

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Desarrollo de un Sistema de Inyección de Agua para Motores de  
Combustión Interna"

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Bryan Isaac Loor Estévez

Johnny Andrés Beltrán Zumba

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia  
y amigos.

*Isaac Loo Estévez*

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres que gracias a su profundo apoyo y consejos logre seguir adelante.

*Johnny Beltrán Zumba*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto; nuestras familias, amigos y profesores tutores que nos guiaron durante toda nuestra formación profesional.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Bryan Isaac Loor Estévez* y *Johnny Andrés Beltrán Zumba*, y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

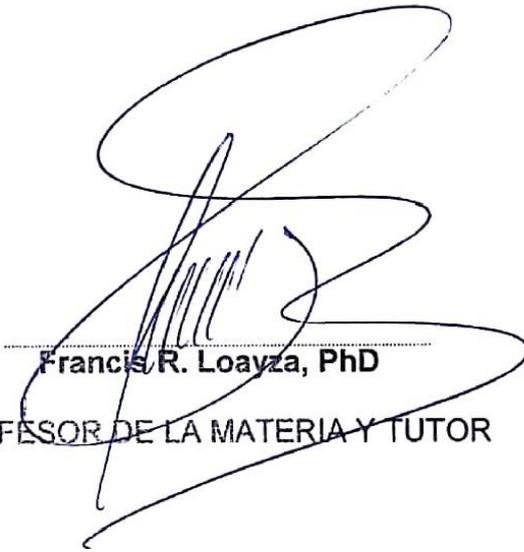


Bryan Isaac Loor  
Estévez



Johnny Andrés Beltrán  
Zumba

# EVALUADORES



Francis R. Loayza, PhD

PROFESOR DE LA MATERIA Y TUTOR

## RESUMEN

En los motores de combustión interna, la inyección de agua es utilizada para rociar agua atomizada en la cámara de combustión con el propósito de enfriar la superficie del pistón para evitar la ignición prematura (cascabeleo) y mejorar así el rendimiento del vehículo. El objetivo de este proyecto es implementar un sistema mono punto de inyección de agua en un vehículo atmosférico en el múltiple de admisión de bajo coste. Para desarrollar este sistema se utilizaron materiales y equipos que se pueden obtener localmente y a un bajo costo, tales como: un controlador Arduino para el sistema de control, un adaptador OBD2 de conexión vía Bluetooth tipo ELM 327, un acople para el Arduino de conexión HC-05, una pantalla LCD para mostrar las mediciones, un inyector, una bomba y un recipiente de agua. Para controlar la salida de agua a través del inyector se utilizó el sensor de presión del vehículo y mediante la programación adecuada, el Arduino lee la información del sensor y envía los pulsos (PWM) hacia el inyector para abrir o cerrar el mismo. Para controlar la cantidad de agua que sale a través del inyector se regulo los pulsos utilizando una relación del 15% entre la gasolina inyectada, valor obtenido en base a varios estudios relacionados al tema. Finalmente, se obtuvo un sistema controlable en base a aproximaciones de la frecuencia de inyección de agua mediante la regulación de pulsos generados por la tarjeta electrónica, en el cual se podría validar el funcionamiento del sistema analizando el incremento del rendimiento del vehículo mediante las gráficas de rendimiento arrojadas por el banco dinamométrico de la CDTS de la ESPOL.

**Palabras clave:** *Inyección de Agua, Arduino, Sensor de Presión, Dinamómetro.*

## **ABSTRACT**

*In internal combustion engines, the injection of water is used for spraying atomized water in the combustion chamber to cool the surface of the piston to prevent premature ignition (engine knocking) and thus improve the performance of the vehicle. The objective of this project is to implement a low cost - single point water injection system in an atmospheric vehicle into the air intake manifold. To develop this system materials and equipment that can be obtained locally and at a low cost were used, such as: an Arduino controller for the control system, an OBD2 adapter via Bluetooth ELM 327, a coupling for the Arduino connection HC-05, an LCD screen to show the measurements, an injector, a pump and a water container. To control the water output through the injector, the vehicle's pressure sensor was used and through proper programming, the Arduino reads the sensor information and sends the pulses (PWM) for the injector to open or close it. To control the amount of water that leaves through the injector, the pulses are regulated using a 15% ratio between the injected gasoline, a value obtained based on several studies related to the subject. Finally, a controllable system was obtained based on approximations of the frequency of water injection by the frequency of the regulation of pulses generated by the electronic card, in which the operation of the system could be validated analyzing the increase of the performance of the vehicle by means of the graphs of performance thrown by the dynamometer bank of the CDTS of ESPOL.*

**Keywords:** *Water Injection, Arduino, Pressure Sensor, Dynamometer.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Reseña Histórica.....	3
1.4.2 Principio de Funcionamiento.....	4
1.4.3 Oferta Actual.....	4
CAPÍTULO 2.....	7
2. Metodología .....	7
2.1 Selección Método de Conexión.....	8
2.1.1 ECU Programable.....	8
2.1.2 Tarjeta Electrónica Comercial.....	9
2.1.3 Matriz de Decisión Conexión .....	10

2.2	Selección del tipo de Controlador.....	12
2.2.1	Arduino .....	12
2.2.2	Raspberry Pi .....	12
2.2.3	BeagleBone Black.....	12
2.2.4	Matriz de Decisión de Controlador.....	13
2.3	Parámetros de Funcionamiento .....	14
2.3.1	MAP (Manifold Absolute Pressure).....	14
2.3.2	MAF (Mass Air Flow) .....	16
2.3.3	Sensor de Temperatura .....	17
2.3.4	RPM del motor .....	18
2.3.5	TPS (Throttle Position Sensor) .....	19
2.3.6	Selección. ....	20
2.4	Líquido de Trabajo.....	20
2.4.1	Agua con Metanol .....	20
2.4.2	Agua Destilada.....	20
2.4.3	Selección .....	21
2.5	Implementación del Sistema .....	21
2.6	Calibración del Sistema.....	27
CAPÍTULO 3.....		32
3.	Resultados y Análisis.....	32
3.1	Obtención de Datos.....	32
3.2	Regulación PWM.....	33
3.3	Validación del Sistema .....	36
3.4	Análisis de Costos .....	36
CAPÍTULO 4.....		39
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	39
4.1	Discusión.....	39

4.2	Conclusiones.....	40
4.3	Recomendaciones.....	41

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MCI	Motor de Combustión Interna
ECU	Engine Control Unit
PWM	Pulse Width Modulation
PID	Proportional – Integral – Derivative (Controlador)
OBD-II	on Board Diagnostics
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
MAP	Manifold Absolute Pressure
MAF	Mass Air Flow
TPS	Throttle Position Sensor
GND	Ground (Tierra)
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable.

## SIMBOLOGÍA

kPa	Kilo Pascales
km/h	Kilómetros por Hora
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
J/kg	Joule por Kilogramo
rpm	Revoluciones por Minuto
cm	Centímetro
s	Segundo
ms	Milisegundo
L	Litro
cc	Centímetro Cubico
hp	Caballos de Fuerza

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de inyección de agua de AEM .....	5
Figura 1.2 Elementos del Sistema de Inyección de Agua para MCI.....	6
Figura 2.1 Metodología del Diseño .....	7
Figura 2.2 Haltech Elite 1000 .....	9
Figura 2.3 Adaptador Arduino OBD II.....	10
Figura 2.4 Comparación de Tarjetas Electrónicas.....	13
Figura 2.5 Sensor MAP .....	15
Figura 2.6 Presión vs Tiempo.....	15
Figura 2.7 Sensor MAF. ....	16
Figura 2.8 Masa de Aire vs Tiempo.....	17
Figura 2.9 RPM. ....	18
Figura 2.10 Sensor de Mariposa .....	19
Figura 2.11 TPS vs Tiempo.....	19
Figura 2.12 Diagrama de Bloques del Equipo .....	22
Figura 2.13 Adaptador OBD2 – ELM327.....	23
Figura 2.14 Diagrama de Conexión.....	24
Figura 2.15 Información de Sensores.....	24
Figura 2.16 Esquema eléctrico del inyector.....	25
Figura 2.17 Posición del Inyector .....	27
Figura 2.18 Diagrama de Instalación en el Vehículo .....	27
Figura 2.19 Pulso de Inyección .....	28
Figura 3.1 Interfaz Arduino – ELM327 .....	32
Figura 3.2 Respuesta del Sistema.....	34
Figura 3.3 Tren de Pulsos a 30 kPa .....	34
Figura 3.4 Tren de Pulsos a 90 kPa .....	35
Figura 3.5 Equipo de Inyección .....	36
Figura 3.6 Controlador AEM Comercial.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Descripción de los Criterios .....	11
Tabla 2.2 Valor de Asignación.....	11
Tabla 2.3 Matriz de Decisión de Conexión .....	11
Tabla 2.4 Matriz de Decisión Controlador .....	13
Tabla 3.1 Costos de los elementos del dispositivo .....	37

# ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Esquema de Conexión

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador se comercializan 3 tipos de combustibles para motores de combustión interna. Los octanajes son para la extra 80, eco país 82 y super 90. La diferencia de precios entre la super y las otras dos de más bajo octanaje es cerca del doble debido a la decisión del gobierno ecuatoriano en quitar el subsidio a este tipo de combustible (El Universo, 2018).

Uno de los problemas en usar combustibles de bajo octanaje, especialmente en motores con altas relaciones de compresión y en climas cálidos, es que se producen un fenómeno denominado auto detonación o cascabeleo como se conoce comúnmente.

Este fenómeno ocurre cuando la mezcla aire-combustible se combustiona prematuramente, generando condiciones extremas para el funcionamiento del motor, ocasionando una importante reducción en el rendimiento y serios daños al motor.

### 1.1 Descripción del problema

El número de octano se refiere a la compresibilidad del combustible asociado, es decir, a mayor número de octano, la gasolina puede ser comprimida en mayor medida antes de dar lugar a la ignición, obteniendo un mayor rendimiento. En contraste, al bajar el octanaje, la capacidad de compresión también baja, por lo cual la mezcla aire-combustible es más propensa a encenderse debido a puntos calientes en la cámara, pudiendo combustionar antes del punto muerto superior, provocando que el pistón entorpezca su marcha y en vez de seguir con el giro natural del motor, lo impida. (Erjavec, 2009)

### 1.2 Justificación del proyecto

Para minimizar este problema, se recomienda usar un combustible de más alto octanaje que es mucho más costoso. Otra opción que se plantea en este trabajo es reducir la temperatura de la cámara de combustión, especialmente la cabeza del pistón para que la combustión inicie siempre desde la bujía y así

quemar de manera más eficiente la mezcla de aire combustible en su totalidad (Wilson J. P., 2011). Para ello, se usa un sistema de inyección de agua y/o agua con metanol en la mezcla aire-combustible. El cambio de fase del agua reduce significativamente la temperatura de los pistones, válvulas, escape y catalizadores principalmente, lo que minimiza el problema de auto detonación e incluso reduce los niveles de contaminantes como el NOX (Mingrui, Sa, Turkson, Jinping, & Guanlun, 2016).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar un sistema mono punto de inyección de agua a un vehículo atmosférico en el múltiple de admisión.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Desarrollar un dispositivo electrónico que controla la cantidad de agua que será inyectada dentro del motor en función de la medición de parámetros en la admisión del motor.
2. Calibrar el sistema y probar su eficiencia en un banco dinamométrico.
3. Medir torque, potencia y emisión de contaminantes con y sin el dispositivo para efectos de comparación, utilizando combustibles de varios octanajes.

### **1.4 Marco teórico**

En motores de combustión interna (MCI), la inyección de agua se encarga de rociar agua en el aire de entrada o en la mezcla aire-combustible, o directamente en la cámara de combustión con el objetivo de enfriar la superficie del pistón considerado como un "punto caliente" (por ejemplo, el hollín dejado sobre el pistón por una mala combustión) lo cual podría producir ignición prematura, también llamado auto detonación (Gupta, 2009).

### 1.4.1 Reseña Histórica

Los sistemas de inyección de agua se empezaron a desarrollar en la década de 1940 (antes de la II Guerra Mundial) con el objetivo de mejorar la eficiencia de los aviones alemanes a gasolina modificados con estos sistemas para aumentar la potencia de despegue.

Con el avance en el campo automotriz, este sistema no tardó en ser empleado en automóviles, siendo la empresa manufacturera Saab la primera en entregar un modelo comercial con un sistema de inyección de agua. Adicionalmente, en los años 80, se incorporó este sistema a los vehículos de competición Formula 1, incrementando su popularidad. (Snow Performance, 2018)

En los siguientes años se publicaron varias patentes para sistemas de inyección de agua con distintos métodos de funcionamiento como la patente de la Mitsubishi Motor Group donde el agua se deposita directamente en la cámara de combustión (United States Patent No. US6112705A, 1998); o basar su funcionamiento en parámetros de control del vehículo como las patentes de Te-Fa-Lee (United States Patent No. US6505579B1, 2001) o Sidney Binion (United States Patent No. US5937799A, 1994).

Debido a la introducción del intercooler, el interés en el agua inyectable para evitar la detonación casi desapareció, pero recientemente la inyección de agua ha despertado un interés porque ofrece una mejora extra en el performance de los vehículos, especialmente de competición. Actualmente, el BMW M4 GTS es el primer vehículo de alta gamma que incorpora este sistema desde salido de la fábrica (Snow Performance, 2018).

La multinacional Bosch, que en los últimos años ha desarrollado esta tecnología, ofrece un sistema de inyección de agua comercial llamado WaterBoost para otros fabricantes. La empresa menciona que se puede obtener hasta 5% de aumento en rendimiento del motor, hasta 4% disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> y hasta 13% de mejora en economía de combustible (Bosch Mobility Solutions, 2016).

### **1.4.2 Principio de Funcionamiento**

El agua posee un calor latente de vaporización muy alto (2255 e3 J/kg) por lo que cuando el agua a temperatura ambiente se inyecta en el múltiple de admisión y llega a la cámara de combustión, la transferencia de calor entre el recipiente caliente y el líquido provoca que este se evapore, consumiendo energía en el cambio de fase lo que disminuye la temperatura de la cámara.

Esta reducción permite que una carga en la admisión (agua-aire) más fresca y de hecho más densa con mayor eficiencia volumétrica, entre en la cámara y mejore la eficiencia de la combustión.

Sin embargo, una correcta relación de agua-aire es imperativa, debido a que demasiada agua en la cámara de combustión podría causar más problemas de los que se propone solucionar, como por ejemplo el problema conocido como hydrolock, en el cual el volumen del punto muerto superior es menor que el líquido en la cámara causando presiones muy altas en el cilindro; o también la posible corrosión causada por un exceso de agua, oxidando las paredes dentro de la cámara, los pistones y demás componentes.

