



**ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACION Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO EN  
INGENIERIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
ELECTRÓNICO DE INSTRUMENTACIÓN AUTOMOTRIZ  
PARA UN VOLKSWAGEN ESCARABAJO 1982**

**Cristian Viteri**

**SANGOLQUI – ECUADOR**

**2011**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE  
INSTRUMENTACIÓN AUTOMOTRIZ PARA UN VOLKSWAGEN  
ESCARABAJO 1982**

Fue desarrollado en su totalidad por el señor Cristian Patricio Viteri Aguila, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero, bajo nuestra dirección.

---

Ing. Xavier Segovia

DIRECTOR

---

Ing. Jaime Andrango

CODIRECTOR

## **AGRADECIMIENTO**

Hay muchas personas a las que debo agradecer por todo lo que han aportado a lo largo de mi vida, principalmente a mis padres que siempre supieron la mejor manera de apoyarme en los buenos y malos momentos. A toda mi familia, que siempre ha confiado y sigue confiando en mí. A mis amigos y maestros que me ayudaron a llegar hasta donde hoy me encuentro.

De todo corazón debo agradecerles por ayudarme a alcanzar este logro en mi vida profesional.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a las personas que nunca perdieron su fe en mí, a mi familia y especialmente a mi abuelita que ya no está con nosotros pero que siempre creyó que yo era capaz de realizar cualquier cosa. También a todos los que aún creen que estamos en la capacidad de crear cosas de calidad.

## PRÓLOGO

El constante desarrollo de la industria automotriz, ha dejado a los sistemas de instrumentación de los vehículos con ciertos años de antigüedad prácticamente obsoletos, tanto en confort como en funcionalidad.

El avance tecnológico en el campo automotriz obliga a mantenernos actualizados en este campo, lastimosamente actualmente no se ha hecho ningún estudio formal para mejorar o diseñar nuevos sistemas de instrumentación para autos de varios años de antigüedad, solo se han hecho pequeñas modificaciones a los sistemas originales, la mayoría meramente estéticos hechos por hobbistas y aficionados.

Las grandes marcas solamente se enfocan en mejorar las prestaciones del instrumental en los modelos nuevos pero se han olvidado completamente de sus modelos anteriores.

La única manera de atacar este problema es diseñar específicamente soluciones que cumplan con los estándares actualmente vigentes.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 El automóvil (Generalidades)</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Descripción general del sistema</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Terminología utilizada</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 Descripción de los sistemas del automóvil</b> .....	<b>13</b>
2.2.1 Sistema de frenos.- .....	14
2.2.2 Sistema de transmisión.- .....	15
2.2.3 Sistema de suspensión.- .....	15
2.2.4 Sistema de dirección.- .....	16
2.2.5 Sistema de propulsión.- .....	16
2.2.5.1 Sistema de enfriamiento.- .....	16
2.2.6 Sistema eléctrico.- .....	17
2.2.6.1 Sistema de Encendido.....	17
<b>2.3 Fundamentos de medición de combustible</b> .....	<b>22</b>
2.3.1 Medición estática .....	22
2.3.1.1 Tipos de medidores de nivel.....	22
2.3.2 Medición dinámica.....	26

2.3.2.1	Tipos de medidores de caudal.....	27
<b>2.4</b>	<b>Fundamentos para la medición de la velocidad.....</b>	<b>30</b>
2.4.1	Formas de medición de velocidad lineal .....	30
2.4.1.1	Velocímetro mecánico .....	30
2.4.1.2	GPS .....	31
2.4.1.3	Tacómetro.....	32
2.4.1.4	Cinemómetro.....	33
2.4.1.5	Cinemómetro láser .....	33
2.4.1.6	Radar .....	34
2.4.2	Tipos de sensores de velocidad .....	35
2.4.2.1	Por sensor infrarrojo reflectivo .....	35
2.4.2.2	Por sensor infrarrojo de barrera .....	36
<b>2.5</b>	<b>Fundamentos para la medición de la velocidad de giro del motor .....</b>	<b>37</b>
2.5.1	Formas de medición de RPMs.....	37
2.5.1.1	Directamente del eje de rotación.....	37
2.5.1.2	Por medio de la señal de la bobina .....	37
2.5.2	Tipos de sensores para la medición de las revoluciones.....	38
2.5.2.1	Encoder óptico .....	38
2.5.2.2	De efecto Hall.....	38
2.5.2.3	Directamente de la bobina de encendido .....	39
<b>2.6</b>	<b>Fundamentos para la medición de temperatura .....</b>	<b>40</b>
2.6.1	Formas de medición de temperatura .....	40
2.6.1.1	Directamente en el aceite .....	40
2.6.1.2	Por medio del líquido refrigerante .....	40
2.6.1.3	Del block del motor.....	41
2.6.2	Tipos de medidores de temperatura .....	41
<b>2.7</b>	<b>Condiciones de trabajo de los sistemas de medición del automóvil ....</b>	<b>43</b>
2.7.1	Velocímetro.....	43

2.7.2 Tacómetro.....	44
2.7.3 Combustible .....	44
2.7.4 Temperatura.....	44
<b>2.8 Microcontroladores .....</b>	<b>45</b>
2.8.1 Arquitectura.....	45
<b><i>CAPÍTULO 3.....</i></b>	<b>49</b>
<b><i>LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....</i></b>	<b>49</b>
<b>3.1 Situación actual del vehículo.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Reconocimiento de los sistemas a ser medidos .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 Identificación y comprobación de los rangos nominales .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4 Identificación de los rangos fuera del régimen nominal del vehículo... </b>	<b>52</b>
<b><i>CAPÍTULO 4.....</i></b>	<b>53</b>
<b><i>DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN .....</i></b>	<b>53</b>
<b>4.1 Estudio de los sistemas del vehículo.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2 Consideraciones generales para la medición .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3 Diseño general del sistema integrado de medición.....</b>	<b>54</b>
4.3.1 Diseño del sistema de medición de velocidad.....	54
4.3.1.1 Diseño del sensor.....	57
4.3.1.1 Diseño del conversor.....	60
4.3.1.1 Diseño de la etapa del procesamiento .....	65
4.3.2 Diseño del sistema de medición de la velocidad de giro del motor .....	68
4.3.2.1 Diseño del conversor .....	68
4.3.2.2 Diseño de la etapa de procesamiento.....	71
4.3.3 Diseño del sistema de medición del nivel de combustible .....	74
4.3.3.1 Diseño de la etapa del amplificador .....	75
4.3.3.2 Diseño de la etapa de procesamiento.....	78
4.3.4 Diseño del sistema de medición de temperatura del motor .....	80



4.3.4.1	Diseño de la etapa de sensamiento .....	81
4.3.4.2	Diseño de la etapa de procesamiento .....	82
4.3.5	Diseño del sistema de medición de marchas .....	84
4.3.5.1	Diseño de la etapa de sensamiento .....	84
4.3.5.2	Diseño de la etapa de procesamiento .....	85
4.3.6	Diseño del sistema de medición de la distancia recorrida.....	87
4.3.6.1	Diseño del sensor.....	88
4.3.6.2	Diseño de la etapa de procesamiento.....	89
<b>4.4</b>	<b>Selección de elementos involucrados en el sistema de medición.....</b>	<b>93</b>
4.4.1	Elementos usados en el velocímetro y odómetro .....	94
4.4.2	Elementos usados en el tacómetro.....	95
4.4.3	Elementos usados en el medidor de combustible .....	95
4.4.4	Elementos usados en el medidor de temperatura .....	96
4.4.5	Elementos usados en el indicador de marchas .....	97
4.4.6	Elementos usados en la unidad de control.....	97
<b>4.5</b>	<b>Planos y diagramas para el sistema de medición.....</b>	<b>98</b>
<b><i>CAPÍTULO 5.....</i></b>		<b><i>100</i></b>
<b><i>DISEÑO DE LA INTERFAZ.....</i></b>		<b><i>100</i></b>
<b>5.1</b>	<b>Estudio del espacio físico del automóvil .....</b>	<b>100</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones generales para una interfaz automotriz.....</b>	<b>102</b>
5.2.1	Diseño del velocímetro y odómetro.....	104
5.2.2	Diseño del tacómetro.....	105
5.3.3	Diseño del indicador de combustible.....	108
<b>5.3</b>	<b>Selección de los elementos a usarse en la interfaz .....</b>	<b>109</b>
5.3.1	Elementos usados en el velocímetro y odómetro .....	109
5.3.1	Elementos usados en el tacómetro .....	110
5.3.1	Elementos usados en el medidor de combustible.....	111
<b>5.4</b>	<b>Diagramas de conexión de la interfaz.....</b>	<b>112</b>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>113</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>113</b>
<b>6.1 Acople entre el sistema de medición y la interfaz</b> .....	<b>113</b>
6.1.1 Diseño del programa para acoplar la interfaz al sistema de medición.....	114
6.1.1.1 Diseño del programa para la interfaz del velocímetro.....	116
6.1.1.2 Diseño del programa para la interfaz del tacómetro .....	117
6.1.1.3 Diseño del programa para la interfaz del medidor de combustible.....	119
6.1.1.4 Diseño del programa para la interfaz del odómetro .....	120
6.1.1.5 Diseño del programa para la interfaz del indicador de marchas.....	121
<b>6.2 Montaje</b> .....	<b>123</b>
<b>6.3 Construcción</b> .....	<b>128</b>
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>132</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	<b>132</b>
<b>7.1 Pruebas y calibraciones</b> .....	<b>132</b>
7.1.1 Pruebas del sistema de medición de velocidad.....	133
7.1.2 Pruebas del sistema de velocidad de giro del motor .....	136
7.1.3 Pruebas del sistema de medición de temperatura.....	138
7.1.4 Pruebas del sistema de medición de nivel de combustible .....	138
<b>7.2 Resultado final</b> .....	<b>139</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>140</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>141</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>142</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>143</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>146</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 El automóvil (Generalidades)**

Se denomina vehículo automotor al complejo mecánico, capaz de desplazarse gracias a cualquier método de propulsión. Está compuesto por una serie de sistemas y piezas, que funcionan en forma coordinada y armónica.

Independiente del medio en el cual el vehículo se desplace, así como el destino de servicio para el cual fueron construidos los vehículos automotores, todos tienen la misma función a saber; transporte de pasajeros y/o carga.

Se podría decir que el automóvil no fue inventado, sino que fue el resultado de un gran proceso evolutivo, acelerado a finales del siglo XIX cuando se empezaron a montar motores de vapor a los coches impulsados por caballos. Pero el gran salto en la industria automotriz se da exactamente en 1885 cuando Carl Benz fabrica el primer auto impulsado por un motor a gasolina. Muchos otros inventores alrededor del mundo trabajaban en proyectos similares con resultados importantes.



**Figura 1.1.** Modelo del primer auto a gasolina de Benz<sup>1</sup>

Gracias a la dura competencia entre las nuevas fábricas y a la preocupación por brindar unos vehículos más eficientes tanto en funcionalidad como en confort, se empiezan a diseñar nuevos y mejores sistemas de propulsión, transmisión, frenos y suspensión.

La electricidad no podía quedar de lado en esta naciente industria y en 1897, Robert Bosch inventa lo que sería el primer sistema de arranque eléctrico. A partir de este momento los automóviles venían con un equipamiento eléctrico básico como iluminación y señalización.

En la década de 1970 un grupo de ingenieros europeos identificaron 55 áreas donde se podría aplicar y explotar la electrónica en el funcionamiento de los automóviles. Luego, en 1982 varias de estas áreas ya se habían desarrollado y

---

<sup>1</sup> Imagen tomada de: Club de Autos Antiguos, Primeros Autos, <http://www.autos-antiguos.com/autosantiguos/primeros-autos.html>, noviembre 2010

estaban en producción, entre ellas el sistema de inyección electrónica de combustible (EFI-Electronic Fuel Injection<sup>2</sup>) por sus siglas en inglés, el sistema antibloqueo de frenos (ABS-Antilock Braking System<sup>3</sup>), el control automático de crucero (ACC-Automatic Cruise Control), el diagnóstico a bordo (ODS-Onboard Diagnostic System) por mencionar algunos. El 95% de todas las tecnologías analizadas ya fue una realidad para 1993 y venían en los vehículos de gama alta y media.

La evolución de la electricidad y la electrónica en el automóvil está relacionada con el avance de los componentes electrónicos en general y la aparición de los circuitos integrados, que en un inicio fueron analógicos y gracias a los cuales se pudieron desarrollar relojes, reguladores de carga, radios, encendidos transistorizados, cuya principal característica es ofrecer una respuesta mucho más rápida, ocupar menos espacio y ser más robustos que sus antecesores electromagnéticos.

Con la aparición de los circuitos integrados digitales se mejoraron los sistemas convencionales tanto en funcionalidad como en inmunidad al ruido y a la temperatura, problemas presentados con los circuitos analógicos. No mucho después aparecieron los microprocesadores de 4, 8 y 16 bits lo que aumentó la eficiencia de los sistemas electrónicos como el sistema de inyección de combustible (EFI), frenos ABS, control de crucero, entre otros, y permitieron la creación de nuevos sistemas enfocados al confort y la seguridad de los ocupantes del vehículo tales como sistemas de climatización, navegación e iluminación inteligente.

---

<sup>2</sup> EFI: Sistema electrónico de inyección de combustible

<sup>3</sup> ABS: Sistema electrónico de control de frenado que evita el bloqueo de las ruedas

La siguiente generación de sistemas electrónicos automotrices está conformada por los sensores inteligentes, los cuales se comunican bajo un protocolo y se conectan en redes multiplexadas, eliminando así una gran cantidad de cableado innecesario, además de hacer mucho más fácil el diagnóstico de cada uno de los sistemas.

Hoy en día la electrónica del automóvil continúa avanzando hasta llegar a sistemas que hubieran sido inimaginables apenas unos años atrás, se están desarrollando sistemas capaces de tomar el control de los vehículos en situaciones críticas con el fin de prevenir accidentes o reducir sus efectos, sistemas cuya única finalidad es facilitar la tarea del conductor y mejorar las condiciones de los ocupantes dentro del habitáculo.

A diario usamos varias clases de vehículos, pero rara vez nos preguntamos cómo funcionan o nos interesamos en conocer más de ellos. Un automóvil es una gran máquina, que para un correcto funcionamiento necesita estar siempre monitoreada, por lo menos en los parámetros críticos de su trabajo como son temperatura y presión de fluidos, velocidad de giro del motor, etc., de ahí nace este proyecto. Como se va a desarrollar un sistema de instrumentación para un vehículo, se va a obviar un poco el aspecto mecánico en general que no tiene nada que ver con las variables que se van a medir, nos centraremos en la medición de parámetros básicos del motor como son: temperatura y velocidad de giro del motor. Así como también las variables que son medidas en la instrumentación convencional: velocidad y kilometraje recorrido.

## **1.2 Descripción general del sistema**

El sistema a ser diseñado se instalará en un Volkswagen escarabajo 1982, la idea principal es no afectar el funcionamiento o rendimiento del vehículo,

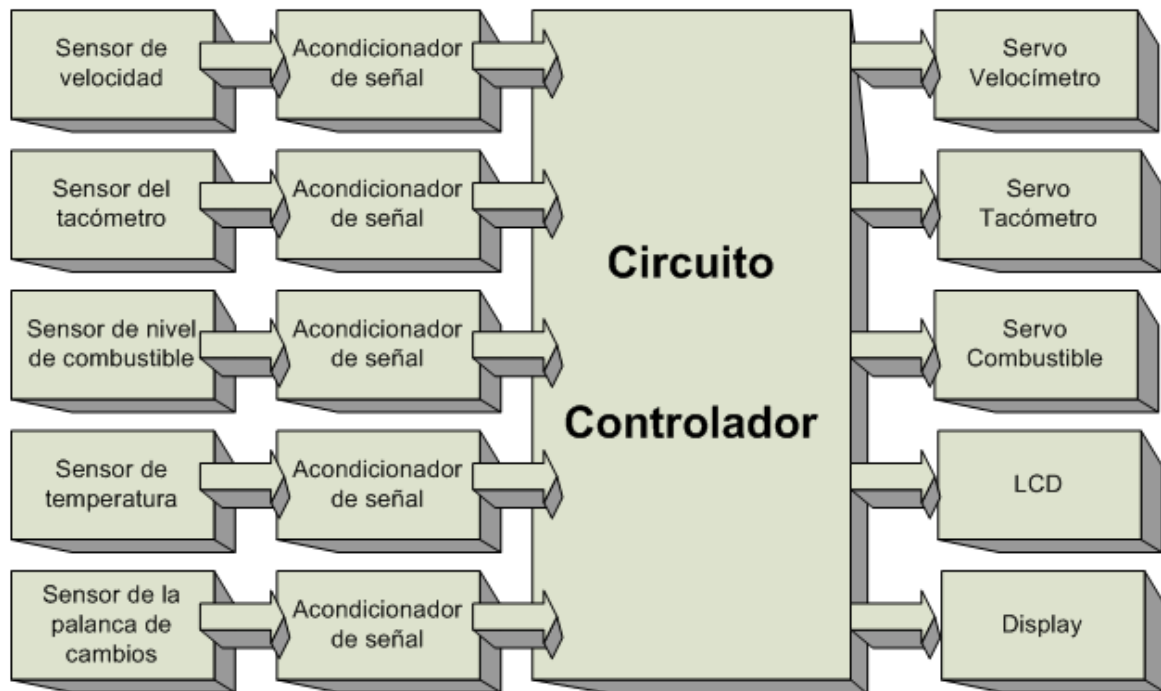
además de no alterar la estructura física del mismo. El sistema de instrumentación cuenta con 4 partes fundamentales.

**Sensores.-** En esta sección están todos los sensores, transformando las distintas variables del automóvil a parámetros eléctricos, para el velocímetro y tacómetro se necesita una señal pulsante variable en frecuencia, el sensor de nivel de combustible debe entregar un valor de resistencia variable, dependiente del nivel, el sensor de marchas es un arreglo de pulsadores que entregan un número binario, solo el sensor de temperatura entrega directamente una salida de voltaje proporcional a la temperatura que podría ser utilizado directamente.

**Acondicionamiento de señales.-** En esta etapa se realiza el tratamiento respectivo a las señales para que puedan ser interpretadas por el controlador. Esta etapa de acondicionamiento comprende amplificadores y conversores que transformarán las señales eléctricas de los sensores a voltajes comprendidos entre 0 y 5 voltios.

**Circuito controlador.-** Está basado en un microcontrolador de microchip, encargado de realizar los cálculos y ajustes respectivos para la interpretación y corrección de los valores y de controlar las interfaces usadas para interactuar con el usuario.

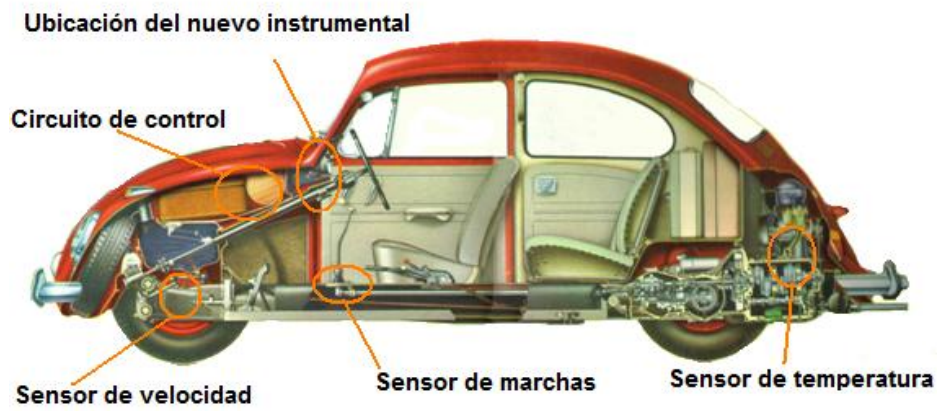
**Interfaz.-** Es la parte visual de este proyecto, donde se mostrarán los datos al conductor. Cuenta con tres medidores, todos de apariencia analógica controlados por servomotores, además cuenta con un LCD para mostrar datos adicionales como kilometraje total recorrido y temperatura, y un display que funcionará como indicador de marchas.



**Figura 1.2.** Diagrama de bloques general del sistema

Para el efecto se montarán los sensores diseñados en los lugares usualmente utilizados por los sistemas originales, de tal manera que no afecten el normal funcionamiento del vehículo, además facilitando su instalación, el sensor de velocidad irá conectado a la cadena del velocímetro original, que va en la rueda delantera izquierda, el sensor de temperatura irá montado en alguna parte metálica en el block del motor, la señal para el tacómetro, se tomará directamente de la bobina de encendido, el sensor de marchas irá ubicado en la base de la palanca de cambios y el nuevo tablero de instrumentos va a estar localizado en el sitio de la instrumentación original.





**Figura 1.3.** Localización física del nuevo sistema<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Imagen tomada de: *Manual VW escarabajo 1960-1969, Espacio Interior*

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Terminología utilizada

Todos los términos utilizados en el presente trabajo tienen una definición general pero la que se presenta a continuación está enfocada específicamente al ámbito automotriz y electrónico.

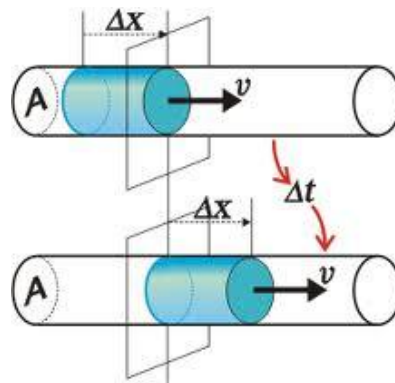
En la lista se trata de definir un significado sencillo y práctico de los términos usados para una mejor comprensión de este proyecto.

**Bobina de encendido.-** Es el elemento que convierte la corriente de baja tensión de la batería en corriente de alta tensión requerida por las bujías, para poder crear una chispa capaz de quemar la mezcla aire-combustible comprimida dentro del cilindro del motor.

**Caudal.-** En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. En este trabajo se

estudiará al caudal como medio para hacer una estimación de nivel y consumo de combustible.

Se calcula como  $Q=V/t$  ó  $Q=A*v$



**Figura 2.1.** Representación gráfica de caudal

**Cinemómetro.-** Un cinemómetro es un dispositivo diseñado para medir, en tiempo real, la velocidad de un móvil. La aplicación más corriente es la determinación de las velocidades que presentan los vehículos del tráfico con objeto de controlar y supervisar los límites vigentes en los distintos países.

**Distribuidor.-** Este elemento actúa para que la bobina eleve la tensión de la corriente de la batería y luego recibe la corriente ya elevada de la bobina y la envía hacia las bujías. La parte inferior del distribuidor se incrusta en el motor y es movido por el árbol de levas.

**Error.-** El error se define como la diferencia entre el valor indicado y el valor real de una variable, el cual está dado por un elemento patrón.

**Escala.-** Cualquier recurso para determinar la magnitud o cantidad de un objeto o hecho de cualquier clase; instrumento para asignar un número que indicará cuánto hay de algo; un recurso de medición que provee un conjunto de normas (numeradas de acuerdo con ciertas reglas de trabajo) con las que se puede comparar el objeto que será medido, para asignarle un número o valor matemático que represente su magnitud.

**Linealidad.-** Se dice que la respuesta de un sensor es lineal cuando produce en su salida una variación proporcional a la magnitud que tiene en su entrada.

**Medidor analógico.-** Aparato de medición que consta de una escala y una aguja indicadora capaz de indicar un rango continuo de valores de una magnitud, a menudo están formados por elementos electromecánicos.

**Medición estática.-** Hace referencia a la medición de parámetros que podrían considerarse estables en el tiempo, por ejemplo la medición de un nivel, que no presenta cambios bruscos en su magnitud.

**Medición dinámica.-** Cuando se mide una magnitud física que es variante con el tiempo se dice que se está haciendo una medición dinámica, como por ejemplo, cuando se mide el caudal dentro de una tubería.

**Odómetro.-** Se llama así al aparato que utilizamos para medir la distancia recorrida entre dos puntos, o el camino recorrido entre dos puntos. Los odómetros llevan mucho tiempo de existir en su forma mecánica y recientemente, los dispositivos digitales han empezado a reemplazarlos.

**Precisión.-** La calidad de la cercanía a un valor especificado en las condiciones indicadas. Generalmente se expresa como la incertidumbre o la desviación máxima que se espera entre una lectura y el valor real que se está midiendo.

**Radar.-** El radar es un aparato electrónico utilizado para medir la distancia desde que se emite una radiofrecuencia hasta que vuelve el eco. El impulso se propaga a la velocidad de la luz y cuando encuentra un obstáculo (blanco) parte de la energía que contiene se refleja y vuelve (eco).

La palabra radar viene de la expresión americana 'Radio detection and ranging' (detección y distancia radio).

**Rango.-** Expresa los límites inferior y superior del instrumento.

**Rapidez.-** La rapidez es la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla. Su magnitud se designa como  $v$ . La rapidez es una magnitud escalar con dimensiones de  $[L]/[T]$ . La rapidez se mide en las mismas unidades que la velocidad, pero no tiene el carácter vectorial de ésta. La rapidez representa justamente el módulo de la velocidad.

**Repetibilidad.-** Específica la habilidad del instrumento para entregar la misma lectura en aplicaciones repetidas del mismo valor de la variable medida.

**Resolución.-** La resolución de un instrumento es el menor incremento de la variable bajo medición que puede ser detectado con certidumbre por dicho instrumento.

**RTD.-** Los detectores de temperatura resistivos (RTD – Resistance Temperature Detector) son sensores de temperatura basados en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Vienen fabricados en diferentes materiales y formas de acuerdo al medio en el que se los va a utilizar.

**Sensibilidad.-** Término utilizado para describir el mínimo cambio en la variable sensada que el instrumento puede detectar.

**Sensor.-** Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Un sensor necesita ser polarizado para funcionar, es decir, necesita de una fuente de alimentación para producir su salida en voltaje o corriente.

**Servomotor.-** Dispositivo electromecánico de funcionamiento similar a un motor de giro limitado, que tiene la particularidad de ubicarse en una posición deseada de acuerdo a una señal de control. Está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento generalmente es de menos de una vuelta completa.

**Tacómetro.-** Es un dispositivo de medición capaz de indicar la velocidad de rotación de un eje, generalmente de un motor, se mide en RPM (revoluciones por minuto).

**Termopar.-** Elemento formado por la unión de dos materiales metálicos que entregan una tensión proporcional a la variación de temperatura.

**Tiempo de respuesta.-** La medición de cualquier variable de proceso puede implicar una demora, (debida a fenómenos de equilibrio, transporte, etc.) que debe ser definida adecuadamente. Los tiempos de respuesta se definen en base

al tiempo necesario para obtener una medida que corresponda a un cierto porcentaje del valor final.

**Transductor.-** Básicamente cumple la misma función del sensor, transforma una variable física en eléctrica, con la diferencia de que no necesita polarización, generalmente la variable de salida es una resistencia.

**Velocidad.-** La velocidad es una magnitud vectorial que indica la cantidad de desplazamiento de un objeto en un determinado tiempo, en el campo automotriz se suele confundir la velocidad con la rapidez, relativo a este trabajo nos referiremos solamente a su módulo, la rapidez.

**Velocímetro.-** Un velocímetro es un instrumento que mide el valor de la rapidez media de un vehículo. Debido a que el intervalo en el que mide esta rapidez es generalmente muy pequeña se aproxima mucho a la magnitud de la velocidad instantánea, es decir la rapidez instantánea.

