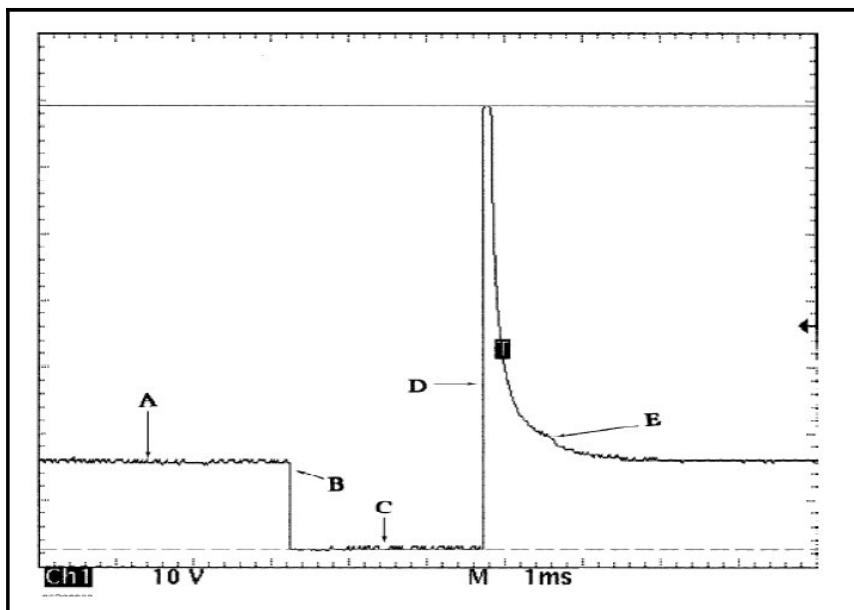
INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"



2.1.5.1 Interpretación de la señal de un inyector controlado por voltaje

La **figura 11** muestra la curva característica de un inyector controlado por voltaje, con un pin conectado permanentemente a positivo y el segundo pin conecta y desconecta GND.

Figura 11. Curva característica de un inyector controlado por voltaje





INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

El punto “A” es donde el voltaje se suministra al inyector. Aunque la tensión nominal de funcionamiento es de 12 voltios, una tensión de una buena carrera en caliente suele ser de más de 13 voltios. Este punto, comúnmente conocido como tensión a circuito abierto, es crítico porque en caso de haber un déficit de voltaje, el inyector no consigue suficiente corriente de saturación.

El punto “B” es donde el sistema de control completa el circuito con GND. La forma de onda en este punto debe ser limpia, 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.

El punto “C” representa la caída de voltaje a través del devanado del inyector, este punto debe estar muy cerca de GND (referencia del osciloscopio), pero no debe tocar GND, esto se debe a que el transistor que controla el circuito del inyector tiene una pequeña resistencia eléctrica característica. Cualquier desplazamiento significativo de GND (referencia del osciloscopio) es un indicativo de un problema en el circuito de GND 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 GND, un cortocircuito, 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 flujo de corriente a través de las mismas. Cuanto más sea el flujo de corriente y mayor el número de vueltas, mayor es el potencial para el retroceso de la tensión. Este pico inductivo debe ser limpio (lo más vertical posible), de no ser así esto indica que el bobinado del inyector es débil.

Normalmente, se debería apreciar un mínimo de 35 voltios en la parte superior de el punto “D”. Si se observa este valor, es porque el circuito que controla al inyector contiene un diodo zener utilizado para fijar este voltaje. Si no se utiliza un diodo zener en el circuito el pico puede superar este valor.

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, ya que como se detallo 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 indicará un



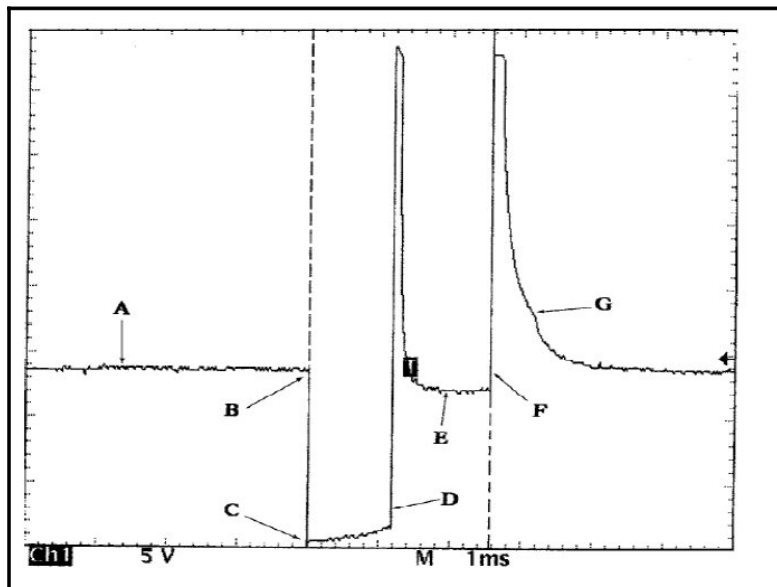
INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 12** muestra el espectro o la curva característica de un inyector controlado por corriente, con un pin conectado permanentemente a positivo y el otro conecta y desconecta GND.

Figura 12. Curva característica de un inyector controlado por corriente



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



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 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 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 puede por la acción mecánica de cierre de 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 es 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 nafta, se acumulan en el interior del inyector; en el microfiltro, en la válvula obturadora y en su asiento o toberas de salida. Dichos sedimentos se cristalizan, como consecuencia de las diferentes temperaturas a las que está sometido el motor

Figura 13. Atomización correcta e incorrecta de combustible





INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 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 inadecuado funcionamiento del motor. Por estas razones es necesario que se les dé el adecuado mantenimiento a los inyectores.

Existen dos métodos para limpiar o dar mantenimiento a los inyectores: Limpieza sin retirar los inyectores del motor y limpieza retirando los inyectores del motor.

El método de limpieza sin retirar los inyectores del motor consiste en hacer funcionar a los mismos en su lugar de trabajo y hacerle circular por ellos un líquido limpiador mientras funciona el motor. Este método consiste en agregar un líquido limpiador al tanque de combustible del vehículo y que el mismo funcione normalmente.

El método de mantenimiento retirando los inyectores, consiste en retirar los inyectores del motor y realizar diferentes rutinas de limpieza ultrasónica para después ser probados en un banco para poder determinar si los mismos funcionan de manera correcta o no.

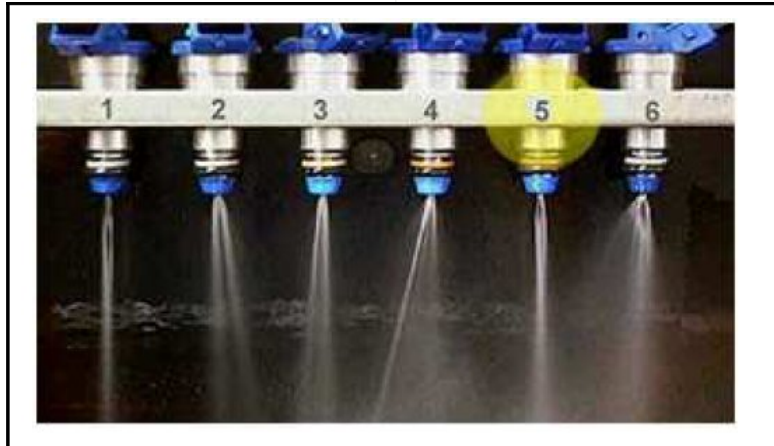
2.1.6.1 Mantenimiento de los inyectores en un banco de pruebas y limpieza por ultrasonido

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 14 Patrones correctos de Atomización



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



Los inyectores de la **figura 14** muestran un ejemplo de una incorrecta atomización de combustible, excepto el quinto inyector. Esto es posible observarlo en un banco de pruebas. Aunque el vehículo con estos inyectores funciona regularmente bien, en realidad la marcha mínima 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, o si el inyector queda abierto en ausencia de señal de inyección.

PRUEBA DE ATOMIZADO: Consiste en observar la calidad del atomizado y el ángulo de inyección, el cual no debe ser superior a 30 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:



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 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 15 Limpieza ultrasonica de inyectores



Método de mantenimiento por medio de un banco de pruebas y limpieza por ultrasonido

- Se retiran los inyectores de su rampa de inyección
- Se utiliza un líquido limpiador no inflamable, especial para esta tarea como por ejemplo ULTRA CLEANER 500 de WHURT.
- A la atmósfera no se envían gases productos de la combustión, ya que no se combustiona el líquido limpiador.
- Se puede observar la pulverización del inyector durante el momento de la prueba.
- Se introducen los inyectores en una cuba ultrasónica que limpia efectivamente los depósitos o taponamientos en el inyector
- Se somete los inyectores a un generador de pulsos que se asemejan a los que envía la unidad de control del motor tanto en la prueba como en la limpieza ultrasónica.
- Las pruebas se realizan para una comparación precisa de tolerancia de inyección de combustible que proporciona el fabricante de inyectores como máximo de un 10% de diferencia entre cada inyector.
- Mantenimiento relativamente más costoso, pero más efectivo.

2.1.6.2 Consecuencias de un mal trabajo de mantenimiento



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Luego de un servicio de limpieza de inyectores en un taller, hay una forma de comprobar que el trabajo esté mal hecho. Los síntomas más comunes son: Demasiado consumo de combustible o que un inyector quede abierto. En el último caso el cilindro se llena de combustible y puede trabar el motor en el momento de la ignición o lavar el cilindro, este problema puede ocasionar serios daños al motor.

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 pueden dañar el catalizador del vehículo.

2.2 INTRODUCCIÓN A LA LIMPIEZA POR ULTRASONIDO

La necesidad de sistemas de limpieza para la eliminación de contaminantes está presente en diversas ramas, recorriendo los servicios industriales hasta llegar a los hospitalarios, ya sea para la mantención de equipos y dispositivos, en la limpieza de superficies o en los procesos de limpieza durante el propio tiempo de la fabricación.

La tecnología de limpieza ultrasónica hace uso de la **cavitación** y de la transferencia de tiempo, fenómenos inducidos por la propagación de ondas acústicas de alta intensidad, con frecuencia por encima de lo audible (≈ 20 kHz) en medios líquidos. Es el más eficiente de los métodos de limpieza no abrasivos y que no utilizan disoluciones químicas del sustrato. Asociada a otros métodos -tales como la limpieza alcalina, ácida y por emulsión- la limpieza ultrasónica es capaz de remover contaminantes complejos sin comprometer la integridad o dañar la superficie a limpiar, siendo particularmente efectiva en la limpieza de objetos con cavidades, agujeros y/o zonas huecas. En la actualidad es muy utilizada en las industrias metalúrgica, automovilística, aeronáutica y óptica, para la eliminación de residuos metálicos y grasos.

2.2.1 Principio de funcionamiento del ultrasonido

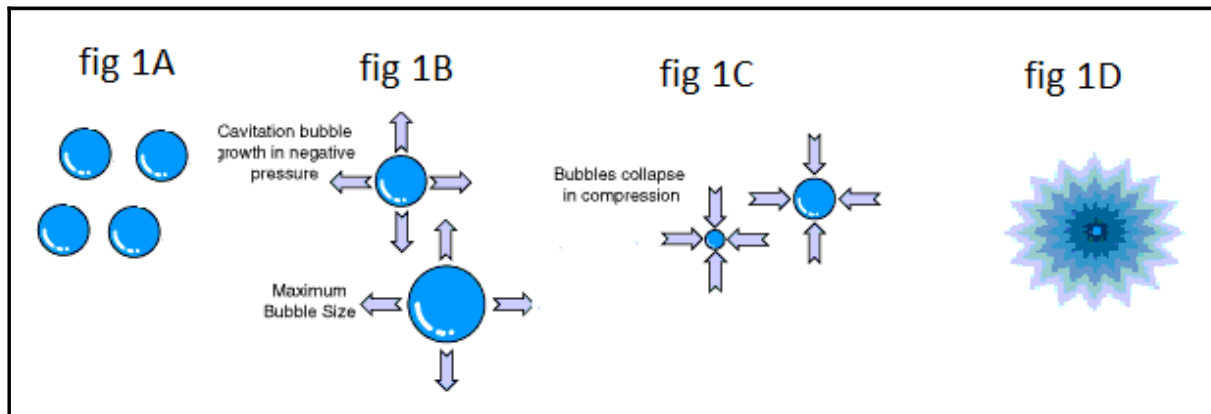
Como ya se mencionó en el apartado anterior, la limpieza ultrasónica hace uso de la **cavitación**, que es la formación de cavidades microscópicas de gas en un líquido. La misma funciona del siguiente modo:

Ante la presencia de una onda longitudinal ultrasónica en el líquido se crea una infinidad de burbujas de gas (fig. 1A). Durante la fase de dilatación (fig. 1B) las burbujas de gas se agrandan lo máximo posible hasta llegar a la fase de compresión ultrasónica (fig. 1C), donde se ejerce una enorme presión sobre las burbujas recién expandidas. Esto provoca un

aumento de la temperatura del gas presente en el interior de cada burbuja hasta que éstas colapsan e implosionan expulsando una gran cantidad de energía (fig. 1D).

La energía provocada por la implosión de las burbujas de gas golpea la superficie del elemento a limpiar -interactuando tanto física como químicamente- removiendo la suciedad de la superficie sin deteriorarla.

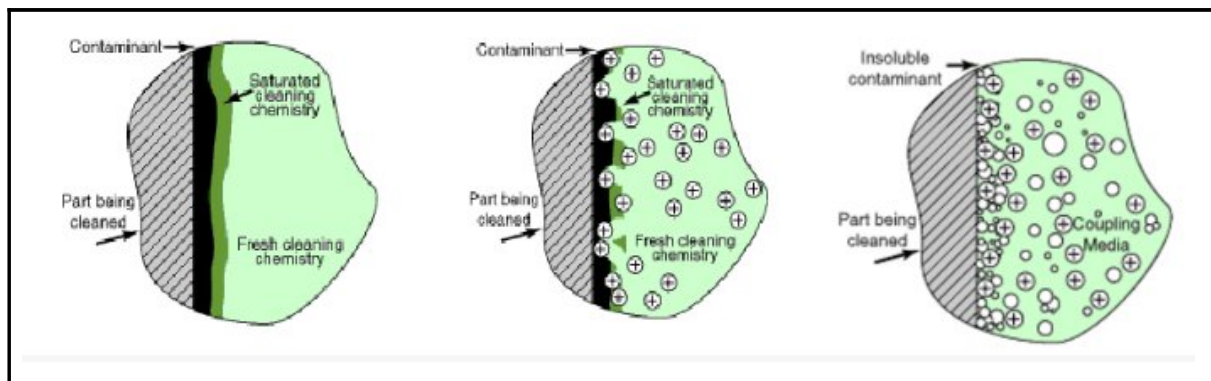
Figura 16 Cavitación



2.2.2 Etapas de limpieza

La cavitación ultrasónica e implosión desplazan eficazmente la capa saturada a fin de posibilitar que la química entre en contacto con el contaminante para ser eliminado. Esto es especialmente beneficioso tanto en las superficies pequeñas e irregulares como también en elementos que poseen cavidades pequeñas (Figura.17).

Figura 17. Etapas de limpieza





INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

2.2.3 Cavitación acústica

En un líquido absolutamente puro, libre de gases diluidos y heterogeneidades, la presión negativa necesaria para inducir la formación de cavidades es elevadísima. Tal es así que el orden de la tensión de ruptura (“tensile strength”) del líquido es aproximadamente -270 bar en el caso del agua (1 bar \approx 0,98 atmósfera). Sin embargo, en líquidos ordinarios, algunos bares de presión negativa (fácilmente proporcionados por transductores piezoeléctricos) son suficientes para generar cavidades a partir de micro burbujas, gases disueltos y la falta de homogeneidades.

Cuando se induce la propagación de una onda mecánica (como por ejemplo, ultrasonidos) en un medio líquido, éste es sometido a un diferencial de presión alternado que genera ciclos de expansión y compresión de acuerdo con la frecuencia y la amplitud de la onda.

En los ciclos de expansión (diferencial de presión negativa), micro-burbujas, gases disueltos y falta de homogeneidad pueden originarse cavidades que van a oscilar en tamaño, de acuerdo con la frecuencia de las compresiones y la dilatación que se suceden y que crecen por la difusión rectificada. Al alcanzar un tamaño crítico, donde estas cavidades entran en resonancia con la frecuencia de la onda mecánica, puede generarse un rápido crecimiento de su volumen. Esto podría provocar que la cavidad flote, implompe o bien que se establezcan las oscilaciones, lo cual depende tanto de su relleno de gases y/o vapores, como de los parámetros del líquido y de la excitación mecánica. Así, el fenómeno de la cavitación acústica es llamado de *efervescencia* cuando es inducido por flotación; de *cavitación estable* si ocurre precisamente cuando se estabilizan las oscilaciones de las cavidades; y de *cavitación transitoria* si se genera la implosión de las cavidades. La cavitación transitoria es el fenómeno explorado en los procesos de limpieza por ultrasonidos; la cavitación estable colabora con el proceso de limpieza (agitando el medio líquido); y la efervescencia colabora con la desgasificación (aumentando la intensidad de la cavitación transitoria).

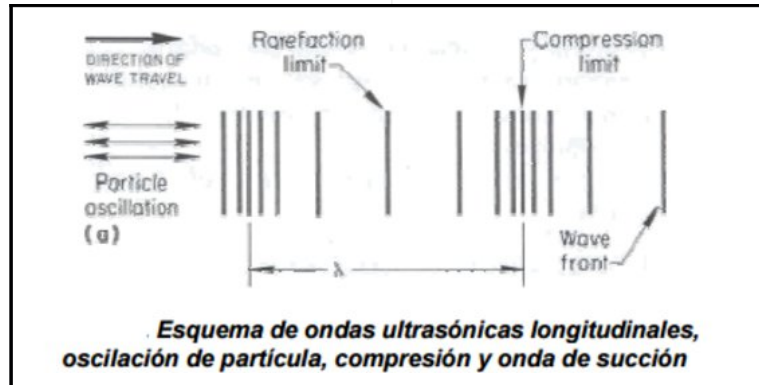
2.3 ONDAS LONGITUDINALES ULTRASÓNICAS

Algunas veces llamadas ondas de compresión, las ondas longitudinales, son el tipo de ondas ultrasónicas más utilizadas en la inspección de materiales. Éstas viajan a través de los materiales como series alternadas de compresión y dilatación en las cuales las partículas transmiten las vibraciones de regreso y la dirección de viaje de las ondas (**Figura 18**).

Figura 18.



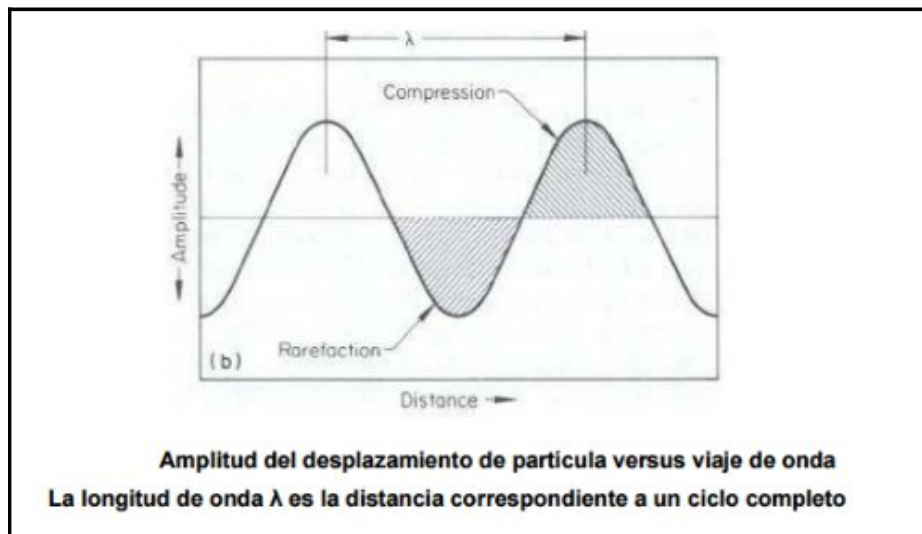
INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"



En una observación gráfica (**Figura. 19**) de la amplitud del desplazamiento de partícula versus viaje de onda en conjunto con la onda de dilatación a través de una cresta de compresión, la distancia de una cresta a la otra (que es igual a la distancia de un ciclo completo de dilatación y compresión) es la longitud de onda λ . El eje vertical puede representar presión en lugar de desplazamiento de partícula. El eje horizontal puede representar tiempo en lugar de distancia de viaje. Esto debido a que la velocidad del sonido es constante en un material dado, además de que esta relación es usada en mediciones en inspecciones por ultrasonido.

Las ondas longitudinales ultrasónicas se propagan rápidamente en líquidos y gases como también en sólidos elásticos. La velocidad de una onda longitudinal ultrasónica es de 6000 m/s en aceros, 1500 m/s en agua y 330 m/s en aire.

Figura 19



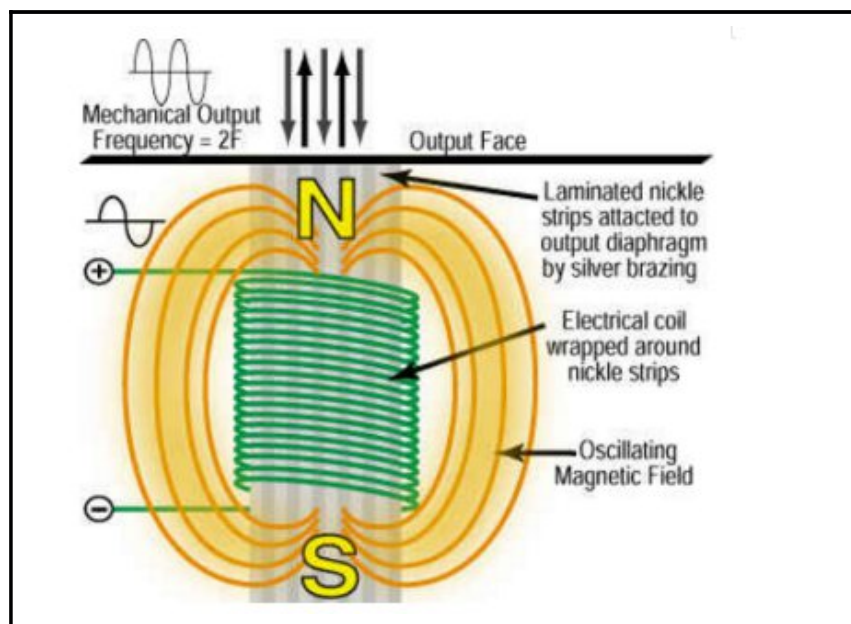
2.4 TRANSDUCTORES ULTRASÓNICOS

Hay dos tipos de transductores que generalmente se utilizan para ultrasonido: los magnetostrictivos y los cristales piezoeléctricos.

