



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
MEDIDOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE CON
VISUALIZADOR CONSUMO VS. RECORRIDO, PARA
VEHÍCULOS A GASOLINA CON SENSOR DE CAUDAL”**

**TOASA JIMÉNES RODRIGO PATRICIO
TUSTÓN HIDALGO CARLOS HERNÁN**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-12-11

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

RODRIGO PATRICIO TOASA JIMÉNES

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO DE
COMBUSTIBLE CON VISUALIZADOR CONSUMO VS. RECORRIDO, PARA
VEHÍCULOS A GASOLINA CON SENSOR DE CAUDAL”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edgar Cevallos A.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Emilia Aimacaña
ASESORA DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-12-11

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CARLOS HERNÁN TUSTÓN HIDALGO

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO DE
COMBUSTIBLE CON VISUALIZADOR CONSUMO VS. RECORRIDO, PARA
VEHÍCULOS A GASOLINA CON SENSOR DE CAUDAL”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edgar Cevallos A.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Emilia Aimacaña
ASESORA DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RODRIGO PATRICIO TOASA JIMÉNES

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE CON VISUALIZADOR CONSUMO VS. RECORRIDO, PARA VEHÍCULOS A GASOLINA CON SENSOR DE CAUDAL”

Fecha de Examinación: 2013-07-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Tierra Torres PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Edgar Cevallos Acosta DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Emilia Aimacaña Sánchez ASESORA			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Ángel Tierra Torres
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CARLOS HERNÁN TUSTÓN HIDALGO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE CON VISUALIZADOR CONSUMO VS. RECORRIDO, PARA VEHÍCULOS A GASOLINA CON SENSOR DE CAUDAL”

Fecha de Examinación: 2013-07-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Tierra Torres PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Edgar Cevallos Acosta DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Emilia Aimacaña Sánchez ASESORA			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Ángel Tierra Torres
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Rodrigo Patricio Toasa Jiménez

Carlos Hernán Tustón Hidalgo

DEDICATORIA

El desarrollo de esta tesis se la dedico a mis Padres Hernán y Rosa, que gracias a su esfuerzo diario me dieron la oportunidad de formarme profesionalmente, apoyándome en los momentos más importantes de mi vida, e inculcándome valores que me han permitido ser una persona de bien para nuestro país.

Rodrigo Toasa Jiménez

La concepción de esta tesis está dedicada a mis Padres Hernán y Jenni, que me han apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mis Abuelitos que han sido gran ejemplo en mi vida, que me han enseñado a luchar en los momentos difíciles.

A mis tías que siempre me han prestado su ayuda permanente ante toda situación.

A mis profesores y amigos que me han acompañado en el transcurso de mi vida estudiantil.

Por todos ellos es que soy lo que soy ahora y los aprecio con toda mi vida.

Carlos Tustón Hidalgo

AGRADECIMIENTO

A Dios por la oportunidad de lograr mis objetivos, además de conseguir esta meta.

A mis padres por el apoyo brindado en el transcurso de mi vida.

A mis amigos con los cuales hombro a hombro hemos cursado la vida estudiantil.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo prestigiosa Universidad la cuál abrió sus puertas a jóvenes como nosotros preparándonos para un futuro competitivo.

Rodrigo Toasa Jiménez

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por brindarme el apoyo para culminar mi carrera profesional.

A todos mis familiares que de forma inmutable me impulsaron para llegar a este lugar.

A mis amigos que siempre estuvieron presentes prestando su apoyo incondicional.

A mis profesores que a lo largo de mi vida supieron inculcar su conocimiento y deseos de superación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo prestigiosa universidad la cuál abrió sus puertas a jóvenes como nosotros preparándonos para un futuro competitivo.

Carlos Tustón Hidalgo

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	3
1.2.2 <i>Justificación económica</i>	3
1.2.3 <i>Justificación social</i>	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	
2.1 Ecuación fundamental de la hidrodinámica o ecuación de Bernoulli.....	5
2.1.1 <i>Definición de caudal</i>	5
2.1.2 <i>Ecuación de continuidad</i>	7
2.1.3 <i>Clasificación de las fuerzas de un fluido incompresible</i>	8
2.1.3.1 <i>Energía potencial geodésica</i>	9
2.1.3.2 <i>Energía de presión</i>	9
2.1.3.3 <i>Energía cinética</i>	10
2.1.4 <i>Ecuación de Bernoulli para el fluido ideal</i>	11
2.2 Aplicación de la ecuación de Bernoulli.....	11
2.2.1 <i>Tubo Venturi</i>	12
2.3 Sistema de alimentación.....	14
2.3.1 <i>Circuito de alimentación</i>	16
2.3.1.1 <i>Depósito de combustible</i>	16
2.3.1.2 <i>Filtro de combustible</i>	16
2.3.1.3 <i>Bomba de combustible</i>	17
2.3.2 <i>El combustible</i>	19
2.3.3 <i>Consumo vehicular</i>	20
3. COMPONENTES DEL SISTEMA	
3.1 Caudalímetro.....	22
3.2 Sensor de presión.....	23
3.3 Microcontrolador PIC 16F877A.....	28
3.4 Sensores adicionales e información del vehículo.....	32
3.5 Sistema electrónico de medición.....	33
3.5.1 <i>Medidor de caudal de combustible</i>	33
3.5.2 <i>Calculador de consumo de combustible</i>	34
4. PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA	
4.1 Señal de sensores.....	35
4.2 Esquema eléctrico del sistema.....	37
4.3 Acondicionamiento de señal de entrada.....	41
4.4 Programación.....	42
4.4.1 <i>El compilador C</i>	42
4.4.2 <i>Estructura del programa</i>	42

4.4.3	<i>Tipos de datos</i>	43
4.4.4	<i>Las constantes</i>	44
4.4.5	<i>Declaraciones de control</i>	44
4.4.6	<i>Directivas y funciones</i>	46
5.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	
5.1	Construcción de elementos.....	49
5.1.1	<i>Elementos hidrodinámicos</i>	49
5.1.1.1	<i>Construcción de elementos hidrodinámicos</i>	49
5.1.2	<i>Elementos eléctricos y electrónicos</i>	55
5.1.3	<i>Proceso en la PIC 16F877A</i>	56
5.2	Diseño del PCB (Printed Circuit Board).....	57
5.2.1	<i>Circuito de control del sistema</i>	57
5.3	Armado y montaje.....	59
5.3.1	<i>Procedimiento de armado</i>	59
5.4	Modelación de los elementos.....	62
5.5	Costos e inversión.....	63
5.5.1	<i>Costos directos</i>	63
5.5.1.1	<i>Costos de materiales</i>	64
5.5.1.2	<i>Costos de equipos y herramientas</i>	64
5.5.1.3	<i>Costo directo total</i>	65
5.5.2	<i>Costos indirectos</i>	65
5.5.3	<i>Costo total</i>	65
5.6	Análisis de equilibrio.....	65
6.	FASE EXPERIMENTAL	
6.1	Simulación de software.....	70
6.2	Pruebas.....	71
6.3	Análisis de resultados (consumo vs. recorrido).....	73
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones.....	76
7.2	Recomendaciones.....	76

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
1	Valores del coeficiente de caudal C_q para diagramas	14
2	Tipos de datos	44
3	Tipos de constantes	44
4	Directivas permitidas en el compilador CCS	46
5	Funciones utilizadas en CCS	47
6	Costos de materiales	64
7	Costos de herramientas y equipos	64
8	Costo directo total	65
9	Costos indirectos	65
10	Costo total	65
11	Costos variables	66
12	Costos fijos	67
13	Datos obtenidos en la fase de pruebas	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 El caudal a través de la superficie.....	6
2 Tubo de corriente.....	8
3 Un volumen V de un fluido a una presión p.....	10
4 Venturi conectado a manómetro diferencial.....	12
5 Sistema de alimentación.....	15
6 El tanque de combustible.....	16
7 Filtro de combustible.....	17
8 Bomba mecánica de gasolina.....	18
9 Bomba mecánica de gasolina (en corte).....	18
10 Bomba eléctrica de combustible.....	19
11 Variables en el tubo Venturi.....	23
12 Esquema del sensor.....	24
13 Interior del sensor de presión.....	25
14 Exterior del sensor de presión diferencial.....	25
15 Voltaje de salida vs. presión diferencial.....	26
16 Voltaje de salida vs. presión diferencial.....	27
17 Factor de error por temperatura y por presión.....	28
18 Distribución de pines del PIC16F877A.....	29
19 Distribución de puertos en el microcontrolador.....	30
20 Capacidad de corriente de los pines y puertos.....	32
21 Velocímetro y odómetro del vehículo.....	32
22 Pantalla LCD de 16x2.....	34
23 Teclado de membrana 3x4.....	34
24 Ubicación del sensor VSS en el vehículo.....	36
25 Señal de salida del sensor.....	37
26 Área de trabajo en ISIS.....	38
27 Esquema circuitería principal.....	40
28 Señal del disparador Schmitt.....	41
29 Circuito integrado 74LS14.....	41
30 Estructura del programa.....	43
31 Filtro de combustible metálico.....	50
32 Proceso de construcción de los caudalímetros.....	52
33 Proceso de soldadura de los caudalímetros.....	52
34 Finalización de la soldadura de los caudalímetros.....	53
35 Caudalímetro soldado pero con sus tomas torcidas.....	54
36 Caudalímetro enderezado.....	54
37 Caudalímetros terminados.....	55
38 Proceso de desarrollo de la Sección eléctrico-electrónico.....	56
39 Diagrama esquemático del circuito de control.....	57
40 Diseño del PCB del circuito de control del sistema.....	58
41 Visualización previa del circuito en 3D.....	59
42 Vista superior del circuito.....	60
43 Circuito terminado.....	60
44 Ventana de trabajo 2D.....	61
45 Ventana de trabajo 3D.....	61

46	Caudalímetro en 3 dimensiones.....	62
47	Caudalímetro en corte.....	62
48	Sistema finalizado.....	63
49	Diagrama de equilibrio.....	69
50	Imagen circuito simulado que verifica la lectura de los sensores.....	70
51	Datos entregados por el sistema.....	71
52	Resultados prueba 1.....	72
53	Resultados prueba 2.....	72
54	Datos tabulados en la fase de pruebas.....	74
55	Consumo promedio del recorrido.....	74
56	Kilómetros recorridos y el tiempo empleado.....	75
57	Consumo Unidades Sistema Internacional.....	75
58	Consumo Unidades del Sistema Inglés.....	75
59	Consumo Unidades no Convencionales.....	75

SIMBOLOGÍA

D	Distancia recorrida	m
n	Número de giros de la rueda	rev
Pr	Perímetro o pisada de rueda	m
P	Presión de sensor	Kpa
V_s	Voltaje de alimentación de sensor	V
V_{out}	Voltaje de señal del sensor	V
CV	Costo Variable	USD
w	Costo variable por cada sistema	USD
Q	Cantidad de unidades	Unidades/mes
R	Ingreso total	USD
r	Ingreso por unidad	USD/unidad
CT	Costo Total	USD
CF	Costo Fijo	USD

LISTA DE ABREVIACIONES

ECM	Módulo de Control del Motor (Engine Control Module)
VSM	Sistema de Modelación Virtual (Virtual System Modeling)
CCS	Servicios Informáticos Personalizados (Custom Computer Services)
LED	Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode)
ARES	Enrutamiento Avanzado y Software de Edición (Advanced Routing and Editing Software)
PCB	Placa de Circuitos Impresos (Printed Circuit Board)
CAD	Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design)
ISO	Organización Internacional de Estandarización (International Standardization Organization)
LCD	Pantalla de Cristal Líquido (Liquid Crystal Display)
PIC	Controlador de Fases Periféricas (Peripheral Interface Controller)
ISIS	Sistema de Introducción de Esquemas Inteligentes (Intelligent Schematic Input System)
VSS	Sensor de Velocidad del Vehículo (Vehicle Speed Sensor)
ADC	Convertidor Análogo Digital (Analogic Digital Converter)
A/D	Analógico-Digital
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
EEPROM	Memoria de Sólo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
LSB	Bit Menos Significativo (Least Significant Bit)

LISTA DE ANEXOS

- A Datasheet MPX5500. Freescale semiconductor, integrated silicon pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Rev 7, 09/2009
- B Datasheet MPX5100. Freescale semiconductor, integrated silicon pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Rev 13, 05/2010
- C ISO 5167-4:2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross/section conduits running full. Part: 4, Venturi tubes, 01/05/2003
- D Programación en C con compilador CCS
- E Manual de usuario del sistema

RESUMEN

El diseño y construcción de un sistema medidor de flujo de combustible con visualizador consumo vs. recorrido, tiene como objetivo elaborar un sistema capaz de calcular el consumo de combustible adaptable en varias marcas de vehículos a gasolina incorporando sensores de caudal. Este sistema nos permite tener una noción acerca del rendimiento del consumo en función del recorrido.

En este sistema fue fundamental incorporar dos caudalímetros del tipo de tubo Venturi, los caudalímetros fueron construidos bajo la normalización ISO 5167, las ecuaciones que rigen los cálculos del caudal están establecidas por los constructores de los sensores de presión diferencial.

Uno de los principios fundamentales que se ha considerado para la elaboración de este sistema es el vínculo que existe entre el dispositivo y el sensor VSS del vehículo, éste permite tomar datos que informa la velocidad de desplazamiento del vehículo, en base en esta información, el sistema realizará los cálculos para la visualización de datos.

La programación utilizada para el funcionamiento del dispositivo fue realizada en lenguaje C con compilador CCS, éste convierte la codificación C en comunicación de máquina, generando un archivo en hexadecimal, necesario para el funcionamiento del microcontrolador. Las partes fundamentales del programa son: directivas preprocesador, funciones e instrucciones.

Después de realizadas las pruebas de funcionamiento del sistema comprobamos la correcta recepción de datos de los sensores utilizados.

ABSTRACT

This project's proposal is to design and construct a system to calculate and visually display fuel consumption that can be adapted to various gas vehicles adapting a caudal sensor. It will allow the vehicles to be operated in an efficient way.

It is critical in this system to use two Venturi type flow meters that were designed under ISO 1567 standards, the calculations are based on the equations established by the flow meter manufacturer.

The fundamental principle of this system is the linkage between the vehicle sensor VSS and the device. The sensors send the fuel consumption, speed and distance data to the system which calculates the information for the visual display.

The device program is in C language compiler CCS, the compiler converts the encoding C-machine communication to hexadecimal, necessary for operation of the micro controller. Key critical parts of the program are: a preprocessor directive, functions and instruction.

The performance of the system will be tested checking the sensor information and the data of the calculations.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

El sistema de alimentación en el vehículo es el que se encarga de proveer una mezcla de aire combustible al interior del motor. En primer lugar se implantó un sistema que trabaja con un carburador, el cual se encarga de preparar la mezcla de aire y combustible, pero para que el motor funcione más eficientemente es necesaria una mezcla con las proporciones óptimas, con estos nuevos requerimientos se sustituyeron los carburadores por un sistema más complejo y preciso como es la inyección electrónica. Los sistemas de inyección electrónica poseen la característica de permitir que el motor de combustión interna reciba el volumen necesario de combustible, algunos de los beneficios que obtendríamos con la inyección electrónica son:

- Menos contaminación.
- Más economía.
- Mejor rendimiento.
- Arranques más rápidos.
- Mejor aprovechamiento del combustible.

Actualmente existen diversos tipos de sistemas de inyección pero los elementos más comunes entre ellos son:

- Depósito de combustible.
- Bomba eléctrica.
- Regulador de presión.
- Líneas de combustible.
- Filtro de combustible.
- Sonda lambda.

- Válvula de inyección.

Uno de los elementos más importantes del sistema es la bomba eléctrica, tal que es la encargada de enviar el combustible que se encuentra en el depósito hacia los inyectores, con una presión determinada, el flujo de combustible que pasa a través de las líneas de alimentación es constante.

El motor de combustión interna debido a sus regímenes de funcionamiento, necesita distintas cantidades de combustible, proporcionales a las revoluciones por minuto que éste desarrolla y a las condiciones de manejo del vehículo, estas variaciones de consumo de combustible en ocasiones provoca un exceso de presión en la línea de alimentación, para mantener una presión y flujo constante se ha incorporado un regulador de presión y una válvula con línea de retorno de combustible.

El consumo de combustible en los vehículos es un aspecto importante para determinar la eficiencia de los automotores, por lo que se precisa conocer la cantidad de combustible que utilizan los automotores en su funcionamiento.

Además de conocer una forma de gasto de combustible vs. recorrido, se puede considerar al consumo de combustible desde un punto de vista ecológico y económico, estos dos aspectos son importantes hoy en día, la preocupación medioambiental es un factor importante de la sociedad actual, hallar la forma de contaminar menos con los combustibles fósiles sin sacrificar potencia del motor es el reto de la ingeniería automotriz, también un menor consumo implica un menor gasto de dinero lo cual favorece a la economía de la sociedad.

Actualmente en los vehículos no se puede determinar exactamente la cantidad de gasolina que consumen en cada recorrido, solamente se le puede dar una estimación de gasto de combustible, pero éste no es el mismo durante la vida útil del automotor, ya que este factor puede variar por muchos factores como: la dificultad del camino que se recorra, la forma de manejo del conductor y el desgaste de los componentes del motor.

Por lo tanto, es necesario poder contar con un sistema que pueda medir el gasto de gasolina durante una distancia recorrida, así el conductor podrá conocer la cantidad de combustible que su vehículo necesita para realizar un recorrido.

El presente proyecto es un sistema que permite medir el caudal de combustible, durante todo el ciclo de manejo y permite visualizar el volumen de gasolina consumido por kilómetro.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación técnica.* En el campo automotriz un aspecto importante de los automotores es la cantidad de combustible que consumen en su funcionamiento, por lo que esta característica es necesaria para determinar su eficiencia. Actualmente los nuevos modelos de vehículos poseen sistemas de información de funcionamiento del vehículo para el usuario pero pocos informan sobre el consumo de combustible, por tanto, este proyecto propone implementar a todo tipo de vehículo a gasolina, un sistema que pueda proporcionar información sobre el flujo y consumo de combustible.

1.2.2 *Justificación económica.* Muchos aspectos se toman en cuenta al momento de adquirir un vehículo, entre ellos la eficiencia en consumo y éste podrá determinar si existirá en un futuro ahorro en combustible y por lo tanto de dinero, en comparación a otro automotor, además se puede evitar pérdidas, pues se conoce la cantidad necesaria del combustible que requiere para su funcionamiento, en tiempo de trabajo o distancia a recorrer.

1.2.3 *Justificación social.* Con la realización de este proyecto: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE CON VISUALIZADOR CONSUMO VS. RECORRIDO, PARA VEHÍCULOS A GASOLINA CON SENSOR DE CAUDAL” se busca aplicar e innovar en el campo automotriz, los diferentes conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Automotriz, presentando a la sociedad la calidad de profesionales que otorga esta institución.

Y con la conclusión de este proyecto poder completar la formación académica y profesional.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un sistema medidor de flujo y consumo de combustible multimarca con sensor de caudal.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Diseñar un caudalímetro de tubo Venturi.

Determinar los parámetros e información necesaria para el funcionamiento del sistema.

Realizar el diseño del sistema electrónico.

Programar los microcontroladores, para presentación y visualización de la medición y generación de datos en una pantalla LCD.

Adaptar y ubicar los elementos que conforman el sistema en un vehículo y realizar las pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Ecuación fundamental de la hidrodinámica o ecuación de Bernoulli

Para el estudio de la hidrodinámica normalmente se consideran tres aproximaciones importantes:

- Que el fluido es un líquido incompresible, es decir, que su densidad no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que ocurre con los gases.
- Se considera despreciable la pérdida de energía por la viscosidad, ya que se supone que un líquido es óptimo para fluir y esta pérdida es mucho menor comparándola con la inercia de su movimiento.
- Se supone que el flujo de los líquidos es en régimen estable o estacionario, es decir, que la velocidad del líquido en un punto es independiente del tiempo.

