

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**SEDE LATACUNGA**



**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN  
ELECTRÓNICA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AUTOMOTRIZ**

**REALIZADO POR:**

**VINICIO RAMIRO BOLAÑOS PAREDES  
EDWIN HUMBERTO UTRERAS GÓMEZ**

**Latacunga, Marzo del 2010**

## CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICA” fue desarrollado por **Vinicio Ramiro Bolaños Paredes** y **Edwin Humberto Utreras Gómez**, bajo nuestra supervisión, cumpliendo con normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Marzo del 2010.

---

Ing. Germán Erazo  
DIRECTOR DE PROYECTO

---

Ing. Estéban López  
CODIRECTOR DE PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**CERTIFICADO**

Ing. Germán Erazo (DIRECTOR)

Ing. Estéban López (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICA”**, realizado por los señores Vinicio Ramiro Bolaños Paredes y Edwin Humberto Utreras Gómez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la publicación de conocimientos y al desarrollo profesional. **Si** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil. Autorizan a los señores Vinicio Ramiro Bolaños Paredes y Edwin Humberto Utreras Gómez que lo entreguen al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Marzo del 2010.

---

Ing. Germán Erazo

DIRECTOR

---

Ing. Estéban López

CODIRECTOR

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

## CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**Nosotros:** Vinicio Ramiro Bolaños Paredes

Edwin Humberto Utreras Gómez

#### DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICA**” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Marzo del 2010.

---

Vinicio Bolaños

C.I. 040141057-6

---

Edwin Utreras

C.I. 050254671-6

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

**Nosotros:** Vinicio Ramiro Bolaños Paredes

Edwin Humberto Utreras Gómez

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Marzo del 2010.

---

Vinicio Bolaños

C.I. 040141057-6

---

Edwin Utreras

C.I. 050254671-6

## **DEDICATORIA**

**El éxito de este proyecto quiero dedicar de todo corazón a mi padre Vinicio Bolaños y a mi madre Hilda Paredes, por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.**

**A mis hermanos Lucía, Alberto y Diego quienes siempre me han demostrado su lealtad, a mi sobrina Zaraí que nos llena de alegrías a todos en el hogar.**

**Y a todos mis familiares por su afecto, confianza y apoyo.**

**Gracias..... Totales.**

**Vinicio Bolaños**

## **DEDICATORIA**

**El éxito del presente proyecto lo dedico de forma muy especial a mi madre María Gómez que aun en la muerte me enseñó la lección más grande de mi vida, que aunque perdamos todas las batallas hay que seguir luchando y que a pesar de todo la vida sigue, a mi padre Luis Utreras por su apoyo.**

**A mis hermanos: Luis, Mariana, Susana, Carlos y Lina, por estar a mi lado brindándome apoyo incondicionalmente.**

**A ustedes y a toda mi familia gracias por su apoyo**

**Edwin Utreras**

## **AGRADECIMIENTO**

**Agradezco a Dios por brindarme salud y protegerme durante todo el transcurso de mi vida.**

**A mis padres, hermanos y sobrina, que fueron mi inspiración y motivación para la realización de este proyecto.**

**A todos mis profesores en especial a los ingenieros Germán Erazo y Estéban López por guiarme y compartir sus conocimientos durante mi formación profesional y la realización de ésta tesis.**

**Vinicio Bolaños**

## **AGRADECIMIENTO**

**A nuestro padre todo poderoso por darme salud y vida para completar una etapa más en la vida.**

**A mis padres y hermanos por siempre confiar en mi e impulsarme a la consecución de nuevos objetivos.**

**A mis profesores que supieron impartir sus conocimientos, de manera especial al Ing. Germán Erazo e Ing. Estéban López, director y codirector respectivamente, por sabernos guiar a lo largo del proceso de este proyecto.**

**Edwin Utreras**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## Capítulo I

I.	Diseño de un sistema de control de aceleración electrónica .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Justificativo .....	2
1.3.	Objetivos .....	3
1.4.	Metas .....	4

## Capítulo II

II.	Medición de la posición del acelerador .....	5
2.1.	Introducción .....	5
2.2.	Objetivo y necesidades .....	7
2.3.	El sensor de posición .....	7
2.3.1.	Encoders .....	8
2.3.2.	Ultrasónico .....	9
2.3.3.	Láser .....	10
2.3.4.	Inductivos .....	10
2.3.5.	Resistivos .....	12
2.4.	El potenciómetro .....	13
2.4.1.	Introducción, esquema y principio de funcionamiento .....	13
2.4.2.	Aplicaciones y tipos .....	15
2.4.3.	Descripción .....	16
2.4.3.1.	Potenciómetros de desplazamiento lineal .....	16
2.4.3.2.	Potenciómetros de desplazamiento angular .....	16
2.4.4.	Materiales .....	18
2.4.5.	Conexión de un potenciómetro .....	18
2.4.6.	Ventajas y desventajas .....	19
2.5.	Desarrollo de los objetivos y necesidades .....	19
2.5.1.	Ángulo de giro del acelerador .....	19
2.5.2.	Potenciómetro TPS .....	20
2.5.2.1.	Especificaciones de nuestro TPS .....	20
2.5.2.2.	Medición de nuestro TPS .....	20
2.5.3.	Mecanismos .....	21

2.5.4. Linealidad del TPS acoplado al pedal de aceleración .....	22
2.5.5. Tensión de alimentación y ángulo de giro .....	23
2.6. Consideraciones .....	23

### Capítulo III

III. Control de actuadores .....	25
3.1. Selección de motores .....	25
3.1.1. Motores eléctricos .....	26
3.1.1.1. Partes básicas de las máquinas de corriente continua .....	26
3.1.2. Servomotor .....	27
3.1.2.1. Funcionamiento .....	28
3.1.2.2. Esquema de control .....	30
3.1.2.3. Conexiones .....	31
3.1.2.4. Ventajas .....	32
3.1.3. Motores paso a paso .....	32
3.1.3.1. Principio de funcionamiento .....	33
3.1.3.2. Controles de motores paso a paso .....	35
3.1.3.2.1. Paso simple .....	35
3.1.3.2.2. Paso doble .....	36
3.1.3.2.3. Medio paso .....	37
3.1.3.3. Parámetro de los motores paso a paso .....	37
3.1.4. Motores sin escobillas .....	39
3.1.4.1. Tipos de motores sin escobillas .....	39
3.1.4.2. Ventajas e inconvenientes .....	41
3.1.5. Comparación entre los diferentes motores .....	42
3.2. Mediciones .....	43
3.2.1. Toma de mediciones .....	43
3.2.2. Ángulo girado por la mariposa .....	44
3.2.3. Par necesario para mover la mariposa .....	46
3.2.3.1. Dinamómetro .....	46
3.3. El actuador .....	47
3.3.1. Reversibilidad .....	48
3.3.2. Muelles .....	48
3.3.3. Mecanismos propuestos .....	48
3.3.4. Comparaciones entre los mecanismos .....	49

3.3.4.1. Mecanismos de barras .....	49
3.3.4.2. Mecanismos de poleas .....	50
3.3.4.3. Mecanismos de poleas con reducción en el actuador .....	51
3.3.4.4. Mecanismo de husillo y motor paso a paso .....	51
3.3.5. Análisis del sistema de actuadores .....	52
3.4. Elección del servomotor .....	53
3.4.1. Elección del mecanismo para la transmisión de giro .....	55
3.4.2. Montaje.....	55
3.5. Resumen .....	56

## Capítulo IV

IV. Control y programación .....	58
4.1. La unidad de control electrónica .....	58
4.1.1. Subsistema de sensado .....	59
4.1.2. Subsistema de procesamiento y configuración .....	60
4.1.2.1. Función de procesamiento .....	62
4.1.2.1.1. Conexión del microcontrolador .....	63
4.1.3. Subsistema de visualización .....	65
4.1.3.1. Visualización local de variables .....	65
4.1.4. Subsistema de configuración .....	66
4.1.4.1. El optoacoplador .....	67
4.1.4.1.1. Selección de un optoacoplador .....	68
4.1.5. Subsistema de actuación .....	69
4.1.5.1. Alimentación del servomotor .....	70
4.1.6. Subsistema de alimentación .....	73
4.1.6.1. Fuente de alimentación de la UCE .....	73
4.2. Diagrama esquemático general .....	74
4.3. Descripción general del firmware .....	76
4.3.1. Criterios de selección del lenguaje de programación .....	76
4.3.1.1. Lenguaje de programación .....	76
4.3.2. Firmware del microcontrolador de procesamiento .....	77
4.3.2.1. Desarrollo paso a paso del programa principal .....	77
4.3.3. Software para desarrollo .....	82
4.3.3.1. ISIS 7.6 .....	82
4.3.3.2. CodeVision AVR 2.3.4 .....	83

4.4. Diseño de la placa del circuito impreso .....	85
4.5. Montaje físico del sistema .....	86
4.5.1. Montaje mecánico .....	86
4.5.2. Montaje eléctrico .....	88
4.6. Pruebas del sistema .....	90
4.6.1. Pruebas con el multímetro .....	90
4.6.2. Pruebas con osciloscopio .....	92
<b>V. Conclusiones .....</b>	<b>95</b>
<b>VI. Recomendaciones .....</b>	<b>96</b>
<b>VII. Bibliografía .....</b>	<b>97</b>
<b>VIII. Anexos .....</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Acelerador en vehículos especiales .....	5
Figura 2.2. Diferentes tipos de acelerador .....	6
Figura 2.3. Encoder incremental .....	8
Figura 2.4. Sensor ultrasónico .....	9
Figura 2.5. Sensor láser .....	10
Figura 2.6. Sensor inductivo .....	11
Figura 2.7. Pedal con potenciómetro integrado .....	12
Figura 2.8. Esquema de un potenciómetro .....	13
Figura 2.9. Resistencia en función de la rotación .....	14
Figura 2.10. Potenciómetro .....	15
Figura 2.11. Representación de un potenciómetro .....	15
Figura 2.12. Aspecto de un potenciómetro lineal .....	16
Figura 2.13. Aspecto de un potenciómetro angular .....	17
Figura 2.14. Esquema de un potenciómetro angular .....	17
Figura 2.15. Conexión de un potenciómetro .....	18
Figura 2.16. Ángulo de desplazamiento del pedal .....	19
Figura 2.17. Voltaje del pedal .....	21
Figura 2.18. Resistencia del pedal .....	21
Figura 2.19. Partes del pedal de aceleración .....	22
Figura 2.20. Acople del TPS mediante husillo .....	22
Figura 3.1. Componentes de un motor de corriente continua .....	26
Figura 3.2. Servomotor .....	27
Figura 3.3. Funcionamiento de un servo mediante pulsos .....	29
Figura 3.4. Posiciones para paso simple .....	36
Figura 3.5. Posiciones para paso doble .....	36
Figura 3.6. Posiciones para medio paso .....	37
Figura 3.7. Eje de la mariposa .....	44
Figura 3.8. Ángulo de desplazamiento del eje de la mariposa .....	45
Figura 3.9. Prueba del dinamómetro .....	46
Figura 3.10. Mecanismo de barras .....	49
Figura 3.11. Mecanismo de poleas .....	50
Figura 3.12. Mecanismo de poleas con reducción en el actuador .....	51

Figura 3.13. Mecanismo de husillo y motor paso a paso .....	51
Figura 3.14. Mecanismo de barras .....	55
Figura 3.15. Soporte con el servomotor .....	56
Figura 3.16. Conjunto montado en el motor .....	56
Figura 4.1. Posición de la UCE .....	58
Figura 4.2. Filtro pasabajo de la mariposa .....	59
Figura 4.3. Filtro pasabajo del pedal .....	60
Figura 4.4. Diagrama de bloques del Atmega16 .....	62
Figura 4.5. PINOUT del PDIP Atmega16 .....	63
Figura 4.6. Diagrama de conexión de la pantalla LCD y el microcontrolador..	66
Figura 4.7. Conexión circuito de calibración .....	67
Figura 4.8. Diagrama CTR vs IF, extraído de la hoja de datos del Fairchild 4N25 .....	69
Figura 4.9. Pulsos de control del servo elegido .....	70
Figura 4.10. Diagrama del regulador y control del servomotor .....	71
Figura 4.11. Circuito de alimentación del módulo .....	73
Figura 4.12. Diagrama esquemático general .....	75
Figura 4.13. Menú de inicio .....	78
Figura 4.14. Solicitud de configuración .....	78
Figura 4.15. Configuración de parámetros .....	79
Figura 4.16. Programa en funcionamiento .....	80
Figura 4.17. Diagrama de flujo .....	81
Figura 4.18. Pantalla principal del software ISIS .....	82
Figura 4.19. Simulación .....	83
Figura 4.20. Ventana de administración del software de compilación .....	84
Figura 4.21. Ruteo de la placa .....	85
Figura 4.22. Montaje del sistema mecánico de la placa .....	86
Figura 4.23. Montaje del pedal de aceleración .....	86
Figura 4.24. Montaje del soporte del TPS .....	87
Figura 4.25. Montaje del servomotor .....	87
Figura 4.26. Montaje del sistema eléctrico .....	88
Figura 4.27. Descripción del montaje eléctrico .....	89
Figura 4.28. Cable blindado TPS .....	90
Figura 4.29. Voltaje del pedal .....	91
Figura 4.30. Resistencia del pedal .....	91

Figura 4.31. Curva característica de trabajo de un sensor resistivo (TPS) ....	92
Figura 4.32. Mariposa a tope .....	93
Figura 4.33. Mariposa en reposo .....	93
Figura 4.34. Funcionamiento de PWM .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1. Mediciones del TPS del pedal de aceleración .....	20
Tabla III.1. Características técnicas de algunas marcas de servo .....	31
Tabla III.2. Ángulos de paso .....	38
Tabla III.3. Comparación entre motores DC .....	43
Tabla III.4. Medición del TPS del eje de la mariposa .....	45
Tabla III.5. Requisitos del actuador .....	47
Tabla III.6. Ventajas e inconvenientes del mecanismo de barras .....	50
Tabla III.7. Ventajas e inconvenientes del mecanismo de poleas .....	50
Tabla III.8. Ventajas e inconvenientes del M. de poleas con reducción en el actuador .....	51
Tabla III.9. Ventajas e inconvenientes del mecanismo de husillo y motor paso a paso .....	52
Tabla III.10. Características del servomotor HS-755HB .....	54
Tabla III.11. Dimensiones del mecanismo de barras .....	55
Tabla IV.1. Configuración de puertos del microcontrolador de procesamiento .....	64
Tabla IV.2. Palabras reservadas del lenguaje C ANSI .....	77
Tabla IV.3. Mediciones del TPS del pedal de aceleración .....	90

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1. Números de pasos para un motor paso a paso .....	38
Ecuación 3.2. Par .....	46
Ecuación 4.1. Señal TPS .....	59
Ecuación 4.2. Frecuencia de corte, filtro pasabajo .....	60
Ecuación 4.3. Corriente mínima a través del LED de un optoacoplador .....	68
Ecuación 4.4. Corriente que circula en el PIN .....	68
Ecuación 4.5. Radio de transferencia en un optoacoplador .....	68
Ecuación 4.6. Limitador de corriente .....	71
Ecuación 4.7. Factor de ganancia de corriente .....	72
Ecuación 4.8. Ganancia de corriente .....	72
Ecuación 4.9. Divisor de voltaje .....	72

## **RESUMEN**

El tema del presente proyecto es el diseño e implantación de un control electrónico del acelerador, conocido generalmente como “drive by wire”.

En el proyecto se distinguen tres partes, medición, actuación y control.

En la primera parte, la medición, se explica cómo medir la posición del pedal del acelerador, utilizando un potenciómetro (TPS) y con un mecanismo se obtiene la mejor resolución al sensor.

En la segunda parte esta la actuación, la utilización de un motor eléctrico y el conocimiento de su funcionamiento serán trascendentes para una correcta puesta a punto del conjunto.

Por último se llega al control de la actuación, el sistema integrado es un dispositivo parecido a un ordenador que recibe datos de la posición del pedal y envía señales de control de movimiento al actuador. Este dispositivo donde se registran las señales procedentes de los sensores es el nexo de unión entre la medición y la actuación.

El resultado de este proyecto posibilita la apertura de nuevas líneas de trabajo, como pueden ser el control de tracción, diferentes programas de conducción en función del estilo de cada persona, cruise control, etc. que pueden ser muy interesantes para futuros proyectistas en el laboratorio.

# **PRESENTACIÓN**

Este proyecto abarca distintas áreas del conocimiento científico adquirido en el transcurso de nuestra carrera para el diseño, construcción e implementación de un nuevo sistema únicamente encontrado en vehículos de alta gama.

De esta manera hemos diseñado un sistema de control de aceleración electrónica.

Se presenta este proyecto como base a futuras investigaciones y distintas aplicaciones en el campo automotriz, así como incentivo para despertar el interés en el desarrollo de nuevas tecnologías.

Este sistema fue implementado en un motor IZUSU 2.3, adquirido para la elaboración del presente proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **I. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICA**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Dado que en nuestro parque automotor el uso de este tipo de dispositivos no se ha difundido debido a su alto costo, obliga a que el mismo solo se encuentre en vehículos cuyos propietarios puedan pagar dicho valor, esto nos ha impulsado a diseñar y construir un acelerador electrónico tomando en cuenta necesidades que pueden presentar los vehículos de serie.

El acelerador electrónico, en inglés conocido como Drive-By-Wire, es una tecnología que está empezando a ser implantada desde no hace mucho tiempo, viene del Fly-By-Wyre utilizada desde hace mucho tiempo en los aviones. La introducción del by-wire en el automóvil ha sido gracias a la Fórmula 1, desde hace unos pocos años se viene investigando la implantación en estos coches de carreras de esta tecnología, los resultados ya se pueden ver, las fulminantes salidas de los coches Renault son gracias a un sofisticado sistema de control de tracción y al drive by wire, entre otros factores.

En nuestro país en esta última década, muchos de los vehículos que han ingresado al mercado nacional son controlados por computadora, lo que los hace actuar con mayor precisión y velocidad a las diferentes condiciones de funcionamiento en que estos se encuentren.

El acelerador electrónico no necesita ajustes, ya que la posición de reposo está determinada por unos muelles internos. El recorrido máximo del pedal está regulado por un tornillo sobre el piso del vehículo. Para evitar daños en el potenciómetro del acelerador, no se debe manipular este tornillo.

El sistema de aceleración no se escapa de este Control computarizado, por lo que es necesario, entender cómo funcionan estos sistemas y tener confianza para darles servicio y mantenimiento en esta la época del automóvil inteligente.

Presentamos el proyecto, impulsando el desarrollo tecnológico y práctico de los estudiantes, a la vez resaltando el buen nombre de la Institución.

## **1.2. JUSTIFICATIVO**

El avance tecnológico en los automóviles en lo concerniente a las aplicaciones eléctricas y electrónicas ha creado la necesidad de contar con técnicos automotrices en el área de sistemas de la electricidad y electrónica aplicadas en los modernos automóviles

En el acelerador electrónico se pueden adoptar infinidad de posiciones de la mariposa teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento del motor. La centralita electrónica conoce en todo momento la posición del pedal del acelerador a través de la variación de la resistencia del potenciómetro. Con este dato y las revoluciones del motor se establece el grado óptimo de apertura de la mariposa.

A bajas revoluciones del motor, la mariposa se abrirá lentamente, mientras a altas revoluciones, la apertura se realiza más rápidamente. Se consigue una buena respuesta del motor a cualquier régimen, impidiendo que aparezcan ahogos por un accionamiento muy rápido del acelerador.

En la fase de calentamiento del motor se produce una mayor apertura de la mariposa en función de la posición del pedal acelerador. Durante esta fase se intenta empobrecer la mezcla todo lo posible y retrasar el encendido, reduciendo el tiempo de calentamiento del motor, y por tanto, del catalizador. Para que el conductor no perciba la reducción de par que esto supone, la mariposa se abre

más rápidamente mejorando la respuesta del motor. Además se consiguen reducir las emisiones contaminantes, sobre todo las de hidrocarburos.

La realización de este proyecto es muy importante ya que el estudio de este tema logrará que como futuros ingenieros crear una cultura de investigación en las áreas de electrónica aplicadas en el automóvil, nos especialicemos en esta y obtengamos experiencia que luego pondremos en práctica en nuestro desarrollo profesional en la reparación, construcción, adaptación y optimización de los diferentes sistemas del vehículo.

### **1.3. OBJETIVOS**

En función de la problemática descrita en líneas previas, surge la idea de llevar a cabo el presente proyecto de tesis, cuyo objetivo fundamental consiste en:

- Diseñar un sistema de control de aceleración electrónica.

Dentro de este argumento primordial, los objetivos específicos son:

- Diseñar e implementar un dispositivo de acelerador electrónico versátil que se pueda implementar en motores de combustión.
- Medir la posición del pedal del acelerador de forma precisa, mediante el uso de sensores.
- Programar un sistema de control electrónico de aceleración.
- Actuar sobre la admisión de aire del motor con un actuador electrónico.
- Acoplar mecanismos que permitan divisar el funcionamiento de cada uno de los sistemas electrónicos y mecánicos para una fácil comprensión de los estudiantes.

## **1.4. METAS**

Con la culminación del presente proyecto esperamos conseguir lo siguiente:

- Tomar el diseño como base para la realización de otros sistemas aplicados al campo automotriz.
- Realizar pruebas de medición con la utilización de un osciloscopio o multímetro, los mismos que nos ayudarán a observar el buen funcionamiento del sistema.

## CAPÍTULO II

### II. MEDICIÓN DE LA POSICIÓN DEL ACELERADOR

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

El pedal del acelerador es uno de los elementos esenciales en el control del motor, su función es la de transmitir al mismo el deseo del conductor de alcanzar una cierta velocidad o aplicar más o menos par en las ruedas motrices.

Existen diferentes tipos de aceleradores así como posiciones. El sitio normal suele ser en el habitáculo del coche donde se coloca las piernas el conductor, esto da una gran comodidad a la hora de manejarlo. En algunos casos también podemos encontrar en coches especiales que el acelerador está ubicado en el volante, y es accionado mediante una palanca o un volante más pequeño que al ser presionado funciona como el pedal.



**Figura 2.1. Acelerador en vehículos especiales**

En estos casos el mecanismo siempre es el mismo; el pedal o la palanca tira de un cable que a su vez acciona la mariposa del carburador (motor de gasolina) o controla el caudal de combustible que debe entrar en los cilindros (motor diesel). Una vez que se suelta, el pedal retornará a su posición inicial gracias a la acción

de unos muelles, de esta forma el motor no actuará y el vehículo ralentizará su marcha.

En relación a los diferentes tipos nos encontramos con los que están apoyados en el suelo y giran respecto a un eje situado por debajo del pedal apretando un muelle y los que giran respecto a un eje situado por encima del pedal, en las siguientes figuras se comprenderá mejor la diferencia.



**Figura 2.2. Diferentes tipos de pedales de acelerador**

Una buena medición de la posición del acelerador es importante para el desarrollo de una conducción cómoda y sin problemas debidos a tirones.

La correcta medición de la posición del pedal del acelerador es de vital importancia para la consecución de este proyecto, puesto que los datos que se reciban en la unidad de control electrónico provenientes del pedal serán procesados para enviar una señal al actuador. Esta tiene que ser lo más precisa posible para evitar problemas o mal funcionamiento.

Debido a esto se manejarán diversas posibilidades para la medición de la posición del pedal, utilizando como sensor un potenciómetro de tipo TPS. Pero se estudiarán mecanismos diferentes que serán los encargados de hacer operar al estrangulador de una manera específica.

## **2.2. OBJETIVO Y NECESIDADES**

Se pretende conocer en todo momento y lo más exacto posible cuál es la posición del acelerador. Para ello se utiliza un TPS, el cual recibirá el movimiento del pedal mediante un mecanismo que habrá que diseñar previamente.

Para la consecución de este objetivo se tendrán que realizar las siguientes tareas:

- Medición del ángulo que gira el pedal del acelerador.
- Búsqueda de un mecanismo que se mueva de manera eficiente con el pedal y mueva a la vez el TPS.
- Búsqueda de un sistema de sujeción del TPS.
- Decidir a partir del potenciómetro elegido si la alimentación se realizará con 5V ó 12V.
- Calcular el número de grados que deberá girar para ajustar al máximo el número de puntos utilizables.

## **2.3. EL SENSOR DE POSICIÓN**

Un sensor o captador, es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR etc. todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.

En este apartado se presentan los tipos y principios de funcionamiento de diferentes sensores que se pueden utilizar para la medida de la posición de distintos elementos:

### 2.3.1. ENCODERS

- Encoders incrementales: Se utilizan para el cálculo de la posición angular. Constan de un disco transparente, el cual tiene una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí; de un elemento emisor de luz (como un diodo LED); y de un elemento fotosensible que actúa como receptor. El eje cuya posición angular se va a medir va acoplado al disco.
- Encoders absolutos: Es similar al anterior, sin embargo en este caso lo que se va a medir no es el incremento de esa posición, sino la posición exacta. La disposición es parecida a la de los encoders incrementales. También se dispone de una fuente de luz, de un disco graduado y de un fotorreceptor. La diferencia estriba en la graduación o codificación del disco. En este caso el disco se divide en un número fijo de sectores y se codifica cada uno con un código cíclico. No es necesaria ninguna mejora para detectar el sentido del giro, ya que la codificación de los distintos sectores angulares es absoluta.

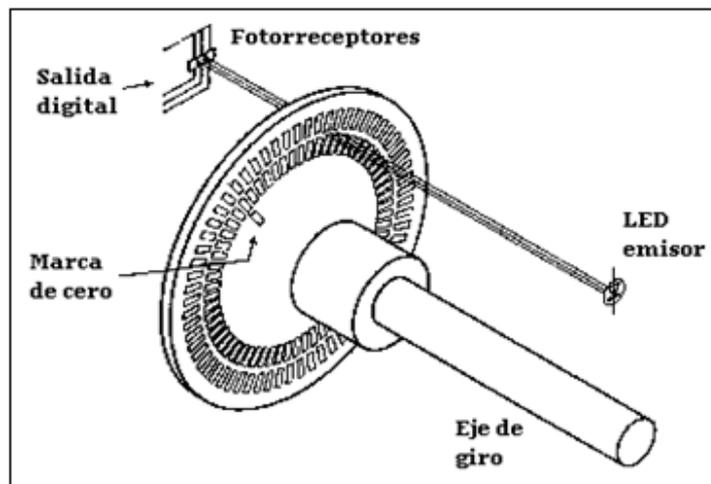


Figura 2.3. Encoder Incremental

La resolución de estos sensores es fija y viene dada por el número de anillos que posea el disco, o lo que es lo mismo, el número de bits del código utilizado. Normalmente se usan códigos de 8 a 19 bits. Tanto los encoders absolutos como los incrementales son dispositivos especialmente sensibles a golpes y vibraciones.