## 2.2 Descripción de los sistemas del automóvil

Un vehículo está compuesto por varios sistemas que hacen posible su funcionamiento, este trabajo está enfocado básicamente en la medición de los parámetros internos del motor (temperatura, revoluciones) y los relacionados con el entorno (velocidad y kilometraje recorrido), pero se van a listar todos los sistemas que componen un automóvil de una manera breve para tener una idea general.

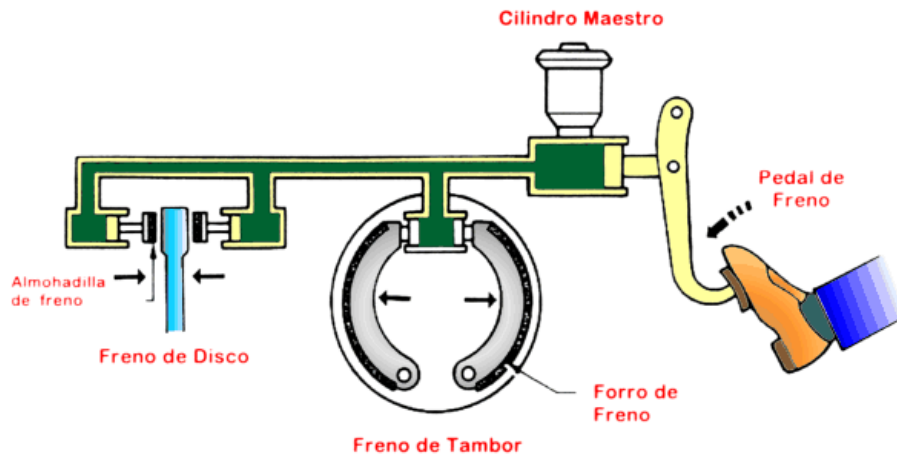


**Figura 2.2.** Despiece general de los sistemas del automóvil

**2.2.1 Sistema de frenos.-** Su principal función es disminuir o anular progresivamente la velocidad del vehículo, o mantenerlo inmovilizado cuando está detenido.

El sistema de freno principal, o freno de servicio, permite controlar el movimiento del vehículo, llegando a detenerlo si fuera preciso de una forma segura, rápida y eficaz, en cualquier condición de velocidad y carga en las que rueda. Para inmovilizar el vehículo, se utiliza el freno de estacionamiento, que puede ser utilizado también como freno de emergencia en caso de fallo del sistema principal. Debe cumplir los requisitos de inmovilizar al vehículo en pendiente, incluso en ausencia del conductor. Un sistema de freno convencional actúa como un multiplicador de fuerza aplicada en el pedal, solo por relaciones de cilindros, pero actualmente los sistemas de frenos están controlados electrónicamente (ABS) para evitar el bloqueo de las ruedas en la frenada. En este trabajo no se tratará nada acerca de éste sistema.





**Figura 2.3.** Funcionamiento del sistema convencional de frenos

**2.2.2 Sistema de transmisión.-** Es el sistema encargado de transmitir la fuerza desarrollada por el motor del vehículo a las ruedas motrices. La fuerza de empuje generada por el motor debe ser dosificada y aplicada de acuerdo a necesidades, ya sea para entregar fuerza o velocidad al vehículo. Esta dosificación se la realiza mediante el acople de engranes de distintos tamaños en el interior de la caja de cambios.

En los vehículos modernos, un sensor ubicado en el interior de la caja de cambios envía pulsos eléctricos con una frecuencia proporcional a la velocidad del vehículo, para este proyecto se utilizará directamente el movimiento de la rueda delantera.

**2.2.3 Sistema de suspensión.-** La suspensión es el nexo entre el chasis del vehículo y las ruedas, éste sistema es el encargado de absorber las irregularidades del camino. Sus principales funciones son brindar comodidad a los ocupantes y ofrecer un mejor control del automóvil. Muchos autos modernos disponen de un sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente, cuya función es mejorar la tracción y la estabilidad del vehículo al circular a altas

velocidades y aumentar el confort al circular despacio. Luego de alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, se puede pensar en el diseño de sistemas de suspensión neumática, regulables en altura y rigidez, controlados electrónicamente en base al presente proyecto.

**2.2.4 Sistema de dirección.-** Es el conjunto de mecanismos que tienen la misión de orientar las ruedas directrices y adaptarla al trazado de la vía por la que circula, así como para realizar las distintas maniobras que su conducción exige.

**2.2.5 Sistema de propulsión.-** Como su nombre lo indica, es el encargado de proporcionar la fuerza necesaria para que sea posible el movimiento del vehículo, existen varios tipos de motores que se usan convencionalmente en los autos, a gasolina, a gas, diesel, eléctricos, teniendo cada uno distintos principios de funcionamiento y distintos subsistemas que los conforman. Uno de los más importantes para asegurar un correcto funcionamiento del motor y prolongar su vida útil es el sistema de enfriamiento.

**2.2.5.1 Sistema de enfriamiento.-** El motor necesita de algún lubricante para poder funcionar con normalidad, pero a altas temperaturas sus propiedades cambian y disminuye su viscosidad, en estas condiciones, el motor no es correctamente lubricado, produciéndose fallas o una notable reducción de su vida útil.

La temperatura del aceite depende directamente de la carga del motor, cuando se sube una colina o se lleva mucho peso en el vehículo con seguridad producirá incremento de la temperatura. A más de darnos una idea de la carga que tiene el motor, la temperatura puede funcionar como indicador de otros defectos como fallas en la calibración, uso de bujías incorrectas, sistema de enfriamiento en mal estado.

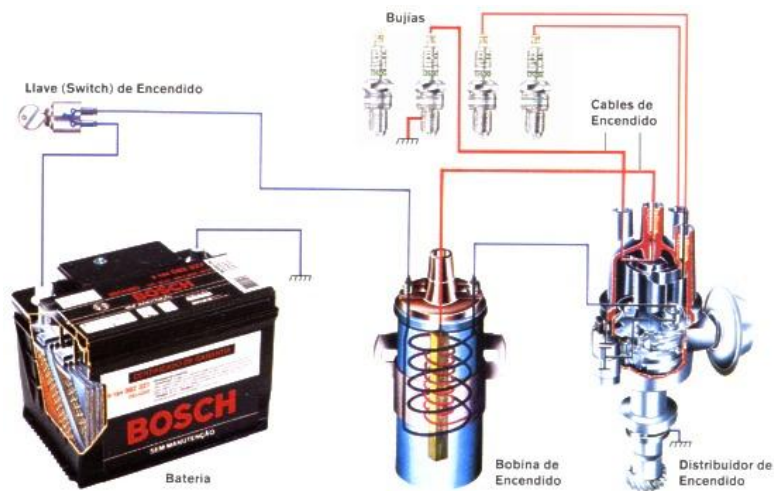
El sistema de enfriamiento es el encargado de mantener al motor dentro de una temperatura adecuada de trabajo, ya sea por refrigeración por agua o por aceite, para ello necesita monitorear constantemente la temperatura del motor.

**2.2.6 Sistema eléctrico.-** El vehículo para su funcionamiento necesita de una serie de dispositivos que funcionan por medio de electricidad, como motores y actuadores del tipo solenoides, señales y advertencias de funcionamiento, medidores y marcadores, luces tanto de aviso de maniobras, como de alumbrado. Por lo señalado se hace necesario que el vehículo cuente con un sistema propio capaz de almacenar energía eléctrica, distribuirla y regenerarla. Este sistema en general se denomina sistema eléctrico.

De los subsistemas anteriormente expuestos, solamente necesitamos conocer el funcionamiento del motor, más específicamente del sistema de encendido y de enfriamiento.

#### **2.2.6.1 Sistema de Encendido**

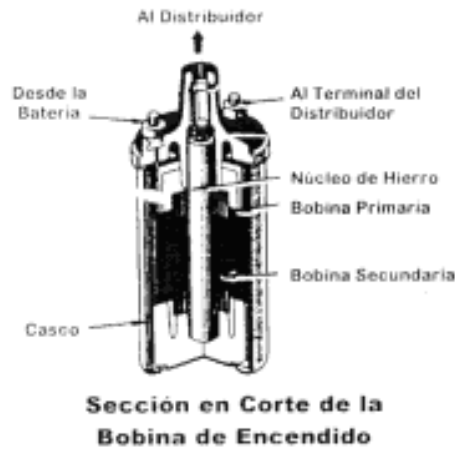
El sistema de encendido es el encargado de generar las descargas de alta tensión en las bujías para que se pueda producir la explosión de la mezcla aire-combustible comprimida en el interior de los cilindros.



**Figura 2.4.** Elementos que conforman el sistema de encendido

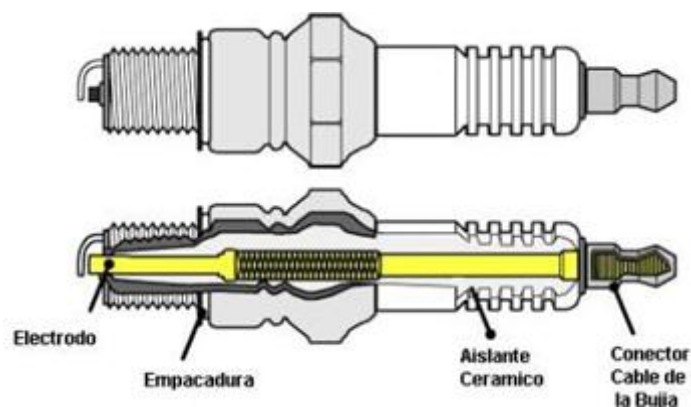
Al igual que el resto de subsistemas, el de encendido está compuesto por una serie de elementos que hacen posible su funcionamiento, entre ellos están: la bobina de encendido, el distribuidor, los cables de las bujías y las bujías. A continuación serán descritos cada uno de ellos.

***Bobina de encendido.-*** Este dispositivo genera el alto voltaje necesario para el encendido del combustible. La bobina secundaria está envuelta alrededor del núcleo, que es hecho de placas de hierro delgado en capas unidas. Sobre esto, la bobina primaria está enrollada. La corriente es enviada intermitentemente a la bobina primaria de acuerdo con la apertura y cierre de los puntos en el distribuidor, y la bobina secundaria enrollada alrededor del núcleo genera el alto voltaje entregado por la bobina. Una bobina estándar puede generar de 15000 a 20000 voltios para producir la chispa en las bujías, pero una de alto rendimiento es capaz de entregar 40000 voltios, lo que mejora considerablemente el funcionamiento del motor.



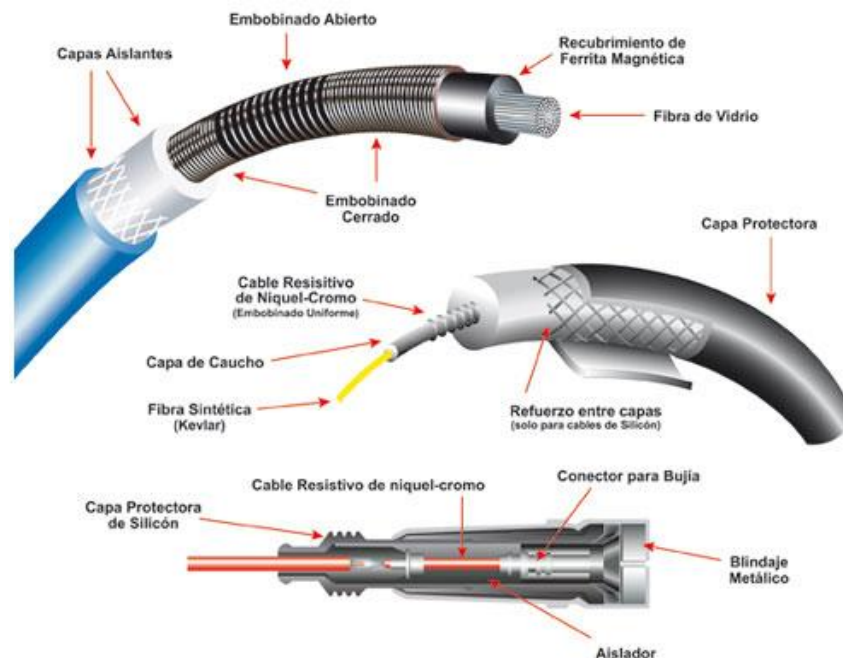
**Figura 2.5.** Sección de la bobina de encendido

**Bujías.-** Son el elemento del sistema de encendido que convierten la energía eléctrica generada por la bobina del encendido en un arco eléctrico, el cual a su vez permite que la mezcla aire/combustible se expanda rápidamente generando trabajo mecánico que se transmite al pistón o émbolo rotatorio (Wankel). Para ello hay que suministrar un voltaje suficientemente elevado a la bujía, por parte del sistema de encendido del motor para que se produzca la chispa, al menos de 5.000 V. Esta función de elevación del voltaje se hace por autoinducción en la bobina de alta tensión.



**Figura 2.6.** Estructura de una bujía.

**Cables de bujías.-** Los cables de bujías son llamados cables de alta tensión o cables de ignición secundarios, están diseñados para conducir el alto voltaje producido por la bobina hasta las bujías, a pesar de hacer la función de un simple conductor, deben cumplir características especiales para su correcto funcionamiento, ya que el arco de alto voltaje puede introducir ruido eléctrico en el resto de sistemas electrónicos del vehículo, de ahí nace el uso de cables apantallados, antiparasitarios y de filtros para el resto de equipos donde se puedan producir interferencias.



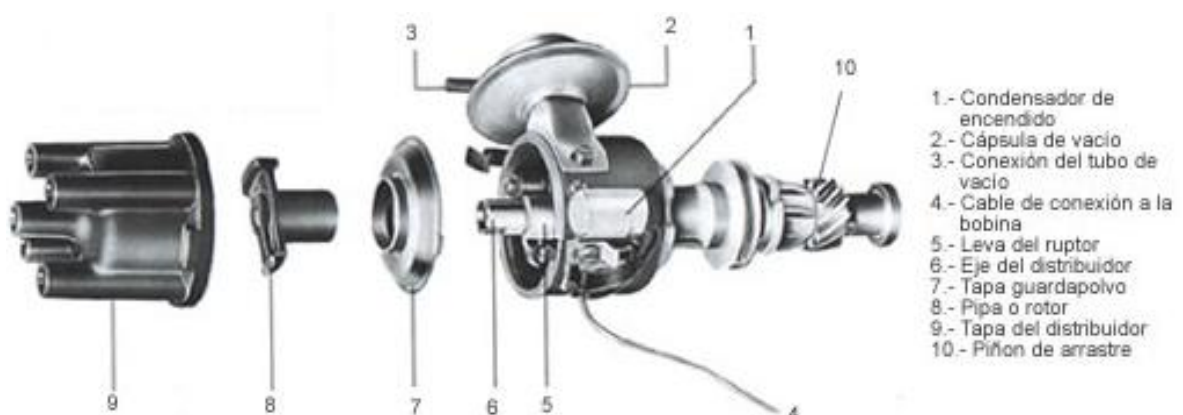
**Figura 2.7.** Construcción de los cables de bujías.

**Distribuidor.-** Es el elemento más complejo y que mas funciones cumple dentro de un sistema de encendido. El distribuidor reparte el impulso de alta tensión de encendido entre las diferentes bujías, siguiendo un orden determinado (orden de encendido) y en el instante preciso.

El movimiento de rotación del eje del distribuidor le es transmitido a través del árbol de levas del motor. El distribuidor lleva un acoplamiento al árbol de levas que impide en el mayor de los casos el erróneo posicionamiento. Tanto el rotor como la tapa del distribuidor, solo admiten una posición de montaje, para que exista en todo momento un perfecto sincronismo entre la posición en su giro del rotor y la leva. Con excepción del ruptor de encendido, todas las piezas del distribuidor están prácticamente exentas de mantenimiento.

En un motor de cuatro tiempos, un giro completo del motor representa dos accionamientos del platino, lo que implica dos pulsos de la bobina de encendido, gracias a esto, podemos calcular el número de revoluciones del motor de acuerdo a la frecuencia de los pulsos generados en la bobina.

En los autos modernos, se ha reemplazado el platino con un módulo de encendido electrónico, conformado por un sensor de efecto Hall, cuya función es abrir o cerrar el circuito de la bobina de acuerdo a la posición del eje del distribuidor, a más de mejorar el rendimiento al ofrecer una conmutación más limpia, carece completamente de mantenimiento mecánico



**Figura 2.8.** Partes constitutivas de distribuidor

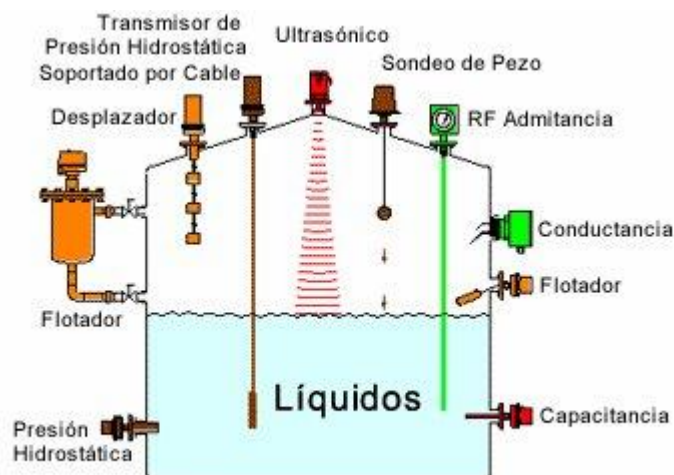
## 2.3 Fundamentos de medición de combustible

Otro de los parámetros que son monitoreados en los sistemas de instrumentación convencionales es la cantidad de combustible, se pueden usar diferentes métodos para este fin, realizar la medición estática o dinámica del combustible. A continuación se explicará en qué consiste cada uno de estos métodos.

### 2.3.1 Medición estática

En este método lo que se mide es el nivel de combustible en el interior del tanque, si bien no es un método preciso, nos da una buena aproximación de la cantidad de combustible restante y la mayoría de los vehículos utilizan este método de medición por su facilidad de empleo y el bajo costo de sus elementos.

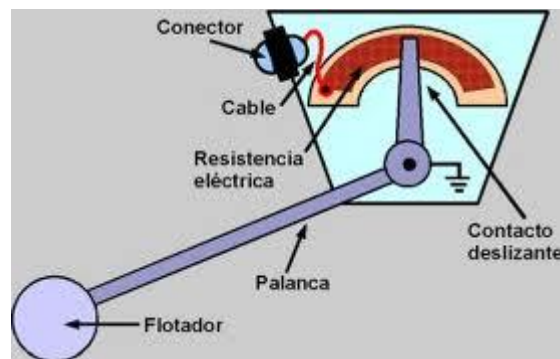
#### 2.3.1.1 Tipos de medidores de nivel



**Figura 2.9.** Distintos tipos de medición estática



**Por flotador resistivo.-** Éste es el método más usado en la industria automotriz, consiste en una resistencia variable que es controlada por un elemento flotador que se introduce en el tanque de combustible, al variar el nivel del líquido, varía la resistencia, usando otros circuitos electrónicos para acondicionar esta señal se puede tener un aproximado del nivel de combustible, si bien este es el método más sencillos y barato, también es el que más problemas presenta a la hora de su implementación debido a que es sensible al movimiento del líquido que se está midiendo, por esto muchas veces se usa estabilizadores de señal, que no son más que filtros pasa bajos para eliminar dichas variaciones.



**Figura 2.10.** Medición de nivel por flotador resistivo<sup>5</sup>

**Por láser.-** Medidor de nivel Láser; se utiliza en aplicaciones donde las condiciones son muy duras, y donde los instrumentos de nivel convencionales fallan; tal es el caso de la medición de metal fundido, donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir unas condiciones de calor extremas. El sistema consiste en un rayo láser enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. El aparato mide el tiempo que transcurre entre el

---

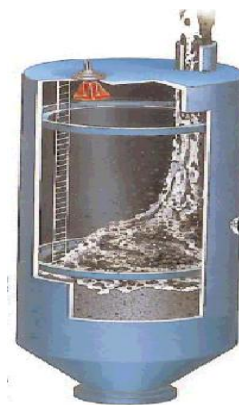
<sup>5</sup> Imagen tomada de:  
[http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQB8DGhniPcwJscxL6AuNuq5\\_\\_heWyNsY6BinpmNIptgNo\\_9YtY&t=1](http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQB8DGhniPcwJscxL6AuNuq5__heWyNsY6BinpmNIptgNo_9YtY&t=1)

impulso emitido y el impulso de retorno que es registrado en un foto detector de alta resolución, y este tiempo es directamente proporcional a la distancia del aparato emisor a la distancia a la superficie del metal en fusión, es decir, da la lectura del nivel.

Con este método no se mide directamente el nivel, sino la distancia entre el sensor y la superficie del líquido, con esta distancia y conociendo las dimensiones del tanque se puede calcular el volumen total del líquido. Tiene como gran desventaja que no se puede usar en líquidos como la gasolina ya que producen una reflexión no deseada del haz del láser, produciendo errores en la medición.

Esta forma de medición no es muy aplicable a los vehículos que el combustible está en movimiento, sujeto a la dinámica del automóvil (aceleraciones, frenadas), lo que causaría tener mediciones erróneas.

**Por ultrasonido.-** Medidor de nivel ultrasónico; se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del estanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 KHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.



**Figura 2.11.** Medidor de nivel por ultrasonido.

La precisión de estos instrumentos es de  $\pm 1$  a 3 %. Son adecuados para todos los tipos de estanques y de líquidos o fangos pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos.

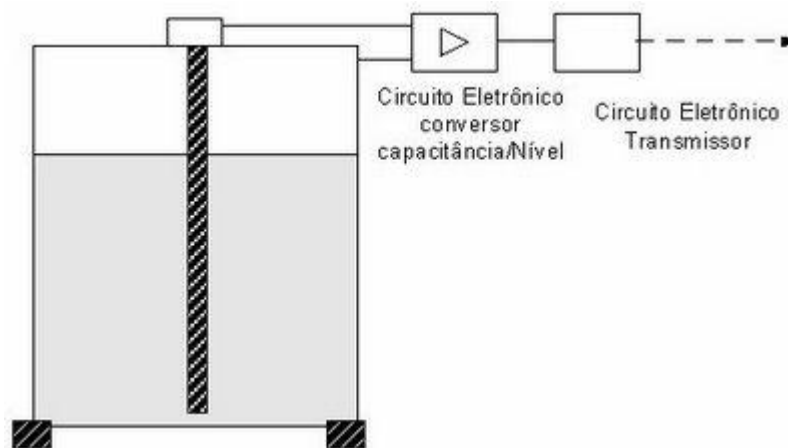
Al igual que con el método del láser, teniendo entre el sensor y la superficie del líquido y siendo conocidas las dimensiones del contenedor se hace fácil el cálculo de la cantidad de combustible.

Un inconveniente al usar este método es que las ondas ultrasónicas a una determinada frecuencia pueden llegar a elevar la temperatura del aire atravesado por ellas, al estar manejando fluidos inflamables es mejor no usar un método que podría resultar peligroso. Si bien se mencionó que se pueden tener medidores ultrasónicos a prueba de explosiones, su alto costo hace difícil su aplicación en este proyecto.

**Por capacitancia.-** Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del estanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido. En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

La precisión de los transductores de capacidad es de  $\pm 1$  %. Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado.

Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica / °C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad y alterando la lectura, en particular en el caso de líquidos conductores.



**Figura 2.12.** Medidor capacitivo de nivel.

**Por presión.-** Si consideramos a la densidad del combustible como constante podemos cuantificar su cantidad de acuerdo a la presión total que ejerce sobre el nivel más bajo del recipiente, para ello solo es necesario contar con algún sensor de presión y una unidad de cálculo que nos permita establecer dicha relación.

### 2.3.2 Medición dinámica

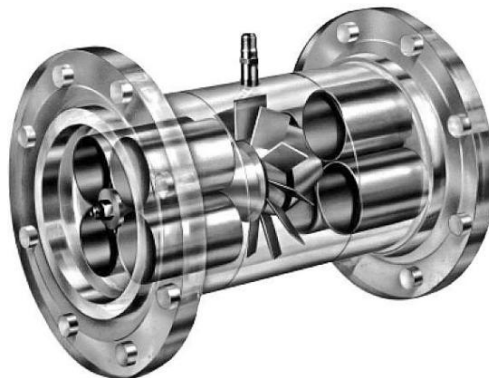
Otra de las formas de determinar la cantidad de combustible es midiendo la cantidad enviada al motor, esto se logra con el uso de medidores de caudal. Sabiendo cuánto combustible fue usado y cuánto se tenía en un inicio se puede calcular el nivel existente en el tanque. Estos medidores poseen la ventaja de que

fácilmente podemos establecer el consumo y el tiempo o distancia restante calculados en base a ese consumo.

### 2.3.2.1 Tipos de medidores de caudal

En nuestro medio podemos encontrar una gran cantidad de elementos para medir el flujo, pero para este proyecto debemos tener en cuenta dos consideraciones principales, al medir un caudal pequeño, la resolución necesaria para una correcta medición debe ser alta, y la caída de presión provocada por la medición no debe afectar el normal funcionamiento del motor. Por estos motivos solo vamos a listar dos tipos de medidores: turbina y ultrasonido.

**Medidor de turbina.-** El fluido provoca que el rotor de la turbina gire a una velocidad que depende de la velocidad de flujo. Conforme cada una de las aspas de rotor pasa a través de una bobina magnética, se genera un pulso de voltaje que puede alimentarse de un medidor de frecuencia, un contador electrónico u otro dispositivo similar cuyas lecturas puedan convertirse en velocidad de flujo. Velocidades de flujo desde 0.02 l/min hasta algunos miles de l/min se pueden medir con flujómetros de turbina de varios tamaños.

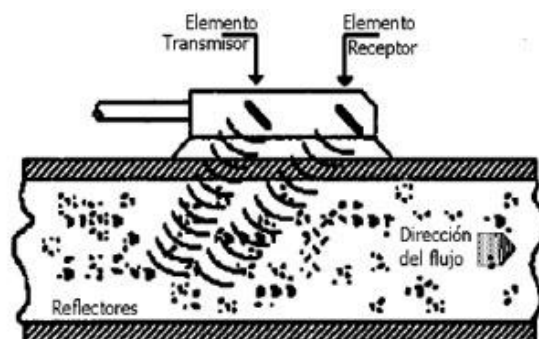


**Figura 2.13.** Medidor de flujo de tipo turbina.

Este tipo de medidor produce una leve caída de presión en las tuberías, por lo que para utilizarlo debemos conocer las condiciones de presión mínimas necesarias para el correcto funcionamiento del motor.