La hidrodinámica tiene numerosas aplicaciones industriales, como diseño de canales, construcción de puertos y presas, fabricación de barcos, turbinas, etc.

Daniel Bernoulli fue uno de los primeros matemáticos que realizó estudios de hidrodinámica.

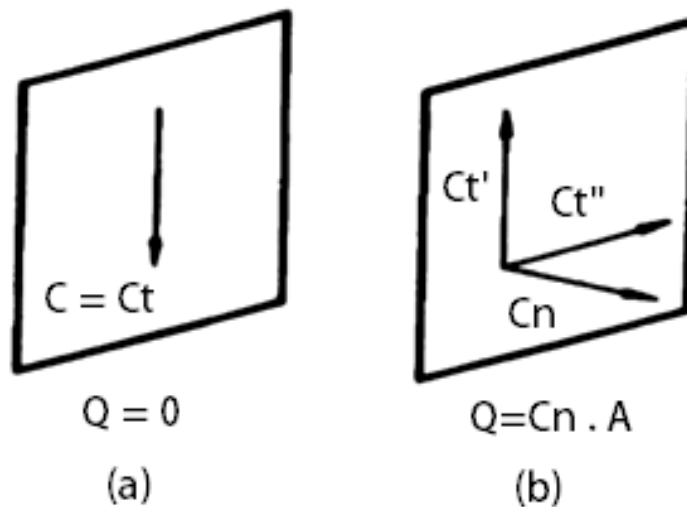
2.1.1 Definición de caudal. Caudal Q es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Así, por ejemplo, en una tubería de agua los litros por hora que circulan a través de un plano transversal a la tubería.

Ecuación de dimensiones: $[Q]=[L]^3[T]^{-1}$

Si la velocidad de la corriente C es paralela a la superficie A (vertical como se ve en la Figura 1. (a) o también inclinada, pero paralela a la superficie) el caudal que la atraviesa

es nulo. Si la velocidad C tiene cualquier otra dirección (ver Figura 1b), descomponiendo C según tres ejes, dos paralelos a la superficie y el tercero normal a la misma, solo la componente normal C_n produce caudal.

Figura 1. El caudal a través de la superficie de la figura en (a) es nulo. En (b), las dos componentes de la velocidad paralelas a la superficie C_t' y C_t'' no contribuyen al caudal



Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

Si la superficie a través de la cual se calcula el caudal es finita, es evidente que la dirección de la velocidad puede variar de un punto a otro de la misma, y además, la superficie puede no ser plana. Llamando dA al elemento infinitesimal de área, siendo C_n la componente de la velocidad normal a ese elemento se tendrá:

$$dQ = C_n dA$$

Y
$$Q = \int C_n dA \tag{1}$$

Si \bar{C} es la velocidad media normal a la sección A , de la ecuación (1).

Entonces se deduce:

$$Q = \bar{C} A$$

Siendo la velocidad media:

$$\bar{C} = \frac{\int C_n dA}{A} = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Así, por ejemplo, en una tubería circular de diámetro D :

$$\bar{C} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (3)$$

2.1.2 Ecuación de continuidad. Solo trataremos del régimen permanente, que en nuestro estudio es el más importante.

En un hilo de corriente se consideran las siguientes características (ver Figura 2):

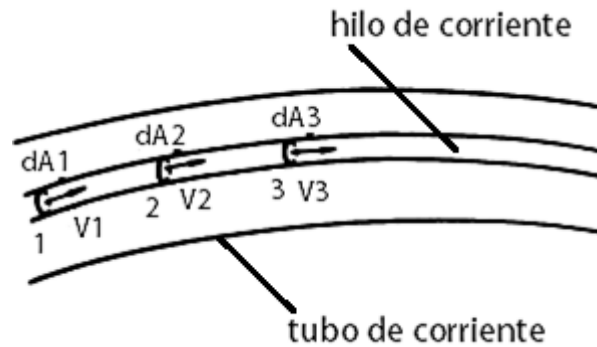
- No entra ni sale fluido lateralmente porque la velocidad es tangencial al hilo de corriente.
- En régimen permanente el hilo de corriente es estacionario.
- No se crea ni destruye masa, ni puede haber concentración o dilución de masa en ninguna sección del mismo, porque ello supondrá aumento o disminución de densidad del fluido en dicha sección, lo que es imposible en régimen permanente; luego la masa que entra en el tubo infinitesimal es igual a la masa que sale. Por lo tanto:

$$\rho_1 C_1 dA_1 = \rho_2 C_2 dA_2 = \rho_3 C_3 dA_3 \quad (4)$$

Donde C_1, C_2 y C_3 componentes normales de las velocidades en las secciones 1,2 y 3. ρ , Densidad. A , Área.

Si el área transversal de un tubo de corriente es infinitesimal el tubo de corriente se llama hilo o filamento de corriente (ver Figura 2).

Figura 2. Tubo de corriente e hilo de corriente. El hilo o filamento de corriente es un tubo de corriente infinitesimal



Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

Ecuación de continuidad del fluido para un tubo de corriente.

$$Q = \int dQ = \int C dA = C \quad (5)$$

Dónde:

Q: Caudal Volumétrico.

A: Área de una sección transversal de tubo.

C: Velocidad media normal a la sección considerada.

2.1.3 Clasificación de las fuerzas de un fluido incompresible. La energía puede revestir formas muy diversas, que según la ley universal de la conservación de la energía o primer principio de la termodinámica, puede transformarse unas en otras.

El estudio de la Hidrodinámica se ocupa solo en tres formas de energía del fluido: energía potencial, energía de presión y energía cinética.

Dimensiones de energía, E = dimensiones de trabajo.

$$[E] = [F] [L] = [M] [L]^2 [T]^{-1}$$

Unidad

$$1 E = 1 N \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} \quad (SI)$$

La unidad de energía y trabajo del *SI* se denomina Julio (J)

$$1 J = 1 N \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

2.1.3.1 Energía potencial geodésica. Es igual al trabajo que la fuerza de la gravedad puede ejercer cuando su altura desciende de Z_1 a Z_2 . Cuando el líquido se remonta, con una bomba por ejemplo, del nivel inferior Z_2 al superior Z_1 , es preciso ejercer sobre él un trabajo contra la fuerza de la gravedad igual y de sentido contrario que se transforma en la susodicha energía potencial. Las alturas se refieren a un plano de referencia, $Z = 0$. Siendo la fuerza de la gravedad igual al peso del fluido, $W = \rho g V$, se tiene:

Energía geodésica total:

$$E_z = \rho g V_z \quad (J, SI) \quad (6)$$

Energía geodésica específica:

$$e_z = \frac{\rho g V_z}{\rho V} \quad (m^2/s^2, SI) \quad (7)$$

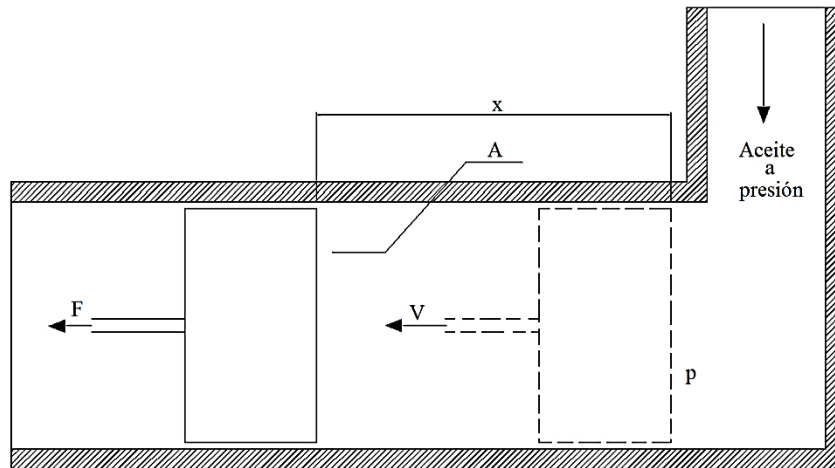
2.1.3.2 Energía de presión. En el cilindro de la Figura 3, el aceite a una presión p , que supondremos constante, desplaza el émbolo de superficie A venciendo la resistencia F , y recorriendo un espacio x . El trabajo que realiza el fluido es:

$$T = pAx = pV$$

Donde $V = Ax$ es el volumen barrido por el pistón.

Este trabajo se ha realizado a costa de la energía de presión que un volumen V de aceite a la presión p poseía en el tanque de aceite antes del desplazamiento del émbolo.

Figura 3. Un volumen V de un fluido a una presión p tiene una energía de presión igual a pV , o sea igual a la fuerza pA que ejerce sobre el fluido multiplicando por el camino recorrido x



Fuente: Autores

Luego un volumen V de aceite a la presión p posee la energía de presión pV .

Se tiene por tanto:

$$E_p = pV = \frac{p\rho V}{\rho} = p \frac{m}{\rho}$$

La energía de presión total es, pues,

$$E_p = \frac{p}{\rho} m \quad (J, SI) \quad (8)$$

La energía de presión específica será:

$$e_p = \frac{p}{\rho}; \frac{m^2}{s^2}; SI \quad (9)$$

2.1.3.3 Energía cinética. La energía cinética total de m kg de fluido es:

$$E_v = m \frac{v^2}{2} \quad (\text{J. SI}) \quad (10)$$

Donde m es la masa total del fluido.

La energía cinética específica será:

$$e_v = v^2/2 \quad (11)$$

$$(m^2/s^2, SI)$$

2.1.4 Ecuación de Bernoulli para el fluido ideal. En un fluido ideal no hay viscosidad ni rozamiento ni, por tanto, transformación de energía hidráulica en energía térmica. Además en régimen permanente la trayectoria de una partícula de fluido coincide con una línea de corriente. Si además esta partícula de fluido no recibe energía de una máquina (bomba) ni tampoco cede energía a una máquina (turbina), en el tránsito de una partícula de un punto 1 a un punto 2 de una línea de corriente la energía podrá transformarse de una clase a otra, pero según el principio de conservación de la energía la suma total de la energía que posee la partícula debe de permanecer constante.

Considerando energías específicas esta suma en un fluido ideal, irrotacional e incomprensible se compone de energía geodésica, zg ; energía de presión, p/ρ y energía de velocidad $v^2/2$. La suma de estas tres energías debe pues permanecer constante.

Ecuación de Bernoulli para un hilo de corriente:

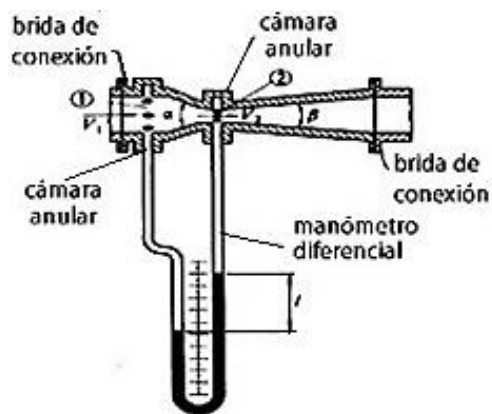
$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 g + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g + \frac{v_2^2}{2} \quad (12)$$

2.2 Aplicaciones de la ecuación Bernoulli. Instrumentación de medida de caudal en flujo cerrado

En esta sección se verá solamente la aplicación del tubo Venturi, ya que es el instrumento de medida de caudal que se utiliza en la tesis.

2.2.1 Tubo Venturi. El tubo Venturi que se presenta en la Figura 4, es un elemento deprimógeno, cuya función es provocar una diferencia de presiones. Siendo el Caudal Q una función de dicha diferencia, midiendo ésta se puede calcular el valor de Q . Otros elemento deprimógenos también utilizados para medir caudales en conexión de manómetro diferencial son las toberas y diafragmas.

Figura 4. Venturi conectado a manómetro diferencial



Fuente: MATIAX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

La ecuación de continuidad entre las mismas secciones 1 y 2 nos dará:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Y por tanto:

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1 v_2} \tag{13}$$

Sustituyendo la ecuación (13) en ecuación (12) se tiene:

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Y despejando v_2 , que llamaremos v_{2t} , o velocidad teórica, pues no se ha tenido en cuenta el rozamiento, se tiene:

$$v_{2t} = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2g[(p_1/\rho g + z_1) - (p_2/\rho g + z_2)]}$$

Ahora bien, el caudal Q_t , que pasa por el Venturi será:

$$Q_t = A_2 v_{2t} = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2g[(p_1/\rho g + z_1) - (p_2/\rho g + z_2)]}$$

El caudal real Q será igual a $v_2 A_2$, siendo v_2 la velocidad real:

$$v_2 = C_v v_{2t}$$

Es decir:

$$Q_t = \frac{C_v A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (14)$$

Donde h_1 y h_2 son alturas piezométricas en los puntos 1 y 2.

Finalmente definiendo un coeficiente de caudal C_q que se calculará experimentalmente (tarado de Venturi), y que engloba el coeficiente C_v :

$$C_q = \frac{C_v}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}}$$

Se obtiene:

$$Q = C_q A_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (15)$$

Tanto C_v en la ecuación (14) como C_q en la ecuación (15) no son constantes, sino que dependen del número de Reynolds. El tarado del Venturi consiste en obtener experimentalmente la curva $C_q = f(Re)$, donde Re – número de Reynolds.

Los Venturi, lo mismo que las toberas y los diafragmas, pueden diseñarse de muy diversas formas (diversas relaciones A_2/A_1 , etc.). Las normas para su construcción pueden verse en la Tabla 1. La ventaja de construir los instrumentos normalizados es que no requieren tarado previo, pudiéndose tomar los valores de C_q de la tabla.

Este medidor es ideal como elemento deprimógeno de tuberías donde el flujo es continuo, porque produce depresión Δh grande con pérdidas Δh_r mínimas. (MATAIX, 1986 págs. 89,92-95,102-107,142-144)

Tabla 1. Valores del coeficiente de caudal C_q para diafragmas. Toberas y tubos de Venturi normales

VALORES DEL COEFICIENTE DE CAUDAL C_q PARA DIAFRAGMAS, TOBERAS Y TUBOS VENTURI NORMALES				
$m=A_2/A_1$	Diafragmas		Toberas y tubos Venturi	
	C_q	$R_{lim}\cdot 10^{-4}$	C_q	$R_{lim}\cdot 10^{-4}$
0,05	0,598	2,8	0,987	6
0,10	0,602	3,6	0,989	6,5
0,15	0,608	5,4	0,997	7,5
0,20	0,615	7,4	0,999	9
0,25	0,624	10,0	1,007	11
0,30	0,634	13,0	1,017	12,5
0,35	0,645	16,0	1,029	14,5
0,40	0,650	20,0	1,043	16,5
0,45	0,660	27,0	1,06	18
0,50	0,695	33,0	1,081	19
0,55	0,716	43,0	1,208	20
0,60	0,740	55,0	1,142	20
0,65	0,768	75,0	1,183	20
0,70	0,802	110,0	-	-

Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

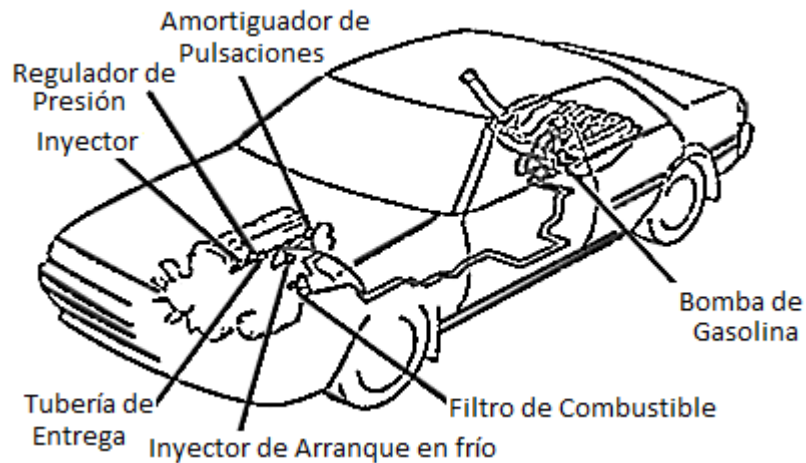
2.3 Sistema de alimentación

En esta sección solo se verá una breve introducción del sistema de inyección, ya que éste no es el tema principal de la tesis.

En los motores de combustión, la mezcla aire y combustible es dosificada y suministrada a los cilindros por medio de un carburador o un sistema de inyección. Cualquiera de ellos tiene la misión de dosificar el combustible convenientemente para cada una de las diversas condiciones de funcionamiento del motor, manera que se

obtenga la mayor potencia posible con el mínimo consumo y vertido de contaminantes, lo que no es posible más que cuando la riqueza de mezcla es la adecuada.

Figura 5. Sistema de alimentación (Sistema de inyección)



Fuente: GIL, Hermógenes. Manual CEAC del Automóvil

De otra parte, la intensidad del tráfico rodado actual, especialmente en los centros urbanos, exige de los motores de automóviles emisiones escasas de hidrocarburos y gases contaminantes y, en el aspecto económico, consumos bajos de combustible. Para adaptarse a estas necesidades los carburadores actualmente requieren una gran cantidad de mecanismos capaces de adecuar la relación de la mezcla a las necesidades del motor, para cada una de las diversas condiciones de funcionamiento, con vistas a conseguir el mejor rendimiento.

Los sistemas de inyección de gasolina resuelven los problemas mencionados, dosificando exactamente la cantidad de combustible que es necesaria en cada momento, de lo que resulta un menor nivel de emisiones contaminantes y un rendimiento mayor.

En estos sistemas el combustible es inyectado en el colector de admisión, justamente delante de las válvulas de admisión por medio de un sistema de inyección autónoma, gobernado por un sistema electrónico. Comparado con la carburación convencional, se consigue así un mayor control de la mezcla aire-combustible en cualquiera de las marchas del motor, de lo que resulta niveles reducidos de emisión de gases tóxicos,

mejor rendimiento del motor y economía de consumo, ventajas esenciales de los sistemas de inyección de gasolina. (GIL, 2003 pág. 157)

2.3.1 *Circuito de alimentación.* Aquí solamente se verán los elementos del sistema de alimentación que intervienen en el flujo de combustible del vehículo.

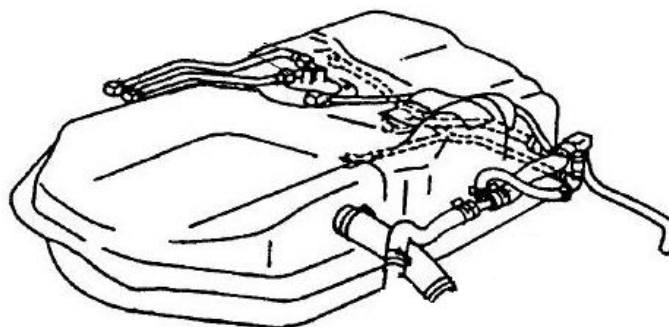
2.3.1.1 *Depósito de combustible.* Es un contenedor para almacenar el combustible del vehículo, comúnmente está montando en la parte inferior y trasera del vehículo y tiene una capacidad de almacenar de 40 a 90 litros de combustible según el tipo de vehículo que se posea.

Un sensor medidor de combustible o dispositivo similar, está instalado en su interior, se utiliza para indicar la cantidad de combustible que se encuentra almacenado.

Como se podría pensar, el tanque no es simple en su interior, pues cuenta con placas que sirven para prevenir que el combustible produzca oleajes hacia atrás y hacia adelante cuando el vehículo frena o acelera repentinamente.