### 2.3.2 ULTRASÓNICO

Este tipo de sensores representa una opción para realizar mediciones de posición a distancia y sin contacto mediante ondas de frecuencia y amplitud constante. Su principio de operación es la transmisión de una señal piloto ultrasónica y la recepción de una señal reflejada, para determinar si existe un objeto en el área de detección.

La transmisión y recepción de energía ultrasónica es la base para muchos medidores ultrasónicos y de velocidad. Las ondas ultrasónicas son ondas acústicas de una frecuencia que no es audible por el ser humano; es decir, mayores a 20KHz.

Cuando las ondas inciden en un objeto, parte de su energía es reflejada, según cuanto tarden estas en volver, se sabe donde se encuentra el objeto.

Una aplicación muy común para este tipo de transmisores son las puertas automáticas de los edificios y supermercados, donde se debe tener mucho cuidado con el ajuste de la distancia a la que se debe detectar a una persona, porque se corre el riesgo de que las ondas alcancen a reflejarse en el piso.

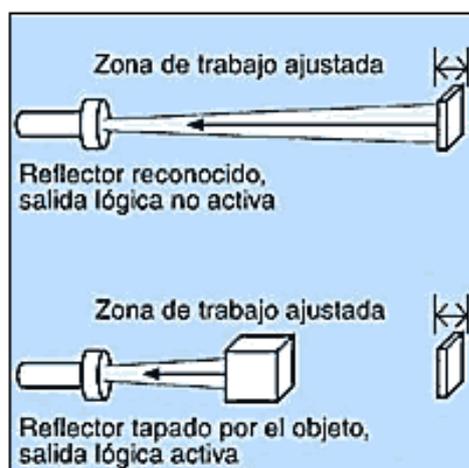


Figura 2.4. Sensor ultrasónico

### 2.3.3. LÁSER

Estos sensores pueden utilizarse como detectores de distancias por análisis de interferencias. El principio de funcionamiento se basa en la superposición de dos ondas de igual frecuencia, una directa y la otra reflejada. La onda resultante pasa por valores máximos y mínimos al variar la fase de la señal reflejada.

Los sensores industriales generan un haz de luz que se divide en dos parte ortogonales mediante un separador. Un haz se aplica sobre un espejo plano fijo, mientras el otro refleja sobre el objeto cuya distancia se quiere determinar, los dos haces se superponen de nuevo en el separador, de forma que al separarse el objeto se generan máximos y mínimos a cada múltiplo de la longitud de onda del haz. La distancia se mide contando dichas oscilaciones o franjas, obteniéndose una salida digital de elevada precisión.

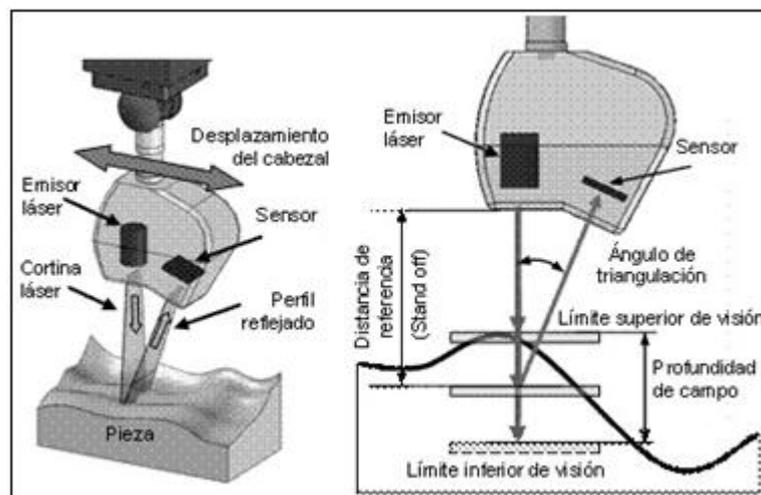


Figura 2.5. Sensor láser

### 2.3.4. INDUCTIVOS

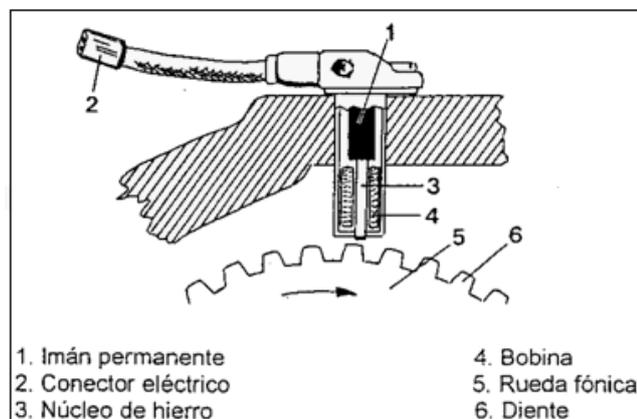
Son instrumentos electromecánicos en los que las características magnéticas de su circuito eléctrico cambian en respuesta al movimiento de un objeto. Con este movimiento se genera una respuesta electromotriz o se genera una tensión.

Entre los sensores inductivos destaca el transformador diferencial de variación lineal (LVDT) debido a su casi infinita resolución, poco rozamiento y alta repetibilidad.

Su funcionamiento se basa en la utilización de un núcleo de material ferro magnético unido al eje cuyo movimiento se quiere medir. Este núcleo se mueve linealmente entre un devanado primario y dos secundarios, haciendo con su movimiento que varíe la inductancia entre ellos.

Al variar la posición del núcleo, hace crecer la tensión de un devanado y disminuir la del otro. Del estudio de la tensión se deduce que ésta es proporcional a la diferencia de inductancias mutuas entre el devanado primario con cada uno de los secundarios, y que por tanto depende linealmente del desplazamiento del vástago solidario al núcleo.

Además de las ventajas señaladas, el LVDT presenta una alta linealidad, gran sensibilidad y una respuesta dinámica elevada. Su uso esta ampliamente extendido, a pesar del inconveniente de poder ser aplicado únicamente en la medición de pequeños desplazamientos.



**Figura 2.6. Sensor inductivo**

### 2.3.5. RESISTIVOS

Como es el caso de los potenciómetros. Se trata de una resistencia y un cursor que se desplaza sobre ella. Se alimenta la resistencia con un voltaje regulado y del cursor a tierra obtenemos un voltaje proporcional al desplazamiento producido. Hay de diferentes formas; lineales, circulares, logarítmicos, etc. material; película de carbón, bobinados sobre cerámica, etc.

Como se puede observar, algunos sensores pueden ser descartados debido a las condiciones de trabajo, como es el caso del encoder, que son bastante sensibles a los golpes y vibraciones.

Otros sensores son descartables debido a que son muy caros o difíciles de utilizar, como puede ser el láser o el ultrasónico, y para la aplicación demandada se requiere algo sencillo y de bajo costo.

Es por ello por lo que al final se optó por utilizar un sensor de tipo resistivo, es decir, un potenciómetro (TPS), pues tienen un bajo costo, son fáciles de manejar y tienen las características suficientes para la aplicación, además es muy utilizado para medir la posición del pedal.



**Figura 2.7. Pedal con potenciómetro integrado**

## 2.4. EL POTENCIÓMETRO

### 2.4.1. INTRODUCCIÓN, ESQUEMA Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un potenciómetro es un resistor con un contacto móvil deslizante. Estos resistores pueden variar su valor dentro de unos límites. Para ello se les ha añadido un tercer terminal unido a un contacto móvil que puede desplazarse sobre el elemento resistivo proporcionando variaciones en el valor de la resistencia. Este tercer terminal puede tener un desplazamiento angular (giratorio) o longitudinal (deslizante). A continuación se muestra el esquema de este sensor:

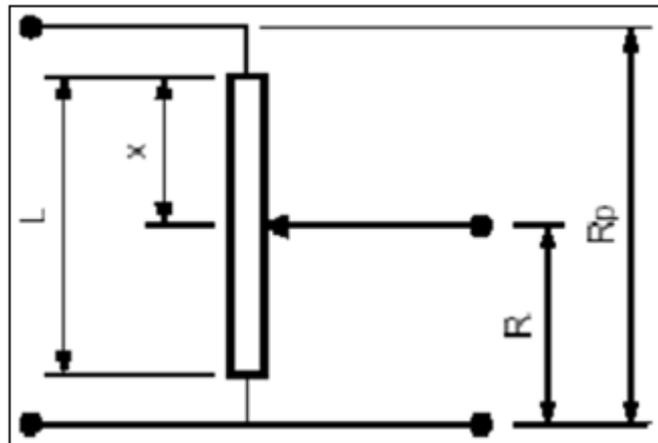


Figura 2.8. Esquema de un potenciómetro

Se observa que la resistencia entre el cursor y uno de sus terminales es proporcional al desplazamiento del mismo.

En la siguiente figura está la variación del valor óhmico de un potenciómetro en función del ángulo de rotación:

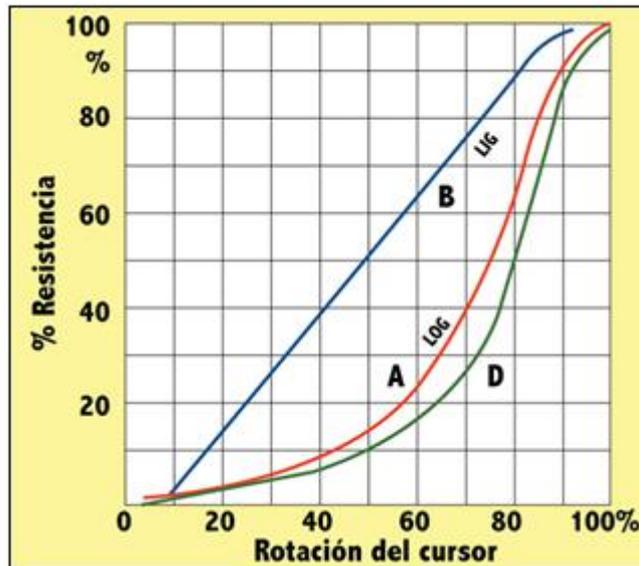


Figura 2.9. Resistencia en función de la rotación

El comportamiento descrito es ideal e implica aceptar algunas simplificaciones cuya validez no se puede garantizar en todos los casos. Se asume que para ello:

- La resistencia es uniforme a lo largo de todo el recorrido o bien sigue una ley determinada.
- El contacto del cursor proporciona una variación de resistencia continua (no a saltos) por tanto, la resolución es infinita.
- Si se alimenta el potenciómetro con una tensión alterna, su inductancia y capacidad deben ser despreciables.
  - i. Para valores de  $R_p$  bajos, la inductancia no siempre es despreciable, sobre todo para potenciómetros bobinados.
  - ii. Para valores de  $R_p$  altos, la capacidad parásita puede tener importancia.
- La temperatura del potenciómetro (TPS) es uniforme. Esta se debe tanto al medio que lo rodea como al propio autocalentamiento.
- El rozamiento del cursor y su inercia son despreciables.

Las características ideales, obviamente, no se consiguen plenamente en los potenciómetros comerciales. No obstante, estas limitaciones son compensadas sobradamente por las ventajas de este dispositivo que, siendo simple y robusto, permite obtener buena exactitud.

Las características reales son las siguientes:

- Resistencia no uniforme en toda la excursión del cursor.
- Resolución no infinita si son bobinados, saltos de hilo.
- Inductancias y capacidades no despreciables.
- Derivas con la temperatura y autocalentamiento
- Falta de linealidad debido a la carga.
- Inercias, rozamientos y velocidad máxima
- Reducción de resolución debido a la resistencia de contacto.

#### 2.4.2. APLICACIONES Y TIPOS

Las resistencias variables, llamadas potenciómetros, son usadas frecuentemente en circuitos electrónicos dado su pequeño tamaño.

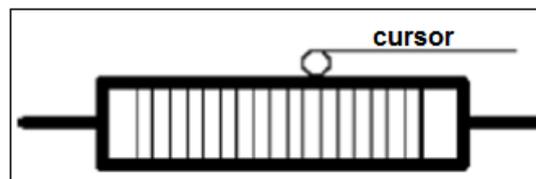


Figura 2.10. Potenciómetro

Los símbolos que se usan para representar una resistencia variable son los siguientes:

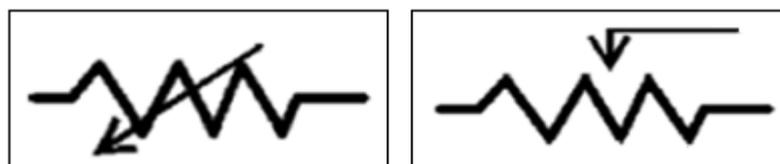


Figura 2.11. Representación de un potenciómetro

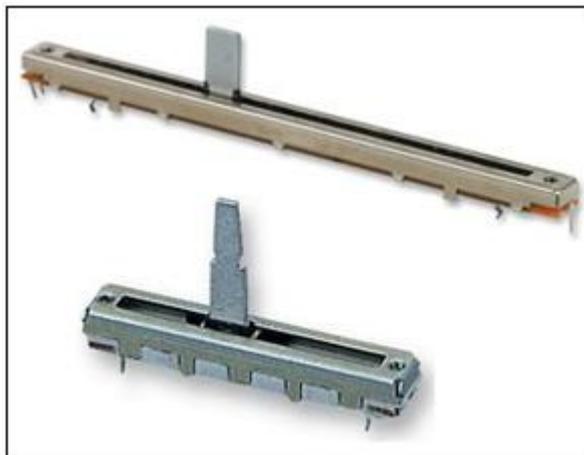
Los potenciómetros poseen un mando giratorio o deslizante para graduarlos desde el exterior.

Ejemplos de potenciómetros son los mandos de volumen de radios y televisores y también los controles de brillo y color de los televisores. Al variar la posición del eje del potenciómetro, varía la resistencia.

### **2.4.3. DESCRIPCIÓN**

#### **2.4.3.1. Potenciómetros de desplazamiento lineal**

También llamados reglas potenciométricas, consisten en una pista recta y entera de resistencia constante, formada por pistas de polímeros conductores. Por encima de ellas, se mueve un cursor que da la medida en voltaje respecto a la tierra.



**Figura 2.12. Aspecto de un potenciómetro lineal**

#### **2.4.3.2. Potenciómetros de desplazamiento angular**

Trabajan de la misma manera que los de desplazamiento rectilíneo, pero en este caso la pista es de forma circular permitiendo así la medición de variación de ángulos. Nos podemos encontrar con potenciómetros de dos tipos, los de una vuelta, en los que la pista es un círculo en el mismo plano, y los de más de una vuelta, donde el círculo se convierte en una espiral que crece según el eje perpendicular de este círculo. En ambos casos, el cursor se desplaza por encima

de la pista creando una relación de linealidad entre la resistencia total y la parte desplazada del cursor.

La resistencia nominal  $R_n$  suele variar entre 1k. y 100k. Sus tolerancias de fabricación están entre el 5% y el 20%. Su variación con la temperatura es mayor en pistas conductoras.



Figura 2.13. Aspecto de un potenciómetro angular

El error de linealidad está comprendido entre 0,01% y 1% de  $R_n$ , medido como la máxima desviación de la resistencia  $R(l)$ , respecto de su valor lineal.

El cursor debe asegurar un buen contacto eléctrico lo que implica: ausencia de f.e.m. de contacto (chispas), resistencia de contacto débil y estable en el tiempo (desgaste) y en presencia de vibraciones o de velocidades elevadas del cursor.

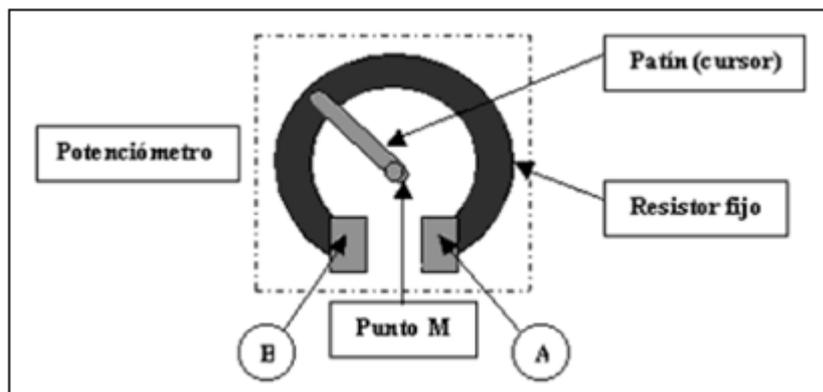


Figura 2.14. Esquema de un potenciómetro angular

La resistencia de contacto depende de la presión del cursor, de la naturaleza y estado de las superficies de contacto. Es más elevada para los potenciómetros de

pista conductora. Sus variaciones aleatorias durante el desplazamiento del cursor son fuentes de ruido, que es importante si la corriente derivada por el cursor es relativamente importante.

#### 2.4.4. MATERIALES

Existe en el mercado una variedad de elementos resistivos que se utilizan en los potenciómetros, el elemento más popular es el carbón, su mejor característica es el precio, pero como inconvenientes tiene las variaciones de temperatura y su vida; el cermet es una combinación de un material Cerámico y Metal que mejora muchísimo las características del carbón. Después se encuentra el bobinado, que sus principales ventajas son el bajo coeficiente de temperatura, su vida mecánica, bajo ruido, alta disipación, y estabilidad con el tiempo. Otro elemento utilizado es el plástico conductor que mejora en todas las características respecto a los demás elementos, pero tiene un precio superior.

#### 2.4.5. CONEXIÓN DE UN POTENCIÓMETRO

Supóngase que se va a proceder a conectar un potenciómetro, resistor variable provisto de tres contactos, habitualmente empleado para regular el flujo de corriente eléctrica en un circuito. Los contactos de los extremos del potenciómetro se conectan uno a la alimentación y el otro a masa (GND). El contacto intermedio se une a la entrada analógica (IN0, IN1, IN2, IN3) deseada.

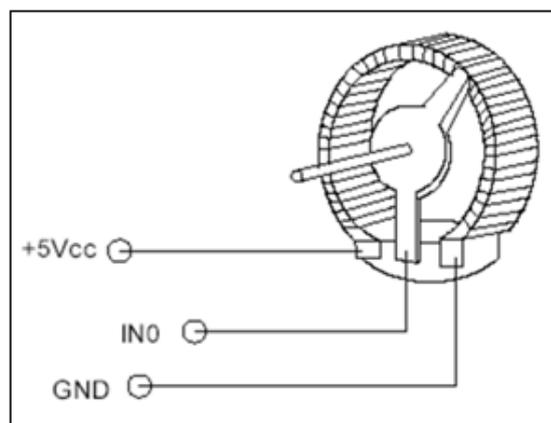


Figura 2.15. Conexión de un potenciómetro

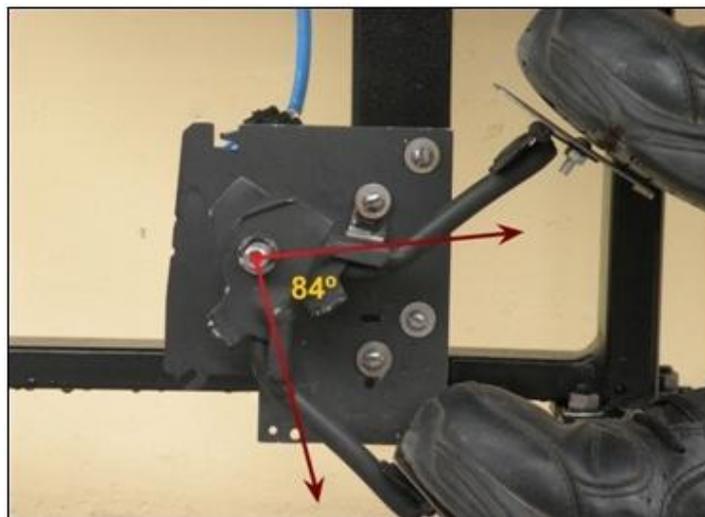
## 2.4.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Los potenciómetros no requieren amplificadores puesto que son capaces de manejar tensiones relativamente grandes. Además, se pueden operar con tensiones de alterna o continua ampliando así sus aplicaciones. Sin embargo, el continuo roce produce desgastes, lo que puede hacer disminuir su vida útil y presentar ruido al estar desgastados. Esto provocaría un mal funcionamiento del acelerador electrónico.

## 2.5. DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS Y NECESIDADES

### 2.5.1. ÁNGULO DE GIRO DEL ACELERADOR

Antes de empezar a pensar en un mecanismo para la transmisión del giro del acelerador al potenciómetro (TPS), se debe calcular el ángulo de giro del pedal, que se lo realizó de dos maneras: con instrumentos de medición geométricos y experimentalmente, pues será un factor importante a la hora de decidirse por un mecanismo u otro.



**Figura 2.16. Ángulo de desplazamiento del pedal**

El ángulo de giro del pedal que finalmente fue de 84°, se lo realizó midiendo el desplazamiento de su parte superior a la parte inferior (medición geométrica).

## 2.5.2. POTENCIÓMETRO TPS

El sensor de posición del acelerador **TPS** (**T**hrottle **P**osition **S**ensor), es un potenciómetro de mecanismo mecánico de resistencia variable que convierte movimiento mecánico a señal de voltaje, tiene una resistencia en forma de pista en la cual se desliza un cursor que al acercarse a la terminal positiva obtendrá un voltaje elevado y al deslizarse hacia la terminal negativa su voltaje irá disminuyendo.

### 2.5.2.1. Especificaciones de nuestro TPS

Se utiliza un TPS de aplicación General Motors de 113° de desplazamiento anti horario a 4,5 voltios de señal y estará alimentado con 5,27V de referencia.

### 2.5.2.2. Medición de nuestro TPS

Con la ayuda de un multímetro, tomamos las medidas de voltaje y resistencia del TPS. Los datos se detallan en la tabla siguiente.

**Tabla II.1. Mediciones del TPS del pedal de aceleración**

<b>% de Giro</b>	<b>Voltaje V</b>	<b>Resistencia KΩ</b>
0	0,033	6,14
25	2,4	5,86
50	3,72	4,27
75	4,18	2,92
100	4,5	1,27

Con los datos obtenidos en la tabla anterior se realizó la representación gráfica de la variación de los parámetros de voltaje y resistencia en función del porcentaje de giro.

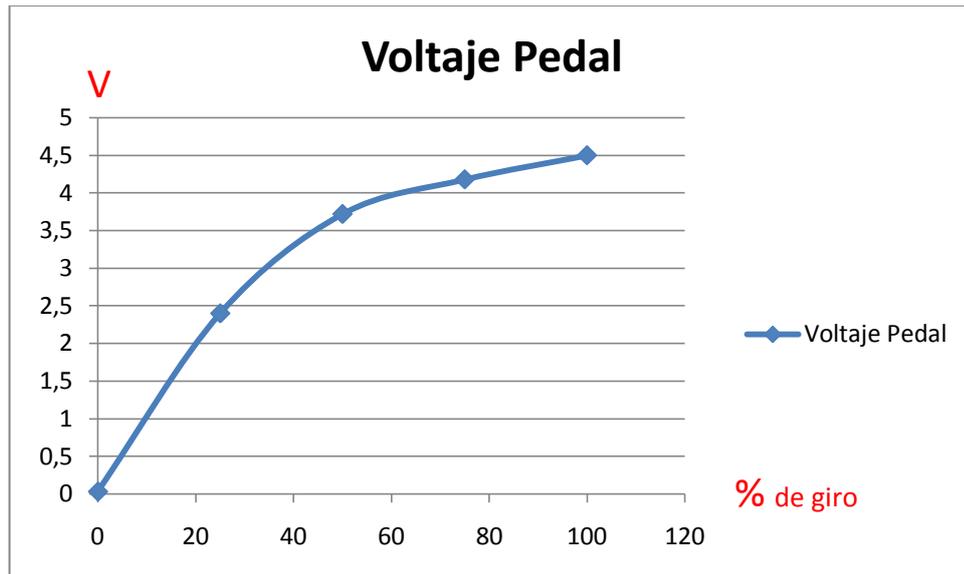


Figura 2.17. Voltaje del Pedal

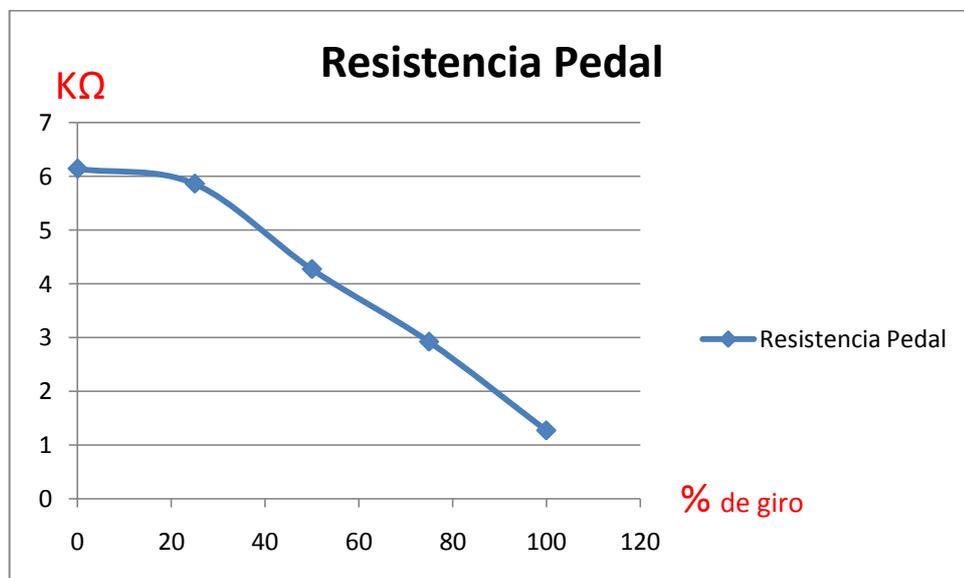


Figura 2.18. Resistencia del Pedal

### 2.5.3. MECANISMOS

A la hora de diseñar un mecanismo para medir la posición del pedal del acelerador, nos fijaremos en varios aspectos como pueden ser: Espacio disponible, precisión, costo, sencillez de construcción y montaje.



Figura 2.19. Partes del pedal de aceleración

Por la conveniencia y confiabilidad en la respuesta se decidió colocarlo solidario al pedal, mediante un husillo, el mismo que se acopla con mucha precisión al TPS.

