

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA



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

PANAMÁ MAURICIO  
QUINCHIMBLA FEDDY

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
MÓDULO ELECTRÓNICO PARA  
AUTOMATIZAR EL ACCIONAMIENTO  
DEL EMBRAGUE DE UN VEHÍCULO  
AUTOMOTOR”**

# OBJETIVOS

---

**General**

- Diseñar y construir un módulo electrónico para automatizar el accionamiento del embrague de un vehículo automotor

**Específicos**

- Diseñar y construir el circuito electrónico para el control de mando del embrague.

- Seleccionar los elementos electrónicos apropiados y programar el módulo electrónico para que envíe señales al actuador para el correcto funcionamiento del sistema de accionamiento automático del embrague.

- Adaptar el actuador apropiado para el correcto funcionamiento del sistema de accionamiento automático del embrague.

- Instalar sensores para detectar la mano en el pomo de la palanca de cambios, pedal del acelerador, velocidad del vehículo y además un dispositivo que deshabilite el sistema automático permitiendo conducir el vehículo en la forma convencional.

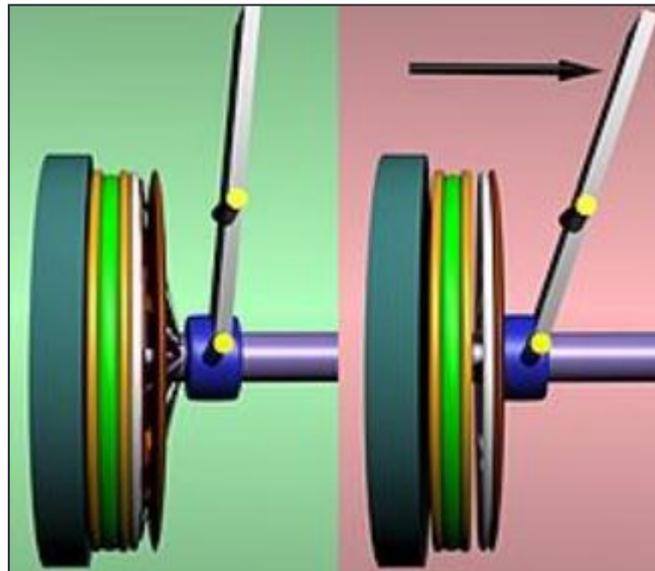
- Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de accionamiento automático del embrague mediante pruebas de ruta.





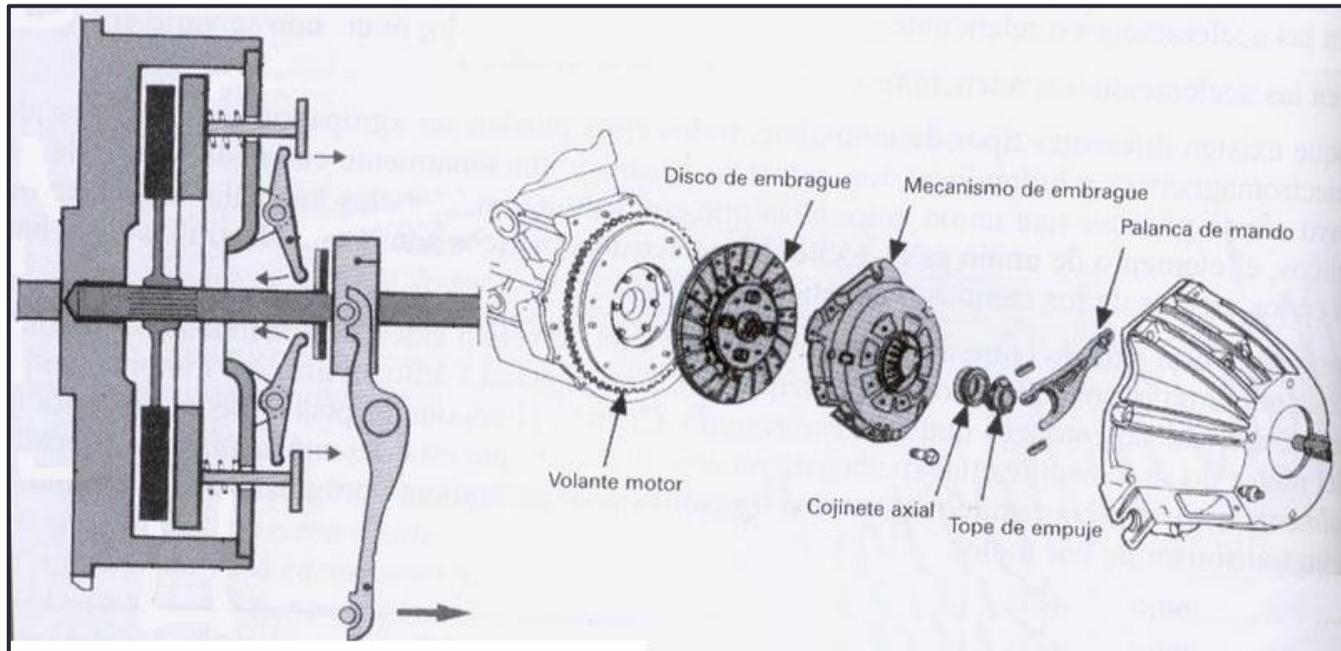
# EL EMBRAGUE

El embrague es un sistema que permite tanto transmitir como interrumpir la transmisión de energía mecánica a su acción final de manera voluntaria. En un vehículo permite al conductor controlar la transmisión del movimiento del motor hacia las ruedas.