El material utilizado en la construcción del depósito es a base de chapas de acero estañadas o galvanizadas, con una protección interior para evitar la corrosión debida al vapor de agua, o bien de material de plástico. (PAZ, 2004 pág. 241)

Figura 6. El tanque de combustible



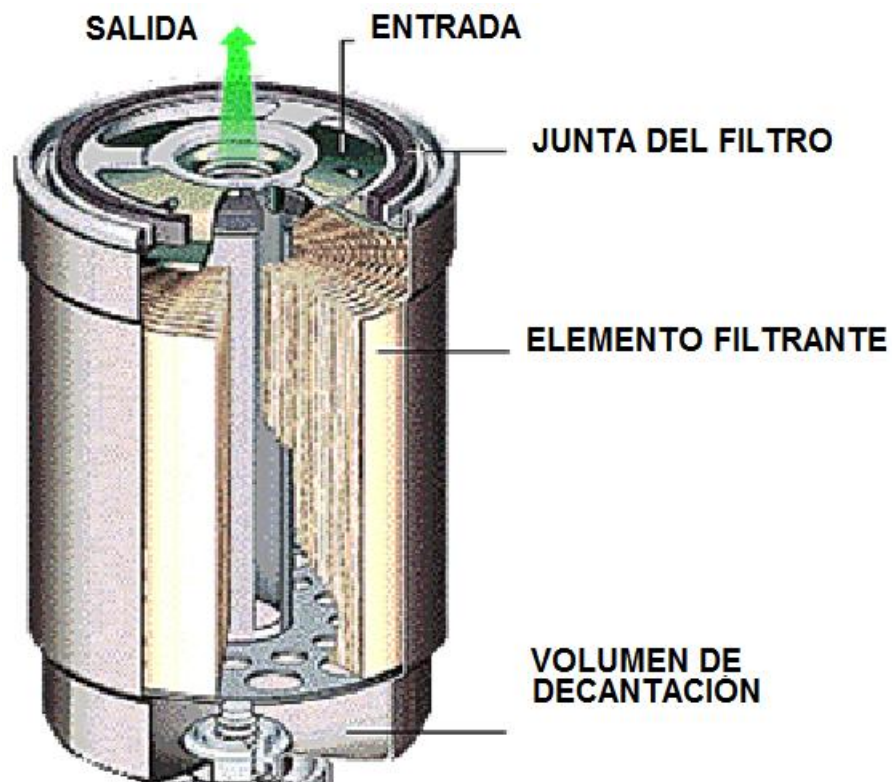
Fuente: GIL, Hermógenes. Manual CEAC del Automóvil

2.3.1.2 *Filtro de combustible.* El combustible líquido puede contener cierta humedad y suciedades como sedimentos o lodo, estos pueden obstruir los conductos donde

circula el combustible, también ensuciar y obstruir los inyectores originando que el motor se ponga fuera de punto. Es el encargado de remover estas partículas de arena, gotas de agua etc. Estas impurezas son retenidas por un elemento de papel que se encuentra en el interior del filtro.

El gráfico se muestra el recorrido del combustible por el interior del filtro, desde el tanque de combustible hasta la bomba, pasando antes por el elemento filtrante que generalmente es de papel. (GIL, 2003 pág. 328)

Figura 7. Filtro de combustible



Fuente: <http://www.filtrosdelsur.com.ar/modulos/artsd.asp?id=6>

2.3.1.3 Bomba de combustible. Éste es uno de los elementos más importantes del sistema de alimentación, ya que es el encargado de hacer circular el combustible por los conductos hasta los inyectores o carburador.

El diseño del vehículo generalmente requiere un método para obtener el combustible líquido del tanque de gasolina al carburador y abastecer el sistema. En la mayoría de los

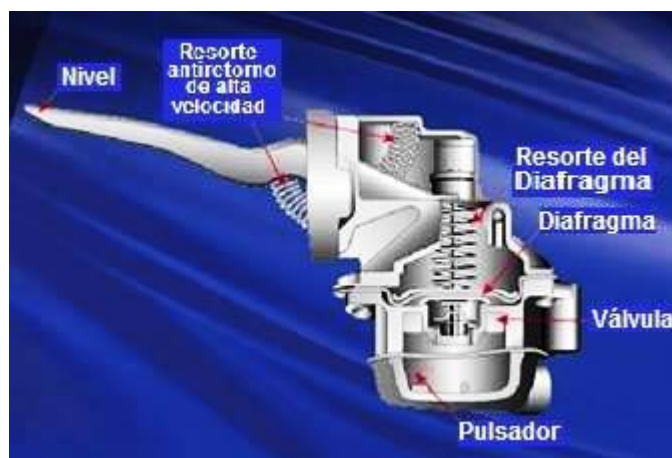
vehículos, este método es la bomba de gasolina. Debido a que existen diferentes tipos de bombas de gasolina, las secciones siguientes enlistan cada uno, la bomba de combustible puede ser de accionamiento mecánico o eléctrico.

Figura 8. Bomba mecánica de gasolina



Fuente: http://www.itacr.com/img/cursos/carter_img09.jpg

Figura 9. Bomba mecánica de gasolina (Corte en sección)



Fuente: http://www.itacr.com/img/cursos/carter_img09.jpg

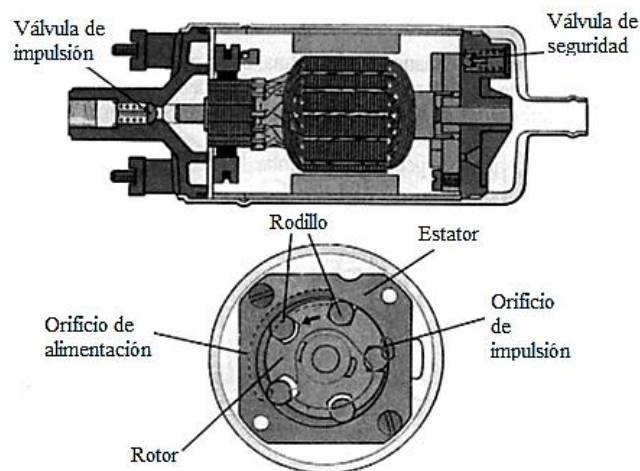
Por lo general, los motores equipados con carburador usan una bomba de combustible mecánica (ver Figura 8), mientras muchos motores de inyección electrónica emplea una bomba de combustible eléctrica (ver Figura 10).

Las bombas de combustible mecánicas son uno de los dos tipos más importantes de bombas de combustible. Estas bombas se usan en motores con carburadores. Se llaman

bombas mecánicas porque operan mecánicamente, por ejemplo, su operación depende del giro de una vara de la leva, la cual manipula una palanca que jala un diafragma que opera válvulas que permiten que salga el combustible fuera del tanque y dentro del sistema de combustible. Estas bombas son de baja presión y operan a tan solo 4 o 6 psi. Generalmente se montan sobre el motor.

Las bombas de combustible eléctricas son el segundo tipo principal de bombas de combustible. Se usan en motores con sistemas de inyección de combustible. Estas bombas no requieren una leva excéntrica sobre una vara de leva para operar, y pueden operar a presiones mucho más altas que las bombas de combustible mecánicas. La mayoría de las bombas de combustible eléctricas operan entre 30 a 40 psi. De hecho algunos sistemas de inyección de combustible hacen uso de dos bombas de combustible eléctricas. Una está montada en el tanque y la otra está montada en, o cerca del motor. (PAZ, 2004 pág. 421)

Figura 10. Bomba eléctrica de combustible



Fuente: PAZ, Arias. Manual de automóviles

2.3.2 El combustible. El combustible generalmente empleado en los motores de explosión es la gasolina, obtenida por la destilación del petróleo bruto que se encuentra en la naturaleza, como resultado de la descomposición, durante miles de siglos, de grandes masas orgánicas.

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos alifáticos obtenida del petróleo por destilación fraccionada, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido por chispa convencional o por compresión, así como en estufas, lámparas, limpieza con solventes y otras aplicaciones. En Argentina, Paraguay y Uruguay la gasolina se conoce como «nafta», y en Chile como «bencina».

Tiene una densidad de 680 g/litro (un 20% menos que el gasoil, que tiene 850 g/litro). Un litro de gasolina proporciona al arder una energía de 34,78 MJ, aproximadamente un 10% menos que el gasoil, que proporciona 38,65 MJ por litro de carburante. Sin embargo, en términos de masa, la gasolina proporciona un 3,5% más de energía.

Las características de mayor importancia que posee el combustible son las siguientes:

- La densidad de la gasolina que se encuentra en el Ecuador, varía entre los valores de 669.5 Kg/m³ y 770 Kg/m³.
- El índice de octano es la capacidad que poseen los hidrocarburos para resistir la detonación. (TORRES - URVINA, 2008 págs. 6-7)

2.3.3 Consumo vehicular. El consumo de los vehículos es importante porque contiene información confiable acerca de la eficiencia del automotor permitiendo a los usuarios comparar los diversos vehículos bajo los mismos parámetros de consumo.

Las cifras de consumo se dan en términos de cantidad de combustible que se relacionan con una distancia recorrida, por lo tanto el consumo se da por:

$$C = \frac{x}{v} \quad (16)$$

Dónde:

C: consumo.

x: distancia recorrida.

v: volumen de combustible.

Además sabemos que el volumen en función del caudal es:

$$v = Q * t \quad (17)$$

Reemplazando esta ecuación en la anterior (16) tenemos:

$$C = \frac{x*t}{q} \quad (18)$$

Dónde:

Q : Caudal de combustible.

t : Tiempo transcurrido en el recorrido.

Las unidades de medida de consumo en el sistema americano se presentan en:

Millas por galón [MPG].

Mientras que el sistema internacional (SI) utiliza los litros por cada 100km de recorrido [lt/100km].

En Latinoamérica se utiliza mucho las unidades de kilometro por galón [km/gal]. (Ministerio de Energía de Chile, 2012)

CAPÍTULO III

3. COMPONENTES DEL SISTEMA MEDIDOR DE FLUJO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para conocer el funcionamiento del sistema de alimentación de combustible, determinar la cantidad de gasolina que circula a través de la red en determinadas circunstancias de manejo, el conjunto de variables que van a determinar el grado de optimización de la red en determinadas circunstancias de manejo, se requiere de un sistema que nos van a permitir realizar una constante medición del gasto de combustible en todas las circunstancias de manejo y para alcanzar una mejor manera de conducción.

Para la construcción de este sistema es necesaria la medición de las variables hidráulicas fundamentales, especialmente caudales y presiones.

Los instrumentos necesarios para poder medir las variables hidráulicas se verán a continuación.

3.1 Caudalímetro

El caudalímetro es un instrumento que se utiliza para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Este instrumento suele colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o fluxómetros.

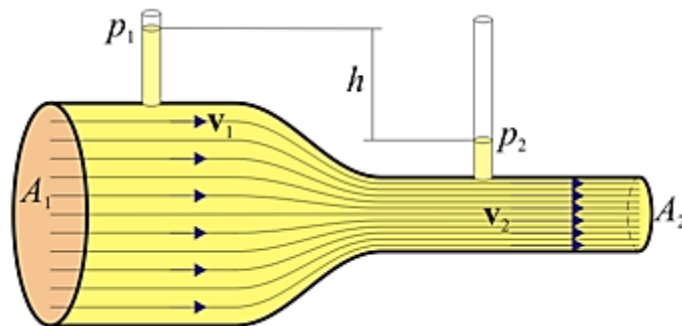
Existen tres tipos de caudalímetros para medición de volúmenes de flujo cerrado son principalmente: tubo Venturi, tobera de medida y diafragma.

El tubo Venturi, el cual va a ser utilizado en el desarrollo de la presente tesis, presenta las siguientes características:

- Pérdidas mínimas en el tubo.

- El Venturi requiere un tramo recto más pequeño que los otros tipos de caudalímetros.
- Es utilizado para medidas de volúmenes más precisos.
- Donde se necesite una mínima caída de presión.
- Es más recomendado para la medición de fluidos altamente viscosos.
- Es adecuado para medir velocidades de fluidos.

Figura 11. Variables en el tubo Venturi



Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

3.2 Sensor de presión

Se llama sensor al instrumento que produce una señal, usualmente eléctrica (antaoño se utilizaban señales hidráulicas), que refleja el valor de una propiedad, mediante alguna correlación definida (su ganancia).

En términos estrictos, un sensor es un instrumento que no altera la propiedad medida, por ejemplo, un sensor de temperatura sería un instrumento tal que no agrega ni cede calor a la masa medida, es decir, en concreto, sería un instrumento de masa cero o que no contacta la masa a la que se debe medir la temperatura (un termómetro de radiación infrarroja, por ejemplo).

Existe, además, el concepto estricto de transductor: un instrumento que convierte una forma de energía en otra (o una propiedad en otra). Por ejemplo, un generador eléctrico en una caída de agua es un conocido transductor de energía cinética de un fluido en energía eléctrica; sobre esta base se podría pensar, por ejemplo, en un transductor de

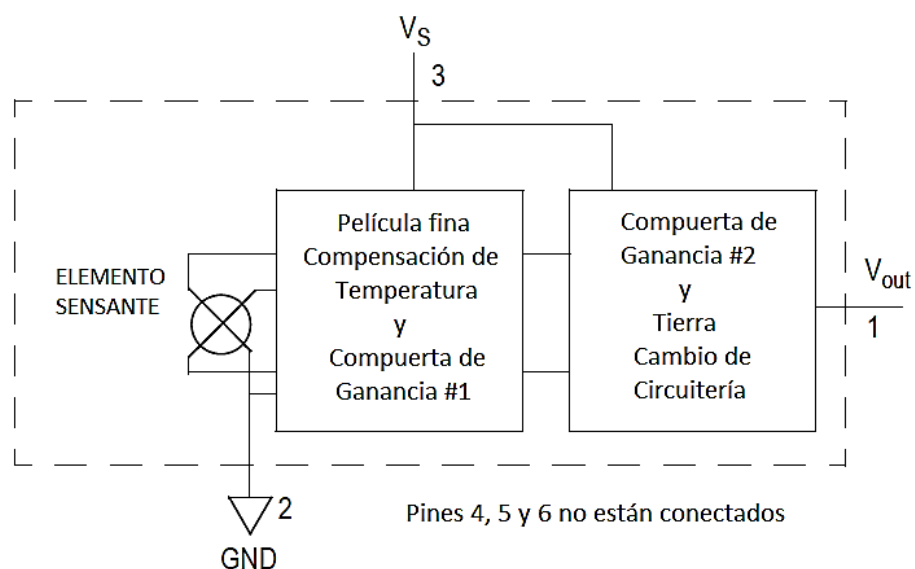
flujo a señal eléctrica consistente de un pequeño generador a paletas movilizado por el caudal a medir.

Todos los instrumentos deben ser especificados a un punto tal que aseguren la operación del proceso y que permita la estimación de sus costos. Estas especificaciones se pueden sistematizar, aplicándolas tanto a sistemas sensores como a sistemas actuadores, sin que todas y cada una de las definiciones que siguen a continuación sean aplicables a todo sensor o actuador. Sin embargo, las definiciones conforman parte del léxico básico del proyecto de instrumentación.

- Precisión (o exactitud).
- Error.
- Sensibilidad.
- Rango.
- Rango de trabajo u operación.
- Tiempo de respuesta.

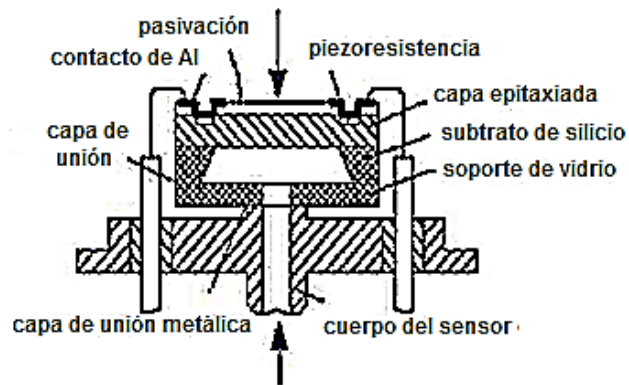
El tipo de sensores que se va a utilizar en la presente tesis es del tipo piezoresistivo.

Figura 12. Esquema del sensor



Fuente: Datasheet MPX 5500 DP

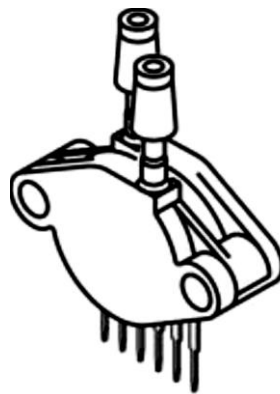
Figura 13. Interior del sensor de presión



Fuente: Datasheet MPX 5500 DP

El sensor de presión piezoresistivo tiene un elemento de medición en forma de placa con resistencias obtenidas por difusión o implantación de iones. Si estas placas se someten a una carga, cambia su resistencia eléctrica. (HONEYWELL, 2012)

Figura 14. Exterior del sensor de presión diferencial



Fuente: Datasheet MPX 5500 DP

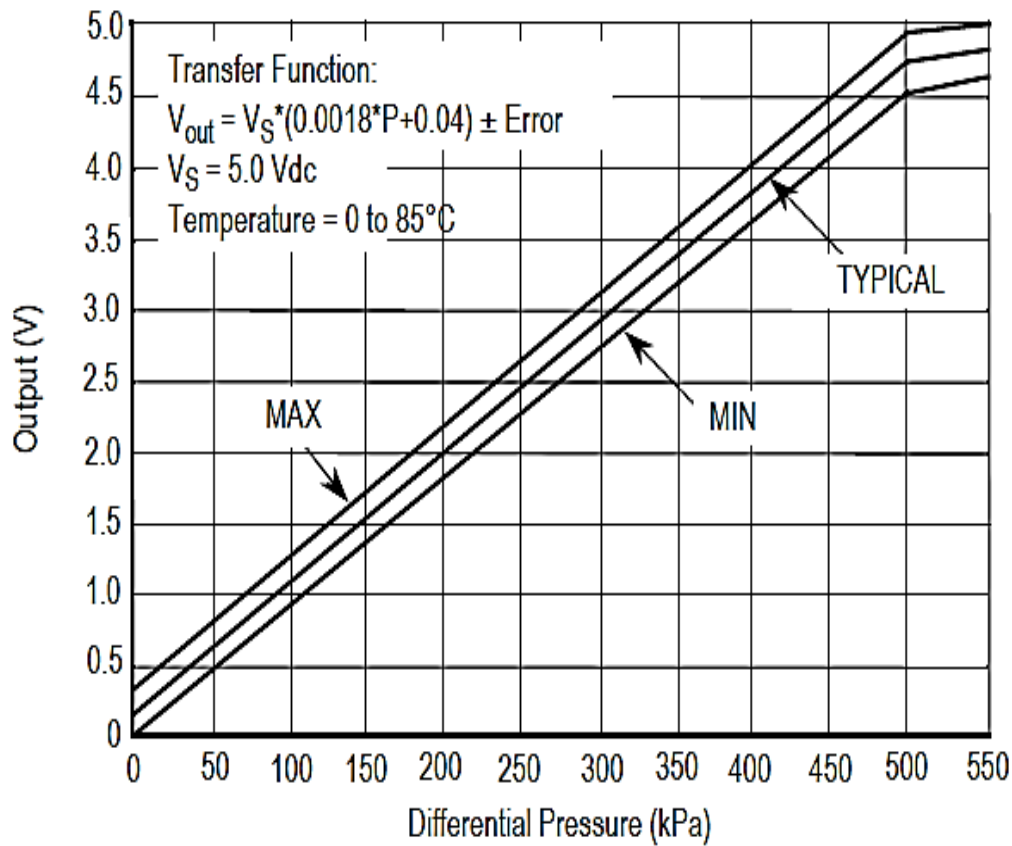
Los sensores utilizados son:

- El MPX5500DP
- El MPX5100DP

El MPX5500DP es un sensor de presión diferencial que se ubica en la línea de combustible antes del riel de inyectores, este sensor trabaja con presiones de hasta 500KPa (72,52 PSI), por la razón de que las bombas eléctricas de gasolina proporcionan un flujo de combustible con presiones de 42,6 a 57 PSI (3-4 bares), este rango de presión es el más común en vehículos a gasolina.

La Figura 15, muestra la señal de salida del sensor con respecto a presión de entrada. La salida típica, mínima y máxima las curvas se muestran para el funcionamiento en un rango de temperatura de 0 ° a 85 ° C. La salida se saturará fuera del rango de presión especificada.