2.4.1 Transductores Magnetostrictivos (TM)

Los TM utilizan el principio de la *magnetostricción* en el que ciertos materiales se expanden y contraen al ser sometidos a un campo magnético variable. Dicho campo es provocado por la señal eléctrica proveniente del generador ultrasónico que pasa a través de una bobina de alambre (**Figura. 20**) y se utiliza para producir vibraciones mecánicas que actuarán sobre un cuerpo sumergido en líquido para su limpieza.

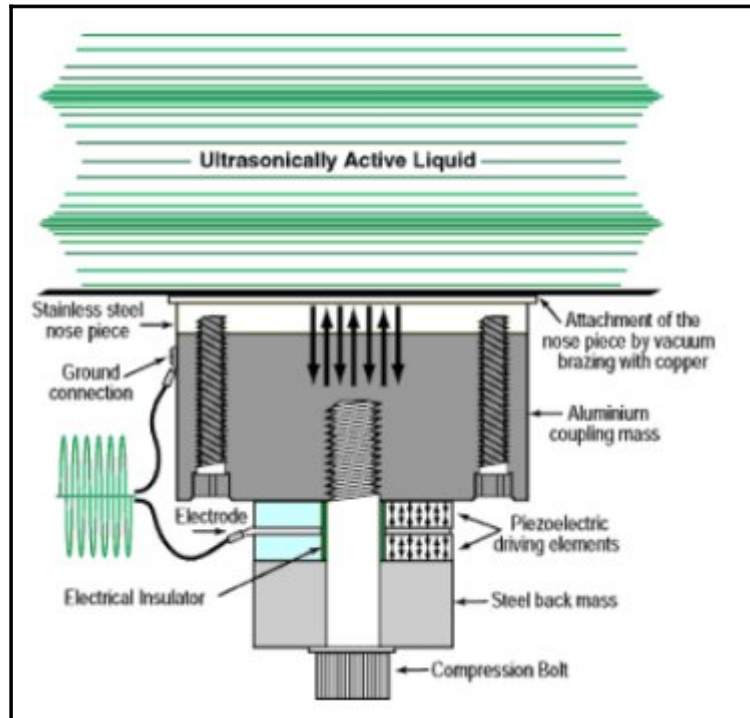
Figura. 20 Campo magnético en una bobina



2.4.2 Transductores Piezoeléctricos (TP)

Los TP convierten una señal eléctrica variable en una vibración mecánica, debido al efecto piezoeléctrico. Tal efecto se produce cuando un cristal se deforma físicamente ante la excitación de una señal eléctrica -proveniente del generador ultrasónico- suministrada al transductor piezoeléctrico provocando la vibración del mismo. Esta vibración es amplificada por la masa de resonancia del transductor y dirigida al líquido a través de una placa radiante (**Figura. 21**).

Figura 21. Transductores Piezoeléctricos



2.5 LÍQUIDOS / QUÍMICOS

Si se utiliza correctamente la energía ultrasónica, ésta aumenta significativamente la velocidad y la eficacia del proceso de lavado por inmersión. Para ello es necesario que los químicos de limpieza acuosa sean los correspondientes para esta tarea específica, como por ejemplo ULTRA CLEANER 500 de WHURT.



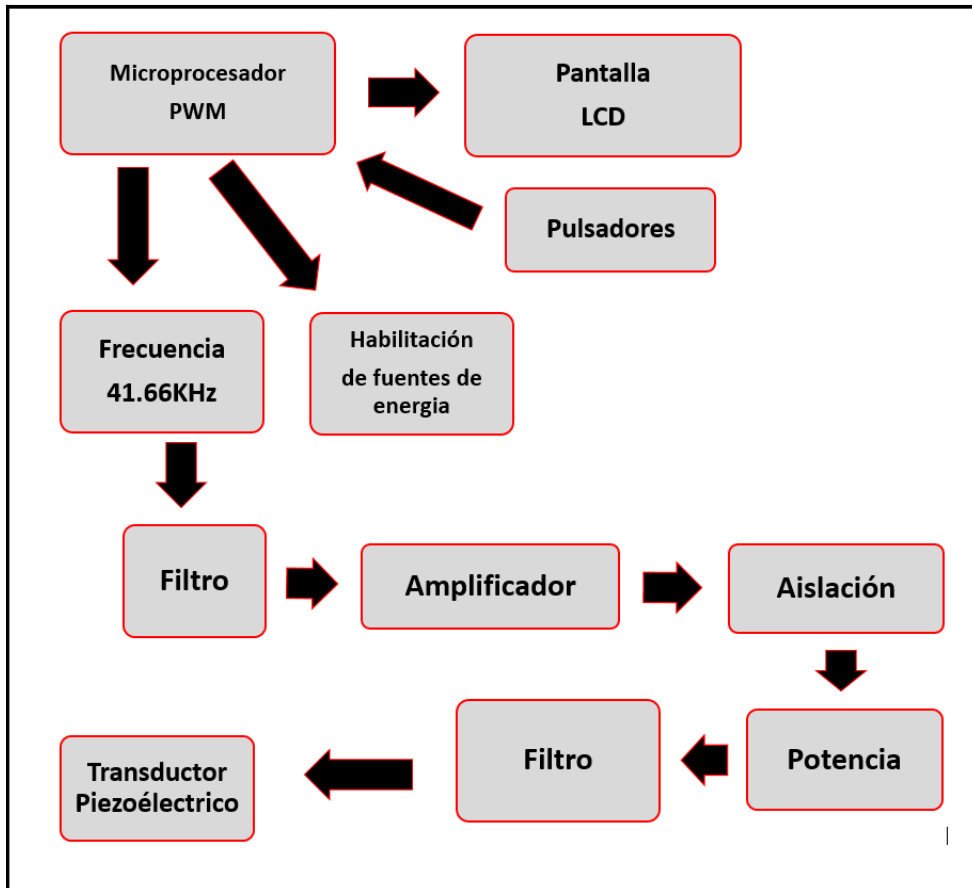
CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

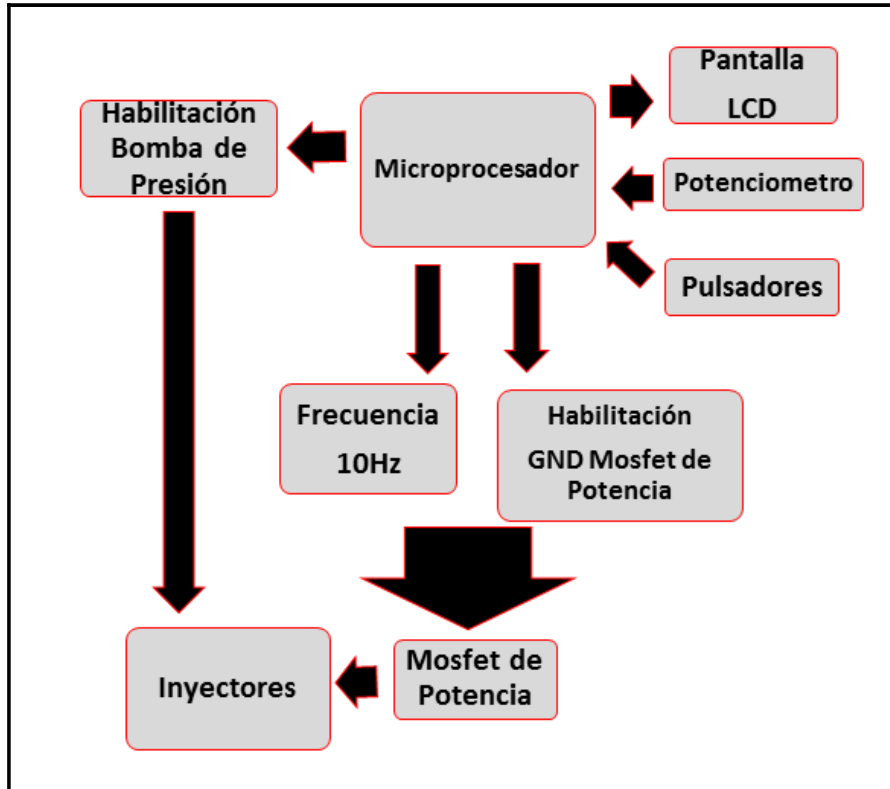
En los siguientes diagramas de bloques se representan:

3.1.1 Funcionamiento general del sistema ultrasónico

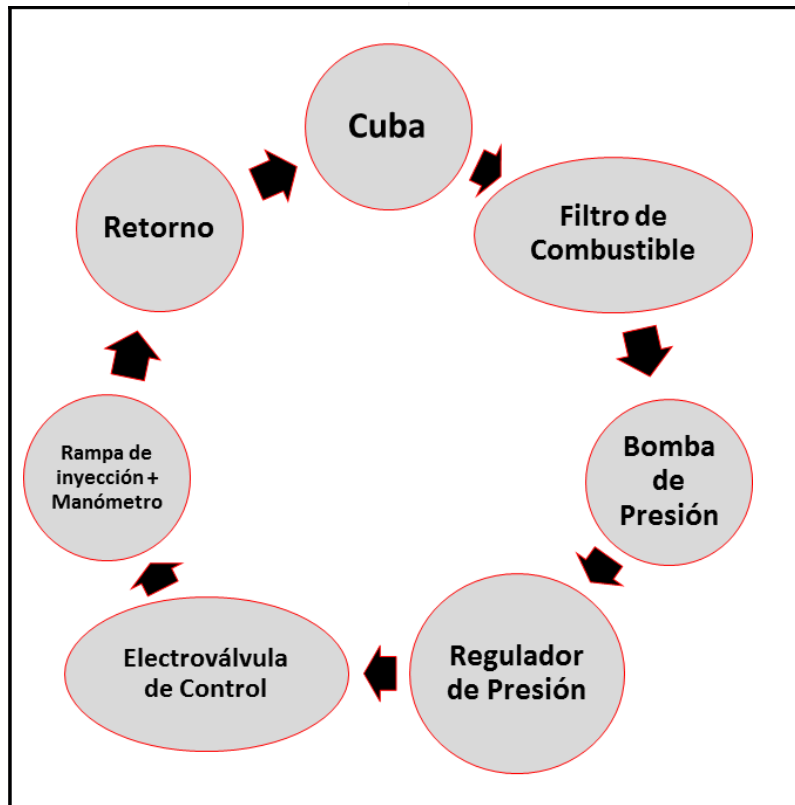




3.1.2 Funcionamiento general del sistema de inyección



3.1.3 Funcionamiento general del sistema hidráulico



3.2 FRECUENCIA DE TRABAJO

Una vez adquirido el transductor piezoeléctrico a utilizar, es necesario determinar la frecuencia de resonancia del mismo y su circuito equivalente, con estos datos se podrán realizar mediciones y simulaciones para aumentar la eficiencia de los circuitos posteriores a los transductores utilizados en la etapa de salida.

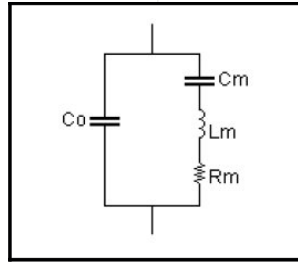
3.2.1 Circuito equivalente de un cristal piezoeléctrico

En la (Figura. 22) se puede observar la forma simplificada del circuito equivalente de un resonador piezoeléctrico.

Figura. 22 circuito equivalente de un cristal piezoeléctrico



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



Dado que los cuatro elementos equivalentes que constituyen el filtro piezoeléctrico, inductancia L_m , resistencia R_m y capacitores C_m y C_o no existen como tales, sus valores deberán ser evaluados u obtenidos a partir de cuatro mediciones indirectas diferentes. Estas mediciones pueden ser llevadas a cabo en diferentes formas. Un método es el de medir las siguientes cantidades:

- La frecuencia de resonancia f_r .
- La frecuencia de antiresonancia f_a .
- La resistencia R_m a la frecuencia de resonancia.
- La capacidad C_{1f} a frecuencias muy por debajo de f_r (If significa 'low frequency').

La f_r así como también la resistencia R_m en resonancia pueden ser medidas directamente con el circuito de la **(Figura 24)**.

Si la resistencia serie R_1 es mucho mayor que la impedancia del resonador a f_r . La impedancia de resonancia está representada por la resistencia R_m en paralelo con el capacitor C_o **(Figura 23)** cuya impedancia es muy alta.

$$V_2 = \frac{R_m}{R_1 + R_m} \times V_1$$

La f_a puede ser medida con el circuito de la **(Figura 24)** bajo la condición de que R_2 sea mucho menor que la impedancia del resonador a f_a .

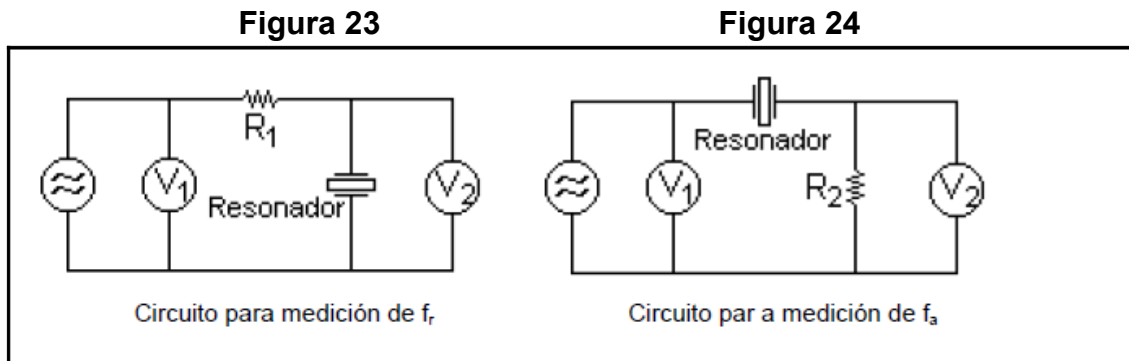
Cuando se mide la capacidad del resonador a una frecuencia muy por debajo de la frecuencia de resonancia, por ejemplo 1KHz, se encuentra el valor C_{1f} que es la suma de C_o y C_m .

$$C_{1f} = C_o + C_m$$



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Una vez realizadas las mediciones de f_r , f_a , R_m y C_{1f} se puede, finalmente, evaluar cada uno de los cuatro elementos representativos del resonador.



3.2.2 Cálculo de parámetros

A continuación se detallan los pasos seguidos para obtener los parámetros del circuito equivalente del cristal piezoeléctrico CH-S42-50x2.6, estos pasos requieren el uso de un osciloscopio, un generador de señal y un multímetro.

- 1) Primero se montó el circuito de la (**Figura 23**), utilizando un potenciómetro de 250kohm.
- 2) En la entrada del circuito se inyectó una señal senoidal de 40khz con una amplitud de 5v, luego se conectó la punta del osciloscopio (ch1) en la ubicación de V_1 , obteniendo una tensión $V_1=5V$ (la amplitud del generador) y la otra punta del osciloscopio (ch2) en la posición de V_2 , a continuación se fue variando la posición del potenciómetro hasta que se observó que la tensión V_2 era igual a la mitad de V_1 , es decir $V_2=2.5V$. Luego de esto se desmontó el circuito y se midió el valor del potenciómetro con el multímetro, este valor es la impedancia de resonancia del cristal, en este caso fue de $R_m=20$ ohm. La frecuencia de resonancia (f_r) se obtiene moviendo la frecuencia del generador muy próxima a la frecuencia de trabajo hasta el punto en el que las señales se encuentren en fase y con sus amplitudes al máximo, para realizar esta medición es conveniente utilizar el osciloscopio en modo chop, en este caso se obtuvo $f_r=41,6Khz$.
- 3) Cálculo de la frecuencia de antiresonancia, para poder calcular la misma se montó el circuito de la (**Figura 24**), y se realizaron la mediciones de una manera análoga a la anterior, pero con la salvedad que el potenciómetro utilizado debe ser menor que la impedancia de resonancia del cristal, por lo que se seleccionó un potenciómetro de 10Kohm.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Para resumir las mediciones que se realizaron sobre el piezoeléctrico CH-S42-50x2.6 arrojaron los siguientes datos:

$$f_r = 41.66\text{KHz} ; f_a = 43.66 \text{ kHz} ; C_{1f} = 200\text{pf} ; R_m 20 \text{ ohm}$$

Finalmente a partir de estos datos se procedió a calcular las constantes del circuito equivalente del cristal piezoeléctrico.

$$\frac{C_0}{C_m} = \frac{(f_r^2)}{(f_a^2 - f_r^2)} \rightarrow \frac{C_0}{C_m} = \frac{(41.66^2)}{(43.66^2 - 41.66^2)} \rightarrow \frac{C_0}{C_m} = 10.2$$
$$C_m = \frac{C_{1f}}{1 + \frac{C_0}{C_m}} \rightarrow C_m = \frac{200}{1 + 10.2} \rightarrow C_m = 17.8 [PF]$$
$$L_m = \frac{1}{\omega_r^2 * C_m} \rightarrow L_m = \frac{1}{(2 * \pi * 41.66 * 10^3)^2 * 17.8 * 10^{-12}} \rightarrow L_m = 819.9 [mH]$$
$$C_0 = C_{1f} - C_m \rightarrow C_0 = 200 - 17.8 \rightarrow C_0 = 182.2 [PF]$$

3.3 MICROCONTROLADOR

Se decidió utilizar un microcontrolador ATMEGA 328p-pu, el cual estará montado en una placa maestra acondicionada con todo lo necesario para poder proveer habilitaciones a todos los actuadores del equipo, alimentación a la etapa de preamplificación (AB) y a la bomba de presión, potencia a la paca del ultrasonido, indicadores visuales en pantalla y a través de LEDs, acondicionamiento de señal tanto para la placa de ultrasonido (41.66KHz) como para los pulsos (PWM) de inyección, entre otras prestaciones.

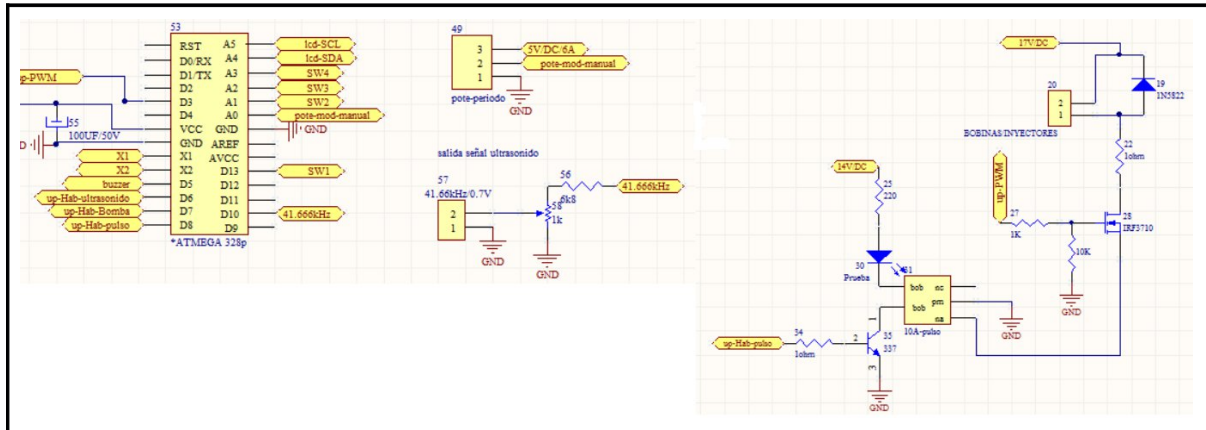
Los pulsos PWM de inyección que genera el microcontrolador tienen una amplitud de 5V y una frecuencia constante de 10Hz, la misma es inyectada a través de una resistencia de 1Kohm a un transistor mosfet que actúa como llave para energizar las bobinas de los inyectores.

Dependiendo de la opción tomada por el usuario, el microcontrolador genera la señal PWM y habilita la puesta a masa para el transistor mosfet de potencia, el cual actúa como llave para el accionamiento de los inyectores, además el microcontrolador cambia su ciclo de trabajo mediante una rutina pregrabada en su



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

interior o mediante la lectura del potenciómetro ubicado en el tablero general. En el siguiente esquemático se puede observar el circuito.



Esquemático PWM

3.4 PREAMPLIFICADOR ULTRASONÍCO

Debido a que la señal del microcontrolador no posee una amplitud suficiente para excitar a los transistores mosfet de potencia -los cuales necesitan una tensión mínima de 10V para su funcionamiento en conmutación-, la misma debe ser amplificada. Para ello se utiliza un amplificador **clase AB (Figura. 25)** dado que éste no posee muchos elementos de hardware, además de que su implementación es rápida y posee un rendimiento del 70%.

3.4.1 Cálculo de potencia y rendimiento del preamplificador ultrasónico

Cálculo en modo estable

En modo estable es posible considerar a los capacitores como un circuito abierto y que las corriente de base de los transistores es despreciable comparada con la de los colectores.

Por otra parte, es sabido que por ser una configuración complementaria, la tensión en V_{out} es la mitad. Entonces la tensión en el colector de Q1 está a $V_{cc}=17v$ y la tensión en el colector de Q2 está a GND o cero voltios, pudiéndose obtener $V_I=8.5v$ y calcular I_O .