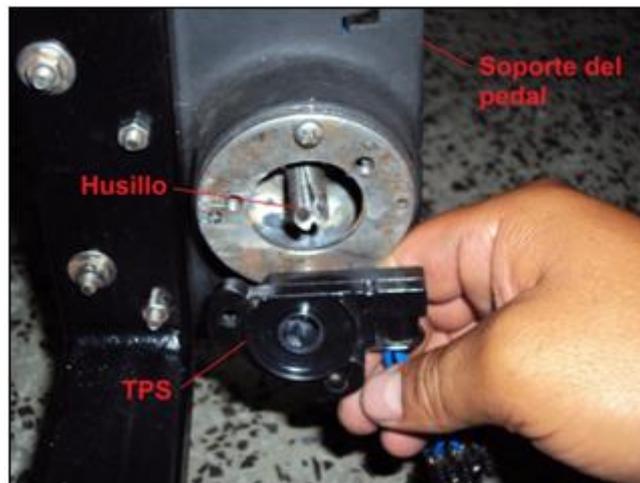


Figura 2.20. Acople del TPS mediante husillo

#### 2.5.4. LINEALIDAD DEL TPS ACOPLADO AL PEDAL DE ACELERACIÓN

El ángulo de giro del TPS será en función del mecanismo que se utilice, aunque es importante que él gire al máximo posible de grados.

Una vez acoplado el TPS al pedal de aceleración nos da una medida de 0,68V en reposo, lo que indica que él inicia con un adelanto de 17°.

$$\begin{array}{l}
 4,5 \text{ voltios} \longrightarrow 113^\circ \\
 0,68 \text{ voltios} \longrightarrow X \qquad X = 17,07^\circ
 \end{array}$$

Y el valor final indica que el pedal no desplaza en su totalidad al potenciómetro TPS.

Presionando el pedal a fondo, tenemos una lectura de 4,15V.

$$\begin{array}{l}
 4,5 \text{ voltios} \longrightarrow 113^\circ \\
 4,15 \text{ voltios} \longrightarrow X \qquad X = 104,21^\circ
 \end{array}$$

Entonces el desplazamiento del pedal será aproximadamente, el resultado de la primera ecuación menos el de la segunda ecuación (medición experimental).

$$104.21^\circ - 17.07^\circ = 87.14^\circ$$

Por motivos de limitación en los instrumentos de medición y la dificultad de realizar las medidas se dejara una tolerancia de  $\pm 3^\circ$ .

### **2.5.5. TENSION DE ALIMENTACIÓN Y ÁNGULO DE GIRO**

En resumen la tensión de alimentación del potenciómetro TPS será de 5,27 voltios, y el ángulo que girará será de  $87^\circ \pm 3^\circ$ .

## **2.6. CONSIDERACIONES**

- El mecanismo del pedal utiliza un TPS que se aplicará para este fin como un sensor APP ya que cumple con las características adecuadas para la realización de este proyecto por la semejanza de estos dos sensores, debido a su principio de funcionamiento.

- Para calcular los parámetros del pedal en cualquier posición, se utiliza ecuaciones lineales. Debido a que los resultados obtenidos se acercan a los datos experimentales (Tabla II.1) con una tolerancia de error por demás aceptable que no afectará en el funcionamiento del sistema.
- El ángulo de trabajo del pedal es menor que el del TPS, lo que nos garantiza una gran confiabilidad en el sistema, ya que este no se afectará si la fuerza aplicada en el pedal es excesiva.
- De los tres cables que salen del potenciómetro TPS, dos serán de alimentación (5,27V y GND) y el tercero será de señal, que irá directamente a la tarjeta electrónica (unidad de control).

## **CAPÍTULO III**

### **III. CONTROL DE ACTUADORES**

#### **3.1. SELECCIÓN DE MOTORES**

En este capítulo se selecciona el actuador que cumpla los requisitos para mover la mariposa. Básicamente tendrá la misma función que el cable del acelerador que une pedal y motor, pero en este caso se elimina la conexión mecánica, y la mariposa será movida por él actuador.

Previo a la elección del actuador se analiza los tipos de actuadores que fueron tenidos en cuenta para ser utilizados.

El estrangulador en el motor de gasolina, es el mecanismo que ajusta la cantidad de aire que entra el motor. Puede haber una para todos los cilindros o una para cada cilindro, pero todas ellas tienen un funcionamiento similar. Es una pieza redonda y plana con un eje central sobre el que gira.

Cuando está cerrada obtura el paso de aire; para abrirse, gira sobre el eje; cuando está completamente abierta, queda de perfil y prácticamente no opone resistencia al paso de aire. La válvula está conectada al pedal del acelerador mediante un cable, o bien tiene un motor eléctrico que la abre o cierra según las órdenes de la centralita. También se utiliza la válvula de mariposa en sistemas de admisión variable, bien para cerrar uno de los dos conductos de admisión en motores de cuatro válvulas por cilindro, o bien en el colector de admisión para variar volumen o área de paso del aire.

### 3.1.1. MOTORES ELÉCTRICOS

Transforma la energía eléctrica que recibe almacenada en una serie de baterías en energía mecánica. Consta de dos partes, una fija denominada estator, y otra móvil respecto a esta última denominada rotor. Ambas están realizadas en material ferromagnético, y disponen de una serie de ranuras en las que se alojan los hilos conductores de cobre que forman el devanado eléctrico. En todo motor eléctrico existen dos tipos de devanados: el inductor, que origina el campo magnético para inducir las tensiones correspondientes en el segundo devanado, que se denomina inducido, pues en él aparecen las corrientes eléctricas que producen el par de funcionamiento deseado.

#### 3.1.1.1. Partes básicas de las máquinas de corriente continua

Los componentes de la máquina de corriente continua se pueden apreciar claramente en la siguiente figura.

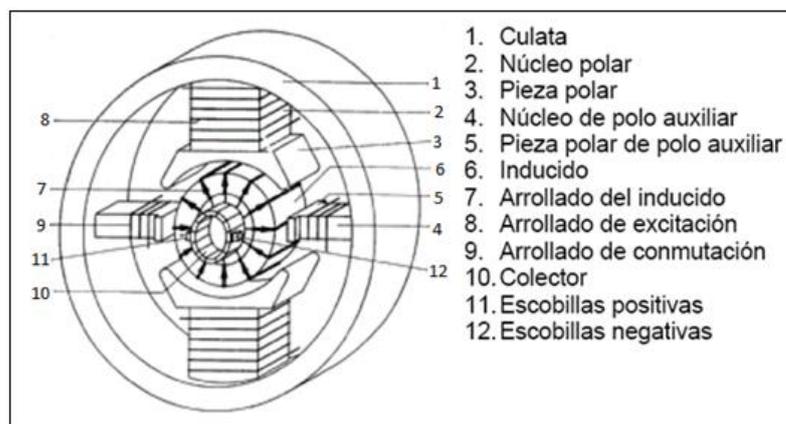


Figura 3.1. Componentes de un motor de corriente continúa

La parte de 1 a la 5 forman el inductor. En conjunto las partes 2 y 3 se designan por polo inductor. La parte 6 constituye el inducido, al que va arrollado un conductor de cobre formando el arrollamiento del inducido.

Alrededor de los núcleos polares, va arrollando, en forma de hélice, el arrollamiento de excitación 8. Análogamente cada núcleo de los polos de conmutación lleva un arrollamiento de conmutación 9. La parte 10 representa el

conmutador o colector, que está constituido por varias láminas aisladas entre sí, formando un cuerpo cilíndrico.

El arrollamiento del inducido está unido por conductores con las laminas del colector; inducido y colector giran conjuntamente. Sobre la superficie del colector rozan unos contactos a presión mediante unos muelles. Dichas piezas de contacto se llaman escobillas. El espacio libre entre las piezas polares y el inducido se llama entrehierro.

### 3.1.2. SERVOMOTOR

Un servomotor figura 3.2 es un dispositivo en forma de caja negra al que llegan tres cables. Contiene un pequeño motor, una caja de engranajes, un potenciómetro de un valor aproximado de 5K y un pequeño circuito integrado.

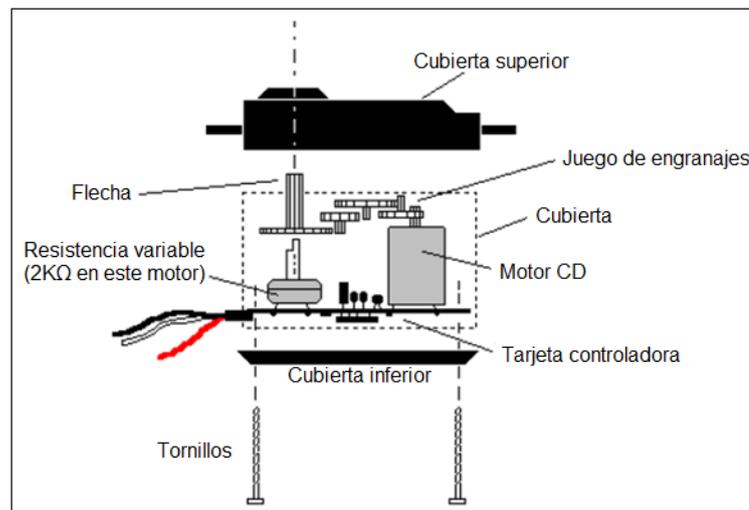


Figura 3.2. Servomotor

El motor eléctrico ataca a la magnitud que se ha de controlar: el giro y posicionamiento del eje del motor. A su vez, el movimiento de rotación angular del motor modifica la posición del potenciómetro interno, que controla un monoestable también integrado en el servomotor.

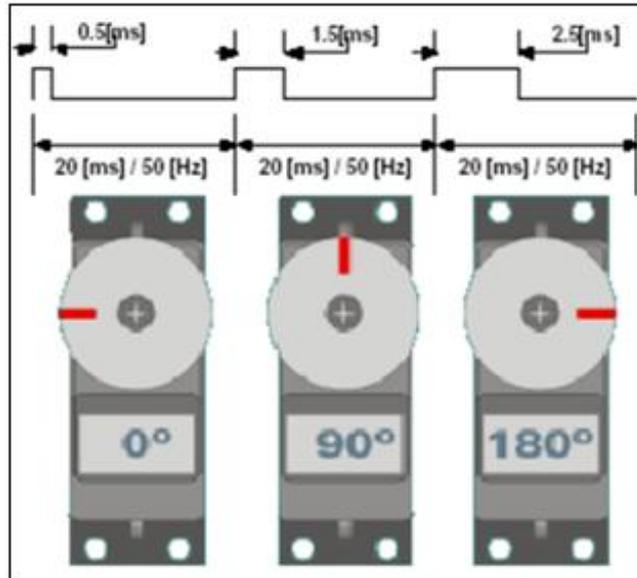
El eje del motor puede ser girado hasta una posición angular específica mediante una señal de control. Mientras se mantenga esta señal de control, el servomotor mantendrá la posición angular del eje. Si la señal de control cambia, también cambia la posición de eje.

### **3.1.2.1. Funcionamiento**

La velocidad del motor, así como la dirección del movimiento de los servos se controla mediante servo-pulsos modulados en amplitud. El servomotor convierte los servo-pulsos en un movimiento mecánico. La magnitud del giro del eje del servo es proporcional a la anchura del pulso que llega por la línea de control. Este tipo de pulsos están formados por una señal digital que se genera aproximadamente cada 20 milisegundos.

La anchura de estos pulsos varía en función del servomotor usado, pero para simplificar tomaremos un mínimo de 1 ms. a un máximo de 2 ms.

Aunque la relación ancho del pulso y la posición del eje no está estandarizada, lo normal es que trenes de pulsos de 1,5 ms. lleven el eje del servo al centro de su rango, anchura neutra. Si la anchura del pulso es de 1 ms, el servomotor se posiciona en el extremo izquierdo, mientras que si el pulso tiene una anchura de 2 ms la posición del servo es el extremo opuesto. Esta técnica se conoce como modulación por anchura de pulso, en inglés PWM (Pulse Width Modulation). En la Figura 3.3 es posible apreciar ejemplos del posicionamiento del eje del servo dependiendo del ancho del pulso, donde se logra  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $180^\circ$  con anchos de pulso de 0.5, 1.5 y 2.5 [ms] respectivamente.



**Figura 3.3. Funcionamiento de un servo mediante pulsos**

El servomotor trabaja comparando la anchura del pulso de entrada con la anchura del pulso producido por el timer interno. A su vez, el período del timer interno es controlado por el potenciómetro acoplado al eje del servo. La diferencia entre la anchura del pulso de entrada y la anchura del pulso interno se utiliza como señal de error.

La lógica del servo se encarga de determinar la dirección en la que ha de girar el motor para minimizar dicho error. Para ello activa los drivers de salida apropiados. El motor girará modificando la posición del potenciómetro de retroalimentación.

Cuando llega el siguiente pulso se vuelve a realizar la comparación, comprobando de forma continua la posición del eje y realizando también constantemente las correcciones necesarias en la posición del mismo.

Como se ha podido apreciar, se trata de un bucle de retroalimentación negativa. Si la posición del potenciómetro no se iguala con la posición deseada del eje, el motor se moverá hacia adelante o hacia atrás, hasta que la posición del potenciómetro sea equivalente a la posición deseada del eje. En este momento la corriente del motor se apaga.

La precisión al posicionarse depende tanto de la precisión del potenciómetro como de la precisión de la anchura de los pulsos que llegan al motor. La mayoría de los modelos de servomotores consiguen una resolución de 0,5 grados. Cuando se reduce la señal de error a un nivel aceptable, el eje del servo se encuentra en la posición correcta. En ese momento la señal de error suele ser de unos 5 $\mu$ s, diferencia entre el ancho del pulso de la señal de entrada y el ancho del pulso de la señal interna. Esto se corresponde con una fracción de grado del recorrido del servomotor. Al ser el cero demasiado crítico, cuando el error está en este rango, conocido como zona muerta o guard band, el servo apaga los drivers del motor. Si la señal de error no está por debajo de estos 5 $\mu$ s, la electrónica interna continuará intentando cancelar el minúsculo error, haciendo girar el motor atrás o adelante en un movimiento conocido como hunting. La electrónica interna tiene como misión mantener la anchura de los pulsos del monoestable interno igual a la anchura de los pulsos de entrada.

Debido a que hay una relación fija entre el ángulo de rotación del potenciómetro y la anchura del pulso interno, la magnitud de rotación del servo se puede controlar directamente con la anchura de los pulsos aplicados. En conclusión, el circuito electrónico integrado en el motor convierte la anchura del pulso de entrada en una posición determinada del eje de salida.

### **3.1.2.2. Esquema de control**

Hay dos formas de contemplar este tipo de esquemas de control. Desde el punto de vista del controlador, es un sistema de bucle abierto. No existe retroalimentación entre el servomotor y el sistema que genera los pulsos. Desde el punto de vista del nivel local (interior del servo) es un sistema de bucle cerrado. La electrónica del servomotor está constantemente tratando de eliminar la diferencia entre los comandos y la posición actual. Esta doble personalidad es una característica muy importante, ya que el servo necesita una atención mínima por parte del controlador, pero a su vez de forma constante resiste activamente

corrigiendo las influencias externas que pueden llevar el eje lejos de la posición ordenada.

Aunque los servos son los posicionadores casi ideales, son también fáciles de modificar para aplicaciones especiales. Por ejemplo, se puede alterar el circuito de retroalimentación para modificar el rango de giro. La mayoría de los servomotores se han diseñado para un viaje de unos 90° ó 180°, pero en muchos casos esta limitación puede superarse.

Cuando se necesite mayor cantidad de giro de la que el fabricante ha dotado al servo, la mejor solución es actuar modificando el potenciómetro del circuito de retroalimentación.

### 3.1.2.3. Conexiones

Los servomotores tienen tres cables: el de masa (-), el de alimentación (+) y el de la señal de control. El positivo se conecta a + 5 y el de señal de control a una fuente de pulsos variables entre 1 y 2 milisegundos de duración que se repiten con una frecuencia de unos 12-20ms. Los cables de los servos siguen casi siempre el mismo código de colores; por ejemplo en los Futaba el color rojo (V+), negro (masa) y blanco (señal de control). Los fabricantes JR y Graupner colocan el cable de la señal de control de color naranja, mientras que algunos «servos» Simprop tienen el cable de masa de color azul. Dado que existen algunas pequeñas diferencias entre las distintas marcas de servos, en la Tabla III.1 están indicados las características técnicas de varias marcas que comercializan este producto.

**Tabla III.1. Características técnicas de algunas marcas de servo**

Fabricante	Duración del pulso (ms)			FREC (Hz)	Color de los cables		
	Mínima (0°)	Neutral (90°)	Máxima (180°)		Positivo	Negativo	Control
<b>Futaba</b>	0,9	1,5	2,1	50	Rojo	Negro	Blanco
<b>Hitec</b>	0,9	1,5	2,1	50	Rojo	Negro	Amarillo
<b>Graupner/JR</b>	0,8	1,5	2,2	50	Rojo	Marrón	Naranja
<b>Multiplex</b>	1,05	1,6	2,15	50	Rojo	Negro	Amarillo
<b>Robbe</b>	0,65	1,3	1,95	50	Rojo	Negro	Blanco
<b>Simprop</b>	1,2	1,7	2,2	50	Rojo	Azul	Negro

#### **3.1.2.4. Ventajas**

Entre las ventajas que aporta el empleo de un servo están las siguientes: poco peso, alta potencia (par de fuerza), fiabilidad, fortaleza, los servo y su electrónica normalmente sobreviven a choques y funcionan en ambientes de alta temperatura, suciedad, humedad y vibraciones, simplicidad, versatilidad y bajo costo.

En las tiendas de modelismo pueden encontrarse muchos tipos de servomotores de las casas Futaba, FMA, Multiplex, Sanwa, etc.

#### **3.1.3. MOTORES PASO A PASO**

Un motor paso a paso, es un conversor electromecánico, que transforma energía eléctrica en mecánica. Mientras que un motor convencional gira libremente al aplicarle una tensión, el motor paso a paso gira un determinado ángulo de forma incremental (transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados), lo que le permite realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos (pueden variar desde  $0,50^\circ$  hasta unos  $90^\circ$ ).

Los motores, tanto de corriente continua como de corriente alterna, son muy efectivos en muchas labores cotidianas desde la tracción de grandes trenes hasta el funcionamiento de lavarropas. Pero debido a problemas tales como la inercia mecánica o su dificultad para controlar su velocidad, se desarrollaron otro tipo de motores cuya característica principal es la precisión de giro.

Este tipo de motores es ideal cuando lo que queremos es posicionamiento con un elevado grado de exactitud y/o una muy buena regulación de la velocidad.

Sus principales aplicaciones se pueden encontrar en robótica, tecnología aeroespacial, control de discos duros, flexibles, unidades de CDROM o de DVD e

impresoras, en sistemas informáticos, manipulación y posicionamiento de herramientas y piezas en general.

Están constituidos esencialmente por dos partes:

- **Estator:** parte fija construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas.
- **Rotor:** parte móvil construida mediante un imán permanente.

Este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente.

La precisión y repetitividad que presentan esta clase de motores lo habilitan para trabajar en sistemas abiertos sin realimentación.

#### **3.1.3.1. Principio de funcionamiento**

Los motores eléctricos, en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas. Si dicha bobina, generalmente circular y denominada estator, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada rotor, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje. Al excitar el estator, se crean los polos N-S, provocando la variación del campo magnético formado. La respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo (tenderá a buscar la posición de equilibrio magnético), es decir, orientará sus polos NORTE-SUR hacia los polos SUR-NORTE del estator, respectivamente. Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos y se tratará de buscar la nueva posición de equilibrio.

Manteniendo dicha situación de manera continuada, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor, produciéndose de este modo el giro del eje del

motor, y a la vez la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica en forma de movimiento circular.

Al número de grados que gira el rotor, cuando se efectúa un cambio de polaridad en las bobinas del estator, se le denomina "ángulo de paso".

Existe la posibilidad de conseguir una rotación de medio paso con el control electrónico apropiado, aunque el giro se hará con menor precisión. Los motores son fabricados para trabajar en un rango de frecuencias determinado por el fabricante, y rebasado dicho rango, provocaremos la pérdida de sincronización.

Los motores paso a paso, se controlan por el cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas que lo forman:

- Controlar el desplazamiento del rotor en función de las tensiones que se aplican a las bobinas, con lo que podemos conseguir desplazamientos adelante y atrás.
- Controlar el número de pasos por vuelta.
- Controlar la velocidad del motor.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición (si una o más de sus bobinas está energizada) o bien totalmente libres (si no circula corriente por ninguna de sus bobinas).

Según la construcción de las bobinas del estator, dos tipos de motores paso a paso:

- **Unipolares:** Se llaman así porque la corriente que circula por los diferentes bobinados siempre circula en el mismo sentido. Tienen las bobinas con un arrollamiento único.

- **Bipolares:** La corriente que circula por los bobinados cambia de sentido en función de la tensión que se aplica. Por lo que un mismo bobinado puede tener en uno de sus extremos distinta polaridad (bipolar). Tienen las bobinas compuestas por dos arrollamientos cada una.

Algunos motores tienen los bobinados de tal manera que en función de puentes pueden convertirse en unipolares o bipolares.

### **3.1.3.2. Control de motores paso a paso**

Los motores de paso a paso funcionan mediante impulsos; el eje gira en cierto ángulo, denominado paso, con cada impulso de excitación de las bobinas. Dado sus características de funcionamiento, se presentan muy bien para ser controlados digitalmente.

El control de este tipo de motores se basa en un generador de secuencias y el correspondiente amplificador de corriente de salida. Con cada impulso de clock, el eje de motor gira un paso. Existen motores con ángulo de paso que van desde menos de 0.5 grados hasta 90 grados. Los motores paso a paso son muy utilizados en impresoras, servomecanismos, máquinas-herramienta, robótica, etc. Existen tres métodos para el control de este tipo de motores, según las secuencias de encendido de bobinas.

#### ***3.1.3.2.1. Paso simple***

Esta secuencia de pasos es la más simple de todas y consiste en activar cada bobina una a una y por separado, con esta secuencia de encendido de bobinas no se obtiene mucha fuerza ya que solo es una bobina cada vez la que arrastra y sujeta el rotor del eje del motor.

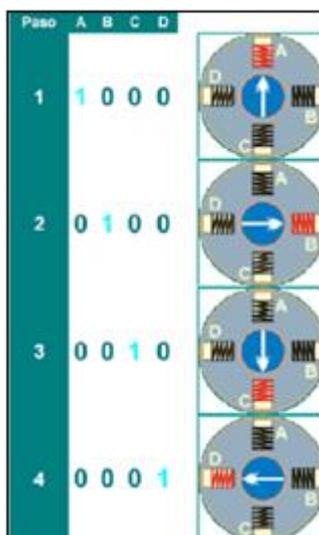


Figura 3.4. Posiciones para paso simple

### 3.1.3.2.2. Paso doble

Con el paso doble activamos las bobinas de dos en dos con lo que hacemos un campo magnético más potente que atraerá con mas fuerza y retendrá el rotor del motor en el sitio. Los pasos también serán algo más bruscos debidos a que la acción del campo magnético es más poderosa que en la secuencia anterior.

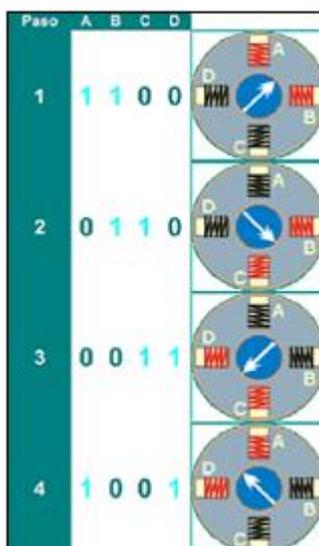


Figura 3.5. Posiciones para paso doble

### 3.1.3.2.3. Medio Paso

Combinando los dos tipos de secuencias anteriores podemos hacer moverse al motor en pasos más pequeños y precisos y así pues tenemos el doble de pasos de movimiento para el recorrido total de 360° del motor.

Paso	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

Figura 3.6. Posiciones para medio paso

### 3.1.3.3. Parámetros de los motores paso a paso

Desde el punto de vista mecánico y eléctrico, es conveniente conocer el significado de algunas de las principales características y parámetros que se definen sobre un motor paso a paso:

- **Par dinámico de trabajo (Working Torque):** Depende de sus características dinámicas y es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator y dependiendo, evidentemente, de la carga.

- **Par de mantenimiento (Holding Torque):** Es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso el rotor cuando la posición anterior es estable; es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada
- **Para de detención (Detention Torque):** Es una par de freno que siendo propio de los motores de imán permanente, es debida a la acción del rotor cuando los devanados del estator están desactivados.
- **Angulo de paso (Step angle):** Se define como el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación. Se mide en grados, siendo los pasos estándar más importantes los siguientes:

Tabla III.2. Ángulos de paso

Grados por impulso de excitación	Nº de pasos por vuelta
0,72°	500
1,8°	200
3,75°	96
7,5°	48
15°	24

- **Número de pasos por vuelta:** Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa; evidentemente es donde **NP** es el número de pasos y  $\alpha$  el ángulo de paso.

$$NP = \frac{360}{\alpha}$$

Ecuación 3.1. Números de pasos para un motor paso a paso

- **Frecuencia de paso máximo (Maximum pull-in/out):** Se define como el máximo número de pasos por segundo que puede recibir el motor funcionando adecuadamente.
- **Momento de inercia del rotor:** Es su momento de inercia asociado que se expresa en gramos por centímetro cuadrado.

- **Par de mantenimiento, de detención y dinámico:** Definidos anteriormente y expresados en miliNewton por metro.

### **3.1.4. MOTORES SIN ESCOBILLAS**

Los motores “sin escobillas” son como los motores “con escobillas” pero del revés. Es decir el rotor, la parte móvil, está compuesto por el eje y los imanes permanentes. En la carcasa o estator es donde se encuentra el bobinado del hilo conductor, que no se mueve.

En los motores sin escobillas, la corriente eléctrica pasa por el hilo conductor que está bobinado en la carcasa y produce el campo electromagnético que hace girar a los imanes permanentes y por tanto al eje al que están unidos. Por ello ni las escobillas ni el conmutador son necesarios, ya que la corriente va al estator. Además, en estos motores no existen las tres delgas que eran las que obligaban al rotor a moverse cualquiera que fuera su posición. Por ello en los motores sin escobillas es el variador electrónico el que controla en qué posición se encuentra el rotor para darle la corriente temporizada adecuada. Esto se realiza o bien mediante sensores instalados en el motor o a través de la respuesta que obtiene cuando envía una corriente lineal al motor.

Debido a esto los variadores electrónicos de los motores sin escobillas han de ser mucho más complejos que los usados en motores con escobillas, ya que han de procesar la información del funcionamiento del motor a tiempo real.