Figura 15. Voltaje de salida vs. presión diferencial

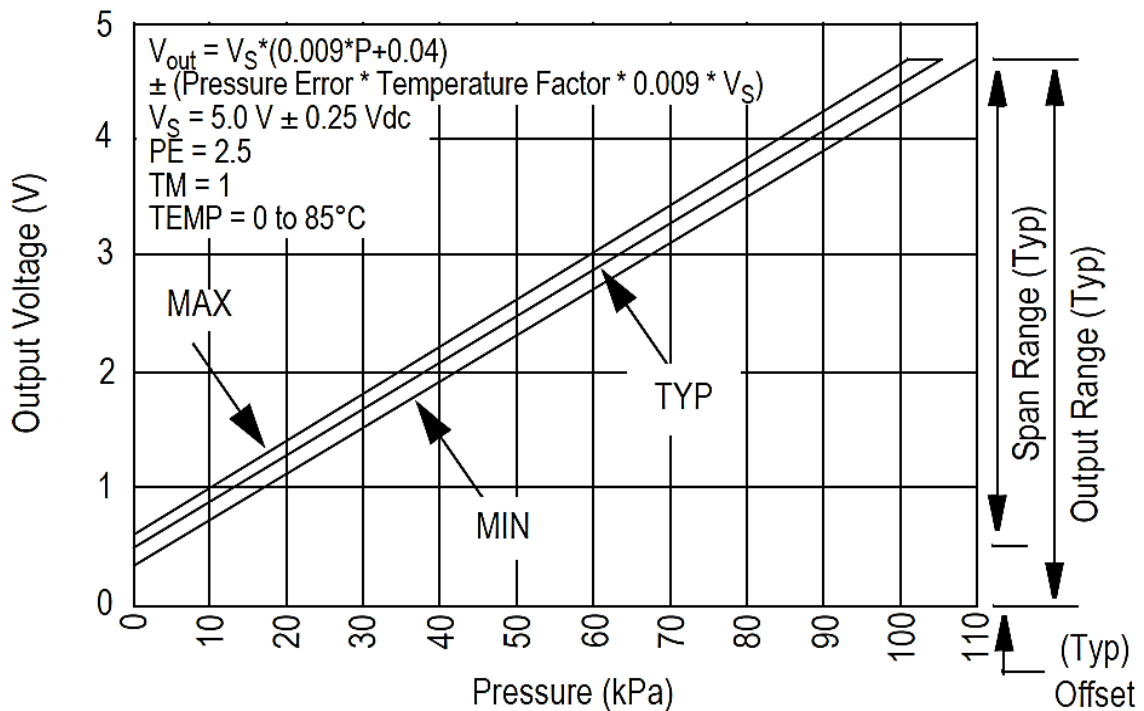


Fuente: Datasheet MPX 5500 DP

El error máximo que puede generar este sensor es como máximo el 2.5% en temperatura de operación de 0 °C hasta 85 °C.

El sensor MPX5100 DP al igual que el anterior, es un sensor de presión diferencial y se ubica en la salida del riel de inyectores para el retorno de combustible, se utiliza éste para medir el caudal de combustible que retorna al tanque, ya que el vehículo utiliza diferente cantidad de combustible en cada circunstancia de manejo, dicho sensor trabaja con presiones no mayores a los 100 KPa (14,5 PSI), ya que la presión en el retorno de combustible es muy bajo con respecto a la presión de entrada.

Figura 16. Voltaje de salida vs. presión diferencial



Fuente: Datasheet MPX 5100 DP

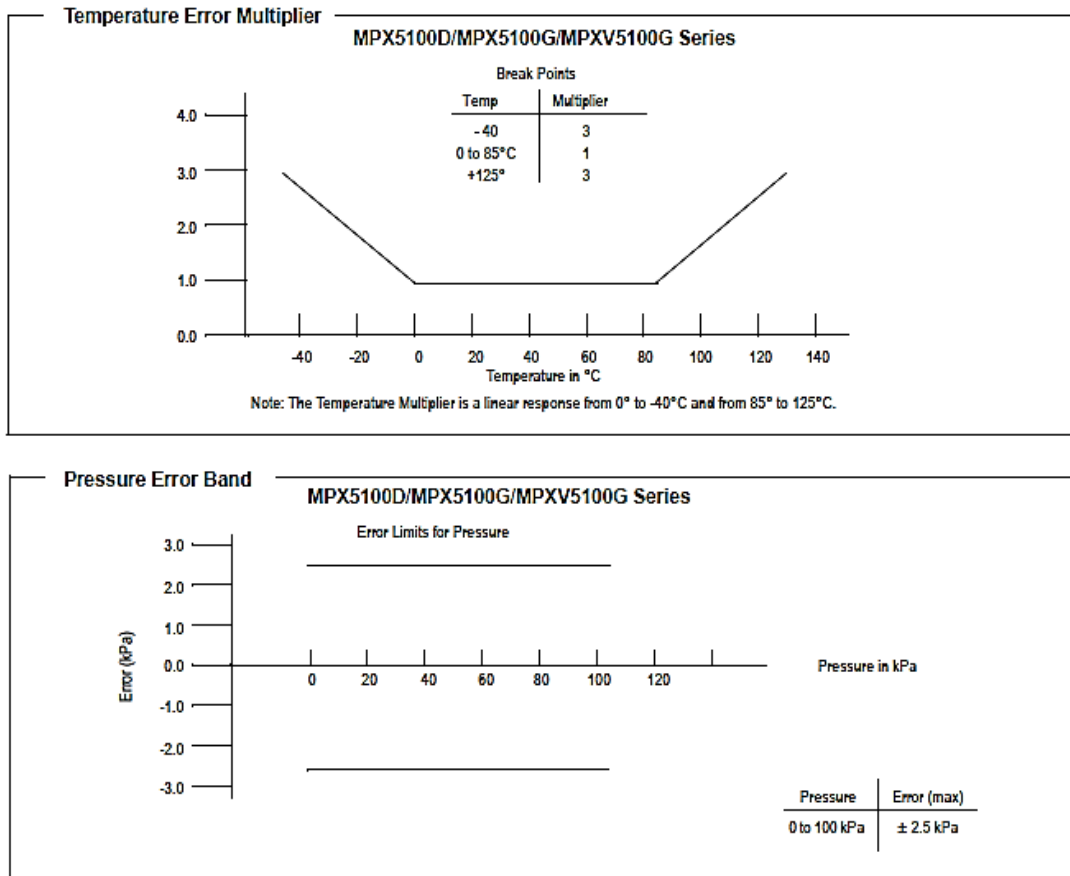
La Figura 16, muestra la señal de salida del sensor con respecto a presión de entrada. La salida típica, mínima y máxima las curvas se muestran para el funcionamiento en un rango de temperatura de 0 °C a 85 °C. La salida se saturará fuera del rango de presión especificado.

La Figura 17, muestra las gráficas del margen de error en el sensor, en la primera gráfica se puede obtener el factor multiplicador de error por temperatura y en la segunda se encuentra el error absoluto por presión, estos factores de error nos ayudan a dar un valor más cercano al real.

Estos factores son importantes para poder determinar el error de voltaje de salida del sensor MPX5100DP, éstos se introducen en la ecuación de voltaje de salida (V_{OUT}) que se puede observar en la Figura 16.

Todas las características de los sensores utilizados para la presente tesis se encuentran en la sección de anexos (ver Anexos A y B).

Figura 17. Factor de error por temperatura y por presión



Fuente: Datasheet MPX 5100 DP

3.3 Microcontrolador PIC16F877A

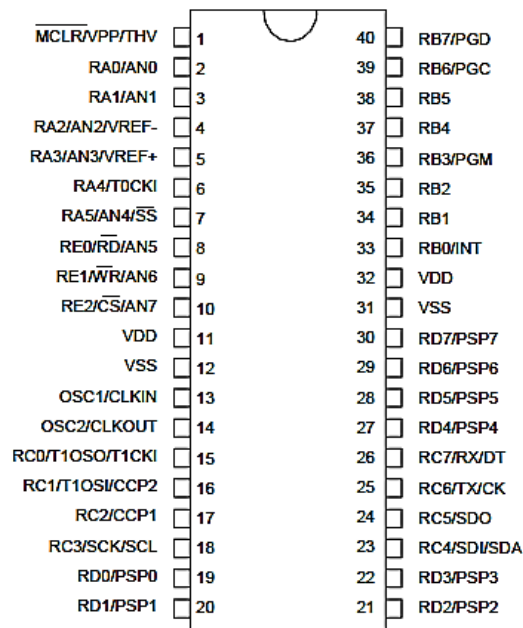
El PIC16F877A es un microcontrolador con memoria de programa tipo FLASH, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje, fabricado por Microchip Technology en tecnología CMOS, su consumo de potencia es muy bajo y además es completamente estático, esto quiere decir que el reloj puede detenerse y los

datos de la memoria no se pierden, puede trabajar con frecuencias de reloj hasta 20MHz.

Los pines de entrada/salida de este microcontrolador están organizados en cinco puertos, el puerto A con 6 líneas, el puerto B con 8 líneas, el puerto C con 8 líneas, el puerto D con 8 líneas y el puerto E con 3 líneas.

Cada pin de esos puertos se puede configurar como entrada o como salida independiente programando un par de registros diseñados para tal fin. En ese registro un bit en "0" configura el pin del puerto correspondiente como salida y un bit en "1" lo configura como entrada. Dichos pines del microcontrolador también pueden cumplir otras funciones especiales, siempre y cuando se configuren para ello, según se verá más adelante.

Figura 18. Distribución de pines del PIC16F877A



Fuente: Datasheet PIC 16F877A

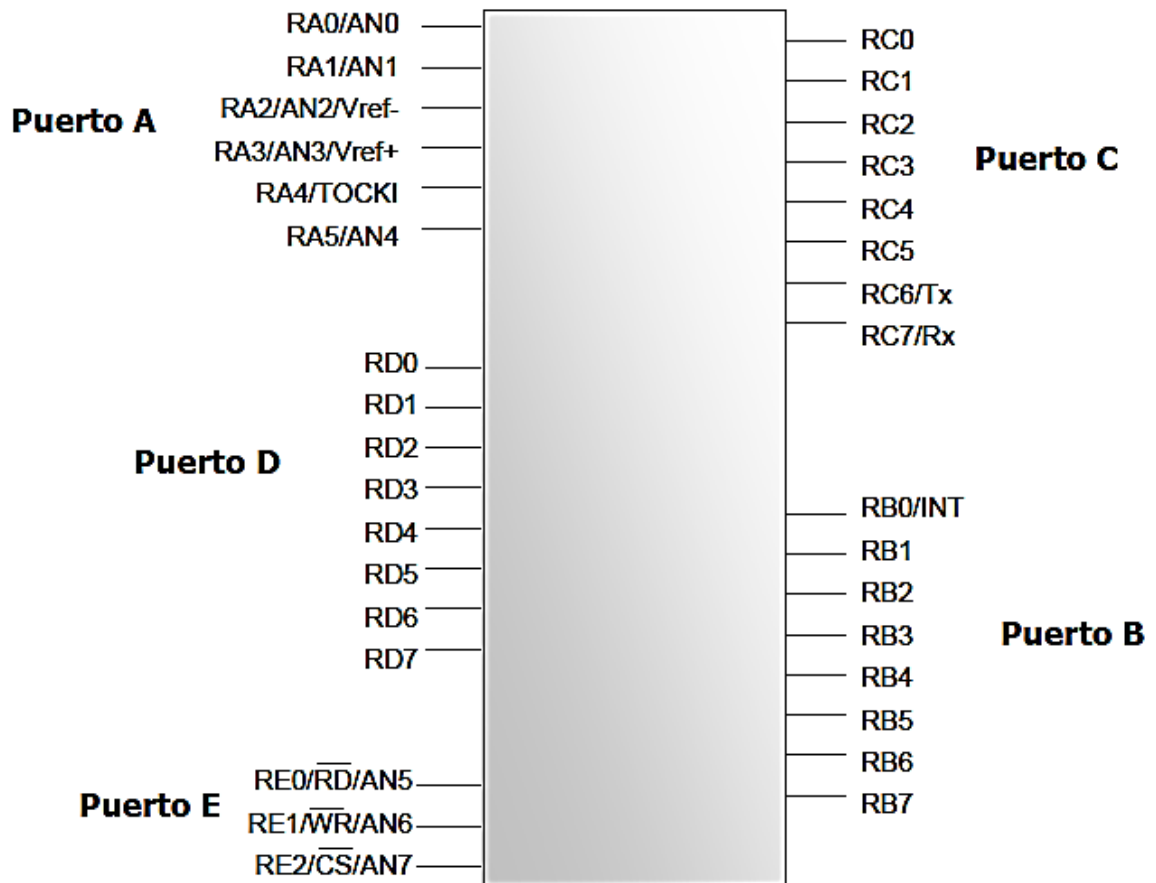
Los pines del puerto A y del puerto E pueden trabajar como entradas para el convertidor análogo a digital interno, es decir, allí se podría conectar una señal proveniente de un sensor o de un circuito analógico, para que el microcontrolador la convierta en su equivalente digital y pueda realizar algún proceso de control o de instrumentación digital. El pin RB0/INT se puede configurar por software para que funcione como

interrupción externa, para configurarlo se utilizan unos bits de los registros que controlan las interrupciones.

El pin RA4/TOCKI del puerto A puede ser configurado como un pin de entrada/salida o como entrada del temporizador/contador.

Cuando este pin se programa como entrada digital, funciona como un disparador de Schmitt (Schmitt trigger), puede reconocer señales un poco distorsionadas y llevarlas a niveles lógicos (cero y cinco voltios).

Figura 19. Distribución de puertos en el microcontrolador



Fuente: Datasheet PIC 16F877A

Cuando se usa como salida digital se comporta como colector abierto (open collector), por lo tanto, se debe poner una resistencia de pull-up (resistencia externa conectada a un

nivel de cinco voltios). Como salida, la lógica es inversa: un "0" escrito al pin del puerto entrega en el pin un "1" lógico.

El puerto E puede controlar la conexión en modo microprocesador con otros dispositivos utilizando las líneas RD (read), WR (write) y CS (chip select). En este modo el puerto D funciona como un bus de datos de 8 bits (pines PSP).

La máxima capacidad de corriente de cada uno de los pines de los puertos en modo sumidero (entrada) o en modo fuente (salida) es de 25 mA. La máxima capacidad de corriente total de los puertos es:

- Modo entrada: 150 mA (Puerto), 200 mA (Puerto B, C, D).
- Modo salida: 150 mA (Puerto), 200 mA (Puerto B, C, D).

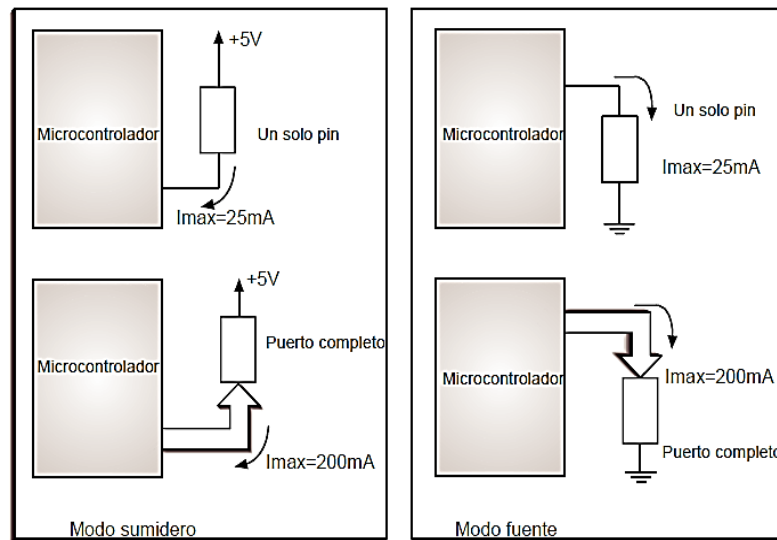
El consumo de corriente del microcontrolador para su funcionamiento depende del voltaje de operación, la frecuencia y de las cargas que tengan sus pines. Para un oscilador de 4 MHz el consumo es de aproximadamente 2 mA, aunque éste se puede reducir a 40 μ A cuando se está en el modo sleep (en este modo el micro se detiene y disminuye el consumo de potencia).

Se sale de ese estado cuando se produce alguna condición especial que veremos más adelante.

El microcontrolador posee un convertidor A/D (Análogo/Digital). Este módulo de conversión es del tipo de aproximaciones sucesivas, donde se necesita altas velocidades de conversión.

El módulo de conversión debe tener los siguientes parámetros: Rango de entrada, número de bits, resolución, tensión de fondo de escala, tipo de conversión y error de conversión. (UTP, 2012)

Figura 20. Capacidad de corriente de los pines y puertos



Fuente: Datasheet 16F877A

El microcontrolador 16F877A tiene un módulo ADC de 10 bits, por tanto su LSB será de 0.0048 V.

3.4 Sensores adicionales e información del vehículo

Para que el sistema funcione y proporcione los datos que se desean ver, es necesaria la información de recorrido del vehículo, esta información es proporcionada por el odómetro, propio del vehículo, o por un sistema medidor de recorrido formado por un sensor captador de revoluciones en la rueda del vehículo.

Figura 21. Velocímetro y odómetro del vehículo



Fuente: Autores

El sensor genera un número determinado de pulsos altos por cada giro de la rueda, el sistema cuenta la cantidad de pulsos (giros de la rueda) y luego la convierte en unidades de distancia, necesaria para que el sistema pueda realizar los cálculos de consumo de combustible por recorrido.

El sistema realiza la siguiente operación para poder determinar la distancia recorrida por el vehículo:

$$D = n * P \quad (19)$$

Dónde:

D : Distancia recorrida [m].

n : Número de giros de la rueda.

P : Perímetro o pisada de rueda.

Por tanto es necesaria conocer el perímetro (pisada) de la rueda, el sistema medidor de consumo de combustible incorpora un teclado numérico (keypad) para poder introducir el dato del perímetro necesario para los cálculos.

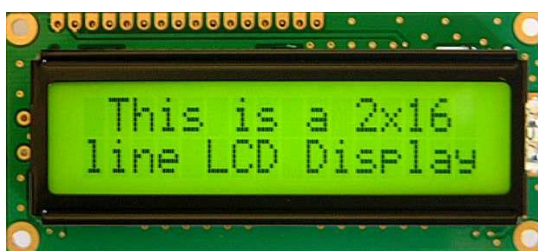
3.5 Sistema electrónico de medición.

3.5.1 Medidor de caudal de combustible. La parte del sistema que realiza la medición de flujo está compuesta por los sensores de presión diferencial, que generan un voltaje dependiendo la diferencia de presiones en sus conductos de entrada.

La señal de los sensores llega al puerto A del microcontrolador, se seleccionó este puerto porque es el único puerto que se puede utilizar para conversiones A/D (análogo-digital) y recibir señales análogas en sus pines según sea necesario.

Mediante la programación del microcontrolador una de las funciones principales que este elemento realiza es medir la señal de voltaje enviada por los sensores, realizar los cálculos definidos para convertirla en unidades de caudal y ser visible al usuario en una pantalla LCD de 16x2.

Figura 22. Pantalla LCD de 16x2



Fuente: Autores

3.5.2 *Calculador de consumo de combustible.* Otra función principal del microcontrolador es realizar un cálculo para determinar los kilómetros que recorrerá el vehículo con una cierta cantidad de combustible que se suministre a éste y viceversa, esto lo hace a partir del dato obtenido del caudal o flujo de combustible que se ha medido previamente, para realizar esta operación se requiere que usuario ingrese la cantidad de combustible o kilómetros a recorrer según lo que se desee conocer.

Figura 23. Teclado de membrana 3x4



Fuente: Autores

Para ingresar estos datos el sistema cuenta con un teclado numérico (keypad) de 3x4, mediante la programación los datos introducidos y a determinar se verán en la pantalla LCD.

CAPÍTULO IV

4. PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA

En éste capítulo se verán los esquemas eléctricos que forman parte del sistema medidor de consumo de combustible, además de una breve descripción del programa ISIS de Proteus utilizado para la simulación de funcionamiento virtual del proyecto, el compilador CCS utilizado para realizar la programación respectiva del microcontrolador, y las funciones principales utilizadas durante la programación.