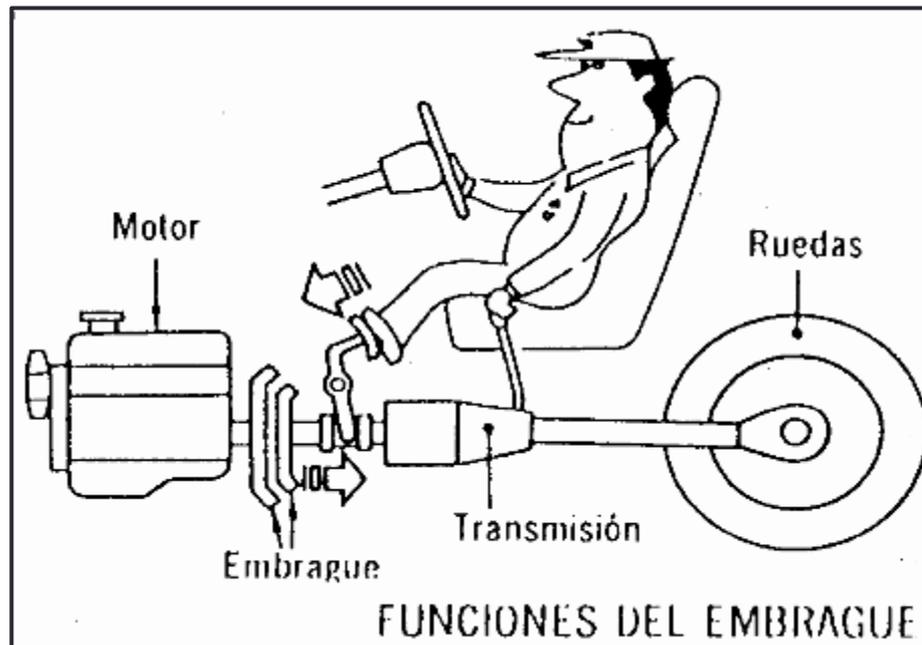
# El embrague de fricción y sus partes

El embrague de fricción está formado por una parte motriz (volante motor), que transmite el giro a la parte conducida, usando el efecto de adherencia, a los cuales se les aplica una fuerte presión que los acopla fuertemente.



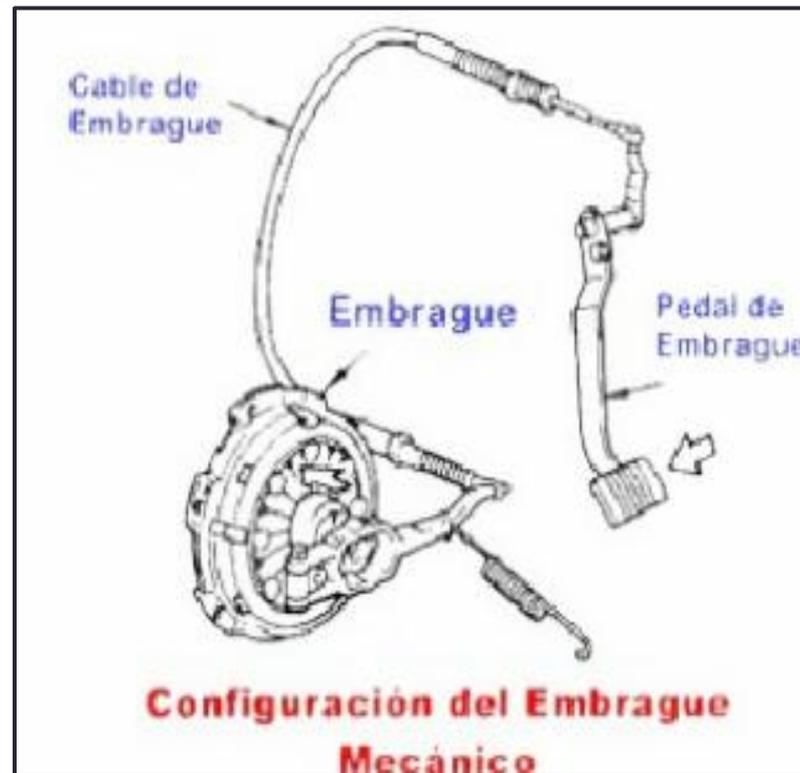
# ACCIONAMIENTO DEL EMBRAGUE

Los mecanismos de embrague pueden ser accionados mecánicamente, por presión hidráulica, presión de aire, fuerza magnética y fuerza centrífuga.