Si bien la auto detonación es el principal inconveniente que este proyecto aspira a solucionar, el sistema de inyección de agua permite además una reducción significativa de emisiones como NOX y CO2 y abre un abanico de posibilidades para el diseño de motores con mejores relaciones de compresión y menor consumo de combustible (Sahin, Tuti, & Durgun, 2014).

### **1.4.3 Oferta Actual**

Actualmente existen diversos tipos de marcas que ofrecen varios tipos (kits) de sistemas de inyección de agua, en la mayoría utilizan una mezcla de agua con metanol, ya que la misma además de enfriar la cámara debido a las propiedades del metanol, también ayuda a controlar la combustión en general.

AEM Performance Electronics (Figura 1.1) es una de las marcas que presenta un sistema de inyección de agua metanol para vehículos, su

funcionamiento consta de un sistema eléctrico (controlador) propio de AEM el cual se encarga de activar la bomba y enviar el agua metanol a través del inyector en forma de una niebla atomizada en el sistema de admisión de aire, este sistema trabaja en función de un sensor de flujo de aire (MAF sensor) colocado antes del colector de admisión del motor y después del filtro de aire, el cual se encarga de medir la cantidad de aire que el motor está aspirando y en base a esta medida se inyecta el agua (AEM Electronics, 2018).

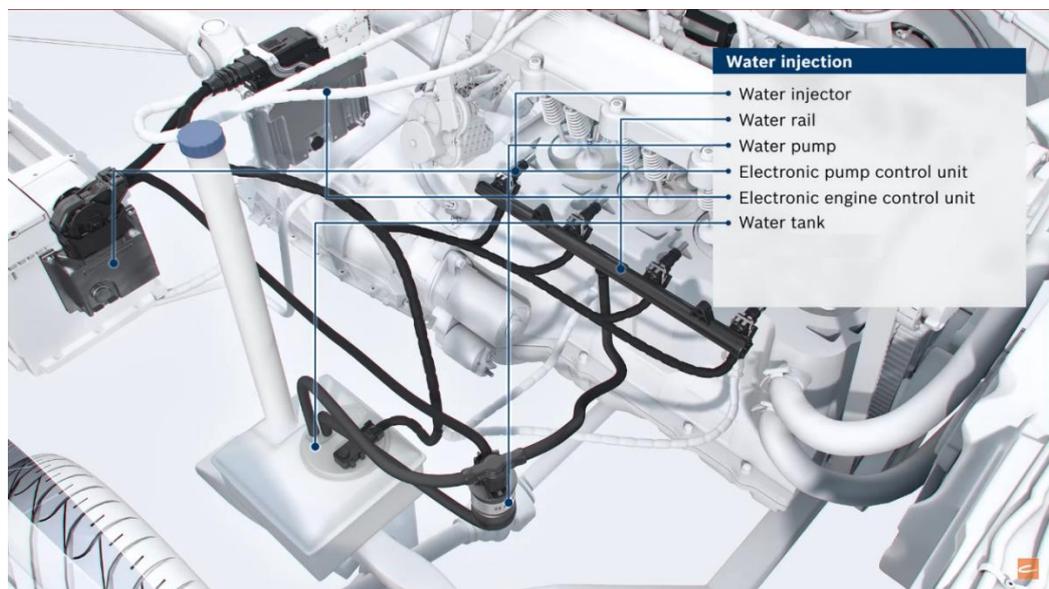


**Figura 1.1 Sistema de inyección de agua de AEM**

(fuente: AEM Electronics)

Snow Performance es otra marca que presenta un sistema de inyección de agua metanol para vehículos, su funcionamiento consta de un sistema eléctrico (controlador) el cual opera en función de dos parámetros: las millas por galón (MPG), esta es una medida de la distancia recorrida en función del combustible utilizado, y el otro parámetro corresponde a un sensor de temperatura de los gases de escape del motor (EGT), en base a estos dos parámetros el sistema inyecta agua metanol en el múltiple de admisión y tiene como propósito disminuir las emisiones, limpiar los componentes del motor y economizar el uso de combustible (Snow Performance, 2018).

Bosch es otra de las marcas que presenta un sistema de inyección de agua, este sistema funciona de manera similar al de Snow Performance con la diferencia de que su sistema es de multipunto de inyección (Figura 1.2). ALKY es otra marca que presenta un sistema de inyección, funciona en base a parámetros de presión en el sistema de admisión, a mayor presión leída mayor será el voltaje enviado hacia la bomba para incrementar la presión de inyección, el sistema cuenta con un controlador adecuado que en base a ciertos parámetros inyecta el agua antes de la mariposa (throttle).



**Figura 1.2 Elementos del Sistema de Inyección de Agua para MCI**

(fuente: Bosch WaterBoost)

Considerando que los dispositivos (kits) comercializados por las diferentes marcas mencionadas anteriormente las cuales funcionan en base a diferentes parámetros de control y todos ellos están diseñados para funcionar en vehículos de competencia, además de que son bastante costosos; se presenta en este trabajo el desarrollo de un dispositivo de bajo costo para vehículos atmosféricos que estará conformado por un controlador basado en Arduino, el cual funcionará como sistema de regulación principal; un adaptador ELM327, con el cual podremos conectarnos a la ECU del vehículo para obtener la información respectiva y regular los pulsos de trabajo del inyector y bomba especializada para el rocío del agua en el múltiple de admisión del motor.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Como antecedente de este trabajo, ya existe un sistema rudimentario de inyección de agua implementado en el vehículo del cliente, de modelo Toyota Yaris 2006, lo cual tuvo que ser considerado al momento del desarrollo de este proyecto. Además, los requerimientos del cliente para el funcionamiento del sistema fueron de vital importancia, puesto que, si se ignora alguno de estos, el sistema pudiese no ser el adecuado y correr el riesgo de la negativa del cliente a implementar el sistema en su vehículo.

De acuerdo con la revisión literaria, se notó que un sistema de inyección de agua puede ser categorizado en base a tres variables principales: la señal leída por el controlador para el funcionamiento del sistema, el tipo de líquido que es inyectado al múltiple de admisión, y las características del controlador (tarjeta electrónica) que se ha de implementar.

La figura 2.1 presenta de forma resumida la metodología del diseño que sentará las bases para las secciones de este proyecto.



Figura 2.1 Metodología del Diseño

## **2.1 Selección Método de Conexión**

Para los automotores modernos, todos los parámetros de control de un motor de combustión interna se gestionan a través de una ECU, la cual maneja toda la información electrónica referente a la operación del vehículo como lo son los sensores, inyectores, bombas y sistemas de medición. Generalmente esta ECU viene programada de fábrica para trabajar acorde a las especificaciones de cada vehículo, estableciendo su funcionamiento de acuerdo con lo que el fabricante establezca para su marca y modelo; por lo cual, la reprogramación no es posible ya que viene bloqueada de fábrica.

Como alternativa, existen ECUs comerciales que permiten programación y modificación de los parámetros de control, siendo las principales marcas: Haltech, AEM, MoTec y Hondata; estas unidades de control también permiten añadir otros tipos de sensores de acuerdo con las necesidades del usuario.

Por ello puede ser factible la selección de una ECU de tipo programable que reemplace a la unidad de fábrica del vehículo y obtener fácilmente los parámetros de funcionamiento para el sistema de inyección de agua.

En base a estas consideraciones, nos vimos en la necesidad de evaluar si el sistema de inyección de agua puede ser incorporado directamente desde la ECU o debe ser controlado por una tarjeta electrónica como se consideró inicialmente.

### **2.1.1 ECU Programable**

De acuerdo con la oferta actual de ECUs programables en el país, se destaca la marca Haltech, con la cual trabajan numerosos talleres automotrices locales. Con esta opción, podríamos conectar directamente el inyector de agua a una de las terminales de la unidad de control y, mediante el software provisto por la empresa, programar en base a parámetros de interés, la frecuencia de inyección. La programabilidad de estas ECUs es bastante accesible y lograría cumplir los requerimientos de este trabajo sin ningún problema. Al reemplazar totalmente la unidad de control, se estaría encargando al nuevo sistema la total operatividad del vehículo; por lo cual se obtendrían ventajas adicionales para nuestro equipo puesto que estaría a nuestra disposición cualquier parámetro del vehículo que sea manejado por la ECU para incorporarlos en el desarrollo de este trabajo. Por otro lado,

su mayor desventaja es su elevado costo de adquisición, ya que estas ECUs superan los miles dólares americanos en el mercado local por lo cual para su adquisición será necesario traerla del exterior.

De acuerdo con una revisión de los distintos modelos que ofrece Haltech para diversos propósitos, el modelo Elite 1000 (Figura 2.2) prestaría todas las facilidades que nuestro trabajo requiere, junto con un adaptador de pines ofrecido por la misma empresa y la configuración de pulsos (PWM) hecha en base a la carga enviada por la ECU al múltiple de admisión, el sistema estaría listo para ser implementado (Haltech, 2018).



**Figura 2.2 Haltech Elite 1000**

(fuente: Haltech)

### **2.1.2 Tarjeta Electrónica Comercial**

Si bien la conexión a la ECU presenta bastantes beneficios, puesto que se tiene acceso a toda la información electrónica del carro, existe otra alternativa en la cual se puede utilizar un microcontrolador para el desarrollo de este proyecto. En el mercado existen comercialmente tarjetas de control programables muy accesibles, entre las principales marcas comerciales están: Arduino, Raspberry Pi, DECA y BeagleBone Black; estas tarjetas se pueden conectar a la ECU del vehículo o funcionar de manera paralela, por lo que es factible conectar el sistema de inyección de agua a las mismas. La programabilidad de las tarjetas es bastante accesible; como casi todas trabajan con un software libre, existen librerías (códigos de programación) disponibles para el uso. El tiempo de respuesta

de estas tarjetas depende mucho del tipo y modelo de tarjeta, pero de manera general, es más que suficiente para esta aplicación (Wilson, Julio, Danilo, & Gabriel, 2016), además su bajo costo de adquisición en contraste a una ECU programable; asimismo gracias a su gran disponibilidad en el mercado presenta una alternativa bastante atractiva. Su mayor desventaja es que el microcontrolador en sí se presenta como una tarjeta expuesta al ambiente, por lo que su integridad se vería comprometida si no se encuentra en un medio controlado.

Con respecto al método de conexión en sí de la tarjeta electrónica con la unidad de control, se tiene el puerto OBD-II como medio de comunicación entre los dos dispositivos (Edelstein, 2017). Este puerto es donde comúnmente se conectan las máquinas de diagnóstico para obtener toda la información referente al estado de funcionamiento del vehículo; por consiguiente, es posible conectar el controlador al vehículo mediante una conexión UART y regular la frecuencia de inyección de agua con información obtenida de la ECU.



**Figura 2.3 Adaptador Arduino OBD II**

(fuente: Freematics)

### **2.1.3 Matriz de Decisión Conexión**

Para la selección de la alternativa que más se ajuste a nuestros requerimientos, se utilizó una matriz de decisión con los criterios considerados relevantes para esta sección: programabilidad, tiempo de

respuesta, mantenimiento y costo de adquisición; se adjunta una breve descripción de cada criterio en la tabla 2.1.

Se presenta en la tabla 2.2 los valores asignados a cada parámetro cualitativo y la tabla 2.3 presenta los resultados de la matriz de decisión.

**Tabla 2.1 Descripción de los Criterios**

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Programabilidad</b>	Referido a la facilidad de programar el funcionamiento de la alternativa analizada de acuerdo con cambios que se presenten.	30%
<b>Tiempo de Respuesta</b>	Alusivo a la capacidad del sistema en detectar cambios de la entrada e incorporarlos en la salida en función del tiempo.	25%
<b>Mantenimiento</b>	Relacionado a la necesidad de todos los componentes del sistema en ser revisados continuamente.	15%
<b>Costo de Adquisición</b>	Concerniente al costo de compra de la alternativa, junto con todos los costos adicionales, de ser necesarios.	30%

**Tabla 2.2 Valor de Asignación**

<b>Medida Cualitativa</b>	<b>Valor Asignado</b>
Excelente	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

**Tabla 2.3 Matriz de Decisión de Conexión**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>ECU Programable</b>	<b>Valor</b>	<b>Tarjeta Electrónica</b>	<b>Valor</b>
Programabilidad	30 %	4	1.2	4	1.2
Tiempo de Respuesta	25 %	4	1.0	2	0.5
Mantenimiento	15 %	4	0.6	2	0.3
Costo de Adquisición	30 %	1	0.3	4	1.2
<b>Total</b>	100 %	15	3.1	15	<b>3.2</b>

De la matriz de decisión obtenemos que la mejor alternativa para el sistema de control del dispositivo de inyección es utilizar una tarjeta electrónica.

## **2.2 Selección del tipo de Controlador**

Como fue mencionado anteriormente, existen varias tarjetas electrónicas en el mercado, cada una con características distintas que serán sorteadas para la correcta selección de un modelo mediante criterio técnico basado en el bit/rate de estos microcontroladores (Bishop, 2006).

A continuación, se presenta un análisis de los tres modelos presentes en el mercado que más se ajustan a nuestras necesidades.: Arduino, Raspberry Pi y BeagleBone Black.

### **2.2.1 Arduino**

Este modelo de tarjeta electrónica se comercializa como un proyecto open-source lo cual lo hace muy adaptable a cualquier requerimiento debido a sus extensas librerías de códigos existentes, además del amplio catálogo de sensores que pueden ser adaptados a la tarjeta sin mayor dificultad.

### **2.2.2 Raspberry Pi**

Este modelo de tarjeta va más allá que el Arduino, puesto que al Raspberry Pi se lo considera como un ordenador miniaturizado. Sin embargo, este controlador podría cumplir sin problemas el requerimiento de este proyecto, e inclusive ofrecer un mayor alcance, incorporando alguna otra función de medición al mismo equipo gracias a su mayor velocidad de procesamiento.

### **2.2.3 BeagleBone Black**

Perteneciente a la familia de Beagle Boards, esta tarjeta en específico presenta las mismas funcionalidades del Raspberry Pi, añadiendo la ventaja de bajo poder de funcionamiento y su funcionamiento en Linux.

La figura 2.4 presenta una comparativa resumida de los tres modelos analizados en función de las principales características que ofrecen cada uno (Meike, 2010).