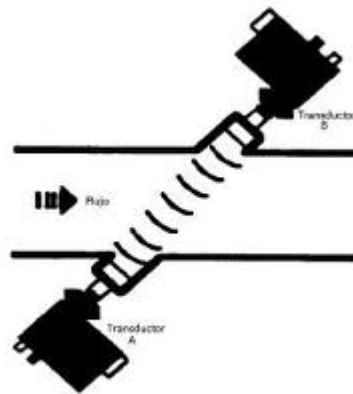
**Medidor de ultrasonido.-** Consta de unas Sondas, que trabajan por pares, como emisor y receptor. La placa piezo-cerámica de una de las sondas es excitada por un impulso de tensión, generándose un impulso ultrasónico que se propaga a través del medio líquido a medir, esta señal es recibida en el lado opuesto de la conducción por la segunda sonda que lo transforma en una señal eléctrica. El convertidor de medida determina los tiempos de propagación del sonido en sentido y contrasentido del flujo en un medio líquido y calcula su velocidad de circulación a partir de ambos tiempos. Y a partir de la velocidad se determina el caudal. Hay dos tipos de medidores de flujo por ultrasonidos:

- Doppler: Miden los cambios de frecuencia causados por el flujo del líquido. Se colocan dos sensores cada uno a un lado del flujo a medir y se envía una señal de frecuencia conocida a través del líquido. Sólidos, burbujas y discontinuidades en el líquido harán que el pulso enviado se refleje, pero como el líquido que causa la reflexión se está moviendo la frecuencia del pulso que retorna también cambia y ese cambio de frecuencia será proporcional a la velocidad del líquido.



**Figura 2.14.** Medidor de flujo de efecto Doppler

- Tránsito: Tienen transductores colocados a ambos lados del flujo. Su configuración es tal que las ondas de sonido viajan entre los dispositivos con una inclinación de 45 grados respecto a la dirección de flujo del líquido. La velocidad de la señal que viaja entre los transductores aumenta o disminuye con la dirección de transmisión y con la velocidad del líquido que está siendo medido.



**Figura 2.15.** Medidor de flujo de tránsito.

Tendremos dos señales que viajan por el mismo elemento, una a favor de la corriente y otra en contra de manera que las señales no llegan al mismo tiempo a los dos receptores. Se puede hallar una relación diferencial del flujo con el tiempo transmitiendo la señal alternativamente en ambas direcciones. La medida del flujo se realiza determinando el tiempo que tardan las señales en viajar por el flujo.

Las principales ventajas de estos medidores es que no alteran la presión del líquido y al no estar en contacto directo con el fluido tampoco alteran su comportamiento.

## **2.4 Fundamentos para la medición de la velocidad**

A pesar del mal uso del término, el velocímetro del automóvil mide la rapidez (módulo de la velocidad) del mismo en un instante determinado, y esto es el límite cuando el delta (variación) tiempo tiende a cero de: La variación de la distancia ( $dx$ ) sobre la variación del tiempo ( $t_f - t_i = dt$ ).

### **2.4.1 Formas de medición de velocidad lineal**

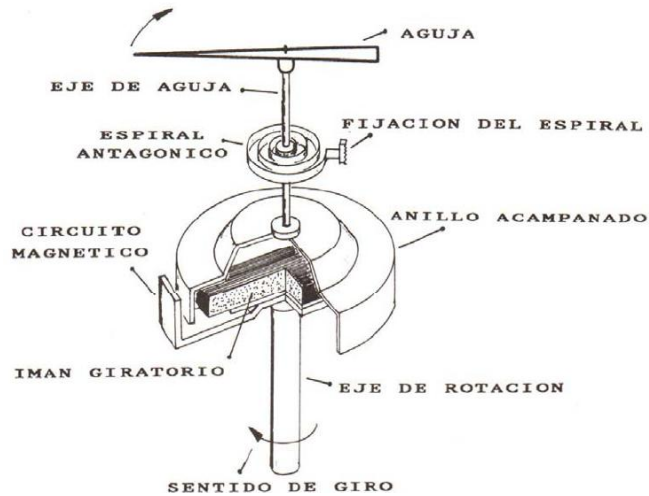
La velocidad que lleva un vehículo o un objeto móvil puede ser medida y calculada de varias maneras:

#### **2.4.1.1 Velocímetro mecánico**

Hoy en día se usan en todos los automóviles, ya que son indispensables para poder tener conocimiento de la velocidad del vehículo, con el fin de no exceder los límites máximos permitidos de acuerdo a las regulaciones legales. El velocímetro venía como una opción en los primeros modelos de automóviles de 1900 y empezaron a fabricarse como algo estándar después de 1910.

Los velocímetros mecánicos funcionan de una manera muy sencilla, los más simples están formados por un pequeño imán que va unido a la cadena que transmite el movimiento desde la rueda o desde la caja de cambios, sobre el imán está una pieza de aluminio con forma de dedal fijada al eje de la aguja indicadora. Cuando el imán rota cerca del 'dedal', provoca cambios en el campo electromagnético circundante, lo que hace mover al indicador en la dirección de su rotación sin una necesaria conexión mecánica entre ellos. Este principio de funcionamiento se denomina arrastre magnético.





**Figura 2.16.** Estructura de un velocímetro de arrastre magnético.

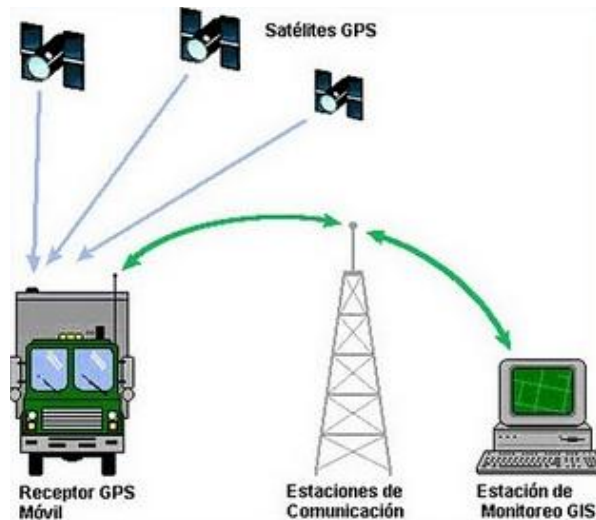
El velocímetro viene la mayoría de las veces acompañado de un odómetro, que es el que totaliza el kilometraje recorrido, el odómetro también es un elemento muy importante dentro de la instrumentación automotriz, ya que nos permite conocer el tiempo de uso del vehículo, además son usados para calcular consumo de combustible y los períodos de mantenimiento.

### 2.4.1.2 GPS

Estos aparatos funcionan mediante la recepción de señales de un satélite, que es capaz de ubicar la posición exacta de un vehículo. El GPS<sup>6</sup> manda señales a uno de los 24 únicos satélites que orbitan la tierra de GPS y busca otros 3 satélites para poder hacer una triangulación y poder saber la posición exacta del móvil. El GPS tiene la capacidad de poder hacer cálculos muy precisos y dar información acerca de la velocidad de un auto.

---

<sup>6</sup> GPS: Sistema de posicionamiento global por medio de satélites.

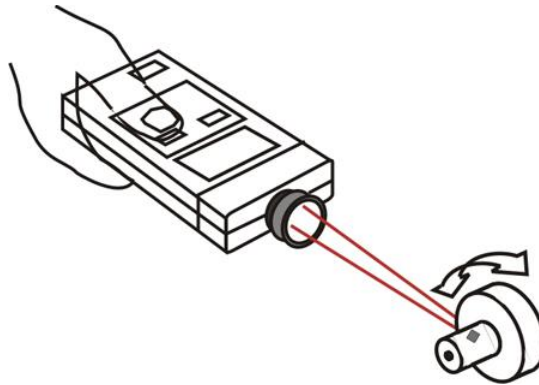


**Figura 2.17.** Funcionamiento del velocímetro por gps.

Los GPS (Global Positioning System) son capaces de mostrar la velocidad de un vehículo basado en el cambio de posición de las medidas, que generalmente se toman en intervalos de 1 segundo. Es importante saber que la medición de velocidad de un GPS no es tan precisa como la de un velocímetro, ya que depende mucho de la calidad de la señal del satélite en determinado momento. La manera para poder descifrar la velocidad es mediante la simple fórmula de  $d=v/t$ , y ya después se manda la información a la computadora o aparato que informa la velocidad a la que viaja el vehículo.

### 2.4.1.3 Tacómetro

Es un mecanismo sencillo que sirve para medir la velocidad de giro de un eje rotativo. Cuando relacionamos un tacómetro a la medición de la velocidad, generalmente vamos a medir la velocidad de giro de algún elemento del sistema de transmisión, al tener la velocidad de giro de uno de los engranes de la caja de cambios o de las ruedas y sabiendo la relación entre el movimiento de éste elemento y el desplazamiento del vehículo, resulta sencillo calcular su velocidad.



**Figura 2.18.** Medición de velocidad usando tacómetro.

#### **2.4.1.4 Cinemómetro**

Un cinemómetro es un dispositivo diseñado para medir, en tiempo real, la velocidad de un móvil. La aplicación más corriente es la determinación de las velocidades que presentan los vehículos del tráfico rodado con objeto de controlar y supervisar los límites vigentes en los distintos países.

#### **2.4.1.5 Cinemómetro láser**

Este aparato es diferente al radar, ya que se utiliza un láser infrarrojo de 33MHz de frecuencia y 904nm de la longitud de onda, en lugar de usar ondas de radio. El cinemómetro es el aparato que usan los agentes que controlan el tráfico para poder calcular la velocidad de un vehículo.

El cinemómetro se debe de orientar en el sentido de marcha del móvil, de manera que el haz de la luz del láser forme un ángulo muy agudo con la trayectoria del vehículo. Normalmente se elige un lugar en donde la calle sea recta.

El láser emite una ráfaga de pulsos de luz infrarroja hacia el automóvil. Esos impulsos se emiten a calibrados intervalos de tiempo. Esos pulsos reflejan en el vehículo y regresan al cinemómetro. La parte electrónica del cinemómetro calcula el tiempo que tardan las señales en regresar a la pistola.

Ya que la velocidad de la luz es constante, es posible determinar la distancia a la que está el carro cada fracción de segundo. El calculador del aparato va evaluando la

diferencia en distancias pudiendo así, calcular la velocidad del automóvil con una precisión excelente.

#### 2.4.1.6 Radar

Su funcionamiento es muy similar al del cinemómetro, pero éste funciona ondas electromagnéticas o de radio, en lugar de láseres infrarrojos. Puede medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles.

Su funcionamiento se basa en emitir impulsos de radio que se refleja en el vehículo y se recibe en la misma posición del emisor. Gracias al eco que producen estas ondas de radio, se puede recopilar mucha información. El uso de ondas de radio puede determinar objetos más allá del rango de otro tipo de emisiones, como la de luz o sonido.



**Figura 2.19.** Medición de velocidad usando radar.

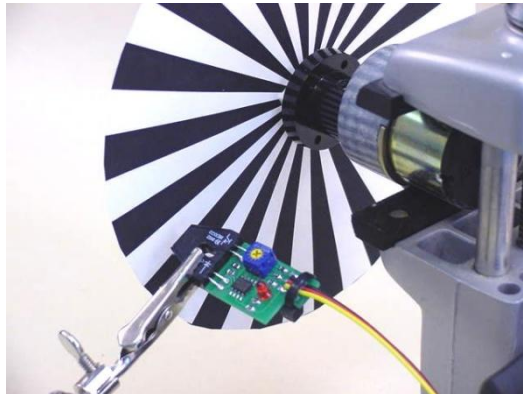
## **2.4.2 Tipos de sensores de velocidad**

Analizando las características de los distintos métodos de medición de velocidad, se pueden descartar la mayoría debido a su costo elevado y difícil manejo. El más sencillo, tanto por su fabricación como su facilidad de uso es el de tipo tacómetro óptico. Básicamente es un encoder en el cual no nos interesa saber su posición relativa, sino la razón de cambio de posición. También se emplean sensores de efecto Hall pero por motivos de costo y baja velocidad de conmutación no son muy empleados.

De acuerdo al elemento óptico con el cual están contruidos se dividen en dos grupos, de sensor infrarrojo reflectivo y de barrera. En ambos tipos, el eje de rotación va a estar sujeto directamente a la rueda o a un engrane de la caja de cambios, en este proyecto está conectado a la rueda delantera izquierda. Según la velocidad de giro de la rueda, el sensor generará una señal de onda cuadrada que de acuerdo al número de marcas o perforaciones en el disco se podrá calcular la velocidad.

### **2.4.2.1 Por sensor infrarrojo reflectivo**

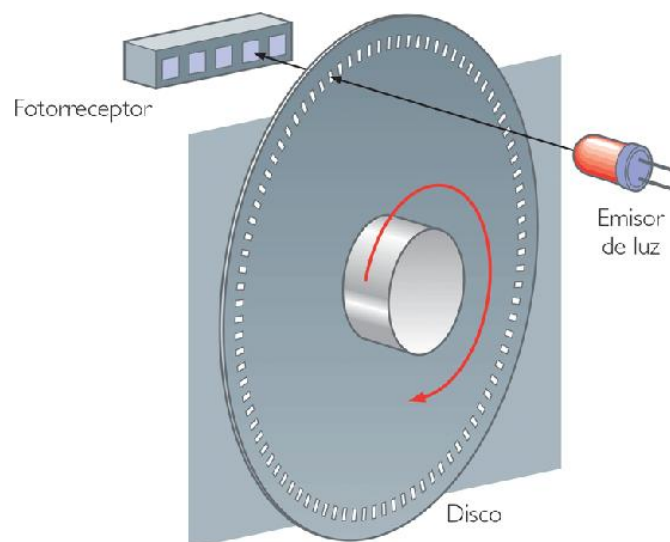
Consiste en un disco con marcas blancas y negras acoplado al eje de rotación, el sensor óptico es de barrera, es decir, emite un haz de luz infrarroja y cuando una marca blanca está bajo el sensor, la luz se refleja y llega al receptor, mientras que si se trata de una marca oscura, ésta absorbe la luz.



**Figura 2.20.** Sensor infrarrojo reflectivo.

#### 2.4.2.2 Por sensor infrarrojo de barrera

El principio de funcionamiento es el mismo que el anterior, con la variante de que el disco tiene múltiples perforaciones a lo largo del borde externo, actuando como barrera del haz infrarrojo, si el haz pasa por una perforación, el receptor del otro lado detecta el haz, y si no hay perforación, el haz es bloqueado.



**Figura 2.21.** Sensor infrarrojo de barrera.

## **2.5 Fundamentos para la medición de la velocidad de giro del motor**

Este es uno de los parámetros más importantes a ser medidos en un automotor, es el que nos permite mantener al motor dentro de un régimen adecuado de trabajo, además sirve como indicador para un correcto cambio de marchas.

### **2.5.1 Formas de medición de RPMs**

Básicamente solo existen dos maneras de medir la velocidad angular del motor, la una es con un elemento conectado directamente al eje de rotación y la otra es tomando la señal de pulsos de la bobina de encendido.

#### **2.5.1.1 Directamente del eje de rotación**

Para este método, el sensor o una parte de él, debe estar acoplado mecánicamente a un elemento rotativo, y para determinar su velocidad angular se podrán utilizar algunos de los métodos antes explicados, como los sensores de arrastre magnético, ópticos o de efecto Hall.

#### **2.5.1.2 Por medio de la señal de la bobina**

Éste método es más usado ya que no necesita de elementos mecánicos adicionales, se toma la señal pulsante de la bobina de encendido y de acuerdo a la frecuencia de dicha señal y al número de cilindros del vehículo se puede hacer una conversión equivalente en revoluciones por minuto.

## **2.5.2 Tipos de sensores para la medición de las revoluciones.**

### **2.5.2.1 Encoder óptico**

Es exactamente el mismo tipo de sensor empleado para la medición de la velocidad de desplazamiento, se pueden emplear los reflectivos y los de barrera, una limitante es que algunos de sus componentes suelen ser plásticos y al necesitar estar en contacto con el motor y las altas temperaturas, no presentan una vida útil muy prolongada

### **2.5.2.2 De efecto Hall**

Consiste en instalar un sensor inductivo que pueda detectar el movimiento de alguna parte metálica del motor, como la polea del cigüeñal y convertir esta señal en una señal pulsante con la que se pueda interpretar la velocidad de rotación del motor. Un gran inconveniente que presenta es la dificultad del montaje y el costo del sensor ya que debe cumplir con ciertas normas para poder ser instalado en el motor.

Otra variante de éste método se presenta en los vehículos que tienen sistema de encendido electrónico. En el interior del distribuidor está ubicado un sensor de efecto Hall que indica la posición de su eje, éste eje gira en relación al movimiento del cigüeñal, en un vehículo de cuatro cilindros gira una vez cada dos vueltas del motor, presentándose dos conmutaciones del sensor Hall por revolución, éste sensor inductivo está conectado al borne negativo de la bobina lo que convierte a éste sensor también en parte del siguiente a ser explicado.



### 2.5.2.3 Directamente de la bobina de encendido

No es un sensor en sí, sino un circuito que acondiciona la señal de frecuencia a una señal de voltaje, corriente o tiempo para que pueda ser utilizada por el medidor.

Sólo puede ser usado en motores a gasolina, ya que los motores a diesel carecen de bujías y por ende de bobina. Como ya fue explicado brevemente en el sistema de encendido, la bobina genera los pulsos de alta tensión a las bujías, comandada directamente por el distribuidor, y éste por la rotación del motor, lo que indica que hay una perfecta sincronización entre la activación de la bobina y el giro del motor.

Sabiendo que en cada revolución del motor, la bobina entrega alto voltaje a dos bujías diferentes, sabemos que se activa dos veces; por lo tanto podemos tomar esta relación para calcular su velocidad de rotación.

Básicamente la señal de la bobina se puede manejar de dos formas:

- Transformando la señal de frecuencia a una señal de voltaje o corriente para que pueda ser manipulada más fácilmente. La ventaja que presenta es que se pueden usar circuitos analógicos sin problema para la conversión y la presentación de la señal.
- Por medio de un procesador, tomar el tiempo entre pulsos y de acuerdo al mismo calcular la velocidad angular del motor, si bien es más preciso y mucho más fácil de calibrar, requiere de un conocimiento más profundo de la electrónica, principalmente del área digital.

Cualquiera de las dos maneras es completamente válida, depende de la aplicación específica y de la complejidad que se le quiera dar al proyecto la aplicación de cada uno.

## **2.6 Fundamentos para la medición de temperatura**

Como se explicó en la sección del sistema de enfriamiento, la temperatura del motor nos da una idea de la carga a la que está sometido o a su estado general.

### **2.6.1 Formas de medición de temperatura del motor**

#### **2.6.1.1 Directamente en el aceite**

Con este método se puede determinar la temperatura real del motor ya que se está midiendo su temperatura interna, pero a la vez es el que más problemas puede presentar ya que necesita contacto directo entre el sensor y el aceite, lo que implica una perforación en la carcasa del motor.

#### **2.6.1.2 Por medio del líquido refrigerante**

En la mayoría de los autos se asume que la temperatura del refrigerante es la temperatura de trabajo del motor, cosa que muchas veces no es cierto ya que hay diversos factores que pueden alterar esta medición, como por ejemplo un mal funcionamiento de la bomba de agua, obstrucción en los conductos, entre otros. En éste método también se debe ser muy cuidadoso ya que muchas veces el refrigerante puede entrar en ebullición y si el montaje del sensor no fue efectuado correctamente se pueden presentar fugas de vapor.

### **2.6.1.3 Del block del motor**

Si bien es el método más sencillo y el que menos altera el motor, también es el que puede presentar el mayor error, ya que va a tomar la temperatura externa del motor, directamente de alguna parte de la carcasa. Si el lugar de montaje del sensor no es correctamente elegido, puede provocar que el flujo de aire en el motor cause una medida menor a la temperatura real.

## **2.6.2 Tipos de medidores de temperatura**

### **2.6.2.1 RTD**

El detector de temperatura de resistencia (RTD) se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500 °C. Los RTD más económicos utilizan níquel o aleaciones de níquel, pero no son tan estables ni lineales como los que emplean platino.

En cuanto a las desventajas, el platino encarece los RTD, y otro inconveniente es el auto calentamiento. Para medir la resistencia hay que aplicar una corriente, que, por supuesto, produce una cantidad de calor que distorsiona los resultados de la medida.

Una tercera desventaja, que afecta al uso de este dispositivo para medir la temperatura, es la resistencia de los RTD. Al ser tan baja, la resistencia de los hilos conductores que conectan el RTD puede provocar errores importantes.

### **2.6.2.2 Termopar**

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

### **2.6.2.3 Termistor**

El termistor es un tipo de transductor pasivo, sensible a la temperatura y que experimenta un gran cambio en la resistencia eléctrica cuando está sujeto a pequeños cambios de temperatura.

El término termistor procede del inglés Thermally sensitive resistor, es decir, resistencia sensible térmicamente.

Se trata de un dispositivo semiconductor de dos terminales, relativamente sencillo, compuesto de óxidos metálicos como manganeso, níquel, cobalto, cobre, hierro o titanio.

### **2.6.2.4 Circuitos Integrados**

Los sensores de circuitos integrados resuelven el problema de la linealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. Son, además, relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente.



**Figura 2.22.** IC para medición de temperatura.

Sin embargo, los sensores de IC no tienen tantas opciones de configuraciones del producto o de gama de temperaturas, y además son dispositivos activos, por lo que requieren una fuente de alimentación.

Los sensores de IC forman parte de la tendencia hacia los "sensores inteligentes", que son unos transductores cuya inteligencia incorporada facilita las actividades de reducción y análisis de datos que el usuario debe realizar normalmente en el sistema de adquisición de datos.

## **2.7 Condiciones de trabajo de los sistemas de medición del automóvil**

Para determinar las condiciones de trabajo de un automóvil, es necesario recurrir a varios de sus principios de funcionamiento e incluso a regulaciones legales.

### **2.7.1 Velocímetro**

De acuerdo a las normativas legales, la velocidad máxima permitida en carretera llega a los 100Km/h y 50Km/h en zonas urbanas. Los sistemas mecánicos de los vehículos son diseñados para alcanzar velocidades muy superiores, en promedio de 160Km/h a 200Km/h, por lo que no se puede limitar

los sistemas de medición, pero si se puede marcar en ellos los límites considerados como normales o permitidos.

### **2.7.2 Tacómetro**

Los metales internos del motor están diseñados para soportar hasta una cierta cantidad de estrés mecánico, dicho estrés está relacionado directamente con la velocidad de giro del motor, pasado un límite se pueden ocasionar fisuras o roturas de los elementos vitales como cigüeñal o árbol de levas. Normalmente en los vehículos de calle este límite está alrededor de las 5000 rpm, llegando a las 9000 rpm o más en los autos de competencia.

### **2.7.3 Combustible**

Éste parámetro generalmente no está determinado como una magnitud física, sino como un porcentaje de la capacidad total del tanque, en pocas ocasiones se puede observar el nivel de combustible mostrado en litros o galones y si lo hacen, es una aproximación del porcentaje en relación a la volumen total del tanque.

### **2.7.4 Temperatura**

La temperatura que soporta un motor depende directamente de cómo fue diseñado, en los motores refrigerados por agua, la temperatura no debe superar los 100 grados centígrados pues el agua comenzaría a evaporarse, se considera como rango normal de 70°C a 80°C.

En un motor refrigerado por aire como es el caso de éste trabajo, la temperatura tiende a ser mayor, llegando sin problemas a 120°C, considerándose como normal alrededor de 90°C.

## **2.8 Microcontroladores**

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que tiene los mismos componentes de una computadora, de arquitectura tipo Harvard, es decir, que dispone de memorias para el programa y los datos por separado, está provisto de entradas y salidas donde se pueden conectar diversos dispositivos al igual que una computadora.

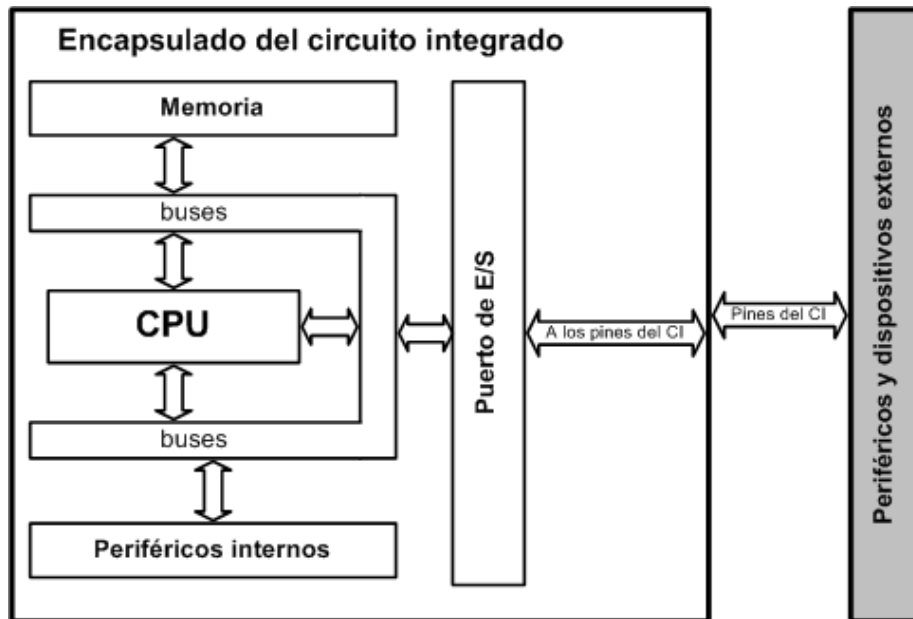
Los Microcontroladores son ampliamente usados en aplicaciones específicas donde no se requiera manejar gran cantidad de información y se disponga de un espacio reducido. Por su tamaño compacto generalmente van montados dentro del mismo dispositivo al que gobiernan.

Se puede definir al microcontrolador como un computador dedicado, en el cual todas sus entradas y salidas se comportan de acuerdo a la tarea asignada. Una vez cargado el programa en la memoria del microcontrolador, éste funcionará de acuerdo a lo deseado pudiendo volver a ser programado para una aplicación diferente.

### **2.8.1 Arquitectura**

Todo microcontrolador, fundamentalmente está compuesto de las siguientes partes:

- CPU
- Memoria
- Puertos de Entrada y Salida
- Recursos Auxiliares



**Figura 2.23.** Estructura interna de un microcontrolador<sup>7</sup>

### CPU (Unidad Central de Procesamiento)

Es donde se realizan todos los cálculos y procesos necesarios para el funcionamiento del programa.

---

<sup>7</sup> Imagen tomada de: [http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=El\\_microcontrolador](http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=El_microcontrolador), Arquitectura interna.



## **Memoria**

Al ser construidos bajo la arquitectura Harvard poseen dos memorias independientes, RAM y ROM, donde se alojan los programas y los datos por separado.

## **Puertos de entrada y salida**

Constituyen las conexiones físicas del microcontrolador. Suelen estar agrupados en puertos de hasta 8 bits para un manejo más sencillo. Cada terminal del microcontrolador puede ser configurado como entrada o salida según se requiera en el programa. Adicionalmente algunos microcontroladores poseen entradas analógicas que permiten usarlos sin necesidad de otros dispositivos externos.

## **Recursos auxiliares**

Los fabricantes de Microcontroladores, según la familia y la gama a la que pertenecen incorporan ciertas funciones especiales que refuerzan la potencia y flexibilidad del dispositivo y lo hacen más eficiente en un gran número de aplicaciones.

Entre todas estas funcionalidades se pueden destacar las siguientes:

- Temporizadores, que permiten sincronizar tareas de acuerdo a una base de tiempo. Se pueden usar para controlar señales o acciones en determinados tiempos, o para determinar el tiempo transcurrido entre eventos.