4.1 Señal de sensores

Los sensores de presión diferenciales MPX5100DP y MPX5500DP envían una señal eléctrica hacia el microcontrolador, el voltaje de la señal varía dependiendo de la presión diferencial que exista en sus conductos.

El voltaje de salida de los sensores indicados va de acuerdo a sus ecuaciones gobernantes.

MPX5100DP

$$V_{out} = V_S*(0.009*P+0.04) \quad (20)$$

$$P = \frac{V_{out}-0.04*V_S}{V_S*0.009} \quad (21)$$

MPX5500DP

$$V_{out} = V_S*(0.0018*P+0.04) \quad (22)$$

$$P = \frac{V_{out}-0.04*V_S}{V_S*0.0018} \quad (23)$$

Dónde:

P: Presión de sensor (presión diferencial) [KPa].

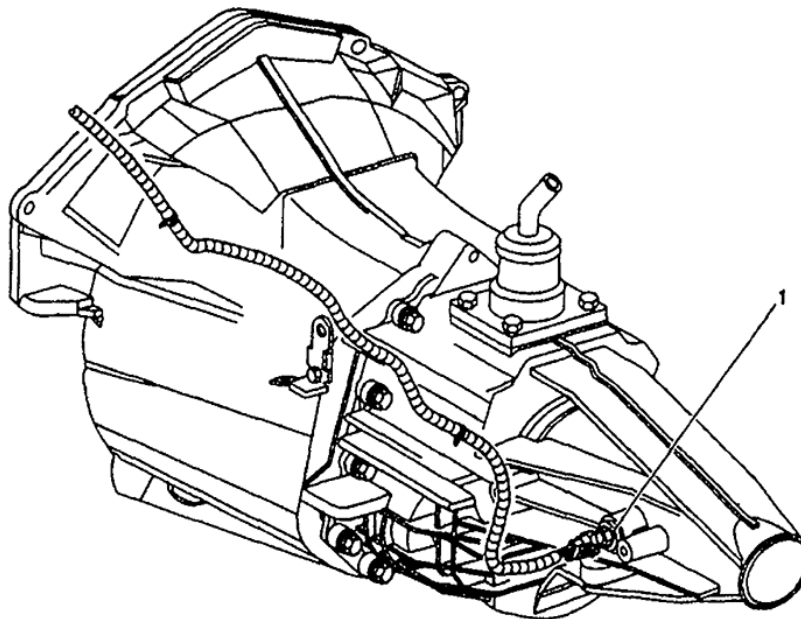
V_s : Voltaje de alimentación de sensor (5V recomendado) [+V].

V_{out} : Voltaje de señal del sensor.

El sensor VSS provee información al ECM del vehículo la posición, velocidad y cambio de velocidad de un elemento rotativo.

El sensor se encuentra ubicado en el eje de salida de la transmisión del vehículo como se muestra en la Figura 24, el número de ciclos de la señal que envía el sensor dependen de la cantidad de dientes que tenga el rotor.

Figura 24. Ubicación sensor VSS en el vehículo

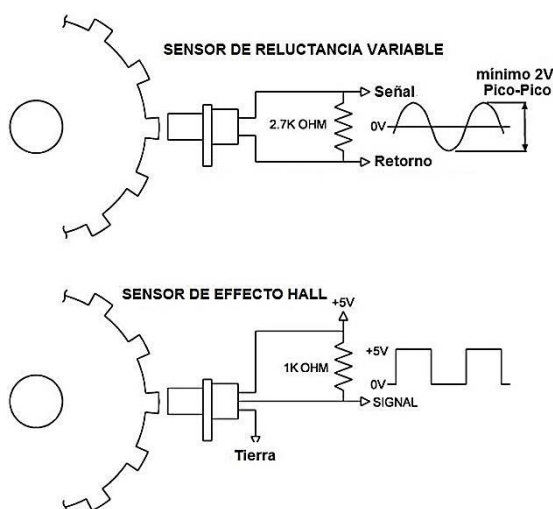


(1) Vehicle Speed Sensor (VSS)

Fuente: GIL, Hermógenes. Manual CEAC del Automóvil

La señal puede ser una onda o del tipo alterna o del tipo digital. Por cada vuelta del eje genera de uno a 8 ciclos según su diseño, su resistencia debe ser de 190Ω a 240Ω .

Figura 25. Señal de salida del sensor



Fuente: http://elektromechanischen.blogspot.com/2011_08_01_archive.html

4.2 Esquema eléctrico del sistema

Para realizar los esquemas y simulación de funcionamiento del circuito principal del sistema medidor de consumo de combustible, se utilizó el programa denominado Isis de Proteus.

El entorno de diseño electrónico de PROTEUS VSM de LABCENTER ELECTRONICS ofrece la posibilidad de simular código microcontrolador de alto y bajo nivel. Esto permite el diseño tanto a nivel hardware como software y realizar la simulación en un mismo entorno.

Para ello, se suministran tres potentes subentornos como son ISIS para diseño gráfico, VSM para la simulación y Ares para diseño de placas.

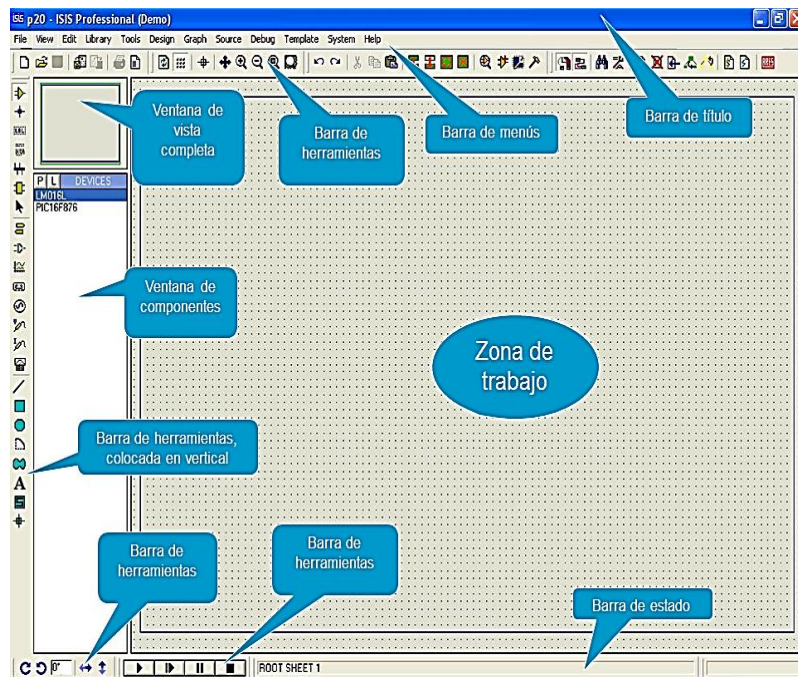
El módulo ISIS es un programa que nos permite dibujar, sobre un área de trabajo, un circuito que posteriormente podremos simular.

En la manipulación del software casi siempre existirán varias opciones para un mismo fin. Normalmente podremos optar por seguir un menú, acceder a un icono o trabajar con

el teclado. Aquí concederemos preferencia a la opción más rápida y más cómoda, que suele ser casi siempre el olvidado teclado.

En la Figura 26. se puede observar el entorno de trabajo que el programa ofrece al usuario y las partes y herramientas principales del programa.

Figura 26. Área de trabajo en ISIS



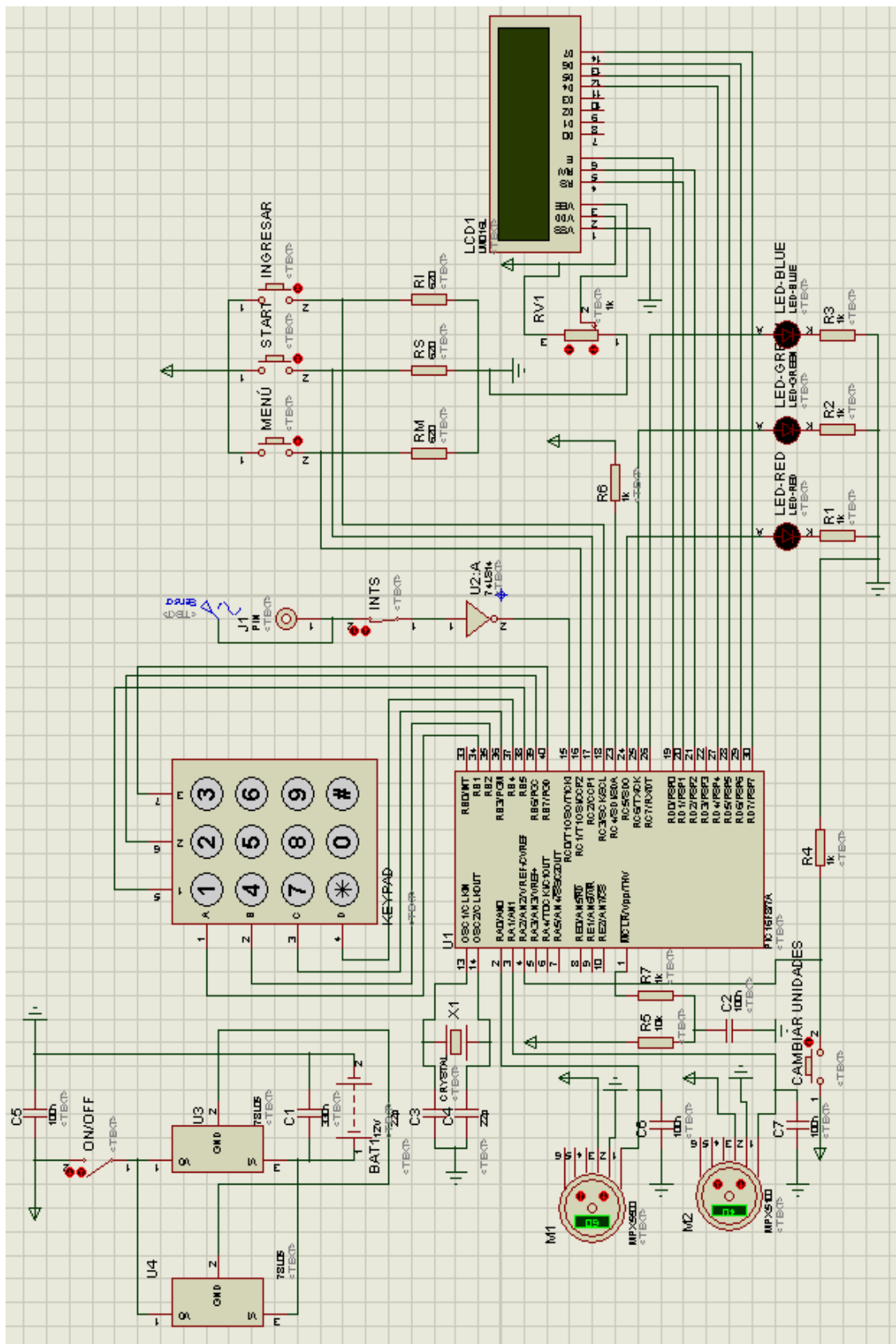
Fuente: Autores

En la Figura 27, se encuentra el circuito principal armado en ISIS (sin simular), y donde los componentes que se encuentran son los siguientes:

- Microcontrolador 16F877A.
- Pantalla LCD 16x2.
- Teclado numérico (keypad 3x4).
- 6 interruptores normalmente abiertos.
- 5 resistencias de 620 Ω .
- 2 potenciómetros (Para simular los sensores).
- Generador de pulsos (Para simular el sensor VSS).
- LED rojo.

- LED verde.
- LED azul.
- 3 Resistencias 180Ω.
- Sensor de presión diferencial MPX5100DP.
- Sensor de presión diferencial MPX5500DP.

Figura 27. Esquema circuitería principal

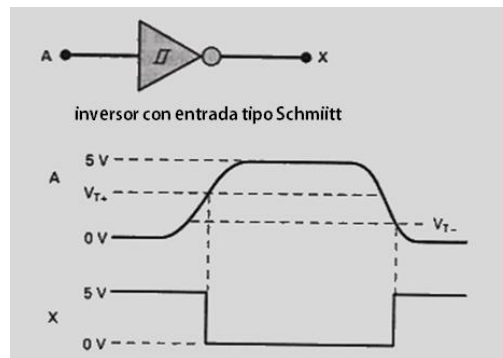


Fuente: Autores

4.3 Acondicionamiento de señales de entrada

El sensor VSS envía una señal analógica o digital, dependiendo del tipo de sensor utilizado en el vehículo, en el caso de un sensor que genere una señal analógica, se requiere convertirla en una señal digital para que sea aceptada por el microcontrolador, para poder realizar esta conversión se utiliza un disparador tipo Schmitt.

Figura 28. Señal del disparador Schmitt

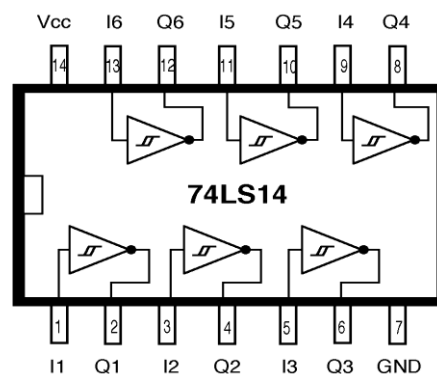


Fuente: TOCCI, Ronald. Sistemas Digitales Principios y Aplicaciones

Cuando la señal de entrada tiene un nivel 0, la salida es alta a un voltaje de 5V, al llegar a un voltaje V_{T+} en su entrada, su salida cambia a un estado bajo es decir 0V.

El inversor que es utilizado en el circuito del proyecto es el 74LS14 y el esquema de éste circuito integrado es el que se observa en la Figura 29.

Figura 29. Circuito integrado 74LS14



Fuente: Datasheet 74LS14

4.4 Programación

En esta sección se abordará el programa (Anexo D) y el lenguaje de programación utilizado para la funcionalidad del microcontrolador del circuito principal.

Se seleccionó el compilador CCS porque con él se puede programar en lenguaje C, que es el más óptimo para microcontroladores, además de que incorporan librerías predeterminadas necesarias para la comunicación con elementos externos, como son el teclado y la pantalla LCD.

Las librerías se declaran las directivas preprocesador de la estructura del programa, con el uso de éstas no es necesario la configuración de pines de comunicación del microcontrolador, haciendo que el tamaño del programa sea menor optimizando la memoria del microcontrolador.

4.4.1 *El compilador C.* El compilador C de CCS ha sido desarrollado específicamente para microcontroladores PIC (controlador de interfaz periférico), obteniendo la máxima optimización de del compilador con estos dispositivos.

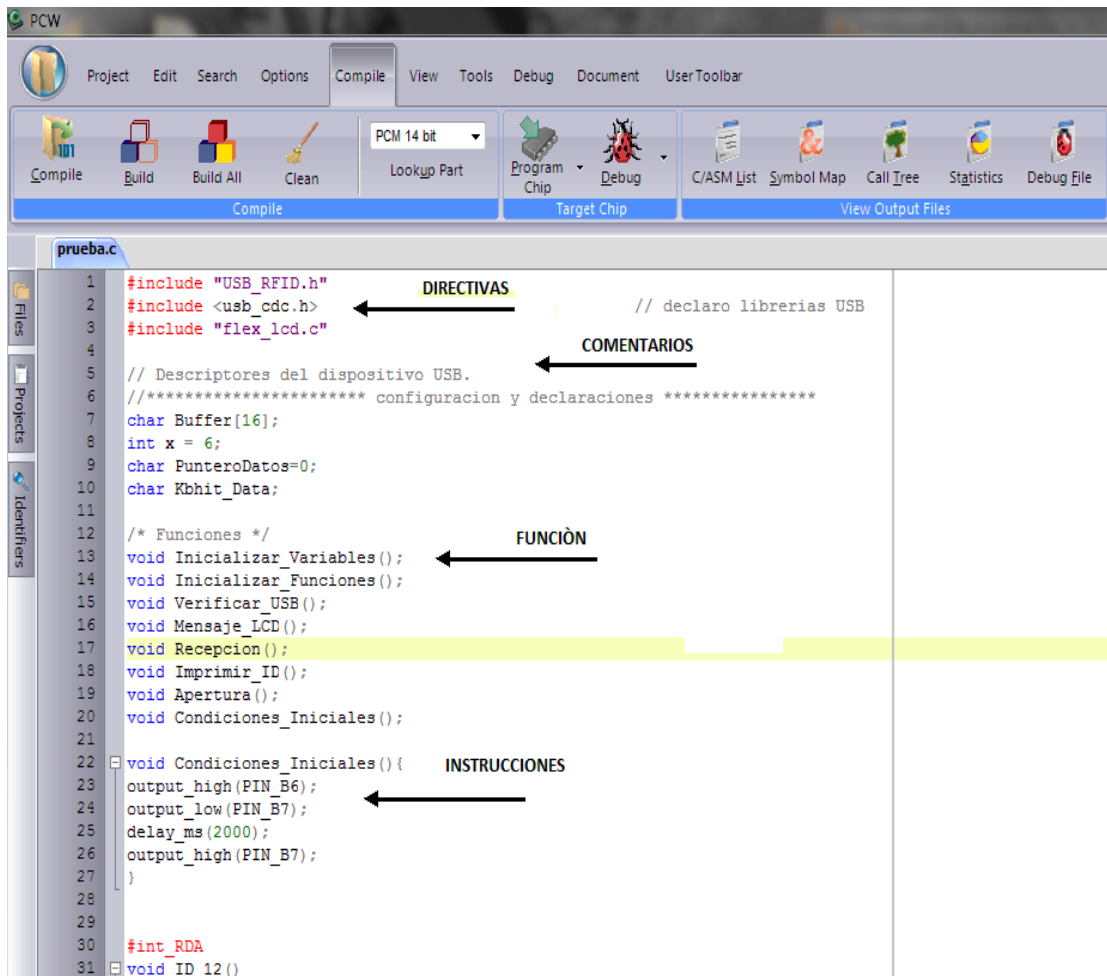
Dispone de una amplia gama de librerías de funciones predefinidas, comandos de preprocesador y ejemplos. Además. Suministra los controladores (drives) para diversos dispositivos como LCD, convertidores AD, relojes en tiempo real, EEPROM serie, etc.

Un compilador convierte el lenguaje de alto nivel a instrucciones en código máquina, los programas que contienen las instrucciones, son editados y compilados a instrucciones máquina en el entorno de trabajo del PC.

El lenguaje utilizado en éste compilador es el lenguaje C estándar, suministra unas directivas y funciones específicas para cada PIC.

4.4.2 *Estructura del programa.* Para escribir un programa en C con el CCS se deben tener en cuenta una serie de elementos básicos de su estructura (Figura 30.)

Figura 30. Estructura de programa



The screenshot shows the CCS IDE interface with a C program named 'prueba.c'. The code is annotated with arrows pointing to different parts: 'DIRECTIVAS' points to the #include statements; 'COMENTARIOS' points to the USB descriptor comment; 'FUNCIÓN' points to the function declarations; and 'INSTRUCCIONES' points to the implementation of the 'Condiciones_Iniciales()' function. The code includes headers for USB and LCD, declares variables, and lists several functions.

```
1 #include "USB_RFID.h"
2 #include <usb_cdc.h> // declaro librerias USB
3 #include "flex_lcd.c"
4
5 // Descriptores del dispositivo USB.
6 //***** configuracion y declaraciones *****
7 char Buffer[16];
8 int x = 6;
9 char PunteroDatos=0;
10 char Kbit_Data;
11
12 /* Funciones */
13 void Inicializar_Variables();
14 void Inicializar_Funciones();
15 void Verificar_USB();
16 void Mensaje_LCD();
17 void Recepcion();
18 void Imprimir_ID();
19 void Apertura();
20 void Condiciones_Iniciales();
21
22 void Condiciones_Iniciales(){
23     output_high(PIN_B6);
24     output_low(PIN_B7);
25     delay_ms(2000);
26     output_high(PIN_B7);
27 }
28
29
30 #int_RDA
31 void ID 12 ()
```

Fuentes: Autores

Donde podemos ver de la figura:

- **DIRECTIVAS DE PREPROCESADO:** Controlan la conversión del programa máquina por parte del compilador.
- **PROGRAMAS o FUNCIONES:** Conjunto de instrucciones. Puede haber uno o varios; en cualquier caso siempre debe haber uno definido como principal mediante la inclusión de la llama *main*.
- **INSTRUCCIONES:** Indican como debe comportar el PIC en todo momento.
- **COMENTARIOS:** Permiten describir lo que significa cada línea del programa.