Name	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Model Tested	R3	Model B	Rev A5
Price	\$29.95	\$35	\$89
Size	2.95"x2.10"	3.37"x2.125"	3.4"x2.1"
Processor	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex-A8
Clock Speed	16MHz	700MHz	700MHz
RAM	2KB	256MB	256MB
Flash	32KB	(SD Card)	4GB(microSD)
EEPROM	1KB		
Input Voltage	7-12v	5v	5v
Min Power	42mA (.3W)	700mA (3.5W)	170mA (.85W)
Digital GPIO	14	8	66
Analog Input	6 10-bit	N/A	7 12-bit
PWM	6		8
TWI/I2C	2	1	2
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
Dev IDE	Arduino Tool	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Python, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Ethernet	N/A	10/100	10/100
USB Master	N/A	2 USB 2.0	1 USB 2.0
Video Out	N/A	HDMI, Composite	N/A
Audio Output	N/A	HDMI, Analog	Analog

**Figura 2.4 Comparación de Tarjetas Electrónicas.**

(fuente: Roger Meike – Digital Dinner, 2010)

## 2.2.4 Matriz de Decisión de Controlador

Para la selección de la tarjeta electrónica a utilizar para el desarrollo del controlador, analizando el modelo que más se ajuste a nuestros requerimientos, se hizo uso de una matriz de decisión con los criterios considerados anteriormente. Se empleó nuevamente la tabla 2.2 para los valores de asignación.

La tabla 2.4 presenta los resultados de la matriz de decisión.

**Tabla 2.4 Matriz de Decisión Controlador**

Criterio	Peso	Arduino		Raspberry Pi		BeagleBone Black	
Programabilidad	30 %	4	1.2	3	0.9	3	0.9
Tiempo de Respuesta	25 %	3	0.75	4	1.0	4	1.0
Mantenimiento	15 %	2	0.3	2	0.3	2	0.3
Costo de Adquisición	30 %	4	1.2	3	0.9	1	0.3
<b>Total</b>	100 %	18	<b>3.45</b>	15	3.1	14	2.5

(fuente: Elaboración Propia)

De la matriz de decisión se obtuvo que la mejor alternativa para la tarjeta electrónica que controlara el sistema de inyección es un Arduino.

El modelo para utilizar en concreto será la de un Arduino Uno, por lo que no se requiere de muchos puertos y la capacidad de procesamiento es suficiente para la función que será aplicada en este proyecto.

## **2.3 Parámetros de Funcionamiento**

Actualmente el sistema de inyección de agua implementado en el vehículo del cliente funciona en base a un generador de pulsos; la inyección de agua es permanente y continua todo el tiempo. Afortunadamente la configuración geométrica del múltiple de admisión del vehículo es tal, que tiene una caída antes de la entrada a las cámaras de combustión por la cual toda el agua que es rociada y no entra en funcionamiento, cae hacia el exterior del vehículo, aspecto que debería ser revisado de acuerdo con la configuración de otro tipo de vehículo donde se requiera instalar el sistema.

Por ello es por lo que se pretende seleccionar bajo que parámetro de control (PID) el sistema de inyección debería funcionar idealmente, para que este sea activado únicamente en el momento en que sea realmente necesario.

La mayoría de los vehículos ya cuentan con varios sensores de control y funcionamiento los cuales son administrados y controlados por la ECU de este (Outils OBD Facile, 2018). Dentro de los sensores ya existentes en el vehículo, los que más se ajustan a nuestro requerimiento de funcionamiento son: el sensor de presión en el múltiple de admisión (MAP sensor), el sensor de flujo de aire (MAF sensor), el sensor de temperatura del motor (termocupla), el tacómetro del vehículo (RPM) y el sensor de la posición de la mariposa (throttle position).

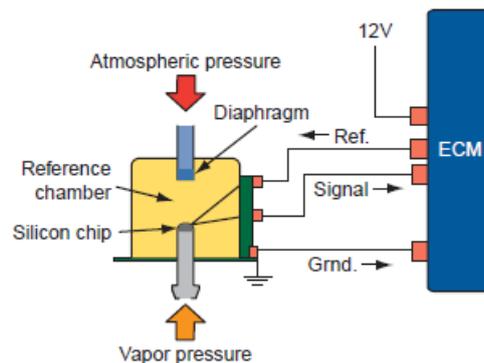
Cabe mencionar la importancia del lenguaje de comunicación del vehículo donde va a ser instalado el sistema, ya que este protocolo es el que dicta los distintos PIDs disponibles para la lectura. Un listado de los protocolos más importantes para los distintos modelos de automóviles se enumera en el Anexo A.

### **2.3.1 MAP (Manifold Absolute Pressure)**

El sensor MAP es un tipo de sensor electrónico ubicado encima del múltiple de admisión del vehículo, cuya función es medir la succión de vacío en el

múltiple mediante la variación de una membrana interior, entregando un mayor o menor voltaje a la unidad de control (0-5 V) (Erjavec, 2009).

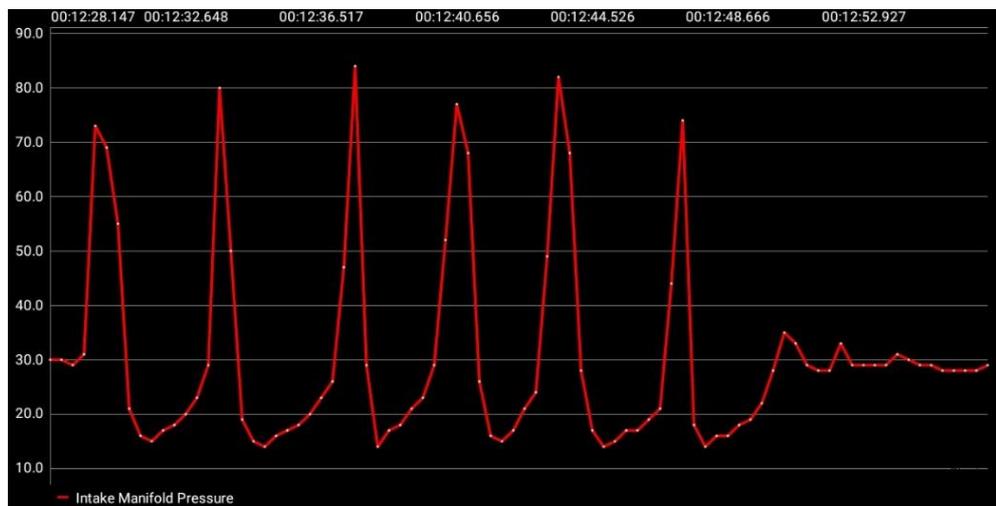
Este sensor se lo utiliza para controlar la cantidad de combustible que es inyectada en la cámara de combustión, ya que a medida que mayor presión lea el sensor, implica que una mayor cantidad de aire es succionada hacia la cámara con lo cual se requiere una mayor inyección de combustible.



**Figura 2.5 Sensor MAP**

(fuente: Automotive Technology, 2009)

La figura 2.6 muestra la presión leída por el sensor de presión en función del tiempo, frente a una perturbación de pulsos de aceleración similares. Esta gráfica fue obtenida con ayuda de un adaptador ELM 237 y la aplicación para Android TORQUE.



**Figura 2.6 Presión vs Tiempo.**

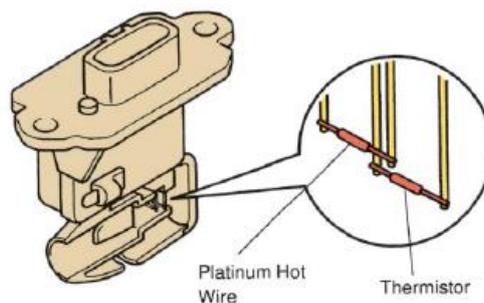
La toma de datos fue realizada en un vehículo de pruebas Chevrolet Optra 2005 por medio de pulsos alternativos de aceleración.

Como se observa, el comportamiento de la presión leída por el dispositivo es lineal con respecto a los pulsos entregados, aunque existe un sobre nivel porcentual (overshoot) para cada desaceleración, lo cual debería ser incorporado en el análisis.

### 2.3.2 MAF (Mass Air Flow)

El sensor MAF es un tipo de sensor electrónico ubicado en el múltiple de admisión, más específicamente, entre la caja de filtro de aire y el cuerpo de aceleración (Erjavec, 2009).

Mide el flujo de la masa de aire que entra al motor mediante la corriente necesaria para mantener una temperatura de control en la arquitectura del sensor, a mayor cantidad de aire que ingresa, la temperatura disminuye por lo cual la corriente necesaria será mayor, dicha variación es medida mediante un puente de Wheatstone por la ECU para determinar la duración de la inyección de combustible y el tiempo de ignición para una determinada carga de aire.



**Figura 2.7 Sensor MAF.**

(fuente: Automotive Technology, 2009)

La figura 2.8 muestra la presión leída por el sensor de flujo en función del tiempo, frente a perturbaciones similares causados por aceleraciones pulsantes de hasta los 3000 RPM



**Figura 2.8 Masa de Aire vs Tiempo.**

Como se observa, la lectura de este sensor es un tanto errática, lo cual dificultaría el análisis posterior para la configuración del PWM. Sin embargo, se aprecian picos justo en los valores máximos de las perturbaciones, lo cual serviría para un sistema en base a valores definidos en el diseño del sistema de inyección.

### 2.3.3 Sensor de Temperatura

Existen diversos tipos de sensores que cumplen esta función, pero el más utilizado es el termistor.

El sensor en realidad no está colocado directamente en la cámara de combustión del vehículo, sino más bien en la culata del motor y muy cerca del último cilindro. Lo que el sensor mide realmente es la temperatura del líquido refrigerante cuando está saliendo del motor, en otras palabras, cuando el refrigerante alcanza su mayor temperatura luego de haber refrigerado todos los cilindros. El sensor funciona en base a un cambio en su resistencia lo que provoca una caída de voltaje a la ECU del vehículo para que ajuste la mezcla aire combustible y la duración del pulso de los inyectores (Erjavec, 2009).

No obstante, esta variable es de lenta respuesta debido a que la diferencia de temperatura varía en unos pocos grados centígrados en el tiempo de

funcionamiento del motor, lo cual presenta una desventaja para un sistema de respuesta inmediata como es nuestro caso.

### 2.3.4 RPM del motor

Los RPM del motor del vehículo se miden utilizando un tacómetro, este instrumento está colocado en el cigüeñal del motor y funciona en base a una variación de voltaje que aumenta a mayor velocidad de giro del motor (Erjavec, 2009). Tomando como base este funcionamiento, este parámetro se ajusta a lo requerido por nuestro sistema, ya que los giros del cigüeñal son en base a los ciclos que ocurren en las cámaras de combustión, es decir, a cada vez que ingresa la mezcla aire – combustible que deseamos modificar.

Dicha variable es de respuesta inmediata y presenta un parámetro que se ajusta a nuestros requerimientos del sistema.

Sin embargo, el error de medición de este instrumento presenta un obstáculo, puesto que se llega a valores importantes en vehículos antiguos.

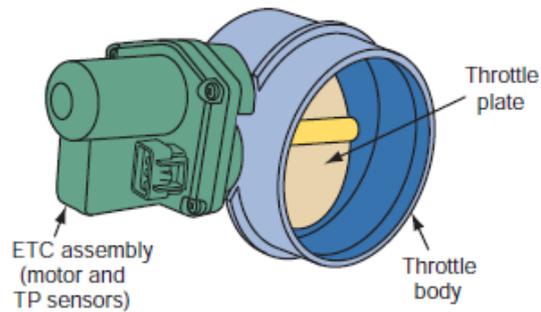


**Figura 2.9 RPM.**

La figura 2.9 muestra lo mencionado anteriormente, debido a que los pulsos fueron dados hasta los 3000 RPM según el tacómetro del vehículo de pruebas, pero el sensor marca 2800 RPM, lo cual presenta una diferencia del 6%, explicable debido a la antigüedad del vehículo donde se realizaron las pruebas (f. 2005).

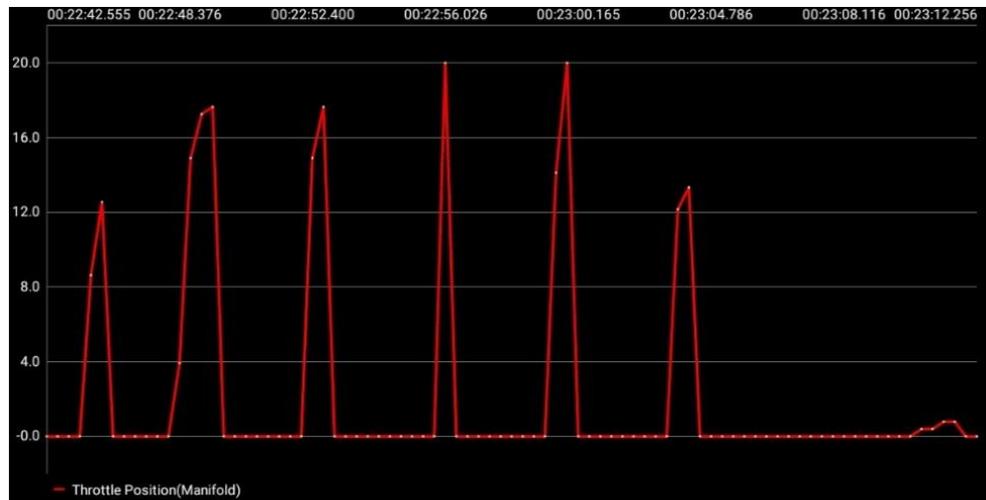
### 2.3.5 TPS (Throttle Position Sensor)

El TPS es el sensor encargado de medir la posición de la mariposa para determinada aceleración del usuario. Se ubica en el eje móvil de la mariposa, con lo cual la ECU puede monitorear su porcentaje de apertura (Erjavec, 2009).



**Figura 2.10 Sensor de Mariposa**

(fuente: Automotive Technology, 2009)



**Figura 2.11 TPS vs Tiempo.**

La figura 2.11 nos indica la apertura de la mariposa para cada aceleración, con lo cual se aprecia un comportamiento lineal y prácticamente instantáneo, lo cual se ajusta para nuestras necesidades.

### **2.3.6 Selección.**

De acuerdo con todos estos criterios analizados para los distintos sensores mencionados en este proyecto se procedió a escoger como la mejor opción a la del sensor MAP (sensor de presión en el múltiple de admisión), ya que esta variable se ajusta a nuestros requerimientos en base a que funciona como un medidor del vacío generado en la admisión de las cámaras de combustión. Además, se tiene la ventaja de que su valor numérico es enviado directamente desde la ECU al controlador, a diferencia de los demás sensores en los cuales se debe realizar un cálculo previo antes de poder ser leído por nuestro equipo (referente a los PIDs de OBD2).

## **2.4 Líquido de Trabajo**

Como se mencionó en el capítulo 1, la revisión bibliográfica hecha para este trabajo propone que una mezcla de agua con metanol es la ideal para este tipo de sistemas. Sin embargo, se analiza la posibilidad de utilizar como líquido de trabajo, agua destilada.