Cálculo de potencia y rendimiento del preamplificador clase AB



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

$$I_0 = \frac{V_{out}}{R_5 + R_6} = \frac{8.5}{100 + 22} \rightarrow I_0 = 0.069mA$$

Ahora podemos calcular V_{BE4}

$$V_{B4} = I_0 * R_6 = 0.069(22) \rightarrow V_{B4} = 1.53V$$

$$V_{C4} = V_{out} - V_{be} \text{ (PNP)} = 8.5 - 1.4 \rightarrow V_{C4} = V_{B2} = V_{E3} = 7.1V$$

$$V_{E4} = V_{B4} - V_{be} = 1.53 - 0.7 \rightarrow V_{E4} = 0.83v$$

$$V_{CE4} = V_{C4} - V_{E4} = 7.1 - 0.83 \rightarrow V_{CE4} = 6.27v$$

Calculo I_{c4}

$$I_{C4} = \frac{V_{E4}}{R_{E4}} = \frac{0.83}{0.47} \rightarrow I_{c4} = 1.76mA$$

$$V_{B3} = V_{B2} + V_{be} = 7.1 + 0.7 \rightarrow V_{B3} = 7.8V$$

$$I_2 = \frac{V_{B3} - V_{B2}}{R_1} = \frac{7.8 - 7.1}{1} \rightarrow I_2 = 0.7mA$$

Como despreciamos las corrientes de base, podemos decir que I_2 también pasa por R_2

$$V_{R2} = I_2 * R_2 = 0.7 * 2.7 \rightarrow V_{R2} = 1.89v$$

Calculo V_{B1}

$$V_{B1} = V_{B3} + V_{R2} = 7.1 + 1.89 \rightarrow V_{B1} = 8.99v$$

$$V_{CE3} = V_{B1} - V_{B2} = 8.99 - 7.1 \rightarrow V_{CE3} = 1.89v$$

$$V_{R4} = V_{B1} + I_{c4} * R_4 = 8.99 + 1.76(1.8) \rightarrow V_{R4} = 12.15v$$



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"

Calculo de potencias

Potencia entregada por la fuente

$$P_{cc} = V_{cc} * I_{cq} = 17V * 490mA \rightarrow P_{cc} = 8.33W$$

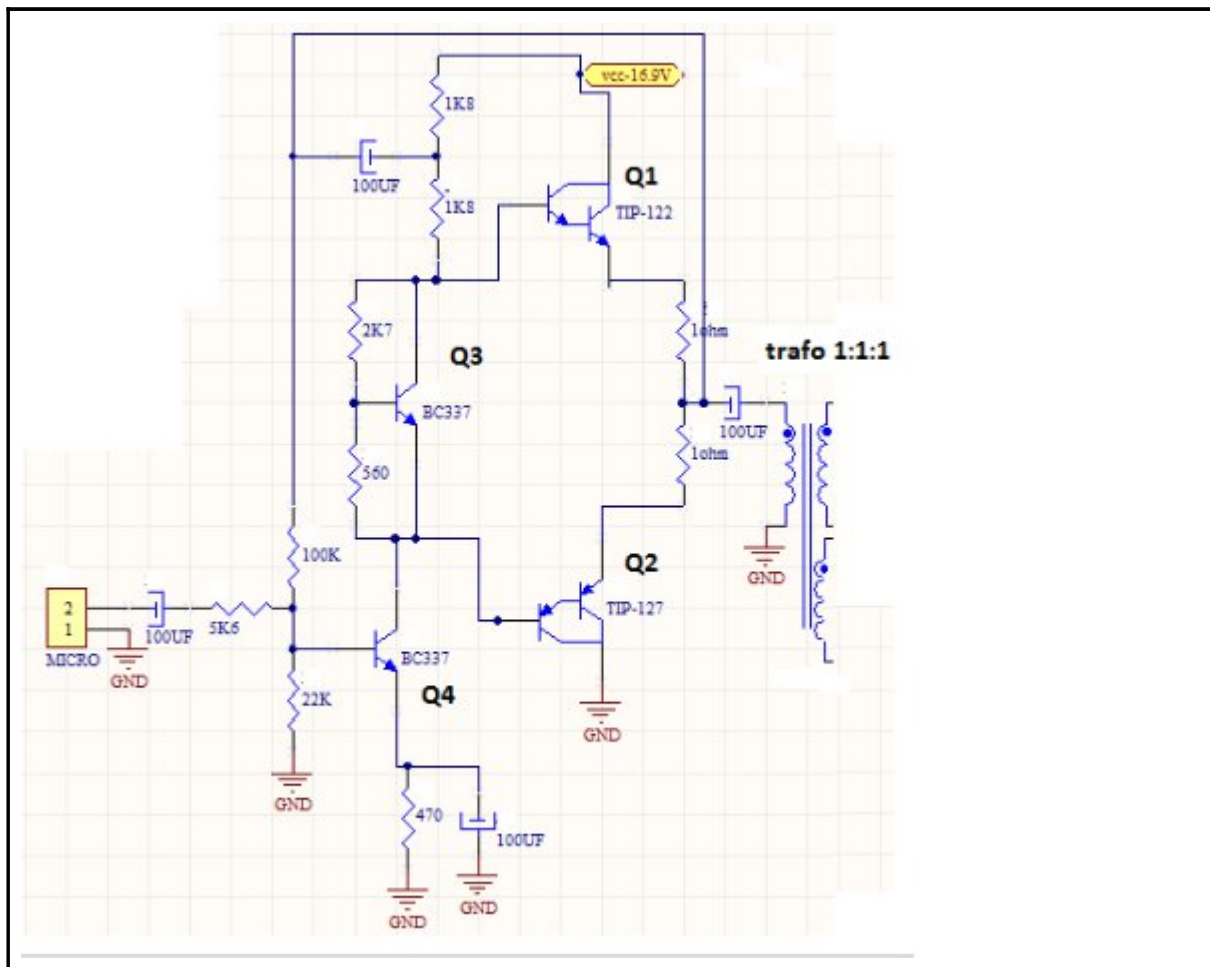
Potencia entregada a la carga

$$P_l = \frac{V_{PP}^2}{8.R_l} = \frac{(10)^2}{8(2.4)} \rightarrow P_l = 5.21W$$

Rendimiento del amplificador

$$Rendimiento = \frac{P_l}{P_{cc}} \times 100 = \frac{5.21}{8.33} \times 100 \rightarrow Rendimiento = 62\%$$

Figura 25 Amplificador AB






INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

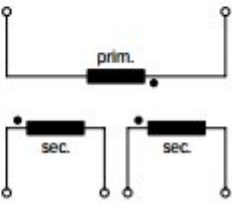
3.5 AISLACIÓN ENTRE CIRCUITOS

Es sumamente necesario separar la etapa de baja potencia con la etapa de alta potencia, ya que en esta última se utilizan tensiones superiores a los 100V y corrientes superiores a 1 Amper. Así, cualquier inconveniente en dicha etapa podría dañar tanto a las etapas anteriores como al microcontrolador. Para evitar que algo así suceda, se utilizó un transformador 1:1:1 de alta frecuencia pudiendo así separar las etapas. El transformador seleccionado es el SCHAFFNER IT233.

Technical specifications	
Nominal operating voltage:	Up to 500V
Operating frequency:	40kHz max.
	500kHz max. for data transmission
Ignition currents:	0.025 to 1A @ 40°C
Rise time:	0.4 to 4.0µs
Test voltage:	$U_{\text{t}}/50\text{Hz}/2\text{s}$ max. according to VDE 110b
Max. partial discharge voltage:	$1.5 \times U_{\text{nom}}$
Temperature range (operation and storage):	-25°C to +70°C (25/70/21)
Flammability corresponding to:	UL 94V-0 listed materials



Typical electrical schematic



3.6 ETAPA DE POTENCIA ULTRASÓNICA

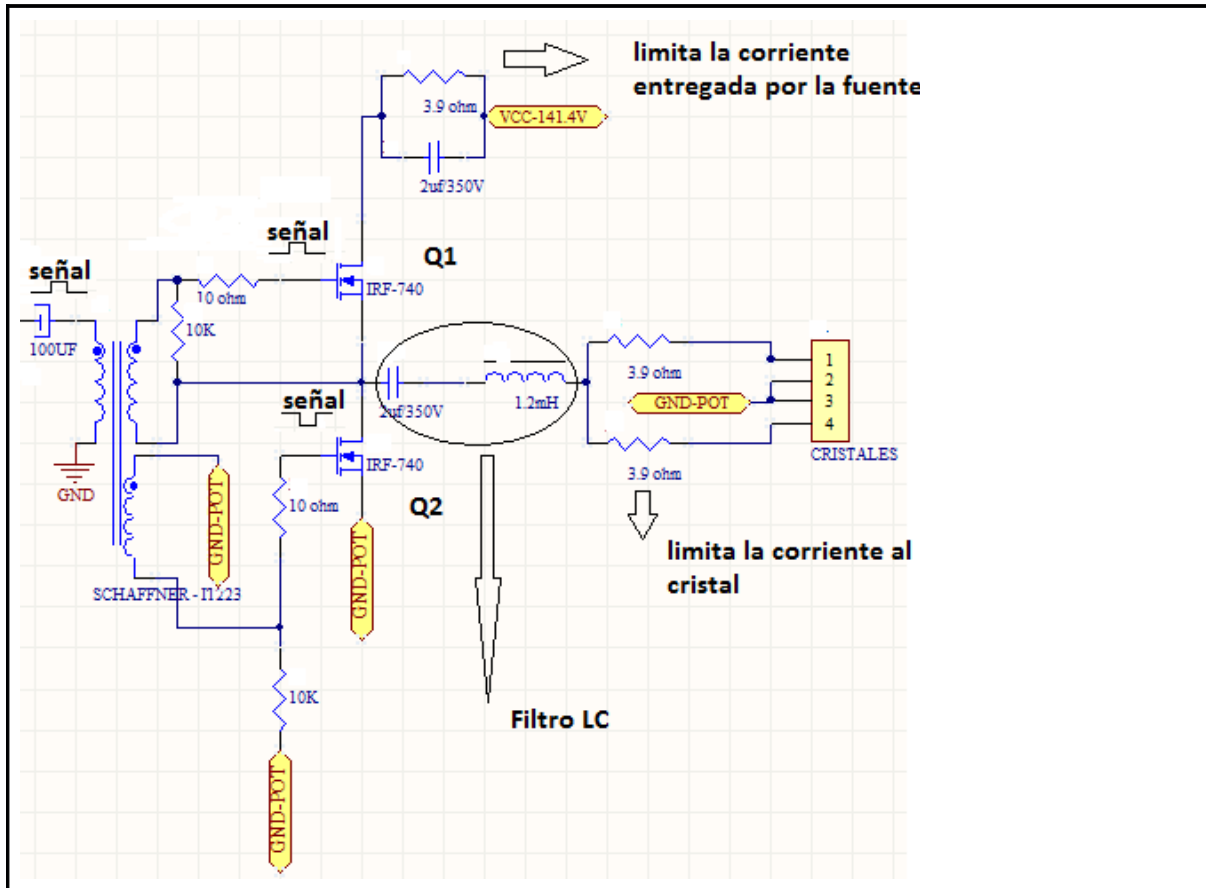
La etapa de potencia está constituida por dos transistores mosfet canal n. Dichos transistores trabajan en conmutación a la frecuencia de 41.66Khz, donde esta señal es dividida a su vez, en dos señales con la misma amplitud pero desfasadas 180°, de modo que cuando un transistor está excitado el otro se mantenga cortado y vice versa.

Cuando el transistor Q1 es excitado, se satura de modo que el pulso de 140 VDC pasa a través del filtro eliminando sus armónicos y dejando pasar sólo la frecuencia fundamental a esa tensión. Toda esa energía en resonancia serie es absorbida por el cristal provocando su deformación, la cual es transmitida a la cuba como una onda seno progresiva disipando su energía. En todo este lapso de tiempo Q2 permanece cortado.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"

Cuando Q2 es excitado, enclava a masa al cristal junto con el filtro de modo que toda capacidad parásita provocada por la conmutación sea descargada lo más rápido posible y el circuito no pierda rendimiento.



3.6.1 Cálculo de potencia y rendimiento en la etapa de potencia ultrasónica



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Potencia entregada por la fuente

$$P_{cc} = V_{cc} * I_{rms}(fuente) = 141V * 1.4A \rightarrow P_{cc} = 197.4W$$

Potencia entregada a la carga

$$P_l = V_{rms} * I_{rms}$$

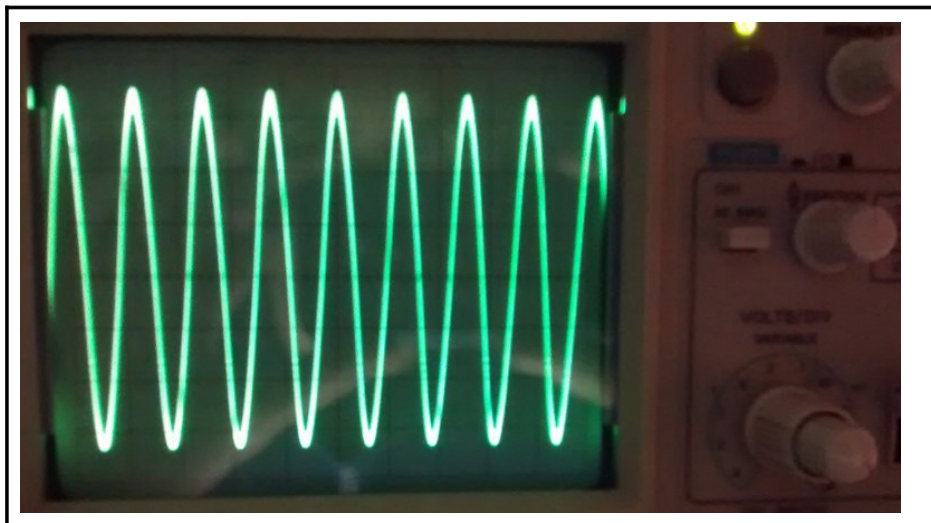
Pero la I_{rms} de la carga es la $\frac{I_{rms}(fuente)}{2}$ por ser dos cargas iguales

Donde $V_{rms} = \sqrt{V_{cm}}$; $I_{rms} = \sqrt{I_{cm}}$

$$V_{cm} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt$$

$f(t)$ es la señal medida sobre el piezoeléctrico, por medio de un osciloscopio con escala máxima de 5V/div y puntas X 10 (**Figura. 26**).

Figura. 26 Señal medida sobre el piezoeléctrico



De la gráfica se obtiene la función $f(t)$.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

$$f(t) = 160v \sin(\omega t) \rightarrow V_{cm} = \frac{1}{T} \int_0^T (160 \sin(\omega t))^2 dt$$

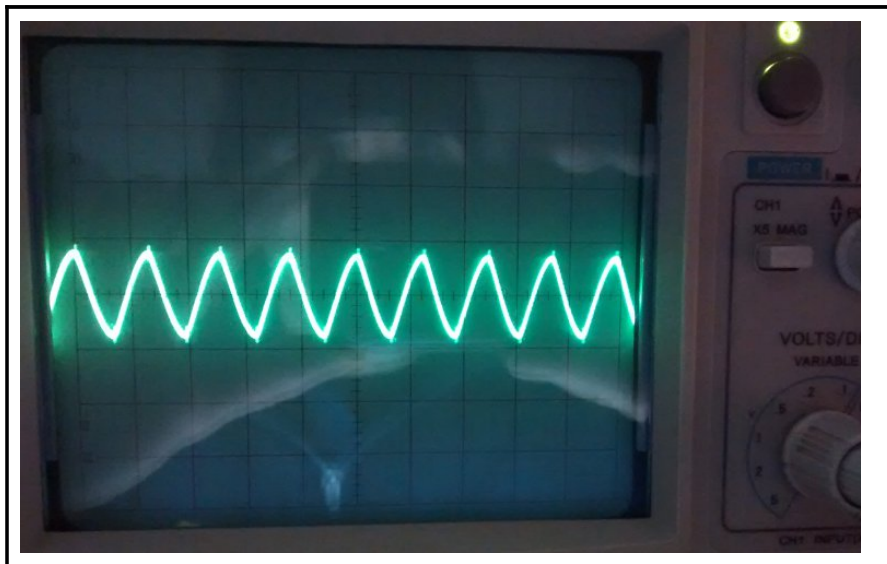
Resolviendo la integral obtenemos

$$V_{cm} = \frac{(160)^2}{2} \rightarrow V_{rms} = \sqrt{\frac{(160)^2}{2}} \rightarrow V_{rms} = 113,13V$$

La corriente Irms se puede calcular de la siguiente manera:

La corriente alterna que circula por el cristal puede ser obtenida como la inversa de la tensión sobre la resistencia. Para ello a través del osciloscopio se medirá la amplitud máxima de la señal en la resistencia de 3.9 ohm situada previamente al cristal piezoeléctrico. Con la amplitud máxima de la señal y dividiendo por el valor de resistencia de 3.9ohm se obtiene la corriente pico. De modo análogo al cálculo anterior se puede hallar la corriente irms de la carga.

Figura. 27: Señal a bornes de resistencia ,escala máxima de 2V/div y puntas X 1.



De modo análogo al cálculo anterior se obtiene:



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"

$$I_{cm} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt$$

$$f(t) = \frac{4v}{3.9A} \sin(\omega t) \rightarrow I_{cm} = \frac{1}{T} \int_0^T (1.02 \sin(\omega t))^2 dt$$

Resolviendo la integral obtenemos

$$I_{cm} = \frac{(1.02)^2}{2} \rightarrow I_{rms} = \sqrt{\frac{(1.02)^2}{2}} \rightarrow I_{rms} = 0.72A$$

$$P_{(xtal)} = V_{rms} \cdot I_{rms} = 113.13 * 0.72 \rightarrow P_{(xtal)} = 81.4W$$

Rendimiento de la etapa de potencia

$$Rendimiento = \frac{\sum P_{carga}}{P_{fuente}} \times 100 = \frac{81.4 + 81.4}{197.4} \times 100 \rightarrow Rendimiento = 82\%$$

Rendimiento del ultrasonido

$$Rendimiento = \frac{\sum P_{carga}}{P_{fuente}} \times 100 = \frac{81.4 + 81.4 + 5.21}{197.4 + 8.33} \times 100 \rightarrow$$

$$\rightarrow Rendimiento del ultrasonido = 82\%$$

3.7 FILTRO ULTRASÓNICO

Para mejorar el rendimiento y el funcionamiento del circuito se coloca un filtro RLC sintonizado a la frecuencia de trabajo 41.66Khz.

Dado que una señal onda cuadrada está compuesta de una señal fundamental más una serie de armónicos, esta señal aplicada al cristal



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

piezoeléctrico hace que el mismo no llegue a su máxima deformación. Esto provoca que el cristal oscile a múltiples frecuencias además de la fundamental, por lo que el rendimiento decae en un 30% aproximadamente. Debido a esto se torna necesario sintonizar un filtro RLC para eliminar todos los armónicos de la señal y dejar pasar solo la señal fundamental generando que el cristal solo resuene a esa frecuencia, pudiendo alcanzar su máxima deformación.

Dado que la frecuencia de resonancia es $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, se seleccionó una bobina de 1.2mH de modo que el capacitor sea de 13nF. También se limitó la corriente al cristal piezoeléctrico por medio de la resistencia de 3.9 ohm. De esta manera la señal cuadrada al pasar por el filtro elimina gran parte de las armónicas que la componen dejando pasar solo la señal fundamental (señal seno) a 41.66Khz. Estos resultados se obtuvieron a partir de un largo proceso de simulación y del ajuste de los componentes para la implementación y la puesta a punto del circuito.

3.8 TRANSDUCTOR UTILIZADO

Para la implementación se seleccionó un cristal piezoeléctrico (**Figura. 28**) cuyas características se detallan a continuación:

1. Pocas calorías.
2. Estabilidad térmica.
3. Frecuencia y capacitancia estática consistente y fuerte.
4. Baja Impedancia de resonancia.
5. Larga vida media.
6. Alto rendimiento: alto Q mecánico, vibración y eficiencia.
7. Alta amplitud.

Por todas estas características es ampliamente utilizado en un variedad de equipos de limpieza.

Número de modelo: CH-S42-50x2.6

Frecuencia de resonancia (kHz): 40 ± 1

Capacitancia estática (PF): $8000 \pm 10\%$

Impedancia de resonancia (Ω): $\leq 30\Omega$

Diámetro * Altura: 50*2.6

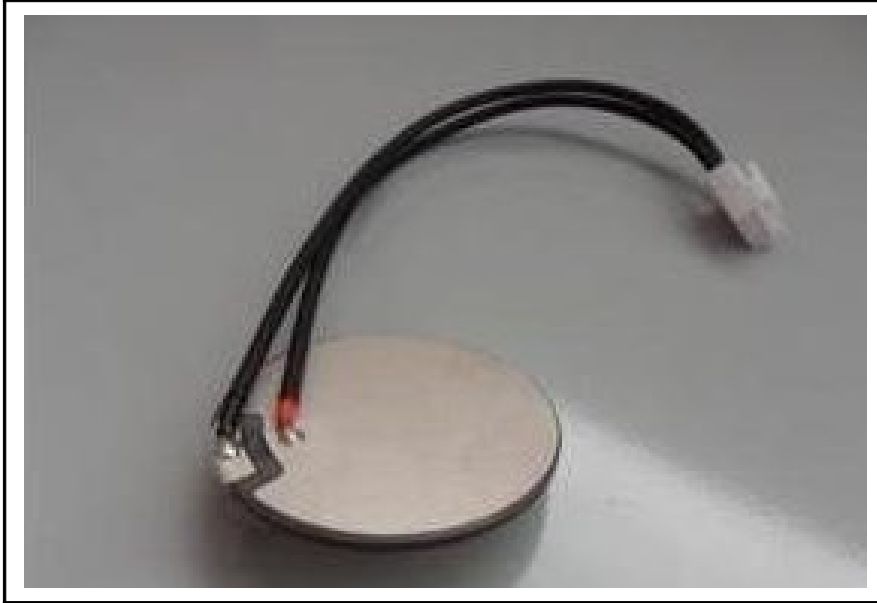
Potencia (W): 35 W

Resistencia de aislamiento (2500V DC): $\geq 100M\Omega$

Figura 28 Cristal piezoeléctrico CH-S42-50x2.6



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”





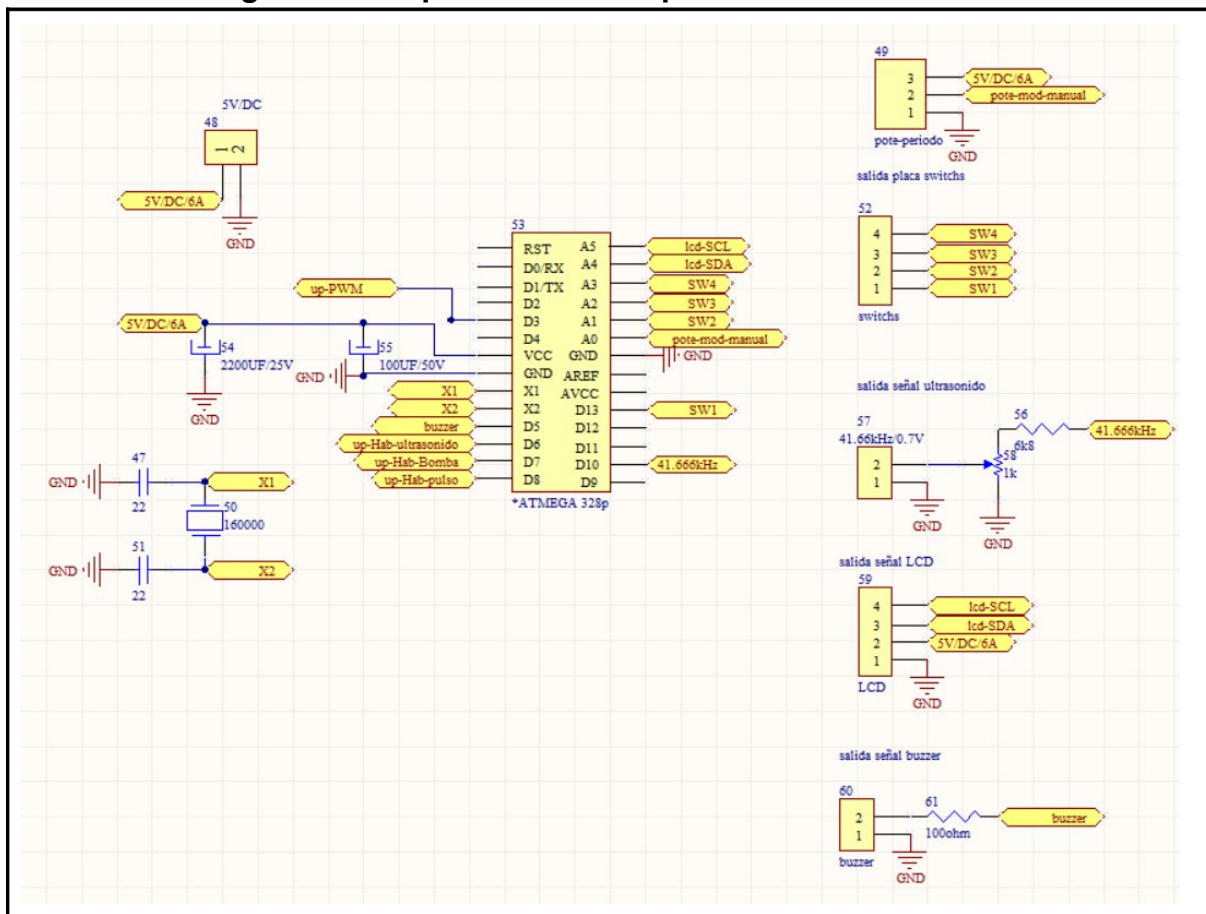
CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE BANCO DE PRUEBA Y LIMPIEZA DE INYECTORES

4.1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE LA PLACA MAESTRA DE CONTROL

Para el diseño del esquemático se utilizó el software Altium Designer, por su simpleza y su eficacia a la hora de llevar el circuito a la realidad, en la **Figura 29** se puede visualizar el microcontrolador con sus entradas, salidas y alimentaciones.