#### **3.1.4.1. Tipos de motores sin escobillas**

Los grupos de motores son los que utilizan sensores y los que no. El variador electrónico ha de tener información de algunos parámetros del motor, como la posición de los imanes para que así pueda enviar la electricidad a la bobina adecuada, en qué sentido está girando el motor, y cuánto.

Los motores que llevan sensores se denominan de efecto tipo Hall y sus defensores dicen que son necesarios para que el motor tenga un buen par y una buena sincronización. El variador controlará de esta forma la excitación del bobinado electromagnético. Un buen control de la temporización es crítico para el rendimiento y eficiencia del motor. En general el motor con sensores reacciona más rápido, ya que los sensores incrementan el par motor en la salida y la sincronización es mejor en situaciones de alta carga.

Los sensores están unidos a la parte trasera del motor y envían señales desde éste al variador. El inconveniente de los sensores es que pueden fallar, pero permiten saber si el motor está girando. Esto es una ventaja, ya que si se bloqueará el motor, se evitarían daños a él, a la batería y al variador.

En el caso de los motores sin sensores, los variadores envían impulsos eléctricos lineales y los monitorizan, pero no saben en qué sentido gira el motor, solo saben si lo hace y lo rápido que gira. Los variadores sin sensores envían normalmente tres impulsos, comprobando que los tres bobinados funcionan correctamente, espera a que vuelvan y entonces empieza a funcionar de manera normal. Esto se hace al arrancar el motor y a bajas r.p.m.

Como consecuencia de los dos tipos de motores, también hay dos tipos de variadores. Uno es para los motores con sensores y el otro para los que no llevan sensores. Un variador sin sensor es más polivalente, ya que puede usarse también con motores con sensores, simplemente ignora las señales. Por el contrario un variador con sensor solo podrá trabajar con motores con sensores y además han de estar adaptados mutuamente.

No parece que un tipo de motor tenga ventajas indudables sobre el otro, ya que los fabricantes no se han decidido de manera unánime por uno u otro tipo.

### **3.1.4.2. Ventajas e inconvenientes**

En los motores con escobillas la conmutación se hace mecánicamente a través del contacto entre el inducido y las escobillas.

Este sistema es muy poco eficiente y el rozamiento y la resistencia eléctrica provocan que haya una gran pérdida de energía que se transforma en calor. Además esto supone una limitación al número máximo de r.p.m. de los motores, ya que a elevadas r.p.m. las escobillas rebotarían. Para evitarlo serían necesarios muelles más rígidos y esto crearía a su vez más fricción y frenaría el giro.

En los motores sin escobillas la conmutación se controla de manera electrónica mediante el variador de velocidad, por lo que no se produce rozamiento mecánico ni pérdidas de energía y se consigue que los motores sin escobillas tengan una eficiencia muy superior, se habla de un 90%, frente a un 60% de los motores con escobillas. Debido a esto los motores sin escobillas pueden alcanzar mucha más r.p.m. y con mucho más par, hasta cuatro o cinco veces más que los motores con escobillas, y a la vez con un ahorro de energía de hasta el 30%. Además el calentamiento del motor es mínimo.

En los motores sin escobillas la masa que gira es menor, casi la mitad, por lo que aceleran más rápidamente. Esto se debe a que el rotor lleva los imanes, que son menos pesados en estos motores que el bobinado en los clásicos. Por ello el funcionamiento es más suave al reducirse las vibraciones. Al no haber chisporroteo eléctrico debido al roce de las escobillas con el conmutador, se eliminan las interferencias por el "ruido" eléctrico que podrían afectar al equipo de radio. Tampoco son necesarios ni los condensadores soldados al motor ni el diodo Schottky.

En los motores hay que realizar mantenimientos periódicos; nuevas escobillas, muelles, desgaste del conmutador y mucho tiempo dedicado a las labores de mantenimiento. Por el contrario, en los motores sin escobillas el mantenimiento es mínimo, ya que al no tener ni estas ni conmutador, el mantenimiento es casi

inexistente, solo sería necesario la limpieza y lubricado de los rodamientos. Adicionalmente, el concepto de los "sin escobillas" permiten fabricar motores totalmente cerrados, protegiéndolos del polvo.

Los motores sin escobillas son más sencillos y por ello más fiables: no llevan ni las escobillas, ni guías de escobillas, ni conmutador, ni muelles. Es decir menos mangas perdidas por culpa de fallos mecánicos del motor. Además el peso de esos motores puede ser de hasta 50 gramos menos que los con escobillas.

Por otra parte y gracias al control ejercido por el variador electrónico, que es de hecho un microprocesador digital, es posible regular el par y las r.p.m. e igualar las prestaciones de los motores.

### **3.1.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES MOTORES**

En la siguiente tabla se presentan las ventajas e inconvenientes de los motores seleccionados:

Tabla III.3. Comparación entre motores DC

	Ventaja	Desventaja
<b>Corriente Continua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de manejar.</li> <li>• Controlable con PWM.</li> <li>• Cualquier valor de par y velocidad con alta tensión.</li> <li>• Reversible mediante los muelles del carburador en caso de que algo se estropee.</li> <li>• Resolución alta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de una etapa reductora. Pero que no lo haga reversible.</li> <li>• Máximo par encontrado a 12V es de 0,5Nm pero consume mucha intensidad. Uno que consuma poca y alto par sería de 10W y 0,03Nm.</li> </ul>
<b>Servos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un motor de corriente continua con etapa reductora y sensor de posicionamiento.</li> <li>• Controlable con PWM.</li> <li>• Necesidad de un circuito driver</li> <li>• Altos valores de par con baja tensión.</li> <li>• Incluyen un sensor de posición.</li> <li>• Son precisos.</li> <li>• Resolución alta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irreversible debido a la etapa reductora.</li> <li>• Necesidad de un circuito alternativo de seguridad para que funcione en caso de fallo.</li> </ul>
<b>Paso a Paso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fáciles de manejar debido a que tienen una electrónica asociada muy comercial.</li> <li>• Alto par con 12V de alimentación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen como resolución máxima 1,8°.</li> <li>• Necesidad de etapa reductora, para obtener mejor resolución. ¿irreversibilidad?</li> <li>• Se sobrecalientan funcionando de manera continua.</li> </ul>
<b>Brushless</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto par sin necesidad de etapa reductora con alta tensión.</li> <li>• Alta velocidad de respuesta.</li> <li>• Resolución alta.</li> <li>• Más rapidez de disipación del calor.</li> <li>• Menor inercia del motor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para encontrar motores con baja tensión y alto par.</li> <li>• Necesidad de una centralita electrónica que lo gobierne, que es de complicada de manejar.</li> </ul>

## 3.2. MEDICIONES

### 3.2.1. TOMA DE MEDICIONES.

Antes de comenzar a plantear cualquier diseño del accionamiento, es fundamental el conocimiento de dos magnitudes del carburador:

- Ángulo girado por la mariposa.
- Par necesario para mover la misma.

A la hora de tomar mediciones se hizo el ensayo, con el dinamómetro para medir el par necesario que abre totalmente la mariposa de aceleración. Este parámetro será de gran utilidad a la hora de diseñar el mecanismo y elegir el actuador para no modificar ningún elemento del motor, es decir, los resortes (son los encargados del retorno de la mariposa a cero). En caso de querer prescindir de estos resortes, el par no nos servirá de nada, puesto que la mariposa se movera con total libertad, tanto hacia un lado como a otro, pero tomamos en cuenta la resistencia que produce la bomba de pique al inyectar el combustible en la garganta del carburador.

Para poder tomar la medición se utilizo un dinamómetro, de pequeña escala para obtener un valor de gran precisión.

### 3.2.2. ÁNGULO GIRADO POR LA MARIPOSA

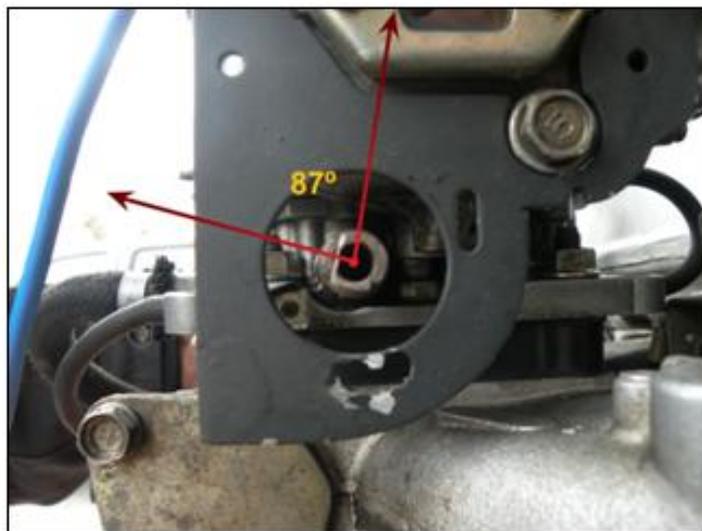
Para poder calibrar el actuador evitando que esfuerzos innecesarios que pueden acabar quemándolo, se necesita saber exactamente el ángulo que gira la mariposa.

El problema estriba en la dificultad para diseñar un mecanismo que mida exactamente el ángulo girado.



Figura 3.7. Eje de la mariposa

La mejor opción sería instalar un mecanismo en el mismo eje de la mariposa, pero el inconveniente está en que no se puede desmontar el eje, y hacer un agujero podría acarrear problemas en el futuro, es por ello por lo que la primera medida se obtuvo de manera experimental, se tomó fotos de la mariposa totalmente abierta y totalmente cerrada, procediendo hacer un montaje computarizado dando como resultado un ángulo aproximado de 87°.



**Figura 3.8. Ángulo de desplazamiento del eje de la mariposa**

Más adelante se diseñó otro mecanismo rudimentario pero que tiene buena precisión, el objeto consistía en medir con un potenciómetro el ángulo girado. Se alimentó el potenciómetro con 5,27 voltios y en el multímetro se observaban los valores que este marcaba y se apuntaba. Los valores interesantes del TPS son los siguientes:

**Tabla III.4. Medición del TPS del eje de la mariposa**

<b>% de Giro</b>	<b>Voltaje V</b>	<b>Resistencia KΩ</b>
0	0,01	6,43
25	2,55	5,74
50	3,64	4,43
75	4,08	2,28
100	4,27	1,54

Acoplado el TPS al eje de la mariposa mediante una sencilla regla de tres, se obtuvo el valor del ángulo cuando el voltaje es de 3,85 voltios.

4,27 voltios  $\longrightarrow$   $100^\circ$   
3,85 voltios  $\longrightarrow$  X  $X = 90,16^\circ$

### 3.2.3. PAR NECESARIO PARA MOVER LAS MARIPOSAS

Se realiza la medición con el dinamómetro con las especificaciones de 5kg. y 0.05kg de fondo de escala.

#### 3.2.3.1. Dinamómetro

Fue el ensayo más rudimentario, pero sirvió para tener una primera aproximación que nos daba una idea de por dónde iban a estar los valores finales. El mecanismo consiste en lo siguiente; el carburador tiene un eje de giro, y ese mismo eje tiene una brazo que es donde actúa el cable del acelerador, el ensayo consistió en colocar el gacho en el brazo del carburador, dicho gancho esta unido al dinamómetro, se acciona el brazo para mover el eje de la mariposa hasta que esta se encuentre totalmente abierta, se toma una primera medida y se repite este procedimiento varias veces para obtener un valor promedio que sea lo más cercano a la realidad del proyecto.

En la Figura se observa la disposición de los elementos para la medición de la fuerza.

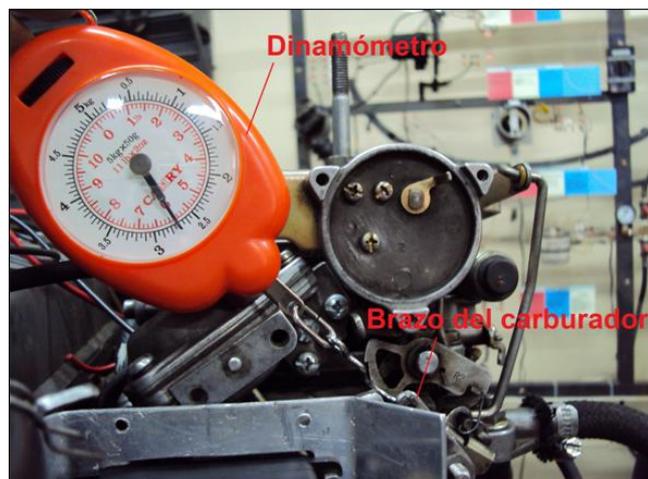


Figura 3.9. Prueba del dinamómetro

Las pruebas con el dinamómetro arrojaron un valor de aproximadamente entre 2.5 y 2.75Kg, y la longitud del brazo es de 26mm aproximadamente.

Quedando que el par necesario es:

$$T = F \times r \quad \text{Ecuación 3.2. Par}$$

Donde fuerza es igual al peso:

$$W = F = m \times g = 2,75Kg \times 9,8 \frac{m}{seg^2} = 26,95N$$

Entonces torque es igual:

$$T = F \times r = 26,95N \times 0,026m = 0,7Nm$$

Esto es solo una medida aproximada, porque la precisión del dinamómetro no es muy buena, ya que es de 5kg de fondo de escala. Se le aplicará un coeficiente de seguridad, y se buscarán motores que superen el par de  $0,7 \cdot n$  (Siendo n el coeficiente de seguridad.)

Tomaremos un coeficiente de seguridad de 2 que será el doble de lo medido para elegir el actuador cuyo par mínimo será  $0,7 \cdot 2 = 1,4Nm$  o mayor dependiendo de lo que se encuentre en el mercado.

### 3.3. EL ACTUADOR

El motor junto con el mecanismo elegido tiene que cumplir con las siguientes características:

Tabla III.5. Requisitos del actuador

<b>Par</b>	> 0,7Nm
<b>Tensión</b>	< 6voltios
<b>Velocidad de respuesta</b>	Madia
<b>Reversibilidad</b>	Sí, mediante programación

### 3.3.1. REVERSIBILIDAD

Es importante que el mecanismo sea reversible, pues si se produce un fallo en el actuador y deja la mariposa abierta podría provocar un desastre. El método para hacer reversible el actuador puede ser de tres formas, mediante los muelles de retorno de la mariposa, mediante el software de control o con un circuito en paralelo que actúe en casos de fallo.

### 3.3.2. MUELLES

Los muelles son los encargados de hacer volver la mariposa a cero, pero también hacen que para abrir la mariposa el par sea mayor, por ello se estudiarán los siguientes mecanismos, y si en ninguno se obtiene un coeficiente de seguridad alto, los muelles serán eliminados.

### 3.3.3. MECANISMOS PROPUESTOS

Se propusieron hasta cuatro mecanismos para actuar, recordemos que el par para mover las mariposas es de 0,7Nm. Los mecanismos en cuestión son los siguientes.

- **Mecanismo de Barras:** Tres barras articuladas entre si, una es girada por el motor, otra por la mariposa y la tercera hace de unión entre las dos, consiguiendo rigidez para que el motor pueda actuar en las dos direcciones. Se tienen dos posibilidades, actuar directamente en el brazo, o en el eje.
- **Mecanismo de poleas:** Este mecanismo se compone la polea de la mariposa, la polea del motor y un cable que une los dos. Este mecanismo es reversible gracias a los muelles, pero tiene el por ello que se recurrió a estudiar el siguiente mecanismo.

- **Mecanismo de poleas, utilizando reducción en el actuador:** Es exactamente igual al anterior, pero en este caso se utiliza una etapa reductora antes de la polea del motor. Se intentará que la reducción sea solo de una etapa para garantizar la reversibilidad.
- **Mecanismo de husillo y motor paso a paso:** Este mecanismo se diferencia de los anteriores en que el motor y todo lo demás ya está elegido. Consiste en un motor paso a paso atravesado por un husillo que se mueve de un lado para otro en función de la rotación del motor.

### 3.3.4. COMPARACIONES ENTRE LOS MECANISMOS

Se va elaborar una tabla-resumen de los mecanismos estudiados para compararlos entre si y ver cual es mejor.

#### 3.3.4.1. Mecanismo de barras.

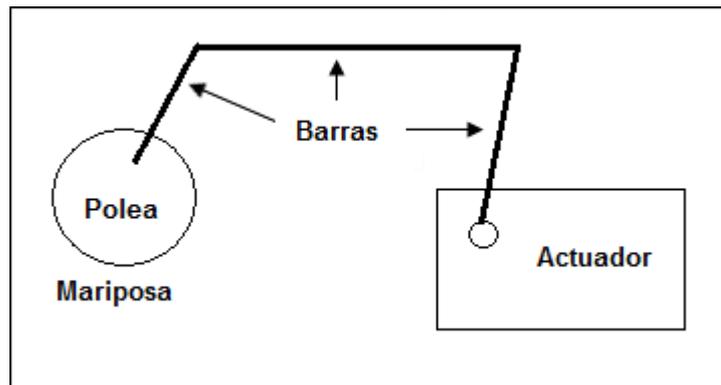
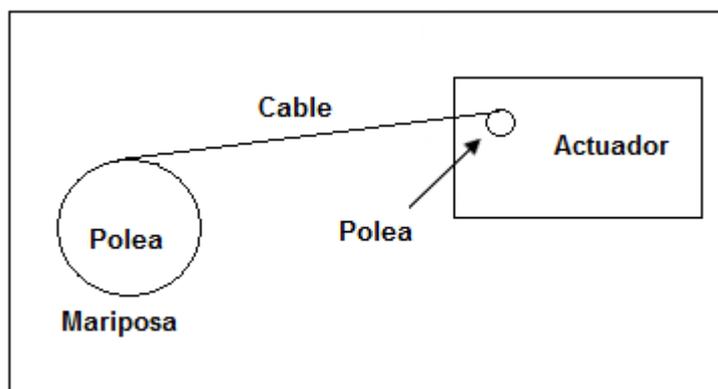


Figura 3.10. Mecanismo de Barras

**Tabla III.6. Ventajas e inconvenientes del mecanismo de barras**

<p><b>Ventajas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilita dos opciones de actuación: en el eje o en la brazo. Con la primera opción se consiguen mejores resultados que con la segunda.</li> <li>• Bajo par requerido para el actuador.</li> <li>• Puede trabajar en ambos sentidos de giro, ya que la barra intermedia aporta consistencia.</li> <li>• Reversible.</li> <li>• Sería la mejor solución en caso de que se pudiese actuar directamente sobre el eje.</li> </ul>
<p><b>Inconvenientes</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para actuar en el mismo eje de la mariposa, ya que existen dificultades para modificar el eje.</li> <li>• Se podría actuar en el eje de la mariposa pero ya no se consiguen tan buenos resultados y habría que modificar la polea.</li> <li>• Poco espacio para modificar la polea.</li> </ul>

### 3.3.4.2. Mecanismo de poleas



**Figura 3.11. Mecanismo de poleas**

**Tabla III.7. Ventajas e inconvenientes del mecanismo de poleas**

<p><b>Ventajas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de construir y montar.</li> <li>• Los muelles son los encargados de trabajar en el sentido descendente de la mariposa.</li> <li>• Reversible totalmente.</li> <li>• No necesita modificar elementos del motor.</li> </ul>
<p><b>Inconvenientes</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No pueden trabajar en ambos sentidos.</li> <li>• Alto par requerido para el actuador, el más bajo de 0,055Nm con dificultad de construcción debido al tamaño de la polea.</li> </ul>

### 3.3.4.3. Mecanismo de poleas con reducción en el actuador

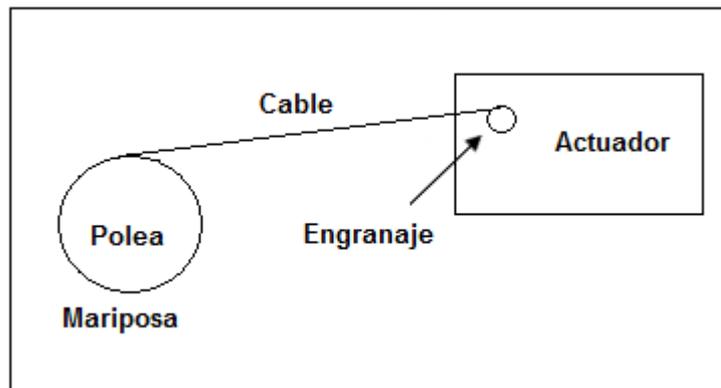


Figura 3.12. Mecanismo de poleas con reducción en el actuador

Tabla III.8. Ventajas e inconvenientes del M. de poleas con reducción en el actuador

<p><b>Ventajas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de construir y montar, la reducción se puede comprar ya hecha.</li> <li>• Los muelles son los encargados de trabajar en el sentido descendente de la mariposa.</li> <li>• Reversible hasta cierta reducción, depende del número de etapas reductoras.</li> <li>• Sin modificar elementos del motor se consiguen buenos resultados.</li> <li>• Bajo par requerido con o sin modificación del motor.</li> </ul>
<p><b>Inconvenientes</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de encontrar engranajes de radio tan pequeño. La solución sería utilizar una reducción ya fabricada y calcular el par necesario.</li> <li>• Posibilidad de ser irreversible.</li> </ul>

### 3.3.4.4. Mecanismo de husillo y motor paso a paso

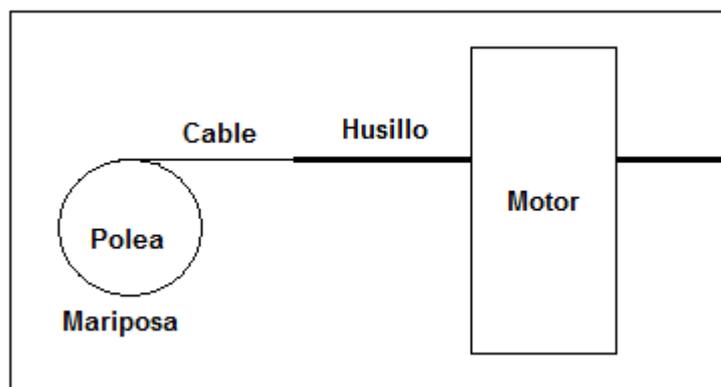


Figura 3.13. Mecanismo de husillo y motor paso a paso

**Tabla III.9. Ventajas e inconvenientes del mecanismo de husillo y motor paso a paso**

<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil de construir y montar.</li><li>• Podría ser reversible utilizando un tornillo de mayor paso.</li><li>• No es necesario la modificación de elementos del motor.</li></ul>
<b>Inconvenientes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El motor paso a paso se calienta con facilidad y puede estropearse. La opción es probar con un DC.</li><li>• Irreversible, por lo se requeriría un mecanismo de seguridad para casos de fallo.</li></ul>

No existe diferencia entre los tres primeros mecanismos, si bien, el primero sería diferente de los otros dos en caso de actuar directamente en el eje.

### **3.3.5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ACTUADORES**

Recordemos previamente los requisitos para el actuador:

- Par mínimo de 0,7Nm, al que hay que aplicarle un coeficiente de seguridad, 1,4Nm.
- Alimentación a 5V e intensidad no mayor de 5A.
- Los muelles deben conseguir que el mecanismo sea reversible.
- Velocidad media.
- Resolución, es decir, que en los 90° que gira la mariposa el actuador tenga por lo menos el doble de posiciones.

A la vista de los resultados obtenidos en cada mecanismo, se muestran ahora las siguientes conclusiones:

- No existen motores de alto par y bajo consumo de intensidad alimentados con solo 5 voltios. El mejor con baja intensidad tiene un par de 1,3Nm.
- En cuanto a velocidad y resolución son buenos, pero dependen también del sistema de adquisición de datos.
- Los muelles no hacen más que incomodar, y es por ello por lo que se eliminarán y se procederá a utilizar un actuador que pueda funcionar en ambos

sentidos. Se pierde seguridad en cuanto a reversibilidad, pero ya no se necesitan motores con par tan alto.

- El nuevo actuador deberá tener una fiabilidad muy alta.
- Par necesario para mover la mariposa es de 0.7Nm.

Por tanto se llega a que el actuador elegido en cuestión se trata de un servomotor, al cual se le impondrán los siguientes requisitos.

- Media velocidad de respuesta.
- Alta fiabilidad.
- Par mínimo de 1,078Nm. Para nuestra aplicación es más que suficiente.

Por ello en los siguientes apartados se procederá a la elección del servo comparando las diferentes marcas, así como al diseño del mecanismo utilizado para la transmisión del giro.

### **3.4. ELECCIÓN DEL SERVOMOTOR**

Las marcas entre las cuales se barajó la elección del servomotor son:

- Airtronics
- Cirrus
- FMA
- Futaba
- Hitec
- JR
- KO Propo
- MPI
- Multiplex
- Tower Hobbies

Todos los servos suelen ser bastante seguros, pero las marcas más conocidas y más fiables son Futaba y Hitec, es por ello por lo que se intentará elegir uno de estas dos. Aunque hay servos de otras marcas que responden unas centésimas de segundos más rápido que los de Futaba o Hitec, se intentará antes elegir uno de estas dos, y en caso de no encontrar ninguno que satisfaga las necesidades

entonces se recurrirá a los otros. Las características que se tendrán en cuenta son las siguientes:

- Velocidad de respuesta
- Par
- Precio

Finalmente, tras comparar los servos, la elección recayó en el servomotor de la marca Hitec modelo HS-755HB cuya tabla de características se muestra a continuación.

**Tabla III.10. Características del servomotor HS-755HB**

<b>Sistema de control:</b>	Modulación por anchura de pulso
<b>Pulso requerido:</b>	Onda cuadrada de 3 a 5 voltios de pico a pico
<b>Voltaje de operación:</b>	4,8 – 6,0 Voltios
<b>Rango de temperaturas de funcionamiento:</b>	Desde -20 hasta 60°.
<b>Velocidad de operación (4,8V):</b>	0,28seg/60° sin carga
<b>Velocidad de operación (6V):</b>	0,23seg/60° sin carga
<b>Par (4,8V):</b>	1,078Nm
<b>Par (6V):</b>	1,30Nm
<b>Modificable a 360°:</b>	Sí
<b>Tipos de engranajes:</b>	Carbonita
<b>Longitud del cable:</b>	300mm
<b>Dimensiones:</b>	59.00 x 29.00 x 50.00mm
<b>Peso:</b>	110,00 gr

También se puede utilizar motores de especificaciones más altas, pero para nuestra aplicación este motor satisface nuestras necesidades.

### 3.4.1. ELECCIÓN DEL MECANISMO PARA LA TRANSMISIÓN DE GIRO

Por facilidad que tenemos de accionar directamente al eje y debido que el espacio nos permita, optamos por un mecanismo de barras que nos permite actuar directamente sobre la mariposa de aceleración, dándonos una gran seguridad en el momento que el servo mueva la misma.