### **2.4.1 Agua con Metanol**

Mezclar agua destilada con metanol (tipo de alcohol más simple que existe) nos da como resultado una mezcla homogénea, la cual, al ser inyectada en la cámara de combustión provee todos los beneficios que se desea de este sistema, a costo de una baja en su inflamabilidad, factor recuperable con la adición del metanol, puesto que su composición carburante en conjunto con la capacidad calorífica del agua, hacen de la mezcla el líquido de trabajo óptimo (Gearhart, 2011). Si bien esta alternativa se presenta como la mejor opción; se debe mencionar que para su selección se debe comprar una bomba e inyector especializados, debido a la naturaleza corrosiva del metanol, que podría comprometer el diseño de nuestro sistema, incrementando costos.

### **2.4.2 Agua Destilada**

El uso de agua común, como ya se mencionó, ocasiona una baja de inflamabilidad en la cámara de combustión, pero de acuerdo con varios

autores (Mingrui, Sa, Turkson, Jinping, & Guanlun, 2016), está perdida es mínima y no debería ser un problema para el uso cotidiano del vehículo.

### **2.4.3 Selección**

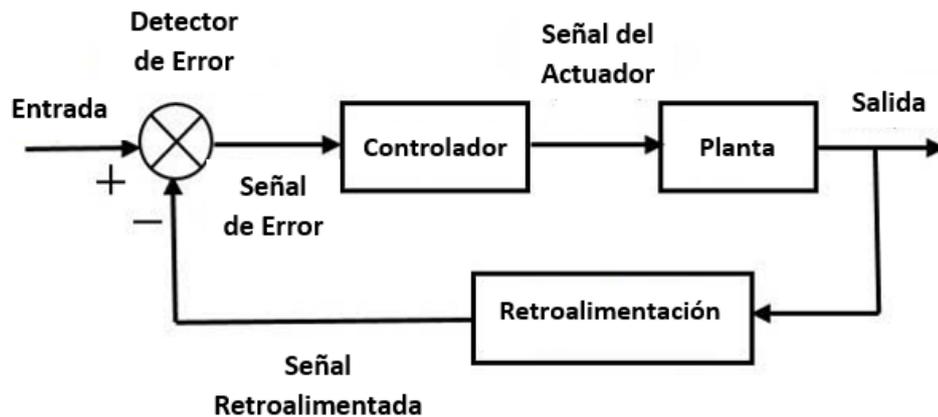
Debido a que este proyecto se presenta como una mejora a un sistema ya existente, se desarrolló este sistema haciendo uso de los componentes ya disponibles. Esto es la bomba y el inyector ya instalados en el vehículo, ninguno de los cuales puede operar con una mezcla de agua con metanol por falta de protección contra la corrosión.

Sin embargo, si se desea obtener el máximo rendimiento para el vehículo, como por ejemplo para vehículos de competición, la selección del agua con metanol sería la ideal, pero esto obligaría la compra de una bomba e inyector especializados lo cual se debería considerar en el presupuesto final.

## **2.5 Implementación del Sistema**

Una vez analizadas todas las alternativas y, habiendo seleccionado las que más se ajustan a nuestro proyecto en base a las distintas matrices de decisión; se procede a presentar en esta sección los diagramas de conexión del sistema y su respectiva instalación en el vehículo para realizar las pruebas correspondientes. Resumiendo, se basará el sistema de inyección de agua en el funcionamiento del sensor MAP del vehículo, información que será recopilada a través de la ECU y enviada para su lectura y la conveniente transformación en PWM al controlador tipo Arduino UNO, el cual a su vez enviará los pulsos a la bomba para controlar la cantidad de agua inyectada.

El sistema de control de este equipo se podría modelar como un típico sistema retroalimentado como la figura 2.12.



**Figura 2.12 Diagrama de Bloques del Equipo**

Donde el controlador sería la tarjeta electrónica, la planta el sistema de inyección y la retroalimentación sería causada por las variantes de las mediciones de presión.

Con lo que respecta al método de conexión entre el vehículo y el controlador, se tuvo dos alternativas, alámbrica o inalámbrica. Si bien por factores de confiabilidad y robustez en general del sistema, una conexión alámbrica se presenta como la elección más lógica, nos encontramos con el impedimento de que los componentes necesarios para desarrollar el equipo con esta opción no se encuentran en el país e importarlos conlleva sus dificultades. Tomando como ejemplo el caso del cable de conexión entre el puerto OBD2 del vehículo y el controlador Arduino, se encontró el componente justo para nuestra aplicación en una tienda virtual localizada en Australia, lo cual aumenta significativamente el precio por causa de los costos adicionales de envío y aduanización, lo que duplica el precio original de compra del cable. Además, el obstáculo más disuasorio fue el hecho de que el tiempo de envío entre Australia y Ecuador supera ampliamente los 2 meses en la gran mayoría de los casos, tiempo con el que no se contaba debido a la duración límite del proyecto.

Debido a estas dificultades, se procedió a trabajar con la conexión inalámbrica, para la cual existe una gran variedad de adaptadores en el mercado local y de distintos métodos de acoplamiento como Bluetooth o Wi-Fi.

El adaptador seleccionado fue el scanner multi protocolo ELM 327 BT mini (figura 2.13), el cual se conecta al puerto OBD2 y transmite los datos vía Bluetooth. Este

producto de la empresa ELM Electronics es de gran uso en la industria automotriz como herramienta de recopilación de datos y de diagnóstico de vehículos, proveyendo una plataforma multiprotocolo capaz de extraer cualquier tipo de información brindada por los PIDs manejados en la ECU del motor sin importar el protocolo (Anexo A) de comunicación que utilice (ELM Electronics, 2017).

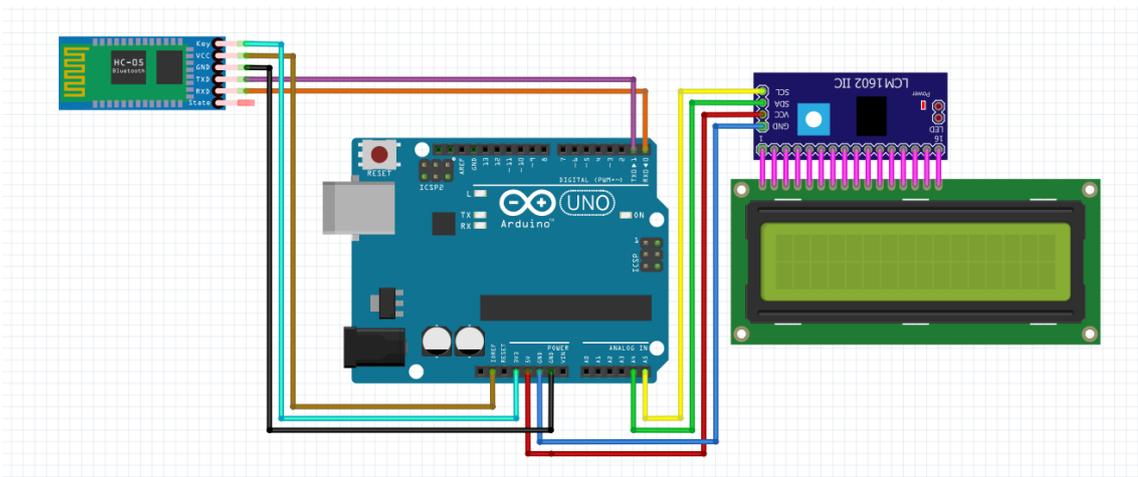


**Figura 2.13 Adaptador OBD2 – ELM327.**

(fuente: ELM Electronics)

Dicho dispositivo fue conectado al Arduino por medio del acople HC-05 acompañado de una pantalla LCD de 20x4 con un acople de tipo I2C con configuración y librerías sacadas de la guía Arduino Workshop (Boxall, 2013), para mostrar las lecturas de medición y el estado de conexión entre los dos componentes. El diagrama del equipo empleado se muestra en la figura 2.14 hecho en el software Fritzing.

Con esta configuración se logra el módulo receptor de datos, los cuales serán enviados por el scanner para trabajar acorde con el módulo HC-05 mediante el código mostrado en el Anexo B1 para establecer dicho módulo en modo máster y el ELM 327 como el esclavo, haciendo uso de los comandos AT con la dirección MAC y contraseña del dispositivo de conexión.



**Figura 2.14 Diagrama de Conexión.**

Habiendo realizado este set up inicial, se realizó el set up del parámetro seleccionado (Sensor MAP), cuya dirección hexadecimal se ingresa en el código de programación del controlador con su correcto PID, obtenido de la guía OBD2 PIDs (Outils OBD Facile, 2018). Una descripción completa de todos los PIDs soportados por la comunicación OBDII se muestra en el Anexo C.

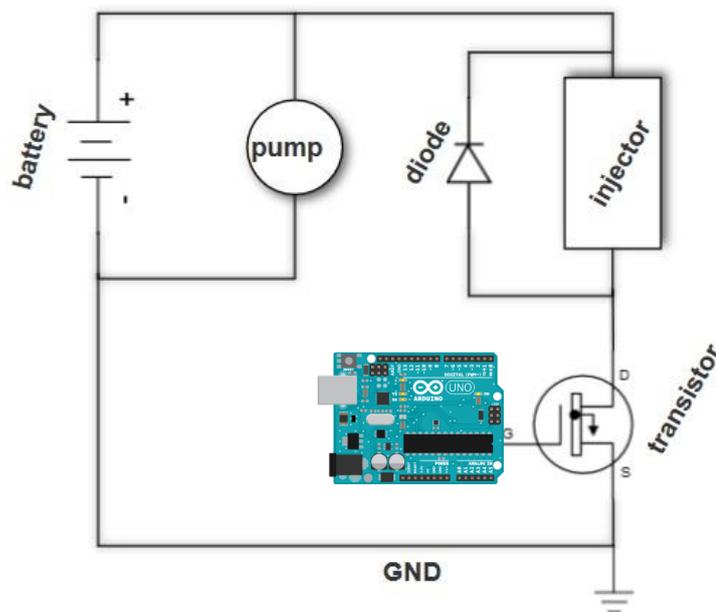
Como se puede observar en la figura 2.15, el valor será directamente el valor requerido de la presión en el múltiple de la admisión, ahorrando la necesidad de un cálculo posterior como para los otros sensores. El código PID de este sensor es 11, pero para el código ingresado en el Arduino se añade un 0100 antes del código obteniendo el PID solicitado como 0111.

Sensor	Unidades	PID (hex)	PID (dec)	Bytes	Valor Minimo	Valor Maximo	Formula
MAP	kPa	0B	11	1	0	255	A
MAF	g/s	10	16	2	0	655.35	$\frac{256A + B}{100}$
Temp.	°C	4	4	1	-40	215	$A - 40$
RPM	rev/min	0C	12	2	0	16383.75	$\frac{256A + B}{4}$
TPS	%	11	17	1	0	100	$\frac{100}{255} A$

**Figura 2.15 Información de Sensores**

(fuente: Outils OBD Facile)

En esta figura también podemos apreciar información relacionada de los distintos sensores analizados en este documento de acuerdo con el protocolo SAE J1979 (Anexo A). Las unidades manejadas por cada uno, rango de valores y su identificación en hexadecimal y decimal son mostrados como elementos de identificación para cada parámetro. Además, se muestra la ecuación aplicable para la obtención del valor cuantitativo de cada sensor, donde cabe mencionar nuevamente la ventaja de haber seleccionado el sensor MAP, ya que el valor arrojado es el requerido sin necesidad de ninguna operación posterior. Haciendo la solicitud de este parámetro al ELM327, se obtiene el valor instantáneo de la presión, valor que cambiará en el tiempo colocado en la configuración del código especificando un retraso entre toma de datos. Con este valor se procedió a configurar las PWM para determinar el número de pulsaciones por instante de tiempo, para un mayor valor de presión (aceleración), se necesitará un mayor número de pulsos del inyector y para menor valor (desaceleración), el pulso será más pausado. La regulación de las PWM se incorpora en el mismo código de Arduino final mostrado en el Anexo B2, dentro del ciclo de la solicitud del parámetro de control, estableciendo como salida de los pulsos el pin 13 del Arduino.

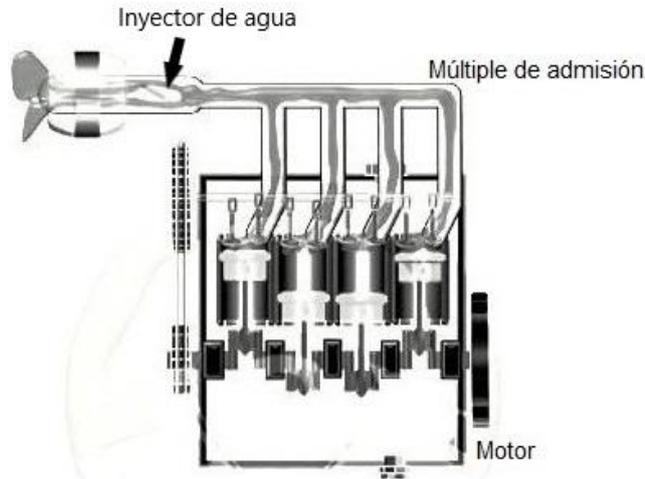


**Figura 2.16** Esquema eléctrico del inyector.

En cuanto a la elaboración del circuito (figura 2.16) donde ira colocado la bomba y el inyector se procedió a establecer la batería misma del vehículo como la fuente de poder de ambos componentes, conectándolos en paralelo. Para el caso del inyector, se lo conecto en serie con un diodo 1N5822 para la descarga de valores pico de voltaje en el encendido de este, además de un transistor 1RFZ44N conectado en fase con el GND (tierra) y el pin del Arduino para la regulación de pulsos.