- Perro guardián, es el encargado de reiniciar el sistema automáticamente cuando se produzca un bloqueo en el programa.
- Conversores, pueden ser analógico/ digitales o digitales/ analógicos. Permiten manejar señales analógicas directamente como registros del microcontrolador, sin necesidad de incorporar circuitos adicionales destinados a dicha conversión.
- Comparadores, activan banderas específicas para verificar el valor de las señales analógicas.
- Estado de reposo, permite suspender todas las funciones del sistema y reduce al mínimo el consumo de energía. Es muy útil en aplicaciones alimentadas por baterías.

En el mercado existen una gran variedad de microcontroladores, separados en familias de acuerdo a sus características: velocidad, memoria, recursos, número de pines, conectividad, fabricantes, etc. Siendo los de la empresa Microchip unos de los más utilizados ya que ofrecen una gran cantidad de herramientas de software para su programación, dicha programación se la puede realizar en distintos lenguajes, desde assembler, pasando por lenguaje C, hasta ladder.

## **CAPÍTULO 3**

### **LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN**

#### **3.1 Situación actual del vehículo**

El vehículo en el que se va a implementar el sistema electrónico de instrumentación automotriz, es un Volkswagen escarabajo 1982, el cual posee como sistema de instrumentación montado de fábrica un velocímetro mecánico acoplado directamente a la rueda delantera izquierda, y un medidor de nivel de combustible igualmente mecánico, en el cual un cable de acero sujeto al flotador en el tanque es el que mueve la aguja del indicador. Este vehículo carece de un sistema de medición de temperatura ni de la velocidad de giro del motor. También se debe considerar que la tensión de alimentación que provee el vehículo es de 12 voltios DC, la cual cae considerablemente en el momento del arranque. Factor que debe ser tomado en cuenta en el diseño del hardware para evitar reinicios y mal funcionamiento de los microcontroladores.

#### **3.2 Reconocimiento de los sistemas a ser medidos**

Los parámetros del vehículo a ser medidos son la velocidad instantánea de desplazamiento (en Km/h), la velocidad de giro del motor (en RPM), la distancia total recorrida (en Km), la temperatura del motor (en °C), el nivel de combustible

(en relación de porcentaje), y un indicador numérico para el estado de las marchas (de 0 a 4).

El velocímetro no cuenta con ningún tipo de sensor electrónico que se pueda usar para obtener información, se usará parte de un velocímetro mecánico para convertir la rotación de la rueda en pulsos que serán procesados e interpretados como velocidad.

Para la medición de la velocidad de giro del motor se usará directamente la señal pulsante de la bobina de encendido, de cuya frecuencia se podrá interpretar la velocidad angular del motor en RPMs. El sistema de encendido es el que más problemas presenta en el momento de la implementación, ya que al tener un distribuidor con platino y usar conductores comunes de cobre para llevar el alto voltaje hacia las bujías, introduce una gran cantidad de ruido eléctrico en los sistemas electrónicos y ocasiona funcionamientos inesperados en los sistemas microcontrolados.

Para medir la distancia total recorrida se usó una señal de pulsos generada en el velocímetro mecánico gracias al acople de un sensor óptico reflectivo en el eje de un engrane cuyo giro es proporcional a la distancia recorrida.

El tanque de combustible usaba un sistema de flotador mecánico que necesitó ser reemplazado por uno eléctrico original de VW escarabajo para poder tener una magnitud eléctrica equivalente al nivel de combustible. El flotador instalado tiene una resistencia interna de 88 ohmios en vacío y cercana a 0 ohmios con el tanque lleno.

El block del motor no tiene ningún alojamiento para algún sensor para la medición de la temperatura, razón por la cual se utilizó un sensor que mida la

temperatura superficial del motor, siendo similar a la temperatura interna del aceite. No se hizo ningún orificio en la carcasa del motor, ya que la premisa de este trabajo es no alterar el estado original del vehículo.

### **3.3 Identificación y comprobación de los rangos nominales**

Este modelo en particular está propulsado por un motor bóxer a gasolina de 1600 centímetros cúbicos, el cual puede llevar el vehículo hasta 160 Km/h, así lo confirma el velocímetro mecánico instalado y los catálogos e información obtenida de este vehículo.

Para determinar el resto de parámetros se tuvo que consultar a un mecánico especialista en este tipo de vehículos. Según los datos obtenidos se concluyó que un motor estándar puede alcanzar hasta 4000 revoluciones por minuto y 100 grados centígrados, y aún puede considerarse que está en su franja nominal de trabajo.

Usando un GPS como medio de comprobación se pudo llevar al vehículo hasta 130 Km/h y no se continuó con las pruebas por considerar que se estaba conduciendo a una velocidad peligrosa.

Un tacómetro estándar marcó 3800 RPM y un termómetro infrarrojo alcanzó 95 °C a los 30 minutos de estar el motor en funcionamiento.

Considerando los parámetros consultados y los comprobados, se puede fijar como real la franja nominal determinada en un inicio y en base a ella se realizará el diseño de los sistemas de medición.

### **3.4 Identificación de los rangos fuera del régimen nominal del vehículo**

En el punto anterior se trataron los valores nominales de trabajo, pero este proyecto trata de evitar que el vehículo funcione fuera de esos rangos con una correcta instrumentación, razón por la cual también se consideraron los valores peligrosos a los cuales se puede llegar.

De acuerdo a la fuente consultada, los metales internos de un motor estándar no son capaces de soportar el estrés generado por el motor al girar a más de 4300 revoluciones por minuto, pudiéndose producir fisuras o fracturas de los componentes del motor. Del mismo modo, el aceite utilizado para lubricar el motor pierde sus propiedades químicas y produce una lubricación deficiente a partir de 115°C.

En cuanto a la velocidad, no se puede determinar con exactitud, pero los rodamientos y engranes de la transmisión están sometidos a un excesivo rozamiento aproximadamente a 160 Km/h. Además, al poseer una caja de cambios de 4 velocidades, el conducir a más de 150 Km/h llevaría el motor al límite de revoluciones considerado como seguro.

El nivel de combustible no es considerado un parámetro peligroso, pero por seguridad se recomienda no circular con un nivel inferior al 15% ya que las impurezas se decantan en el fondo del tanque y pueden causar fallas en el sistema de admisión de combustible.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN**

#### **4.1 Estudio de los sistemas del vehículo**

Como se trató en el capítulo anterior, el vehículo no posee ningún sistema electrónico de medición, los únicos parámetros medidos son la velocidad, la distancia recorrida y el nivel de combustible por medio de instrumentos mecánicos, ineficientes, inexactos y carentes de la posibilidad de calibración. Lo único que se va a utilizar de estos instrumentos es una parte del velocímetro que va acoplada a la cadena que posee dos ejes que giran proporcionalmente a la velocidad del vehículo. Los cuales serán utilizados para medir la velocidad y la distancia recorrida.

#### **4.2 Consideraciones generales para la medición**

Antes de empezar con el diseño del sistema de medición, hay que tener en cuenta que dicho sistema va a ser montado y alimentado de la red eléctrica de un vehículo, un ambiente conocido como de alto grado de interferencia eléctrica. Razón por la cual es necesario diseñar primero un buen sistema de alimentación de nuestros circuitos.

El ruido eléctrico producido en la fuente de alimentación puede ser eliminado fácilmente mediante la utilización de filtros. Sin embargo, hay instantes donde la carga propia del vehículo provoca una caída de tensión tal, que es capaz de bloquear o causar un funcionamiento errático de los circuitos digitales del sistema.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el módulo principal va a estar montado en un lugar expuesto a altas temperaturas y vibraciones constantes, para lo cual se buscó la mejor ubicación y fijación del módulo. Además, hay que recordar que la premisa de este proyecto es no alterar la funcionalidad un la instalación original del vehículo.

### **4.3 Diseño general del sistema integrado de medición**

En cualquier sistema de instrumentación, principalmente automotriz, el primer obstáculo a vencer es la interferencia eléctrica. Como se mencionó al estudiar el estado actual del vehículo, el sistema de encendido es la mayor fuente de ruido eléctrico, sin entrar en el campo de la electrónica, se instaló un sistema de encendido electrónico y un juego de cables de bujías supresivos de 8 milímetros, lo que redujo casi completamente la incidencia de la interferencia, principalmente sobre el funcionamiento de los microcontroladores.

Eliminada la fuente de interferencia, se simplifica en gran medida el diseño del sistema de medición.

#### **4.3.1 Diseño del sistema de medición de velocidad**

El diseño de esta sección consta de varias partes, el diseño del sensor en sí, la etapa de conversión y la de procesamiento.



El sensor de velocidad va conectado mecánicamente a la rueda delantera izquierda por medio de una cadena flexible, por lo tanto, se debe establecer una relación entre el giro de dicha rueda y la velocidad lineal del vehículo. Para ello necesitamos conocer la medida de la llanta para poder hacer los cálculos necesarios. Estos cálculos solamente nos van a dar un valor aproximado de la velocidad, el ajuste fino se lo realizará en la etapa final por medio de un GPS. La gran ventaja que posee este sistema de medición es que al estar gobernado por software, es fácilmente calibrable.

La llanta montada actualmente en el vehículo es 205/55R16, se puede calcular su diámetro por medio de estas medidas, pero al hacerlo de esta manera no estaríamos considerando el efecto del peso sobre la llanta y causaríamos un error en la medición. Se midió el radio de la llanta de manera manual, su dimensión es de 30 cm. Dato con el cual podemos calcular fácilmente el perímetro de la rueda.

$$p = 2 \times \pi \times r$$

$$p = 2 \times \pi \times 0,3$$

$$p = 1,88 \text{ m}$$

Teniendo el perímetro externo de la llanta se puede conocer cuántas revoluciones tiene que dar para avanzar 1 Km.

$$\frac{rev}{Km} = \frac{1000}{p}$$

$$\frac{rev}{Km} = \frac{1000}{1,88}$$

$$\frac{rev}{Km} = 530,52 \approx 531$$

Ahora se puede calcular cuántas revoluciones dará la rueda por minuto y por segundo de acuerdo a la velocidad del vehículo.

$$\frac{rev}{min} = \frac{velocidad \times \frac{rev}{Km}}{60}$$

$$rev/seg = \frac{rev/min}{60}$$

<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Velocidad rueda (rev/min)</b>	<b>Velocidad rueda (rev/seg)</b>
5	44,25	0,74
10	88,50	1,48
15	132,75	2,21
20	177,00	2,95
25	221,25	3,69
30	265,50	4,43
35	309,75	5,16
40	354,00	5,90
45	398,25	6,64
50	442,50	7,38
55	486,75	8,11
60	531,00	8,85
65	575,25	9,59
70	619,50	10,33
75	663,75	11,06
80	708,00	11,80
85	752,25	12,54
90	796,50	13,28
95	840,75	14,01
100	885,00	14,75
105	929,25	15,49
110	973,50	16,23
115	1017,75	16,96
120	1062,00	17,70
125	1106,25	18,44
130	1150,50	19,18
135	1194,75	19,91
140	1239,00	20,65
145	1283,25	21,39
150	1327,50	22,13
155	1371,75	22,86
160	1416,00	23,60

165	1460,25	24,34
170	1504,50	25,08
175	1548,75	25,81
180	1593,00	26,55

**Tabla 4.1.** Relación entre la velocidad de rotación de la rueda y la velocidad del vehículo

Esta tabla será de mucha utilidad posteriormente para la calibración del sensor y para nuevos cálculos.

#### 4.3.1.1 Diseño del sensor

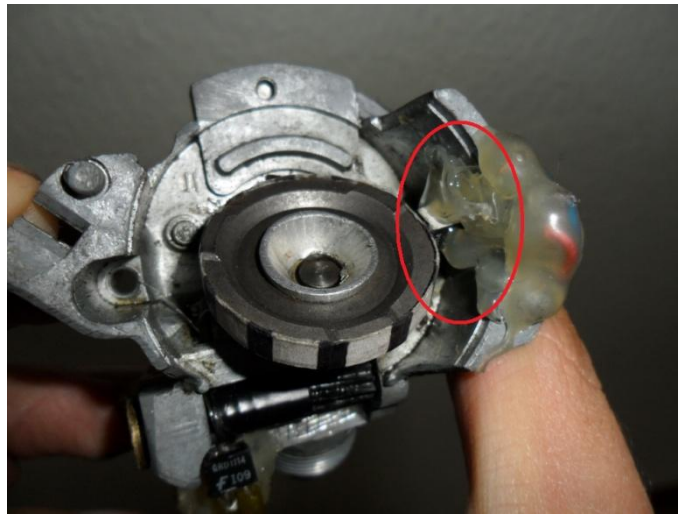
Tenemos como parámetro conocido la velocidad de giro de la rueda, se necesita determinar cuántos pulsos queremos que se generen cada revolución de acuerdo a la frecuencia que se necesite que ingrese al conversor. El conversor que se va a usar soporta señales de frecuencia de hasta 10 KHz sin problemas, pero para evitar problemas de ruido y tener una respuesta lineal trabajaremos a frecuencias muy bajas, menores a 1 KHz.



**Figura 4.1.** Sección del velocímetro mecánico que se usará para el sensor de velocidad.

El diseño del sensor para el velocímetro consta en generar la cantidad necesaria de pulsos para producir la frecuencia correcta que ingresará en el

conversor y la forma de crear dichos pulsos. Se puede utilizar un sensor de efecto hall pero la limitante en este caso es el espacio reducido. La opción más viable por la rápida respuesta que presenta y por el mínimo espacio que ocupa es un sensor óptico infrarrojo de tipo reflectivo. Y en el disco del velocímetro original se colocarán una serie de marcas negras sobre un fondo blanco.



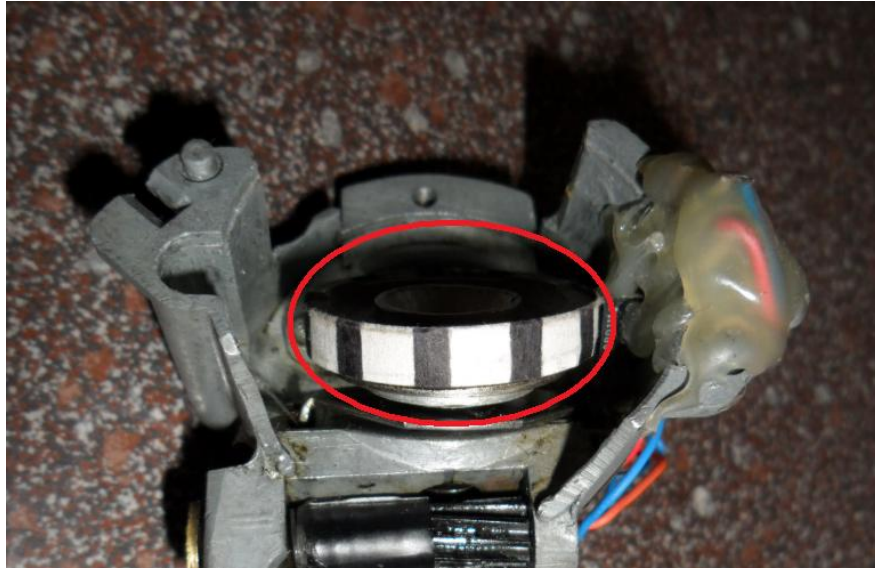
**Figura 4.2.** Montaje del sensor óptico en el velocímetro mecánico

De acuerdo a la tabla sabemos que a 180 Km/h la llanta girará 27 veces en un segundo, al multiplicar este valor por el número de marcas en el disco obtenemos la frecuencia que va a entrar al conversor. Para obtener una frecuencia máxima de 300 Hz vamos a hacer 11 marcas.

<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Velocidad rueda (rev/seg)</b>	<b>Frecuencia generada (Hz)</b>
5	0,74	8,1125
10	1,48	16,225
15	2,21	24,3375
20	2,95	32,45
25	3,69	40,5625
30	4,43	48,675
35	5,16	56,7875
40	5,90	64,9

45	6,64	73,0125
50	7,38	81,125
55	8,11	89,2375
60	8,85	97,35
65	9,59	105,4625
70	10,33	113,575
75	11,06	121,6875
80	11,80	129,8
85	12,54	137,9125
90	13,28	146,025
95	14,01	154,1375
100	14,75	162,25
105	15,49	170,3625
110	16,23	178,475
115	16,96	186,5875
120	17,70	194,7
125	18,44	202,8125
130	19,18	210,925
135	19,91	219,0375
140	20,65	227,15
145	21,39	235,2625
150	22,13	243,375
155	22,86	251,4875
160	23,60	259,6
165	24,34	267,7125
170	25,08	275,825
175	25,81	283,9375
180	26,55	292,05

**Tabla 4.2.** Frecuencia vs. Velocidad



**Figura 4.3.** Ubicación de las marcas en el disco

Al utilizar un sensor infrarrojo de barrera, tenemos 4 cables que conectar, el ánodo y cátodo del transmisor, y el emisor y colector del receptor. La conexión de estos cables se la realizará en capítulos posteriores.

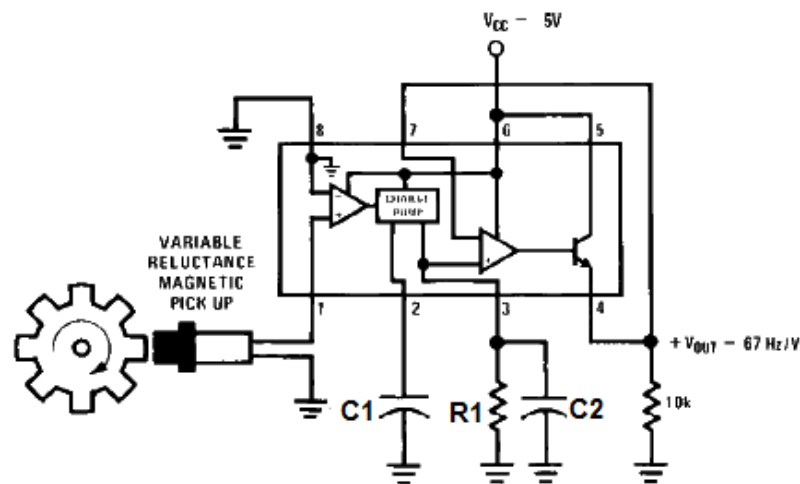
#### 4.3.1.1 Diseño del conversor

Una vez elaborado el sensor con 11 marcas, se puede diseñar el conversor de frecuencia a voltaje para que entregue una salida analógica de hasta 5 voltios para que se pueda conectar directamente a uno de los canales analógicos del microcontrolador.

De acuerdo con la hoja técnica del conversor más sencillo, utiliza solamente una configuración de resistencias y capacitores para generar el voltaje requerido. Esta conversión se basa en una única ecuación:  $v_o = v_{cc} \times f_{in} \times R1 \times C1 \times k$

Donde  $V_{CC}$  es la tensión de alimentación,  $f_{in}$  es la frecuencia de la señal que ingresa al conversor,  $R_1$  y  $C_1$  son los componentes que configuran la salida del conversor, y  $k$  es la ganancia dada por el conversor, generalmente es igual a 1.

La forma más básica de la configuración R-C se muestra en la siguiente figura, el resto de componentes añadidos en el diseño sirven para mejorar la estabilidad y linealidad del conversor.



**Figura 4.4.** Configuración básica del conversor frecuencia-voltaje<sup>8</sup>

Conocemos que a una velocidad de 180 Km/h, el conversor debe entregar un máximo voltaje de salida, en el diseño asumiremos el valor de 4 voltios para no estar tan cercanos a límite superior y no entrar en problemas de saturación. Reemplazando los valores conocidos dentro de la ecuación, y asumiendo un valor de capacitancia comercialmente disponible, podemos hallar el valor de la resistencia necesaria.

<sup>8</sup> Imagen tomada de: Hoja técnica del conversor frecuencia voltaje LM2907

El valor de **C1** será de 20nF, puesto que en la hoja de datos solo restringe que debe ser mayor que 500pF, ya que dicho capacitor provee un nivel de compensación interna por el tiempo de carga.

Otra de las consideraciones importantes propuestas por el fabricante es el valor mínimo de resistencia **R1**, el valor de ésta resistencia debe ser alto para que la corriente que fluya por ella sea mínima. Si la intensidad de corriente supera un cierto umbral, la impedancia de salida se reduce considerablemente de manera lineal.

$$v_o = v_{cc} \times f_{in} \times R1 \times C1 \times k$$

$$4 = 5 \times 300 \times R1 \times 20nF \times 1$$

$$R1 = \frac{4}{5 \times 300 \times 20nF}$$

$$R1 = 133.000\Omega$$

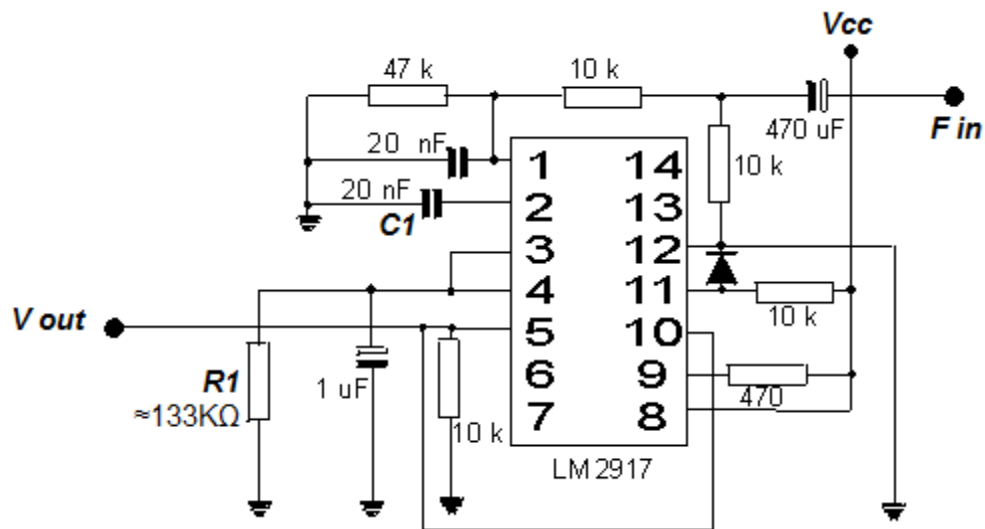
El valor de **R1** será de donde partiremos para realizar un ajuste más fino al conversor hasta obtener la salida deseada. Sin embargo, de acuerdo a las características propias del conversor, hay componentes adicionales que proveen principalmente estabilidad al sistema.

El valor del capacitor **C2**, debe ser el mínimo posible, ya que de él depende el tiempo que demora en estabilizarse la tensión de salida ante una variación de frecuencia en la entrada.

Adicionalmente, cuando se necesita que la salida del conversor no dependa de la tensión de alimentación, el conversor debe estar regulado mediante un diodo zener. Para escoger la resistencia de descarga hay que considerar que el



tacómetro en sí y el amplificador operacional contenidos en el conversor necesitan solamente 3mA que son provistos por el diodo zener. En nuestro caso en particular, hemos escogido una resistencia de  $470\Omega$  para reducir al mínimo la variación de voltaje en el diodo zener.



**Figura 4.5.** Configuración completa del conversor para el velocímetro

**Descripción del patillaje del conversor:**

1. Entrada de la señal de frecuencia
2. Capacitor de descarga
4. Entrada del comparador
5. Tensión de salida
8. Alimentación (vcc)
12. Tierra

<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Frecuencia generada (Hz)</b>	<b>Salida del conversor (V)</b>
5	55	0,135
10	110	0,245
15	165	0,355
20	220	0,465
25	275	0,575
30	330	0,685
35	385	0,795
40	440	0,905
45	495	1,015
50	550	1,125
55	605	1,235
60	660	1,345
65	715	1,455
70	770	1,565
75	825	1,675
80	880	1,785
85	935	1,895
90	990	2,005
95	1045	2,115
100	1100	2,225
105	1155	2,335
110	1210	2,445
115	1265	2,555
120	1320	2,665
125	1375	2,775
130	1430	2,885
135	1485	2,995
140	1540	3,105
145	1595	3,215
150	1650	3,325
155	1705	3,435
160	1760	3,545
165	1815	3,655
170	1870	3,765
175	1925	3,875
180	1980	3,985

**Tabla 4.3.** Voltaje de salida vs. Velocidad

#### 4.3.1.1 Diseño de la etapa del procesamiento

Este punto se refiere específicamente a los cálculos necesarios para poder transformar en voltaje entregado por el conversor, que ingresa al canal analógico del microcontrolador a un valor equivalente en velocidad.

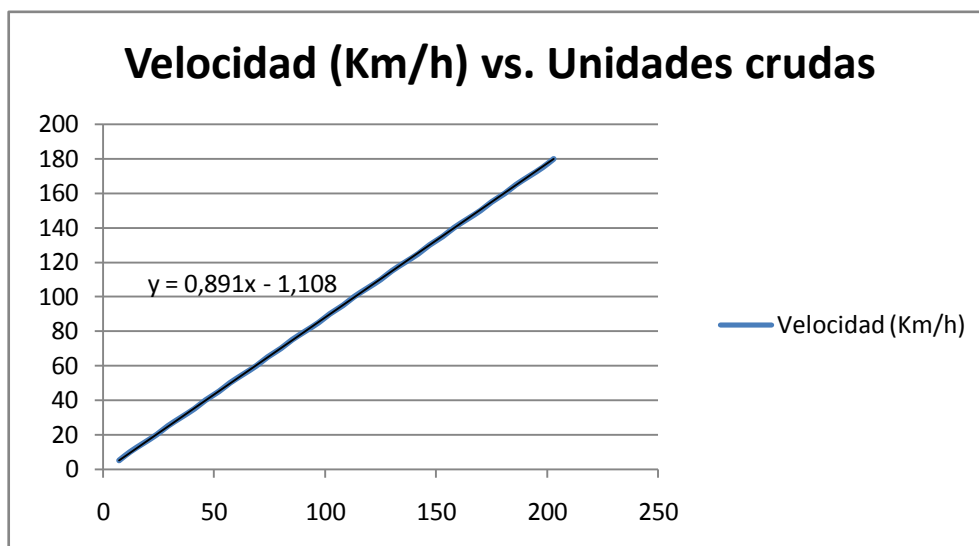
En el microcontrolador se van a configurar todos los canales analógicos como de 8 bits, lo que significa que en unidades crudas vamos a tener una variación entre 0 y 255. El conversor de frecuencia a voltaje estará alimentado por la misma fuente común de 5 voltios, por lo tanto, según la configuración de resistencias usada, tendremos una salida de hasta 4 voltios. Lo que en unidades crudas significa 204. Ahora sabemos que el conversor ADC del microcontrolador tendrá que procesar un valor entre 0 y 204, que corresponde directa y linealmente a la velocidad actual del vehículo.

En la siguiente tabla se muestra la velocidad como variable dependiente del valor de las unidades crudas, haciendo la regresión del gráfico obtenemos la ecuación para determinar el valor de la velocidad en kilómetros por hora.

<i>Unidades crudas</i>	<i>Velocidad (Km/h)</i>
7	5
12	10
18	15
24	20
29	25
35	30
41	35
46	40
52	45
57	50
63	55
69	60
74	65

80	70
85	75
91	80
97	85
102	90
108	95
113	100
119	105
125	110
130	115
136	120
142	125
147	130
153	135
158	140
164	145
170	150
175	155
181	160
186	165
192	170
198	175
203	180

**Tabla 4.4.** Velocidad vs. Unidades crudas



**Figura 4.6.** Gráfico de la velocidad vs. Unidades crudas

En el gráfico podemos observar que la ecuación que describe la velocidad es:  $y = 0,891 \cdot x - 1,108$ , de donde  $y$  es el valor de la velocidad en kilómetros por hora y  $x$  es el valor de la velocidad en unidades crudas. En el programa de microcontrolador, dentro de la subrutina de medición de velocidad, ésta es la fórmula que tenemos que usar para conocer la velocidad de acuerdo al valor leído en el canal analógico.