4.4.3 Tipos de datos. CCS acepta los siguientes tipos de datos:

Tabla 2. Tipos de datos

Tipo	Tamaño (en bytes)	Rango
bit	1	0 ó 1
char	1	0...255
signed char	1	-128...127
int	2	-32768...32767
unsigned	2	0...65535
long	4	-2147483648...2147483647
unsigned long	4	0...4294967295
float	4	$-1.5 \cdot 10^{45} \dots +3.4 \cdot 10^{38}$

Fuente: BREIJO, Eduardo. *Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores*

4.4.4 *Las constantes.* Las constantes se pueden especificar en decimal, octal, hexadecimal o en binario:

Tabla 3. Tipos de constantes

123	Decimal
0123	Octal (0)
0x123	Hexadecimal (0x)
0b010010	Binario (0b)
'x'	Carácter
'\010'	Carácter Octal
'\xA5'	Carácter Hexadecimal

Fuente: *Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores*

4.4.5 *Declaraciones de control.* Las declaraciones son usadas para controlar el proceso de ejecución del programa. Las declaraciones que admite CCS son:

- **If-Else:** Evalúa la expresión y si es cierta ejecuta la sentencia en el caso contrario ejecuta otra sentencia.

If (expresión_1)

Sentencia_1;

```
[else  
  Sentencia_2;]
```

- **For:** Se usa para repetir sentencias.

En las expresiones del FOR la inicialización es una variable a la cual se le asigna un valor inicial con el que controlar el bucle. La condición de finalización sirve para evaluar ANTES de ejecutar las sentencias si es cierta o no, en el caso de ser cierta se ejecutan las sentencias y en caso contrario se sale del FOR. Por último, la expresión de incremento o decremento modifica la variable de control DESPUÉS de ejecutar el bucle.

```
For (inicialización; condición de finalización; incremento)  
{sentencia;}
```

- **While/Do-While:** While se utiliza para repetir sentencias.

```
While (expresión)  
{sentencias;}
```

La expresión se evalúa y la sentencia se ejecuta mientras la expresión es verdadera, cuando es falsa se sale del WHILE.

DO-WHILE se diferencia del WHILE en la condición de finalización, la cual se evalúa al final del bucle, por lo que las sentencias se ejecutan al menos una vez.

```
Do {sentencias;}  
While (expresión);
```

- **Switch-Case:** Switch es un caso particular de una decisión múltiple.

```
Switch (expresión)  
{case constante 1:  
  Sentencias;
```

Break;

Case constante 2:

Sentencias;

Break;

Evalúa la expresión y en orden la CONSTANTE adecuada realizar las sentencias asociadas. Si ninguno de los CASE corresponde a la CONSTANTE se ejecuta DEFAULT (este comando es opcional).

El comando BREAK provoca la salida del SWITCH, de lo contrario se ejecuta el siguiente CASE.

4.4.6 *Directivas y funciones.* Las directivas de pre-procesado comienzan con el símbolo # y continúan con un comando específico. La sintaxis depende del comando.

Algunos comandos no permiten otros elementos sintácticos en la misma expresión.

Tabla 4. Directivas permitidas en el compilador CCS

Estándar C	#ELSE	#IF expr	#NOLIST
	#ENDIF	#LIST	#INCLUDE "FILENAME"
Cualificadores	#INLINE	#INT_GLOBAL	#SEPARATE
	#INT_DEFAULT	#INT_XXX	
Especificación Dispositivos	#DEVICE CHIP	#ID "filename"	#FUSES options
Librerías predefinidas	#USE DELAY CLOCK	#USE_FIXED_IO	#USE RS232
	#USE FAST_IO	#USE I2C	#USE STANDARD_IO
Control de memoria	#ASM	#ROM	#ENDASM
	#TYPE	#FILLROM	#BUILD

Fuente: BREIJO, Eduardo. *Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores*

Como ejemplo se pueden comentar:

#DEVICE chip, permite definir el PIC con el que se realizará la compilación. Ej.:
#device PIC16F877A.

#FUSES options, la cual permite definir la palabra de configuración para programar un PIC. Por ejemplo, en el PIC 16F877A las opciones posibles son:

LP, XT, HS, RC, NOWDT, WDT, NOPUT, PUT, PROTECT, NOPROTECT
#device PIC16F877A
#fuses XT, NOWDT, PUT, NOPROTECT

#USE DELAY (CLOCK=SPEED), permite definir las frecuencias del oscilador del PIC, el compilador lo utiliza para realizar cálculos de tiempo. Se puede utilizar M, MHZ, K y KHZ para definir la frecuencia.

#INCLUDE <16F877>
#use delay (clock=4MHZ)

Las funciones son utilizadas para acceder y utilizar el PIC y sus periféricos. Estas funciones facilitan la configuración del PIC sin entrar en el nivel de los registros especiales. (BREIJO, 2008 págs. 24-42)

Las funciones se clasifican por bloques funcionales:

Tabla 5. Funciones utilizadas en CCS

E/S DISCRETAS	SET_TRIS_A()	INPUT_A()	OUTPUT_A()	PORT_A_PULLUP PS()
	SET_TRIS_B()	INPUT_B()	OUTPUT_B()	PORT_B_PULLUP PS()
	SET_TRIS_C()	INPUT_C()	OUTPUT_C()	
	SET_TRIS_D()	INPUT_D()	OUTPUT_D()	
	SET_TRIS_E()	INPUT_E()	OUTPUT_E()	
CONTROL PROCESOS	ENABLE_INTERRUPTS()	SETUP_OSCILLATOR()	EXT_INT_EDGE()	
MANEJO BIT-BYTES	BIT_CLEAR()	BIT_SET()	BIT_TEST()	

Fuente: BREIJO, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador Proteus para
 Microcontroladores PIC

Tabla 5. (Continuación)

OPERADORES MATEMÁTICOS	SQRT()	EXP()	DIV()
	ACOS()	ASIN()	SIN()
C ESTÁNDAR	LOG()	TAN()	FLOOR()
	CEIL()	COS()	LOG10()
A/D CONVERSIÓN	SET_ADC_CHANNEL()	SETUP_ADC_PORTS()	
	SETUP_ADC()	READ_ADC()	
TIMERS	GET_TIMER0()	SET_RTCC()	SETUP_TIMER_0()
	GET_TIMER1()	SET_TIMER0()	SETUP_TIMER_1()
	GET_TIMER2()	SET_TIMER1()	SETUP_TIMER_2()
	GET_TIMER3()	SET_TIMER2()	SETUP_TIMER_3()
RETARDOS	DELAY_CYCLES()	DELAY_US()	DELAY_MS()

Fuente: BREIJO, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador Proteus para
Microcontroladores PIC

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

En base al análisis y selección de los instrumentos e integrados más idóneos para el sistema, se procederá a realizar la construcción e instalación del mismo.

Tomando los conceptos de los capítulos anteriores se ha diseñado un sistema de flujo de combustible, donde vamos a detallar las diferentes etapas del sistema. Además se realizará el diseño del software de la etapa de adquisición de datos, utilizando COMPILADOR CCS como el software más adecuado para el desarrollo de esta etapa, siendo lo más importante de nuestro sistema.

5.1 Construcción de elementos

La construcción e instalación del sistema medidor de flujo de combustible contemplo las siguientes fases en su construcción:

- Elementos Hidrodinámicos
- Elementos Eléctricos y Electrónicos

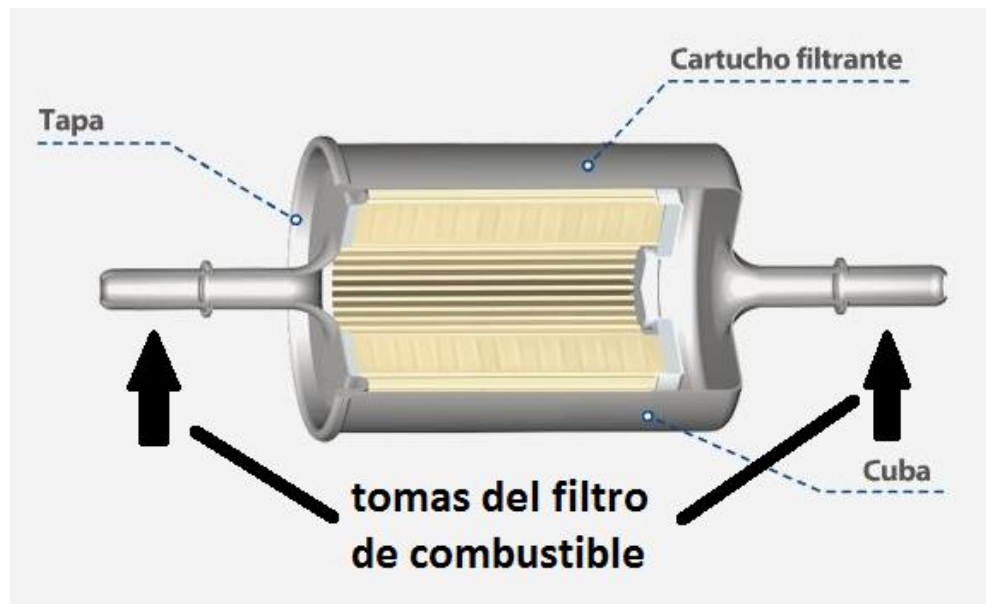
5.1.1 Elementos hidrodinámicos. Los elementos hidrodinámicos que el sistema medidos de flujo de combustible posee son dos tubos Venturi, los cuales actúan como caudalímetros, y éstos nos permitirán obtener dos valores de presión diferentes y con éstos determinar el caudal de combustible. Éste es uno de los elementos más importantes de todo el sistema.

5.1.1.1 Construcción de elementos hidrodinámicos. Para la construcción de caudalímetro debemos tomar en cuenta que estos tubos Venturi van conectados a las líneas de alimentación y retorno de combustible del vehículo, por esta razón nos basamos en la configuración de las tomas de un filtro de combustible, el filtro de

combustible está constituido de lámina de acero al carbono cubierto con una capa de zinc para evitar la oxidación.

También son fabricados en aluminio y acero inoxidable.

Figura 31. Filtro de combustible metálico



Fuente: Autores

A continuación presentamos el proceso de construcción de los caudalímetros, la guía en la cual nos basamos para la construcción de los tubos Venturi es la Norma ISO 5167-4:2003 (ver Anexo C), esta parte de la norma especifica la geometría y método de empleo, condiciones de instalación funcionamiento, de tubos Venturi, cuando se intercalan en un conducto en carga, para determinar el caudal del fluido circulando en el conducto.

Esta parte de la norma también proporciona información previa para calcular el caudal y es aplicable junto con los requisitos dados en la Norma ISO 5167.

Esta parte de la norma se aplica sólo a tubos Venturi en los que el flujo permanece subsónico en toda la sección de medida, y donde el fluido puede considerarse monofásico. Además, cada uno de estos dispositivos sólo puede utilizarse dentro de

límites especificados de tamaño de conducto, rugosidad, relación de diámetros y número de Reynolds. La norma no es aplicable a la medida de flujo pulsatorio.

Datos importantes que debemos conocer acerca de los tubos Venturi utilizados son las áreas de las secciones que estos poseen:

Área de la sección uno: 191.13 mm^2

Área de la sección dos: 31.17 mm^2

La relación β (A_2/A_1) es igual a: 0.163, por tanto C_q es igual a: 0.985 según la norma ISO 5167-4. (ISO 2003 pág. 9)

Figura 32. Proceso de construcción de los caudalímetros



Fuente: Autores

Figura 33. Proceso de soldadura de los caudalímetros



Fuente: Autores

Figura 34. Finalización de la soldadura de los caudalímetros



Fuente: Autores

Figura 35. Caudalímetro soldado pero con sus tomas torcidas



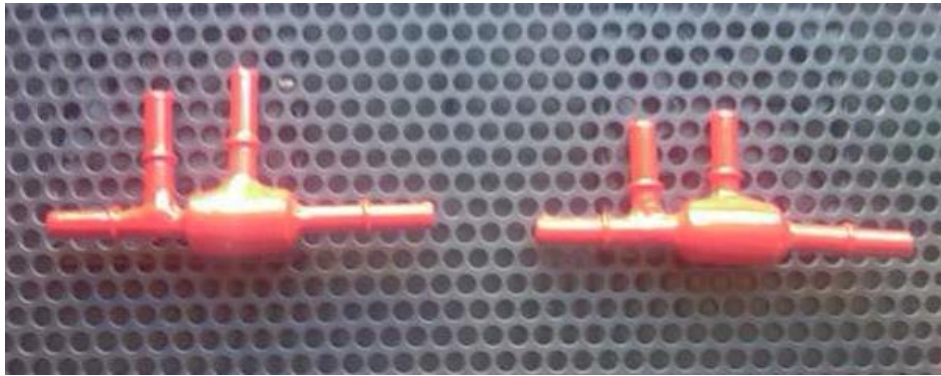
Fuente: Autores

Figura 36. Caudalímetro enderezado



Fuente: Autores

Figura 37. Caudalímetros terminados



Fuente: Autores

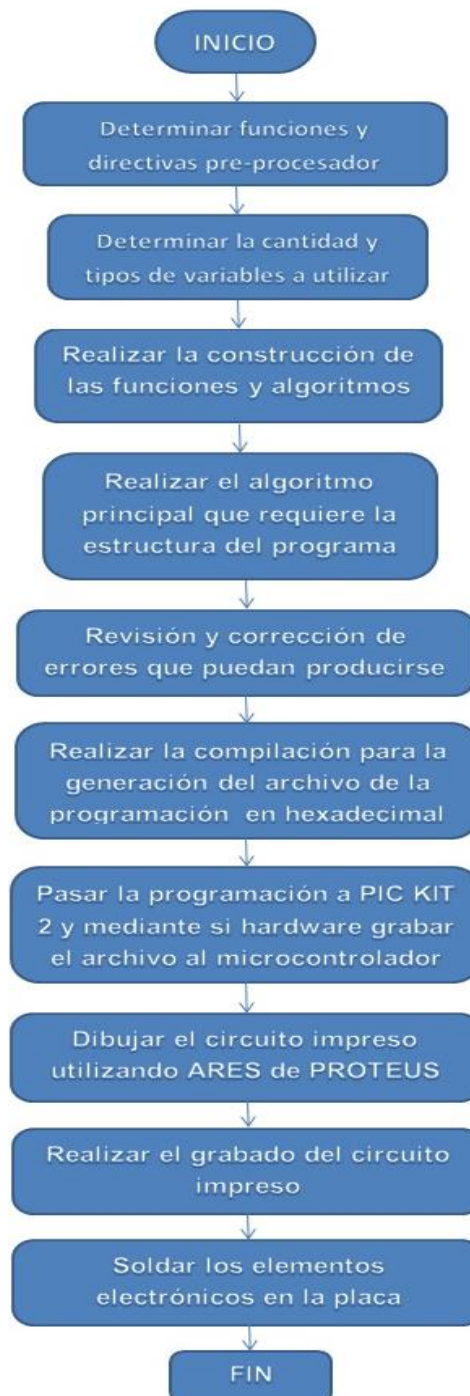
Los procesos de soldadura se realizaron amparados en la norma ISO 4360-311-1 (soldadura oxiacetilénica con un electrodo AWS RBCuZn-C).

5.1.2 *Elementos Eléctricos y Electrónicos.* Los elementos Eléctrico y Electrónico requeridos por el sistema medidor de flujo de combustible son:

- Microcontrolador 16F877A.
- Pantalla LCD 16x2.
- Teclado numérico (keypad 3x4).
- 6 interruptores normalmente abiertos.
- 5 resistencias de 620 Ω .
- 2 potenciómetros (Para simular los sensores).
- Generador de pulsos (Para simular el sensor VSS).
- LED rojo.
- LED verde.
- LED azul.
- 3 Resistencias 180 Ω .
- Sensor de presión diferencial MPX5100DP.
- Sensor de presión diferencial MPX5500DP.

5.1.3 Proceso en la PIC 16F877A. El Compilador CCS es utilizado para la realización del programa de nuestro sistema, la programación se grabará en una PIC 16F877A, la simulación del programa se lo realizará en ISIS de PROTEUS, el cual es una herramienta muy útil para la optimización de tiempo en la elaboración de nuestro proyecto.

Figura 38. Proceso de desarrollo de la Sección Eléctrico-Electrónico



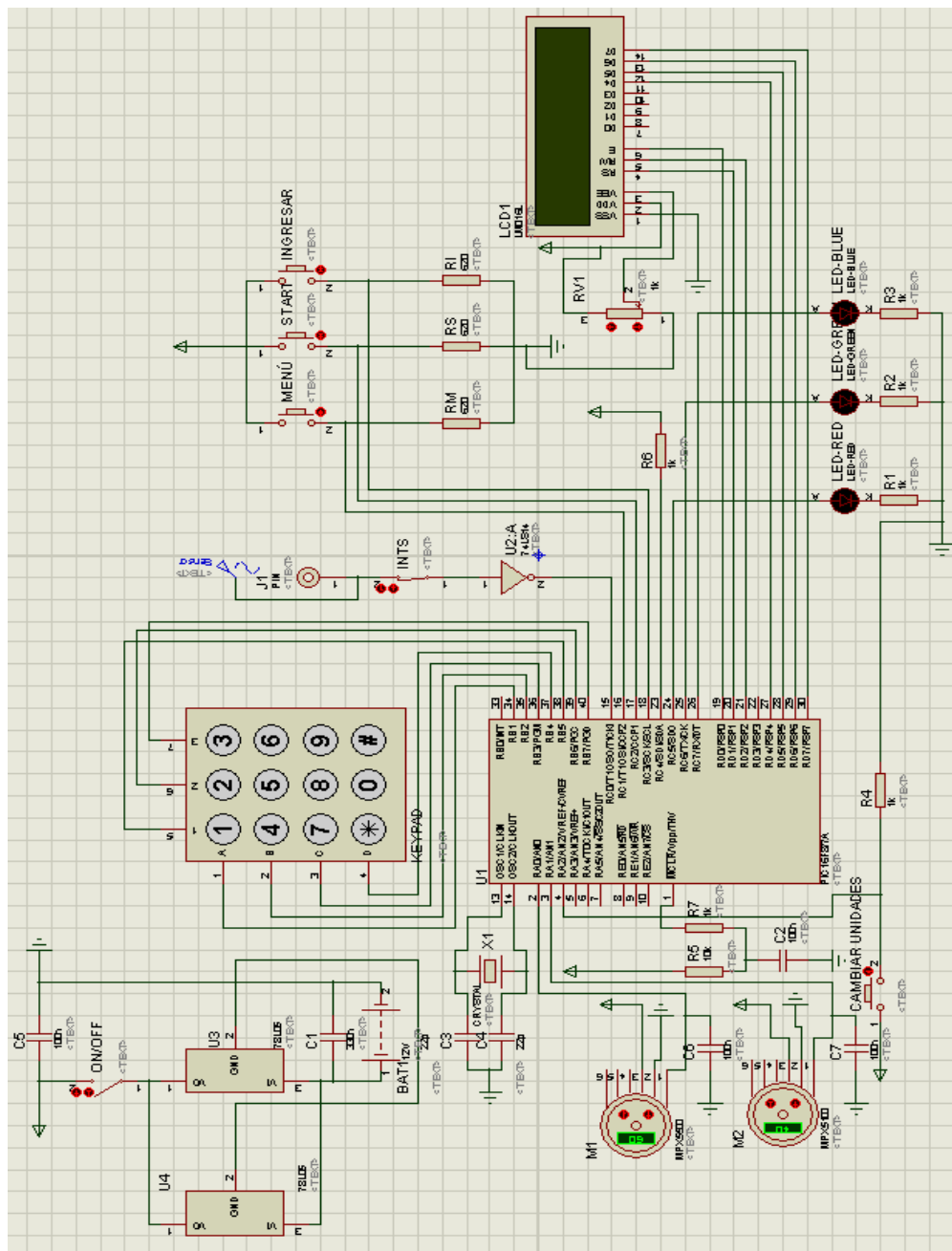
Fuente: Autores

5.2 Diseño del PCB (Printed Circuit Board)

El diseño de las placas del circuito se realizó en Proteus Professional 7.10 que permite elaborar placas de una manera práctica. Se procedió al diseño del circuito.