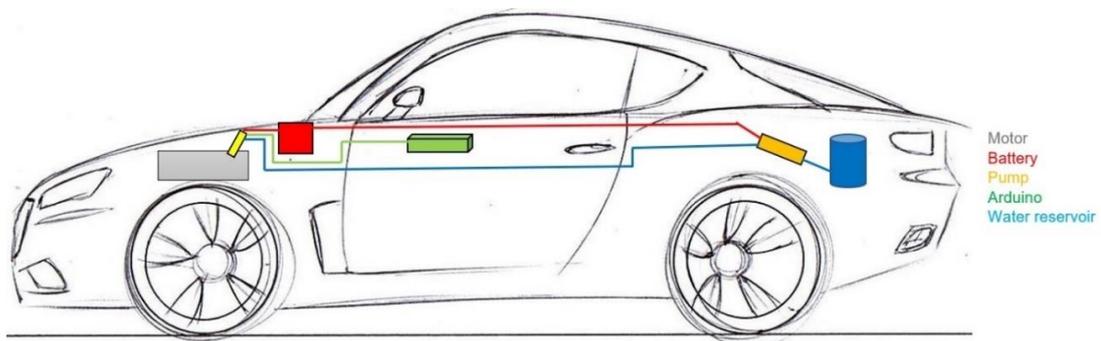
Una vez definidos todos los componentes del sistema de inyección de agua, se llevó a cabo la instalación en el vehículo del cliente siguiendo especificaciones recomendadas por los fabricantes de este tipo de equipos a gran escala como AEM Electronics, Snow Performance o ALKY. Esto es, colocando el inyector en la parte más cercana a la unión del múltiple de admisión con el bloque del motor, haciendo una pequeña perforación lo suficientemente grande para que entre la cabeza del inyector; ubicar la tarjeta y demás componentes electrónicos en un ambiente controlado como dentro de la cabina del piloto para tener un mejor acceso a ellos en caso de ser necesario, y a su vez protegerlos de las altas temperaturas y humedad que ocurren bajo el capó del carro. Finalmente, la bomba de agua junto con su reservorio se colocó en la cajuela del vehículo para evitar el calentamiento del agua a inyectar, comprometiendo su capacidad calorífica antes de su ingreso a la cámara de combustión. Ambos equipos, inyector y bomba serán accionados por el voltaje de la batería del auto. Se muestra el esquema a mayor detalle en el Anexo D.

Es importante destacar la posición del inyector, ya que debe ser colocado a una distancia no mayor a unos 10 cm de entrada de la cámara de combustión para que se pueda obtener una mezcla homogénea entre el agua atomizada y el aire dirigido a cada cilindro.



**Figura 2.17 Posición del Inyector**

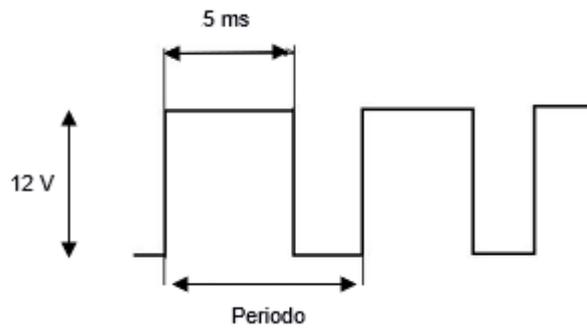
En la figura 2.18 se muestra un diagrama del automotor con la esquemática del sistema total de inyección de agua y la ubicación de cada componente.



**Figura 2.18 Diagrama de Instalación en el Vehículo**

## 2.6 Calibración del Sistema

De acuerdo con el avance del proyecto realizado hasta ahora, solo falta la especificación de la cantidad de agua que será inyectada en el múltiple de admisión por medio de un pulso. La figura 2.19 muestra las partes del pulso de trabajo, donde el ancho del pulso será constante e igual a 5 ms debido a las especificaciones del inyector provisto por el cliente. La amplitud del pulso será igual a 12 voltios de requeridos del inyector que serán suministrados por la batería del vehículo; quedando como elemento variable el periodo del pulso, el cual será modulado por el código desarrollado en este trabajo.



**Figura 2.19 Pulso de Inyección**

Para la determinación de este periodo se presenta la siguiente ecuación típica de un sistema de inyección (Gable, 2018):

$$P = (A) (B) (\text{Pulso Base})(C) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde  $P$  será el pedido resultante, proporcional al Pulso Base del inyector,  $A$  la lectura inversa de la presión leída y enviada al controlador,  $B$  un factor proporcional del combustible y  $C$  un factor de corrección.

Cabe mencionar que esta modelación se presentó como un punto de partida, debido a que la calibración definitiva con la cual el sistema de inyección fue entregado al cliente, se realizó en el banco dinamométrico provisto por la CDTS de la ESPOL.

Como fue mencionado, el pulso base será igual a 5 ms (0.005 segundos), parámetro que pudiese ser optimizado si se cambia el modelo del inyector por uno con menor tiempo de respuesta para obtener pulsos más intermitentes.

Con respecto a la constante  $A$  se establece que será el valor de la presión directamente, pero transformándolo en una lectura de 0 a 255, relacionado con el número de bits máximos enviados por el controlador PID al Arduino.

Para el valor  $B$  se procede a definir proporcionalmente en base a la inyección de combustible, la cual resulta ser igual a, o cercano al 15% del total de gasolina inyectada por la ECU a cada cilindro de acuerdo con varios autores de diversos estudios afines (Mailboom & Rahman, 2010), (Wu, et al., 2014) y (Dryer, 1977). Por lo tanto, se calcula un aproximado de la cantidad de combustible utilizado en 1 segundo por el sistema de inyección de combustible y relacionarlo en función

de la cantidad de agua expulsada por nuestro sistema en la misma duración de tiempo.

Tomando como referencia el consumo de gasolina en litros por 100 kilómetros (6.9 L / 100 km) recorridos del Toyota Yaris 2006 a una velocidad promedio de 50 km / h, y el de consumo para los cuatro cilindros del motor; por lo cual este valor se lo multiplicara por la proporción del 15% para tener el valor volumétrico de agua a inyectar.

$$\left(\frac{6.9 L}{100 km}\right) \left(\frac{1000 cc}{1 L}\right) \left(\frac{50 km}{1 h}\right) \left(\frac{1 h}{3600 seg}\right) * 0.15 \approx 0.14 cc/seg$$

Con lo cual se obtiene una aproximación de la cantidad a de agua necesaria para este modelo de vehículo en condiciones normales de conducción.

En base a este valor se procede a definir el valor B de nuestra ecuación 1 a través de una simple regla proporcional a las mediciones de nuestro inyector, el cual arroja 372 cc / min, lo cual, con un pulso de 5 ms (valor utilizado para este modelo de inyector), dará la cantidad de 0.031 cc / seg; estableciendo el valor de B como 4.5 (cantidad de pulsos para llegar al requerimiento de 0.14 cc/s).

El factor correctivo C, se lo establece para corregir la constante A en función del rango de presión del vehículo donde será instalado el sistema. Para nuestro caso de valor C inicial será de 250, obtenido gracias a valores del período requeridos para los dos estados, ralentí (30 kPa) y máxima aceleración (~100 kPa), en base a una relación simple entre la cantidad de la cantidad de pulsos del sistema de inyección de combustible para los cuatro cilindros y los RPM desarrollados para ese instante de inyección, con la cantidad de agua necesaria estimada en base a la experiencia del cliente. Este valor se toma como punto de partida para la modelación de nuestro sistema, sin embargo, su valor final se presenta como un parámetro modificable para la subsecuente calibración en el banco dinamométrico.

Reemplazando estos valores en la ecuación 1,

$$P = (1/A) (4.5) (5 ms)(250) = 5625/A [ms] \quad (\text{Ec.2})$$

Donde A puede tomar el valor de 1 a 255 medidos en kPa, aunque para vehículos atmosféricos como nuestro caso, este valor va desde los 30 kPa en modo ralentí hasta aproximadamente los 100 kPa en máxima aceleración.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En base a los componentes relacionados a este proyecto, se presentan 3 secciones de resultados, una para cada parte del sistema de inyección de agua y la validación de la eficacia del sistema mediante una prueba realizada en el banco dinamómetro.

### 3.1 Obtención de Datos

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos por el sistema de adquisición de datos desarrollado como parte de este proyecto. Se puede comprobar que los datos mostrados en el LCD conectado al Arduino corresponden a datos en tiempo prácticamente real.



**Figura 3.1 Interfaz Arduino – ELM327**

En la figura 3.1 se puede apreciar la lectura de dos parámetros enviados por el ELM327 al Arduino para su lectura como lo son las RPM, sensor MAP y la temperatura del refrigerante (PID 112, 111 y 105 respectivamente), mostrando

efectivamente que cualquier parámetro soportado por el adaptador ELM327 y en sincronía con el protocolo de comunicación del vehículo donde se realice la prueba, puede ser mostrado sin mayor dificultad e incorporado en cálculos posteriores como nuestro caso. Estos valores son los introducidos en el código posterior para la regulación de los pulsos para el inyector.

Adicionalmente, como puede ser apreciado en el código presentado en el Anexo B2, se incluyó dentro del setup un ciclo de conexión entre el adaptador ELM327 y el acople bluetooth HC05, donde nos mostrara el estado de conexión entre ambos y reportara si existe algún problema mientras se produce el pareo de ambos componentes.

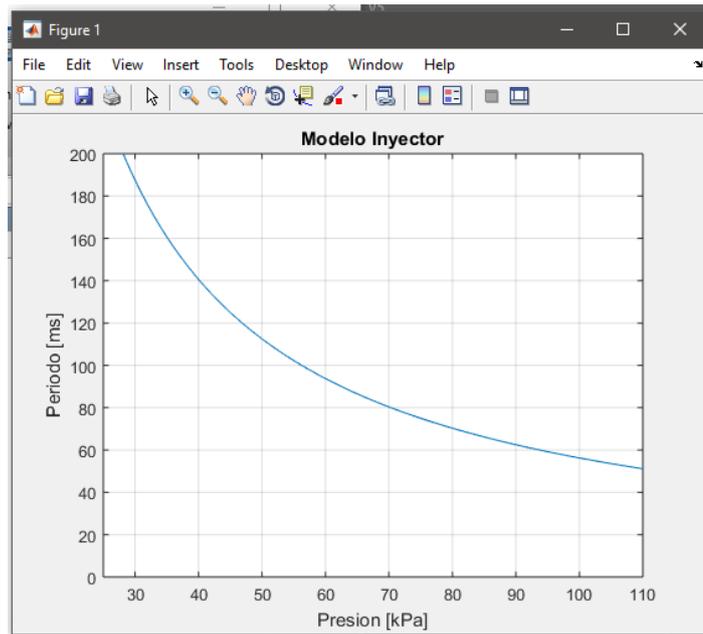
### 3.2 Regulación PWM

Para la regulación de las PWM, se muestra a continuación las capturas de pantalla obtenidos con ayuda del programa MATLAB para poder visualizar las PWM enviadas por el controlador al sistema de inyección mediante un código de prueba a lazo abierto (Anexo B3), donde muestran el tren de pulsos variando en función de la presión ingresada en el código del Arduino. Se tomo un tiempo de 0 a 5000 [ms] para ambos casos, utilizando datos reales sacados de la interfaz Serial Monitor de Arduino e introduciendo los valores en forma de vectores para el correspondiente grafico en MATLAB.

La respuesta general del sistema para vehículos atmosféricos se muestra en la figura 3.2.

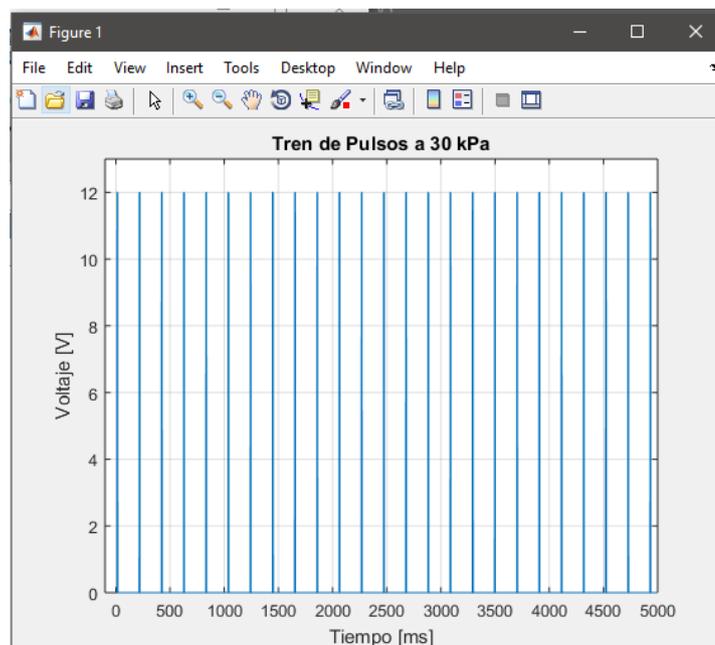
Para una presión de 30 kPa (vehículo en ralentí), el periodo resultante es de 188 ms, con lo cual se obtiene una cantidad de pulsos para el tiempo de muestreo:

$$P = 5625/30 \approx 188 \text{ [ms]}$$
$$\text{Numero de Pulsos} = \frac{5000}{188} \approx 27 \text{ pulsos}$$



**Figura 3.2 Respuesta del Sistema**

En la figura 3.3 se muestra dicho tren de pulsos en función del tiempo. Este ciclo de inyección de agua a los cilindros de una manera más pausada, puesto que como el vehículo está estacionario, no necesita de un incremento en su eficiencia.



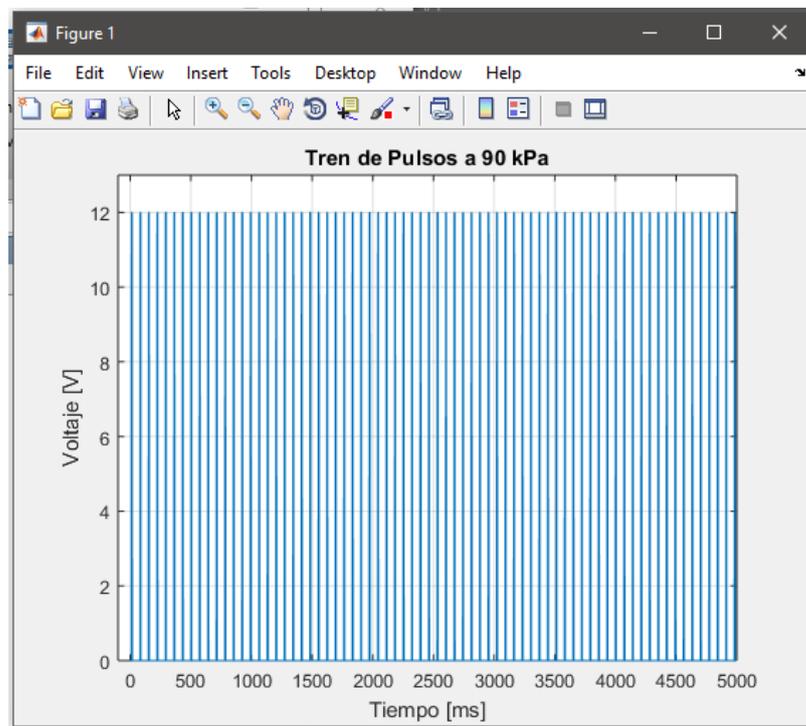
**Figura 3.3 Tren de Pulsos a 30 kPa**

En tanto para una presión de 90 kPa (máxima aceleración), el periodo resultante es de 63 ms, con lo cual se obtiene:

$$P = 5625/90 \approx 63 \text{ [ms]}$$
$$\text{Numero de Pulsos} = \frac{5000}{63} \approx 79 \text{ pulsos}$$

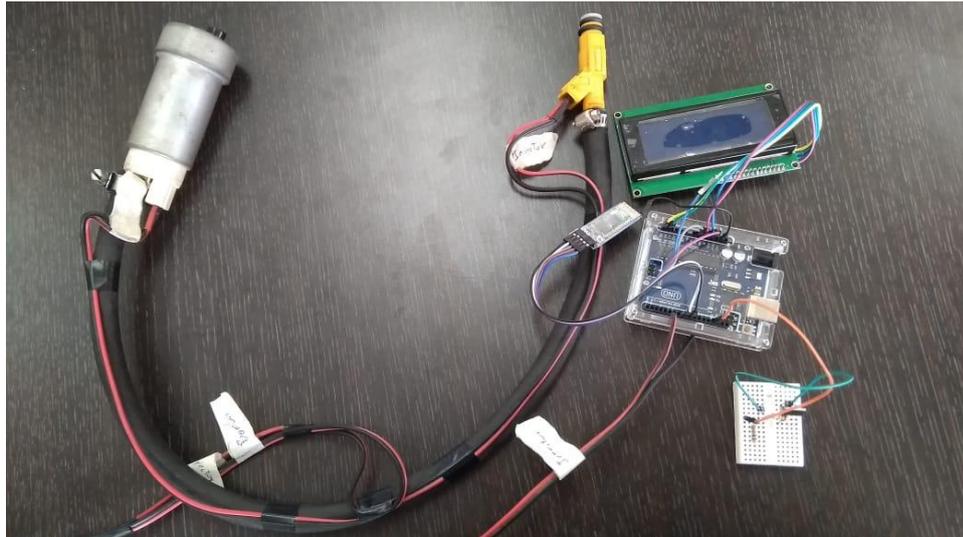
Para el caso de mayor aceleración, la necesidad de mayor torque es imperativa por parte del conductor, por lo cual un mayor flujo volumétrico es requerido para obtener la mayor eficiencia posible del vehículo.