A continuación se muestra una sección del código correspondiente a la medición de la velocidad.

```
Void velocimetro() // Función para obtener la velocidad en Km/h
{
set_adc_channel(0); // Configuración del canal analógico 0 conectado al sensor
delay_us(2500);
vel=read_adc(); // La variable 'vel' se almacena el valor leído en unidades crudas
if (vel<2)
vel=2;
aux_vel=(0.891*vel)-1.108; // 'aux_vel' sirve como auxiliar para el cálculo
vel=aux_vel;
}
```

La sección del código mostrada solamente aplica la ecuación que previamente habíamos determinado en el valor obtenido del canal analógico del microcontrolador.

Por medio de programación se añadió una condición para evitar que el valor de la velocidad sea negativo.

### **4.3.2 Diseño del sistema de medición de la velocidad de giro del motor**

El diseño de esta sección no posee ningún sensor como tal, la señal de pulsos se la tomará directamente de la bobina de encendido y se la introducirá a un conversor de frecuencia a voltaje. La salida de voltaje de este conversor ingresará a otra de las entradas analógicas del microcontrolador para ser procesada según se requiera.

Al igual que en el diseño del sistema de medición de la velocidad, éste sistema también está conformado en partes, un conversor de frecuencia a voltaje y una etapa de procesamiento.

#### **4.3.2.1 Diseño del conversor**

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el distribuidor activa la bobina de encendido dos veces por cada revolución del motor, sabiendo esto resulta sencillo calcular la frecuencia en hertzios de esa señal. La velocidad de giro del motor se mide en revoluciones por minuto, para conocer la frecuencia de la señal pulsante debemos dividir el valor en RPMs para 60, para saber a cuántas revoluciones gira el motor cada segundo y a éste valor se debe multiplicarlo por dos, debido a que se producen dos pulsos por revolución, lo que significa que debemos dividir el valor en RPMs para 30 para obtener la frecuencia de la señal. Realizando esta operación para un rango de 0 a 7500 revoluciones por minuto obtenemos la siguiente tabla.

<b>Velocidad de giro (RPM)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
0	0
150	5
300	10
450	15
600	20
750	25
900	30
1050	35
1200	40
1350	45
1500	50
1650	55
1800	60
1950	65
2100	70
2250	75
2400	80
2550	85
2700	90
2850	95
3000	100
3150	105
3300	110
3450	115
3600	120
3750	125
3900	130
4050	135
4200	140
4350	145
4500	150
4650	155
4800	160
4950	165
5100	170
5250	175
5400	180
5550	185
5700	190
5850	195

6000	200
6150	205
6300	210
6450	215
6600	220
6750	225
6900	230
7050	235
7200	240
7350	245
7500	250

**Tabla 4.5.** Frecuencia vs. Velocidad de giro del motor

Con este rango obtenido de frecuencias podemos observar que se asemeja al obtenido en el sensor de velocidad, por tanto, el único componente diferente será la resistencia **R1**, el resto de elementos, incluso los que brindan estabilidad y linealidad al conversor, serán los mismos.

Lo que hay que obtener es una salida máxima de 5 voltios a 7500 RPM, para lo cual, solamente debemos variar la resistencia que controla el voltaje máximo de salida, al ser valores cercanos, la resistencia que controla la corriente se mantendrá igual.

$$v_o = v_{cc} \times f_{in} \times R1 \times C1 \times k$$

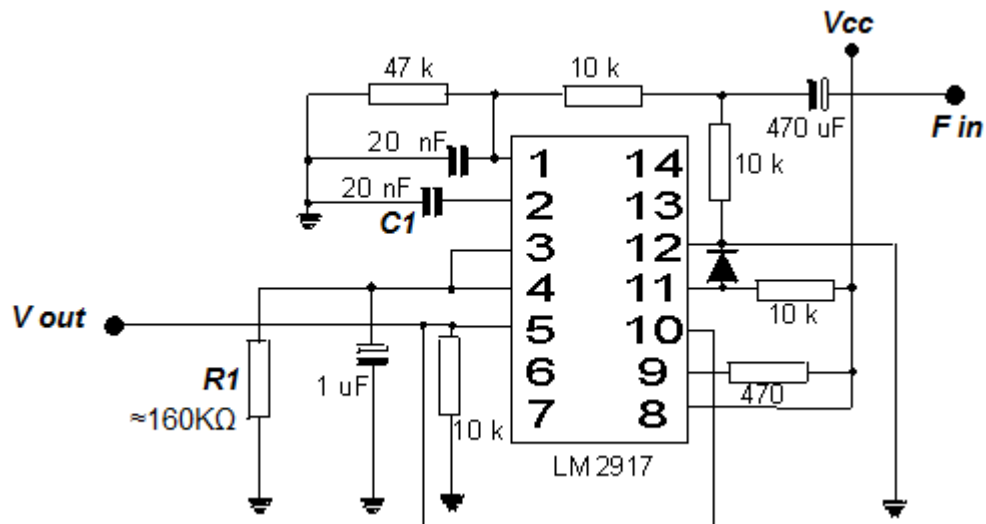
$$4 = 5 \times 250 \times R1 \times 20nF \times 1$$

$$R1 = \frac{4}{5 \times 250 \times 20nF}$$

$$R1 = 160.000\Omega$$



De la misma manera que con el diseño del convertor para el velocímetro, éste es un valor referencial a partir del cual vamos a partir para lograr el funcionamiento esperado del circuito.



**Figura 4.7.** Configuración completa del convertor para el tacómetro

#### 4.3.2.2 Diseño de la etapa de procesamiento

De acuerdo al rango de voltajes obtenido del cálculo del convertor de frecuencia a voltaje, hay que determinar una ecuación que defina la velocidad de giro del motor en RPMs de acuerdo al valor leído en el canal analógico del microcontrolador, dado en unidades crudas.

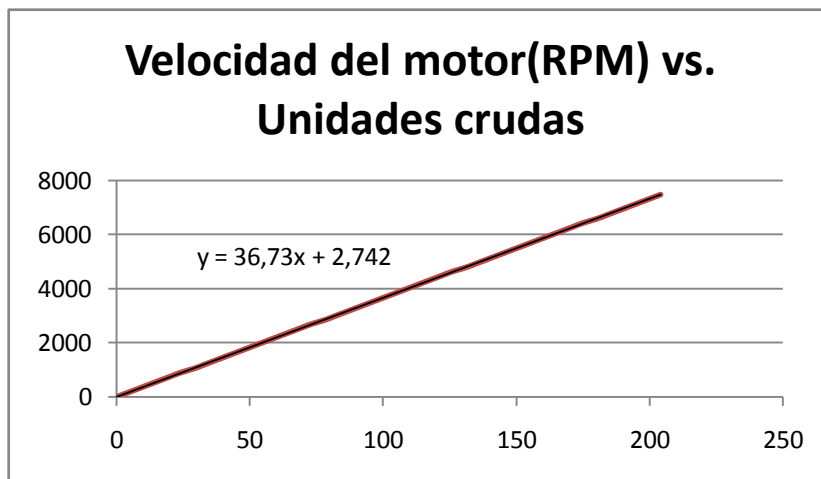
<b>Voltaje (V)</b>	<b>Unidades crudas</b>	<b>Velocidad de giro del motor (RPM)</b>
0,08	4	150
0,16	8	300
0,24	12	450
0,32	16	600
0,4	20	750

0,48	24	900
0,56	29	1050
0,64	33	1200
0,72	37	1350
0,8	41	1500
0,88	45	1650
0,96	49	1800
1,04	53	1950
1,12	57	2100
1,2	61	2250
1,28	65	2400
1,36	69	2550
1,44	73	2700
1,52	78	2850
1,6	82	3000
1,68	86	3150
1,76	90	3300
1,84	94	3450
1,92	98	3600
2	102	3750
2,08	106	3900
2,16	110	4050
2,24	114	4200
2,32	118	4350
2,4	122	4500
2,48	126	4650
2,56	131	4800
2,64	135	4950
2,72	139	5100
2,8	143	5250
2,88	147	5400
2,96	151	5550
3,04	155	5700
3,12	159	5850
3,2	163	6000
3,28	167	6150
3,36	171	6300
3,44	175	6450
3,52	180	6600
3,6	184	6750
3,68	188	6900

3,76	192	7050
3,84	196	7200
3,92	200	7350
4	204	7500

**Tabla 4.6.** Velocidad de giro del motor vs. Unidades crudas.

De la misma manera que con el sistema anterior, haciendo la regresión de la recta obtenida, podemos obtener el valor de la velocidad de giro del motor en revoluciones por minuto a partir del valor leído en el canal analógico del microcontrolador en unidades crudas.



**Figura 4.8.** Gráfico de la velocidad de giro del motor vs. Unidades crudas

En la sección del código correspondiente a la lectura del canal analógico usado para el tacómetro y su conversión en unidades de ingeniería, debemos introducir:  $y=36,73*x+2,74$ . Donde  $y$  es el valor de la velocidad angular del motor en RPM, y  $x$  es el valor leído de la entrada analógica del microcontrolador en unidades crudas.

```
void tacometro() // Función para la conversión a rpm's
{
set_adc_channel(3); // Configuración del canal 3 conectado al conversor
delay_us(2500);
aux_rpm=read_adc(); // Lectura del canal analógico en unidades crudas
aux_rpm=(aux_rpm*36.73)+2.74; // Conversión a unidades de ingeniería
}
```

#### 4.3.3 Diseño del sistema de medición del nivel de combustible

En el capítulo relacionado con los fundamentos teóricos del automóvil se explicó brevemente los métodos utilizados para medir o estimar el nivel de combustible, allí se determinó que los métodos más exactos son los métodos dinámicos combinados con los estáticos, donde no medimos únicamente el nivel, sino la cantidad de combustible que sale del tanque, ya que al usar solamente de los métodos estáticos podemos incurrir en errores debido al movimiento del líquido en el interior del tanque. Sin embargo, el introducir un flotador resistivo en el interior del tanque sigue siendo el método más ampliamente utilizado para cuantificar al combustible por su bajo costo y su facilidad de utilización.

En este proyecto se utilizó un flotador resistivo original para varios modelos de Volkswagen escarabajo ya que no precisa de ningún tipo de adaptación para ser instalado.

Para realizar el cálculo del diseño de este subsistema, es necesario conocer el rango de variación de resistencia del flotador, obteniéndose que con el tanque lleno presenta  $0\Omega$  y con el tanque vacío hay  $88\Omega$  entre sus terminales.

La variación de la resistencia es aparentemente proporcional al nivel de líquido en el tanque, sin embargo, esto se lo determinará posteriormente en el período de pruebas y calibraciones. En este capítulo lo que se busca es obtener un valor cuantificable que permita ubicar con certeza el nivel máximo y mínimo, cualquier ajuste que permita acercarse al valor real se lo realizará posteriormente por medio de software.

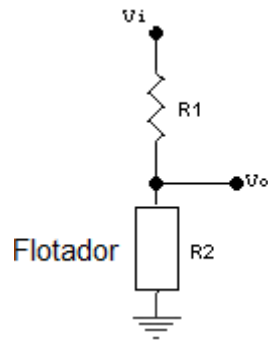
Al igual que el resto de subsistemas, está comprendido en dos partes, una etapa de amplificación y una de procesamiento.

#### 4.3.3.1 Diseño de la etapa del amplificador

En esta etapa se debe transformar la resistencia del flotador, variable de 0 a  $88 \Omega$  en una señal de voltaje comprendida entre 0 y 5 voltios. Para ello se necesita diseñar un circuito amplificador.

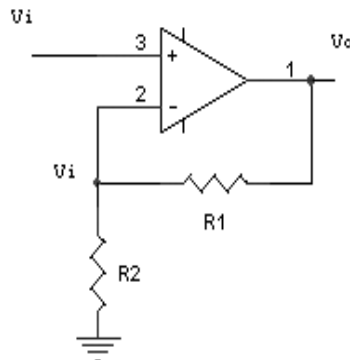
La principal premisa para el diseño de este circuito es que la corriente que circule por la resistencia del flotador debe ser mínima, ya que al estar en un ambiente saturado de los gases de combustible, puede ser altamente inflamable y se tiene que evitar el calentamiento o que se produzca una chispa en el interior del tanque.

Con esto claro, se conoce que la configuración más sencilla y que más se adapta a nuestra solución es un amplificador no inversor. Para obtener una tensión que se pueda introducir en el amplificador, hay que utilizar un divisor de voltaje, donde la resistencia fija ***R1*** es de  $1 \text{ k}\Omega$ . Con este valor de resistencia, la corriente aproximada que fluye por la resistencia del flotador será de  $5 \text{ mA}$ , un valor considerado seguro y que cumple con los principales parámetros de la premisa.



**Figura 4.9.** Configuración del divisor de tensión

Con esa configuración en el divisor de voltaje, tendremos una variación entre 0 y 0,4 voltios, con una ganancia de 10 el amplificador no inversor es suficiente, ya que no perderemos precisión al no usar el rango completo.



**Figura 4.10.** Configuración del amplificador no inversor

En la figura anterior vemos que solamente las resistencias  **$R_1$**  y  **$R_2$**  son las que fijan la ganancia del circuito, esta ganancia está definida por:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{in}$$

En el circuito usamos una relación entre resistencias de diez, ya que es más fácil conseguir valores comerciales en múltiplos de diez. Fijamos  $R1$  como 10 K $\Omega$ , y una resistencia de 1 K $\Omega$  para  $R2$ .

Con esta configuración obtenemos una ganancia igual a 11, conectando la salida del divisor de voltaje a la entrada del amplificador y manipulando manualmente la posición del flotador, obtenemos la siguiente tabla, que es un estimado de la salida de voltaje en base al porcentaje de combustible en el interior del tanque.

<b>Cantidad de combustible (%)</b>	<b>Salida del amplificador (V)</b>
0	4
5	3,8
10	3,6
15	3,4
20	3,2
25	3
30	2,8
35	2,6
40	2,4
45	2,2
50	2
55	1,8
60	1,6
65	1,4
70	1,2
75	1
80	0,8
85	0,6
90	0,4
95	0,2
100	0

**Tabla 4.7.** Voltaje vs. Porcentaje de combustible

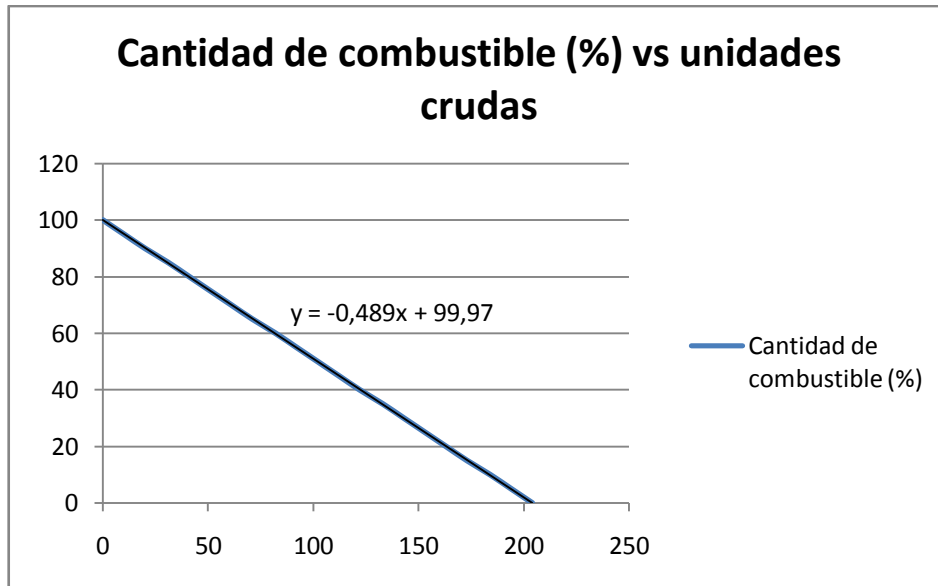
### 4.3.3.2 Diseño de la etapa de procesamiento

De acuerdo a la configuración diseñada para el amplificador, obtendremos un voltaje de 0 voltios cuando el tanque esté lleno y cerca de 4 voltios con el tanque vacío. Por lo que hay que realizar los cálculos para obtener una expresión que defina la cantidad de combustible en base al valor leído en la entrada analógica dado en unidades crudas.

Unidades crudas	Cantidad de combustible (%)
204	0
194	5
184	10
173	15
163	20
153	25
143	30
133	35
122	40
112	45
102	50
92	55
82	60
71	65
61	70
51	75
41	80
31	85
20	90
10	95
0	100

**Tabla 4.8.** Porcentaje de combustible vs. Unidades crudas





**Figura 4.11.** Porcentaje de combustible vs. Unidades crudas

De la gráfica obtenemos que la ecuación que define a la cantidad de combustible es:  $y = -0,489x + 99,97$ . Al introducir esta ecuación en el programa del microcontrolador obtenemos la cantidad de combustible de la manera en que necesitamos.

A continuación está la sección del código encargada de realizar la conversión entre el valor leído del canal analógico a un valor comprendido entre 0 y 100 para que pueda ser utilizado posteriormente.

```
void combustible() // Función para calcular el nivel de combustible
{
  set_adc_channel(1);

  delay_us(1500);

  gas=read_adc(); // Lectura del canal analógico conectado al flotador

  aux_gas=((-0.489)*gas)+99.97; // Conversión a un valor entre 0 y 100
}
```

```
gas=aux_gas;

if(gas>100) // Eliminación de errores por lecturas fuera del rango
{
gas=100;
error_gas=1;
}

if(gas<0)
gas=0;
}
```

Luego de todo el proceso, tenemos un valor comprendido entre 0 y 100, que es el que usaremos como base para la calibración. Adicionalmente, sabemos que la máxima resistencia que puede presentar el flotador es 88  $\Omega$ , por tanto también podemos determinar si ocurre alguna falla en el flotador si la resistencia excede ese valor, lo que se verá reflejado en un voltaje elevado, superior a 4 voltios. Esta condición de falla podrá ser mostrada posteriormente a manera de texto en el lcd.

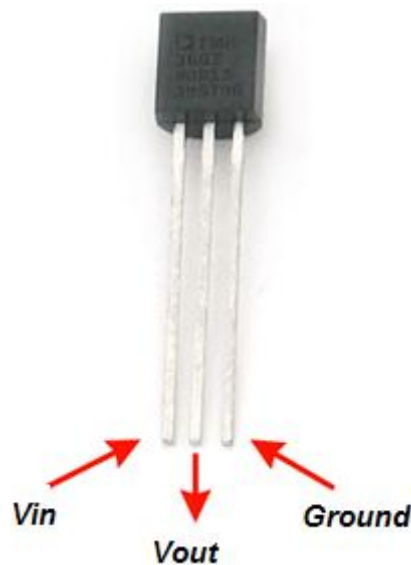
#### 4.3.4 Diseño del sistema de medición de temperatura del motor

Este sistema se convirtió en el más sencillo de diseñar, ya que se utilizó un sensor de temperatura electrónico lineal que entrega una salida de 10mV por cada grado Centígrado. Y puede ser utilizado directamente por la unidad de procesamiento.

#### 4.3.4.1 Diseño de la etapa de sensamiento

Aquí solamente se describe la forma cómo se va a conectar el sensor de temperatura. La polarización del sensor se la realiza directamente a 12 voltios, desde el positivo de la bobina de encendido ya que el sensor soporta hasta 30 V, la salida del sensor va conectada directamente a una de las entradas analógicas del microcontrolador principal y el procesamiento de la señal obtenida se lo realiza mediante el programa cargado en el uC.

El sensor de temperatura es similar al de la siguiente imagen, posee solamente tres patas de conexión, dos son para polarización y la otra entrega directamente una salida de voltaje analógico.



**Figura 4.12.** Conexión del sensor de temperatura

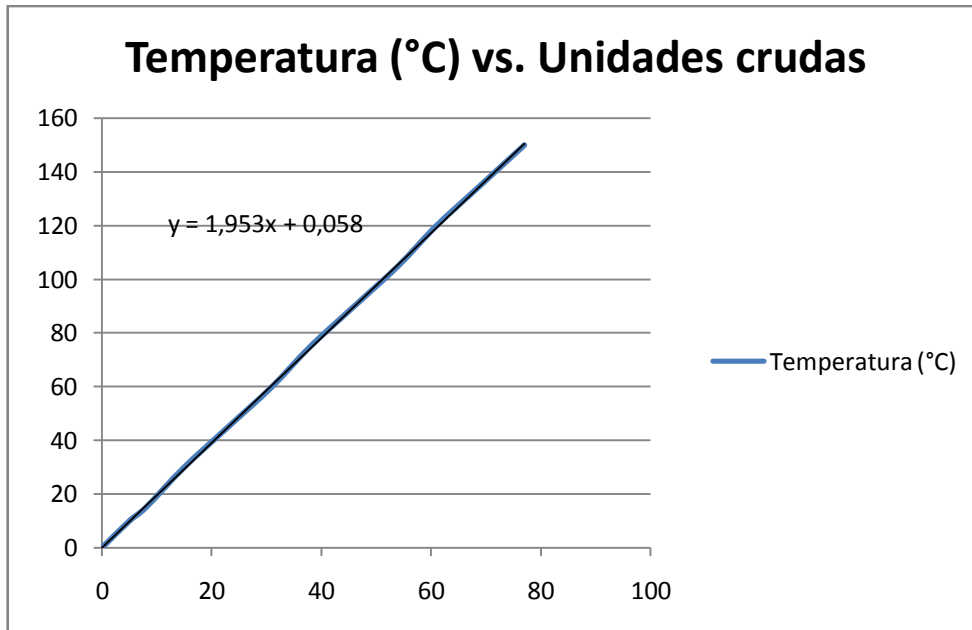
#### 4.3.4.2 Diseño de la etapa de procesamiento

El sensor lineal de temperatura facilita en gran medida el cálculo, solo hay que encontrar la expresión que defina a la temperatura en base a la tensión entregada por el sensor, por ejemplo, si la temperatura es de 25 °C, la salida del sensor será de 0,25 V. Para hacer el cálculo que nos permita obtener la magnitud de la temperatura hay que basarnos en las unidades crudas, ya que es así como el microcontrolador nos va a presentar los datos del canal analógico.

En la siguiente tabla está la temperatura medida en función del valor del canal analógico dado en unidades crudas y en función de la tensión entregada por el sensor, luego de la tabla, se muestra la gráfica que nos permitirá hacer la regresión y obtener la expresión que es la que usaremos en el programa del microcontrolador.

<i>Salida del sensor</i>	<i>Unidades crudas</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
0	0	0
0,1	5	10
0,15	8	15
0,3	15	30
0,45	23	45
0,6	31	60
0,75	38	75
0,9	46	90
1,05	54	105
1,2	61	120

**Tabla 4.9.** Temperatura vs. Unidades crudas



**Figura 4.13.** Gráfica de temperatura vs. Unidades crudas

De la regresión de la recta de la gráfica podemos observar que la ecuación que describe la temperatura es:  $y=1,953*x+0,058$ ; donde  $y$  es la temperatura y  $x$  es el valor del canal analógico en unidades crudas. En la parte del código que se muestra, se incluye la ecuación para obtener la magnitud de la temperatura en °C.

```
void temperatura() // Función para el cálculo de temperatura
{
  set_adc_channel(3); // Configuración del canal analógico conectado al sensor
  delay_us(1500);
  temp=read_adc(); // Lectura del canal analógico
  aux_temp=(1.953*temp)+0,058; // Conversión de temperatura a °C
  temp=aux_temp;
```

```
if(temp>100)      // Alerta de exceso de temperatura  
  
alerta_temp=1;  
  
}
```

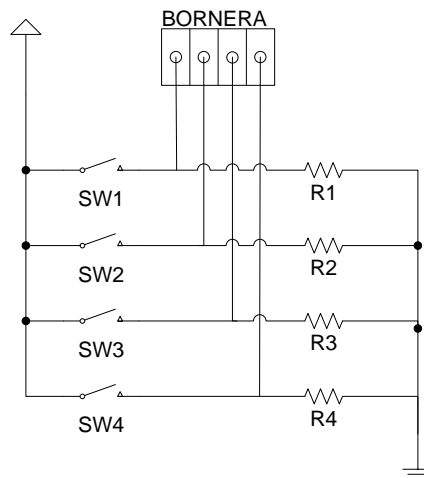
### 4.3.5 Diseño del sistema de medición de marchas

Éste es otro de los sistemas sencillos a diseñar, ya que no interviene ningún método sofisticado de medición.

Consta solamente de un arreglo de contactos de fin de carrera, ubicados estratégicamente en la base de la palanca de cambios, de los cuales se puede activar uno solo a la vez dependiendo de la ubicación de la palanca de cambios, el parámetro medido se mostrará en un display de 7 segmentos ubicado en el tacómetro.

#### 4.3.5.1 Diseño de la etapa de sensamiento

Como se explicó brevemente, el sensor consta solamente de varios pulsadores de fin de carrera ubicados en una base metálica que va fijada en la base de la palanca de cambios, al poner en una marcha al vehículo se activará uno de los pulsadores que gracias a la configuración utilizada, enviará un número binario al microcontrolador.



**Figura 4.14.** Arreglo de pulsadores del sensor de marchas

En estado de reposo, las cuatro entradas del microcontrolador estarán desactivadas, cuando se pulse cualquiera, una de ellas se activará.

#### 4.3.5.2 Diseño de la etapa de procesamiento

La lectura del arreglo de pulsadores se realiza mediante cuatro entradas discretas del microcontrolador, y para la visualización se usarán tres salidas discretas conectadas a un decodificador BCD a 7 segmentos. Se usarán solamente tres salidas ya que solamente se mostrará hasta cuatro, y tres bits son suficientes para ello.

Cuando ninguno de los pulsadores está activado, el microcontrolador recibirá un cero y enviará un cero al decodificador, según el pulsador que se active enviará 1, 2, 3 o cuatro según sea el caso.

En la sección de código que sigue se muestra la forma en que se procesa la señal y se toma la acción correspondiente.

```
void marchas()
{
if(input(pin_b4)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a primera
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B1);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
OUTPUT_LOW(PIN_B3);
marcha=1;
}
else if(input(pin_b5)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a 2º
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B3);
OUTPUT_LOW(PIN_B1);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
marcha=2;
}
else if(input(pin_b6)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a 3º
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B1);
OUTPUT_HIGH(PIN_B3);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
marcha=3;
```



```
}  
  
else if(input(pin_b7)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a 4º  
{  
    OUTPUT_HIGH(PIN_B2);  
    OUTPUT_LOW(PIN_B1);  
    OUTPUT_LOW(PIN_B3);  
    marcha=4;  
}  
  
Else // Cuando ningún pulsador está activo, se encuentra en neutral  
{  
    OUTPUT_LOW(PIN_B1);  
    OUTPUT_LOW(PIN_B3);  
    OUTPUT_LOW(PIN_B2);  
    marcha=0;  
}  
  
return;  
}
```

#### 4.3.6 Diseño del sistema de medición de la distancia recorrida

En la sección del diseño del sensor para el velocímetro calculamos que el radio externo de la rueda es de aproximadamente dos metros, en el velocímetro mecánico que usamos como sensor de velocidad encontramos un engrane que funcionaba para el odómetro mecánico, gira a razón de una vuelta por cada diez

vueltas que da la rueda, es decir que cada vuelta de ese engrane equivale a 20 metros, con esto se puede hacer una estimación de la distancia total recorrida en base al número de revoluciones de dicho engrane.