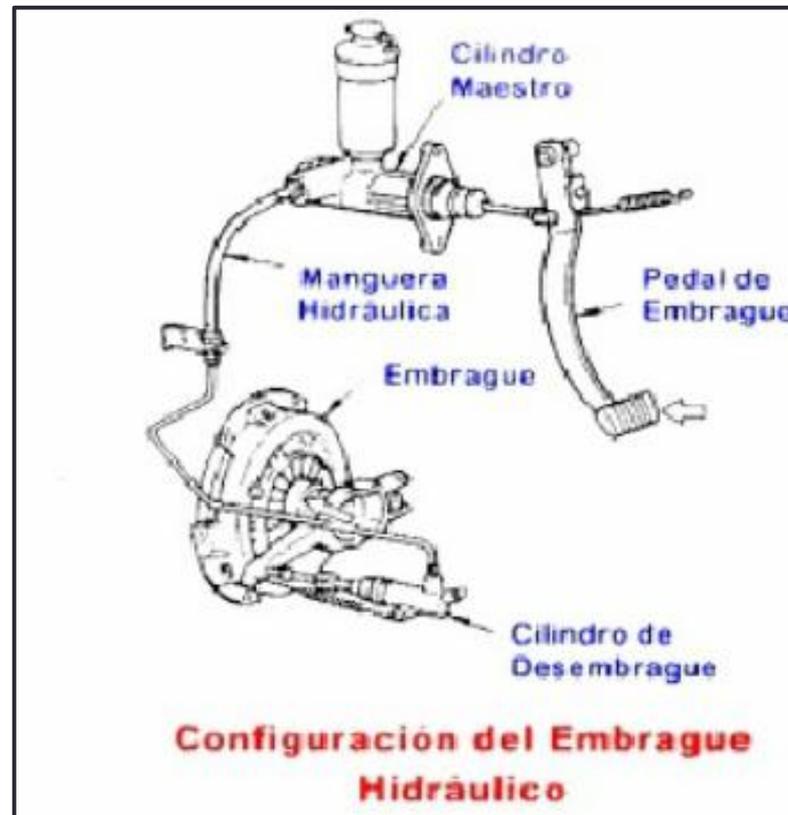
# Embrague mecánico

Los movimientos del pedal de embrague son transmitidos al embrague usando un cable.



# Embrague hidráulico

Los movimientos del pedal de embrague son transmitidos al embrague por precisión hidráulica.



# DESARROLLO DEL PROYECTO

---

## Selección de elementos mecánicos

Se inició realizando los cálculos del embrague pertinentes para selección de elementos mecánicos.

|                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| <b>Cilindrada</b>             | 2555 $cm^3$              |
| <b>Relación de compresión</b> | 8.8:1                    |
| <b>Potencia</b>               | 114 Hp (85Kw) @ 5000 rpm |
| <b>Alimentación</b>           | Carburador               |
| <b>Tracción</b>               | 4 WD                     |
| <b>Caja de cambios</b>        | 5 velocidades Manual     |

## Cálculo de Momento de fricción

$$Pot = T * W$$

Donde:

*Pot*: Potencia del motor [W]

*T*: Momento de fricción o Torque del motor [Nm]

*W*: velocidad angular del motor  $\left[ \frac{rad}{s} \right]$

$$W = 5000 \frac{rev}{min} = 523.598 \frac{rad}{s}$$

$$T = \frac{85000 \frac{Nm}{s}}{523.598 \frac{rad}{s}}$$

$$T = 162.33 \text{ Nm}$$

## Cálculo de fuerza de fricción

Para hallar la fuerza de fricción se parte de la fórmula de momento de fricción.

$$F_a = \frac{T * 3 * (D^2 - d^2)}{f(D^3 - d^3)}$$

Donde:

- $F_a$ : fuerza de fricción [N]
- $D$ : diametro externo del disco [m]
- $d$ : diametro interno del disco [m]
- $T$ : momento de fricción [Nm]
- $f$ : coeficiente de rozamiento [-]

En este caso el coeficiente de rozamiento es  $f = 0.3$  y los diámetros del disco son  $D = 225\text{mm} \approx 0.225\text{m}$  y  $d = 150\text{mm} \approx 0.15\text{m}$

## Cálculo de fuerza de fricción

$$F_a = \frac{162.33 \text{ Nm} * 3 * ((0.225\text{m})^2 - (0.15\text{m})^2)}{0.3 * ((0.225\text{m})^3 - (0.15\text{m})^3)}$$

$$F_a = 5695.78 \text{ N} \approx 5696 \text{ N} \approx 580.81 \text{ KgF}$$

## Cálculo de la Presión en el disco

Despejando de la ecuación de fuerza axial se tiene:

$$p = \frac{F_a * 4}{\pi * (D^2 - d^2)}$$

$$p = \frac{5695.78 * 4}{\pi * ((0.225)^2 - (0.15)^2)}$$

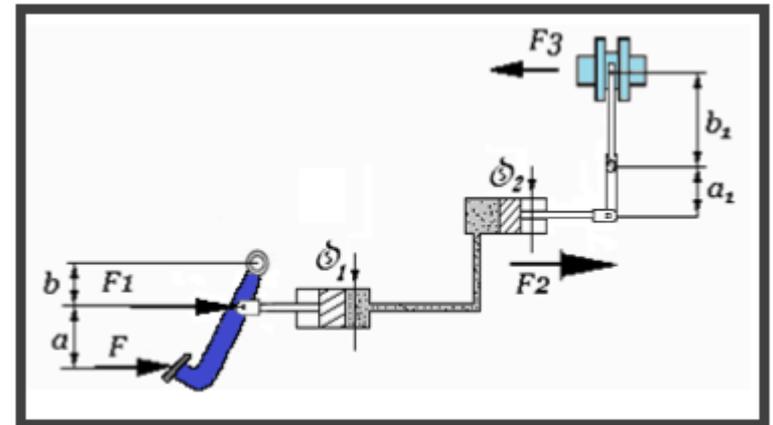
$$p = 257852.17 \frac{N}{m^2}$$

# Resultados de cálculo de embrague

|   |   |
|---|---|
| Momento de fricción   | $T = 162.33 \text{ Nm}$                     |
| Fuerza de fricción o fuerza que ejerce el plato de presión sobre el disco de embrague | $F_a = 5696 \text{ N}$                      |
| Presión en el disco   | $p = 257852.17 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ |

# FUERZAS EN EL SISTEMA DE MANDO DEL EMBRAGUE

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Método de accionamiento del embrague  | Tipo hidráulico                 |
| Diámetro interno del cilindro maestro del embrague $\varnothing_1$                    | 15.87 mm                        |
| Diámetro interno del cilindro secundario del embrague $\varnothing_2$ .               | 19.05 mm                        |
| Distancia del pedal   | $a=300$ mm<br>$b=50$ mm         |
| Distancia de palanca de accionamiento   | $a_1 = 125$ mm<br>$b_1 = 60$ mm |
| Fuerza de fricción o fuerza que ejerce el plato de presión sobre el disco de embrague | $F_3 = 5696$ N                  |
| Fuerza que ejerce la bomba secundaria   | $F_2$                           |
| Fuerza que ejerce la bomba primaria   | $F_1$                           |
| Fuerza que debe vencer el actuador en el final del pedal de embrague                  | $F$                             |



## Cálculo de fuerza en la bomba secundaria

$$F_2 = F_3 * \frac{b_1}{a_1}$$

Donde:

$F_3 = F_a$  fuerza que ejerce el plato de presión sobre el disco de embrague

$$F_3 = 5696 \text{ N}$$

$$F_2 = 5696 \text{ N} * \frac{60\text{mm}}{125\text{mm}}$$

$$F_2 = 2734 \text{ [N]}$$

## Cálculo de la fuerza en la bomba primaria

$$F_1 = F_2 * \frac{\varnothing_1^2}{\varnothing_2^2}$$

$$F_1 = 2734N * \frac{(15.87mm)^2}{(19.05mm)^2}$$

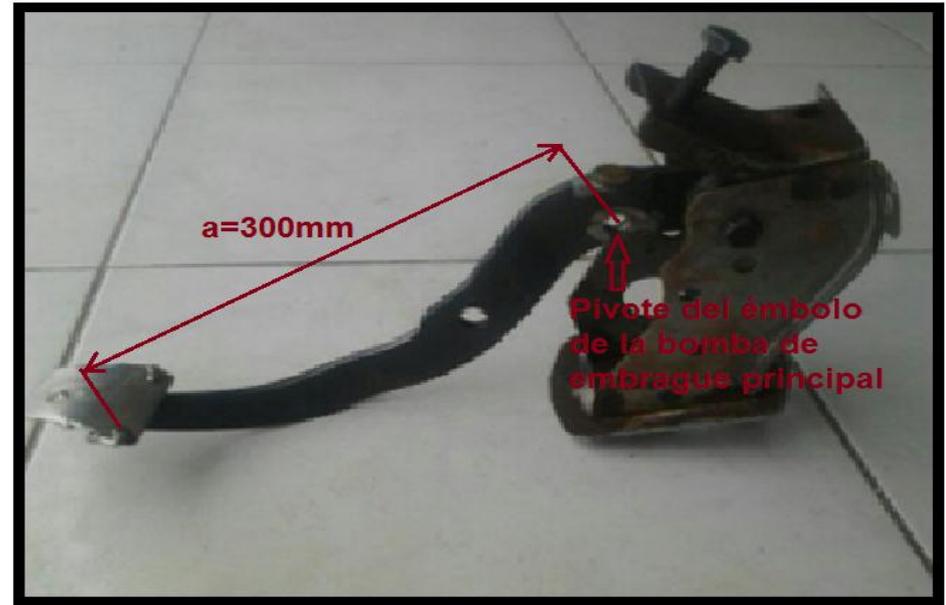
$$F_1 = 1897.5 [N] \approx 193.49 [KgF]$$