Se muestra en la figura 3.4 el tren de pulsos resultantes para este caso.



**Figura 3.4 Tren de Pulsos a 90 kPa**

En la figura 3.5 se muestra el sistema en sí, incluyendo el inyector de 372 cc/min y la bomba de agua, junto con el controlador de regulación de pulsos.



**Figura 3.5 Equipo de Inyección**

### **3.3 Validación del Sistema**

En esta sección se pretende la presentación de los resultados de validación obtenidos en el banco dinamométrico de la CDTs de ESPOL. Dichos gráficos se realizan en función de las RPM desarrolladas por el motor del vehículo en análisis, contra la potencia en HP para ese instante.

Este análisis queda pendiente debido a que dicho equipo presentó problemas de funcionamiento al momento de realizar la prueba, obstaculizando la validación de este proyecto.

### **3.4 Análisis de Costos**

Uno de los principales objetivos de este trabajo es desarrollar un dispositivo de bajo costo que sea relativamente fácil de implementar y que funcione en vehículos atmosféricos.

Como ya se mencionó en el capítulo 1, actualmente existen diversas marcas que comercializan estos kits de inyección de agua, normalmente su uso está destinado hacia vehículos turboalimentados y cuyo costo varía entre \$ 460 y los \$ 600 según la marca y modelo, además de que estos kits no se los puede encontrar en el mercado local, por lo que para poder adquirirlos es necesario traerlos del exterior y eso implica por cuestiones de divisas de importación y aduaneras un incremento en su costo de adquisición.

En contraste, para el desarrollo del presente proyecto fueron necesarios ciertos componentes electrónicos los cuales pudieron ser obtenidos localmente sin mayor problema a bajo costo, resultante en un ahorro significativo en comparación a los equipos ofertados.

A continuación, se presenta en la tabla 3.1 al detalle de todos los elementos y sus respectivos costos en el mercado local.

**Tabla 3.1 Costos de los elementos del dispositivo**

<b>No. De Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
<b>1</b>	Arduino Uno	\$10
<b>2</b>	Scanner ObdII bluetooth Elm327	\$20
<b>3</b>	Modulo HC05	\$5
<b>4</b>	LCD	\$10
<b>Total, Controlador</b>		<b>\$45</b>
<b>5</b>	Bomba de Agua	\$60
<b>6</b>	Inyector	\$40
<b>Total, Sistema</b>		<b>\$145</b>

Cabe mencionar que la bomba e inyector de agua (detallados en rojo) fueron proporcionados por el cliente, por lo que el coste total empleado para el desarrollo del controlador fue de 45 dólares, lo cual representa un ahorro significativo en comparación a los sistemas de inyección de agua comerciales, ya que solo el controlador de estos sistemas ronda los \$ 100 – \$ 150 dólares en el extranjero. Se muestra en la figura 3.6, un controlador de la marca AEM Electronics, donde se puede apreciar el costo del equipo en los Estados Unidos.



AEM (30-3306) V2 Water/Methanol Injection HD Controller Kit with Internal MAP Sensor

by AEM

★★★★★ 3 customer reviews

Price: \$146.84 & FREE Shipping

Get \$50 off instantly: Pay \$96.84 upon approval for the Amazon Rewards Visa Card.

prime | Try Fast, Free Shipping

- Legal in California only for racing vehicles which may never be used upon a highway
  - AEM strongly recommends that users never exceed a 50 percent methanol concentration when using any AEM Water Methanol system or component
  - Methanol is a toxic and highly flammable chemical; 100 percent Methanol ignites easily and burns vigorously with an almost undetectable flame
- See more product details

New (22) from \$146.84 & FREE shipping.

Report incorrect product information.

prime student College student? Get FREE shipping and exclusive deals [LEARN MORE](#)

### Figura 3.6 Controlador AEM Comercial

(fuente: Amazon.com)

De acuerdo con estos valores y añadiendo gastos varios para mejorar la protección del controlador como estuches para la tarjeta electrónica, o un cobertor tipo enclosure para la totalidad del sistema; el precio no se eleva demasiado, por lo que se puede obtener gran margen de ganancia si se plantea desarrollar el equipo en grandes cantidades.

Sin embargo, se debe tener presente que el mercado potencial para este sistema es pequeño debido a desconocimiento de la existencia de este tipo de kits, por lo cual cualquier incursión en el mercado local de este sistema, deberá ir acompañado de una campaña de marketing dentro del costo de inversión inicial si es que se desea emprender con este producto, aprovechando la situación actual de la retirada del subsidio a la gasolina de alto octanaje.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Discusión

Debido a que este trabajo fue desarrollado durante un alza en los precios de la gasolina de alto octanaje por la eliminación de los subsidios estatales, es de vital importancia considerar alternativas a este tipo de combustibles, en los cuales se pueda recuperar la potencia perdida mediante la incorporación de sistemas similares.

Si bien nuestro sistema de inyección de agua supone una de estas alternativas, se tiene además la ventaja de que es un equipo de bajo costo, de hasta 3 veces menor que otros sistemas comerciales, por lo cual se podría obtener un ahorro económico significativo y un aumento en la potencia desarrollada por el vehículo donde sea instalado.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores existen diversas marcas multinacionales que ya comercializan dichos sistemas de inyección de agua, aunque ninguno de las cuales está presente en el mercado local, se destacan: AEM, marca dirigida para vehículos de competición con la cual su sistema logra ganancias de potencia de hasta un 20%, Snow Performance es otra marca que también logra valores similares, y Bosch con su sistema ya integrado dentro de vehículos de alta gama, consigue un enfriamiento más efectivo, mayor potencia, menores emisiones y un ahorro adicional de un 13% de combustible. Si bien, el dispositivo desarrollado en este trabajo prevé una mejora significativa en la potencia del motor, aunque tal vez no igual a las otras marcas, además de una reducción en las emisiones de NOx; se puede destacar que la diferencia entre el porcentaje de mejora del rendimiento entre las marcas comerciales y nuestro equipo puede ser obviada gracias a la diferencia de precios entre uno y el otro. Asimismo, el código ingresado en el controlador permite al usuario del equipo, la posibilidad de variar la ecuación que modela el sistema de inyección para ajustarlo a sus necesidades, pudiendo cambiar el pulso base o basar el pulso de inyección en otro parámetro soportado por la tarjeta Arduino.

Adicionalmente, se tiene la ventaja de que tomando como punto de partida este sistema, se podría expandirlo para incorporar otras funcionalidades gracias al gran abanico de parámetros medibles dentro de la plataforma OBD2 y el adaptador ELM327, e incluso desarrollar un sistema de entradas múltiples (RPM, presión, flujo de aire, temperatura, posición del acelerador, pendiente del vehículo) para el accionar del inyector, calcando el funcionamiento del sistema de inyección de combustible, ya que este sistema opera mediante varias variables para introducir una cantidad exacta de combustible para cada caso. De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada para este proyecto, se vuelve a mencionar la existencia del adaptador OBD2 – UART de Freematics, el cual, aunque no se pudo adquirir por cuestiones ya expuestas, sería el dispositivo ideal para seguir la investigación y desarrollo de este sistema en un futuro.

## **4.2 Conclusiones**

- Basando nuestros resultados en nuestro equipo desarrollado, se puede concluir la comunicación entre el vehículo y la plataforma Arduino es viable mediante medios inalámbricos sin afectar en mayor medida al tiempo de respuesta.
- El sistema en sí funcionó de acuerdo con lo que se esperaba, obteniendo una variación de pulsos en base a la diferencia de las distintas presiones generadas por vacío en el múltiple de admisión. Esto es que, a mayor presión, significaba un aumento en la aceleración por lo cual los pulsos eran más seguidos y por ende entraba más agua, mientras que, a menor presión, el agua no era requerida por lo cual el sistema enviaba los pulsos de una manera más pausada.
- Se tiene, además, la ventaja de nuestro sistema en comparación a los demás puesto que funciona tanto para vehículos atmosféricos o turbo, parámetro modificable en la programación del controlador desarrollado.
- El costo total de fabricación del dispositivo es de \$ 45 dólares, sin tomar en cuenta el inyector y la bomba provista por el cliente, el cual es un valor económicamente viable en comparación con los otros dispositivos

comercializados ya que los mismos no se los puede adquirir localmente, es necesario importarlos y esto incrementa aún más su costo de adquisición.

### **4.3 Recomendaciones**

- Se recomienda al momento de realizar la instalación del sistema ajustar bien las mangueras de conexión entre el repositorio de agua, la bomba y el inyector para evitar fugas indeseadas.
- Se deben ajustar o soldar bien los cables de conexión entre el controlador y el inyector para evitar que exista algún fallo en el sistema.
- Se sugiere que para futuros trabajos se sigan mejorando los siguientes aspectos en el diseño del sistema de inyección para mejorar su funcionamiento y eficiencia:
  - Emplear más variables de análisis para el encendido de la inyección, pasando de un sistema SISO (una entrada y una salida) a un MISO (múltiples entradas y una salida), con la cual se obtendría una ecuación que modela el sistema semejante al de inyección de combustible, incrementando la eficiencia.
- Utilizar una bomba y un inyector especializados para trabajar con agua, para evitar algún tipo de contratiempo ya sea este un mal funcionamiento por no utilizar el líquido de trabajo para el cual fue diseñado.
- Tener un adecuado cuidado con la cantidad de agua que se va a inyectar a través del inyector ya que un exceso de agua podría conllevar a un problema de hydrolock en la cámara de combustión.
- Utilizar un controlador de mayor capacidad y potencia de procesamiento para mejorar la eficiencia del sistema de inyección.
- Utilizar una mezcla de agua con metanol para incrementar aún más la eficiencia de trabajo del sistema.

# BIBLIOGRAFÍA

- AEM Electronics. (2018). *Water/Methanol Injection Systems*. Retrieved from AEM Electronics: <https://www.aemelectronics.com/products/water-methanol-injection-systems/water-methanol-injection-kit-for-forced-induction-gasoline-engines>
- Binion, W. S. (1994). *United States Patent No. US5937799A*.
- Bishop, R. H. (2006). *Mechatronics, An Introduction*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Bosch Mobility Solutions. (2016). Water Instead of Gasoline: Bosch innovation reduces fuel consumption by up to 13 percent. Stuttgart: Bosch Corporate Communications.
- Boxall, J. (2013). *Arduino Workshop*. San Francisco: No Starch Press.
- Dryer, F. (1977). *Water Addition to Practical Combustion Systems*. Paper presented at the Symposium (Internacional) on combustion .
- Edelstein, S. (2017, Abril 17). *OBD/OBD II* . Retrieved from Digital Trends: <https://www.digitaltrends.com/cars/everything-you-need-to-know-about-obd-obdii/>
- El Universo. (2018). Nuevo precio de gasolina súper, en vigor desde hoy. *El Universo*, 5.
- Eliot. (2005, Junio 25). *Home Built Water Injection*. Retrieved from Hack A Day: <https://hackaday.com/2005/06/25/home-built-water-injection/>
- ELM Electronics. (2017). *ELM327 - OBD to RS232 Interpreter*. London, Ontario: ELM Electronics.
- Erjavec, J. (2009). *Automotive Technology: A System Approach*. Delmar: Cengage Learning.
- Gable, C. &. (2018, Junio 22). *The Purpose and Definition of Fuel Injector Pulse Width*. Retrieved from Thought Co.: <https://www.thoughtco.com/what-is-fuel-injector-pulse-width-85366>
- Gearhart, M. (2011). Get Schooled: Water Methanol Injection 101. *Drag Zine*.
- Gupta, H. N. (2009). *Fundamentals of Internal Combustion Engines*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Haltech. (2018). *Elite 1000 ECU Product Specs*. Retrieved from Haltech: <https://www.haltech.com/product/ht-150800-elite-1000-ecu/>