Figura 29 Esquemático de la placa maestra de control





INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO

TRABAJO FINAL DE GRADO

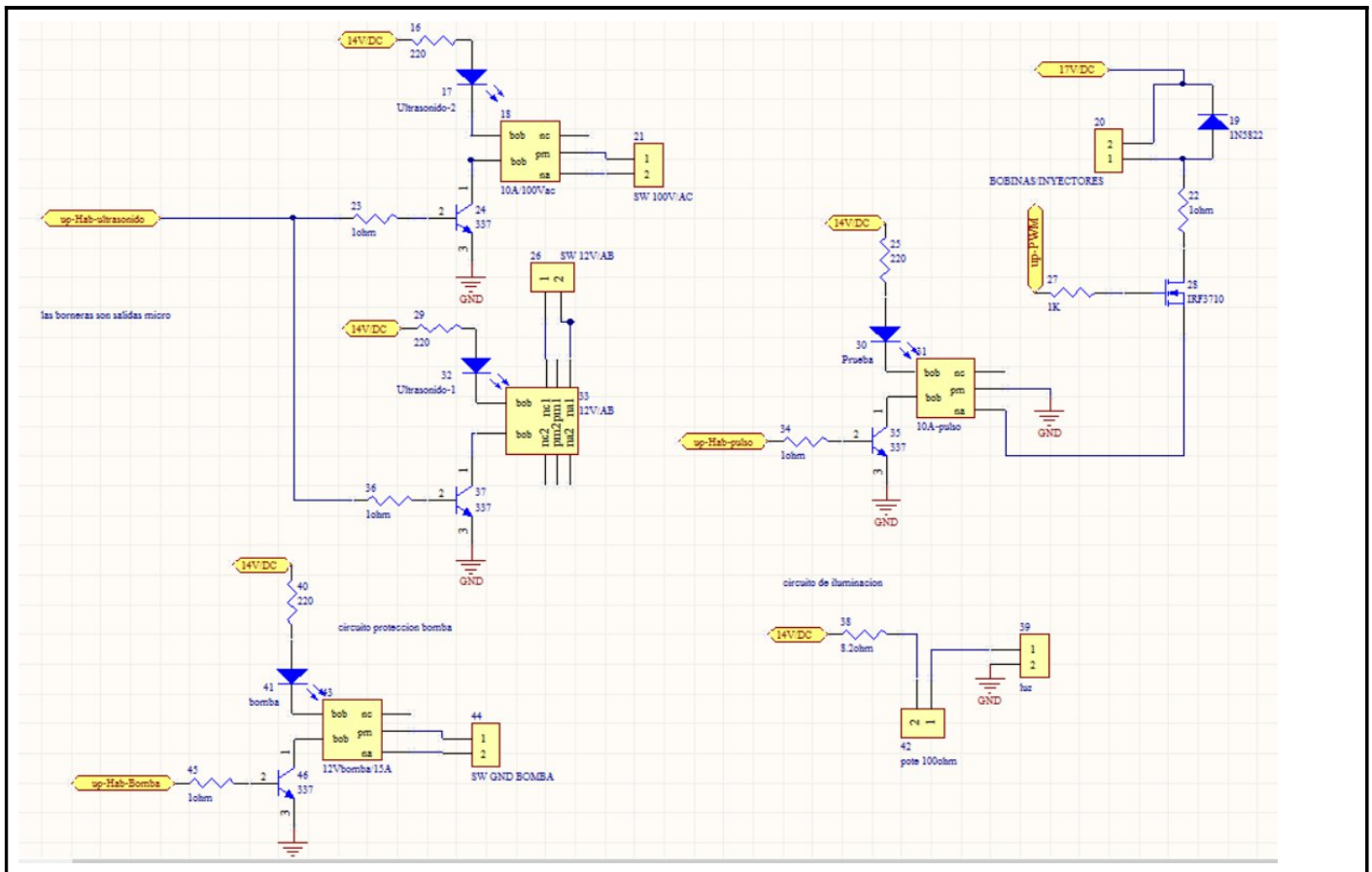
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

4.1.1 Diseño esquemático del circuito de habilitación de actuadores y protecciones

En el circuito esquemático de la **Figura 30** se puede observar que cuando el microcontrolador emite una señal de habilitación (hab ultrasonido, hab bomba), está enciende a un transistor BJT que activa un relay, quien a su vez actúa como interruptor suministrando alimentación a la placa de potencia que le corresponda.

En el margen superior derecho del esquemático se puede observar un circuito constituido por dos señales provenientes del microcontrolador, una de las señales es un PWM el cual permite accionar los inyectores a su frecuencia de trabajo, por medio de un transistor mosfet de potencia y la segunda señal emitida por el microcontrolador permite activar un transistor BJT el cual hará accionar un relay. Una vez que se active el relay, el mismo cerrará la masa del circuito del transistor de potencia que controla los inyectores.

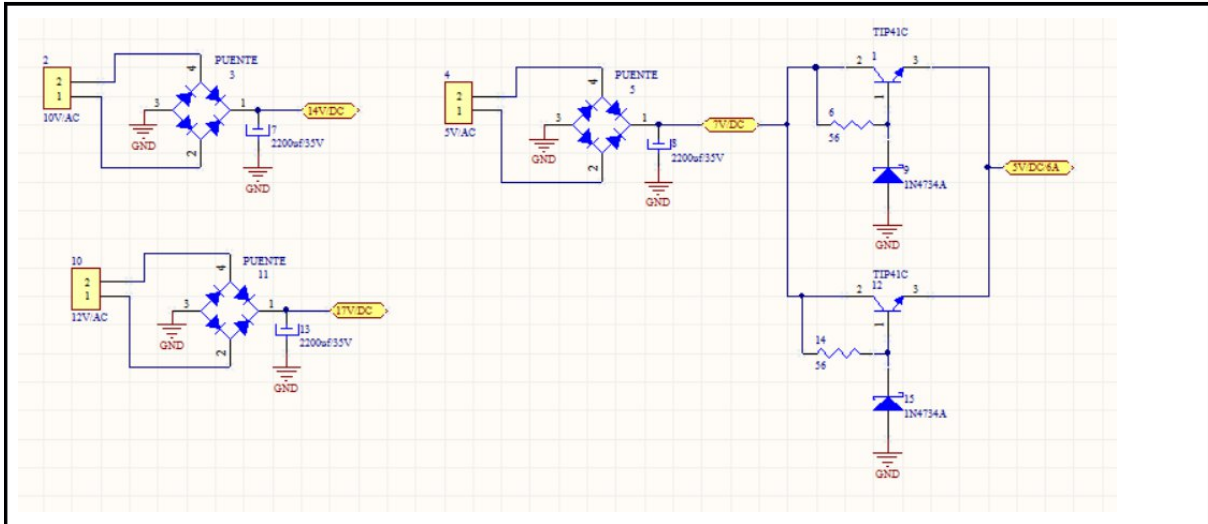
Figura 30 Circuito esquemático de habilitación de actuadores y protecciones





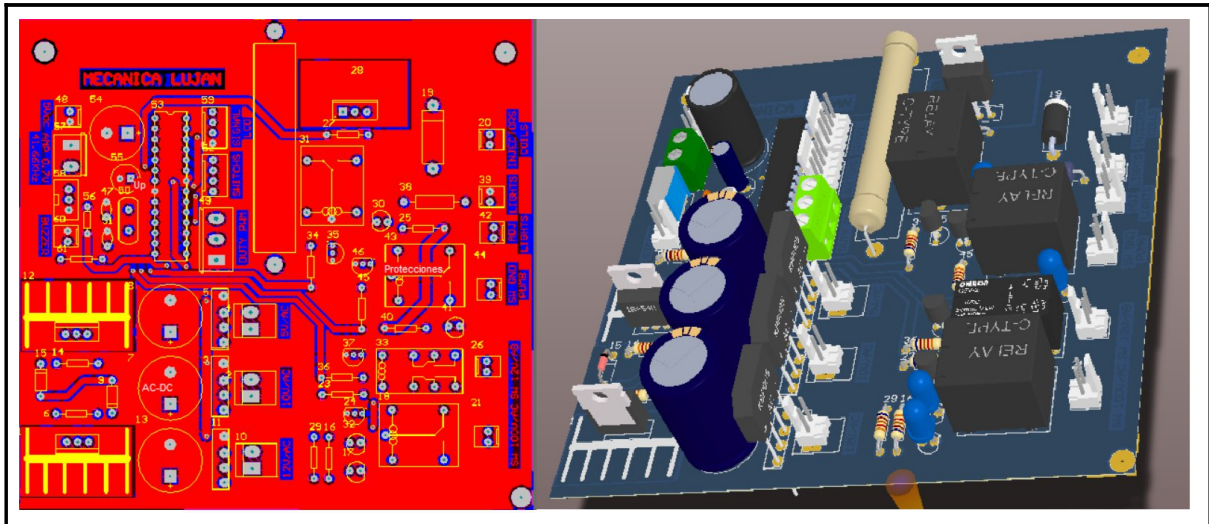
INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"

Figura 31 Circuito Esquemático alimentación General en placa MAESTRA



4.1.2 Diseño de la placa maestra en Altium Designer

Figura 32 PCB placa maestra

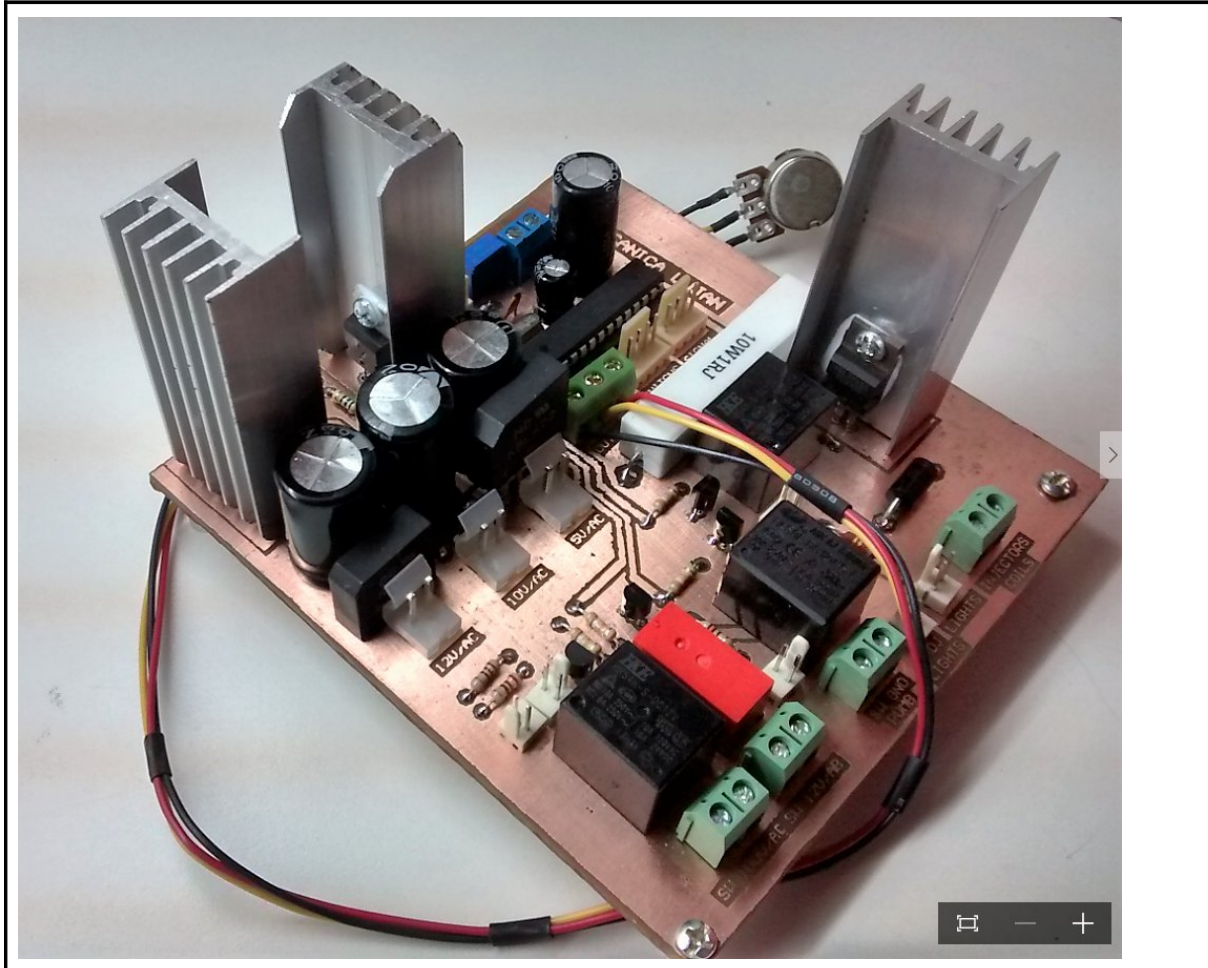




INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

4.1.3 Construcción de la placa maestra

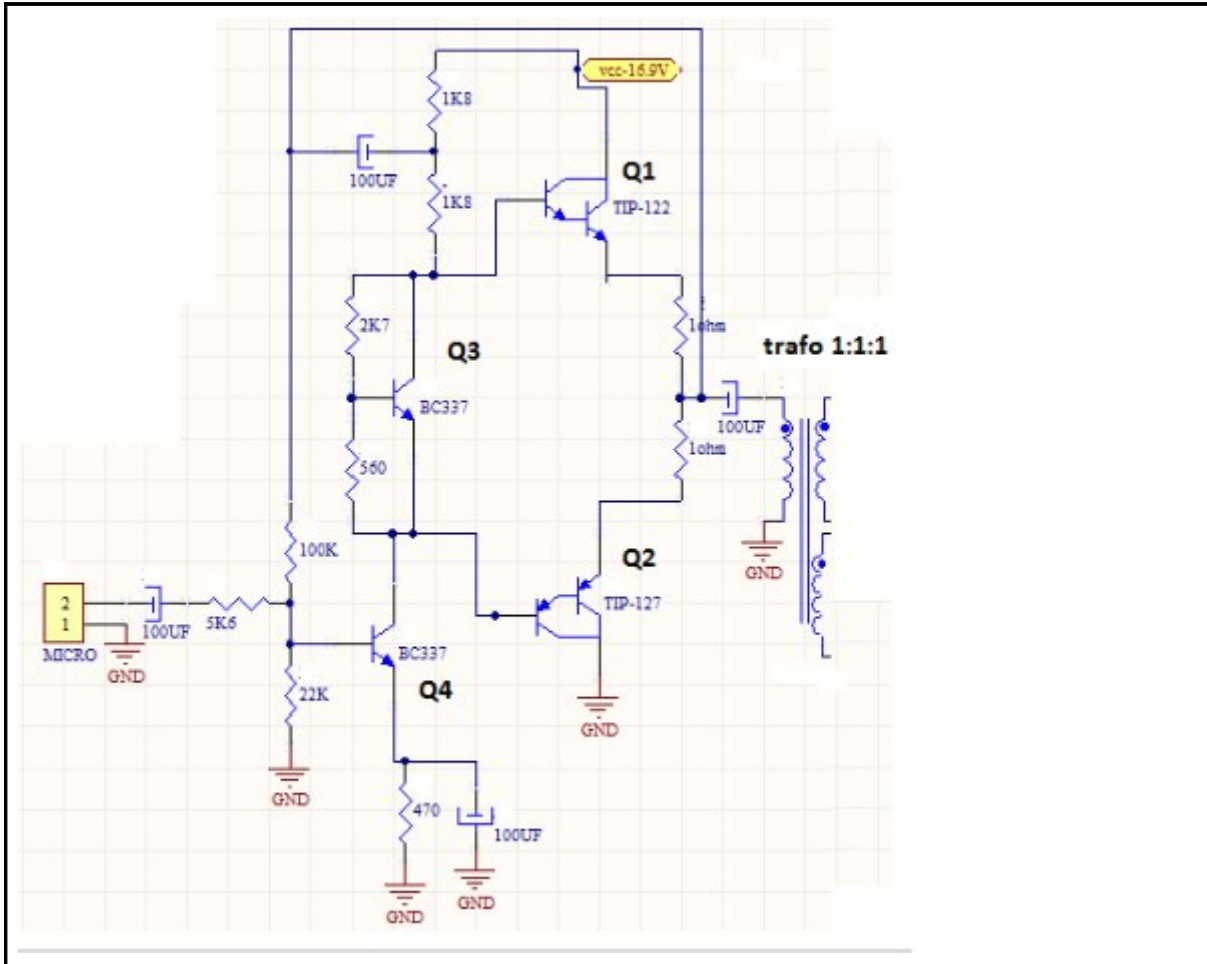
Figura 33 Placa maestra Terminada





4.2 DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO PREAMPLIFICADOR ULTRASÓNICO

Figura 34 Circuito esquemático del preamplificador ultrasónico

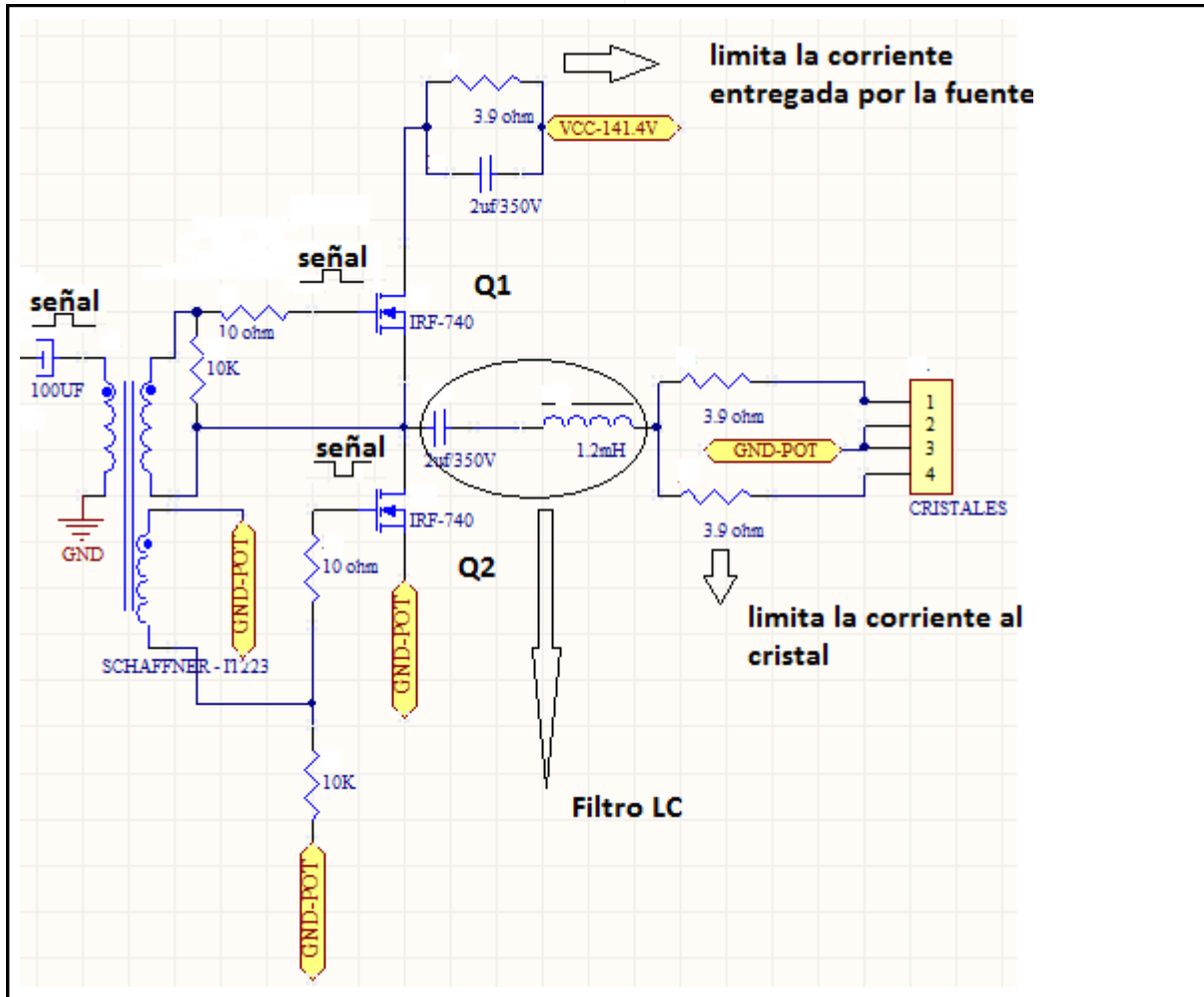


4.2.1 Diseño esquemático del circuito de potencia ultrasónica

Figura 35 Esquemático del circuito de potencia ultrasónica



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
"Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores"