## Cálculo de la fuerza aplicado en el final del pedal

$$F = \frac{F_1 * b}{a + b}$$

$$F = \frac{1897.5 \text{ N} * 50\text{mm}}{300\text{mm} + 50\text{mm}}$$

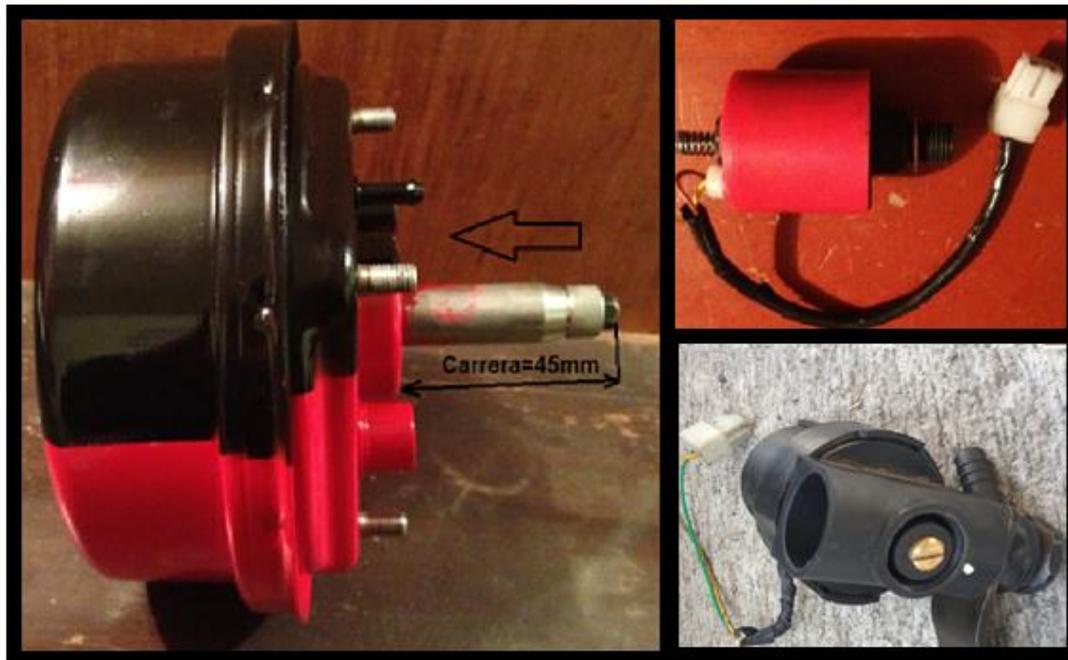
$$F = 271 \text{ [N]}$$



Después de calcular la fuerza  $F = 271 \text{ [N]} \approx 27.6 \text{ KgF}$  que debe vencer el actuador para poder desembragar se buscó en el mercado y se encontró un pulmón que trabaja por medio de vacío.

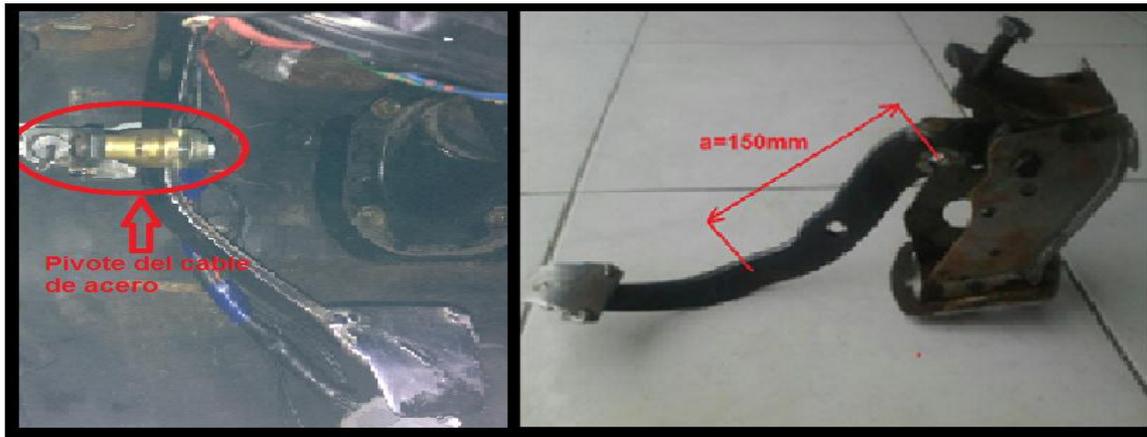
## Actuador utilizado en el proyecto

El pulmón de accionamiento dispone de dos electroválvulas que controlan el ingreso de depresión al mismo para poder mover el pedal de embrague y proporciona una fuerza de aproximadamente 750N con un recorrido de 45 mm.



## Cálculo de la fuerza aplicado en la mitad del pedal

Por el corto recorrido del pulmón de accionamiento (45mm) se decidió tomar el punto de accionamiento en la mitad del pedal de embrague.



$$F_{resistencia} = \frac{1897.5 * 50}{150 + 50}$$

$$F_{resistencia} = 474 \text{ [N]}$$

# Fuerzas en distintas posiciones del pedal de embrague

| Fuerza en el final del pedal | Fuerza en la mitad del pedal |
|------------------------------|------------------------------|
| $F = 271 [N]$                | $F_{resistencia} = 474 [N]$  |

La fuerza aumentó de 271 a 474 [N], esto es porque se redujo el brazo de palanca de  $a = 300mm$  hasta  $a = 150mm$ ; pero como el pulmón de accionamiento proporciona 750N aproximadamente, este compensa para mover el pedal sin ningún problema.