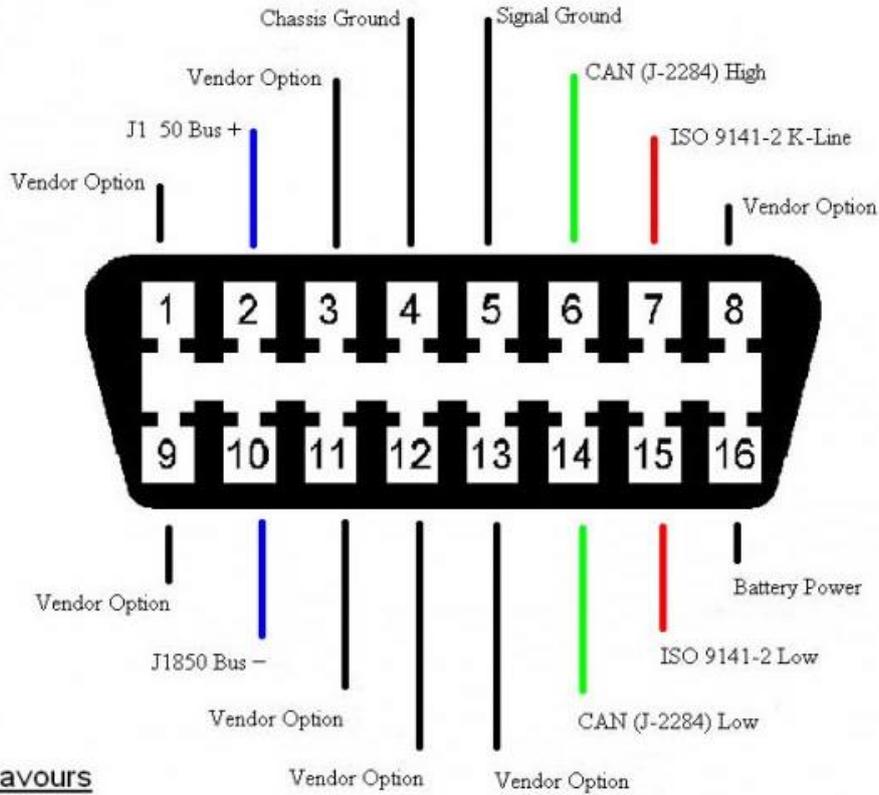
- Mailboom, X. T., & Rahman, A. &. (2010). Experimental Study of Inlet Manifold Water Injection on Combustion and Emissions of an Automotive Direct Injection Diesel Engine. *Energy*, (pp. 3628-3639).
- Meike, R. (2010, 10 24). *Arduino Uno vs BeagleBone vs Raspberry Pi*. Retrieved from Digital Dinner: <http://digitaldiner.blogspot.com/2012/10/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry.html>
- Mingrui, W., Sa, N. T., Turkson, R. F., Jinping, L., & Guanlun, G. (2016). Water Injection for Higher Engine Performance and Lower Emissions. *Journal of the Energy Institute*.
- Nakayama, S., MoriTakazou, K., & Suzuki, H. (1998). *United States Patent No. US6112705A*.
- Outils OBD Facile. (2018). *OBD Modes and PIDs*. Retrieved from Outils OBD Facile: <https://www.outilsobdfacile.com/obd-mode-pid.php>
- Sahin, Z., Tuti, M., & Durgun, O. (2014). Experimental Investigation of the Effects of Water Adding to the Intake Air on the Engine Performance and Exhaust Emissions in a DI Automotive Diesel Engine. *Fuel*, (pp. 884-895).
- Snow Performance. (2018). *Boost Cooler History*. Retrieved from Snow Performance: <https://www.snowperformance.eu/en/water-injection/boost-cooler-history>
- Snow Performance. (2018). *Boost Cooler Schematic Functionality*. Retrieved from Snow Performance: <https://www.snowperformance.eu/en/water-injection/boost-cooler-schematic-functionality>
- Te-Fa-Lee. (2001). *United States Patent No. US6505579B1*.
- Wilson, J. P. (2011). *Effects of Water Injection and Increased Compression Ratio in a Gasoline Spark Ignition Engine*. Moscow, Idaho: University of Idaho.
- Wilson, S., Julio, C., Danilo, C., & Gabriel, L. (2016). Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Remoto del Motor de un Vehículo basado en Obd-II y la plataforma Arduino. *Revista Politecnica EPN*.
- Wu, Z.-J., Yu, X., Fu, L.-Z., Deng, J., Hu, Z.-J., & Li, L.-G. (2014). A High Efficiency Oxyfuel Internal Combustion Engine Cycle with Water Direct Injection for Waste Heat Recovery. *Energy*, 110-120.

# **ANEXOS**

# **ANEXO A**

## **Protocolos de Comunicación**

## OBD-II Connector and Pinout



## Flavours

### J1850 Bus

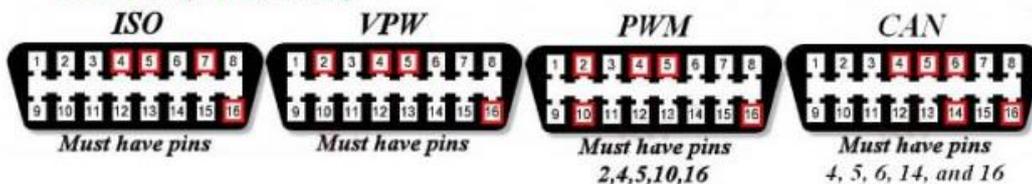
- SAE J1850 PWM(41.6Kbaud) (pulse width modulation) used by Ford Motor Company and Mazda
- SAE J1850 VPW(10.4Kbaud) (variable width modulation) used by General Motors and in light trucks

### ISO 9141-2 K-Line

- ISO9141-2(5 baud init,10.4Kbaud) older protocol in Chrysler, European, and Asian vehicles between 2000-2004
- ISO14230-4 KWP(5 baud init,10.4 Kbaud) KWP2000 (keyword protocol 2000) commonly used in cars from 2003
- ISO14230-4 KWP(fast init,10.4 Kbaud)

### CAN

- J2284/3 - High-Speed CAN (HSC) for Vehicle Applications at 500 KBPS
- ISO15765-4 CAN(11bit ID,500 kbaud) ISO 15765-4 CAN-BUS = first introduced in 2004 then mandatory in all vehicles from 2008
- ISO15765-4 CAN(29bit ID,500 kbaud)
- ISO15765-4 CAN(11bit ID,250 kbaud)
- ISO15765-4 CAN(29bit ID,250 kbaud)
- A SAE J1939 CAN(29bit ID,250\*Kbaud)
- B USER1 CAN(11\*bit ID,125\*Kbaud)
- C.USER2 CAN(11\*bit ID,50\*kbaud)



**OBD2 Communication Protocols by Manufacturer**

Make - Model	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Audi/VW	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141 KWP2000	ISO 9141 KWP2000	ISO 9141 KWP2000	ISO 9141 KWP2000 CAN	ISO 9141 KWP2000 CAN	ISO 9141 KWP2000 CAN	CAN
Bentley	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141 KWP2000 (50%) KWP2000 (50%)	ISO 9141 (35%) KWP2000 (65%)	ISO 9141 (20%) KWP2000 (80%)	CAN	CAN
BMW - Mini BMW 3-Series, 5-Series, X5, Z3, Z4, Z8, 740i, 740iL, 750iL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	KWP2000	KWP2000	KWP2000	KWP2000	N/A	N/A	CAN
BMW 5-Series, next generation (E60)	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	N/A	N/A	CAN
BMW 745i, 745Li, 765Li	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	KWP2000	KWP2000	N/A	N/A	CAN
Chrysler	ISO 9141 (100%) (ISO 9141 (100%))	ISO 9141 (100%) (ISO 9141 (100%))	ISO 9141 (86%) J1850-10.4 (5%)	ISO 9141 (85%) J1850-10.4 (10%)	ISO 9141 (75%) J1850-10.4 (20%)	ISO 9141 (55%) J1850-10.4 (40%)	ISO 9141 (15%) J1850-10.4 (80%)	ISO 9141 (5%) J1850-10.4 (95%)	CAN (6%) J1850-10.4 (94%)	CAN (15%) J1850-10.4 (85%)	CAN (38%) J1850-10.4 (62%)	CAN (86%) J1850-10.4 (14%)	CAN
Daewoo-Lanos	N/A	N/A	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	N/A					
Daewoo-Leganza	N/A	N/A	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	KWP2000	KWP2000					
Daewoo-Matiza	N/A	N/A	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	KWP2000	KWP2000					
Ford (w/o exceptions)	J1850-41.6	J1850-41.6	J1850-41.6	J1850-41.6	J1850-41.6	J1850-41.6	5% CAN	5% CAN	50% CAN	80% CAN	90% CAN	CAN	CAN
exceptions:													
Aptiva	ISO 9141	ISO 9141											
Escort 1.8L	ISO 9141												
Probe 2.5L	ISO 9141	ISO 9141											
Villager	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141						
GM (w/o exceptions)	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	J1850-10.4	80% J1850-10.4 10% CAN 5% KWP2000	55% J1850-10.4 40% CAN 5% KWP2000	25% J1850-10.4 70% CAN 5% KWP2000	25% J1850-10.4 70% CAN 5% KWP2000	CAN
exceptions:													
Saturn LS 3.0L	N/A	N/A	N/A	N/A	KWP2000	KWP2000	KWP2000	KWP2000					
Saturn VUE 3.0L	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	KWP2000	KWP2000					
Saturn VUE 3.5L	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	KWP2000					
Saturn ION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	CAN					
Cadillac Catera	N/A	KWP2000	KWP2000	KWP2000	KWP2000	KWP2000	N/A	N/A					
Cadillac CTS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A					
GEO Metro	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	N/A	N/A					
GEO Prism	J1850-10.4	J1850-10.4	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	N/A					
GEO Tracker	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141	ISO 9141					
Pontiac Vibe	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	ISO 9141					
Saab 9-3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	CAN					



# **ANEXO B**

**Código de Arduino**

## ANEXO B1

**Código utilizado para establecer la comunicación Bluetooth.**

**Dirección MAC: 00:1D:A5:68988D**

**Contraseña: 1234**

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
SoftwareSerial BTSerial(8, 9); // RX | TX
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  pinMode(7, OUTPUT); // this pin will pull the HC-05 pin 34 (key pin) HIGH to switch module to AT mode
```

```
  digitalWrite(7, HIGH);
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial.println("Enter AT commands:");
```

```
  BTSerial.begin(38400); // HC-05 default speed in AT command mode
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  // Keep reading from HC-05 and send to Arduino Serial Monitor
```

```
  if (BTSerial.available())
```

```
    Serial.write(BTSerial.read());
```

```
  // Keep reading from Arduino Serial Monitor and send to HC-05
```

```
  if (Serial.available())
```

```
    BTSerial.write(Serial.read());
```

```
}
```

## ANEXO B2

### Código utilizado para la lectura y regulación de pulsos.

```
//1D:A5:68988D
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

const int I2C_ADDR = 0x27;
const int ROWS = 20;
const int COLS = 4;

// init vars
const int LED = 3; // A2
const int EN = 2; // A1
const int RW = 1; // A0
const int RS = 0; // ??
const int D4 = 4; // P0
const int D5 = 5; // P1
const int D6 = 6; // P2
const int D7 = 7; // P3
int n = 1;

LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,EN,RW,RS,D4,D5,D6,D7,LED,POSITIVE);

SoftwareSerial BTserial(0,1); // RX | TX

byte inData;
char inChar;
String BuildINString="";
String DisplayString="";
String WorkingString="";
String WorkingString21="";
String WorkingString22="";

byte inData2;
char inChar2;
String BuildINString2="";
String DisplayString2="";

String pressure_string="";
String CatB1S1="";

int pressure_int;
long DisplayValue2;
long A;
long B;
long AA2;
long B2;
char c;
int stat;
```

```

boolean NL = true;
String pidno="";
String pidno2="";

void setup()
{

  lcd.begin(ROWS,COLS);
  lcd.backlight();
  Serial.begin(9600);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("INYECCION AGUA");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ELM 327");
  delay(1000);
  lcd.clear();

  // My HC-05 is set at 38400
  BTserial.begin(38400); //comm mode

  // Set PB1 to be an output (Pin9 Arduino UNO)
  //DDRB |= (1 << PB1);
  // Set PB2 to be an output (Pin10 Arduino UNO)
  DDRB |= (1 << PB2);
  digitalWrite(10, LOW); // configura el terminal 10 como salida y lo pone en 0

  // Clear Timer/Counter Control Registers
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;

  // Set non-inverting mode
  //TCCR1A |= (1 << COM1A1);
  TCCR1A |= (1 << COM1B1); // vincula la salida del PWM al terminal 10

  // Set fast PWM Mode 15
  TCCR1A |= (1 << WGM10);
  TCCR1A |= (1 << WGM11);
  TCCR1B |= (1 << WGM12);
  TCCR1B |= (1 << WGM13);

  // Set PWM frequency/top value
  //ICR1 = 156; //(F_CPU / (timer1Prescaler*strobeFreq)) - 1;
  //OCR1A = 3125; // periodo inicial 200 ms (200ms /64us = 3125) periodo
  OCR1B = 31; // valor ajustado para 2 ms (2ms /64 us = 31.25) duracion del pulso

  // Set prescaler to 1024 and starts PWM, cada conteo será de 64us
  //TCCR1B |= (1 << CS10);
  //TCCR1B |= (1 << CS12);

}

void loop()

{

//Send PID to ELM327
BTserial.println("0111");

```

```

BuildINString="";

//Listen and collect ECU response string as a sum of characters
while (BTserial.available(>0)
{
  inData=0;
  inChar=0;
  inData = BTserial.read();
  inChar = char(inData);
  BuildINString = BuildINString + inChar;
}
  delay(200);
  //Send ECU response to PC serial monitor
  Serial.print("<ECU response> :");
  Serial.print(BuildINString);
  Serial.println();

WorkingString = BuildINString.substring(4,6); //The ECU sends back the requested PID code and two
hex characters,Make sure to collect the two hexadecimal characters after the PID code 0105. For me this
starts at position 4 in the string and ends at position 5 (therefore use substring 4,6)
A = strtol(WorkingString.c_str(),NULL,16); //convert hex to decimal
pressure_int = A; //Calculate according to formula
pressure_string = String(pressure_int); // Convert integer to string for display

//*****Ajuste del periodo *****
// periodo [ms] = 2 / presion
// Para el PWM cada 1 ms = 15.625 conteos
// periodo [conteos]= 2 * 15.625 / presion = 31 / DisplayValue

if(pressure_int > 30){
  TCCR1B |= B00000101; // repone el contador del PWM
  TCCR1A |= B00100000; // repone la salida PWM al terminal 10
  OCR1A = 77812/pressure_int; // duracion ms = 4980 / pressure, duracion conteos = 4980 * 15,625 /
pressure

}
else{
  TCCR1B &= B11111000; // detiene el contador del PWM
  TCCR1A &= B11011111; // desconecta la salida del PWM del terminal 10
}

//Print to LCD
  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Pressure: ");
  lcd.setCursor(14,0);
  lcd.print(pressure_string);
  lcd.print("kPa");

delay(200);

}

```

## ANEXO B3

### Código utilizado para la modulación de PWM a lazo abierto.