#### **4.3.6.1 Diseño del sensor**

Necesitamos saber cuántas vueltas da el engrane para saber qué distancia total se recorre, para ello acoplaremos un sensor infrarrojo que detecte una marca reflectiva en el engrane, la marca blanca no es rectangular, es ligeramente triangular, y gracias a esto va a marcar solamente la distancia recorrida hacia adelante.

Por la relación entre los engranes del velocímetro original, ya concluimos que el engrane gira una vez cada 10 vueltas de la rueda, con el sensor que genere pulsos en cada revolución del engrane solo es necesario hacer un programa que cuente estos pulsos y los convierta en distancia.



**Figura 4.15.** Ubicación del sensor óptico del odómetro

#### **4.3.6.2 Diseño de la etapa de procesamiento**

El desarrollo del programa que realice el cálculo de la distancia puede que sea uno de los más sencillos, pero también necesita hacer uso de recursos adicionales del microcontrolador para poder funcionar correctamente.

Se necesita usar una interrupción externa para poder contar el número de pulsos, además se necesita usar la memoria eeprom del microcontrolador para poder tener la cuenta total de distancia recorrida, sin que se pierda este valor por cada vez que se reinicia el sistema.

Este programa se divide en dos secciones, la interrupción externa y el odómetro en sí.

En la parte de la interrupción solamente se lleva un contador, cuando llega a 5, es decir, 100 metros, llama a la subrutina del odómetro.

```
#int_EXT

void EXT_isr(void) // Conteo de los pulsos del sensor del odómetro
{
if(aux_odo==5) // Cada 5 pulsos significa un avance de 100m
{
odo++;

odometro();

aux_odo=0;
}

aux_odo++;
}
```

En la sección del odómetro se crea un arreglo de 6 dígitos, que mostrarán un kilometraje de hasta 999999 Km, adicionalmente hay una variable extra que lleva la cuenta cada 100 metros, lo que extiende el rango hasta 999999,9 Km, al inicializar el pic, se leen las direcciones de la eeprom asignadas al kilometraje para iniciar la cuenta desde donde se quedó la última vez que se encendió el sistema.

Esta sección del código solamente es un contador que guarda cada dígito en una variable independiente y cuando se presenta algún cambio en alguno de los dígitos se guarda el nuevo valor en la memoria eeprom.

```
void odometro()
{
write_eeprom(0X2116,odo); // Este valor se actualize cada 100m
if(odo==10)
{
kil[5]++;
write_eeprom(0X2115,kil[5]); //Este valor representa a las unidades
if(kil[5]==10)
{
kil[5]=0;
kil[4]++;
aux_odo=0;
write_eeprom(0X2115,kil[5]);
write_eeprom(0X2114,kil[4]); //Este valor representa a las decenas
}
if(kil[4]==10)
{
kil[4]=0;
kil[3]++;
```

```
write_eeprom(0X2114,kil[4]);
write_eeprom(0X2113,kil[3]); //Este valor representa a las centenas
}
if(kil[3]==10)
{
kil[3]=0;
kil[2]++;
write_eeprom(0X2113,kil[3]);
write_eeprom(0X2112,kil[2]); //Este valor representa a las unidades de mil
}
if(kil[2]==10)
{
kil[2]=0;
kil[1]++;
write_eeprom(0X2112,kil[2]);
write_eeprom(0X2111,kil[1]); //Este valor representa a las decenas de mil
}
if(kil[1]==10)
{
kil[1]=0;
kil[0]++;
write_eeprom(0X2111,kil[1]);
```

```
write_eeprom(0X2110,kil[0]);  //Este valor representa a las centenas de mil
}
if(kil[0]==10)
{
kil[0]=0;
write_eeprom(0X2110,kil[0]);
}
odo=0;
}
for(k=0;k<6;k++)  //En la sección que sigue se garantiza que cada dígito no
exceda 9, que se puede producir por algún problema eléctrico
{
if(kil[k]>9)
kil[k]=9;
}
return;
}
```

#### 4.4 Selección de elementos involucrados en el sistema de medición

De acuerdo al diseño realizado en el presente capítulo, se hace necesario el uso de ciertos componentes electrónicos y mecánicos que serán descritos individualmente de acuerdo al subsistema al que pertenecen.

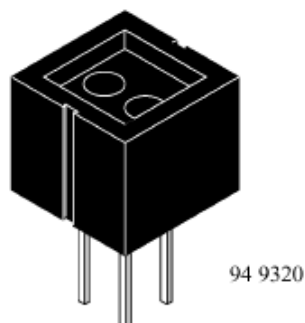
#### 4.4.1 Elementos usados en el velocímetro y odómetro

En el diseño quedó definido que se necesita un velocímetro mecánico, original de Volkswagen escarabajo, no posee especificaciones técnicas ya que todos los modelos se fabricaron con las mismas características.

Para la generación de pulsos para el velocímetro y odómetro se usaron sensores infrarrojos reflectivos, los más económicos y fáciles de encontrar son los CNY70, que son ampliamente utilizados en aplicaciones de robótica, y poseen características adecuadas para nuestra aplicación. A continuación se muestran las características principales que influyeron en la elección de este sensor.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión inversa	5	V
Potencia máxima	100	mW
Corriente de colector	50	mA
Temperatura de funcionamiento	-55 a 85	°C
Distancia de detección	<10	mm

**Tabla 4.10.** Características del sensor infrarrojo



**Figura 4.16.** Sensor infrarrojo utilizado



Para la conversión de los pulsos generados en el sensor de velocidad en un voltaje que se pueda interpretar se utilizó un conversor de frecuencia a voltaje. El que presentaba mejores características fue el LM2907.

La siguiente tabla muestra las principales características del conversor de frecuencia a voltaje.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	0 a 28	V
Disipación de potencia	1200	mW
Temperatura de funcionamiento	-40 a 85	°C
Frecuencia de trabajo	<10	KHz
Linealidad	±3	%

**Tabla 4.11.** Características del conversor frecuencia-voltaje

#### 4.4.2 Elementos usados en el tacómetro

El tacómetro no utiliza ningún sensor adicional, toma la señal pulsante de la bobina de encendido y la introduce directamente al conversor. El único elemento que utiliza el tacómetro es el conversor frecuencia-voltaje, y sus características ya se explicaron previamente ya que es el mismo conversor que utiliza el velocímetro.

#### 4.4.3 Elementos usados en el medidor de combustible

Para la medición de combustible se utiliza solamente un flotador y un amplificador para acondicionar el voltaje, la tabla siguiente muestra las características del flotador resistivo utilizado.

Parámetro	Valor	Unidades
Tanque lleno	0	$\Omega$
Tanque vacío	88	$\Omega$
Flotador averiado	infinito	$\Omega$

**Tabla 4.12.** Características del flotador resistivo

En el mercado hay una gran cantidad de amplificadores operacionales con características similares, se optó por el lm324 ya que no necesita una fuente bipolar y acepta un amplio rango de voltaje de alimentación.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	0 a 32	V
Tensión diferencial de entrada	0 a 32	V
Temperatura de funcionamiento	-40 a 85	$^{\circ}\text{C}$
Ganancia	<100	dB

**Tabla 4.13.** Características del amplificador operacional

#### 4.4.4 Elementos usados en el medidor de temperatura

El sistema de medición de temperatura solamente utiliza un sensor de tipo circuito integrado, el que mejores características posee y el que se adapta mejor al rango de temperatura a la que trabaja el motor del vehículo es el LM35. En la siguiente tabla se listan varias de las principales características de este sensor de temperatura.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	4 a 30	V
Temperatura de trabajo	-50 a 150	°C
Sensibilidad	10	mV/°C
Exactitud	0.5	°C
Impedancia de salida	0.1	$\Omega$

**Tabla 4.14.** Características del sensor de temperatura

#### 4.4.5 Elementos usados en el indicador de marchas

En este subsistema solamente se utilizan varios pulsadores de fin de carrera como sensores, en este caso no se consideraron sus características eléctricas ya que estos sensores están diseñados para conmutar corrientes de alrededor de 2 amperios, al usarlos en un circuito digital, ni siquiera se alcanzan los 50 mA, por lo tanto, no se está trabajando en el límite, sin embargo si se los escogió por su forma, ya que se adaptan perfectamente a la aplicación.

#### 4.4.6 Elementos usados en la unidad de control

La unidad de procesamiento está compuesta por dos microcontroladores, uno que hace la mayor parte del trabajo y otro que se lo usa solamente para la medición del combustible, principalmente en la etapa de la interfaz

El pic principal escogido es el 16F877A por su memoria, patillaje, y recursos adicionales, el pic secundario es el 16F88 que fue elegido por poseer un conversor ADC, del cual utilizaremos solamente un canal.

Las características del microcontrolador principal se muestran en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	2 a 5.5	V
Frecuencia del oscilador	<20	MHz
Número de pines	40	
Memoria	14.3	Kbytes
Conversor ADC	8	
Interrupción externa	si	
EEPROM	256	Bytes
Ciclos de lectura/escritura	100000	
Ciclos de lectura/escritura EEPROM	1000000	
Tiempo de retención de datos EEPROM	40	años
Módulos PWM	2	

*Tabla 4.15. Características del microcontrolador principal*

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	2 a 5.5	V
Frecuencia del oscilador	<20	MHz
Número de pines	18	
Memoria	7.168	Kbytes
Módulos PWM	1	

*Tabla 4.16. Características del microcontrolador secundario*

#### 4.5 Planos y diagramas para el sistema de medición

A continuación se muestra de manera general el circuito utilizado para el sistema de medición, aquí no se incluye ningún componente relacionado con la etapa de la interfaz, ni se muestra específicamente las conexiones entre dispositivos, eso se lo tratará más adelante.



## CAPÍTULO 5

### DISEÑO DE LA INTERFAZ

#### 5.1 Estudio del espacio físico del automóvil

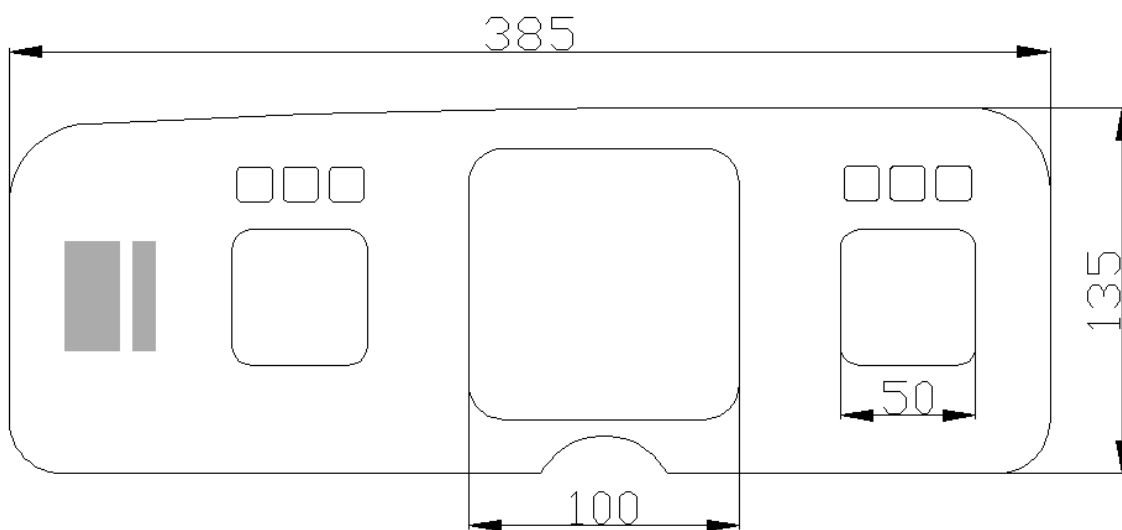
Antes de empezar el proyecto, se definió claramente que el nuevo sistema de instrumentación no debía alterar la funcionalidad ni la forma del vehículo, sabiendo esto, es necesario primero conocer las dimensiones del sistema original, para diseñar el nuevo sistema de instrumentación de tal manera que encaje en el mismo espacio, sin modificar.



**Figura 5.1.** Tablero de instrumentos original

La figura anterior es una fotografía del tablero actualmente instalado en el vehículo, a partir de este tablero se tomarán las medidas y formas necesarias para poder diseñar la nueva interfaz.

En la siguiente figura se muestra tanto las dimensiones como la forma del tablero, las dimensiones vienen dadas en milímetros.



**Figura 5.2.** Dimensiones del tablero de instrumentos original

El espacio cuadrado grande corresponde al velocímetro, el de la derecha es el medidor de combustible, y el de la izquierda es un espacio vacío destinado para la instalación de un reloj como accesorio de fábrica. Sobre los cuadrados pequeños están ubicadas las señales luminosas de alerta

Las dimensiones definidas en el gráfico corresponden a la parte frontal del tablero, en cuanto a profundidad no existe ninguna restricción ya que el espacio disponible es muy grande.

## 5.2 Recomendaciones generales para una interfaz automotriz

En el diseño de un sistema de instrumentación automotriz hay que tener muy en cuenta que debe ser muy sencillo de interpretar, con el fin de no distraer por mucho tiempo al conductor. Una interfaz está bien diseñada si el conductor es capaz de interpretar los parámetros importantes del vehículo con solo una ojeada al tablero de instrumentos.

De acuerdo con algunos criterios se podría dividir a los instrumentos en cuatro categorías. Instrumentos de control técnico, de control vial, alertas y alarmas.

Los instrumentos de control técnico nos permiten tener permanente conocimiento del estado del vehículo, dentro de esta categoría están los medidores de temperatura y presión de aceite, nivel de combustible y velocidad de giro del motor.

En lo que respecta a los instrumentos de control vial son los que relacionan a la dinámica del vehículo con el entorno, es decir, la medición de velocidad y distancia recorrida.

Las señales de alerta muestran el estado de alguno de los sistemas del vehículo, como el indicador de luces altas, puertas abiertas, etc.

Las señales de alarma advierten al conductor de un posible mal funcionamiento del vehículo, con el fin de que pueda tomar a tiempo las decisiones pertinentes. Aquí van indicadores como: desgaste en pastillas de frenos, exceso de temperatura, deficiencia de presión de aceite, nivel de combustible bajo, falla en el sistema de carga, etc.



Actualmente, los colores, formas y tamaños de los indicadores no se escogen al azar, siguen de cierta manera algún tipo de normativa, siendo los indicadores de alarma los que más atención merecen ya que su ausencia, falla o mala interpretación puede ser causa de accidentes o averías serias.

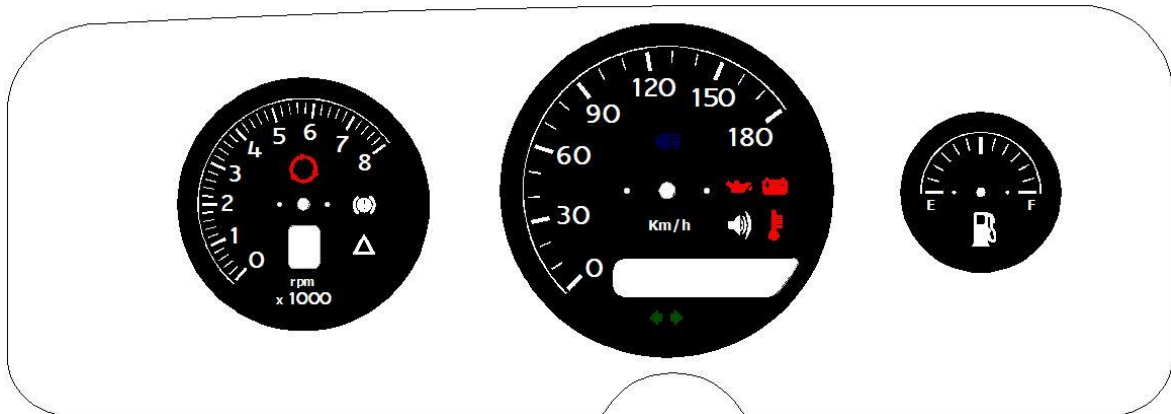
Como en todo sistema de instrumentación, el primer parámetro a tener en cuenta es el color, para los indicadores de alarma se usó color rojo con la forma de algún elemento del sistema que representa, para las alertas se usó rojo, verde y azul, para el resto de indicadores se utilizó texto blanco sobre un fondo negro ya que contrasta bien y no cansa la vista del conductor.

El tamaño de los números de los indicadores debe ser lo suficientemente grande para que pueda ser leído con rapidez y la visibilidad de los indicadores no debe estar obstruida por elementos como el volante.

En el diseño de la nueva interfaz, se va a respetar el tamaño y la ubicación de los instrumentos de tal manera que no altere la forma del cuadro que los encierra, pero se va a modificar su forma a redonda ya que de esta manera es más fácil e intuitivo asimilar la información mostrada.

El diseño de los indicadores se lo realizó en su totalidad en Autocad 2006, ya que se necesitaba tener una gran precisión en cuanto a formas, ángulos y dimensiones, las plantillas fueron impresas en papel fotográfico para garantizar una óptima calidad de impresión.

La figura siguiente nos permite tener una idea de cómo va a quedar la nueva interfaz. En los temas posteriores se explicará el cómo y porqué del diseño de las interfaces para cada instrumento.



**Figura 5.3.** Diseño de la interfaz

### 5.2.1 Diseño del velocímetro y odómetro

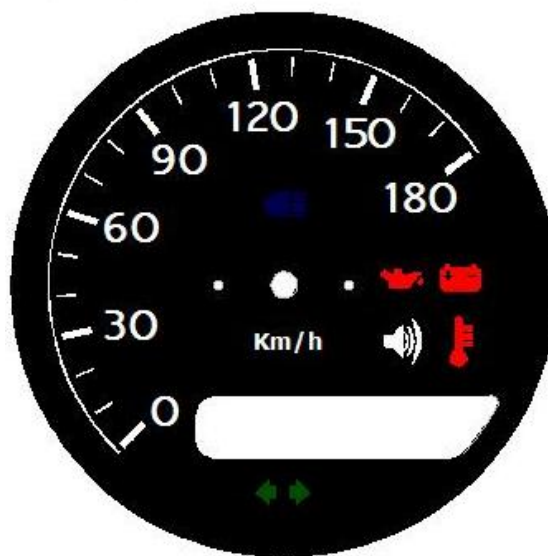
Como en la mayoría de los vehículos, se va a ensamblar el velocímetro y el odómetro en un solo indicador, además de algunas señales luminosas de alarma, el velocímetro es de apariencia analógica, la aguja que marca la velocidad está controlada por un servomotor cuyo rango de giro está limitado a 180 grados, por ello, entre las marcas de velocidad mínima y máxima hay 180 grados.

Generalmente se diseña cualquier sistema de instrumentación para que trabaje a media escala, como la velocidad máxima permitida es 90 Km/h, ésta será la velocidad cuando la aguja se mueva 90 grados, la velocidad máxima es de 180 Km/h. la mayoría de los servomotores tienen un rango de movimiento mayor de 180 grados, pero con el fin de evitar que trabaje en los extremos y se pueda producir desgaste en los engranes internos se usará 180 grados como máximo.

Este sistema de medición es para un auto de calle, cuyo motor tiene una potencia aproximada de 60 hp, por lo que conocer la velocidad de giro del motor no es un parámetro tan crítico como en motores de mayor potencia. Por este

motivo tener conocimiento de la velocidad tiene mayor prioridad, el velocímetro es el indicador que tiene mayor tamaño y ocupa la posición central en el tablero.

Para aprovechar al máximo el espacio disponible, en el velocímetro también se muestran el indicador de carga deficiente, de exceso de temperatura, y de ausencia de presión de aceite, además del indicador de luces altas y de luces intermitentes. También va alojado en su interior un lcd de 16x2 caracteres, utilizado para mostrar el kilometraje recorrido y la temperatura del motor. Esta última parte es muy flexible y se puede configurar para visualizar en forma de texto cualquiera de las variables que intervienen en el sistema de medición.



*Figura 5.4.* Diseño de la interfaz del velocímetro

### 5.2.2 Diseño del tacómetro

Los grandes fabricantes de automóviles ponen mucho énfasis en conocer a cada momento el estado del motor y prolongar su vida útil. Una de las formas más

sencillas es tener conocimiento permanente de su velocidad de giro para poder realizar los cambios correctamente al régimen de revoluciones adecuado. En la siguiente fotografía se puede observar el tacómetro de un auto moderno que a más de su función normal, también incluye un display que permite conocer en qué cambio se encuentra el vehículo, cosa que puede resultar de gran ayuda, principalmente para conductores inexpertos.



**Figura 5.5.** Tacómetro de un Ferrari moderno<sup>9</sup>

Para el diseño de la interfaz del sistema de medición de la velocidad de giro del motor se ha tomado como base esta idea de los diseñadores de Ferrari y se ha incluido un indicador de marchas en el interior del tacómetro. Este indicador

---

<sup>9</sup> Imagen tomada de:  
[http://images.motortrend.com/features/travel/112\\_0711\\_06z+ferrari\\_f430+gauge\\_cluster\\_view.jpg](http://images.motortrend.com/features/travel/112_0711_06z+ferrari_f430+gauge_cluster_view.jpg)

consta de un display de 7 segmentos que indicará con números del 0 al 4 las marchas del vehículo, siendo 0 el estado neutral.

De la misma manera que el velocímetro también consta de varios indicadores luminosos de alerta, como son el indicador de luces de parqueo, de freno de emergencia y de límite permitido de revoluciones, que se encenderá cuando el motor sobrepase un límite establecido. Este límite viene dado por software y no es configurable vía hardware ya que lo que se busca es prolongar la vida útil del motor no sobrepasando el régimen de revoluciones según el fabricante y no según el criterio del conductor.

La diferencia en ángulo entre la medida mínima y máxima es de 180 grados ya que también se usará un servomotor que controle la aguja.



**Figura 5.6.** Diseño de la interfaz del tacómetro

Cuando definimos los rangos de trabajo del motor quedó establecido que puede alcanzar hasta 4300 RPM, sin embargo se diseñó la interfaz con un rango hasta 8000 RPM para que se pueda montar sin inconvenientes otro motor con

mejores prestaciones o se pueda instalar este tablero en otro vehículo con otras características.

### 5.3.3 Diseño del indicador de combustible

La interfaz para el sistema de medición de combustible es la más sencilla porque, las otras interfaces ya poseen todos los indicadores necesarios, además de que no se dispone de mucho espacio. El servomotor usado para controlar la aguja de este medidor posee las mismas características de los anteriores, por lo tanto hay que limitar que el ángulo entre las marcas de nivel mínimo y máximo sea de 180 grados.

Al no tener otra función adicional a la del indicador de combustible, su tamaño es reducido, y se colocará a la derecha del velocímetro, pudiendo estar obstruido parcialmente por el volante.

A simple vista no se ve pero el ícono que representa al combustible se enciende cuando el nivel baja de un umbral mínimo establecido previamente por software luego de la etapa de calibraciones.



**Figura 5.7.** Diseño de la interfaz del medidor de combustible

### 5.3 Selección de los elementos a usarse en la interfaz

El diseño de la interfaz no solamente se refiere a la impresión de los medidores en sí, sino también a la selección de los elementos que posteriormente se utilizarán para unir el sistema de medición con la interfaz.

Visto de esta manera, al diseñar la interfaz, estamos creando completamente los instrumentos que van a ser montados en el tablero del vehículo, solamente que carecen de cualquier sistema de control.

#### 5.3.1 Elementos usados en el velocímetro y odómetro

Al diseñar la interfaz del velocímetro se dijo que a más de mostrar la velocidad, también se mostrará el kilometraje recorrido, para ello se hace necesario el uso de un lcd de texto, cuyas características principales se definen a continuación.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	4 a 6	V
Número de terminales	16	
Controlador	H44780	
Retro iluminación	Si	
Número de caracteres	16x2	
Color de iluminación	Azul	

**Tabla 5.1.** Características del LCD utilizado

Para poder visualizar la medición de la velocidad se necesita un servomotor, cuyas características se describen posteriormente, la limitante para el uso de estos servos es que tienen que ser de tamaño reducido.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión de alimentación	4 a 6	V
Banda muerta	2	uS
Velocidad de giro	0,6	Rad/seg
Ancho de pulso mínimo	0,5	Ms
Ancho de pulso máximo	2	ms

**Tabla 5.2.** Características del servomotor utilizado

Para los indicadores luminosos adicionales, se utilizarán leds blancos comunes, cuya corriente de funcionamiento es de aproximadamente 20 mA y pueden ser conectados directamente a las salidas del microcontrolador o por medio de resistencia reemplazando a los focos incandescentes del tablero original.

### 5.3.1 Elementos usados en el tacómetro

Este instrumento también utiliza un servomotor, cuyas características ya fueron definidas en el apartado anterior.

Para el indicador de marchas utiliza un display de 7 segmentos de cátodo común que será controlado por un decodificador BCD a 7 segmentos, las especificaciones del LCD se listan posteriormente.

Parámetro	Valor	Unidades
Tensión inversa	10	V
Corriente	15	mA



Tipo de conexión	Cátodo común	
Número de terminales	10	
Tecnología	Led	

**Tabla 5.3.** Características del display utilizado

### 5.3.1 Elementos usados en el medidor de combustible

El único elemento electrónico que utiliza este instrumento para su visualización es un servomotor, de similares características que el velocímetro y el tacómetro, de manera que no es necesario establecer nuevamente sus especificaciones técnicas.