## FUERZA PROPORCIONADA POR EL PULMÓN DE ACCIONAMIENTO

|                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Tipo de motor de combustión interna | Motor de explosión               |
| Toma de vacío                       | Salida del colector de admisión. |
| Vacío del motor                     | 15 in Hg<br>50795.68 Pa          |
| <b>PULMÓN DE DIAFRAGMA</b>          |                                  |
| Diámetro de diafragma               | 140 mm                           |
| Recorrido del diafragma             | 45 mm                            |



# Cálculo de la fuerza proporcionada por el pulmón

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi * \frac{(0.14m)^2}{4}$$

$$A = 0.0154m^2$$

$$F_{pulmón} = P_v * A$$

$$F_{pulmón} = 50795.68 \frac{N}{m^2} * 0.0154m^2$$

$$F_{pulmón} = 781.9387421 [N]$$

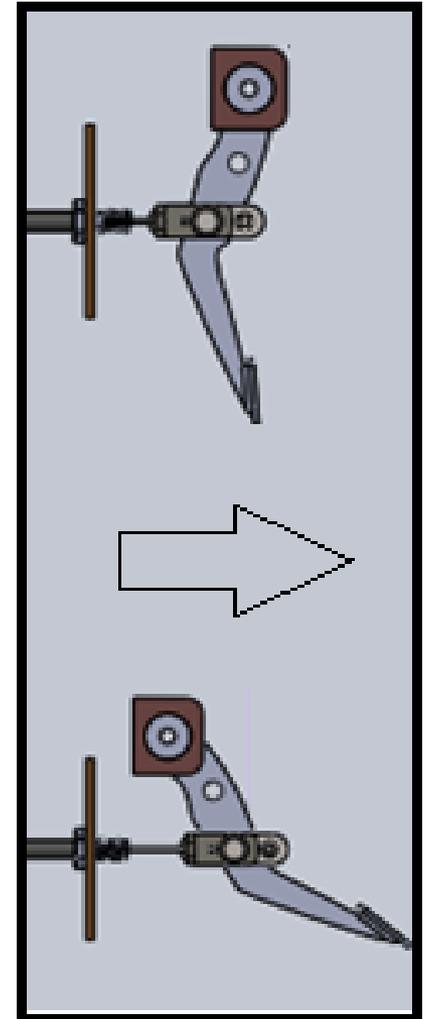
## Fuerzas del pedal de embrague y del pulmón

| Fuerza mínima requerida para mover pedal de embrague | Fuerza proporcionada por el pulmón |
|--|------------------------------------|
| 474 N  | 781.94 N                           |

De acuerdo a esto se establece que la fuerza y la carrera que proporciona el pulmón es suficiente para poder mover sin ninguna dificultad el pedal del embrague, y por ende se seleccionó este actuador.

## DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE ACCIONAMIENTO DEL PEDAL DE EMBRAGUE

El que realmente marca la estabilidad y adherencia mecánica del vehículo no es la velocidad de cambio de marcha ni la rapidez que desacople del motor sino la agudeza con la que el disco de embrague se acopla nuevamente luego de haber realizado el cambio.



# Cálculo del tiempo de accionamiento de pedal de embrague

Según la segunda ley de Newton

$$a = \frac{F}{m}$$

Donde:

- *Fuerza proporcionada por el pulmón = 781.94 N*
- *Masa del cuerpo, en este caso es la carga que ofrece la bomba de embrague  $F_1 = 193.49 \text{ Kg}$*

$$a = \frac{781.94 \frac{\text{Kg} * \text{m}}{\text{s}^2}}{193.49 \text{ Kg}}$$

$$a = 4.04 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

# Tiempo de accionamiento de pedal de embrague

Conociendo la aceleración y desplazamiento  $e=0.045m$ , calculamos el tiempo.

$$d = V_0 * t + \frac{1}{2} a * t^2$$

$$V_0 = 0$$

$$e = \frac{a * t^2}{2}$$

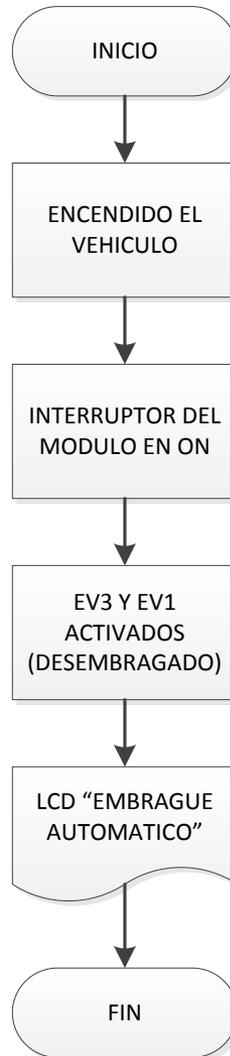
$$t = \sqrt{\frac{2 * e}{a}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 * 0.045}{4.04}}$$