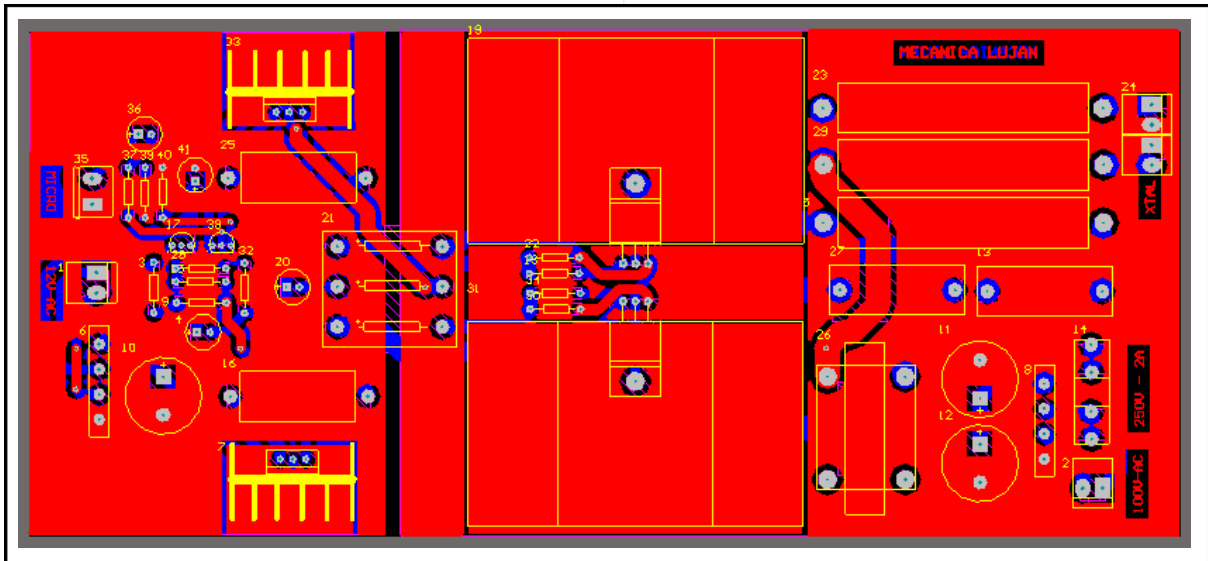


4.2.2 Diseño de la placa ultrasónica en Altium Designer

Figura 36 PCB placa ultrasónica



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



4.2.3 Construcción de la placa ultrasónica

Figura 37 Placa ultrasónica Terminada

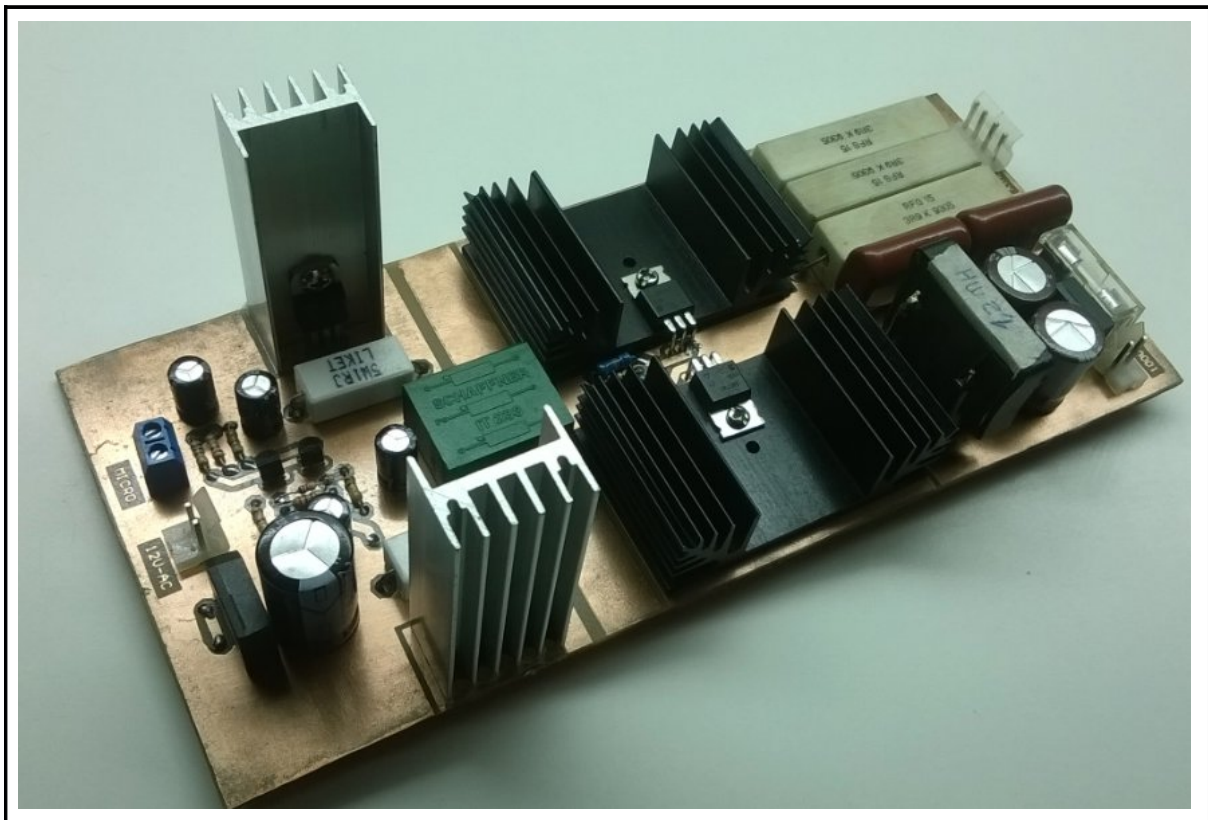


Figura 38 Placa ultrasónica Terminada



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

Para el diseño estructural del equipo se utiliza el software de diseño SolidWorks, por medio de este software se pudo diseñar cada componente de la estructura, ensamblarlos y realizar los respectivos planos.

Para corroborar el diseño de las piezas que conforman el banco, se dispondrá en el anexo A los planos de todas las piezas que conforman el banco.

Figura 39 Ensamblaje del gabinete



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

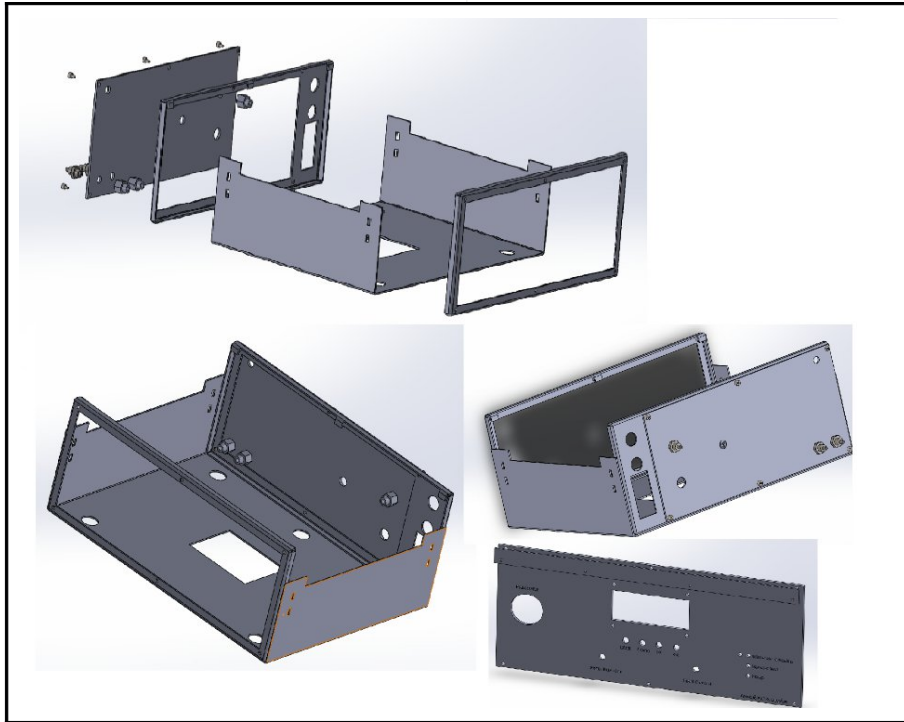


Figura 40 Ensamblajes varios

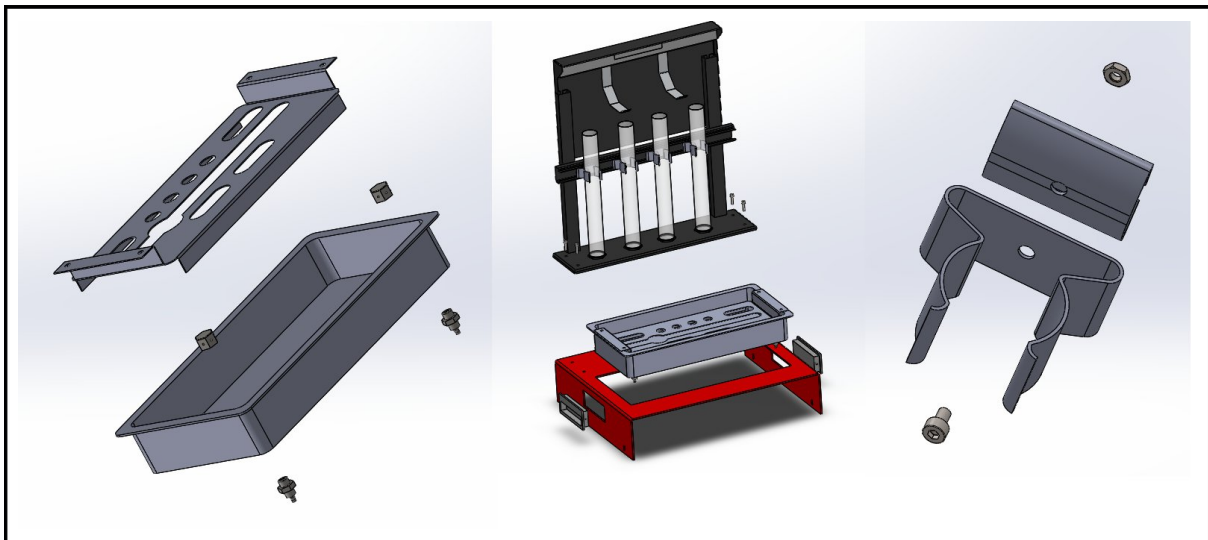


Figura 41 Ensamblaje completo



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

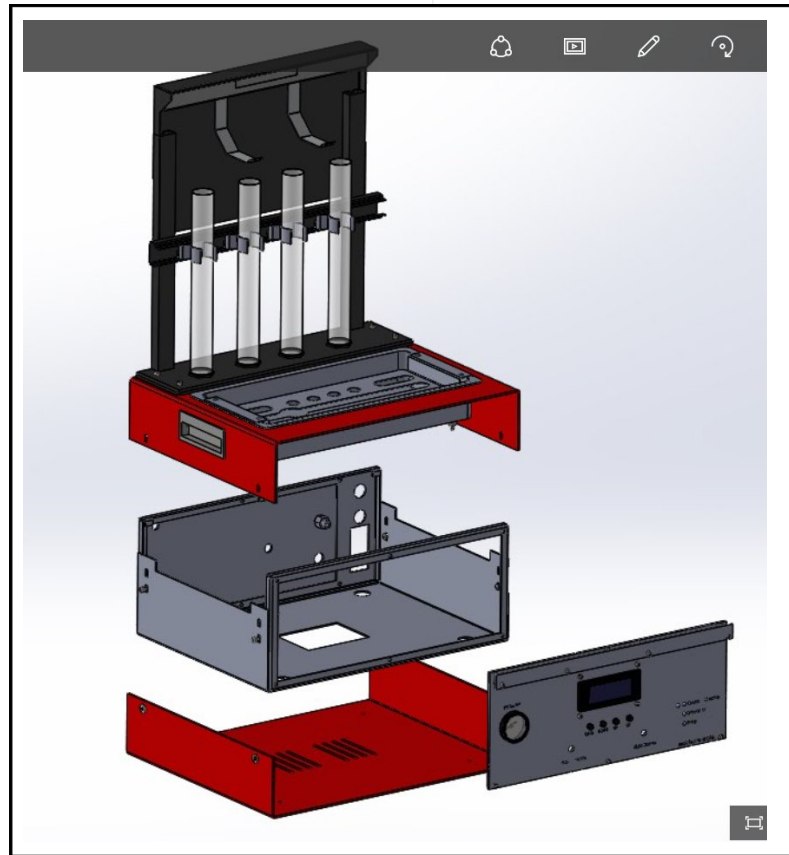
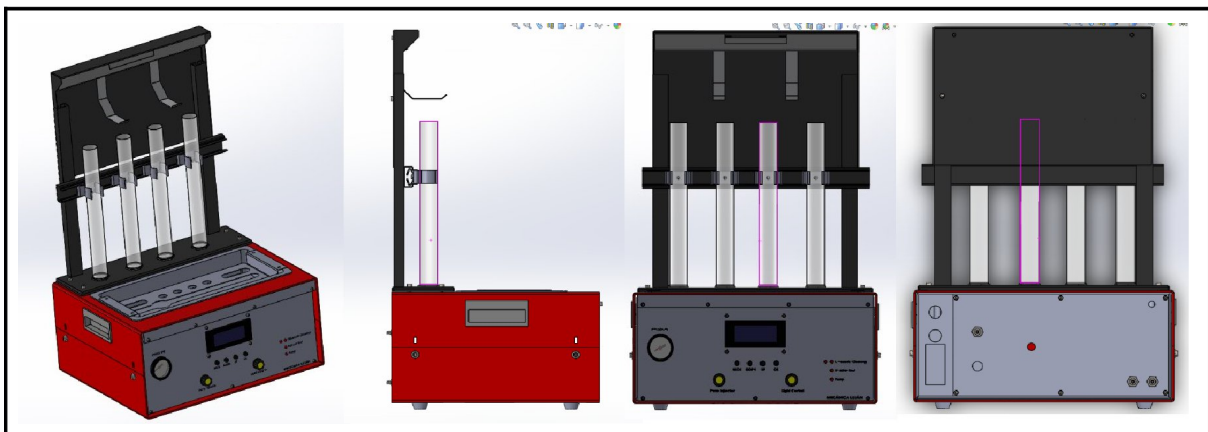


Figura 42 Banco terminado



4.3.1 Armado del banco de pruebas

Figura 43 Gabinete + Carcasas + cuba



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



Figura 44 Bomba + Regulador de presión + Tapa trasera

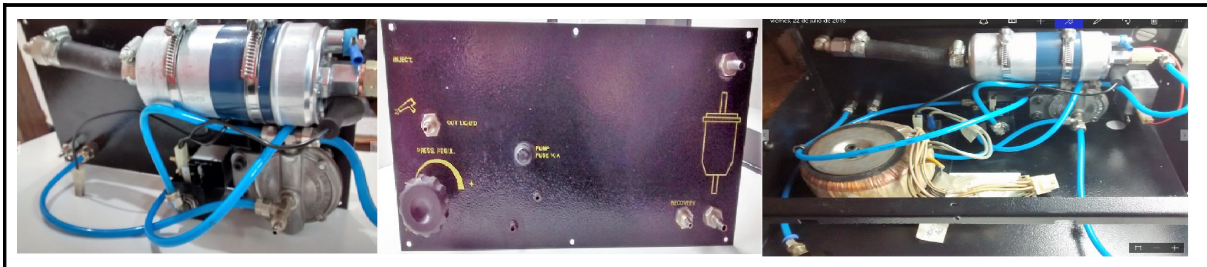


Figura 45 Torre



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

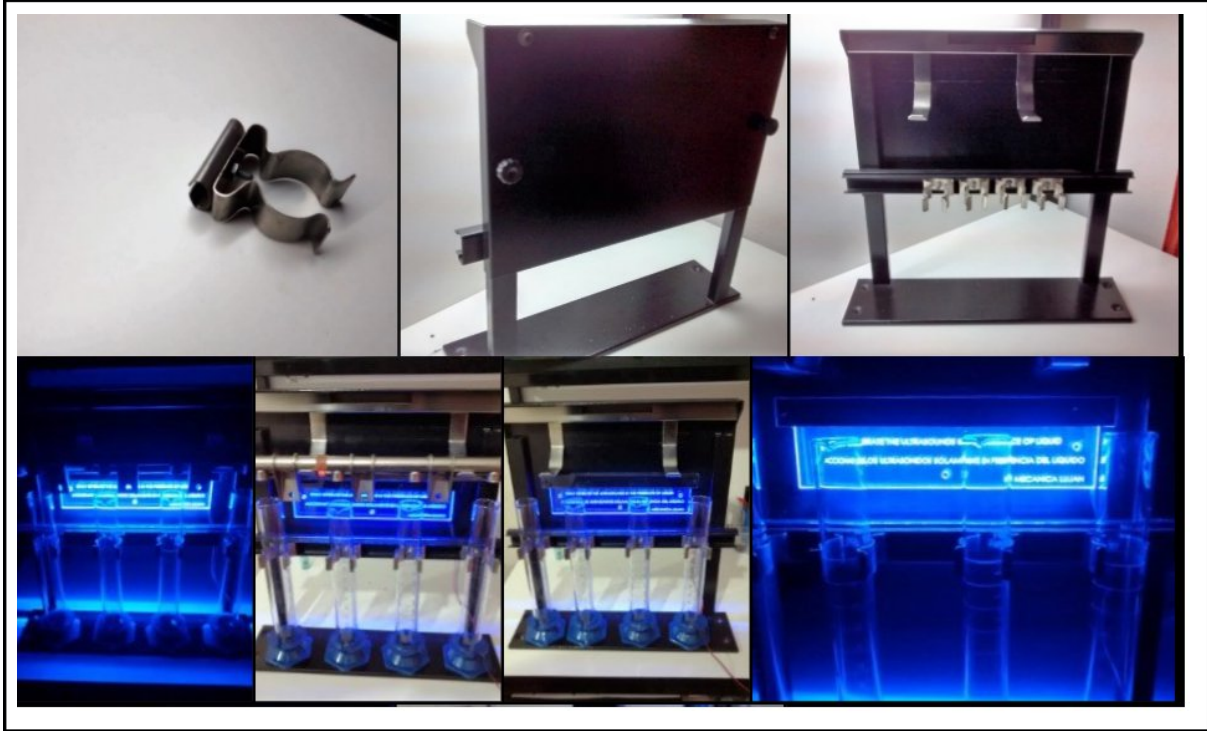


Figura 46 Conexión Eléctrica e Hidráulica

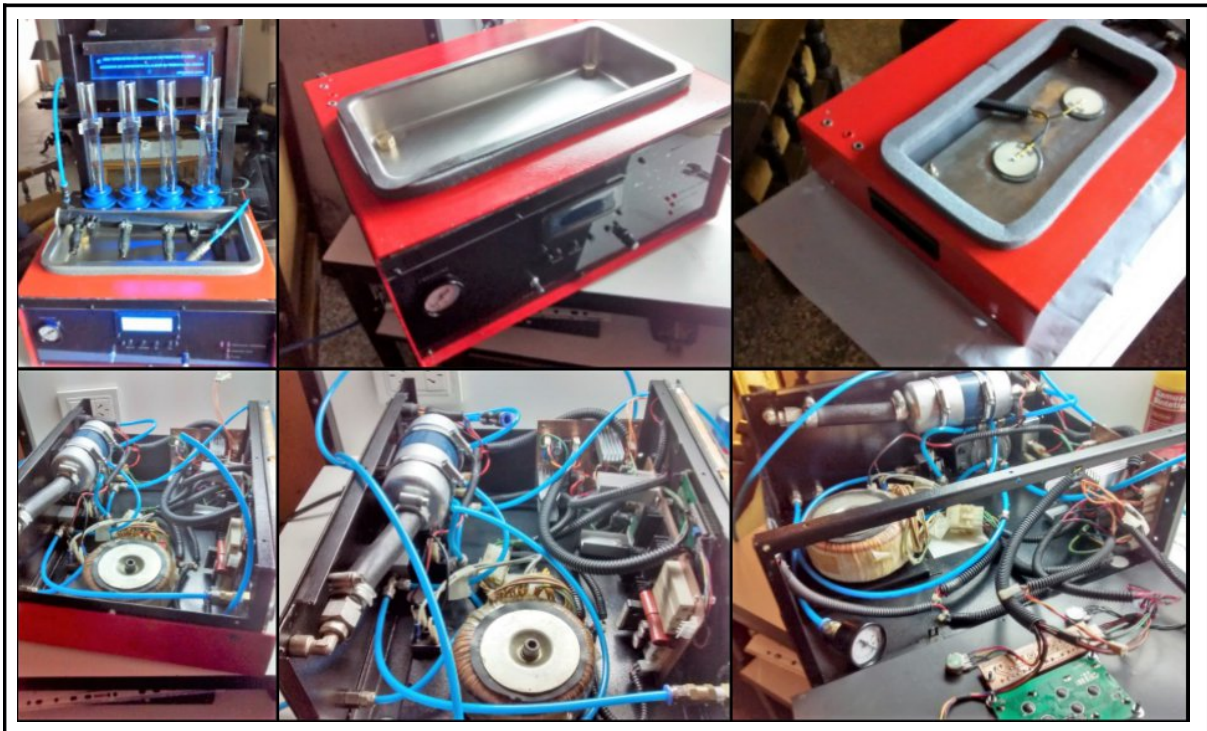
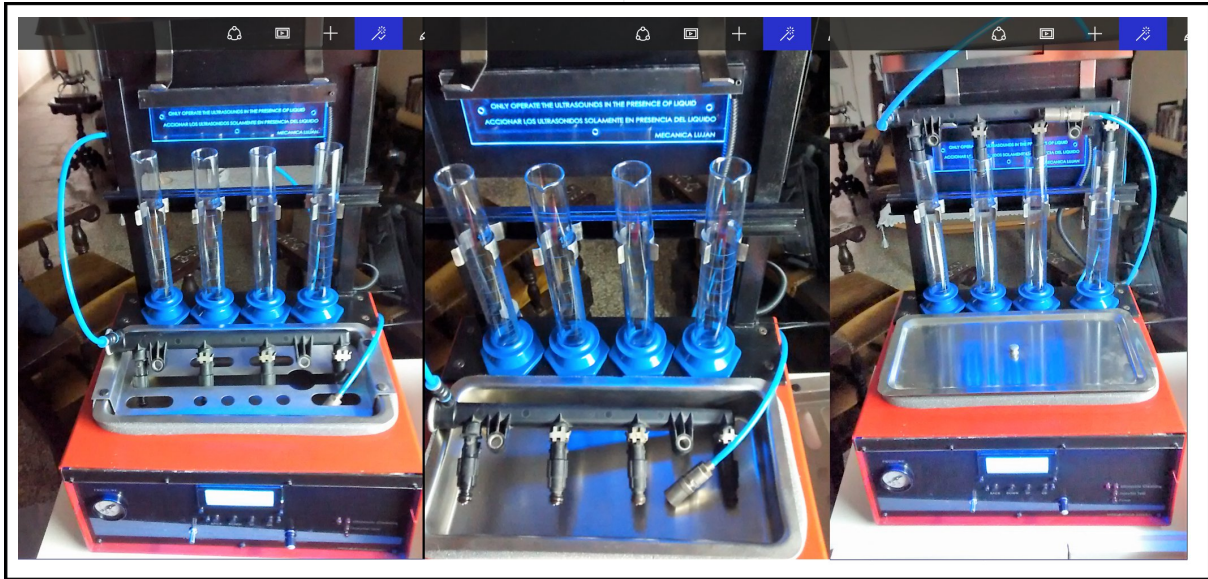


Figura 47 Banco terminado



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



4.4 DISEÑO DE SOFTWARE

Se decidió diseñar el software para que corra sobre Arduino ya que el mismo posee librerías que resuelven cuestiones de bajo nivel, como lo son el manejo de módulos internos como el convertor AD, entradas/salidas digitales, timers, entre otros; o los drivers para dispositivos externos como el display. Además el mismo soporta c++, con el cual se puede utilizar el paradigma orientado a objeto y disponer de todas las ventajas que conlleva. Algunas de las cuales son listadas a continuación.