### 5.4 Diagramas de conexión de la interfaz

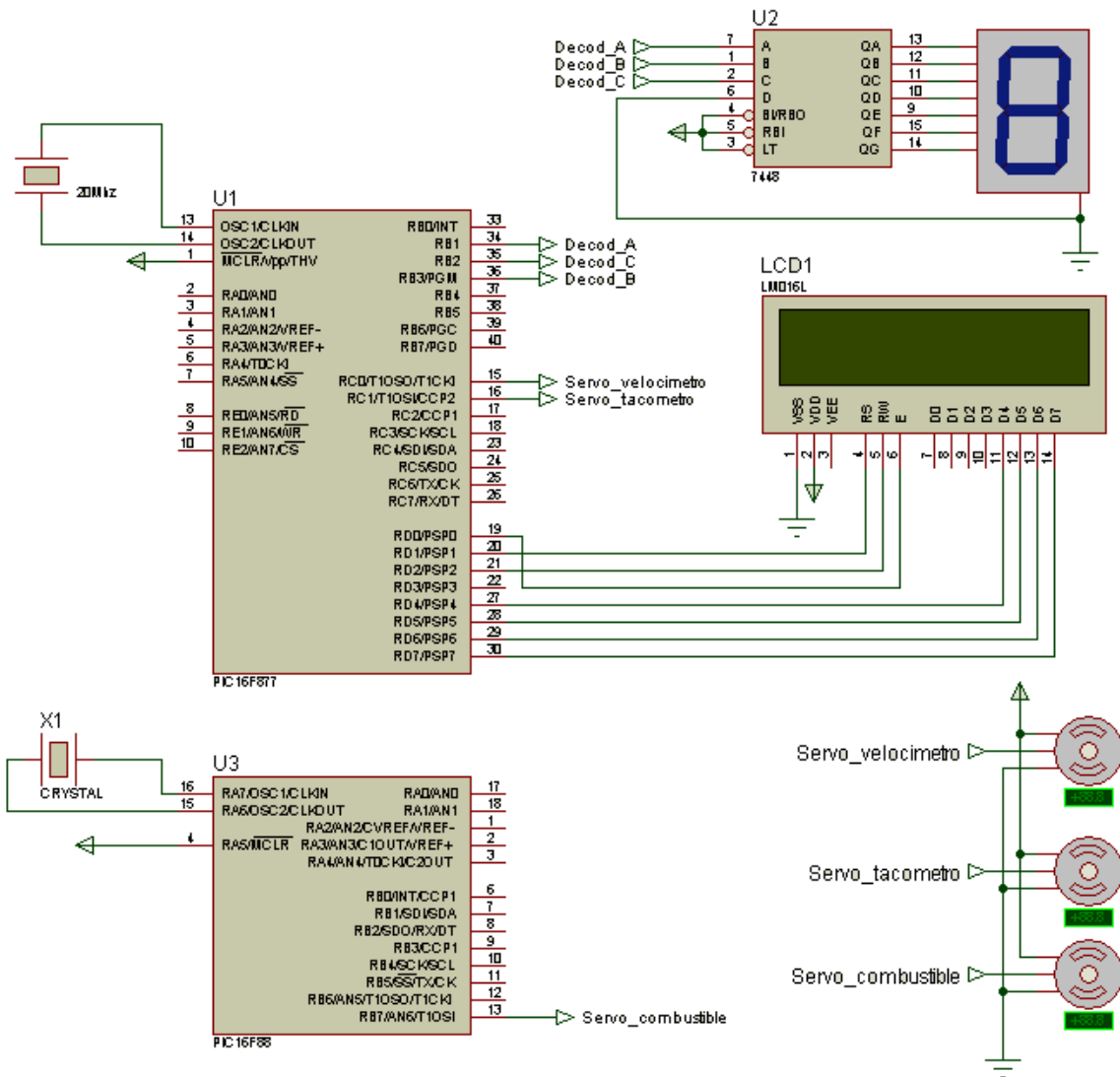


Figura 5.8. Diagrama de conexiones de los elementos de la interfaz

## CAPÍTULO 6

### IMPLEMENTACIÓN

#### 6.1 Acople entre el sistema de medición y la interfaz

Hay que recordar que el presente proyecto se dividió en dos secciones, el sistema de medición, y el de instrumentación. El sistema de medición incluye todos los métodos usados para convertir las magnitudes físicas a un valor equivalente en sus unidades correspondientes, estas variables son leídas y almacenadas en tiempo real en el microcontrolador. El sistema de instrumentación se refiere a la parte visual del proyecto, es la interfaz del usuario, en nuestro caso el conductor.

En este capítulo se tratará del diseño del hardware y software necesario para acoplar correctamente el sistema de medición al de instrumentación, dicho de otra manera, la conexión de la interfaz al sistema de medición de tal manera que los valores mostrados al usuario correspondan a los valores medidos y calculados previamente.

Los tres indicadores principales tienen una apariencia analógica, con agujas controladas por servomotores, el diseño del acoplamiento consiste en definir la

conexión y los cálculos necesarios para que el ángulo de rotación de los motores corresponda con el valor de la variable impresa en el panel.

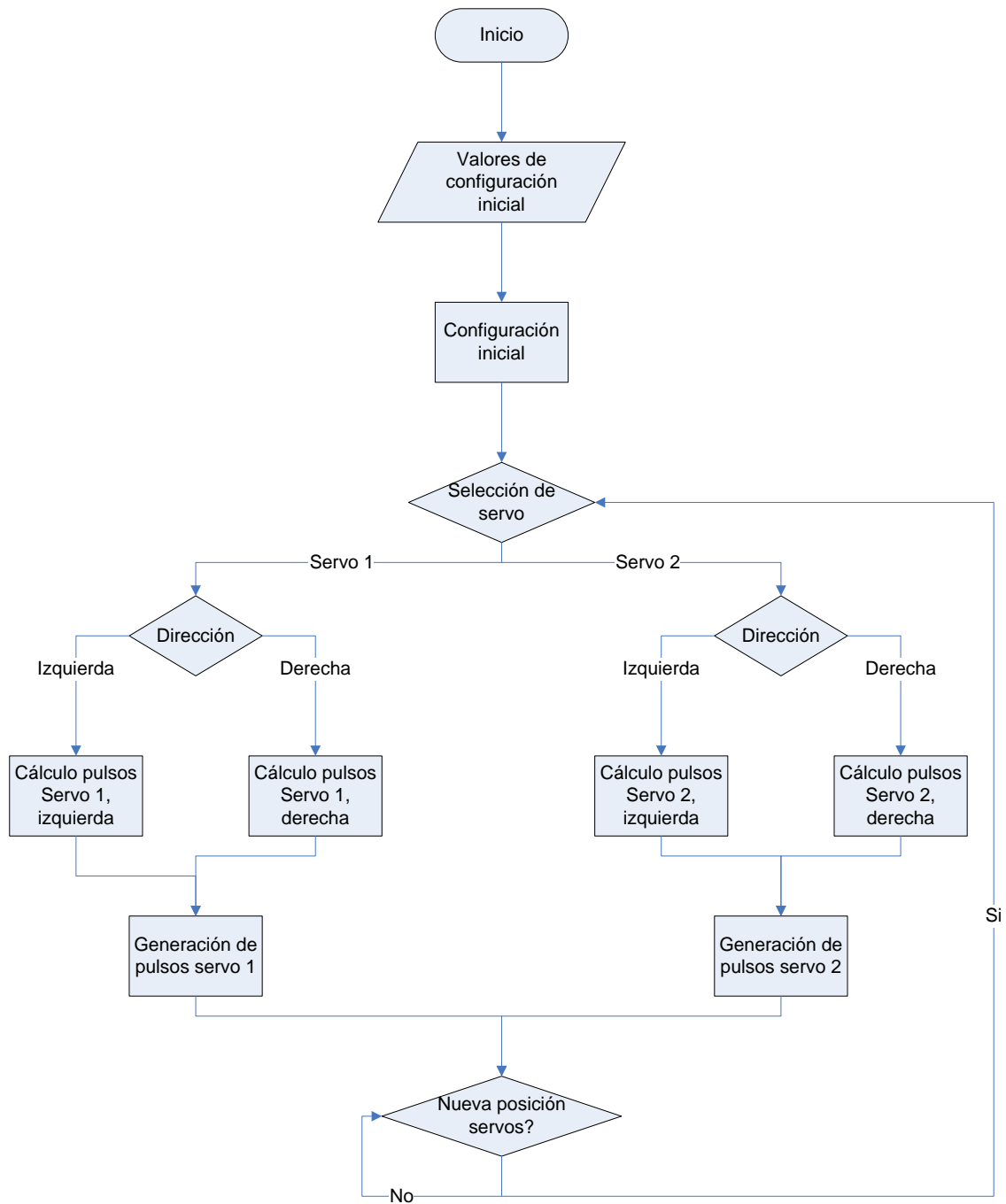
### **6.1.1 Diseño del programa para acoplar la interfaz al sistema de medición**

Los indicadores de apariencia analógica poseen servomotores que están controlados por una señal de PWM<sup>10</sup>, por lo tanto hay que encontrar una herramienta de software que sea capaz de generar dicha señal, el compilador CCS que utiliza lenguaje C posee una librería que es capaz de generar dos señales de PWM para controlar dos servomotores usando los dos temporizadores que posee el microcontrolador, dicha librería es capaz de mover al servomotor en 3 posiciones, totalmente a la izquierda, al centro y totalmente a la derecha.

Luego de un detenido análisis se logró modificar la mencionada librería para que sea capaz de mover el servo de manera proporcional a una variable que se debe ingresar directamente en grados, éste valor debe estar entre 0 y 180 grados. En el encabezado de la librería es necesario definir el ancho del pulso mínimo y máximo para no llevar al límite la parte mecánica del servomotor, generalmente está entre 0,5 y 2 ms. La librería encargada del control de los servomotores es "SERVOS.h", cuyo diagrama de flujo se muestra a continuación.

---

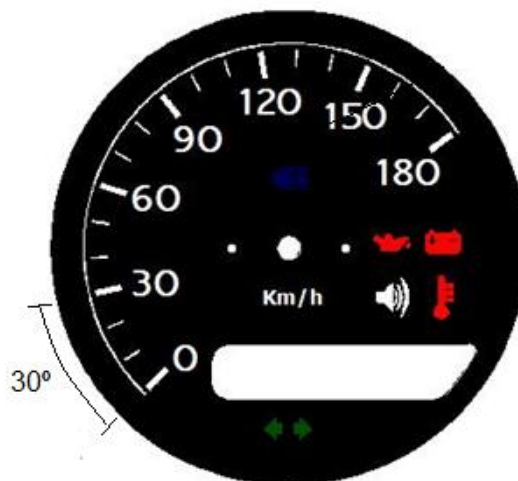
<sup>10</sup> PWM: Modulación por ancho de pulso



**Figura 6.1.** Diagrama de flujo de la librería para el control de los servos

### 6.1.1.1 Diseño del programa para la interfaz del velocímetro

El rango de giro de un servomotor está entre 0 y 180°, por lo tanto éste será el recorrido máximo de la aguja del velocímetro, el panel tiene marcas cada 10 Km/h y números cada 30 Km/h, al diseñar el programa para el sistema de medición realicé un ajuste para obtener un valor de velocidad comprendido entre 0 y 180, por lo que solamente debemos introducir éste valor al llamar a la librería que controla el servo.



**Figura 6.2.** Medición de ángulos en el indicador de velocidad

A continuación se muestra la sección de código encargada del movimiento del servomotor correspondiente al velocímetro.

```
//vel: variable donde se realizó la conversión de la velocidad
```

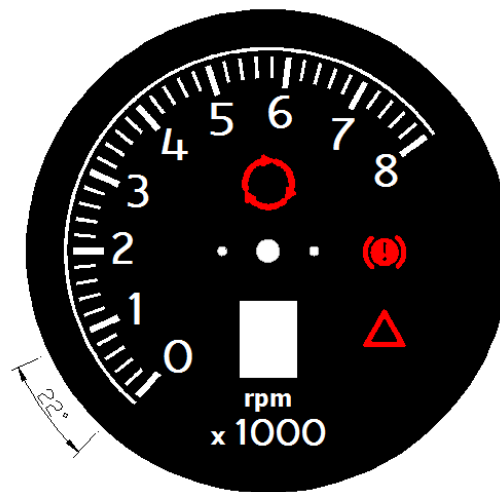
```
if(vel>180)
```

```
vel=180;
```

```
if (vel<=90) // Condición para cuando el ángulo es menor a 90°
```

```
{  
set_servo(0,0,(90-vel)*0.01); // En la librería se toma el giro a la izquierda  
}  
  
if (vel>90) // Condición para cuando el ángulo es mayor a 90°  
{  
set_servo(0,1,(vel-90)*0.01); // Giro a la derecha desde el centro  
}
```

#### 6.1.1.2 Diseño del programa para la interfaz del tacómetro



**Figura 6.3.** Medición de ángulos en el indicador de velocidad de giro del motor

De igual forma que el velocímetro, la aguja de éste indicador tiene un giro limitado a 180°, al realizar las mediciones correspondiente, obtenemos que la aguja se debe mover 22° cada 1000 RPM, así que basándonos en esto podemos

obtener una expresión que defina el giro de la aguja en el interior del indicador en relación a la velocidad de giro del motor.

Al hacer los cálculos para el sistema de medición de la velocidad de giro del motor pudimos observar que se trata de un sistema lineal, por lo que no es necesario hacer un cálculo complejo para la conversión a grados.

Al medir los ángulos en el indicador, se pudo observar que donde marca 7500 RPM mide exactamente 180°, gracias a esto es fácil calcular el ángulo en base a una sencilla regla de 3.

El código mostrado corresponde a la conversión de la variable de la velocidad de giro del motor a un ángulo comprendido entre 0 y 180°.

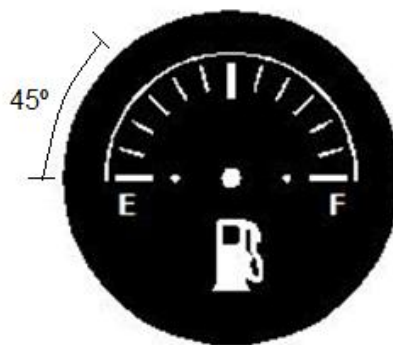
```
aux_ang_rpm=((aux_rpm/7500))*180; // Cálculo del ángulo en función de rpm's
angulo_rpm=aux_ang_rpm;
if (angulo_rpm<=90)
{
set_servo(1,1,(90-angulo_rpm)*0.01);
}
if (angulo_rpm>90)
{
set_servo(1,0,(angulo_rpm-90)*0.01);
}
```



### 6.1.1.3 Diseño del programa para la interfaz del medidor de combustible

La aguja del medidor de combustible debe moverse dentro de un rango de 0 a 180° para representar el tanque vacío y lleno, respectivamente. La librería modificada para controlar el movimiento de los servos recibe directamente un valor en grados de 0 a 180, el valor medido está en un rango entre 0 y 100, por lo que solamente basta multiplicar este número por 1,8 para tener un equivalente en grados del nivel de combustible, a continuación se muestra la sección del código encargada de realizar dicho procedimiento.

El indicador de combustible está controlado por un microcontrolador dedicado adicional, y se tuvo que modificar nuevamente la librería para el control de servomotores para utilizar solamente un temporizador ya que las características del microcontrolador así lo requerían.



**Figura 6.4.** Medición de ángulos en el indicador de combustible

```
if (gas<=90)
{
    set_servo(0,0,(90-gas)*0.01);
```

```
}  
  
if (gas>90)  
  
{  
  
    set_servo(0,1,(gas-90)*0.01);  
  
}
```

#### 6.1.1.4 Diseño del programa para la interfaz del odómetro

El valor de la distancia total recorrida, está separado en dígitos individuales, que están guardados en la memoria eeprom del microcontrolador, el programa que realiza el conteo del kilometraje ya se diseñó anteriormente, ahora solo se necesita hacer la sección del programa que concatene estos dígitos y los muestre como un número coherente en el lcd.

La sección de programa descrito a continuación muestra en la primera fila del lcd el valor del kilometraje total recorrido con el siguiente formato:

[ Odo 000000,0 Km]

```
lcd_gotoxy(1,1);
```

```
printf(lcd_putc,"Odo%1d%1d%1d%1d%1d%1d.%1dKm",kil[0],kil[1],kil[2],kil[3],kil[4],kil[5],odo);
```

### 6.1.1.5 Diseño del programa para la interfaz del indicador de marchas

El indicador de marchas es un display de 7 segmentos montado en el interior del tacómetro, está controlado por un decodificador de BCD, que necesita 3 entradas discretas para identificar los cambios entre 1 y 4, la porción de código encargada de activar y desactivar las salidas necesarias para mostrar la marcha actual.

```
void marchas()
{
if(input(pin_b4)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a primera
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B1);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
OUTPUT_LOW(PIN_B3);
marcha=1;
}
else if(input(pin_b5)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a 2º
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B3);
OUTPUT_LOW(PIN_B1);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
marcha=2;
}
```

```
else if(input(pin_b6)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a 3º
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B1);
OUTPUT_HIGH(PIN_B3);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
marcha=3;
}
else if(input(pin_b7)) //Este pin está conectado al pulsador que corresponde a 4º
{
OUTPUT_HIGH(PIN_B2);
OUTPUT_LOW(PIN_B1);
OUTPUT_LOW(PIN_B3);
marcha=4;
}
Else // Cuando ningún pulsador está activo, se encuentra en neutral
{
OUTPUT_LOW(PIN_B1);
OUTPUT_LOW(PIN_B3);
OUTPUT_LOW(PIN_B2);
marcha=0;
}
return;
```

}

## 6.2 Montaje

El sistema de medición y el de instrumentación están ubicados en dos lugares diferentes. El de instrumentación está montado en el panel del vehículo y el de medición está en una caja sellada detrás del panel, por lo que se hace necesario el uso de buses y cables para interconectar ambas secciones.

A continuación están los diagramas de interconexión por medio de buses entre el sistema de medición y la interfaz.

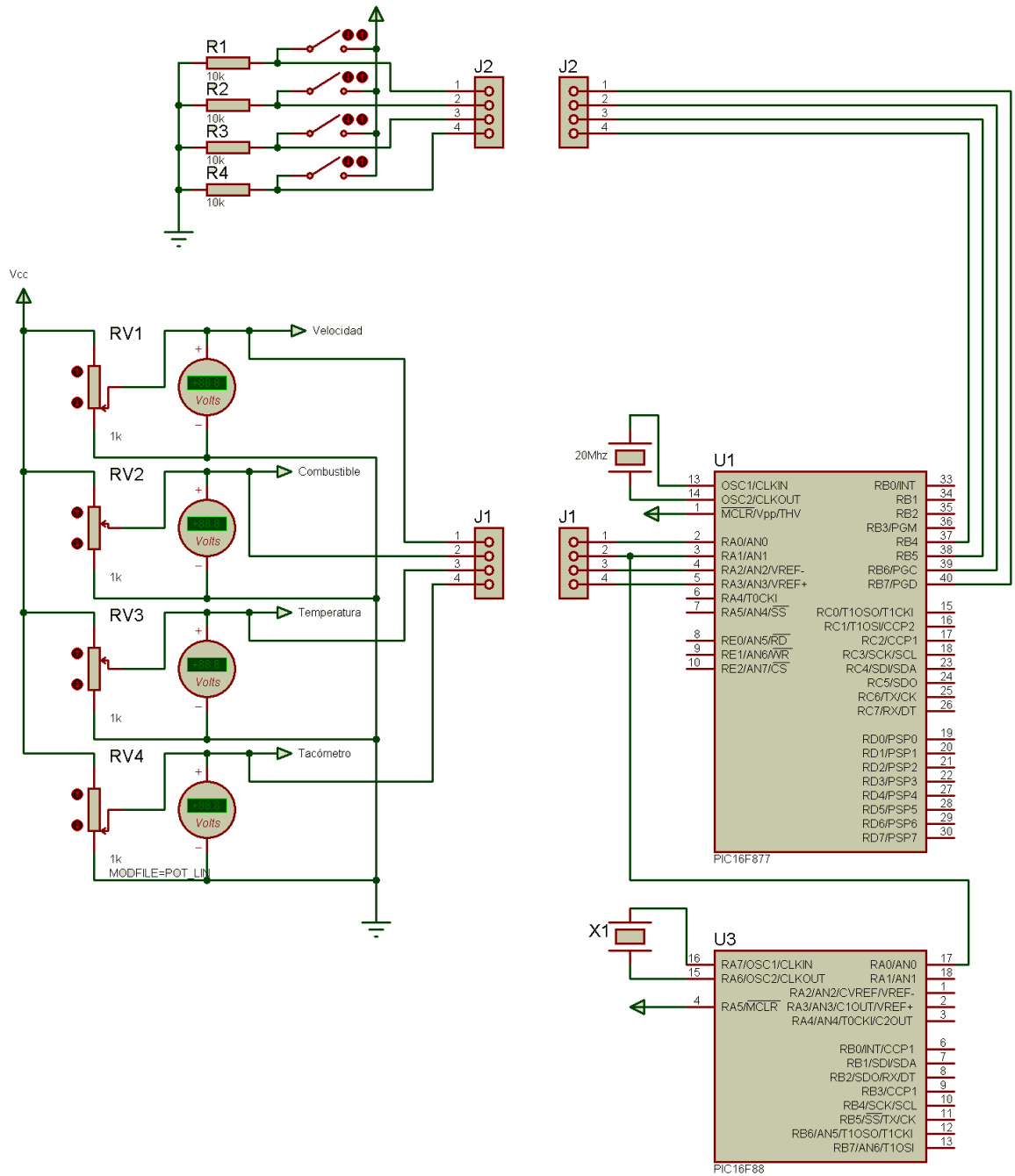


Figura 6.5. Diagrama de interconexión entre los sensores y los microcontroladores

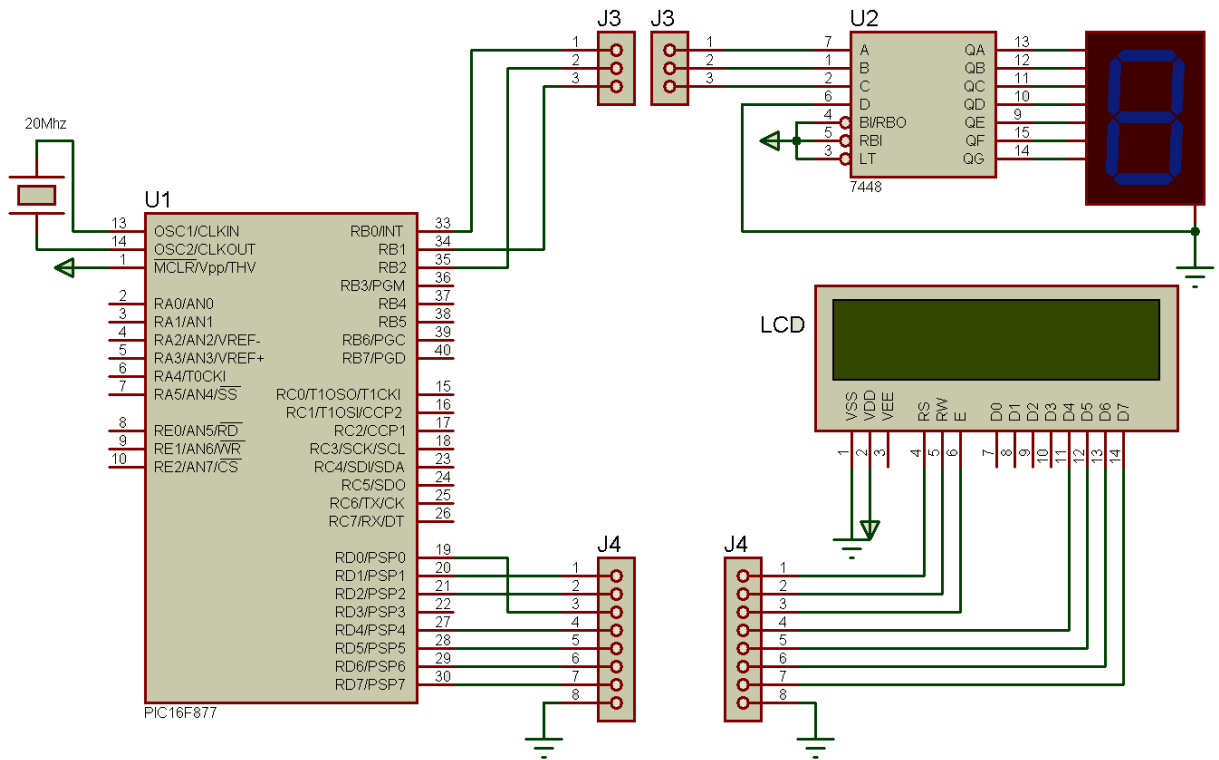
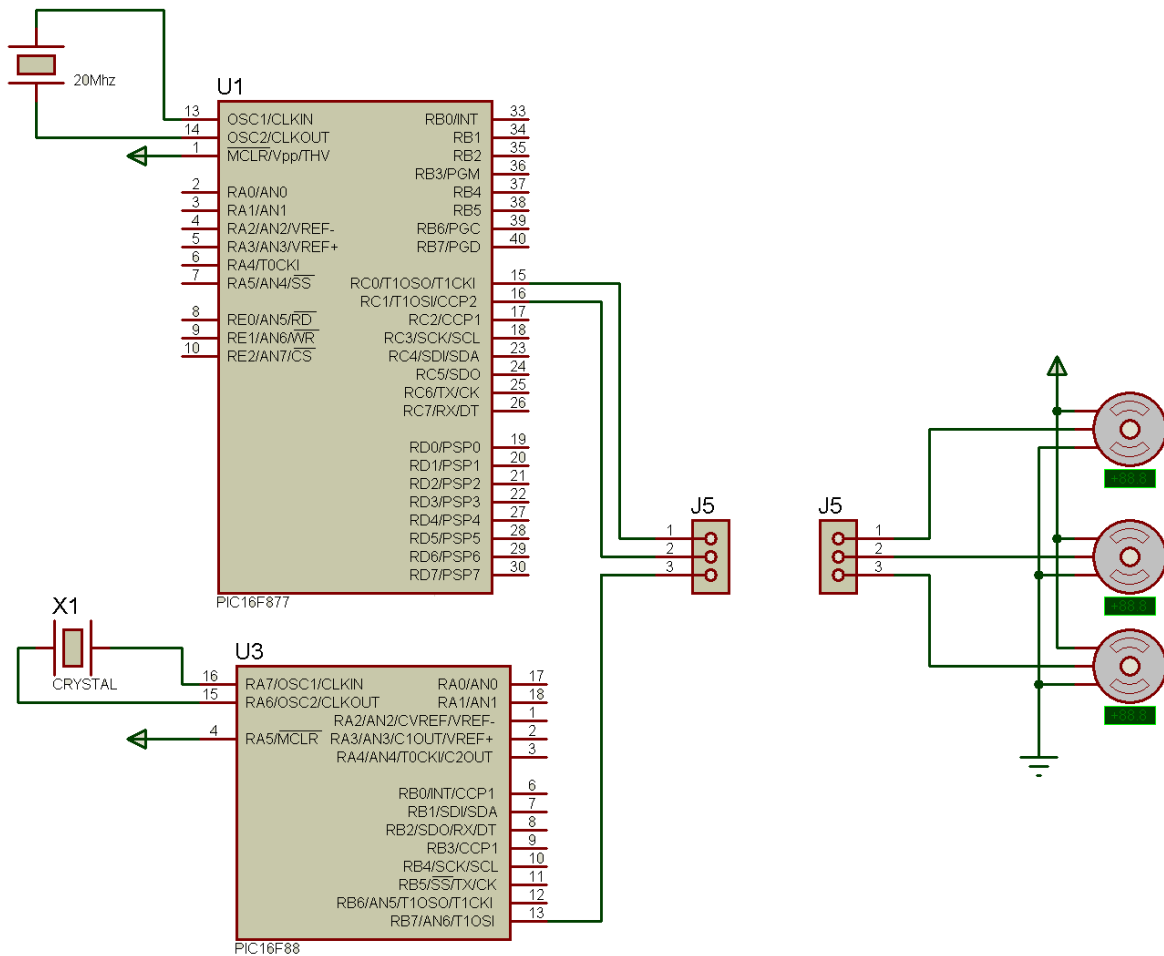


Figura 6.6. Diagrama de interconexión entre el microcontrolador principal y la interfaz

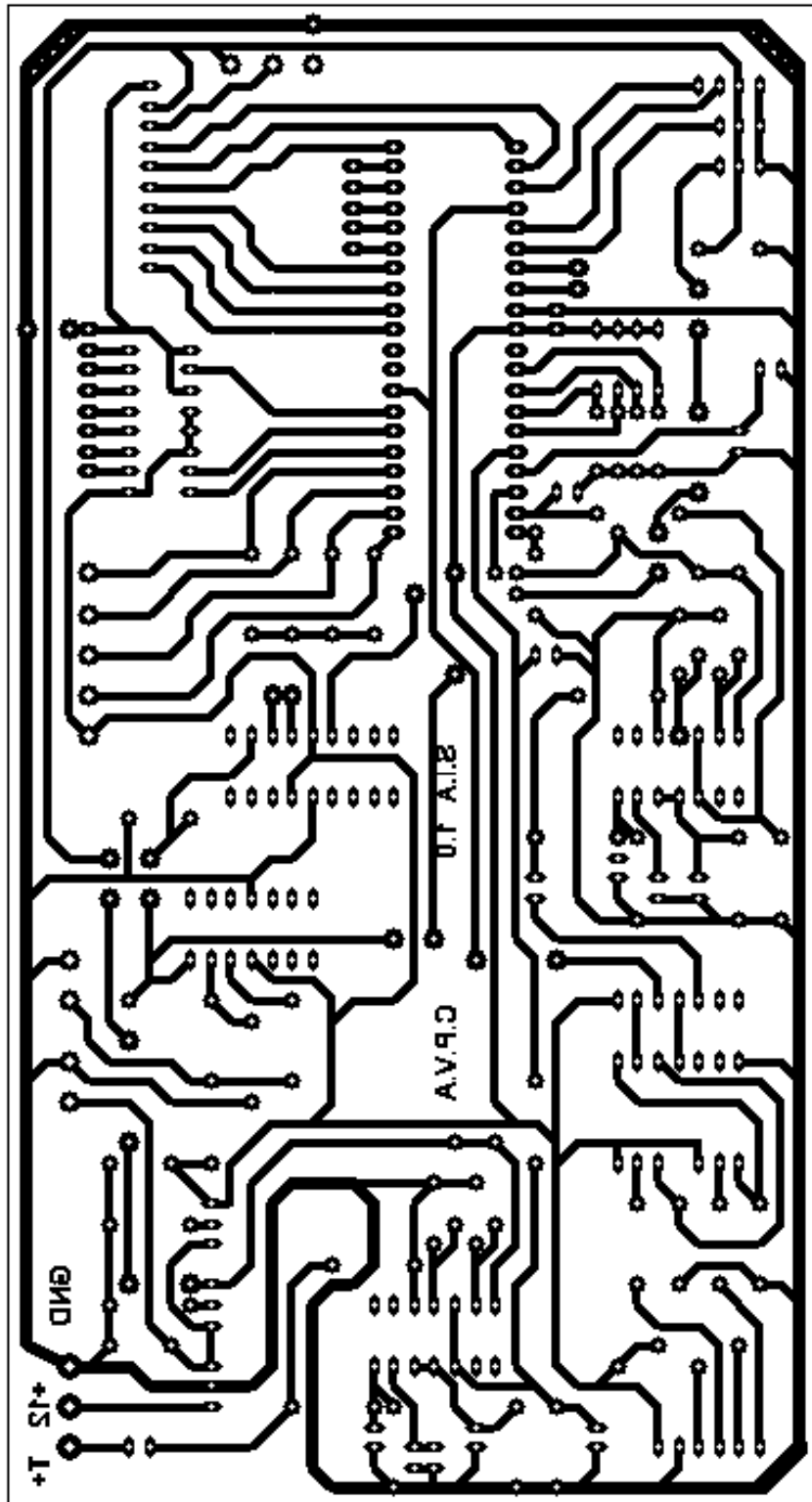


**Figura 6.7.** Diagrama de interconexión entre los microcontroladores y los servos

Una vez diseñada la interconexión de manera general, hay que transferir ese diseño a un circuito impreso, el software utilizado fue PCB Wizard, cuyo archivo editable se encuentra adjunto en el cd, la placa se diseñó de forma manual pista por pista, ya que al contener gran cantidad de conexiones y elementos, los modos automáticos no eran óptimos ya que obligaban a usar muchos cables externos. El diseño de la placa no se lo hizo en base a estética sino a su funcionalidad y a un mejor aprovechamiento del espacio disponible.