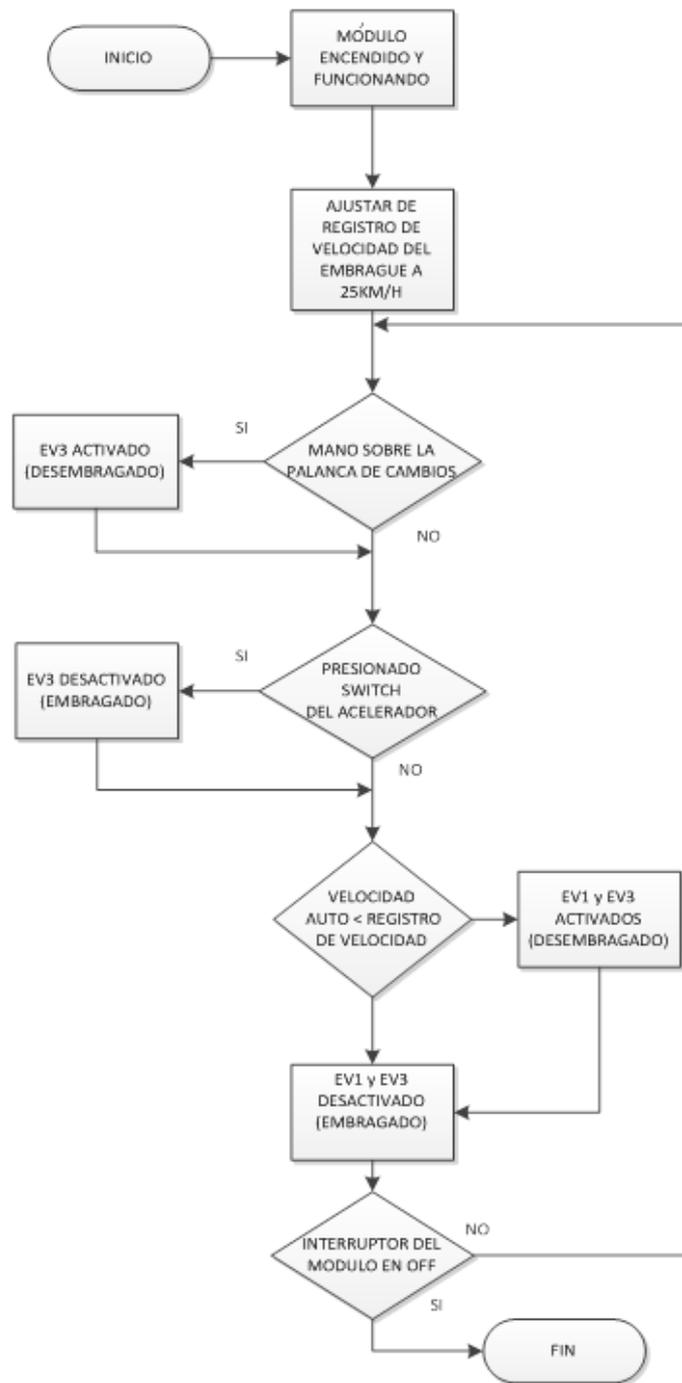
$$t = 0.149 \text{ s} \approx 149 \text{ ms}$$