- **Abstracción:**
Proceso mental por el que se ignoran las características de algo, quedándose con lo que realmente importa.
- **Encapsulación:**
Proceso por el cual se ocultan los detalles del soporte donde se almacenan las características de una abstracción.
- **Modulación:**
Descomposición de un sistema, creando una serie de piezas que colaboran entre sí, poco acoplados y cohesivos.
- **Jerarquización:**
Estructuración por niveles de los módulos o elementos que forman parte de un sistema.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

4.4.1 Control de display

Se creó una interfaz llamada IDisplay para generar una capa de abstracción con el hardware real del display, de esta manera el usuario es capaz de usar los métodos provistos por la interface sin preocuparse de la implementación usada.

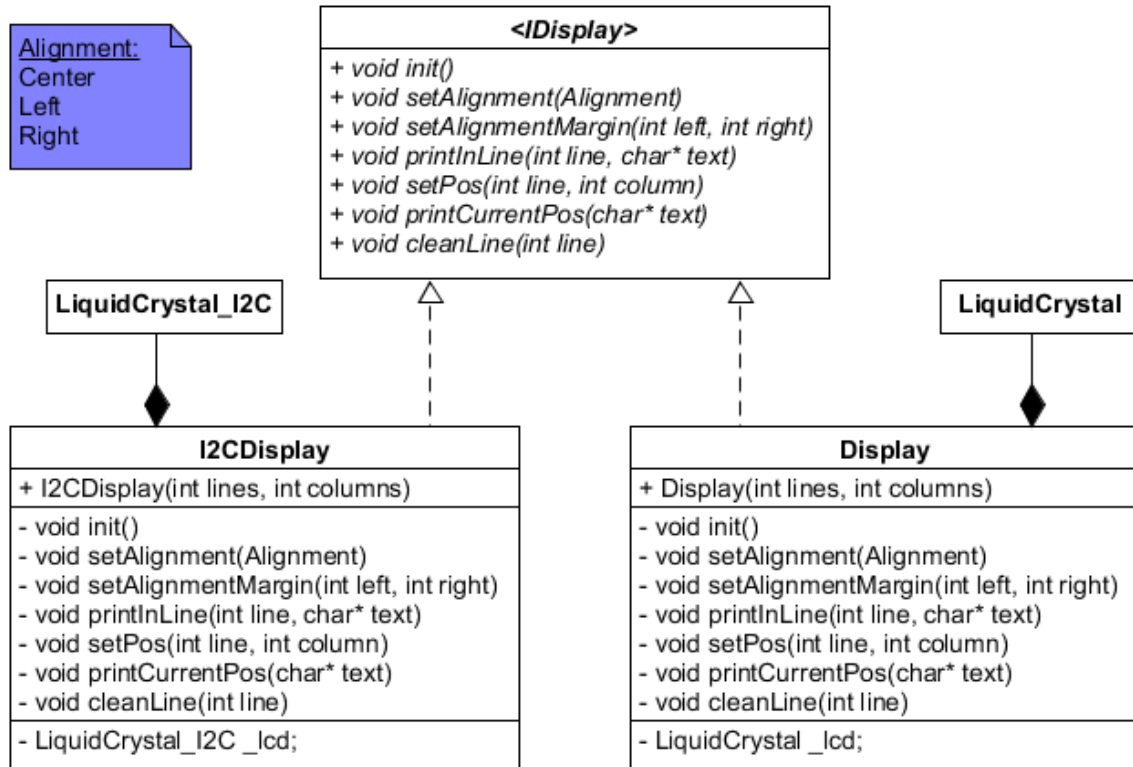
Ésto fue de ayuda ya que en el hardware real el display se controla por medio de una interface I2C, pero en la simulación esta interface no está disponible y por lo tanto se debe controlar el display directamente. Para ello fueron creadas dos implementaciones, la primera I2CDisplay para el hardware real y la segunda Display para ejecutar en simulación; y, como se muestra a continuación, mediante la definición de una macro se puede elegir qué versión utilizar.

Figura 48 Selección de modo de compilación

```
//#define SIMULATION_ON
#ifdef SIMULATION_ON
#   include "display.h"
IDisplay* display = new Display(4, 20);
#else
#   include "i2cDisplay.h"
IDisplay* display = new I2CDisplay(4, 20);
#endif
```



Figura 49 Diagrama de clase del display



Nota:
La placa real posee una interfaz I2C para controlar el display. Debido a que esta interfaz no está disponible para la simulación se diseñó una clase Display para usar durante la simulación.

4.4.2 Control de teclado

Clase Button

Descripción: Se creó una clase Button que se puede construir con cualquier pin digital trabaja por polling por lo que el método `getEvent()` debe ser llamado frecuentemente para un correcto funcionamiento.

Responsabilidad: Detectar cuando un botón es presionado en el pin configurado. Se considera presionado un botón si el estado del pin fue el de presionado durante todas las consultas hechas por `getEvent()` en el tiempo `PressTime`.

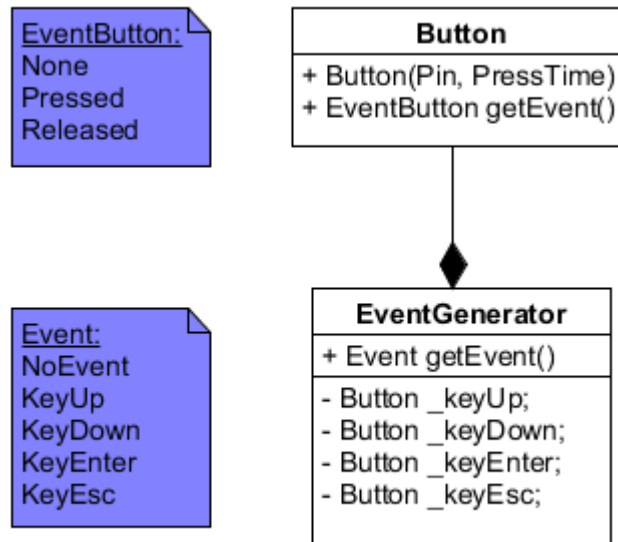
Clase EventGenerator

Descripción: Contiene 4 instancias de la clase Button que forman el teclado de usuario: BACK, DOWN, UP, ENTER.



Responsabilidad: Encapsular las instancias de los botones y genera eventos cuando son presionados.

Figura 50 Diagrama de clase del teclado



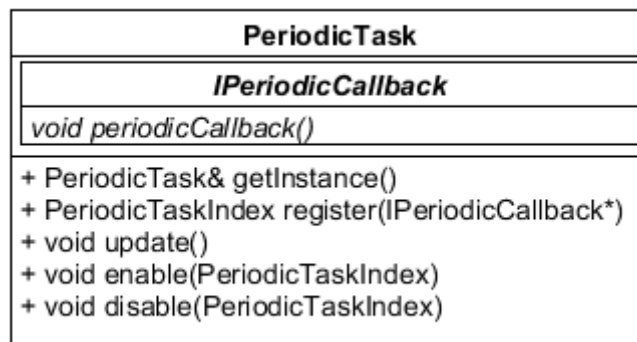
4.4.3 Tareas Periódicas

Clase PeriodicTask

Descripción: Debido a que Arduino no posee un manejo de tareas o hilos, se diseñó esta clase que permite registrar callbacks para ser llamadas periódicamente.

Responsabilidades: Registrar tareas que son llamadas periódicamente una a continuación de otra. La registración devuelve un handler con el cual el usuario puede deshabilitar o habilitar la tarea cuando lo desee.

Figura 51 Diagrama de clase de PeriodicTask



4.4.4 Cuenta regresiva

Clase RegressiveCount

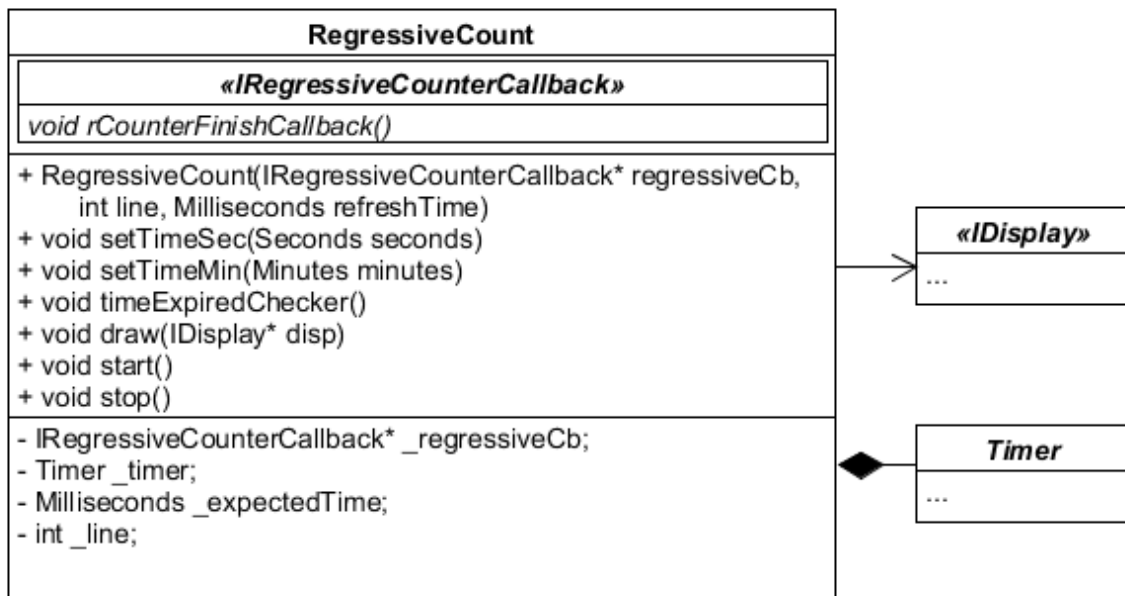


INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Descripción: Permite iniciar y detener una cuenta regresiva que será dibujada en pantalla en la línea *line* cada *refreshTime* con el siguiente formato MM:SS, donde MM son minutos y SS segundos del tiempo restante.

Responsabilidades: Informar al usuario visualmente sobre el tiempo restante de una tarea, además es responsable de notificar a la callback registrada (*_regressiveCb*) cuando el tiempo expire.

Figura 52 Diagrama de clase de RegressiveCount



4.4.5 Menú simple y combo

Interface IMenuElement

Descripción: Se diseñó como una interfaz común para todos los elementos de menú, de ésta manera cada elemento puede ser visto como un **IMenuElement** sin importar sus clases derivadas.

Responsabilidades: Posee 3 métodos el primero para dibujar en el display (*draw*), el segundo para procesar eventos de teclado (*EventGenerator*) y el tercero para devolver el nombre del elemento actual (*getName*). Será responsabilidad de las clases derivadas implementar estos métodos.

Clase MenuBase

Descripción: Es una implementación base no instanciable ya que posee métodos virtuales puros, tiene una implementación por defecto de los 3 métodos de **IMenuElement**, la cual llama a nuevos métodos virtuales puros (*getItemName*, *actionEnter*) que serán implementados en las siguientes derivadas.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Responsabilidad: Implementar el dibujado de una lista de items y el agregado de una marca visual para indicar el elemento seleccionado. Permite seleccionar otros elementos con las teclas DOWN y UP, con la tecla BACK se devuelve el foco al Elemento padre, y con la tecla ENTER se le cede la responsabilidad a la derivada sobre la acción a tomar a través del método virtual puro *actionEnter(unsigned int itemNro)*.

Clase Menu:

Descripción: Es una clase instanciable que hereda de MenuBase e implementa actionEnter para pasarle el foco al elemento seleccionado actualmente.

Responsabilidad: Permitir agregar elementos hijos a través del método addElement(IMenuElement*), pasarle el foco al elemento hijo seleccionado al pulsar el botón ENTER.

Clase MenuBasePersistent

Descripción: se construye, además de con un nombre y un padre, con una dirección de memoria de la EEPROM donde se almacena el índice del último hijo seleccionado. De esta manera la próxima vez que se utilice la máquina el sistema mantendrá seleccionada la última opción elegida.

Responsabilidad: La misma responsabilidad que MenuBase pero además provee persistencia del elemento hijo seleccionado.

Clase ComboMenu

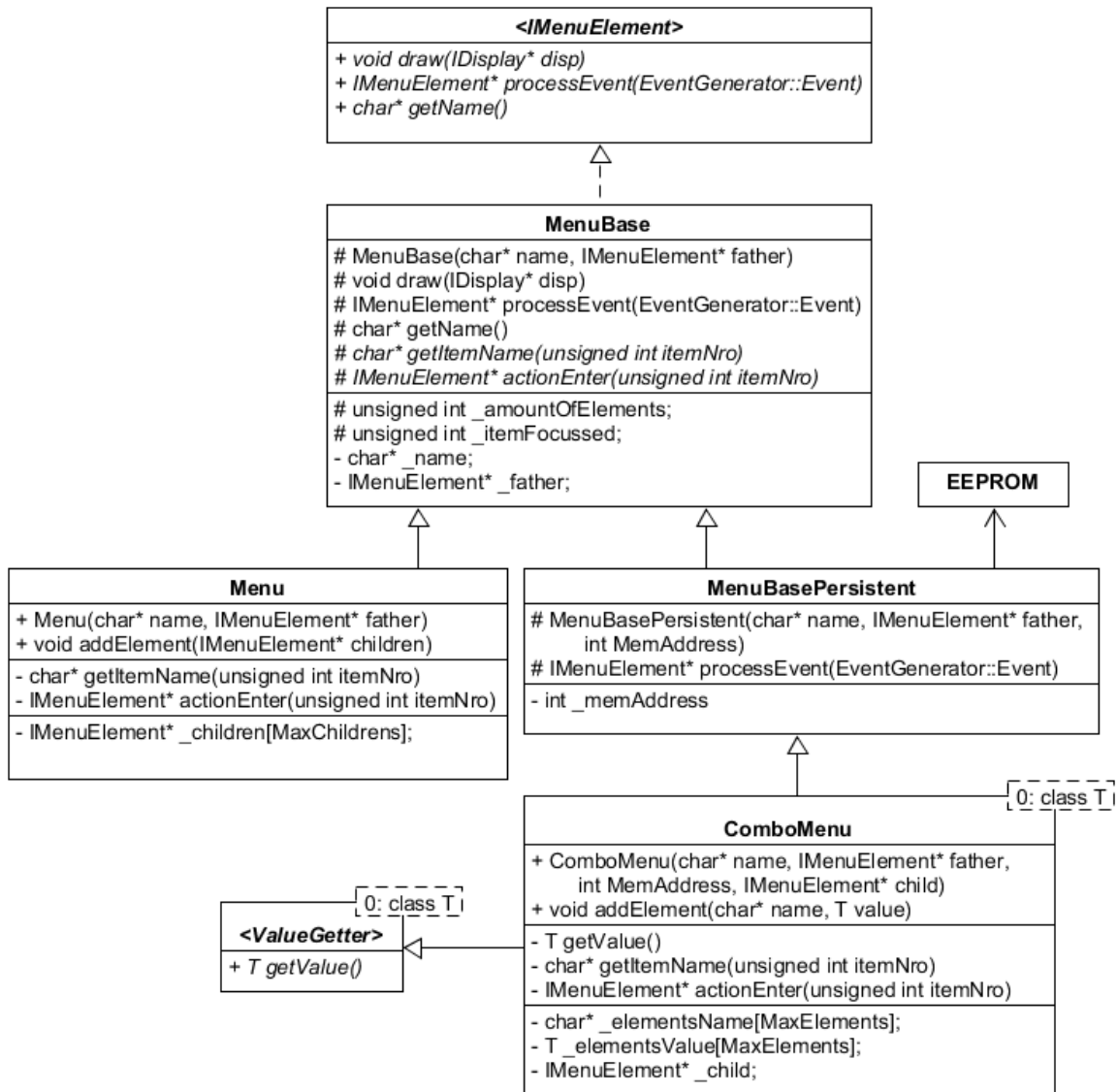
Descripción: Permite elegir una opción entre un grupo de opciones, el tipo de esta opción está templetizado pero en general se usa un valor entero que representa un tiempo. A diferencia de la clase Menu los elementos mostrados no son del tipo IElementMenu sino que son tuplas de name y value que se agregan con el método *addElement(char* name, T value)*, además un ComboMenu solo tiene un elemento hijo que será el que reciba el foco cuando se pulse la tecla ENTER, para ello implementa su propia versión de actionEnter.

Responsabilidad: Seleccionar una opción de configuración entre un grupo de opciones para que la misma esté disponible para ser leída por quien reciba la instancia de ValueGetter.

Figura 53 Diagrama de clase de los menús



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”



4.4.6 Menú de Activación

Clase *MenuOnOff*

Descripción: Implementa su propia versión de la interfaz *IMenuElement*, fue diseñada para resolver la parte visual y el manejo de eventos de teclado para encender y apagar un módulo del tipo *ISwitch*.

Responsabilidades: Gestionar el encendido y apagado de un objeto que hereda de la interfaz *ISwitch* a través de sus funciones *turnOn()* y *TurnOff()*. En caso de estar apagado la opción “Turn On” estará marcada en pantalla, presionando ENTER se llamará al método *turnOn()* y aparecerá una nueva opción “Turn Off” seleccionada para apagar el dispositivo, con lo cual si se apreta ENTER nuevamente *turnOff()* será llamada y volverá a aparecer la opción “Turn On” seleccionada.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO

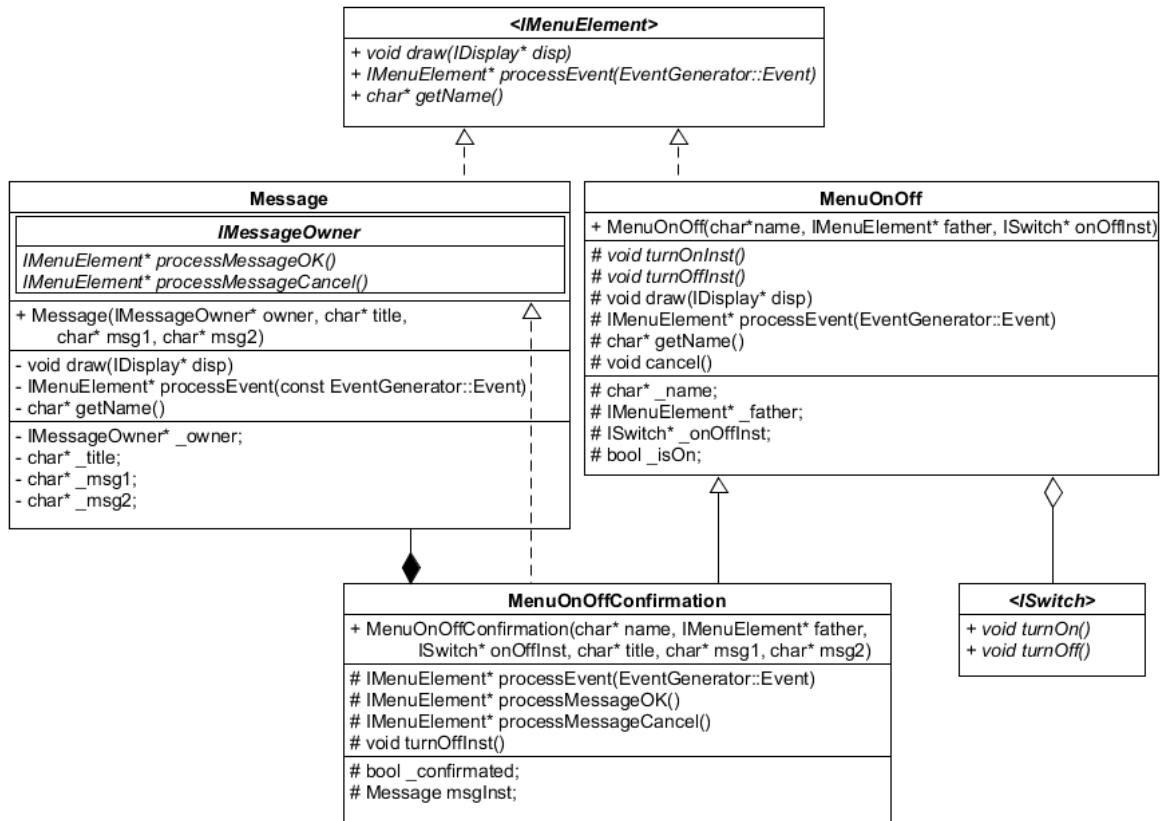
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Clase MenuOnOffConfirmation

Descripción: Hereda de MenuOnOff, por lo tanto tiene el mismo comportamiento pero agrega un mensaje de confirmación antes de proceder al encendido. Para ello hace uso de la clase Message y hereda de su interfaz IMessageOwner para recibir la cancelación o la confirmación de la acción. Se construye, además de con el nombre y la instancia padre, con el título del mensaje y el mensaje de la 1º y 2º línea.

Responsabilidades: Además de las responsabilidades heredadas de MenuOnOff se agrega mostrar mensaje de confirmación cuando se pulsa “Turn On”, cancelar en el caso de que el usuario pulse BACK y encender en caso de que pulse ENTER.

Figura 54 Diagrama de clase de menú de activación



4.4.7 Administrador de Menú

Clase MenuManager

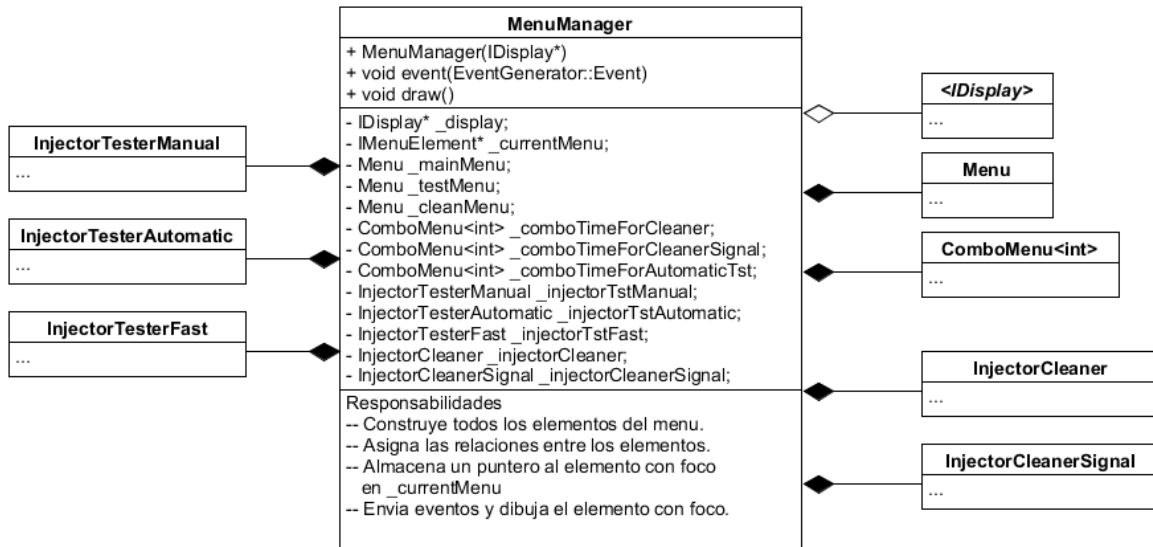
Descripción: Contiene y administra los elementos de menú.