La relación de este mecanismo es de 1:1.



Figura 3.14. Mecanismo de barras

Las dimensiones de las barras son:

Tabla III.11. Dimensiones del mecanismo de barras

<b>Brazo mariposa</b>	2,6cm
<b>Brazo servomotor</b>	2,5cm
<b>Barra</b>	6cm

### 3.4.2. MONTAJE

En las siguientes fotos se puede ver el montaje del soporte, servo, polea y cable en el motor de prueba que había en el laboratorio.



**Figura 3.15. Soporte con el servomotor**



**Figura 3.16. Conjunto montado en el motor**

### **3.5. RESUMEN**

Se va a realizar ahora un resumen general de los elementos elegidos y la disposición de los mismos:

- El actuador elegido será un servomotor de la marca Hitec HS-755HB con par de 1,30Nm y velocidad de 0.23seg a 60°. Este motor será el encargado de mover la mariposa.

- El mecanismo de transmisión de movimiento servo-mariposa será el de barras.
- Se realizó el cambio del cable original del servomotor por un cable blindado, para una mayor eficiencia del sistema, siendo la distribución de los cables la siguiente: Gris-Tierra; Blanco-Señal; Azul-Alimentación.
- El soporte irá situado en el colector de admisión a la altura del brazo de la mariposa, para incidir directamente sobre ella.
- El servomotor irá protegido dentro de una cubierta de aluminio, que a mas de soporte intentara reducir los efectos de temperatura.

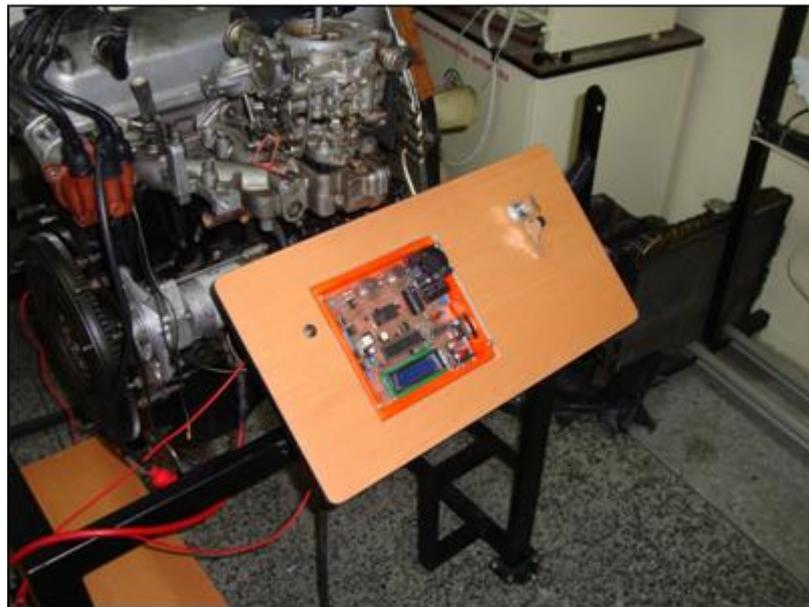
## CAPÍTULO IV

### IV. CONTROL Y PROGRAMACIÓN

#### 4.1. LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO

La unidad de control electrónico UCE es el ordenador central del proyecto, su función es la de recibir los datos procedentes de los sensores instalados en el motor.

En la figura se observa la caja donde se encuentra la UCE.



**Figura 4.1. Posición de la UCE**

En el caso de este proyecto, la UCE será la encargada de recibir la señal del potenciómetro TPS instalado en el pedal y mediante una ley de control, enviar la señal necesaria al actuador instalado en la mariposa.

En la UCE se podrán implantar varios programas de control, y auto diagnóstico para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

#### 4.1.1. SUBSISTEMA DE SENSADO

En el sistema existen dos sensores resistivos, uno en el eje de la mariposa y otro en el eje de pedal de aceleración que nos proporcionan una señal para saber la posición en la que ellos se encuentran, actúan como divisores de voltaje, es decir la computadora envía un voltaje de referencia y dependiendo del valor de la resistencia que varía cuando se desplaza angularmente estos sensores TPS.

$$V_{señal} = V_{referencia} \times \frac{R_{accionado}}{(R_{vacio} + R_{accionado})} \quad \text{Ecuación 4.1. Señal TPS}$$

La señal de estos es tomada por el microcontrolador en el CAD para poder utilizar estos datos en el subsistema de control.

Para evitar que se distorsione las señales de estos sensores se coloca un filtro pasabajo que permitirá que el microcontrolador no reciba corrientes indeseables que provocarían un fallo en el sistema. Como se indica en las figuras 4.2 y 4.3

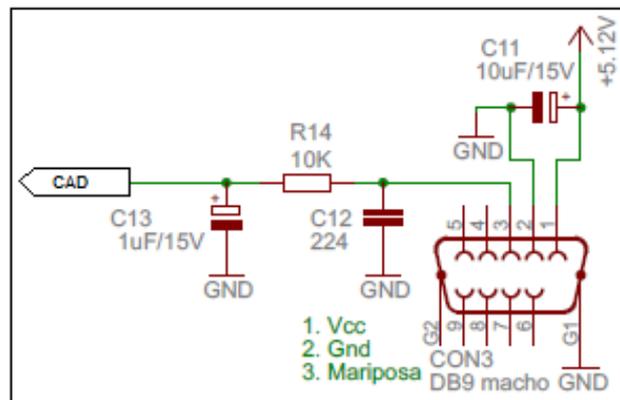


Figura 4.2. Filtro pasabajo de la mariposa

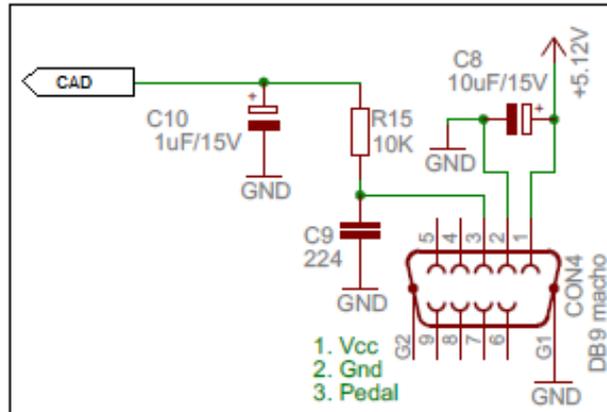


Figura 4.3. Filtro pasabajo del pedal

La frecuencia de corte de la mariposa y del pedal es 15,91Hz, aplicando la siguiente fórmula:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi \times R14 \times C13}$$

Ecuación 4.2. Frecuencia de corte, filtro pasabajo

#### 4.1.2. SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO Y CONFIGURACIÓN

A pesar de que varias familias de microcontroladores son eficaces para estas aplicaciones, especialmente si en ellas predomina una característica concreta, los microcontroladores AVR de Atmel son la mejor solución para el presente proyecto. Las siguientes son varias características en la concepción del sistema:

- Gran variedad de modelos que permite elegir el que mejor responde a los requerimientos de la aplicación.
- Información y herramientas de desarrollo fáciles de conseguir y económicas.
- Sencillez de manejo a su sed de instrucciones tipo RISC; pocas pero muy poderosas.
- Buen promedio de parámetros velocidad, consumo, tamaño, alimentación.
- Conversor análogo-digital de varios canales.
- Temporizadores-contadores programables, con pre divisores y post divisores.
- Puerto de comunicación serie síncrono con SPI e I<sup>2</sup>C, y puerto USART.

- EEPROM interna accesible por código.
- Fuentes de interrupción externas e internas.

Los microcontroladores PDIP Atmega16 pertenecientes a la marca ATMEL, tienen ciertas particularidades que se apegan a los requerimientos del sistema.

- Memoria Flash de 16K bytes de In-System Programmable.
- Memoria de 512 bytes EEPROM.
- 1K bytes de SRAM.
- Dos cables de interfaz serie
- Un temporizador programable Watchdog con oscilador interno.
- Una serie USART (Transmisor Receptor Sincrónico Asincrónico Universal) programable.
- 8 canales de ADC con resolución de 10 bits.

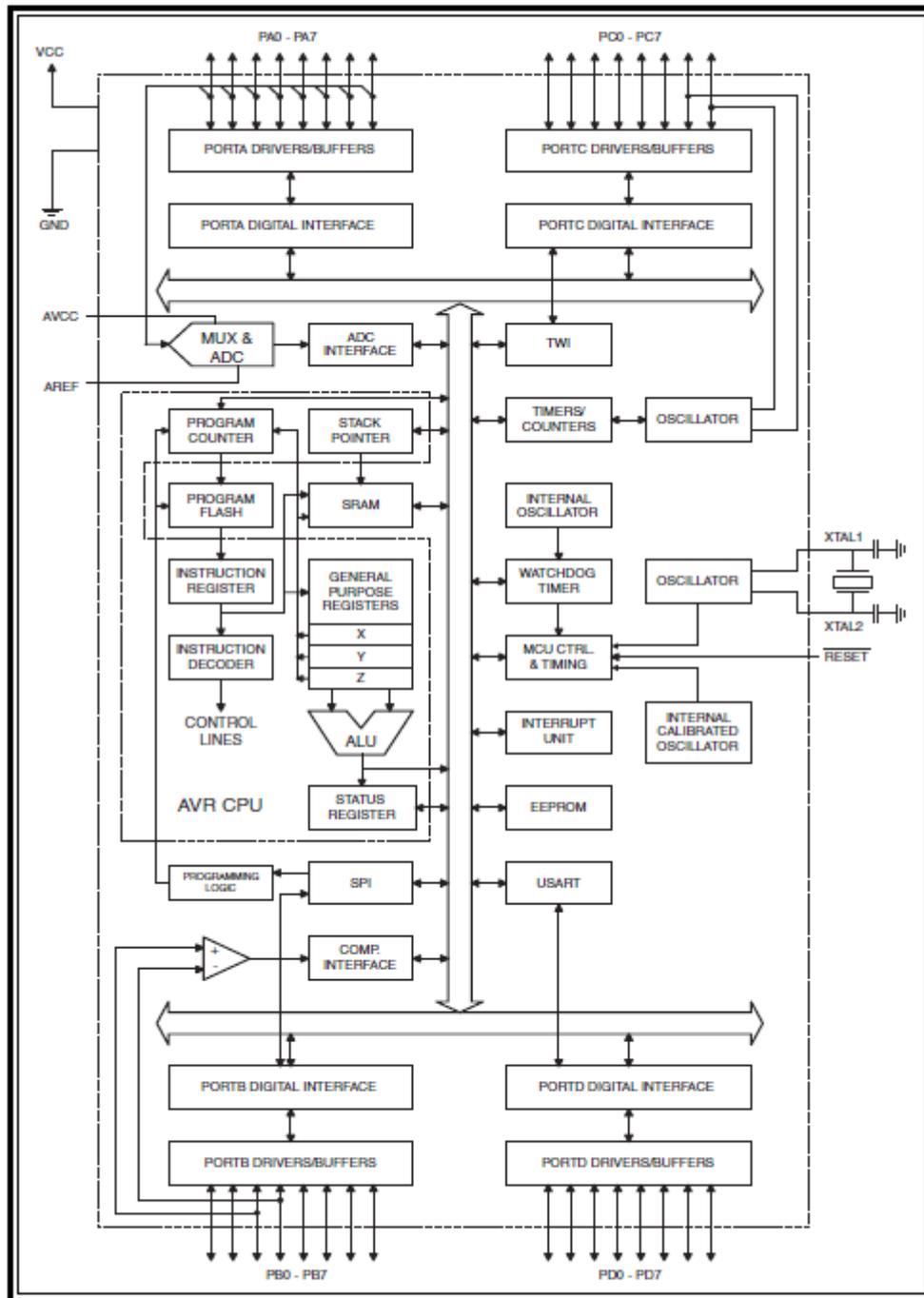


Figura 4.4. Diagrama de bloques del Atmega16

#### 4.1.2.1 Función de procesamiento

El AVR Atmega16 se encarga del proceso de información, al adquirir todos los datos de las variables externas, manipularlos y entregarlos de forma adecuada para su visualización y actuación.

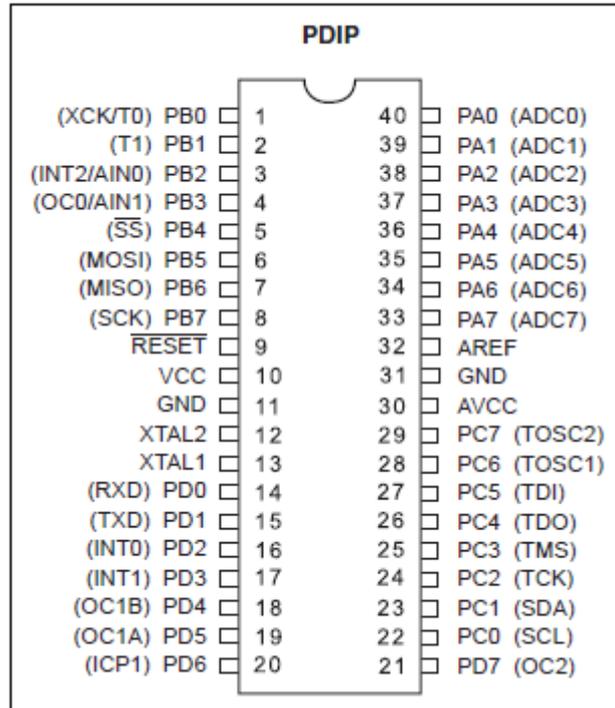


Figura 4.5. PINOUT del PDIP Atmega16

#### 4.1.2.1.1. Conexión del microcontrolador

La siguiente tabla resume el destino de conexión de cada uno de los pines del microcontrolador. Define a demás si son entradas o salidas, y en el caso de ser entradas, si estas son análogas o digitales.

Algunas características especiales de configuración del HARWARE del microcontrolador son:

- La referencia del conversor análogo, digital es el mismo voltaje de alimentación (5,12V).
- Los pines de este microcontrolador se pueden programar como entradas o salidas indiferentemente.

**Tabla IV.1. Configuración de puertos del microcontrolador de procesamiento**

<b>CONFIGURACIÓN DE PUERTOS MICROCONTROLADOR PIC18F4550</b>					
	<b>NOMBRE</b>	<b>PIN</b>	<b>E/S</b>	<b>A/D</b>	<b>FUNCIÓN / OBSERVACIÓN</b>
<b>PORTA</b>	PA0/ADC0	40	E	A	TPS Pedal
	PA1/ADC1	39	E	A	TPS Mariposa
	PA2/ADC2	38	S	D	Transistor de control de relé
	PA3/ADC3	37	S	D	Transistor de control led LCD
	PA4/ADC4	36	-	-	-
	PA5/ADC5	35	-	-	-
	PA6/ADC6	34	-	-	-
	PA7/ADC7	33	-	-	-
<b>PORTB</b>	PB0/(T0/XCK)	1	E	D	Contacto Llave
	PB1/T1	2	E	D	Botón configuración S2
	PB2/(AIN0/INT2)	3	E	D	Botón configuración S3
	PB3/(AIN1/OC0)	4	-	-	-
	PB4/SS	5	-	-	-
	PB5/MOSI	6	-	-	-
	PB6/MISO	7	-	-	-
	PB7/SCK	8	-	-	-
<b>PORTC</b>	PC0/SCL	22			RS LCD
	PC1/SDA	23			RW LCD
	PC2/TCK	24			E LCD
	PC3/TMS	25			-
	PC4/TDO	26			D4 LCD
	PC5/TDI	27			D5 LCD
	PC6/TOSC1	28			D6 LCD
	PC7/TOSC2	29			D7 LCD
<b>PORTD</b>	PD0/RXD	14	-	-	-
	PD1/TXD	15	-	-	-
	PD2/INT0	16	S	D	Transistor luz piloto (opcional)
	PD3/INT1	17	-	-	-
	PD4/OC1B	18	-	-	-
	PD5/OC1A	19	S	D	PWM
	PD6/ICP	20	-	-	-
	PD7/OC2	21	-	-	-
	RESET	9	E	D	Reset
	VCC	10	E	D	Alimentación (Vcc)
	GND	11	E	D	Alimentación (Tierra)
	XTAL2	12	-	-	-
	XTAL1	13	-	-	-
	AVCC	30	E	D	Alimentación del convertor A/D
	AGND	31	E	D	Alimentación del convertor A/D
	AREF	32	E	D	Referencia del convertor A/D

### **4.1.3. SUBSISTEMA DE VISUALIZACIÓN**

Se maneja un visualizador local que permite al usuario leer en tiempo real el valor de las variables medidas, para configurar el dispositivo y verificar su correcto funcionamiento.

#### **4.1.3.1. Visualizador local de variables**

Es una LCD con BACKLIGHT de 16 filas y 32 caracteres, con matriz de 5x8 pixeles y gobernadas desde el mismo microcontrolador atmega16. Las razones para preferirle sobre una LCD gráficas son:

- Nos permite tener todos los parámetros en una misma pantalla.
- El posicionamiento bidimensional en la LCD es de carácter-línea. Este aspecto disminuye el tiempo de diseño.

Los LEDs de retro alimentación de la LCD, son comandados desde la computadora a través del transistor Q5, la resistencia R16 limita la corriente suministrada por el pin de control para que el transistor trabaje solo en su zona activa y no en saturación.

El contraste de la iluminación se lo realiza mediante la resistencia variable R12 el mismo que se modifica en función de los requerimientos del usuario.

El BACKLIGHT se controla a través de la resistencia R16 que limita la corriente que circula por el transistor Q5, esta varía dependiendo de que su valor sea mayor o menor.

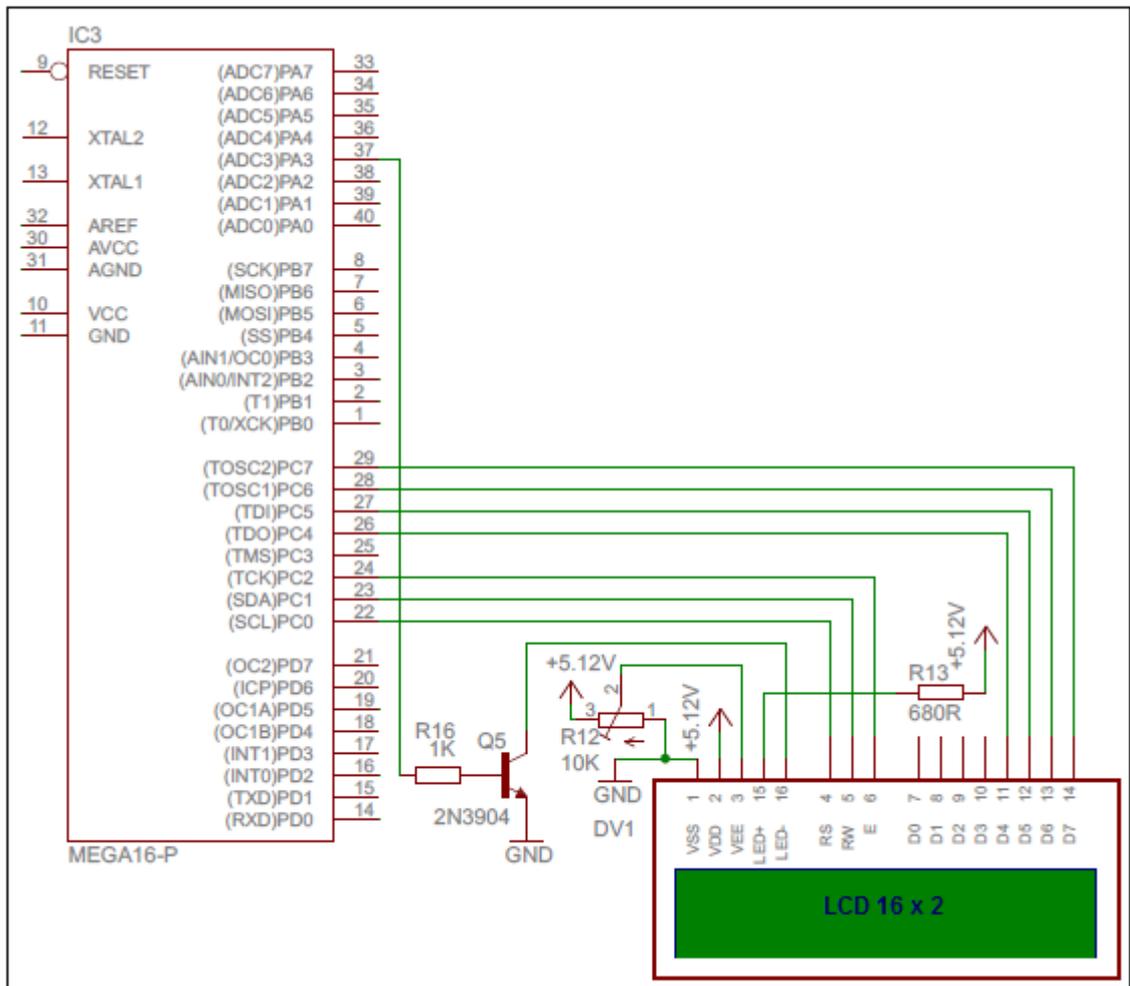


Figura 4.6. Diagrama de conexión de la pantalla LCD y el microcontrolador.

#### 4.1.4. SUBSISTEMA DE CONFIGURACIÓN

Este circuito sirve en caso de que se desee modificar los parámetros: del pedal, de la mariposa y el rango de PWM para el control del servomotor.

Los pulsadores S2 y S3 normalmente abiertos envían una señal para que el AVR procese y determine si se desea realizar la calibración o no. El opto acoplador IC5 sirve para conmutar masa y está alimentado directamente con 12V desde la batería pasando por la posición ON de la Llave de encendido, este parámetro es indispensable al momento de realizar la calibración.

Estos pulsadores envían la señal al momento que conmutan a masa debido a las especificaciones del microcontrolador que son diferentes a las de otros.

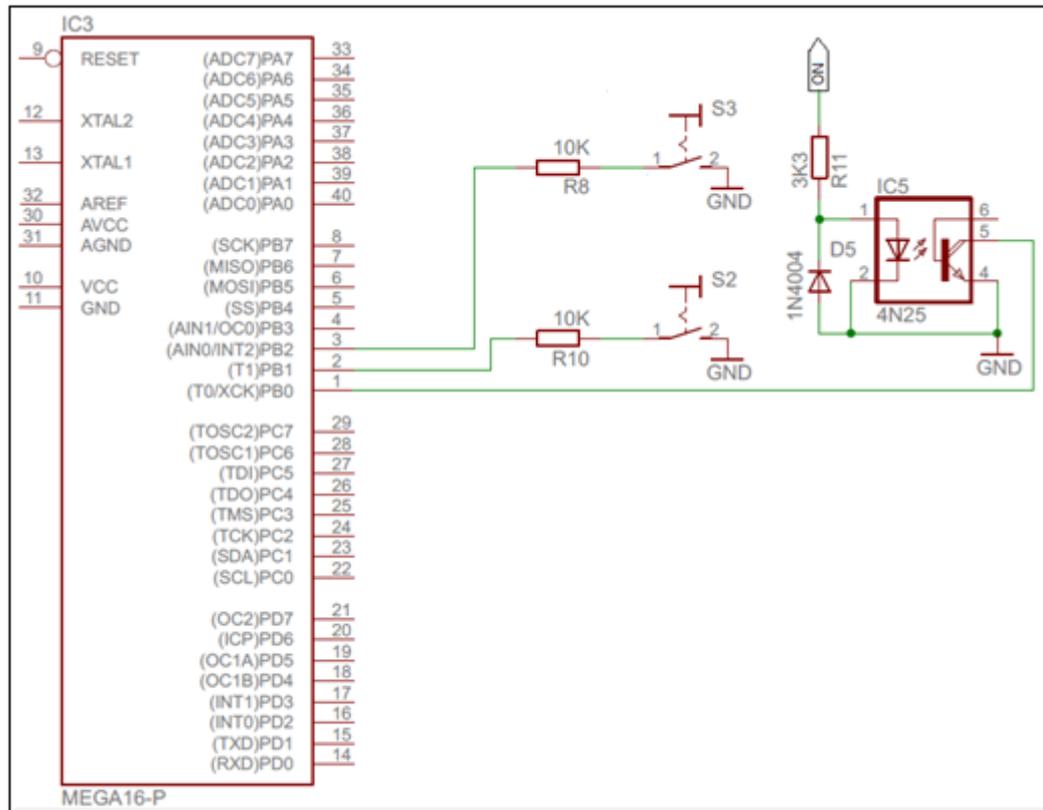


Figura 4.7. Conexión circuito de calibración

#### 4.1.4.1. El optoacoplador

La corriente que proporciona la batería es limitada por la resistencia R11 la misma que activa los IRLED, por esta razón la resistencia R11 posee un valor relativamente grande. Esto se hace con el fin de limitar la corriente de consumo de los optoacopladores.

El diodo D5 en conexión antiparalela, impide que voltajes reversos polaricen y quemen el delicado IRLED del optoacoplador.

Se utilizo un optoacoplador 4N25 ya que es opto aislado que significa que no hay conexión eléctrica entre el voltaje de la batería y la señal para el microcontrolador, lo que le protege en caso de una falla.

La falla más común de un transistor es que al quemarse conduce directamente la corriente y el voltaje que lo alimenta haciendo imposible desacoplarlo, mientras

que un optoacoplador tiene la conexión para el IRLED separada de la del fototransistor lo hace imposible que este quede en cortocircuito y en caso de dañarse simplemente hay que reemplazarlo.

#### 4.1.4.1.1 Selección de un optoacoplador

Para un voltaje mínimo de 10V proporcionado por la batería en el peor de los casos y una caída de voltaje máxima de 1.35V en el IRLED, circulan 2.6mA en el circuito emisor.

$$I_{F\text{mínima}} = \frac{V_{\text{mínima}} - V_{\text{IRLED}}}{R}$$

**Ecuación 4.3. Corriente mínima a través del LED de un optoacoplador**

$$I_{\text{mínima}} = \frac{10V - 1.35V}{3.3K\Omega} = 2.6mA$$

La corriente que circula por el pin del microcontrolador es de 0.34mA, calculada con la resistencia interna y el voltaje de referencia.

$$I_{PIN} = \frac{V_{\text{Referencia}}}{R_{\text{Interna}}}$$

**Ecuación 4.4. Corriente que circula en el PIN**

$$I_{PIN} = \frac{5.12V}{15K\Omega} = 0.34mA$$

Para determinar el CTR (Radio de Transferencia en un Optoacoplador) nos valemos de la siguiente ecuación:

$$CTR_{\text{máximo}} = \frac{I_{C\text{ máximo}}}{I_{F\text{ mínimo}}}$$

**Ecuación 4.5. Radio de transferencia en un optoacoplador**

$$CTR_{\text{máximo}} = \frac{0.34mA}{2.6mA} = 0.130$$

El CTR requerido es muy inferior al especificado para esa corriente en el diagrama de la figura 4.8 (CTR=1.1), lo que afianza su operación para condiciones severas.