5.2.1 Circuito de control del sistema

Figura 39. Diagrama esquemático del circuito de control

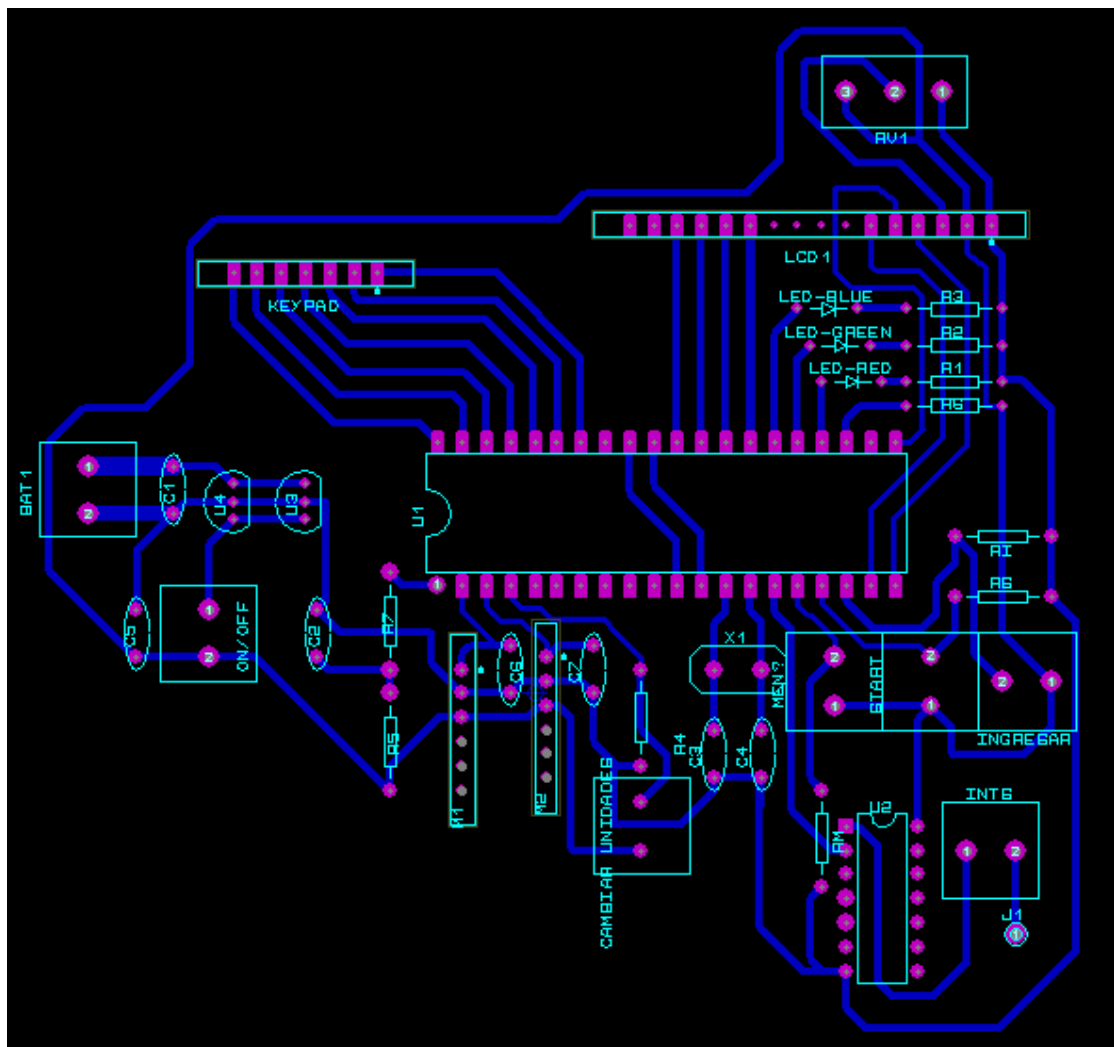


Fuente: Autores

En la Figura 39 se tiene el circuito principal de control, consta de una PIC 16F877A trabajando con dos sensores de presión diferencial en sus puertos 2 y 3, resistencias y botones en sus puertos 15, 16, 17, 18 y 23, resistencias y LED en sus puertos 24, 25 y 26, un teclado 4x3 en sus puertos 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40 y una LCD en los puertos 19, 20, 21, 27, 28, 29 y 30 del microcontrolador.

Con este diseño de placa se obtienen datos útiles para el cálculo de consumo y recorrido de un vehículo.

Figura 40. Diseño del PCB del circuito de control del sistema



Fuente: Autores

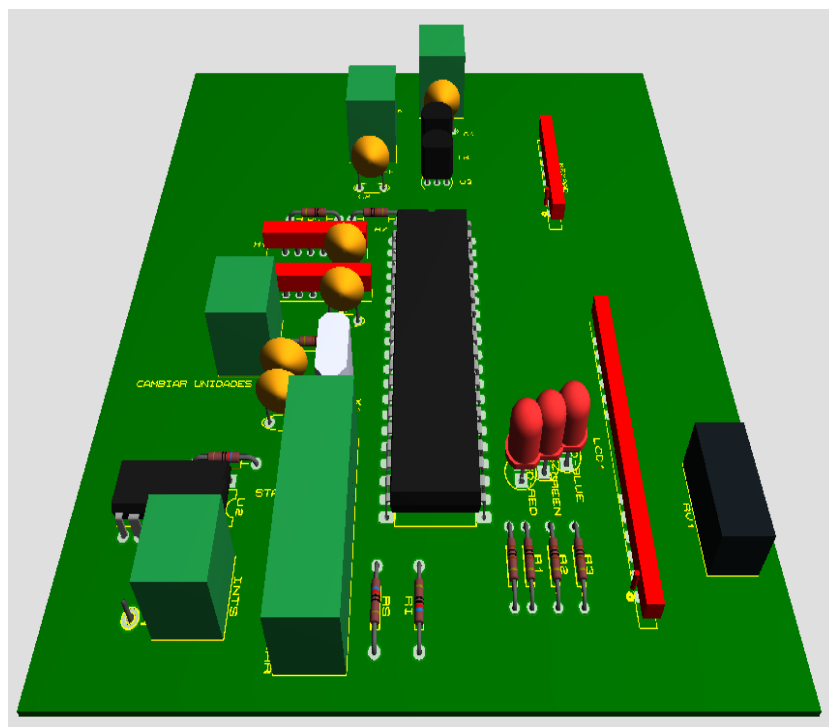
5.3 Armado y montaje

Estando ya diseñadas, construidas y seleccionadas las diferentes partes constitutivas del sistema medidor de flujo de combustible, se procede al montaje e instalación de sus elementos, basándonos, para este objetivo, en los planos que se incluyen en el documento, en la sección de anexos.

5.3.1 Procedimiento de armado. Para el proceso de armado del sistema medidor de flujo de combustible deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

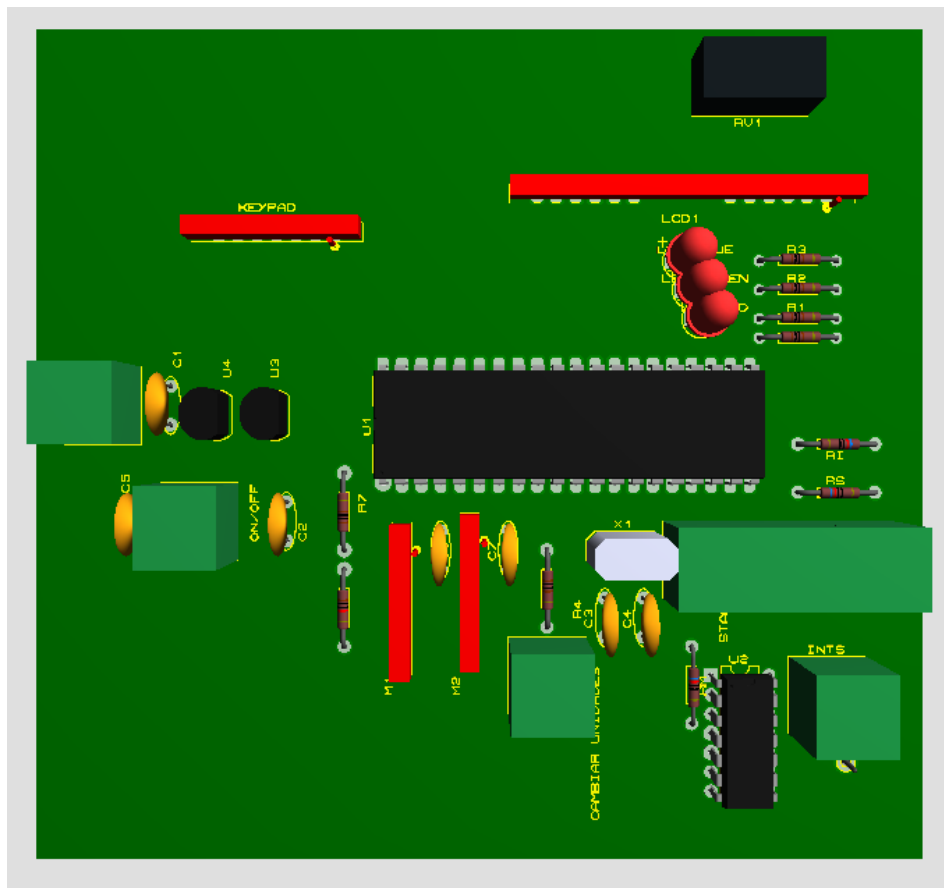
- En los sensores MPX 5100 y MPX5500 tener cuidado en su manipulación para evitar la ruptura del cable de conexión q se encuentra internamente en cada uno de ellos.
- Utilizar materiales resistentes a la corrosión y oxidación para la construcción de los caudalímetros.

Figura 41. Visualización previa del circuito en 3D



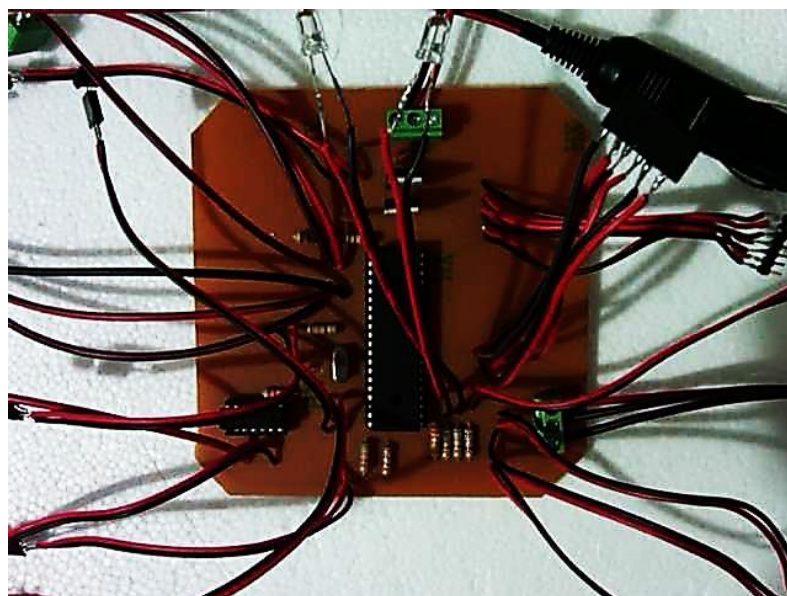
Fuente: Autores

Figura 42. Vista superior del circuito



Fuente: Autores

Figura 43. Circuito terminado

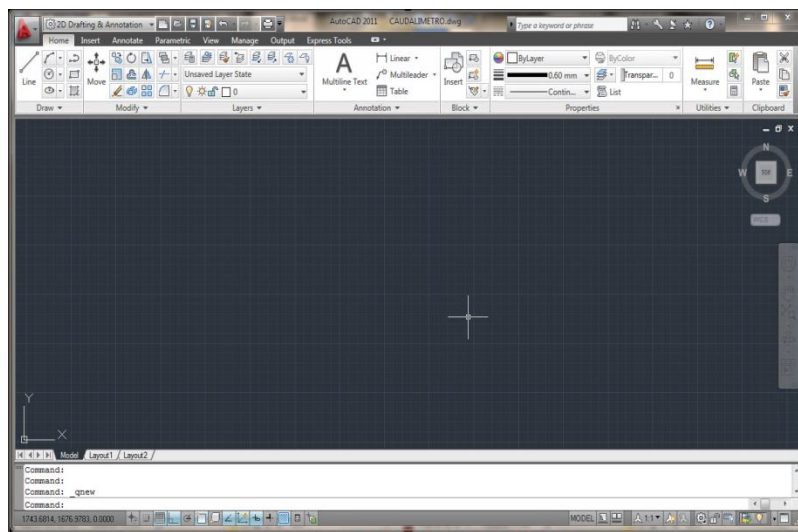


Fuente: Autores

5.4 Modelación de los elementos

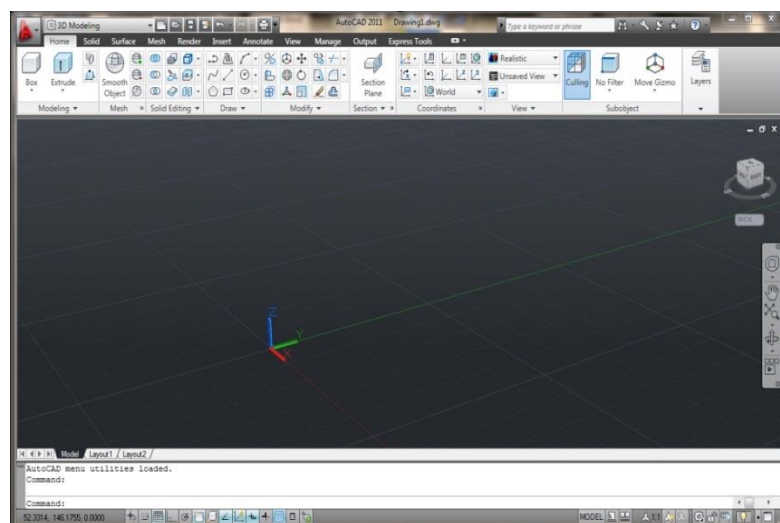
Los elementos que vamos a modelar son los caudalímetros, para realizar esta actividad hemos utilizado en programa AutoCAD 2011, tanto para el trabajo en dos y tres dimensiones. A continuación mostraremos las ventanas de trabajo para estas modelaciones:

Figura 44. Ventana de trabajo 2D



Fuente: Autores

Figura 45. Ventana de trabajo 3D

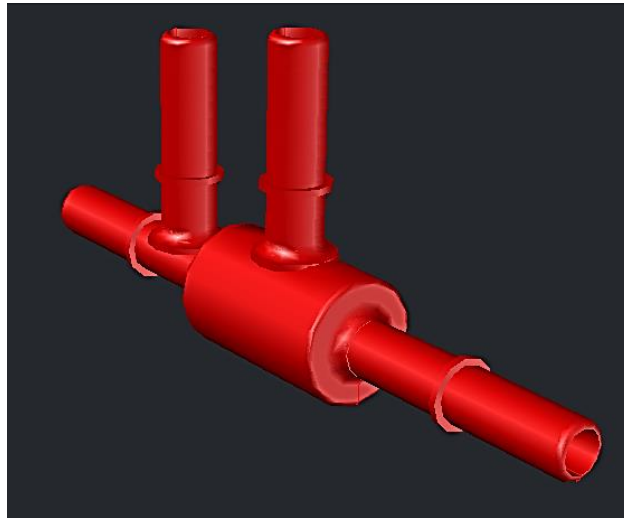


Fuente: Autores

Para la modelación de los caudalímetros se utilizó el MÉTODO ISO EUROPEO amparado en el Código de Dibujo Técnico-Mecánico del INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

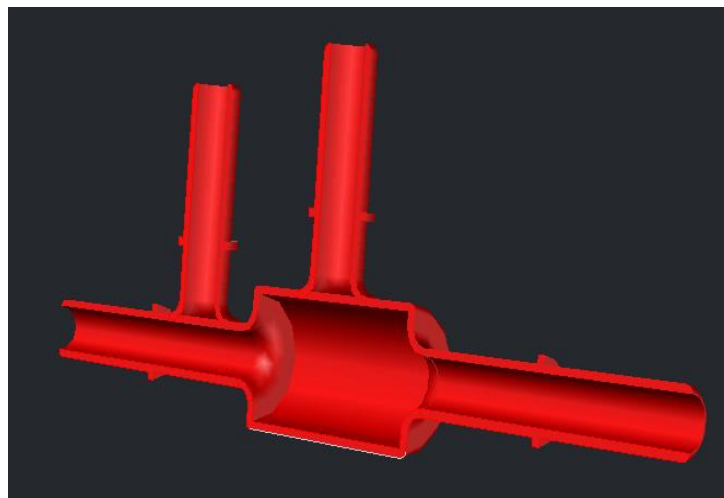
Los planos del caudalímetro se encuentran en la sección Planos, por consiguiente se mostrara el acabado final de los tubos Venturi.

Figura 46. Caudalímetro en 3 dimensiones



Fuente: Autores

Figura 47. Caudalímetro en corte



Fuente: Autores

Figura 48. Sistema Finalizado



Fuente: Autores

5.5 Costos e inversión

El costo total de proyecto se clasifican en:

- Costos directos
- Costos indirectos

5.5.1 *Costos directos.* Esto incluye todos los costos generados para la fabricación del sistema, los mismos que son:

- Materiales.
- Costos de equipos y herramientas.

5.5.1.1 Costo de materiales. La tabla muestra el costo de los materiales, utilizados para la construcción del sistema medidor de flujo de combustible, estos costos serán detallados a continuación.

Tabla 6. Costo de materiales

Cantidad	Descripción	Costo unitario USD	Costo USD
2	Caudalímetros	30.00	60.00
1	Sensor MPX5100DP	30.00	31.50
1	Sensor MPX5500DP	45.00	46.50
1	Pantalla LCD	12.00	12.00
1	Teclado	30.00	30.00
1	PIC16F877A	15.00	15.00
20	Resistencias y diodos	0.25	5.00
3	Reguladores de voltaje	0.50	1.50
8	Pulsador normalmente abierto	0.50	4.00
2	Placa de baquelita	6.00	12.00
1	Conectores	5.00	5.00
1	Kit quemador circuito impreso	5.00	5.00
1	Quemador de PIC	25.00	25.00
1	Caja	7.00	7.00
1	Spray Azul	6.00	6.00
2	Pliego de lija de agua 400	0.50	1.00
-	Imprimación plástica	14.00	14.00
-	Pernos y abrazaderas	-	10.00
-	Estaño	0.50/m	3.00
-	Masilla epóxica	3.00	3.00
-	Masilla plástica	10.00	10.00
-	Cinta aislante	0.50	0.50
-	TOTAL	-	317.00

Fuente: Autores

5.5.1.2 Costos de equipos y herramientas.

Tabla 7. Costos de equipos y herramientas

Denominación	Costo unitario USD	Costo USD
Cautín	10.00	10.00
Arco de sierra	20.00	20.00
Hoja de sierra	4.00	4.00
Set de destornilladores	-	20.00
Cuchilla profesional	25.00	25.00
Taladro	40.00	40.00
Brocas	5.00	5.00
Cortadora diagonal	4.00	4.00
Alicate	3.00	3.00
Escuadra	0.50	0.50
TOTAL	-	131.50

Fuente: Autores

5.5.1.3 Costo directo total

Tabla 8. Costo directo total

Denominación	Costo USD
Costo de materiales	317.00
Costos de equipos y herramientas	131.50
Mano de obra (Técnico electrónico)	450.00
Transporte	100.00
Total	998.50

Fuente: Autores

5.5.2 Costos indirectos

Tabla 9. Costos indirectos

Descripción	Costo %	Costo USD
Costo ingenieril	5	49.93
Imprevistos	5	49.93
Utilidad	0	0
TOTAL	-	99.86

Fuente: Autores

5.5.3 Costo total

Tabla 10. Costo total

Denominación	Costo USD
Costos directos	998.50
Costos indirectos	99.86
Total	1280.25

Fuente: Autores

5.6 Análisis de Equilibrio.

Una pregunta común sobre la alternativa y proyecto propuestos es:

¿Cuántos proyectos se tienen que producir a fin de quedar en equilibrio?