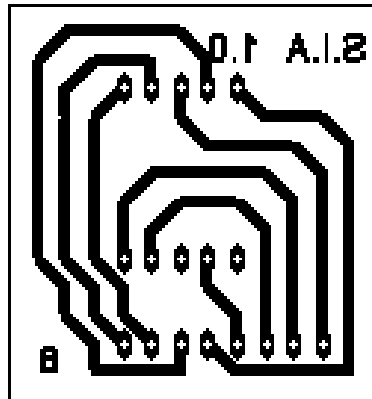
El diseño siguiente corresponde a la placa completa del sistema.





*Figura 6.8.* Diseño de las pistas de la placa impresa

A más de la placa principal, se tuvo que diseñar una pequeña placa para la conexión del display de 7 segmentos.



**Figura 6.9.** Placa para la conexión del display de 7 segmentos

No se necesita placa para la conexión del lcd porque se realiza directamente por medio de un bus.

### 6.3 Construcción

A pesar de que la mayoría de pasos realizados en la etapa de construcción no corresponden al diseño electrónico, también es importante incluirlos ya que forman parte de la implementación.

El nuevo panel de instrumento está hecho de madera y forrado de tal manera que conserve la línea original del panel.



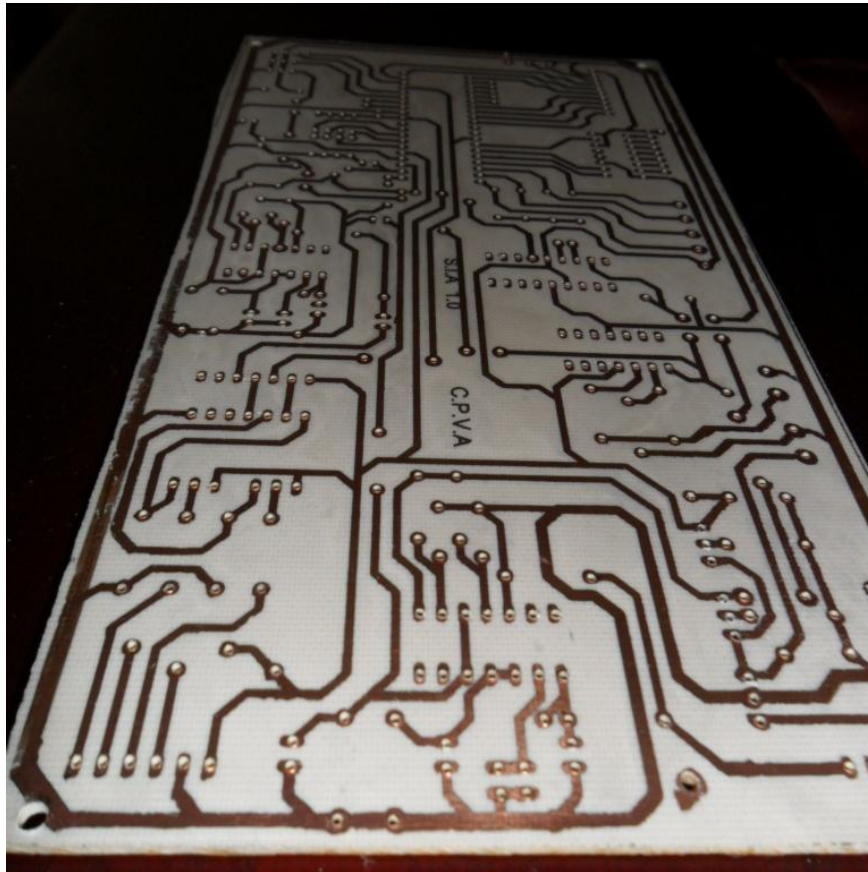
**Figura 6.10.** Nuevo panel de madera

En el proceso de fabricación se usó una placa de baquelita de 11x19 cm y se usó corrosión con cloruro férrico para formar las pistas.



**Figura 6.11.** Placa de baquelita y componentes a usarse

Una vez diseñada la baquelita queda una placa en bruto se debe verificar cuidadosamente la continuidad de cada una de las pistas para evitar errores o daños en los componentes.



**Figura 6.12.** Placa de baquelita luego de la corrosión

Una vez comprobadas todas las pistas de la placa, se debe soldar cuidadosamente los componentes con el fin de no dañarlos, para todos los circuitos integrados se usó sócalos del tamaño correspondiente, y los buses de interconexión lo hacen por medio de espadines.

Cuando ya se ha soldado todos los elementos y colocado todos los circuitos integrados en su lugar, se obtiene el circuito de la siguiente imagen, listo para la etapa de pruebas.



**Figura 6.13.** Circuito impreso terminado

## CAPÍTULO 7

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 7.1 Pruebas y calibraciones

Para garantizar una correcta medición, se usó sistemas electrónicos específicamente diseñados como elementos de calibración.

En el caso de la calibración de la velocidad, se usó un GPS para ajustar el sistema a la magnitud real.

Para la medición de la velocidad angular del motor, se utilizó un tacómetro láser, midiendo las revoluciones del motor directamente sobre la polea del cigüeñal.

Fue usado un termómetro infrarrojo para determinar la temperatura del motor para comprobar si era necesario algún ajuste, a pesar de haber usado un sensor con una respuesta lineal a la temperatura.

Para comprobar el correcto funcionamiento del medidor de combustible se usó el método más sencillo, aforar el tanque y llenarlo por galones para tener una

medida real del nivel. Se optó por esto debido a que la irregularidad de la forma del tanque no permite hacer una medición aproximada.

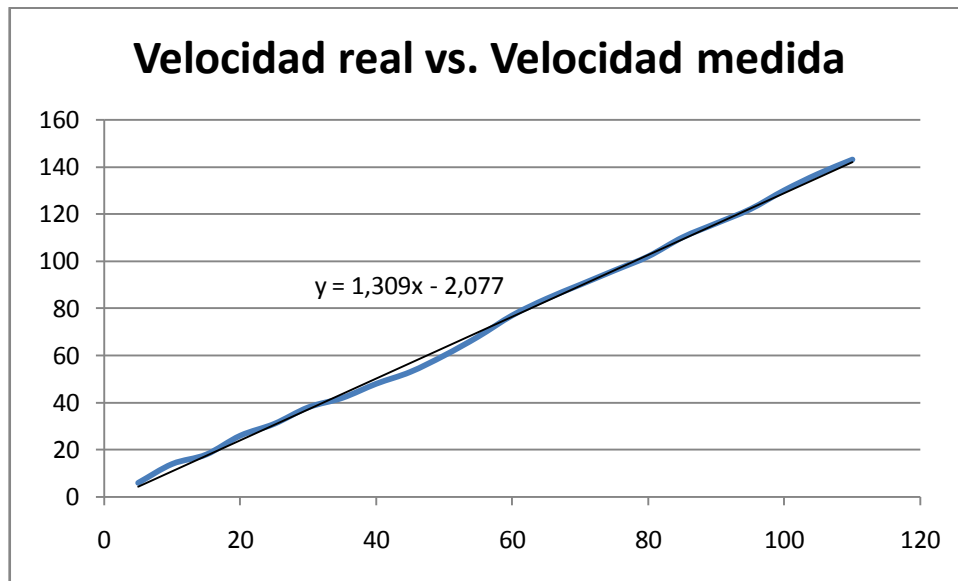
### 7.1.1 Pruebas del sistema de medición de velocidad

Para realizar las pruebas del velocímetro se condujo a una velocidad constante y se tomó tres mediciones, de las cuales se calculó el promedio y se colocó ese valor en la segunda columna de la tabla, con ello se pudo calcular la desviación de velocidad y el error.

Velocidad medida (Km/h)	Velocidad real (Km/h)	Desviación de velocidad (Km/h)	Error (%)
5	6	1	16,67
10	14	4	28,57
15	18	3	16,67
20	26	6	23,08
25	31	6	19,35
30	38	8	21,05
35	42	7	16,67
40	48	8	16,67
45	53	8	15,09
50	60	10	16,67
55	68	13	19,12
60	77	17	22,08
65	84	19	22,62
70	90	20	22,22
75	96	21	21,88
80	102	22	21,57
85	110	25	22,73
90	116	26	22,41
95	122	27	22,13
100	130	30	23,08
105	137	32	23,36

**Tabla 7.1.** Pruebas del sistema de medición de velocidad sin corrección

Como se pudo observar en la tabla anterior el error es moderado pero se puede reducir casi a cero ya que todo ajuste se lo realiza por software y lo único que se debe hacer es una modificación en la ecuación principal.



**Figura 7.1.** Gráfica de la velocidad real en función de la velocidad medida

De la regresión de la gráfica, obtenemos la expresión que define la velocidad real en función de la velocidad que estimamos previamente, calculando en función del valor leído del canal analógico en unidades crudas, la expresión estimada es:  $vel = (0.891 \cdot vel) - 1.108$ ; de la cual partiremos para aplicar la ecuación de ajuste, es decir:

$$aux\_vel = \{[(0.891 \cdot vel) - 1.108] \times 1.309\} - 2.077$$

$$aux\_vel = (1.166 \cdot vel - 1.45) - 2.077$$

$$aux\_vel = 1.166 \cdot vel - 3.527$$



Ahora tenemos una nueva expresión que define la velocidad real en función del valor leído del canal analógico en unidades crudas, donde *vel* es la velocidad en unidades crudas y *aux\_vel* es el valor de la velocidad en Km/h. Al incluir esta ecuación en el programa obtendremos un valor de velocidad con un error reducido. La sección del código que está a continuación incluye la corrección de la velocidad.

```
Void velocimetro()
{
set_adc_channel(0);
delay_us(2500);
vel=read_adc(); // Lectura del canal analógico
if (vel<2)
vel=2;
aux_vel=(1.166 *vel)-3.527; // Ecuación para corrección del error
vel=aux_vel;
}
```

Con este código ya implementado se volvió a realizar las pruebas con el GPS, cuyos resultados están tabulados a continuación.

Velocidad estimada (Km/h)	Velocidad real (Km/h)	Desviación de velocidad (Km/h)	Error (%)
5	6	1	16,67
10	11	1	9,09
15	15	0	0,00
20	21	1	4,76
25	27	2	7,41

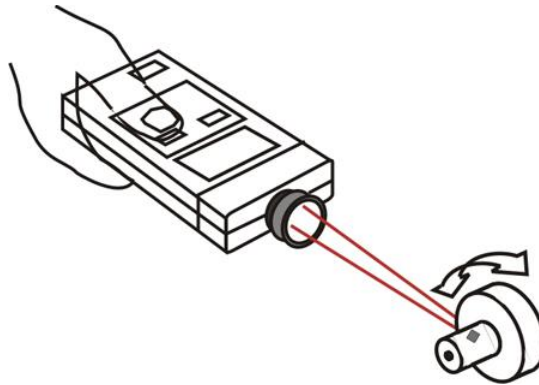
30	32	2	6,25
35	36	1	2,78
40	40	0	0,00
45	44	1	2,27
50	52	2	3,85
55	56	1	1,79
60	63	3	4,76
65	68	3	4,41
70	72	2	2,78
75	77	2	2,60
80	81	1	1,23
85	84	1	1,19
90	90	0	0,00
95	97	2	2,06
100	102	2	1,96
105	106	1	0,94
110	112	2	1,79

**Tabla 7.2** Pruebas del sistema de medición de velocidad con corrección

Como se puede observar en la tabla anterior, luego de la corrección en el código, el porcentaje de error se redujo considerablemente.

### 7.1.2 Pruebas del sistema de velocidad de giro del motor

Para verificar el funcionamiento del tacómetro diseñado, se utilizó un tacómetro láser como patrón, cuya utilización se muestra en la siguiente figura.



**Figura 7.2.** Modo de empleo del tacómetro láser

La etapa de pruebas consistió en regular el motor a un régimen estable de revoluciones y luego realizar la medición con el tacómetro láser, se realizó mediciones en escalones de 200 RPM.

Una vez hechas las pruebas respectivas, se procedió a tabular los datos obtenidos según como se indica a continuación.

Velocidad estimada (RPM)	Velocidad real (RPM)	Desviación de velocidad (RPM)	Error (%)
800	825	25	3,03
1000	980	20	2,04
1200	1150	50	4,35
1400	1350	50	3,69
1600	1570	30	1,91
1800	1710	90	5,26
2000	2040	40	1,96
2200	2250	50	2,22
2400	2450	50	2,04
2600	2700	100	3,70
2800	2870	70	2,44
3000	3020	20	0,66
3200	3200	0	0,00
3400	3370	30	0,89

3600	3560	40	1,12
3800	3700	100	2,70
4000	4010	10	0,25

**Tabla 7.3.** Pruebas del tacómetro

De los resultados obtenidos, podemos observar claramente que el error máximo obtenido es del 5%, por este motivo se puede concluir que este instrumento no precisa de ningún ajuste adicional.

### **7.1.3 Pruebas del sistema de medición de temperatura**

El sistema de medición de temperatura no presentó ningún problema en la fase de pruebas, ya que el circuito integrado que actúa como sensor, entrega directamente el voltaje equivalente a la temperatura, solamente necesita una conversión que ya se realizó en la sección de diseño del sistema de medición, y requiere de ningún ajuste adicional.

### **7.1.4 Pruebas del sistema de medición de nivel de combustible**

El sistema de medición de combustible superó en gran medida las expectativas, ya que al aforar el tanque y proceder a llenarlo lentamente por galones, la cantidad de combustible ingresada correspondía con el nivel medido en porcentaje, por lo que tampoco se consideró hacer ninguna calibración adicional en este subsistema.

## 7.2 Resultado final

Una vez terminada la fase de pruebas, se puede concluir que cada uno de los sistemas de medición, ha alcanzado un mínimo margen de error gracias a los ajustes realizados. Ni siquiera en los vehículos modernos el margen de error es cero ya que intervienen muchos factores físicos que no se pueden controlar como en el caso de la medición de la velocidad, donde el sensor es colocado en la rueda o en la caja de cambios, y depende del diámetro externo de la rueda, y éste se puede ver afectado por la carga del vehículo o la presión de aire del neumático, así como del desgaste propio del caucho.

Después de haber hecho este breve análisis se puede decir que el sistema de instrumentación diseñado está dentro del límite de error aceptable y todas las mediciones realizadas pueden considerarse como reales.

## CONCLUSIONES

Al finalizar este proyecto se comprobó que es posible y factible diseñar e implementar un sistema electrónico de instrumentación automotriz, para vehículos antiguos.

Los vehículos que no poseen un sistema de encendido electrónico, presentan una gran incidencia de interferencia electromagnética, que afecta directamente a los sistemas electrónicos.

Los problemas de interferencia electromagnética que se producían por inducción se lograron corregir mediante el uso de cables de bujías antiparasitarios de 8 mm.

Al usar un software específicamente diseñado, se tiene la capacidad de calibración, lo que hace a este sistema pueda ser implementado en una amplia variedad de vehículos.

## RECOMENDACIONES

Si se va a instalar este sistema en un vehículo con ciertos años de antigüedad, es importante verificar que los cables de bujías sean antiparasitarios, para garantizar un ambiente libre de interferencia electromagnética y un correcto funcionamiento de nuestro sistema electrónico.

Cuando se realiza el diseño de sensores ópticos o electromagnéticos usados para generar pulsos, es necesario realizar pruebas para conocer la velocidad máxima a la que pueden trabajar, así sabemos si es completamente aplicable en nuestro diseño.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RIBBENS, William. *Electrónica automotriz*. México: Limusa.
- BOYCE, David W. *Diccionario de Automoción. España*: Thompson Paraninfo.
- ZABLER, Erich. *Los sensores en el automóvil*. Stuttgart: Bosch.
- CASTRO, Miguel. *Nueva enciclopedia del automóvil*. Tomo 6. Barcelona: Ceac.
- BOSCH, Robert. *Microelectrónica en el vehículo motorizado*. Stuttgart: Bosch.
- BOLTON, W. *Sistemas de control eléctrico en la ingeniería mecánica y electrónica*. México: Alfaomega
- VOLKSWAGEN, *Manual de Reparación y Afinación VW 1960-1979*. Sd.
- MICROCHIP TECHNOLOGY. *PIC 16F87XA Data Sheet*. USA: Microchip
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>, Definición general y tipos de sensores
- <http://www.sergiosedas.com/imt/2009/03/03/metodos-para-detectar-la-velocidad-de-un-auto-ondas-de-sonido-y-aceleraciones/>, Métodos para detectar la velocidad de un auto.
- <http://www.superrobotica.com/S320110.htm>, Medición de distancias por ultrasonido
- <http://html.rincondelvago.com/sensores-electricos.html>, Sensores eléctricos
- <http://www.infobae.com/notas/nota.php?IdxSeccion=1&Idx=255161>, La verdadera velocidad de su auto



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.</i> Modelo del primer auto a gasolina de Benz .....	2
<i>Figura 1.2.</i> Diagrama de bloques general del sistema .....	6
<i>Figura 1.3.</i> Localización física del nuevo sistema. ....	7
<i>Figura 2.1.</i> Representación gráfica de caudal .....	9
<i>Figura 2.2.</i> Despiece general de los sistemas del automóvil.....	14
<i>Figura 2.3.</i> Funcionamiento del sistema convencional de frenos .....	15
<i>Figura 2.4.</i> Elementos que conforman el sistema de encendido .....	18
<i>Figura 2.5.</i> Sección de la bobina de encendido.....	19
<i>Figura 2.6.</i> Estructura de una bujía. ....	19
<i>Figura 2.7.</i> Construcción de los cables de bujías. ....	20
<i>Figura 2.8.</i> Partes constitutivas de distribuidor .....	21
<i>Figura 2.9.</i> Distintos tipos de medición estática .....	22
<i>Figura 2.10.</i> Medición de nivel por flotador resistivo .....	23
<i>Figura 2.11.</i> Medidor de nivel por ultrasonido .....	24
<i>Figura 2.12.</i> Medidor capacitivo de nivel. ....	26
<i>Figura 2.13.</i> Medidor de flujo de tipo turbina. ....	27
<i>Figura 2.14.</i> Medidor de flujo de efecto Doppler.....	28
<i>Figura 2.15.</i> Medidor de flujo de tránsito. ....	29
<i>Figura 2.16.</i> Estructura de un velocímetro de arrastre magnético.....	31
<i>Figura 2.17.</i> Funcionamiento del velocímetro por gps.....	32

<i>Figura 2.18.</i> Medición de velocidad usando tacómetro. ....	33
<i>Figura 2.19.</i> Medición de velocidad usando radar. ....	34
<i>Figura 2.20.</i> Sensor infrarrojo reflectivo. ....	36
<i>Figura 2.21.</i> Sensor infrarrojo de barrera. ....	36
<i>Figura 2.22.</i> IC para medición de temperatura. ....	43
<i>Figura 2.23.</i> Estructura interna de un microcontrolador. ....	46
<i>Figura 4.1.</i> Sección del velocímetro mecánico que se usará para el sensor de velocidad. ....	57
<i>Figura 4.2.</i> Montaje del sensor óptico en el velocímetro mecánico ....	58
<i>Figura 4.3.</i> Ubicación de las marcas en el disco ....	60
<i>Figura 4.4.</i> Configuración básica del conversor frecuencia-voltaje ....	61
<i>Figura 4.5.</i> Configuración completa del conversor para el velocímetro ....	63
<i>Figura 4.6.</i> Gráfico de la velocidad vs. Unidades crudas. ....	66
<i>Figura 4.7.</i> Configuración completa del conversor para el tacómetro ....	71
<i>Figura 4.8.</i> Gráfico de la velocidad de giro del motor vs. Unidades crudas. ....	73
<i>Figura 4.9.</i> Configuración del divisor de tensión. ....	76
<i>Figura 4.10.</i> Configuración del amplificador no inversor ....	76
<i>Figura 4.11.</i> Porcentaje de combustible vs. Unidades crudas. ....	79
<i>Figura 4.12.</i> Conexión del sensor de temperatura ....	81
<i>Figura 4.13.</i> Gráfica de temperatura vs. Unidades crudas ....	83
<i>Figura 4.14.</i> Arreglo de pulsadores del sensor de marchas ....	85
<i>Figura 4.15.</i> Ubicación del sensor óptico del odómetro. ....	89
<i>Figura 4.16.</i> Sensor infrarrojo utilizado. ....	94
<i>Figura 4.17.</i> Circuito general del sistema de medición. ....	99
<i>Figura 5.1.</i> Tablero de instrumentos original ....	100
<i>Figura 5.2.</i> Dimensiones del tablero de instrumentos original ....	101

<i>Figura 5.3.</i> Diseño de la interfaz.....	104
<i>Figura 5.4.</i> Diseño de la interfaz del velocímetro .....	105
<i>Figura 5.5.</i> Tacómetro de un Ferrari moderno.....	106
<i>Figura 5.6.</i> Diseño de la interfaz del tacómetro .....	107
<i>Figura 5.7.</i> Diseño de la interfaz del medidor de combustible .....	108
<i>Figura 5.8.</i> Diagrama de conexiones de los elementos de la interfaz .....	112
<i>Figura 6.1.</i> Diagrama de flujo de la librería para el control de los servos.....	115
<i>Figura 6.2.</i> Medición de ángulos en el indicador de velocidad .....	116
<i>Figura 6.3.</i> Medición de ángulos en el indicador de velocidad de giro del motor	117
<i>Figura 6.4.</i> Medición de ángulos en el indicador de combustible .....	119
<i>Figura 6.5.</i> Diagrama de interconexión entre los sensores y los microcontroladores .....	124
<i>Figura 6.6.</i> Diagrama de interconexión entre el microcontrolador principal y la interfaz.....	125
<i>Figura 6.7.</i> Diagrama de interconexión entre los microcontroladores y los servos .....	126
<i>Figura 6.8.</i> Diseño de las pistas de la placa impresa .....	127
<i>Figura 6.9.</i> Placa para la conexión del display de 7 segmentos.....	128
<i>Figura 6.10.</i> Nuevo panel de madera .....	129
<i>Figura 6.11.</i> Placa de baquelita y componentes a usarse .....	129
<i>Figura 6.12.</i> Placa de baquelita luego de la corrosión.....	130
<i>Figura 6.13.</i> Circuito impreso terminado.....	131
<i>Figura 7.1.</i> Gráfica de la velocidad real en función de la velocidad medida.....	134
<i>Figura 7.2.</i> Modo de empleo del tacómetro láser .....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1. Relación entre la velocidad de rotación de la rueda y la velocidad del vehículo.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 4.2. Frecuencia vs. Velocidad .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.3. Voltaje de salida vs. Velocidad .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4.4. Velocidad vs. Unidades crudas .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 4.5. Frecuencia vs. Velocidad de giro del motor.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 4.6. Velocidad de giro del motor vs. Unidades crudas.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4.7. Voltaje vs. Porcentaje de combustible .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 4.8. Porcentaje de combustible vs. Unidades crudas .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 4.9. Temperatura vs. Unidades crudas.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 4.10. Características del sensor infrarrojo .....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 4.11. Características del conversor frecuencia-voltaje .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 4.12. Características del flotador resistivo.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 4.13. Características del amplificador operacional .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 4.14. Características del sensor de temperatura .....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 4.15. Características del microcontrolador principal .....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 4.16. Características del microcontrolador secundario.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 5.1. Características del LCD utilizado.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 5.2. Características del servomotor utilizado .....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 5.3. Características del display utilizado.....</i>	<i>111</i>

<i>Tabla 7.1.</i> Pruebas del sistema de medición de velocidad sin corrección.....	133
<i>Tabla 7.2</i> Pruebas del sistema de medición de velocidad con corrección.....	136
<i>Tabla 7.3.</i> Pruebas del tacómetro .....	138