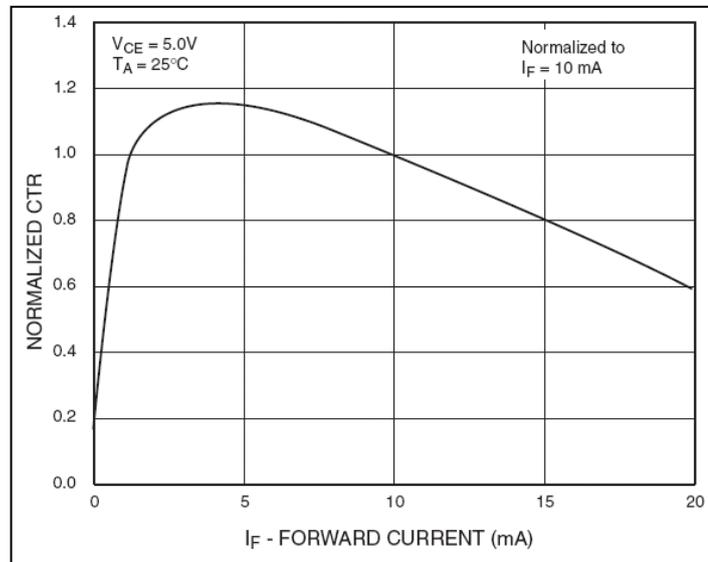


Figura 4.8. Diagrama CTR vs IF, extraído de la hoja de datos del Fairchild 4N25

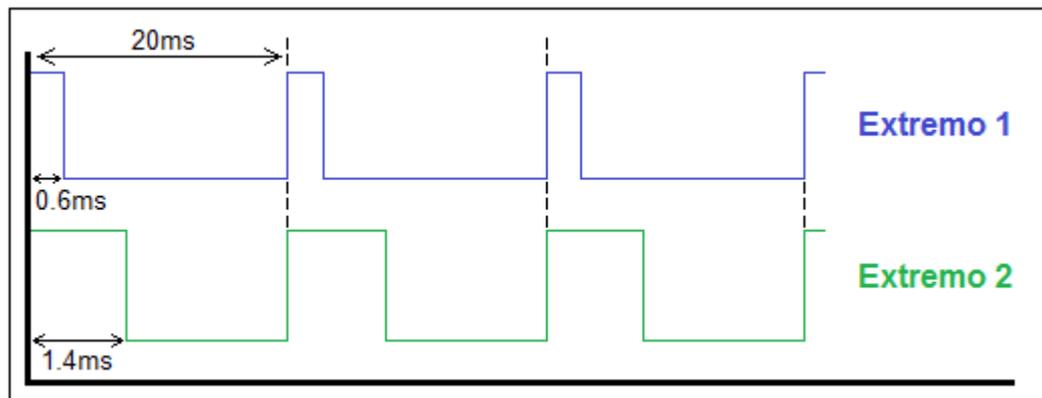
#### 4.1.5. SUBSISTEMA DE ACTUACIÓN

A este subsistema le corresponde la etapa de potencia. Esta permite al mecanismo tener la corriente necesaria para manejar al actuador o servomotor.

Una vez que ha sido elegido el actuador, se conoce que factores hay que tener en cuenta a la hora de programarlo e instalarlo. Los puntos siguientes serán de gran importancia tenerlos en cuenta para el buen funcionamiento:

- El servo será controlado mediante PWM.
- La señal de control del servo será renovada cada 20ms por lo que la frecuencia será de 50Hz.
- La forma de la onda será cuadrada y de 3 a 5 voltios de pico a pico.
- El servo vuelve a la posición cero en caso de no recibir señal, es por ello que a la hora de instalarlo se tendrá en cuenta este aspecto para que coincidan el cero del servo y de la mariposa.

- Se alimentará el servo 4.8 ó 6 voltios.
- Los cables tienen las siguientes funciones: Gris-Tierra, Blanco-Señal, Azul-Alimentación.
- En función de la duración del pulso, el servo se posicionará en una posición u otra, así, los pulsos serán entre 0,6ms y 1,4ms para posicionarse en los extremos.



**Figura 4.9. Pulsos de control del servo elegido**

- El sentido de giro del servo es el de las agujas del reloj.
- Al tener que alimentar el servo con 6 voltios, y la UCE sólo puede suministrar 5 voltios, se utilizará un regulador.
- El servo puede girar un máximo de 180°.

#### **4.1.5.1. Alimentación del servomotor**

La alimentación se realiza con un circuito diferente al del microcontrolador para evitar que se sobrecaliente debido al consumo que estos tienen, por tal razón se lo conecta directamente a la batería a través del regulador detallado en la figura.



$$\beta = \frac{I_C}{I_V}$$

**Ecuación 4.7. Factor de ganancia de corriente**

$$\beta = \frac{I_C}{I_V} = \frac{4A}{400mA} = 10$$

En el caso de Q6, Q8, Q9, 10 es el factor de ganancia de corriente (Transistor de tipo 2N3055).

$$I_C = \beta \times I_B$$

**Ecuación 4.8. Ganancia de corriente**

Entonces la corriente que circula por Q6 es:

$$I_C = \beta \times 12mA = 120mA$$

La corriente máxima que puede circular por Q8 y Q9, sería 1200mA en el peor de los casos con carga al máximo.

$$I_C = \beta \times 120mA = 1200mA$$

En teoría la corriente que circula sería 2.4A, sumando la de Q8 y Q9

R31, R32, R33 son divisores de voltaje y R29 limitador de corriente, D12 es un zener que nos sirve para proporcionar un voltaje de referencia de 3.3V, que circula por un transistor denominado polarizador Q7, llegando hasta el transistor denominado neutralizador Q6.

$$V_{\text{salida}} = V_{\text{entrada}} \times \frac{R_{EQ}}{R_{31} + R_{EQ}}$$

**Ecuación 4.9. Divisor de voltaje**

$$V_{\text{salida}} = 12V \times \frac{2,35K}{6,8K + 2,35K} = 3,08V$$

Lo que nos daría la referencia del diodo zener de D12, que es igual a 3,3V.

## 4.1.6. SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

### 4.1.6.1. Fuente de alimentación de la UCE

La tensión de alimentación se obtiene de la batería del automóvil, se filtra y se aplica regulada al resto del circuito. La fuente convierte el voltaje de casi 14 voltios de entrada en dos fases, de 9 voltios y de 5,12 voltios.

En la figura se detalla los componentes y el funcionamiento de la fuente de alimentación.

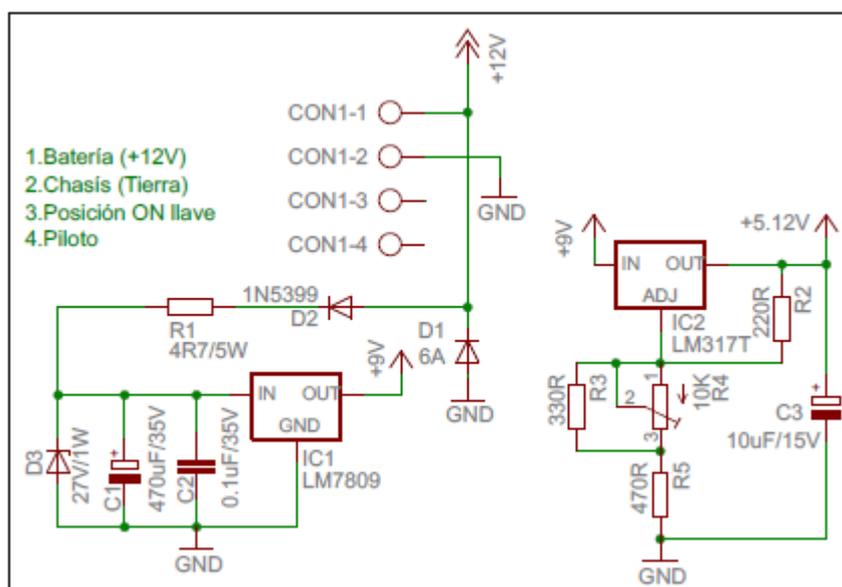


Figura 4.11. Circuito de alimentación del módulo

La fuente consta de un rectificador (D1, D2), una protección para sobre tensión(R1, D3), un filtro de ruido(C1, C2, C3), un regulador lineal fijo(IC1) y un regulador variable (IC2).

El rectificador recorta picos negativos de ruido y protege el circuito cuando por error, se invierte la polaridad de la batería. Si esto sucede el fusible externo se destruye y se bloquea el módulo.

La resistencia de R1 y el diodo zener D3, resguardan el circuito de sobre voltajes instantáneos. Estos pueden escaparse desde el alternador cuando se quita el contacto del motor.

La regulación de voltaje se lo realiza en etapas: primero se lo regula a 9V, y luego se lo reduce a 5,12V. De esta manera el voltaje se disipa en algunos integrados. Así, los reguladores de voltaje se calientan menos.

La ecuación que se adapta a los reguladores de voltaje se adapta extraída de la hoja de datos LM317T, indica el voltaje de salida obtenida en la misma

$$V_{regulación} \cong \frac{R_2 + VR_1}{R_2} \times (1,25V)$$

Así el voltaje regulado sería

$$V_{regulación} \cong \frac{220\Omega + 681,12\Omega}{220\Omega} \times (1,25V) = 5,12V$$

La corriente que pueden suministrar los reguladores según sus especificaciones es de máximo de 1A. Este valor es suficiente para satisfacer las necesidades de potencia del circuito.

## **4.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO GENERAL**

El diagrama esquemático general agrupa todos los circuitos analizados, mas ciertos componentes de igual importancia como los condensadores de desacoplo. Así se evita que corrientes parásitas afecte a microcontroladores, modulo de visualización (LCD) y de más elementos. Además incluye conectores necesarios en su implementación física.



## **4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FIRMWARE**

### **4.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN**

Actualmente los desarrolladores de sistemas embebidos programan microcontroladores usando lenguajes de alto nivel, por ejemplo Lenguaje C ANSI. Estas son las razones:

- Es más fácil desarrollar programas.
- El mantenimiento del programa (corrección de errores semánticos y sintácticos) es rápido y fácil.
- Se pueden realizar operaciones matemáticas y lógicas complejas sin dificultad mayor.
- No se necesita conocer a fondo la RAM especial del microcontrolador.

En adición, el espacio de memoria que ocupa el código compilado en alto nivel es usualmente más grande que el desarrollado en ensamblador. Además, existen ciertas configuraciones específicas que las librerías no realizan.

A nuestro criterio, un programa relativamente eficiente, rápido de desarrollar y con funciones específicas se realiza en C ANSI y ensamblador a la vez.

#### ***4.3.1.1 Lenguaje de programación***

Para el presente proyecto se utilizó el Lenguaje C ANSI (American National Standards Institute), por su fácil funcionamiento al compilar las instrucciones en el software CodeVision para programar el microcontrolador Atmega16.

Este lenguaje se cataloga como un lenguaje de nivel medio, puesto que combina elementos de lenguajes de alto nivel (Fortran, Pascal, Basic, etc.) con la funcionalidad del lenguaje ensamblador.

Permite el manejo de bits, bytes y direcciones de memoria. Posee sólo 32 palabras clave, definidas por el comité ANSI, como se indica en la siguiente tabla.

**Tabla IV.2. Palabras reservadas del lenguaje C ANSI**

char	void	default	return
int	if	break	auto
float	else	continue	extern
doblé	do	goto	register
long	while	struct	const
short	for	unión	static
signed	switch	enum	volatile
unsigned	case	typedef	sizeof

Además existen operadores, lógicos, aritméticos, signos, etc, estandarizados por la ANSI que permiten que la compilación del programa sea más fácil y rápida.

### **4.3.2. FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR DE PROCESAMIENTO**

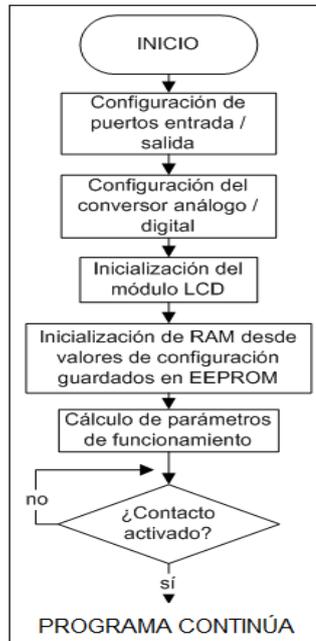
#### **4.3.2.1 Desarrollo paso a paso del programa principal**

El programa inicia con la activación de todos los permisos de las interrupciones, del conversor análogo-digital y cuando el pin de referencia AREF es activado.

Entonces el programa ingresa en el programa principal que se puede apreciar en la figura 4.13 el cual comienza con la configuración de puertos como entradas o salidas, configurando el conversor análogo- digital o sea que definimos si la señal que ingresara por los puertos es análoga ó digital.

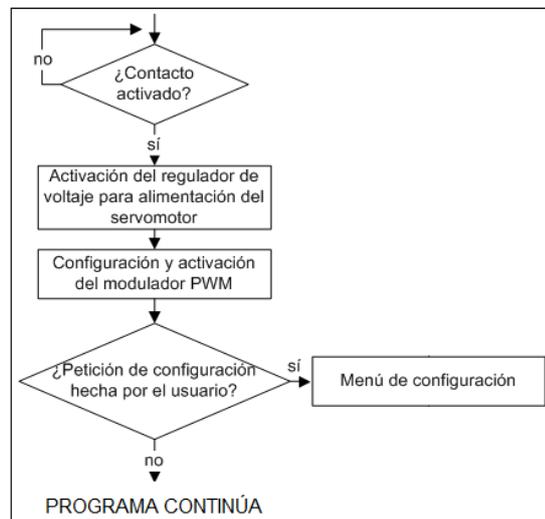
Inicializamos el módulo LCD y la BACKLIGHT se activa. Para la memoria RAM con los valores guardados en la EEPROM, con lo que se calcula los parámetros mediante las subrutinas que están almacenadas en el microcontrolador y si el contacto esta activado se puede continuar con el programa principal, si esto no

ocurre el programa permanece en el bucle infinito hasta que las condiciones sean las apropiadas para continuar.



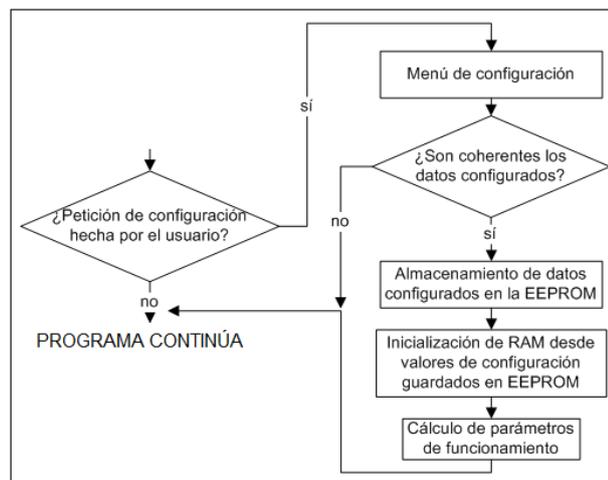
**Figura 4.13. Menú de inicio**

Cuando el contacto es activado el programa sigue adelante y el microcontrolador activa el relé que controla el regulador de voltaje para la alimentación del Servomotor que es independiente debido a un consumo relativamente alto que este tiene, luego se configura y se activa el modulador de PWM y si no existió la petición de configuración que se realiza oprimiendo los pulsadores S2 y S3 el programa continua, en caso contrario pasa al menú de configuración.



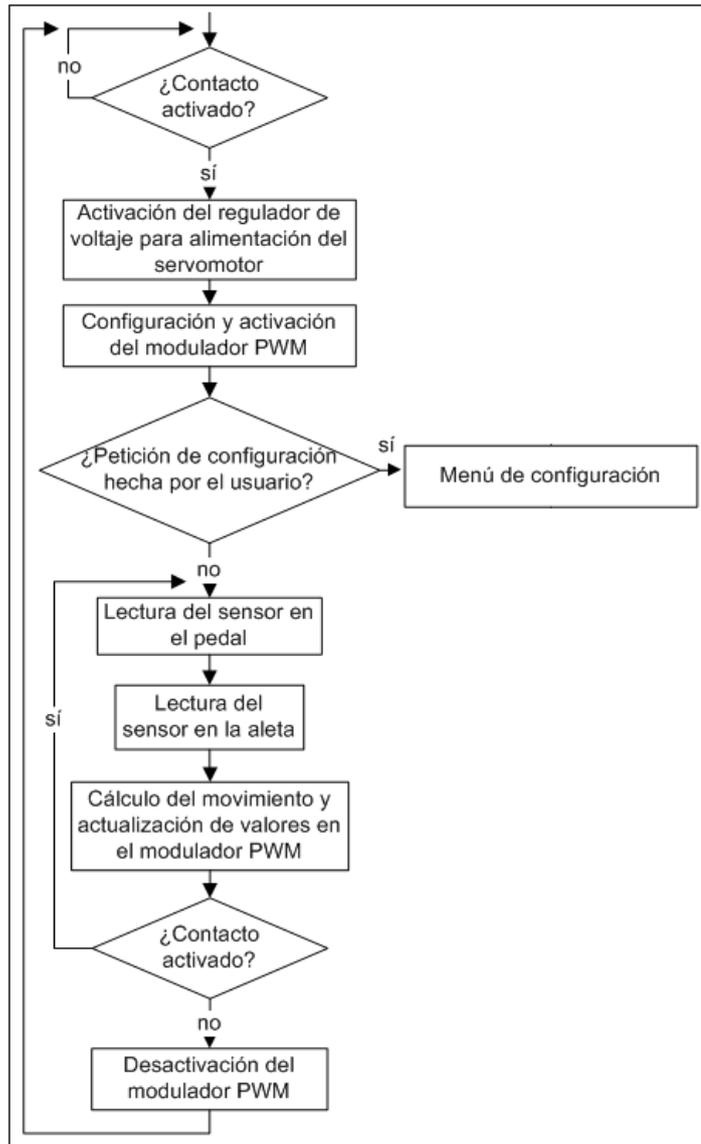
**Figura 4.14. Solicitud de configuración**

En la configuración se miden los parámetros de los sensores y actuadores, si estos son coherentes, es decir, que están dentro de los rangos previstos en la programación, estos se almacenan en la memoria EEPROM, entonces estos valores se graban en la memoria RAM ya que esta es de mucho más fácil acceso que la primera y con estos nuevos datos se realiza el cálculo de los parámetros de funcionamiento, de no ser así el programa toma los valores coherentes que están almacenados en la memoria EEPROM.



**Figura 4.15. Configuración de parámetros**

Ya sea que se haya configurado o no los nuevos datos de los sensores y actuadores para el cálculo de los parámetros de funcionamiento el programa entra en funcionamiento lee en todo momento la posición del pedal y la del sensor de la aleta, el primero para realizar el cálculo del ancho de pulso del modulador de la PWM actualizándolo en todo momento y el segundo para desplegar en la LCD la posición de la mariposa a más del la posición del pedal para saber si el sistema está funcionando correctamente o si ha fallado los que nos daría un código de error en la pantalla, para finalmente preguntar si el contacto esta activado o no, si esta activado el programa permanece en un bucle infinito con la lectura de los sensores del pedal, de la mariposa y calculando el ancho de pulso de la PWM de control del servomotor, en el momento que el contacto se desactiva, también lo hace el modulador de PWM y el programa regresa hasta la primera parte donde el programa se pregunta si esta activado o no el contacto con lo que se cerraría el bucle .



**Figura 4.16. Programa en funcionamiento**

En la figura siguiente se presenta el programa armado en su totalidad.

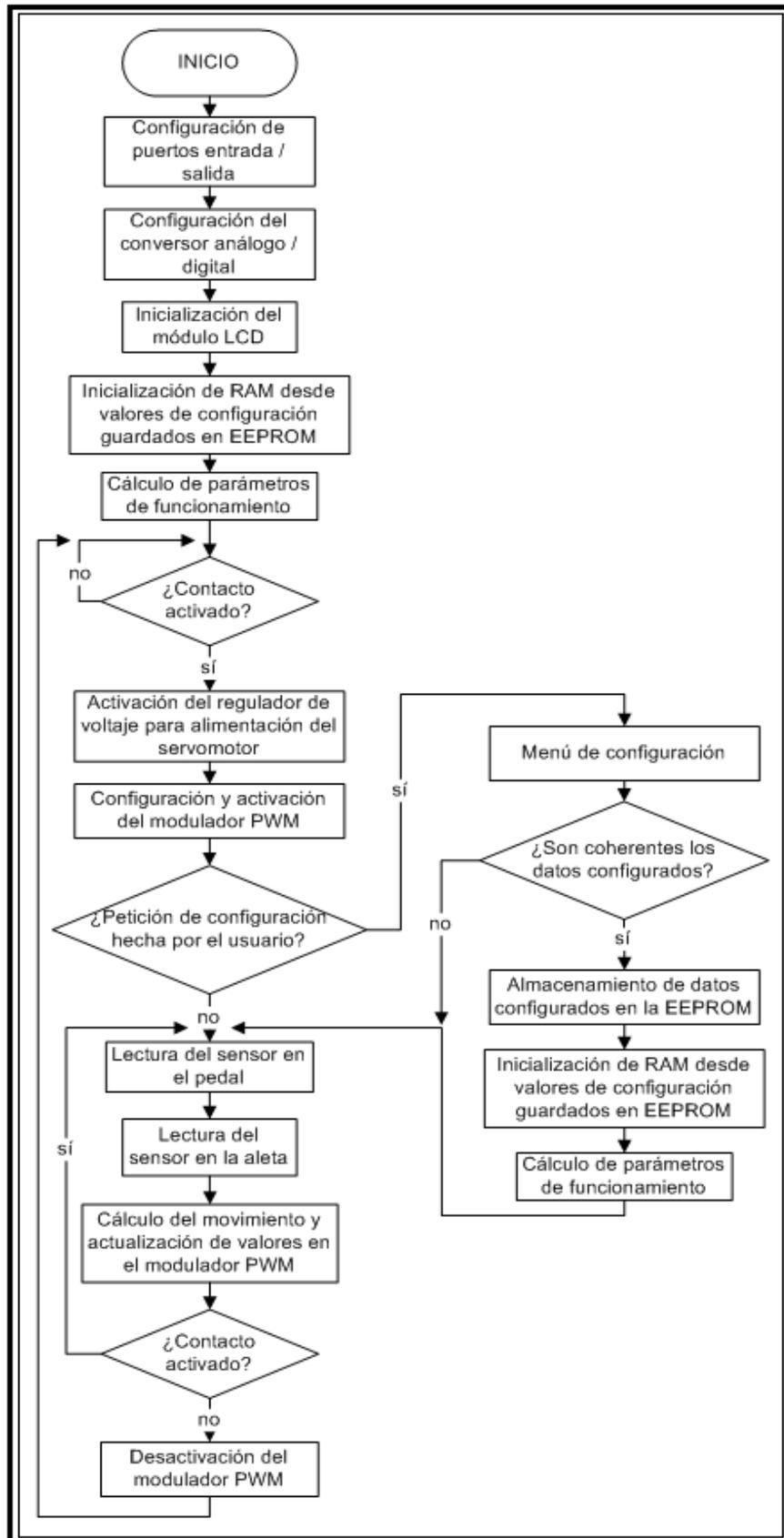


Figura 4.17. Diagrama de flujo

Existen sub-rutinas almacenadas en el microcontrolador ya que no todas las librerías realizan los cálculos que se necesitan para el programa de control.

### 4.3.3. SOFTWARE PARA DESARROLLO

#### 4.3.3.1. ISIS 7.6

Para verificar si el sistema cumplía nuestras necesidades, nos apoyamos en la ayuda que nos presta el software ISIS (Intelligent Schematic Input System).

El ISIS es un programa que nos permite dibujar, sobre un área de trabajo, un circuito que posteriormente podremos simular como se indica en la figura 4.12. Para de esta manera tener una idea si el programa cumple las funciones que se detallaron en el firmware y compiladas en el microcontrolador, esto nos ayuda a corregir errores antes de realizar físicamente el sistema.