Responsabilidades: Contener y construir todos los elementos de menú. Asigna relaciones entre los elementos (padre / hijo). Además está a cargo de dibujar y redireccionar los eventos al elemento con foco, para ello almacena un puntero al mismo. El elemento con foco puede decidir retornar su propia instancia en la función processEvent(EventGenerator::Event) para continuar con el foco, o retornar la



instancia de un hijo o el padre para cederle el foco. Es responsabilidad de MenuManager asignar el foco a la instancia devuelta por *processEvent*.

Figura 55 Diagrama de clase del administrador de menú



4.4.8 Controlador de Inyector

Clase InterruptPWM

Descripción: Permite generar PWMs que trabajan por interrupción, fue necesario el diseño de esta clase ya que los PWM por hardware no permiten generar bajas frecuencias.

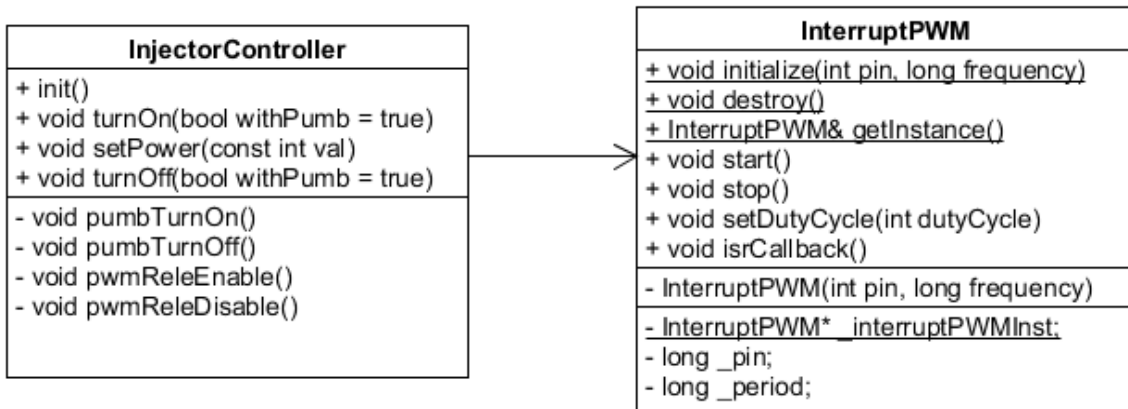
Responsabilidades: Generar PWM, permitir al usuario encender, apagar y cambiar el duty Cycle a gusto.

Clase InjectorController

Descripción: Fue diseñado para controlar el encendido y flujo de los inyectores.

Responsabilidades: Encender, apagar y controlar la apertura los inyectores a través de una señal PWM. Opcionalmente permite elegir si se desea activar o no la bomba con lo cual se tendrá flujo de líquido o no.

Figura 56 Diagrama de clase del controlador de inyector



4.4.9 Limpieza de inyectores

Clase InjectorCleaner

Descripción: Diseñada para gestionar la limpieza de inyectores, hereda de MenuOnOff para resolver la visualización y el procesamiento de eventos del usuario, además hereda de ISwitch por lo que implementa los métodos turnOn() y turnOff() necesarios para la clase MenuOnOff. Se utiliza una instancia de RegressiveCount para incorporar la visualización de un reloj regresivo y así permitirle al usuario conocer el tiempo restante de la limpieza.

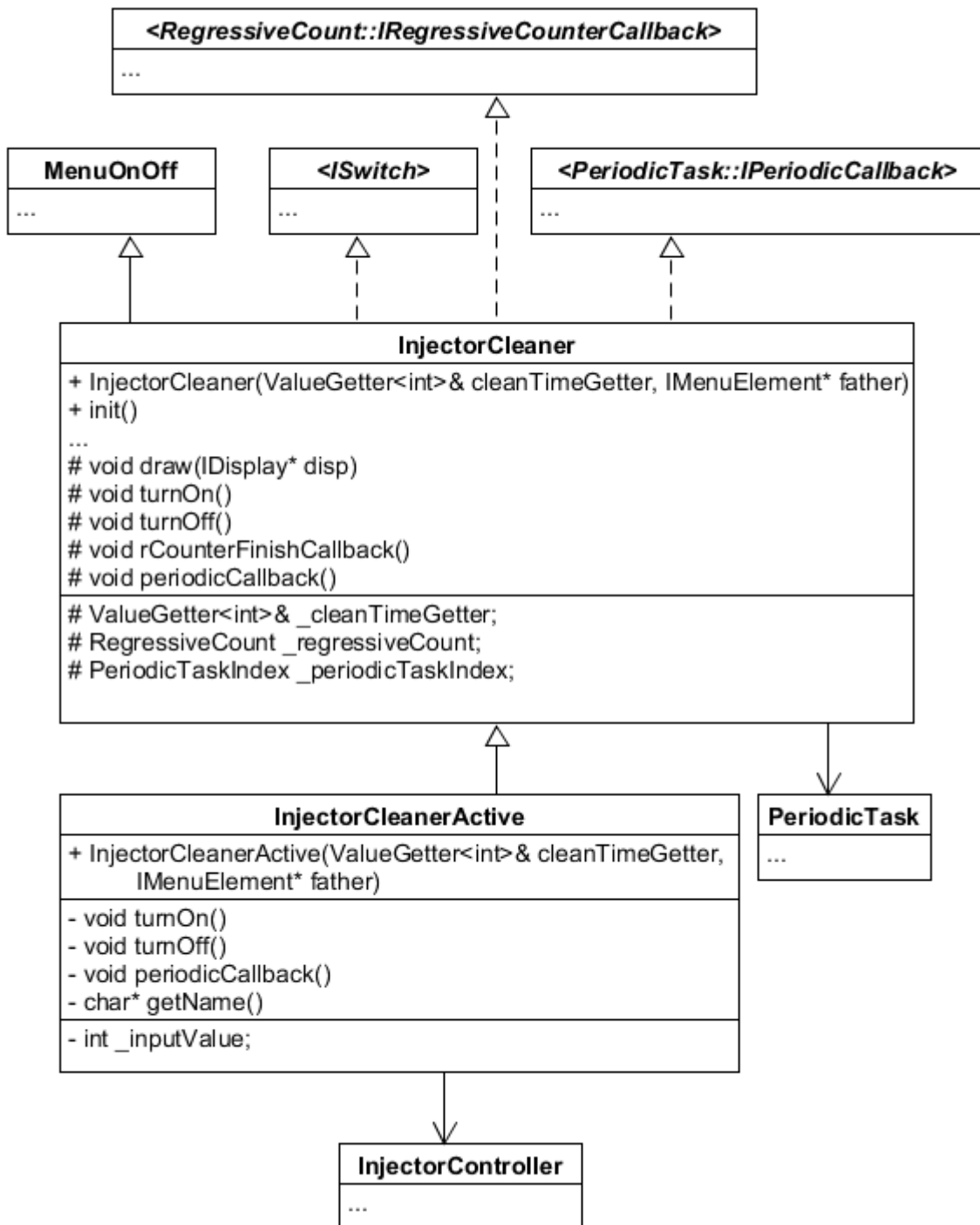
Responsabilidad: Gestionar la activación y desactivación de los ultrasónicos para la limpieza. La desactivación puede ser manual por orden del usuario o automática cuando se termina el tiempo configurado en _cleanTimeGetter.

Clase InjectorCleanerActive

Descripción: Implementa otro modo de limpieza en el cual, además de activar los ultrasónicos para la limpieza, activa los inyectores sin encender la bomba con el duty cycle configurado por el usuario a través de un potenciómetro, de esta manera se puede hacer una limpieza activa del inyector que puede ser más eficaz en ciertos escenarios.

Responsabilidades: Además de las responsabilidades heredadas de InjectorCleaner se le suma la de encender los inyectores durante la limpieza y mantener actualizado el duty cycle de ésta señal con el valor que configure el usuario.

Figura 57 Diagrama de clase del limpiador de inyectores



4.4.10 Prueba rápida de inyector

Clase InjectorTesterFast

Descripción: Implementa el modo de testeo rápido, este modo se caracteriza por estar calibrado para utilizar con las probetas del dispositivo, su duración y el duty cycle de la señal de inyector son fijas. Hereda de MenuOnOffConfirmation para

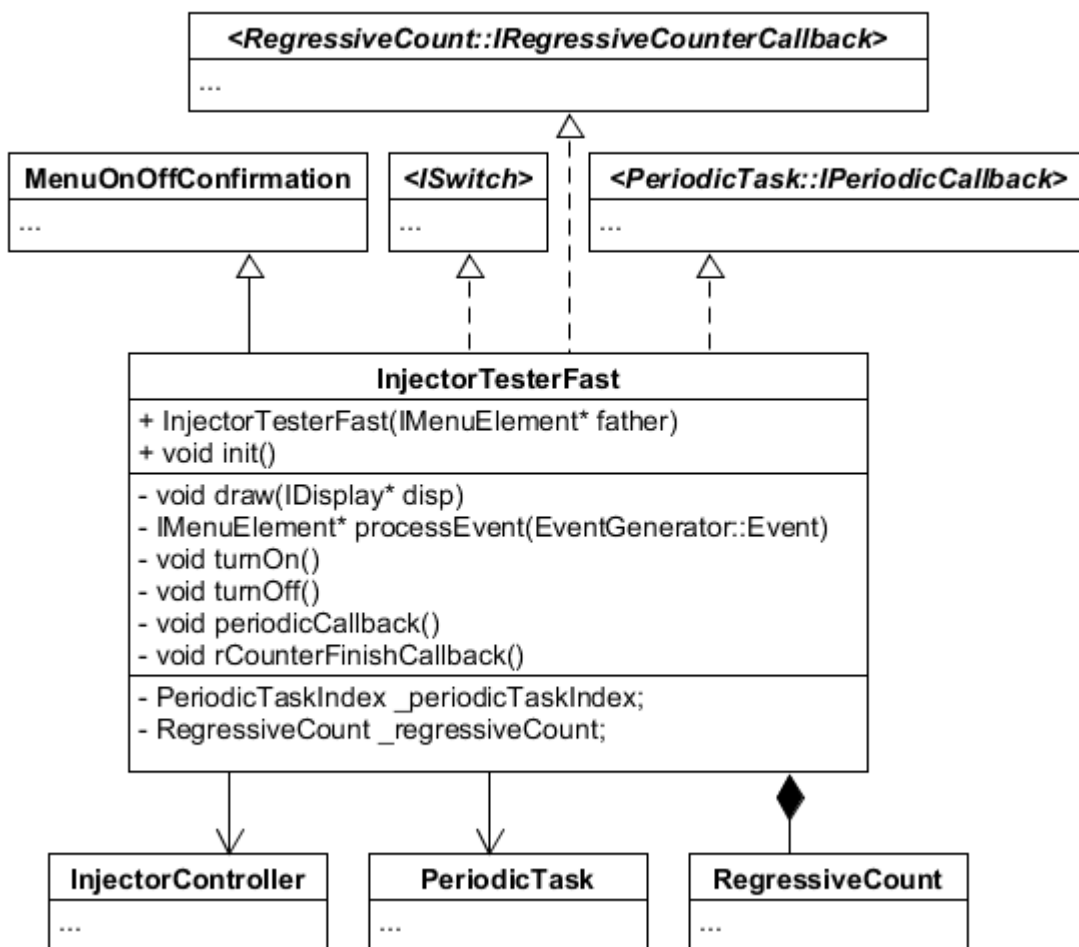


INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

resolver la visualización y el procesamiento de eventos del usuario, además hereda de ISwitch por lo que implementa los métodos *turnOn()* y *turnOff()* necesarios para la clase MenuOnOffConfirmation. Se utiliza una instancia de RegressiveCount para incorporar la visualización de un reloj regresivo y así permitirle al usuario conocer el tiempo restante de la prueba.

Responsabilidades: Gestionar la activación y desactivación de los inyectores y la bomba durante la prueba rápida. La desactivación puede ser manual por orden del usuario o automática cuando se termina el tiempo de la prueba.

Figura 58 Diagrama de clase de la prueba rápida de inyectores



4.4.11 Prueba manual de inyector

Clase InjectorTesterManual

Descripción: Implementa el modo de testeo manual, este modo se caracteriza por encender la bomba y los inyectores con el duty cycle configurado por el usuario a través de una perilla, el usuario decide cuándo terminar la prueba. Hereda de `MenuOnOffConfirmation` para resolver la visualización y el procesamiento de

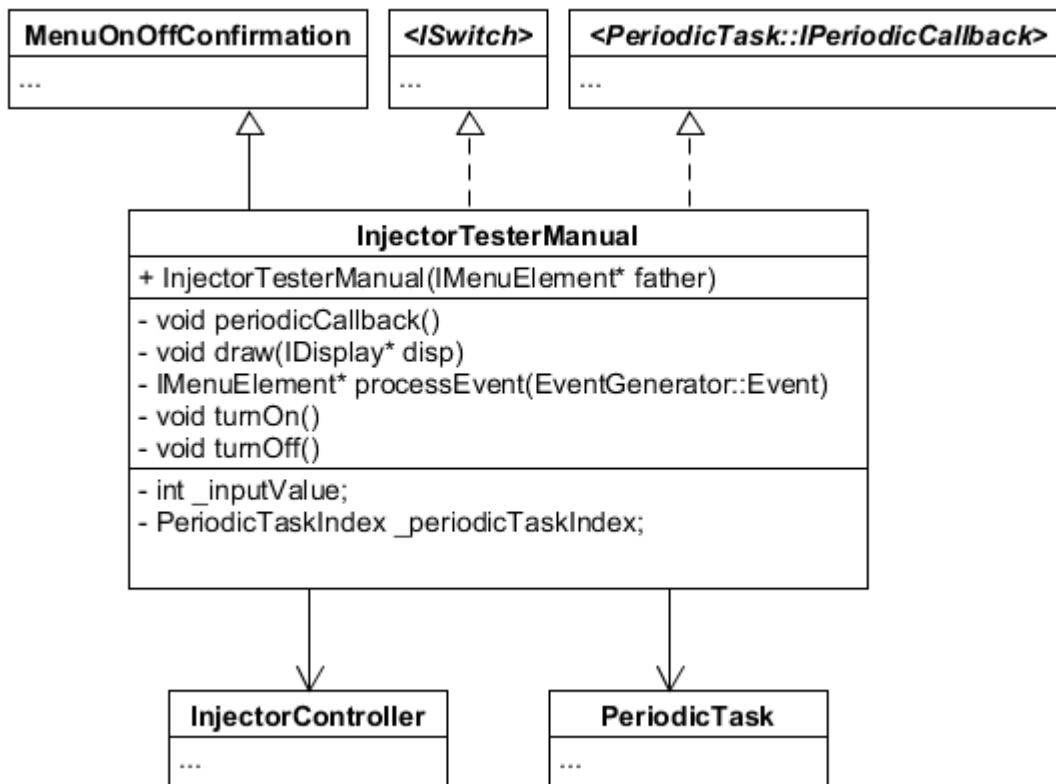


INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

eventos del usuario, además hereda de ISwitch por lo que implementa los métodos *turnOn()* y *turnOff()* necesarios para la clase MenuOnOffConfirmation.

Responsabilidades: Gestionar la activación y desactivación de los inyectores y la bomba durante la prueba manual. Mantener actualizado el duty cycle del PWM de la señal de los inyectores en base a la lectura de la tensión generada por el potenciómetro de la perilla.

Figura 59 Diagrama de clase de la prueba manual de inyectores



4.4.12 Prueba de inyector automática

Clase InjectorTesterAutomatic

Descripción: Implementa el modo de testeo automático, este modo se caracteriza por encender la bomba y los inyectores con un duty cycle que va cambiando periódicamente durante la prueba. Hereda de MenuOnOffConfirmation para resolver la visualización y el procesamiento de eventos del usuario, además hereda de ISwitch por lo que implementa los métodos *turnOn()* y *turnOff()* necesarios para la clase MenuOnOffConfirmation. Se utiliza una instancia de RegressiveCount para incorporar la visualización de un reloj regresivo y así permitirle al usuario conocer el tiempo restante de la prueba.

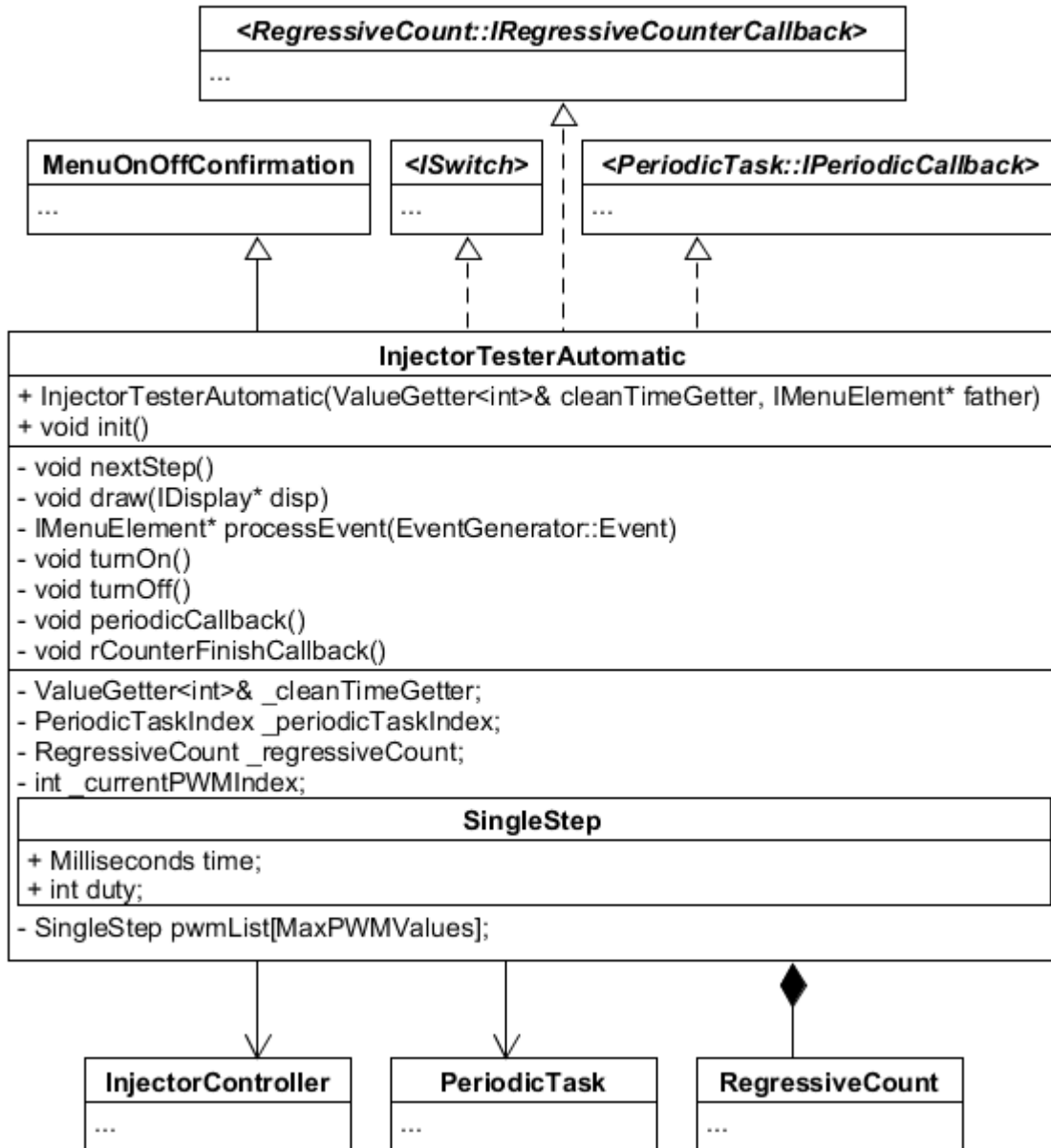
Responsabilidades: Gestionar la activación y desactivación de los inyectores y la bomba durante la prueba automática, la desactivación puede ser manual por orden del usuario o automática cuando se termina el tiempo de la prueba. También



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

es responsable de cambiar el duty cycle de la señal PWM periódicamente en base a las tablas almacenadas en *pwmList*.

Figura 60 Diagrama de clase de la prueba automática de inyectores



4.4.13 Loop principal

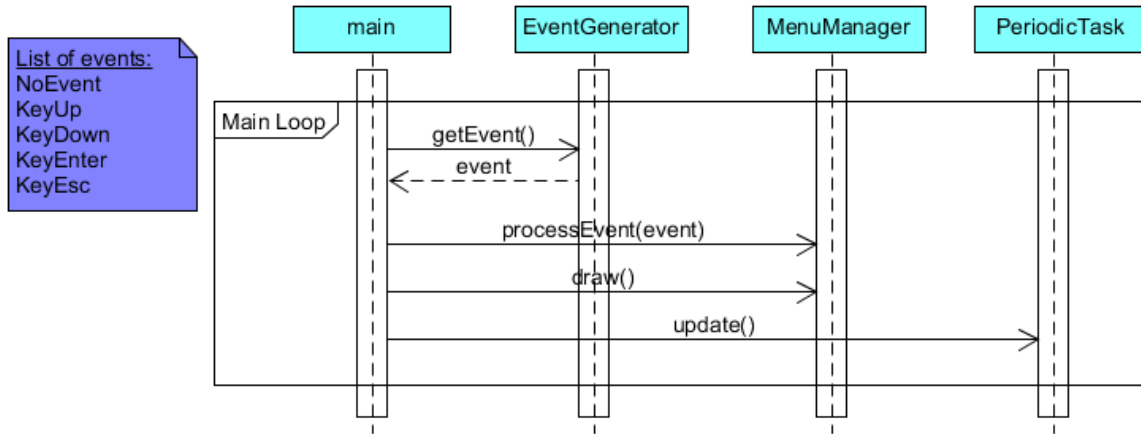
Descripción: Cómo se puede apreciar el loop principal de trabajo es muy sencillo, lo primero que se hace es invocar al método *getEvent()* de la clase *EventGenerator*, y a continuación el evento obtenido es pasado a *MenuManager* a través del método *processEvent()*, el cual internamente lo redirecciona al elemento de menú con foco para que sea procesado. Luego se invoca al método *draw()* de



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

MenuManager para que se refresque el display. Y finalmente se llevan a cabo las tareas periódicas registradas a través del método *update()* de la clase PeriodicTask.