```
int ledPin = 7; // LED connected to digital pin 9
int duracion;
int numero;
int espacio;
int i;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Medición del volumen");
  // nothing happens in setup
}

void loop() {

  Serial.print("Duración del pulso [us]");
  label_1:
  while (Serial.available()==0){

  }
  duracion = Serial.parseInt();
  if(duracion==0)
    goto label_1;
  Serial.println(duracion);

  Serial.print("Espacio entre pulsos [ms]: ");
  label_2:
  while (Serial.available()==0){

  }
  espacio = Serial.parseInt();
  if(espacio==0)
    goto label_2;
  Serial.println(espacio);

  Serial.print("Número de pulsos: ");
  label_3:
  while (Serial.available()==0){

  }
  numero = Serial.parseInt();
  if(numero==0)
    goto label_3;
  Serial.println(numero);

  for(i=0;i < numero; i++){
    PORTB |= (1<< PORTB5); //pin13 high
    delayMicroseconds(duracion);
    PORTB &= ~(1<<PORTB5); //pin13 low
    delay(espacio);
  }
}
```

# **ANEXO C**

## **PIDs Soportados**

PID (hex)	Data bytes returned	Description	Min value	Max value	Units	Formula <sup>[a]</sup>
00	4	PIDs supported [01 - 20]				Bit encoded [A7..D0] == [PID \$01..PID \$20] See below
01	4	Monitor status since DTCs cleared. (Includes malfunction indicator lamp (MIL) status and number of DTCs.)				Bit encoded. See below
02	2	Freeze DTC				
03	2	Fuel system status				Bit encoded. See below
04	1	Calculated engine load	0	100	%	$\frac{100}{255}A$ (or $\frac{A}{255}$ )
05	1	Engine coolant temperature	-40	215	°C	$A - 40$
06	1	Short term fuel trim—Bank 1				
07	1	Long term fuel trim—Bank 1				
08	1	Short term fuel trim—Bank 2				
09	1	Long term fuel trim—Bank 2				
0A	1	Fuel pressure (gauge pressure)	0	765	kPa	$3A$
0B	1	Intake manifold absolute pressure	0	255	kPa	$A$
0C	2	Engine RPM	0	16,383.75	rpm	$\frac{256A + B}{4}$
0D	1	Vehicle speed	0	255	km/h	$A$
0E	1	Timing advance	-64	63.5	* before TDC	$\frac{A}{2} - 64$
0F	1	Intake air temperature	-40	215	°C	$A - 40$
10	2	MAF air flow rate	0	655.35	grams/sec	$\frac{256A + B}{100}$
11	1	Throttle position	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
12	1	Commanded secondary air status				Bit encoded. See below
13	1	Oxygen sensors present (in 2 banks)				[A0..A3] == Bank 1, Sensors 1-4. [A4..A7] == Bank 2...
14	2	Oxygen Sensor 1 A: Voltage B: Short term fuel trim				
15	2	Oxygen Sensor 2 A: Voltage B: Short term fuel trim				
16	2	Oxygen Sensor 3 A: Voltage B: Short term fuel trim				
17	2	Oxygen Sensor 4 A: Voltage B: Short term fuel trim				
18	2	Oxygen Sensor 5 A: Voltage B: Short term fuel trim	0	1.275	volts	$\frac{A}{200}$
19	2	Oxygen Sensor 6 A: Voltage B: Short term fuel trim	-100	99.2	%	$\frac{100}{128}B - 100$ (if B==SFF, sensor is not used in trim calculation)
1A	2	Oxygen Sensor 7 A: Voltage B: Short term fuel trim				
1B	2	Oxygen Sensor 8 A: Voltage B: Short term fuel trim				
1C	1	OBd standards this vehicle conforms to				Bit encoded. See below
1D	1	Oxygen sensors present (in 4 banks)				Similar to PID 13, but [A0..A7] == [B1S1, B1S2, B2S1, B2S2, B3S1, B3S2, B4S1, B4S2]
1E	1	Auxiliary input status				A0 == Power Take Off (PTO) status (1 == active) [A1..A7] not used
1F	2	Run time since engine start	0	65,535	seconds	$256A + B$

20	4	PIDs supported [21 - 40]				Bit encoded [A7..D0] == [PID \$21..PID \$40] See below
21	2	Distance traveled with malfunction indicator lamp (MIL) on	0	65,535	km	$256A + B$
22	2	Fuel Rail Pressure (relative to manifold vacuum)	0	5177.265	kPa	$0.079(256A + B)$
23	2	Fuel Rail Gauge Pressure (diesel, or gasoline direct injection)	0	655,350	kPa	$10(256A + B)$
24	4	Oxygen Sensor 1 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage	0	< 2 < 8	ratio V	$\frac{2}{65536}(256A + B)$ $\frac{8}{65536}(256C + D)$
25	4	Oxygen Sensor 2 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
26	4	Oxygen Sensor 3 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
27	4	Oxygen Sensor 4 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
28	4	Oxygen Sensor 5 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
29	4	Oxygen Sensor 6 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
2A	4	Oxygen Sensor 7 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
2B	4	Oxygen Sensor 8 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
2C	1	Commanded EGR	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
2D	1	EGR Error	-100	99.2	%	$\frac{100}{128}A - 100$
2E	1	Commanded evaporative purge	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
2F	1	Fuel Tank Level Input	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
30	1	Warm-ups since codes cleared	0	255	count	$A$
31	2	Distance traveled since codes cleared	0	65,535	km	$256A + B$
32	2	Evap. System Vapor Pressure	-8,192	8191.75	Pa	$\frac{256A + B}{4}$ (AB is two's complement signed) <sup>[7]</sup>
33	1	Absolute Barometric Pressure	0	255	kPa	$A$
34	4	Oxygen Sensor 1 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current	0 -128	< 2 < 128	ratio mA	$\frac{2}{65536}(256A + B)$ $\frac{256C + D}{255} - 128$ or $C + \frac{D}{256} - 128$
35	4	Oxygen Sensor 2 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current				
36	4	Oxygen Sensor 3 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current				
37	4	Oxygen Sensor 4 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current				
38	4	Oxygen Sensor 5 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current				
39	4	Oxygen Sensor 6 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current				
3A	4	Oxygen Sensor 7 AB: Fuel-Air Equivalence Ratio CD: Current				

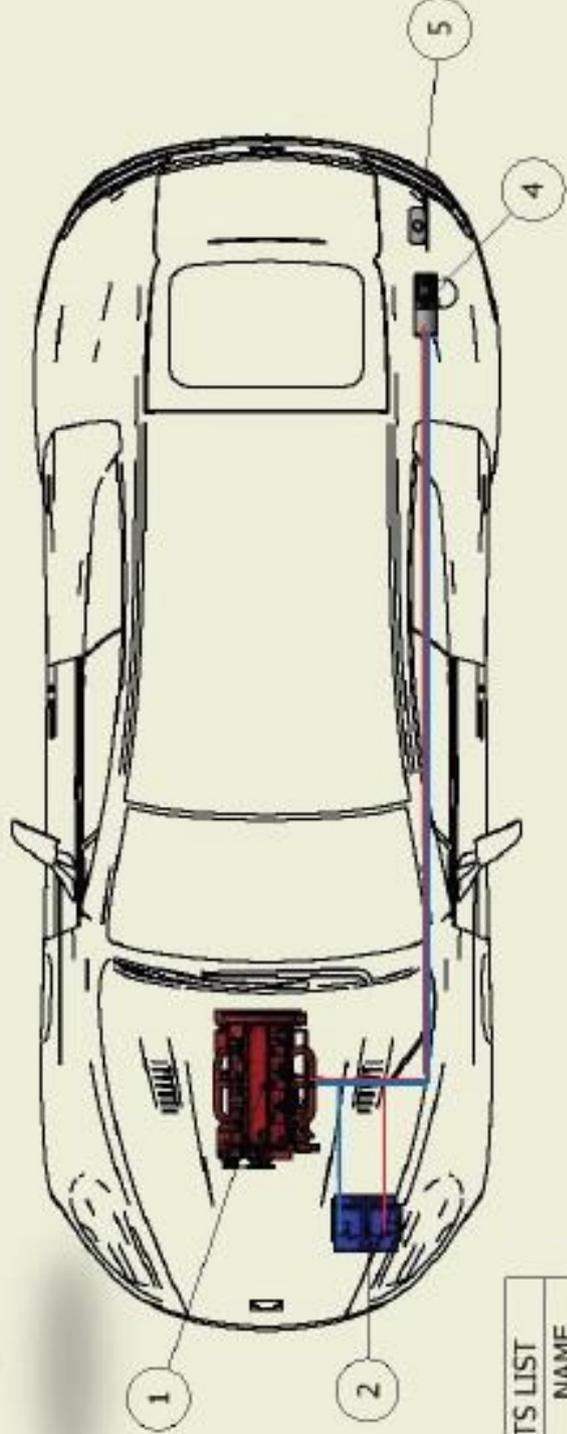
30	4	Oxygen Sensor 8 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
3C	2	Catalyst Temperature: Bank 1, Sensor 1	−40	6,513.5	°C	$\frac{256A + B}{10} - 40$
3D	2	Catalyst Temperature: Bank 2, Sensor 1				
3E	2	Catalyst Temperature: Bank 1, Sensor 2				
3F	2	Catalyst Temperature: Bank 2, Sensor 2				
40	4	PIDs supported [41 - 60]				Bit encoded [A7..D0] == [PID \$41..PID \$60] See below
41	4	Monitor status this drive cycle				Bit encoded. See below
42	2	Control module voltage	0	65,535	V	$\frac{256A + B}{1000}$
43	2	Absolute load value	0	25,700	%	$\frac{100}{256}(256A + B)$
44	2	Fuel–Air commanded equivalence ratio	0	< 2	ratio	$\frac{A}{256}$
45	1	Relative throttle position	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
46	1	Ambient air temperature	−40	215	°C	$A - 40$
47	1	Absolute throttle position B	0	100	%	$\frac{A}{255}$
48	1	Absolute throttle position C				
49	1	Accelerator pedal position D				
4A	1	Accelerator pedal position E				
4B	1	Accelerator pedal position F				
4C	1	Commanded throttle actuator				
4D	2	Time run with MIL on	0	65,535	minutes	$256A + B$
4E	2	Time since trouble codes cleared				
4F	4	Maximum value for Fuel–Air equivalence ratio, oxygen sensor voltage, oxygen sensor current, and intake manifold absolute pressure	0, 0, 0, 0	255, 255, 255, 2550	ratio, V, mA, kPa	A, B, C, D*10
50	4	Maximum value for air flow rate from mass air flow sensor	0	2550	g/s	A*10, B, C, and D are reserved for future use
51	1	Fuel Type				From fuel type table see below
52	1	Ethanol fuel %	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
53	2	Absolute Evap system Vapor Pressure	0	327.675	kPa	$\frac{A}{256}$
54	2	Evap system vapor pressure	−32,767	32,768	Pa	$((A*256)+B)-32767$
55	2	Short term secondary oxygen sensor trim, A: bank 1, B: bank 2	−100	99.2	%	$\frac{100}{128}A - 100$
56	2	Long term secondary oxygen sensor trim, A: bank 1, B: bank 3				
57	2	Short term secondary oxygen sensor trim, A: bank 2, B: bank 3				
58	2	Long term secondary oxygen sensor trim, A: bank 2, B: bank 4				
59	2	Fuel rail absolute pressure	0	655,350	kPa	$10(256A + B)$
5A	1	Relative accelerator pedal position	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
5B	1	Hybrid battery pack remaining life	0	100	%	$\frac{100}{255}A$
5C	1	Engine oil temperature	−40	210	°C	$A - 40$
5D	2	Fuel injection timing	−210.00	301.992	°	$\frac{A}{256}$
5E	2	Engine fuel rate	0	3276.75	L/h	$\frac{A}{256}$
5F	1	Emission requirements to which vehicle is designed				Bit Encoded
60	4	PIDs supported [61 - 80]				Bit encoded [A7..D0] == [PID \$61..PID \$80] See below
61	1	Driver's demand engine - percent torque	−125	125	%	$A-125$
62	1	Actual engine - percent torque	−125	125	%	$A-125$
63	2	Engine reference torque	0	65,535	Nm	$256A + B$

64	5	Engine percent torque data	-125	125	%	A-125 Idle B-125 Engine point 1 C-125 Engine point 2 D-125 Engine point 3 E-125 Engine point 4
65	2	Auxiliary input / output supported				Bit Encoded
66	5	Mass air flow sensor				
67	3	Engine coolant temperature				
68	7	Intake air temperature sensor				
69	7	Commanded EGR and EGR Error				
6A	5	Commanded Diesel intake air flow control and relative intake air flow position				
6B	5	Exhaust gas recirculation temperature				
6C	5	Commanded throttle actuator control and relative throttle position				
6D	6	Fuel pressure control system				
6E	5	Injection pressure control system				
6F	3	Turbocharger compressor inlet pressure				
70	9	Boost pressure control				
71	5	Variable Geometry turbo (VGT) control				
72	5	Wastegate control				
73	5	Exhaust pressure				
74	5	Turbocharger RPM				
75	7	Turbocharger temperature				
76	7	Turbocharger temperature				
77	5	Charge air cooler temperature (CACT)				
78	9	Exhaust Gas temperature (EGT) Bank 1				Special PID. See below
79	9	Exhaust Gas temperature (EGT) Bank 2				Special PID. See below
7A	7	Diesel particulate filter (DPF)				
7B	7	Diesel particulate filter (DPF)				
7C	9	Diesel Particulate filter (DPF) temperature				
7D	1	NOx NTE control area status				
7E	1	PM NTE control area status				
7F	13	Engine run time				
80	4	PIDs supported [81 - A0]				Bit encoded [A7..D0] — [PID \$81..PID \$A0] See below
81	21	Engine run time for Auxiliary Emissions Control Device(AECD)				
82	21	Engine run time for Auxiliary Emissions Control Device(AECD)				
83	5	NOx sensor				
84		Manifold surface temperature				
85		NOx reagent system				
86		Particulate matter (PM) sensor				
87		Intake manifold absolute pressure				
88	4	PIDs supported [A1 - C0]				Bit encoded [A7..D0] — [PID \$A1..PID \$C0] See below
C0	4	PIDs supported [C1 - B0]				Bit encoded [A7..D0] — [PID \$C1..PID \$E0] See below
C3	?	?	?	?	?	Returns numerous data, including Drive Condition ID and Engine Speed*
C4	?	?	?	?	?	B5 is Engine Idle Request B6 is Engine Stop Request*
PID (hex)	Data bytes returned	Description	Min value	Max value	Units	Formula <sup>[a]</sup>

**Mode 02**

# **ANEXO D**

## **Esquema de Instalación**



PARTS LIST	
ITEM	NAME
1	Motor
2	Bateria
3	Inyector
4	Bomba
5	Reservorio

Designed by Isaac Looz	Checked by	Approved by	Date 03/09/18	Scale 1 : 20
ESPOL			SISTEMA DE INYECCION DE AGUA	
			MATERIA INTEGRADORA	Equipo 01