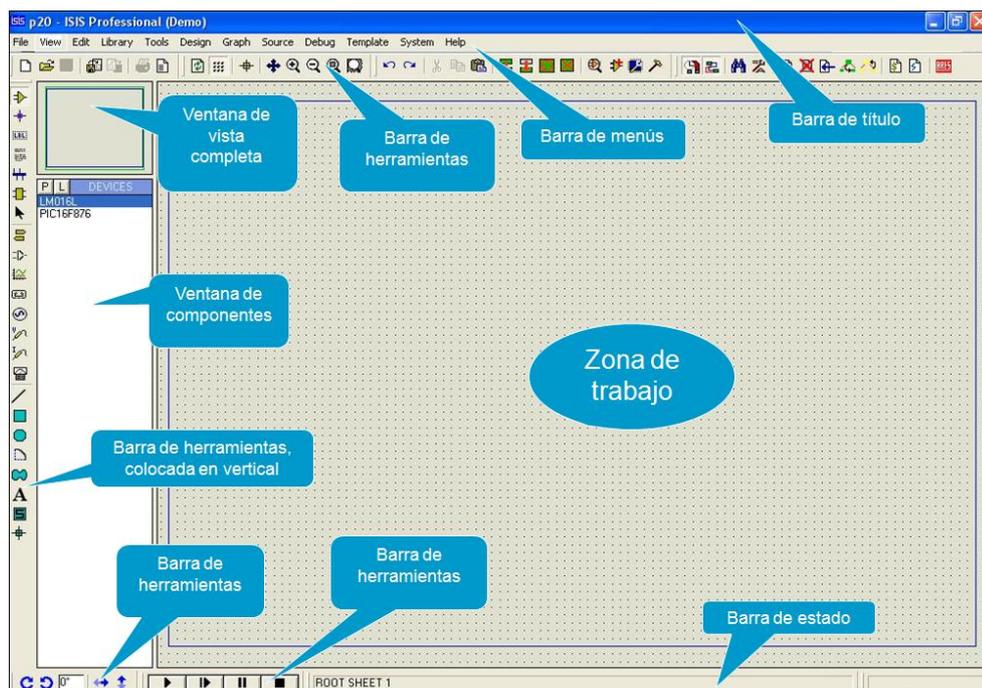


Figura 4.18. Pantalla principal del software ISIS

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

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

El circuito de simulación aproximado se indica en la siguiente figura:

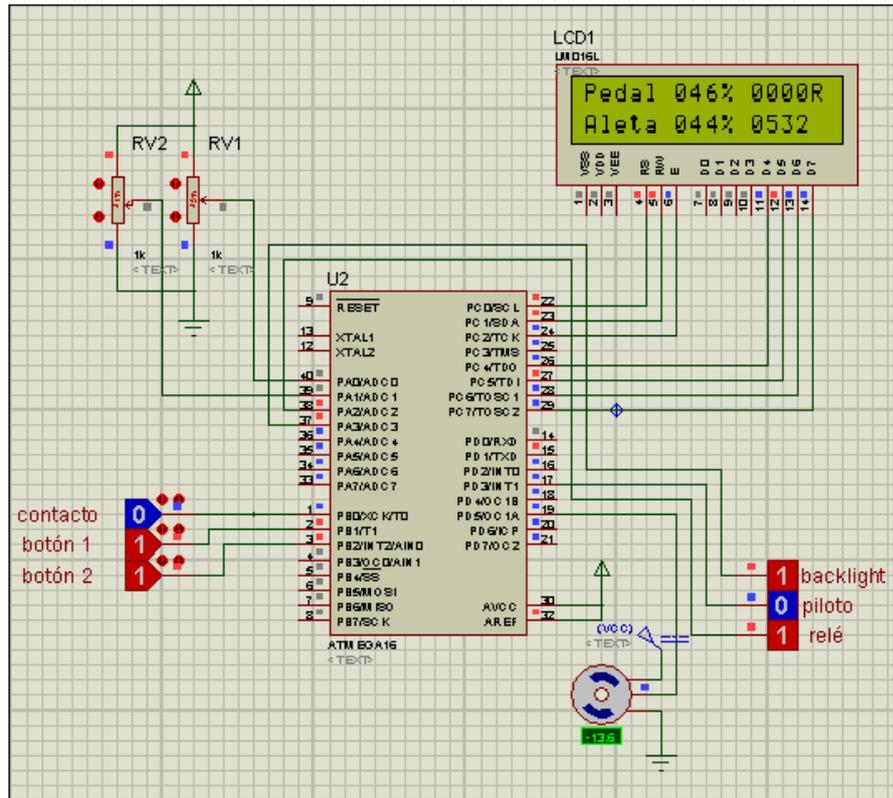


Figura 4.19. Simulación

En la figura RV1 simula como TPS del pedal y RV2 como al TPS que se encuentre en el eje de la mariposa, este circuito que se indica es lo más simple posible ya que no consta ni los reguladores de voltaje, ni los filtros que nos ayudan a mitigar los efectos que provoca el ruido.

#### 4.3.3.2. CodeVision AVR 2.3.4

En el presente trabajo se hace uso del compilador de lenguaje C ANSI, CodeVision AVR C, hecho para microcontroladores AVR.

Este programa tiene las siguientes características.

- Aplicación que se ejecuta bajo Windows ® 2000, XP, Vista y Windows 7, 32 y 64 bits
- Fácil de usar entorno de desarrollo integrado y compatible con ANSI C Compiler
- Editor con sangría automática, resaltado de sintaxis para C y ensamblador del AVR, parámetros de función y estructura
- Apoyo a tipos de datos: Bit, bool, char, int, short, long, float
- Fast librería de punto flotante con el hardware de instrucciones básicas multiplicador y un mayor apoyo de todos los nuevos chips ATmega

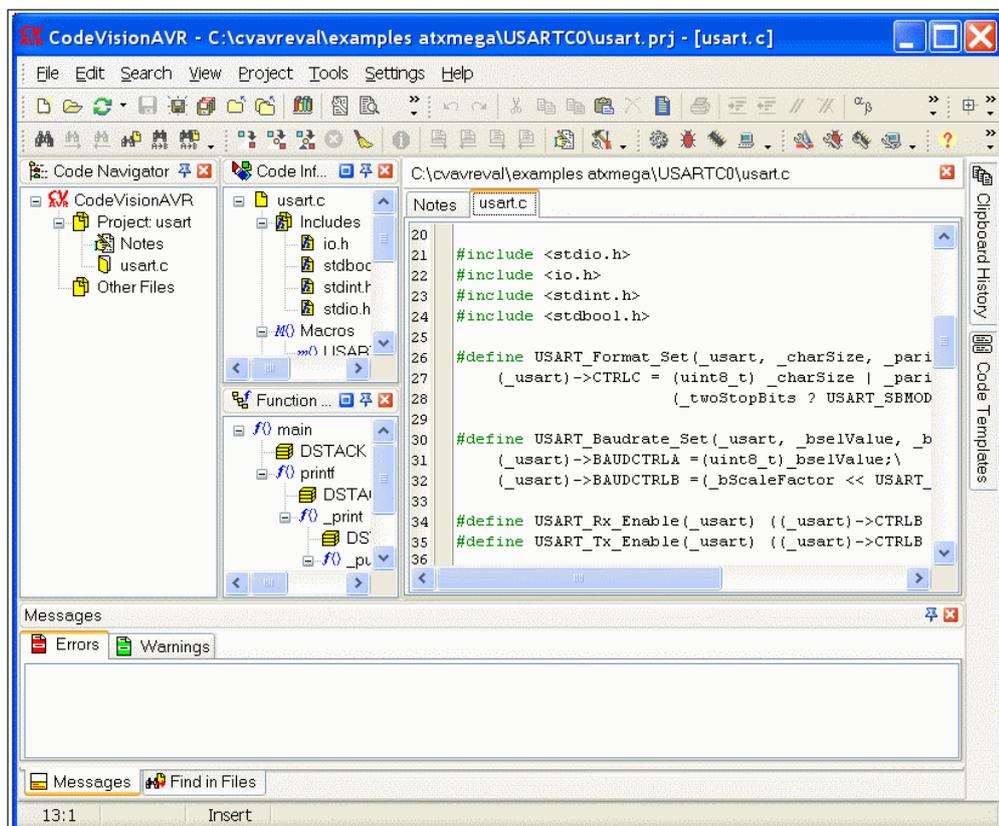


Figura 4.20. Ventana de administración del software de compilación

#### 4.4. DISEÑO DE LA PLACA DEL CIRCUITO IMPRESO

El diseño de la placa se realizó cuidando que los circuitos de potencia estén lo suficientemente lejos del microcontrolador. Además, dibujando los condensadores de desacople lo más cercano posible a los integrados. Todo esto para eliminar interferencias.

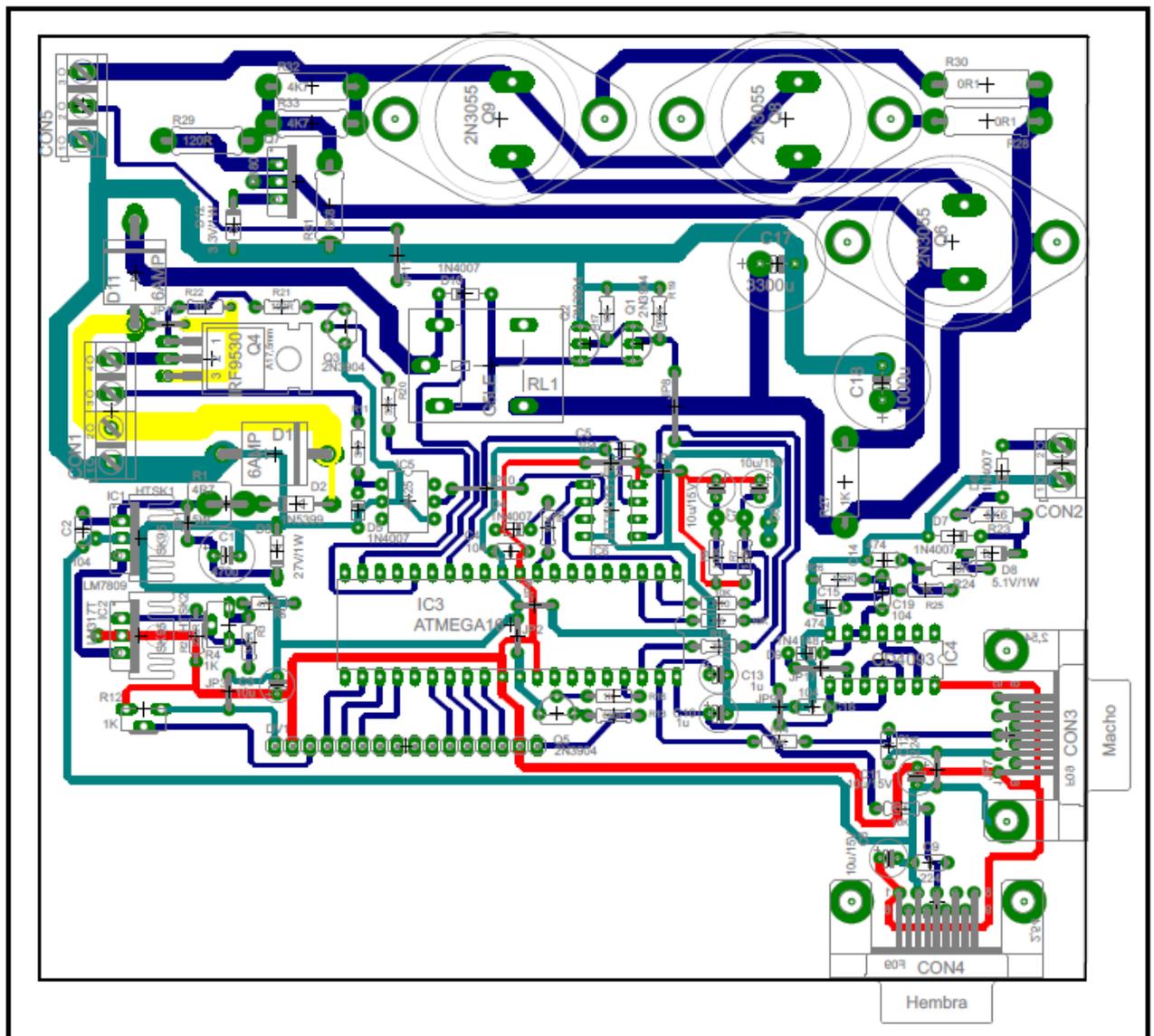


Figura 4.21. Ruteo de la placa

## 4.5. MONTAJE FÍSICO DEL SISTEMA

En el montaje del proyecto se puede distinguir dos tipos, el mecánico y el eléctrico.

### 4.5.1. MONTAJE MECÁNICO



Figura 4.22. Montaje del sistema mecánico

En el banco del proyecto se realizó en la parte inferior el montaje del pedal de aceleración, teniendo en cuenta la facilidad al momento de acelerar.

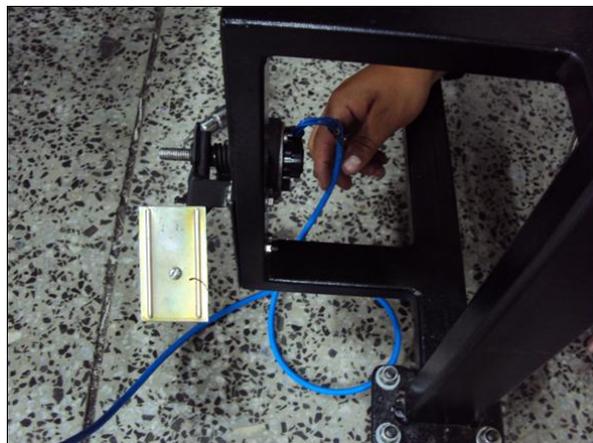


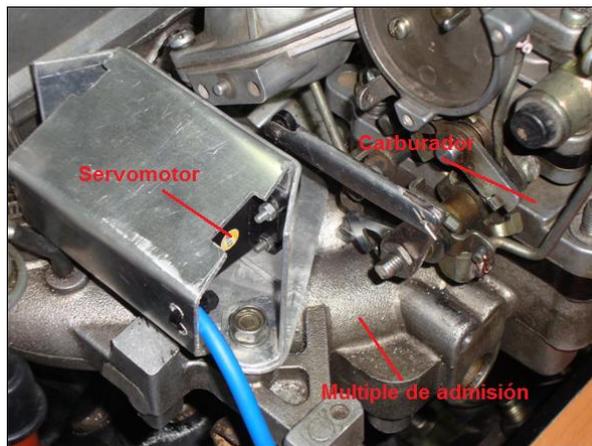
Figura 4.23. Montaje del pedal de aceleración

En el motor se tuvo que analizar el montaje del TPS y del servomotor, al instante de acoplar el TPS se realizo un soporte en el carburador, dicho soporte permitiría al sensor quedar solidario con el eje de la mariposa del carburador.



**Figura 4.24. Montaje del soporte del TPS**

Mientras que el servomotor está montado sobre el múltiple de admisión, el mismo que cuenta con un gran espacio para el funcionamiento correcto.



**Figura 4.25. Montaje del servomotor**

#### 4.5.2. MONTAJE ELÉCTRICO

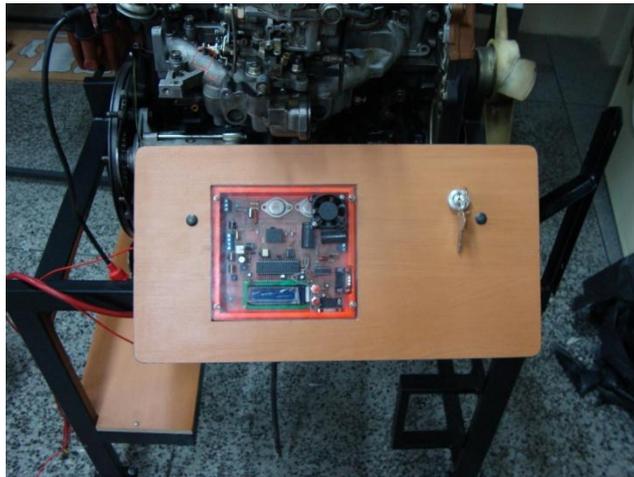
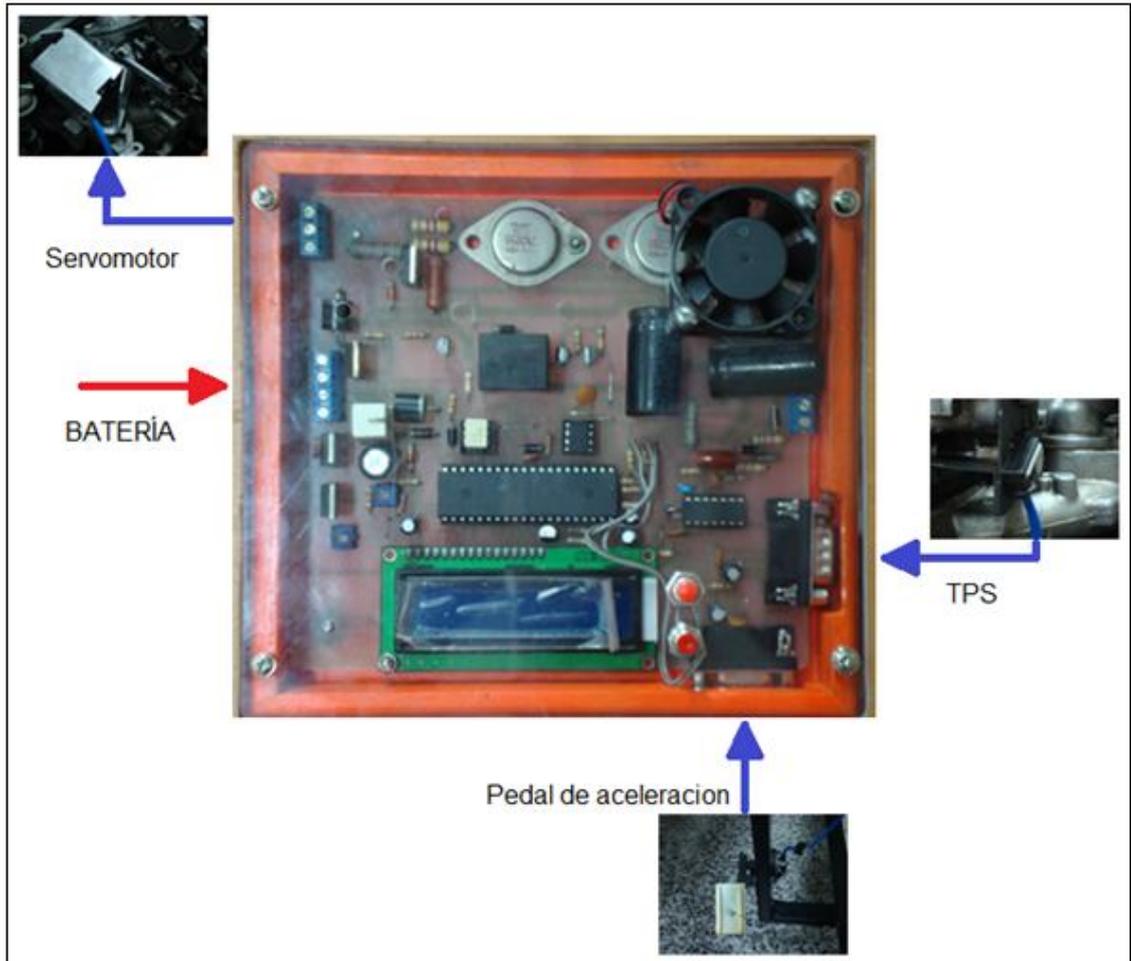


Figura 4.26. Montaje del sistema eléctrico

Para el montaje eléctrico se tuvo que tener en cuenta los diferentes elementos que se van utilizar y el funcionamiento de los mismos.

En la figura de abajo se indica de que depende todo el sistema de montaje, desde el soporte con el potenciómetro TPS que mide la posición del pedal enviando a la unidad de control (UC) una señal comprendida entre 0 y 5 voltios, en función de la posición del pedal. Dependiendo de dicha posición del pedal la señal será enviada a la UC en forma de tensión donde será transformada en señal PWM, el servomotor al recibir esta señal moverá la barra hasta la posición indicada por el pulso.



**Figura 4.27. Descripción del montaje eléctrico**

Al realizar el giro del eje de la mariposa por medio del servomotor, el TPS de la mariposa recibirá el desplazamiento efectuado. De esta manera se envía una señal a la UC que determina el porcentaje de desplazamiento.

Para atenuar los efectos de las corrientes parásitas a lo largo de las conexiones, se utilizó cables blindados, para evitar que el sistema sufra un fallo por este motivo.



**Figura 4.28. Cable blindado TPS**

## **4.6. PRUEBAS DEL SISTEMA**

### **4.6.1. PRUEBAS CON EL MULTÍMETRO**

Estas mediciones sirven para tener una idea aproximada de como varían los parámetros de los sensores, actuadores y si los dispositivos electrónicos cumplen las funciones que se esperan en el momento de implementar el sistema, así las mediciones que se pueden realizar con el multímetro son en los sensores TPS se mide voltaje y resistencia que son los valores que intervienen luego en la programación y sirven para verificar su correcto funcionamiento.

Entonces con un voltaje de referencia de 5.12V proporcionado por la UC, tomando el desplazamiento angular de los sensores en porcentaje de giro para que su medida sea menos compleja, determinamos la variación.

**Tabla IV.3. Mediciones del TPS del pedal de aceleración**

<b>% de Giro</b>	<b>Voltaje V</b>	<b>Resistencia K<math>\Omega</math></b>
0	0,033	6,14
25	2,4	5,86
50	3,72	4,27
75	4,18	2,92
100	4,5	1,27

Con los valores de las tablas se verifica la curva de variación de voltaje y resistencia que nos servirán para introducir en forma de ecuación la programación para que el microcontrolador procese, determinando los parámetros de funcionamiento de los sensores y actuadores

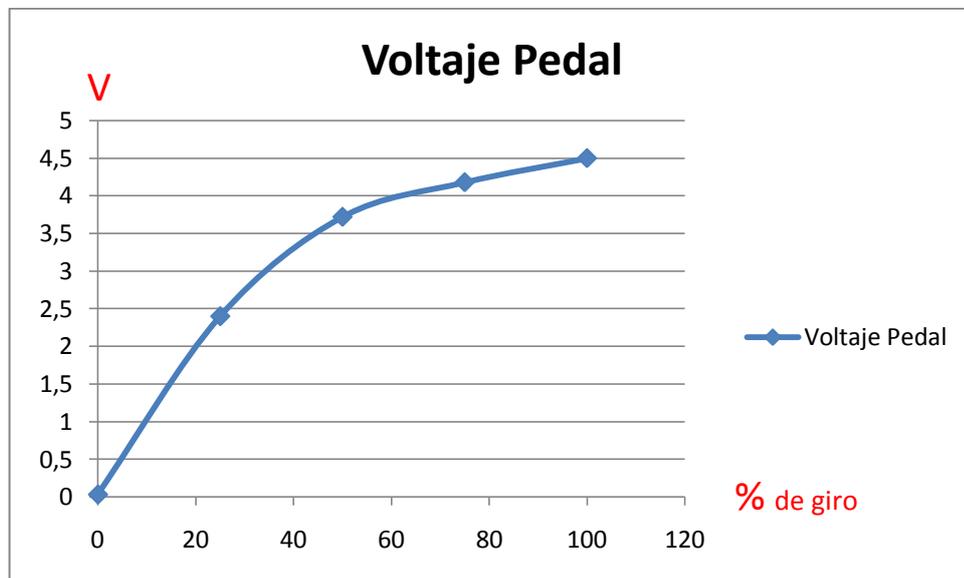


Figura 4.29. Voltaje del Pedal

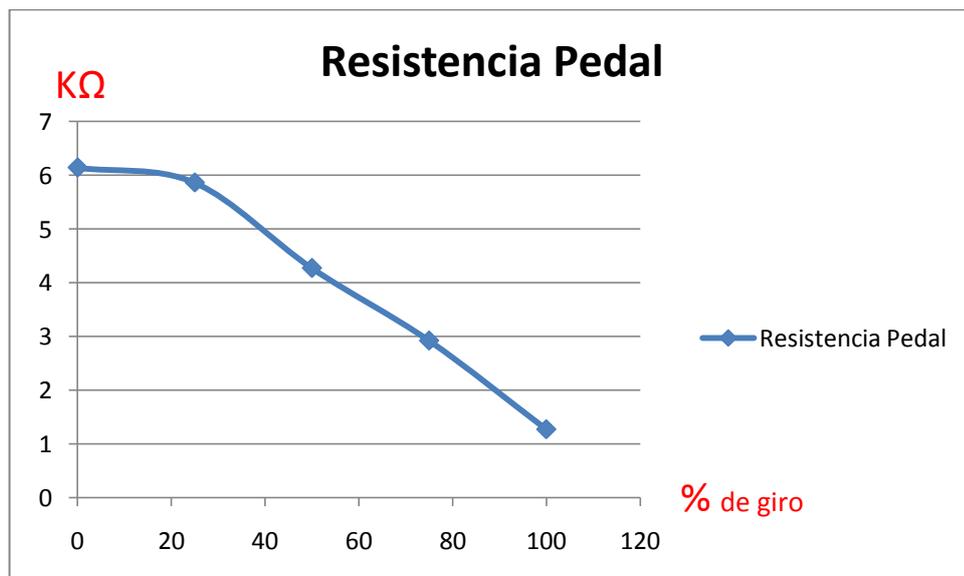


Figura 4.30. Resistencia del Pedal

Las pruebas que se realizan en el sensor de la mariposa tienen el mismo principio y tienen casi la misma curva de variación por lo que su programación será muy similar.

En cuanto al servo y la UC solo podemos medir si los reguladores la alimentan con la tensión adecuada mas adelante con la ayude del osciloscopio verificaremos su valor en funcionamiento.

#### 4.6.2 PRUEBAS CON OSCILOSCOPIO

Las pruebas con el osciloscopio nos permiten verificar el funcionamiento de los sensores y actuadores en funcionamiento, obteniendo las curvas características para determinar si estos realizan o no un óptimo trabajo, de lo contrario hay que sustituir los dispositivos por unos nuevos.

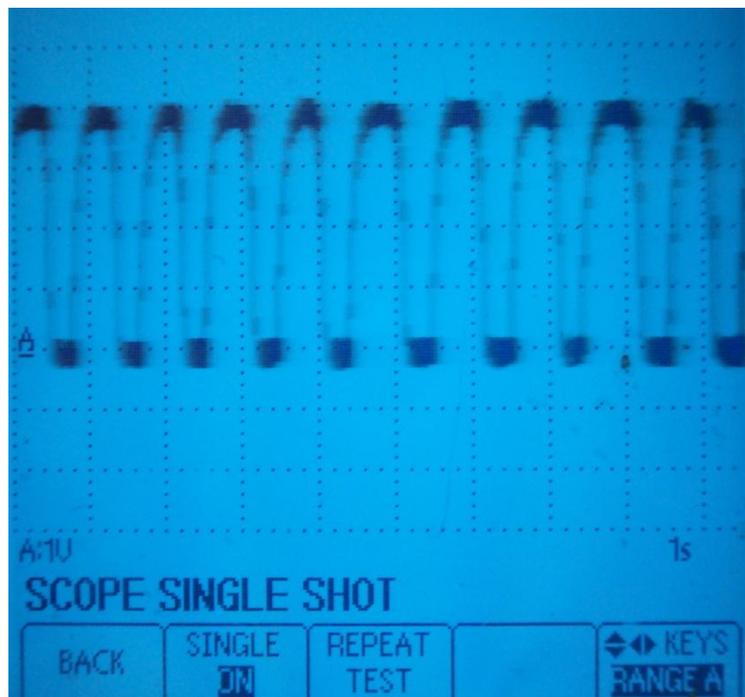


Figura 4.31. Curva característica de trabajo de un sensor resistivo (TPS)

Con respecto al servomotor determinamos si los datos de PWM almacenados en el microcontrolador son aproximados, que nos permitirán un correcto funcionamiento.

En la figura 4.31 se aprecia el ancho de pulso que acciona el servomotor, el cual nos da un valor de 1,4ms; lo que hace que la mariposa de aceleración este totalmente abierta.