La respuesta se determina estimando el número de unidades o de meses a los cuales los ingresos y costos son iguales.

La pregunta se considera mejor si se recurre al análisis de equilibrio.

El número de unidades producidas o el porcentaje de utilización de la capacidad de planta se calculan mediante relaciones para las estimaciones de ingresos y de costos para cada alternativa. (BLANK, 1999 págs. 488-493)

Para nuestro sistema se abordará el análisis de equilibrio lineal.

Debemos tener en cuenta cuales son los costos fijos y costos variables del proyecto, en la Tabla 11, se muestran todos los costos tomados a consideración en el desarrollo del sistema.

Tabla 11. Costos Variables

Costos Variables	Costo USD
Materiales	270.00
Insumos	10.00
Total	280.00

Fuente: Autores

Tabla 12. Costos fijos

Costos Fijos	Costo USD
Mano de Obra	700
Internet	20
Teléfono	10
Agua Potable	10
Electricidad	20
Imprevistos	100
Ingeniería	800
Transportación	100
Equipos	300
Publicidad	150
Total	2190

Fuente: Autores

Una vez que tenemos claramente definidos los costos fijos y variables calculamos el costo variable por unidad como indica la siguiente ecuación:

$$CV = w * Q \quad (24)$$

Dónde:

CV: Costo Variable.

w: Costo Variable por cada sistema.

Q: Cantidad de unidades.

Como el costo variable de cada unidad del sistema es de \$280

Entonces:

$$CV = 280 * Q$$

Para conocer el ingreso que vamos a obtener utilizamos la ecuación:

$$R = r * Q \quad (25)$$

Dónde:

R: Ingreso total.

r: Ingreso por unidad

Q: cantidad de unidades.

El ingreso por unidad del sistema será de \$350

Entonces: $R = 350 * Q$

El Costo Total es igual a: $CT = CF + CV \quad (26)$

También sabemos que: $R = CT \quad (27)$

Reemplazando ecuación 19 y ecuación 18 en ecuación 20, tenemos:

$$r * Q = CF + w * Q$$

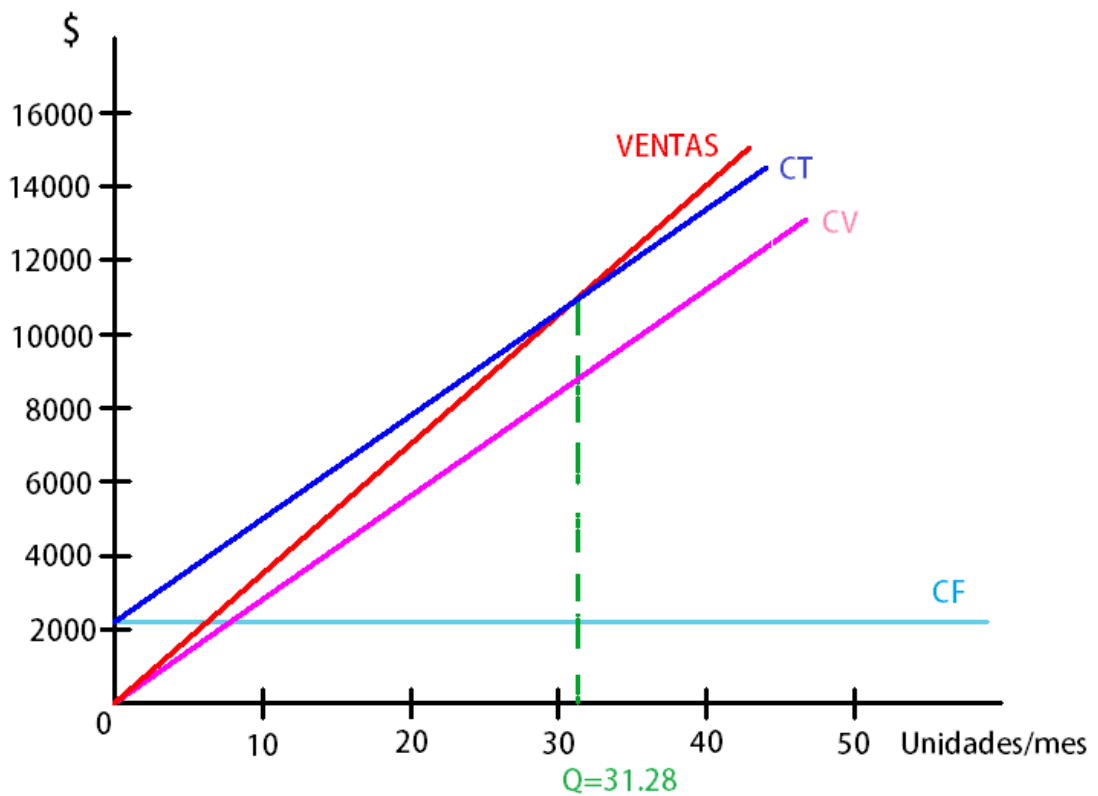
Despejando Q :

$$Q = \frac{CF}{r-w} \quad (28)$$

Sustituimos los valores de CF , r y w :

$$Q = \frac{2190}{350 - 280} = 31.28 \rightarrow 32 \text{ unidades por mes}$$

Figura 49. Diagrama de Equilibrio



Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

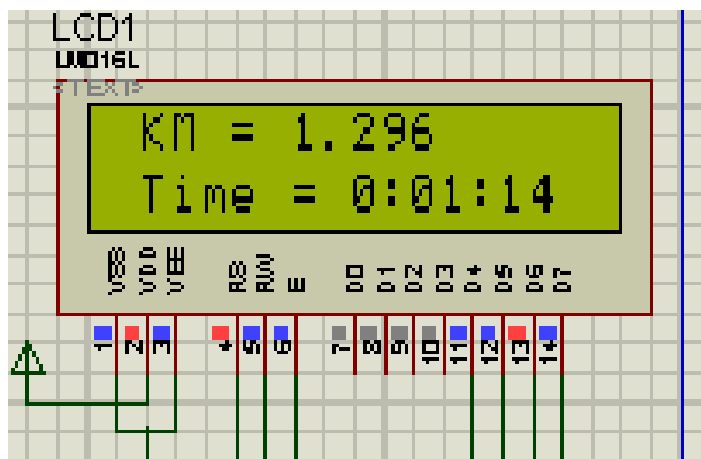
6. FASE EXPERIMENTAL

6.1 Simulación en Software

Para simular el funcionamiento del dispositivo, se empleó la aplicación ISIS de Proteus con el objetivo de determinar el correcto desempeño del circuito, sin tener la necesidad de ensamblarlo y de esta manera corregir posibles errores sin arriesgarnos a destruir ningún componente.

En primer lugar se determinó si el dispositivo era capaz de leer los valores provenientes de los sensores que son empleados para calcular los valores, tanto de consumo de combustible como de recorrido realizado, éstos son los sensores de presión diferencial y el VSS.

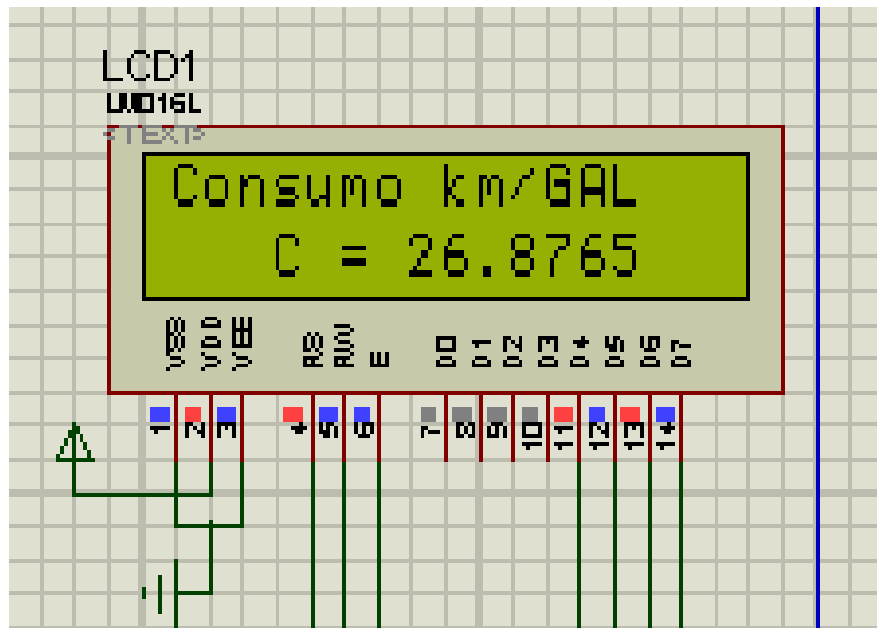
Figura 50. Imagen circuito simulado que verifica la lectura de los sensores



Fuente: Autores

Una vez comprobado que el dispositivo lee correctamente los valores entregados por los sensores, iniciamos la simulación del funcionamiento final del aparato y así poder determinar si efectivamente está calculando los valores necesarios para el proyecto.

Figura 51. Datos entregados por el sistema



Fuente: Autores

6.2 Pruebas

Para poder determinar si el consumo mostrado es el real se realiza el siguiente procedimiento:

1. Llenar completamente el tanque de combustible.
2. Recorrer una distancia de 30.1 Km y 25.2Km.
3. Leer el consumo mostrado por el dispositivo.
4. Llenar nuevamente el tanque de combustible.
5. Leer la cantidad de combustible que marca la bomba distribuidora de la estación de servicio.
6. Comparar los valores de la bomba y el dispositivo.
7. Repetir el procedimiento anterior.

Con este procedimiento experimental podemos obtener datos de consumo reales de un vehículo, basándonos en esta información podemos demostrar la fiabilidad del sistema al momento de entregarnos los datos de caudal, consumo y recorrido.

- Valores obtenidos en el primer recorrido. Tiempo de trabajo: 40 minutos.
- Consumo mostrado por el dispositivo = 0,9237 Gal/hr.
- Consumo mostrado por la estación de servicio = 0,596 Gal. →0,890 Gal/hr.
- % Error = $(0,9237 - 0,890) / 0,890 * 100 \% = 3.37 \%$

Figura 52. Resultados prueba 1



Fuente: Autores

- Valores obtenidos en el segundo recorrido. Tiempo de trabajo: 30 minutos.
- Consumo mostrado por el dispositivo = 0,8817 Gal/hr.
- Consumo mostrado por la estación de servicio = 0,436 Gal. →0,853 Gal/hr.
- % Error = $(0,8817 - 0,853) / 0,853 * 100 \% = 3,36 \%$

Figura 53. Resultados prueba 2



Fuente: Autores

6.3 Análisis de resultados (consumo vs. recorrido)

Entre todas las gráficas, esta es una de las más importantes ya que aquí se puede visualizar cualquier desorden en el consumo de combustible, debido a que en condiciones óptimas de funcionamiento esta debería tender a ser lineal.

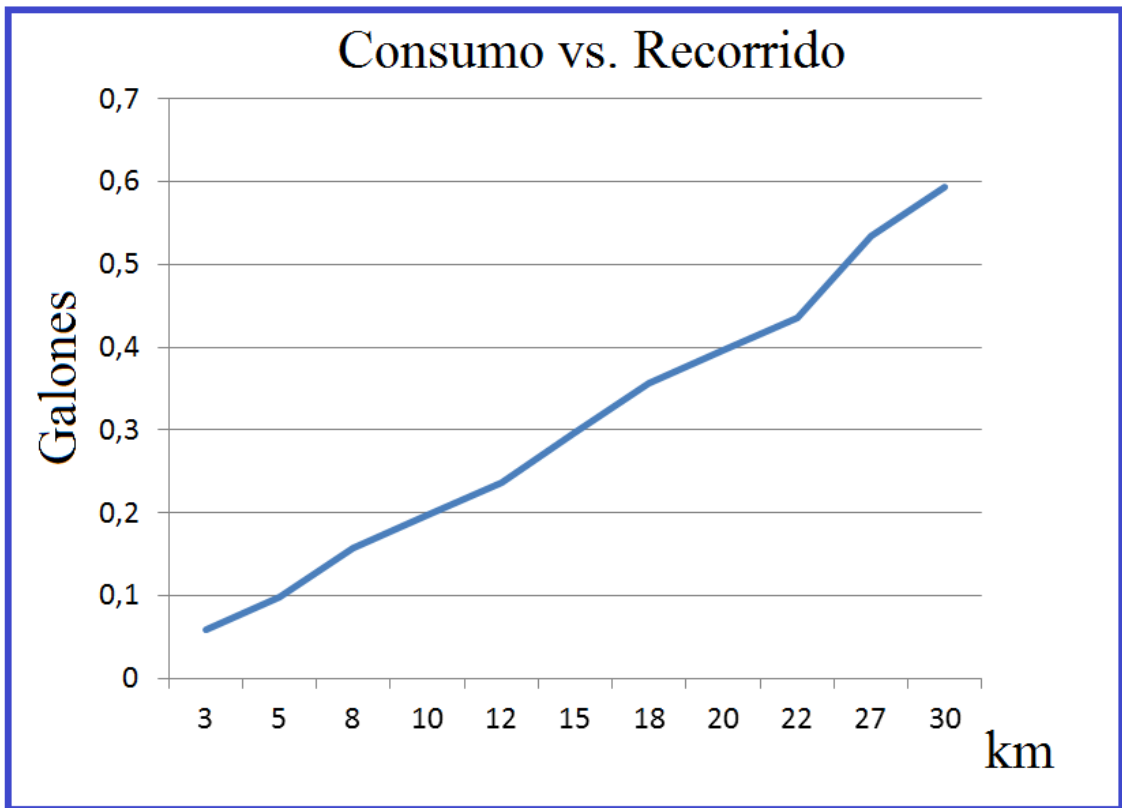
Tabla 13. Datos obtenidos en la fase de pruebas

	Tiempo de trabajo (min)	Recorrido Km	Consumo Litros	Consumo Galones
1	15	10	0,749	0,198
2	8	3	0,223	0,059
3	20	15	1,124	0,297
4	19	18	1,347	0,356
5	42	27	2,021	0,534
6	14	8	0,598	0,158
7	16	12	0,897	0,237
8	27	22	1,646	0,435
9	12	5	0,374	0,099
10	22	20	1,499	0,396
11	38	30	2,248	0,594
TOTAL	233	170	12,726	3,363

Fuente: Autores

Como se puede apreciar esta gráfica tiende a ser lineal lo que indica que el vehículo funciona correctamente, los puntos en los que la línea tiende a distorsionarse se deben a que en el recorrido realizado se encontró una pendiente y al momento de subirla el consumo se incrementa por el aumento de la carga del motor, en cambio al momento de bajar la misma pendiente el consumo tiende a disminuir ya que la aceleración no es necesaria en ese tramo.

Figura 54. Datos tabulados en la fase de pruebas



Fuente: Autores

De las pruebas realizadas obtenemos que el consumo promedio del vehículo es de 50.69 km/GAL, este valor es un consumo aceptable para un recorrido que se realizó tanto dentro del casco urbano como en carretera.

Figura 55. Consumo promedio del recorrido



Fuente: Autores

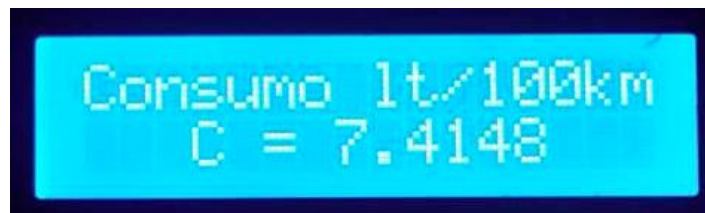
Las figuras mostradas a continuación representan la medición del sistema de acuerdo las numeral 8 de la Tabla 9.

Figura 56. Kilómetros recorridos y el tiempo empleado



Fuente: Autores

Figura 57. Consumo Unidades Sistema Internacional



Fuente: Autores

Figura 58. Consumo Unidades del Sistema Inglés



Fuente: Autores

Figura 59. Consumo Unidades no Convencionales



Fuente: Autores

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Con el uso de este dispositivo, el usuario podrá no solo adaptarse a mejores condiciones de manejo, sino como también verificar si la estación de servicio le está suministrando la cantidad indicada de combustible.

La aplicación que complementa al dispositivo está diseñada de tal manera que su utilización permita visualizar datos, donde el usuario puede observar el consumo en función de recorrido. Ya que se podría encontrar un mismo recorrido con diferentes valores de consumo, porque este estará en función de la carga del motor, condición de carretera, factores mecánicos, hábitos de manejo, etc.

Al ser construido con dimensiones pequeñas, el dispositivo es fácil de colocar en los vehículos, proporcionando comodidad en el uso del sistema.

Con la utilización de este proyecto se puede observar a tiempo real el consumo que el vehículo está presentando, y así el conductor podrá percatarse del consumo promedio que posee su vehículo.

7.2 Recomendaciones

Verificar que el sensor VSS usado como referencia por el sistema esté en perfecto estado, ya sea con la utilización de un escáner o algún otro método de diagnóstico.

Manejar de manera cuidadosa los conductores de los sensores de presión diferencial MPX 5100 y MPX5500 para evitar ruptura de los mismos y no perjudicar al sistema.

Instalar los caudalímetros cuando el motor esté frío porque existirán fugas de combustible al manipular los rieles de alimentación y retorno.

Empezar a utilizar el dispositivo cuando el vehículo esté puesto en marcha.

Utilizar el sistema en vehículos de inyección electrónica cuyas bombas de combustible no sobrepasen la presión límite de los sensores.

BIBLIOGRAFÍA

BLANK, Leland. 1999. *Ingeniería Económica*. Bogotá : McGraw-Hill, 1999.

BREIJO, Eduardo. 2008. *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores*. Barcelona : Alfaomega, 2008.

GIL, Hermógenes. 2003. *Manual CEAC del automóvil*. Barcelona : Editorial CEAC, 2003.

HONEYWELL. 2012. Sensores de presión. [En línea] 24 de 07 de 2012. [Citado el: 11 de 03 de 2013.] <http://www.gmelectronica.com.ar/catalogo/pag45.html>.

ISO 2003, ISO 5167-4. 2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Londres : CEN, 2003.

MATAIX, Claudio. 1986. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid : Edición del Castillo, 1986.

Ministerio de Energía de Chile. 2012. Portal de indicadores de consumo energético y emisiones vehiculares. [En línea] 01 de 02 de 2012. [Citado el: 09 de 06 de 2013.] <http://www.consumovehicular.cl/>.

NTE INEN 2402. 2010. Norma Técnica Ecuatoriana para la presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Quito : INEN, 2010.

PAZ, Arias Manuel. 2004. *Manual de automóviles*. Madrid : Editoriales Dossat, 2004.

TORRES - URVINA, Luis - Víctor. 2008. Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo Otto en la ciudad de Quito. Quito : Politécnica Nacional, 2008.

UTP. 2012. Arquitectura PIC 16F877A. [En línea] 02 de 02 de 2012. [Citado el: 22 de 04 de 2013.] <http://www.utp.edu.co/~eduque/arquitect/PIC16F877.pdf>.