Figura 61 Diagrama de secuencia del loop principal





INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

4.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Presupuesto de gastos generales (solo materiales)

Presupuesto			
DESCRIPCIÓN	cantidad (unidad).(mts)	precio (\$)	sub total
componentes electronicos			
varios.(resistencias, transistores, leds, etc...)	varios	1100	1100
dicipadores 50w/	2	90	180
Dicipadores	3	50	150
placa pertinax 20cm x 20cm	1	109	109
placa pertinax 20cm x 40cm	1	150	150
atmega 328p	2	70	140
display lcd 16x32 i2c	1	270	270
manometro	1	160	160
regulador de presion	1	370	370
electrovalvula	1	270	270
transformador de pulso schaffner it233	1	115	115
cristal piezoelectrico 40kHz	2	150	300
cable 1mm	10	15	150
cable 2,5mm	1	21	21
transformador toroidal 450va	1	2200	2200
manguera de presion 9bar	5	60	300
acople macho para manguera 6mm	6	55	330
acoples hembra para manguera 6mm	6	46	276
acople rapido para manguera/manguera 6mm	2	50	100
acople rapido para manguera 6mm/rosca	2	45	90
conector T con rosca	3	42	126
bomba de combustible 7bar	1	1100	1100
conector tipo molex macho/ hembra	20	9	180
llave fn 283-2-06 schaffner	1	375	375
arilico tablero general mas leyenda	1	420	420
iluminacion leds	1	100	100
filtro de nafta	1	48	48
mangura baja presion	0,5	30	15
brida 50mm	2	15	30
brida 10mm	2	5	10
bandeja de acero inoxidable	1	500	500
probetas 100ml	4	120	480
agarradera para probetas	4	30	120
ficha para inyecoires	4	20	80
planchas de hierro 50cm x 60cm /3,5mm	4	500	2000
planchas de hierro 40cm x 30cm /1mm	1	200	200
pintura epoxi	2	200	400
caño 1,5cm x2,5 cm	1	30	30
corte y plegado de chapa (mano de obra)	1	2000	2000
TOTAL			14995



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Se podría abaratar los costos, y así lograr una reducción del presupuesto de unos \$4000, reemplazando todo el gabinete metálico por uno plástico o termoformado, omitiendo carcasas y reemplazando el transformador por una fuente switching de múltiples salidas.

CAPÍTULO V

5. FASE EXPERIMENTAL

El prototipo de banco de pruebas y limpieza por ultrasonido, está hecho de modo que su operación sea fácil, cómoda sencilla y secuencial. Los dispositivos de mando se encuentran ubicados en el tablero general del equipo y en la parte trasera, los dispositivos de mando son:

- El interruptor de encendido, ubicado en la parte trasera del equipo.
- Pulsador BACK (atrás).
- Pulsador DOWN (abajo).
- Pulsador UP (arriba).
- Pulsador OK (aceptación).
- Potenciómetro PWM INJECTOR (modifica el pwm).
- Potenciómetro LIGHT CONTROL (controla la intensidad de la luz).
- Pantalla LCD.
- LEDs indicadores de funcionamiento.
- Manómetro de presión.
- Regulador de presión, ubicado en la parte trasera.

Una de las características adicionales 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 tarea al escuchar el llamado del equipo.

Es necesario señalar que hay que tener en cuenta el nivel del líquido antes de realizar cualquier operación de mantenimiento. Para un procedimiento de limpieza ultrasónico correcto, el nivel de líquido necesario debe ser tal que cubra por unos cuantos milímetros la bandeja porta-inyectores.

Por último un detalle muy importante a señalar es que los ultrasónicos no deben ser activados sin líquido bajo ninguna circunstancia ya que el equipo podría dañarse.

5.1 PRUEBA DE INYECTORES



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Para corroborar el funcionamiento del prototipo de banco de pruebas y limpieza de inyectores, se han realizado pruebas a varios inyectores, demostrando que el equipo es funcional. A continuación se mostrarán algunas imágenes del funcionamiento del equipo Así como de las pruebas a la que fueron sometidos los inyectores de un Peugeot 307.

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 realizarles una prueba rápida para ver su estado. En el modo de prueba rápida (**FAST TEST**) se pudo observar que uno de los cuatro inyectores se encontraba abierto permanentemente y los otros tres tenían patrones de inyección bastantes irregulares **Figura 62**, por se les realizó una limpieza ultrasónica para intentar que los inyectores recobren nuevamente su funcionalidad.

Figura 62.
Patrón de inyección modo fast test, antes de la limpieza ultrasónica



Luego de someter a los inyectores durante 30 minutos en el modo de limpieza **ACTIVE CLEANING**, se realizó nuevamente la prueba en modo (**FAST TEST**) a una presión de 4 bar, obteniendo el resultado de la **Figura 63** en la cual se puede observar un patrón de inyección simétrico.

Figura 63



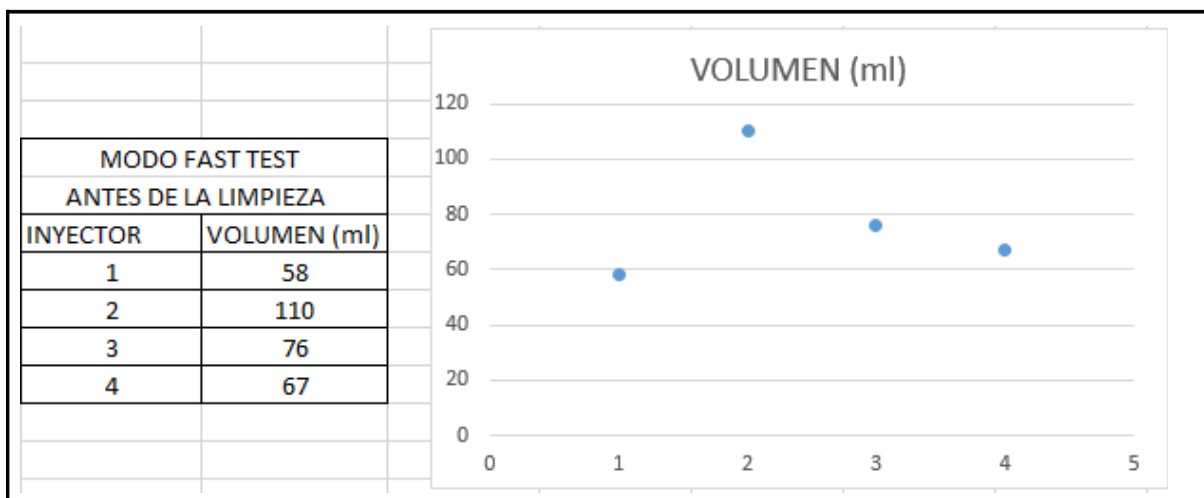
Patrón de inyección modo fast test, luego de la limpieza ultrasónica



5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos de los volúmenes entregados por los inyectores en modo de prueba (**FAST TEST**), indican que no han estado inyectando cantidades iguales de combustible, ya que existe una dispersión irregular que oscilan entre los 58ml a 110ml

Figura 64. Volumen entregado por los inyectores, antes de la limpieza ultrasónica





INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Ahora bien, los resultados de haber sometido los inyectores a la limpieza ultrasónica revelan dos cosas particulares. La primera es que se puede constatar que efectivamente los inyectores tenían algún tipo de depósito de suciedad 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 ultrasonido es indiscutiblemente eficaz.

Para constatar lo antes mencionado se muestran en las **Figura 65** y **66** en las cuales los datos de los mismos inyectores con la particularidad de haber sido sometidos a la limpieza por ultrasonido. Como se puede observar, la dispersión ha desaparecido casi en su totalidad. Los resultados son elocuentes.

Figura 65. Volumen entregado por los inyectores, después de la limpieza ultrasónica

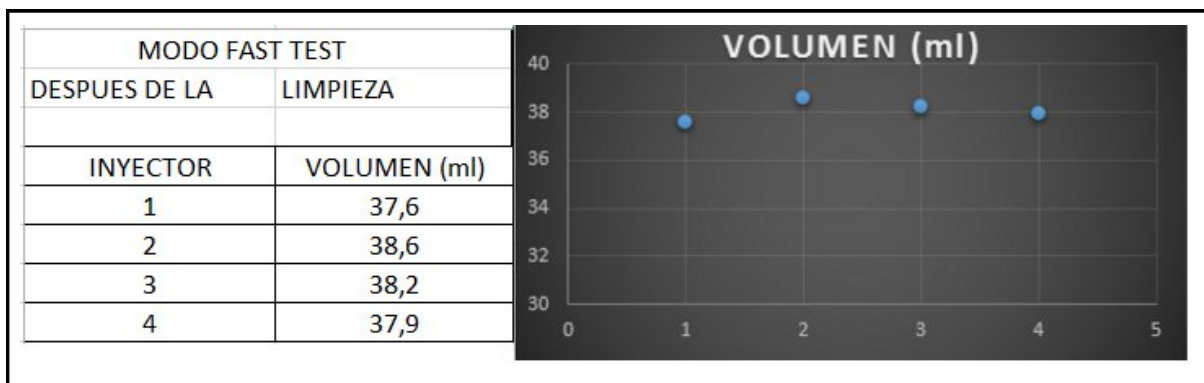
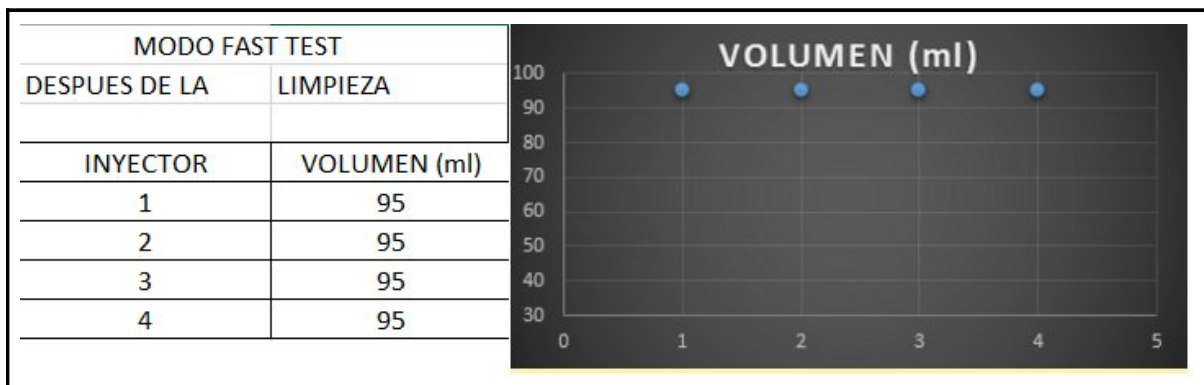


Figura 66. Volumen entregado por los inyectores, después de la limpieza ultrasónica





CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 GUÍA DE USUARIO

Por medio del tablero general del equipo el usuario podrá seleccionar dos opciones “Test” prueba o “Clean” limpieza.

Opción “Test”

Dentro de la opción “Test” el usuario podrá seleccionar entre tres modos pruebas diferentes “manual” , “automatic”, “Fast Test”.

MODO MANUAL: una vez que el usuario seleccione este modo, el microcontrolador emitirá un mensaje en pantalla donde advierte al usuario que revise el conexionado hidráulico porque se va a encender la bomba de presión.

Una vez que el usuario revise el conexionado hidráulico procederá a oprimir el botón “OK” donde el modo de prueba “MANUAL” comenzará su funcionamiento.

Luego de que el usuario oprimiera el botón “OK” el microcontrolador emitirá dos señales de habilitación las cuales accionarán dos actuadores (relay), un actuador accionará la bomba de presión y el otro proveerá de energía al circuito de potencia para el accionamiento de los inyectores. Junto con estas dos señales de habilitación, el microcontrolador enviará una señal PWM para accionar los inyectores, en este modo el usuario podrá seleccionar el ciclo de trabajo deseado por medio de una perilla ubicada en el tablero general. Además el microcontrolador mostrará en pantalla la opción “TURN OFF”, para que el usuario pueda parar el modo de prueba cuando lo desee, ya que en este modo al ser manual no cuenta con tiempos de finalización.

Una vez que el usuario haya apagado el modo de prueba, el mismo podrá regresar al menú principal por medio del botón “BACK” o simplemente volver a seleccionar la opción “TURN ON” para volver a accionar el modo de prueba MANUAL.

MODO AUTOMÁTICO: El modo de prueba automático o “Automatic” como aparece en el menú, está constituido por un menú inicial donde el usuario puede seleccionar hasta 6 tiempos prefijados para la duración de la prueba, estos tiempos van de 5 minutos a 30 minutos en pasos de 5 minutos.

Una vez que el usuario seleccione el tiempo deseado, el microcontrolador emitirá un mensaje en pantalla donde advierte al usuario que revise el conexionado hidráulico porque se va a encender la bomba de presión.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Una vez que el usuario revise el conexionado hidráulico procederá a oprimir el botón “OK” donde el modo de prueba “AUTOMATIC” comenzará su funcionamiento.

Luego de que el usuario oprimiera el botón “OK” el microcontrolador emitirá dos señales de habilitación las cuales accionarán dos actuadores (relay), un actuador accionará la bomba de presión y el otro proveerá de energía al circuito de potencia para el accionamiento de los inyectores. Junto con esas dos señales de habilitación el microcontrolador enviará una señal PWM para accionar los inyectores, donde el ancho de pulso de esta señal o ciclo de trabajo va a ser modificado automáticamente por el microcontrolador, sin intervención del usuario.

Además el microcontrolador mostrará en pantalla una cuenta regresiva indicando el tiempo restante de la prueba, junto con la opción “TURN OFF” para que el usuario pueda detener la prueba antes de que la misma haya finalizado.

Cuando la cuenta regresiva haya concluido, es decir cuando la prueba automática finalice, el microcontrolador emitirá un sonido, por medio de un buzzer, a modo de alarma indicadora para el usuario y además desacoplará las alimentaciones de los circuitos de potencia que intervienen en el proceso.

Una vez concluido el proceso de prueba, el usuario podrá regresar al menú principal por medio del botón “BACK” o simplemente volver a seleccionar un tiempo para que el proceso vuelva a iniciarse.

MODO PRUEBA RÁPIDA: El modo de prueba rápida o “Fast Test”, es una prueba diseñada para ser ejecutada con los inyectores en las probetas de la máquina, y permitirle al usuario visualizar el flujo de líquido a través de cada inyector, para que pueda determinar si es necesaria una limpieza o si se debe cambiar el o los inyectores. Su duración es fija, aproximadamente 30 segundos, y fue calculada para que la probeta nunca rebalse.

Una vez que el usuario seleccione este modo de prueba, el microcontrolador emitirá un mensaje en pantalla donde advierte al usuario que revise el conexionado hidráulico porque se va a encender la bomba de presión.

Luego de que el usuario revise el conexionado hidráulico procederá a oprimir el botón “OK” donde el modo de prueba “FAST TEST” comenzará su funcionamiento.

Después de la confirmación del usuario, el microcontrolador emitirá dos señales de habilitación las cuales accionarán dos actuadores (relay), un actuador accionará la bomba de presión y el otro proveerá de energía al circuito de potencia para el accionamiento de los inyectores. Junto con esas dos señales de habilitación el microcontrolador enviará una señal PWM para accionar los inyectores, cuyo ancho de pulso será de 50% fijo.

Además el microcontrolador mostrará en pantalla la cuenta regresiva del tiempo restante de la prueba, junto con la opción “TURN OFF” para que el usuario pueda parar la prueba antes de que la misma finalice.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

Cuando la cuenta regresiva haya concluido, es decir cuando la prueba rápida finalice, el microcontrolador emitirá un sonido, por medio de un buzzer, a modo de alarma indicadora para el usuario y además desacoplará las alimentaciones de los circuitos de potencia que intervienen en el proceso.

Una vez concluido el proceso de prueba el usuario podrá regresar al menú principal por medio del botón “BACK” o simplemente volver a seleccionar la opción “TURN ON” para iniciar la prueba nuevamente.

Opción “Clean”

Dentro de opción limpieza “Clear” el usuario podrá seleccionar dos modos “Passive cleaning” o “Active Cleaning”.

MODO DE LIMPIEZA PASIVA: El modo de limpieza pasiva o “Passive cleaning” está constituido por un menú inicial donde el usuario puede seleccionar uno de hasta 6 tiempos prefijados para la duración de la limpieza, estos tiempos van de 5 minutos a 30 minutos en pasos de 5 minutos.

Una vez seleccionado el tiempo deseado, el microcontrolador emitirá dos señales de habilitación las cuales accionarán dos actuadores (relay), uno de los actuadores colocará una alimentación de 12Vac al circuito preamplificador y el otro actuador colocará una alimentación de 100Vac al circuito de potencia.

Junto con esas dos señales de habilitación el microcontrolador enviará una señal onda cuadrada a una frecuencia de 41.66Khz (frecuencia ultrasónica), la cual pasa a través de un filtro para desacoplar toda componente DC que contenga la señal, para luego ingresar en el circuito de preamplificación para aumentar la amplitud de la señal y de esta manera poder excitar a los transistores mosfet de la etapa de potencia.

Además el microcontrolador mostrará en pantalla la cuenta regresiva del tiempo restante de la limpieza, junto con la opción “TURN OFF” para que el usuario pueda parar la limpieza antes de que la misma finalice.

Una vez que la cuenta regresiva haya terminado o que el usuario haya cancelado la limpieza, el microcontrolador deshabilitará los ultrasonidos por medio de los actuadores que proveen de energía a la etapa de preamplificación y de potencia, acto seguido el microcontrolador accionará el buzzer para indicar la finalización de la limpieza.

Una vez concluido el proceso de limpieza el usuario podrá regresar al menú principal por medio del botón “BACK” o simplemente volver a seleccionar un nuevo tiempo de limpieza y seleccionar la opción “TURN ON” para volver a iniciar dicho proceso.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

MODO DE LIMPIEZA ACTIVA: El modo de limpieza activa o “Active Cleaning” está caracterizado por el accionamiento de los inyectores en conjunto con los ultrasonidos, de modo que el líquido de limpieza ultrasónica ingrese dentro de los inyectores removiendo toda partícula de suciedad por medio de la apertura de sus toberas.

Este modo de limpieza cuenta con un menú inicial donde el usuario puede seleccionar uno de hasta 6 tiempos prefijados para la duración de la limpieza, estos tiempos van de 5 minutos a 30 minutos en pasos de 5 minutos.

Una vez seleccionado el tiempo deseado, el microcontrolador emitirá tres señales de habilitación que accionarán tres actuadores (relay) distintos, el primer actuador colocara una alimentación de 12Vac al circuito preamplificador de los ultrasonidos, el segundo actuador colocara una alimentación de 100Vac al circuito de potencia de los ultrasonidos y el tercer actuador colocara GND al circuito de potencia de los inyectores.

Junto con esas tres señales de habilitación el microcontrolador enviará dos señales más, una a una frecuencia constante de 41.66Khz (frecuencia ultrasónica), la cual pasa a través de un filtro para desacoplar toda componente DC que contenga la señal, para luego ingresar en el circuito de preamplificación para aumentar la amplitud de la señal y de esta manera poder excitar a los transistores mosfet de la etapa de potencia.

La segunda señal consiste en un PWM a una frecuencia de 10Hz utilizado para accionar los inyectores, donde el ancho de pulso puede ser seleccionado por el usuario a través de una perilla ubicada en el tablero general.

Además el microcontrolador mostrará en pantalla la cuenta regresiva del tiempo establecido por el usuario, junto con la opción “TURN OFF” para que el usuario pueda parar la limpieza antes de que se cumpla el tiempo de finalización.

Una vez terminada la cuenta regresiva el microcontrolador deshabilita los ultrasonidos junto con el PWM y genera una señal en el buzzer para indicarle al usuario la finalización del proceso. A continuación el usuario puede elegir retornar al menú principal mediante el botón “BACK”, o seleccionar un nuevo tiempo e iniciar la limpieza nuevamente.

6.2 RECOMENDACIONES

Asegúrese de que la red de conexión eléctrica a la que se va a conectar el banco, tenga una conexión a tierra por medio de una jabalina de cobre de 1 metro como mínimo, ya que esto ayudará a proteger el equipo de cualquier descarga eléctrica.

Verificar que haya líquido en la cuba, el líquido de limpieza debe cubrir en unos cuantos milímetros la bandeja porta-inyectores.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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

Verificar los seguros de los inyectores dispuestos en la rampa, ya que la elevada presión podría expulsar al mismo ocasionando diversos inconvenientes en la máquina así como también para el usuario.

Verificar que no haya presión en rampa a la hora de desmontar la rampa y los inyectores, para eliminar la presión en rampa debe aflojar la perilla del regulador de presión ubicada en la parte trasera del equipo.

No hacer funcionar el sistema ultrasónico sin líquido limpiador, ya que este podría dañarse.

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

6.3 CONCLUSIONES

Las comparaciones realizadas en base al estudio de los equipos de mantenimiento de inyectores de combustible, establecen que el mantenimiento en un banco de limpieza y prueba de inyectores 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 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 ultrasonido.

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



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

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 sigan las instrucciones que se establecen en la guía de usuario, con el fin de garantizar un correcto trabajo y la apropiada manipulación del mismo.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Boylestad, Introducción al análisis de circuitos
- [2] http://www.240edge.com/manuals/89-90_240sx/waveform.pdf
- [3] <http://injector-rehab.com/shop/idc.html>
- [4] <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ultrasonidoAPLICAC.htm>
- [5] Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo, Eugene F. Megyesy
- [6] <http://www.arduino.cc.com>

7.1 BIBLIOGRAFÍA

- [1] COTELL, C.M.; SPRAGUE, J.A.; SMIDT, F.A.; ASM Handbook, Volume 5 / Surface Engineering: The Materials Information Society.
- [2] QUITMEYER, J.; Cleaning Challenges: Chemistry, Process, Testing, and Waste Treatment – Cleantech Exposition 2002 Seminars. Proceedings... CD
- [3] Endereço eletrônico da Feira da Mecânica 2004, organizada pela Alcantara Machado Feiras de Negócios.
- [4] PUSKAR, A.; The use of High-intensity Ultrasonics: Elsevier Scientific Publishing Company – 1982.
- [5] FREDERICK, J.; Ultrasonic Engineering: John Wiley & Sons, Inc. - 1965.
- [6] BÖSZÖRMÉNYI, I.; SEIP, C.; Ultrasonic Cleaning Fundamentals, Cleantech Exposition 2002 Seminars. Proceedings... CD
- [7] FUCHS, J.; Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application, Cleantech Exposition 2002 Seminars. Proceedings... CD
- [8] PEDZIWIATR, M.P.; Ultrasonic cleaning apparatus, United States Patent 5,865,199, February 2, 1999.



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

7.2 LINKOGRAFIA

SISTEMAS 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

ESPECTROS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES

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

FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES ELECTROMAGNÉTICOS

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

DIAGNÓSTICO DE INYECTORES

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

CIRCUITO DE CONTROLADORES DE INYECTORES

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

BOMBA DE COMBUSTIBLE

<http://www.mercadolibre.com.ar>

TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS

<http://www.ebay.com>

PROCESO DE LIMPIEZA DE INYECTORES

<http://wwwcruzinperformance.com>

CAVITACIÓN ULTRASÓNICA

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

VENTAJAS PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

<http://www.desarrolloweb.com/articulos/beneficios-poo-resumen.htm>



INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO
TRABAJO FINAL DE GRADO
“Prototipo de banco de prueba y limpieza de inyectores”

ANEXO A

**PLANOS ESTRUCTURALES DEL PROTOTIPO DE BANCO DE PRUEBAS Y
LIMPIEZA DE INYECTORES**