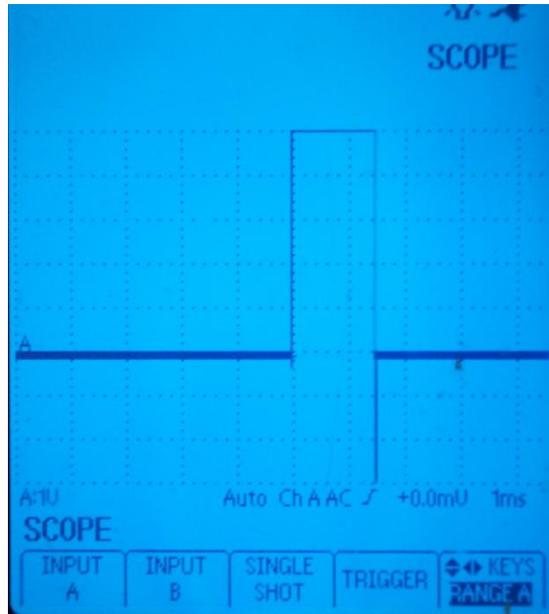


Figura 4.32. Mariposa a tope

En la figura 4.32 la mariposa se encuentra en reposo, es decir, que el motor se encuentra en ralentí, el ancho de pulso en esta condición es de 0,6ms.

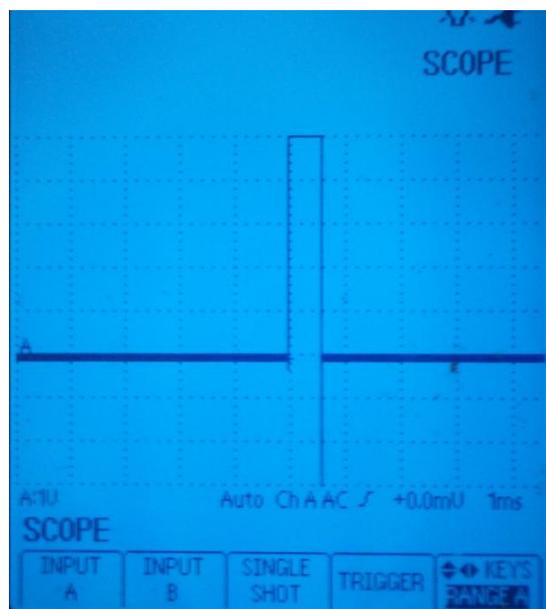


Figura 4.33. Mariposa en reposo

En la figura inferior se aprecia el pulso completo, y podemos determinar la frecuencia del mismo que sería de 50Hz, debido a que su período es de 20ms

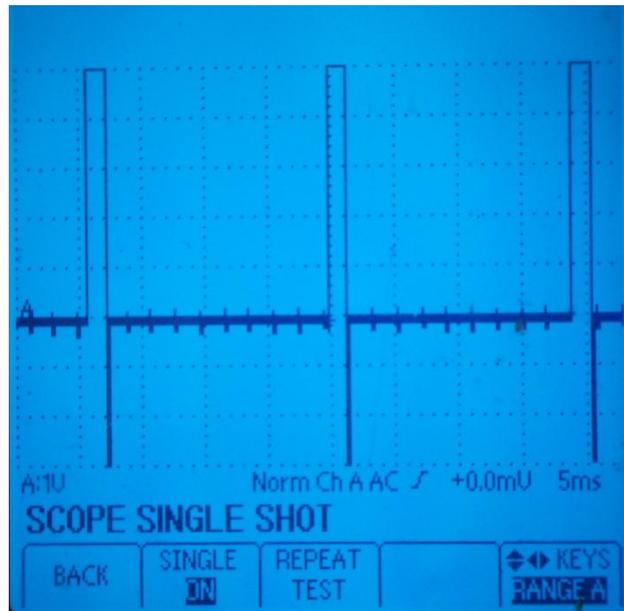


Figura 4.34. Funcionamiento de PWM

## V. CONCLUSIONES

- El módulo electrónico realizado se constituye como un eficiente sistema de control de aceleración. La apertura constante de configuraciones lo hacen práctico y fácil de usar por cualquier operador.
- Los elementos electrónicos que forman parte del sistema son dispositivos vigentes y de gama mejorada, características que incrementaron la respuesta eficiente del módulo pero provocaron su encarecimiento.
- El sistema cumple con creces los requerimientos planteados en su concepción: impacto exiguo de implementación, alta velocidad de procesamiento, indemnidad a condiciones de trabajo en los motores (ruido, temperatura, vibración), versatilidad y precisión de las variables adquiridas.
- El desarrollo eficiente de este mecanismo se debió en gran parte a las herramientas de programación utilizadas. El compilador C ANSI es un instrumento profesional altamente competente
- Los resultados emitidos en las pruebas de funcionamiento indicaron que el módulo de control de aceleración electrónica, es un sistema confiable, barato y versátil.
- La realización de un manual de usuario permitió dejar disponible una herramienta útil para facilitar la familiarización del operador con el sistema.
- Los mecanismos que se adaptaron cumplen con los requerimientos y satisfacen de excelente manera las necesidades del proyecto.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se debería poner énfasis en el aprendizaje de la programación de los microcontroladores ya que son muy utilizados en la industria automotriz en la actualidad.
- Las interfaces y las rutinas de programación detalladas a lo largo de este escrito, podrían servir para realizar sistemas más complejos de instrumentación electrónica en el automóvil.
- Se recomienda el uso del presente proyecto para observar como trabajan los sensores y actuadores y determinar como se procesan las señales dentro del microcontrolador.
- Al analizar el circuito electrónico se observa filtros que aíslan del ruido a la UC lo que se puede aplicarse a cualquier otro dispositivo dentro del vehículo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- IBRAHIM D. *Advanced PIC Microcontroller Projects in C*, Elsevier, Burlington MA 01803 – USA, 2008.
- IBRAHIM D. *Microcontroller Based Applied Digital Control*, John Wiley & Sons, England, 2006.
- JOHNSON D. *Análisis Básico de Circuitos Eléctricos*, Quinta Edición, Prentice, 1995.
- LAJARA V. *LabVIEW: Entorno Gráfico de Programación*, Alfaomega – Marcombo, Barcelona – España, 2007.
- MUHAMMAD R. *Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*, Tercera Edición, Pearson Educación, México, 2004.
- MALVINO A. *Principios de Electrónica*, Sexta Edición, McGraw – Hill, España, 2002.
- RAMOS G. *Electrónica Digital y Circuitos Integrados*, CEKIT Compañía Editorial Tecnológica, Pereira – Colombia, 2000.
- VARIOS, *Mantenimiento y Reparación de Automóviles*, MIR, Moscú – Rusia, 1995.
- VARIOS, *Electricidad del Automóvil: Encendido y Accesorios*, CEAC, España, 1999.

## **INTERNET**

- <http://profesormolina2.iespana.es/electronica/componentes/transist/transist.htm>
- <http://www.datasheetcatalog.com>
- [http://www.unicrom.com/Tut\\_transistor\\_bipolar.asp](http://www.unicrom.com/Tut_transistor_bipolar.asp)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/JFET>
- <http://www.hpinfotech.ro/index.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Acelerador\\_electr%C3%B3nico#Componentes](http://es.wikipedia.org/wiki/Acelerador_electr%C3%B3nico#Componentes)
- <http://www.mecanicavirtual.org/index.php>

## **VII. ANEXOS**

**ANEXO A. CUADRO DE COSTOS Y ANÁLISIS  
COSTO-BENEFICIO**

## CUADRO DE COSTOS Y ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>VALOR UNITARIO</i>	<i>VALOR TOTAL</i>
Microcontrolador ATMEGA16	1	17.00	17.00
Módulo LCD 16x2 con BACKLIGHT	1	15.00	15.00
Regulador de voltaje LM7809	1	0.50	0.50
Regulador de voltaje LM317T	1	0.50	0.50
Transistor 2N3055	3	0.10	0.30
Transistor 2n3904	4	0.15	0.60
Optoacoplador 4N25	1	0.60	0.60
Condensador 1000uF/50V	1	0.25	0.25
Condensador 3300uF/50V	1	0.25	0.25
Condensador 10uF/15V	5	0.10	0.50
Zener 1N4004	1	0.30	0.30
Zener 1N5399	3	0.30	0.90
Zener 1N4728	1	0.30	0.30
Zócalo PDIP	1	0.20	0.20
Servomotor Hitec-hs755	1	90.00	90.00
Sensor TPS	2	26.00	52.00
Conector DC	1	0.30	0.30
Cable UTP cat 5e (1m)	6	0.30	1.80
Cable varios	1	10.00	10.00
Placa de baquelita	1	15.00	15.00
Caja y soporte UCE	1	20.00	20.00
Adaptación eje Pedal	1	100.00	100.00
Adaptación eje Mariposa	1	70.00	70.00
Mica de protección (30x30x3)	1	5.00	5.00
Terminales	10	0.30	3.00
Elementos varios (resistencias, capacitores, pulsadores, etc.)	1	20.00	20.00
Motor de combustión interna	1	500	500
Garruchas	4	8	20
Soporte metálico	1	50	50
Soldadura	1	20	20
Tablero	2	5	10
Tubos	1	20	20
<b>TOTAL</b>			<b>955,20</b>

Para el desarrollo de este proyecto se tuvo que adquirir un motor de combustión interna por la necesidad de implementación, pero al contar con un vehículo se tendría que tomar en cuenta solamente los elementos eléctricos y electrónicos.

Tomando en cuenta la consideración anterior se presenta el análisis costo-beneficio

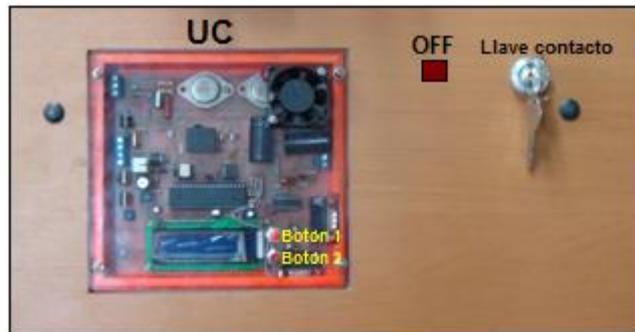
## **ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO**

Con los valores de los dispositivos y electrónicos el diseño e implementación del sistema de control de aceleración es muy conveniente, si se quisiera producirlo en serie el costo bajaría aún más, es compatible con cualquier tipo de automotor debido a su menú de configuración lo que lo hace fácil de colocar y nos da la seguridad de que funcionará en cualquier tipo de sistema de aceleración mecánico.

**ANEXO B. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO  
DEL DISPOSITIVO DE ACELERACIÓN  
ELECTRÓNICA**

# MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO DE ACCELERACIÓN ELECTRÓNICA

## 1. ENCENDIDO SIN CONFIGURAR EL SISTEMA



Panel de control

Si no se ha solicitado la recalibración de los parámetros de funcionamiento de los sensores y actuadores del sistema, para lo que no se oprimen los pulsadores botón 1, boton2. Se procederá de la siguiente manera:

- a) Giramos la llave del contacto a la posición ON, con esto activamos todos los de regulación de voltaje de la UC y del servomotor, a mas de que se inicializa el programa en el microcontrolador, configurando todos los módulos que posee internamente. El programa comienza con los valores que están almacenados en la memoria EEPROM.
- b) Observamos en la LCD si los parámetros aparecen son coherentes, entonces aparece en la pantalla los parámetros que son controlados, con lo que se sabe que el motor está listo para arrancar.
- c) Arrancamos el motor al colocar la llave en la posición STAR, en ese momento podemos visualizar la variación de los parámetros de los sensores y actuadores del sistema al momento de accionar el pedal de aceleración.

- d) Cuando se desea apagar el sistema se coloca la llave a la posición OFF con lo que se quita la alimentación a los dispositivos como la UC y el servomotor, esperando a que el operador vuelva a repetir el proceso.

## **2. ENCENDIDO CON LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA**

En este caso antes de girar la llave de arranque, mantenemos oprimidos los pulsadores botón 1, botón 2. Y procedemos así:

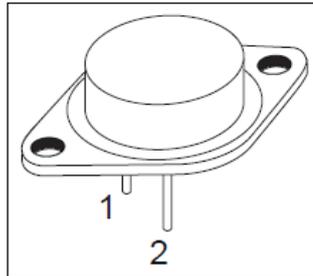
- a) Giramos la llave a la posición ON aparece en la pantalla el mensaje “, gire la llave a la posición OFF”, lo que se hace con la ayuda del pulsador botón OFF, el cual es normalmente cerrado por la facilidad que nos ofrece para realizar la calibración.
- b) Dejamos de oprimir el pulsador botón OFF, se visualiza el mensaje “calibración del servomotor”
- c) Se procede a calibrar el valor de PWM máxima, oprimiendo el botón1 tantas veces como sean necesarias hasta que el servomotor llegue al tope o hasta el límite deseado por el operador, oprimimos botón2 y se graba ese valor.
- d) De la misma forma que el paso anterior, se procede a calibrar el valor de PWM mínima, oprimiendo el botón1 tantas veces como sean necesarias hasta que el servomotor llegue al tope o hasta el límite deseado por el operador, oprimimos botón2 y se graba este valor.
- e) Aparece en la pantalla el mensaje “calibración del pedal”
- f) Para luego visualizar “min. max.”
- g) Con el pedal en reposo, oprimimos el botón1 para grabar el valor mínimo.

- h) Ahora accionamos el pedal a tope o al nivel deseado, oprimimos el boton1 y grabamos el valor máximo.
- i) Aparece en la pantalla "calibración de la mariposa"
- j) Luego se observa "min. max."
- k) Con la mariposa sin accionar oprimimos el botón1 para grabar el valor mínimo.
- l) Movemos la mariposa hasta el tope oprimimos boton1 grabamos este valor.
- m) Si los parámetros están dentro de los rangos establecidos en la programación aparece el mensaje "calibración exitosa", con lo que se está listo para arrancar el motor.
- n) Si los valores fueron medidos equivocadamente o por alguna razón no están dentro de los rangos, aparece el mensaje "calibración errónea", y se debe repetir el procedimiento desde el primer paso.
- o) Si no se desea repetir el proceso para reconfiguración de los valores de sensores y actuadores, la UC tomara los últimos valores coherentes que están almacenados en la memoria EEPROM para continuar con el programa.
- p) Giramos la llave a la posición STAR el motor arranca y podemos observar a los sensores y actuadores en funcionamiento, visualizando la variación de sus valores.
- q) Para apagar el sistema giramos la llave a la posición OFF esperando que el operador vuelva encender el dispositivo.

**ANEXO C. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS  
(DATASHEET)**

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (DATASHEET)

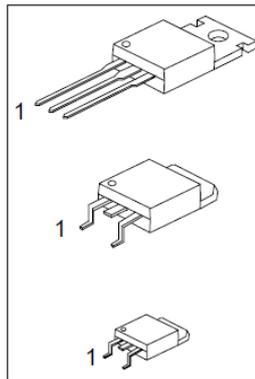
### 2N3055



#### DESCRIPCIÓN:

- El 2N3055 es un silicio epitaxial-base plana.
- Transistor NPN montado en Jedec A-3 de metal.
- Está diseñado para poder cambiar los circuitos, serie y los reguladores de derivación, las etapas de salida y de alta.
- Amplificadores de fidelidad.

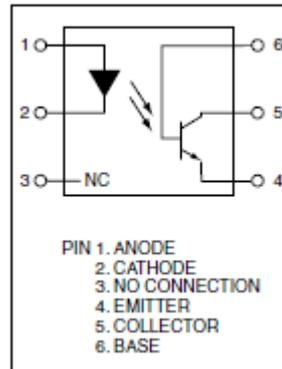
### LM7809



#### CARACTERÍSTICAS:

- La salida de corriente de hasta 1,5 A.
- Tensión de salida fija de 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V y 24V disponible.
- Protección térmica de sobrecarga de cierre.
- Limitación de la corriente de cortocircuito.

## 4N25



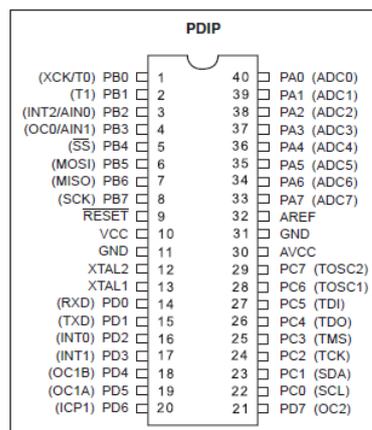
### DESCRIPCIÓN:

Los acopladores ópticos de propósito general consiste en un arseniuro de galio diodo emisor de infrarrojos que hace conducir a un fototransistor de silicio en un encapsulado de 6 pines

### APLICACIONES:

- Reguladores de alimentación.
- Entradas de lógica digital.
- Entradas de microprocesador.

## ATMEGA16



### CARACTERÍSTICAS:

- Alto rendimiento, de bajo consumo AVR 8-bit Microcontroller .
- Advanced RISC de Arquitectura:  
131 Instrucciones de gran alcance - La mayoría de un solo ciclo de reloj de

ejecución , 32 x 8 Registros de uso general de Trabajo, Funcionamiento totalmente estática, Hasta 16 MIPS de rendimiento de procesamiento en 16 MHz, El chip de 2-ciclo Multiplicador

- Alta resistencia segmentos de memoria no volátil:  
16K Bytes de autónomos en el sistema de memoria flash programable programa de 512 Bytes EEPROM, 1K Byte SRAM interno, Cycles: 10.000 Flash/100, 000 EEPROM, Retención de datos: 20 años en el año 85 ° C/100 a 25 ° C (1), Opcional con la sección del código de arranque Bits Independiente de bloqueo, Bloqueo de programación de software de seguridad

## **ANEXO C. ARTÍCULO PARA REVISTA**

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICA.

Bolaños P. Vinicio R. AUTOR<sup>1</sup>  
Utreras G. Edwin H. AUTOR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanique Automotive Eng. Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador,  
email :vinbo13@hotmail.com

Ing. Germán Erazo L. AUTOR<sup>2</sup>,  
<sup>2</sup>Dept. of Mechanique Automotive Eng. Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador,  
email : [wgerazo@espe.edu.ec](mailto:wgerazo@espe.edu.ec)

Ing. Esteban Lopez. AUTOR<sup>3</sup>,  
<sup>3</sup>Dept. of Mechanique Automotive Eng. Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador,  
email: [eflopez@espe.edu.ec](mailto:eflopez@espe.edu.ec)

## Resumen

**El acelerador electrónico, en inglés conocido como Drive-By-Wire, es una tecnología que está empezando a ser implantada desde no hace mucho tiempo, viene del Fly-By-Wyre utilizada desde hace bastante tiempo en los aviones. La introducción del by-wire en el automóvil ha sido gracias a la Fórmula 1, desde hace unos pocos años se viene investigando la implantación en estos vehículos de carreras de esta tecnología, y los resultados ya se pueden ver, las fulminantes salidas de estos autos son gracias a un sofisticado sistema de control de tracción y al drive by wire, entre otros factores. Hoy en día cada vez aparecen más marcas con este sistema. Es por ello que esta es una tecnología muy nueva hoy en día en los vehículos de gama baja.**

## I. INTRODUCCIÓN

En el diseño del acelerador electrónico, se pueden adoptar infinidad de posiciones de la mariposa teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento del motor. La centralita electrónica conoce en todo momento la posición del pedal del acelerador a través de

la variación de la resistencia del potenciómetro.

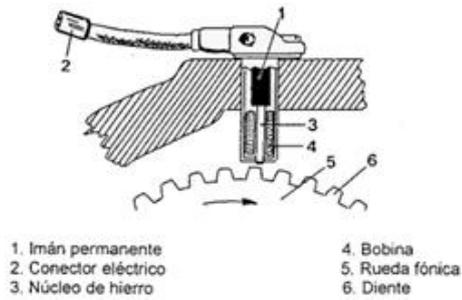
A bajas revoluciones del motor, la mariposa se abrirá lentamente, mientras a altas revoluciones, la apertura se realiza más rápidamente. Se consigue una buena respuesta del motor a cualquier régimen, impidiendo que aparezcan ahogos por un accionamiento muy rápido del acelerador.

## II. CONTENIDO

### A. SENSOR DE POSICIÓN

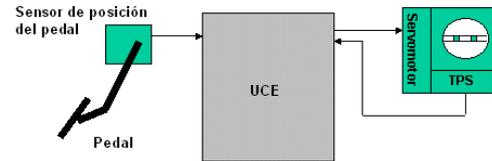
Un sensor o captador, es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR etc. todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.



Sensor de posición TPS (Inductivo)

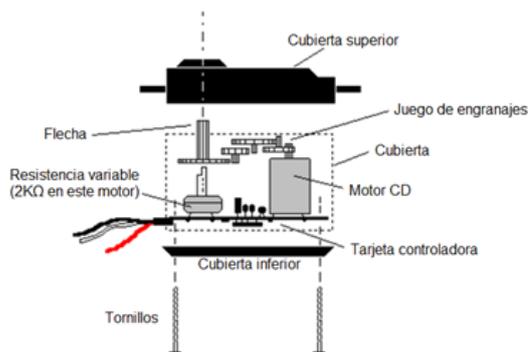
se controlan los diferentes parámetros de funcionamiento.



Esquema de funcionamiento

## B. ACTUADORES

En el diseño de un sistema de control se tiene la necesidad de elegir un actuador de entre varios tipos que existen, uno de los más eficientes y utilizados en la industria automotriz es el servomotor cuya estructura básica se indica en la figura.

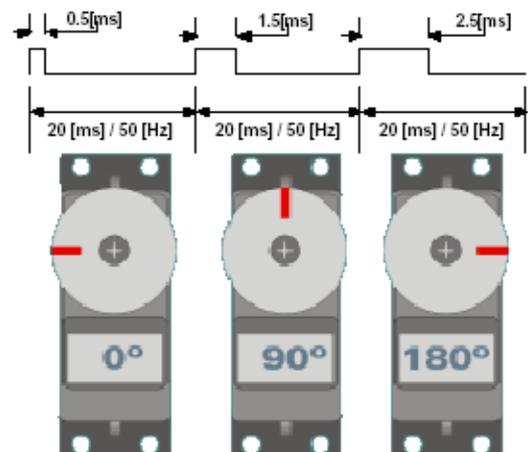


Esquema básico de un servomotor

## D. PROGRAMACIÓN Y DISEÑO ELECTRÓNICO

El programa toma las señales del TPS y son procesadas mediante algoritmos que son introducidos en el microcontrolador por medio de lenguaje de programación. Tomando en cuenta estos valores se produce una señal de salida que nos servirá para controlar a los actuadores.

En el caso de los servomotores necesariamente se controlan con una señal de pulso modulado PWM, que se basa en la variación del ancho de pulso, el mismo que al modificar su amplitud, hace lo mismo con la posición de este motor.



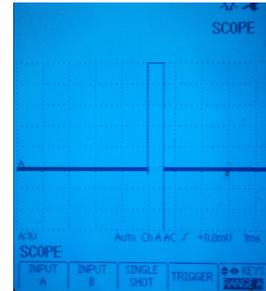
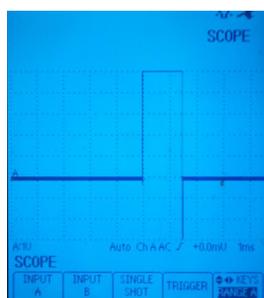
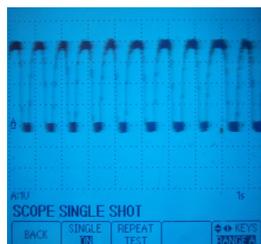
## C. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En el diseño de este prototipo se toma la señal de un sensor resistivo (TPS), es procesada por una UCE (Unidad de Control Electrónico) y envía una señal de control hacia los actuadores, por lo general lo óptimo es tener una forma de verificar que los componentes del sistema trabajen conforme a lo esperado, para lo cual se coloca un dispositivo de visualización (LCD), en el que

En el diseño electrónico se tiene en cuenta que el medio automotriz es uno de los más ruidosos, (entendiéndose como ruido a corrientes parásitas, temperatura, vibración, picos de voltaje, etc.), por lo que hay que tratar de minimizar los efectos que este produce, especialmente en la UC ya que pueden provocar que el microcontrolador falle, haciendo que el sistema deje de funcionar. Existen elementos encargados de realizar esta tarea entre los que se encuentran: diodos, capacitores, condensadores, filtros, etc.

### E. VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO CON OSCILOSCOPIO

Cuando el sistema se encuentra trabajando se los verifica con la ayuda de él Osciloscopio OTC, que nos permite graficar las curvas típicas de sensores y actuadores, si se detecta alguna falla se tiene que reemplazar el o los componentes que se hayan dañado.



Curva de funcionamiento de sensores y actuadores.

### III. CONCLUSIONES

- El módulo electrónico realizado se constituye como un eficiente sistema de control de aceleración. La apertura constante de configuraciones lo hacen práctico y fácil de usar por cualquier operador.
- Los elementos electrónicos que forman parte del sistema son dispositivos vigentes y de gama mejorada, características que incrementaron la respuesta eficiente del módulo pero provocaron su encarecimiento.
- El sistema cumple con creces los requerimientos planteados en su concepción: impacto exiguo de implementación, alta velocidad de procesamiento, indemnidad a condiciones de trabajo en los motores (ruido, temperatura, vibración), versatilidad y precisión de las variables adquiridas.
- El desarrollo eficiente de este mecanismo se debió en gran parte a las herramientas de programación utilizadas. El compilador

C ANSI es un instrumento profesional altamente competente

- Los resultados emitidos en las pruebas de funcionamiento indicaron que el módulo de control de aceleración electrónica, es un sistema confiable, barato y versátil.
- La realización de un manual de usuario permitió dejar disponible una herramienta útil para facilitar la familiarización del operador con el sistema.
- Los mecanismos que se adaptaron cumplen con los requerimientos y satisfacen de excelente manera las necesidades del proyecto.

#### IV. RECOMENDACIONES

- Se debería poner énfasis en el aprendizaje de la programación de los microcontroladores ya que son muy

utilizados en la industria automotriz en la actualidad.

- Las interfaces y las rutinas de programación detalladas a lo largo de este escrito, podrían servir para realizar sistemas más complejos de instrumentación electrónica en el automóvil.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- VARIOS, Electricidad del Automóvil: Encendido y Accesorios, CEAC, España, 1999.
- MUHAMMAD Rashid, Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, Tercera Edición, Pearson Educación, México, 2004.
- MALVINO Albert Paul, Principios de Electrónica, Sexta Edición, McGraw – Hill, España, 2002.

**Latacunga, Marzo del 2010**

**LOS AUTORES:**

---

**Vinicio Ramiro Bolaños Paredes**

---

**Edwin Humberto Utreras Gómez**

**EL DIRECTOR DE CARRERA:**

---

**Ing. Juan Castro Clavijo**

**UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO:**

---

**Dr. Eduardo Vásquez Alcázar**