# CIRCUITO ELECTRÓNICO

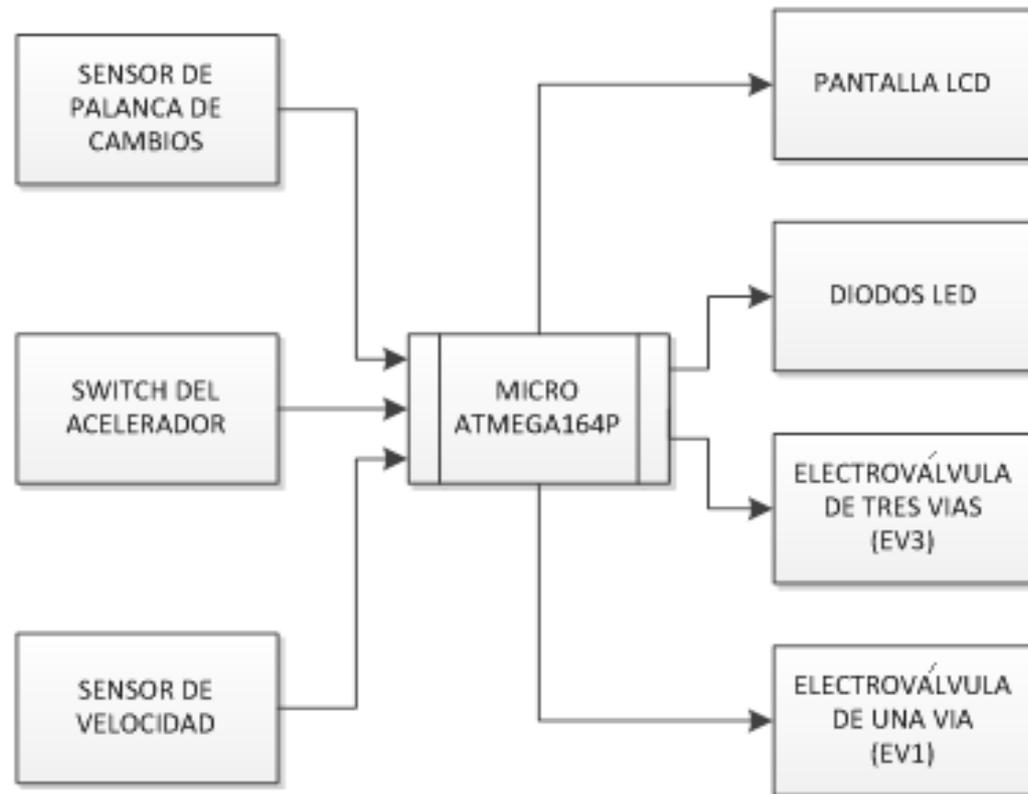
# PRIMERA FASE



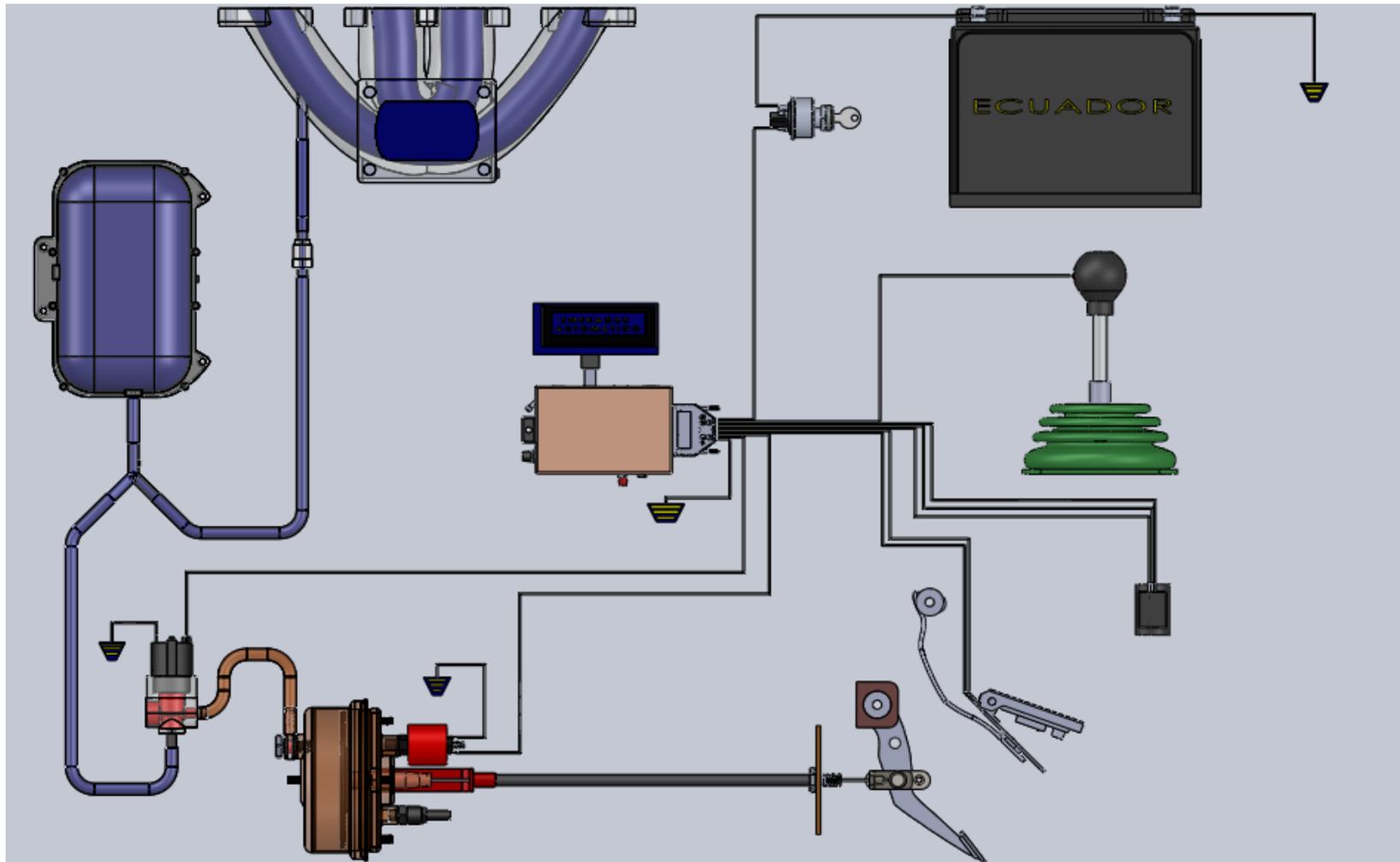
- **SEGUNDA FASE**



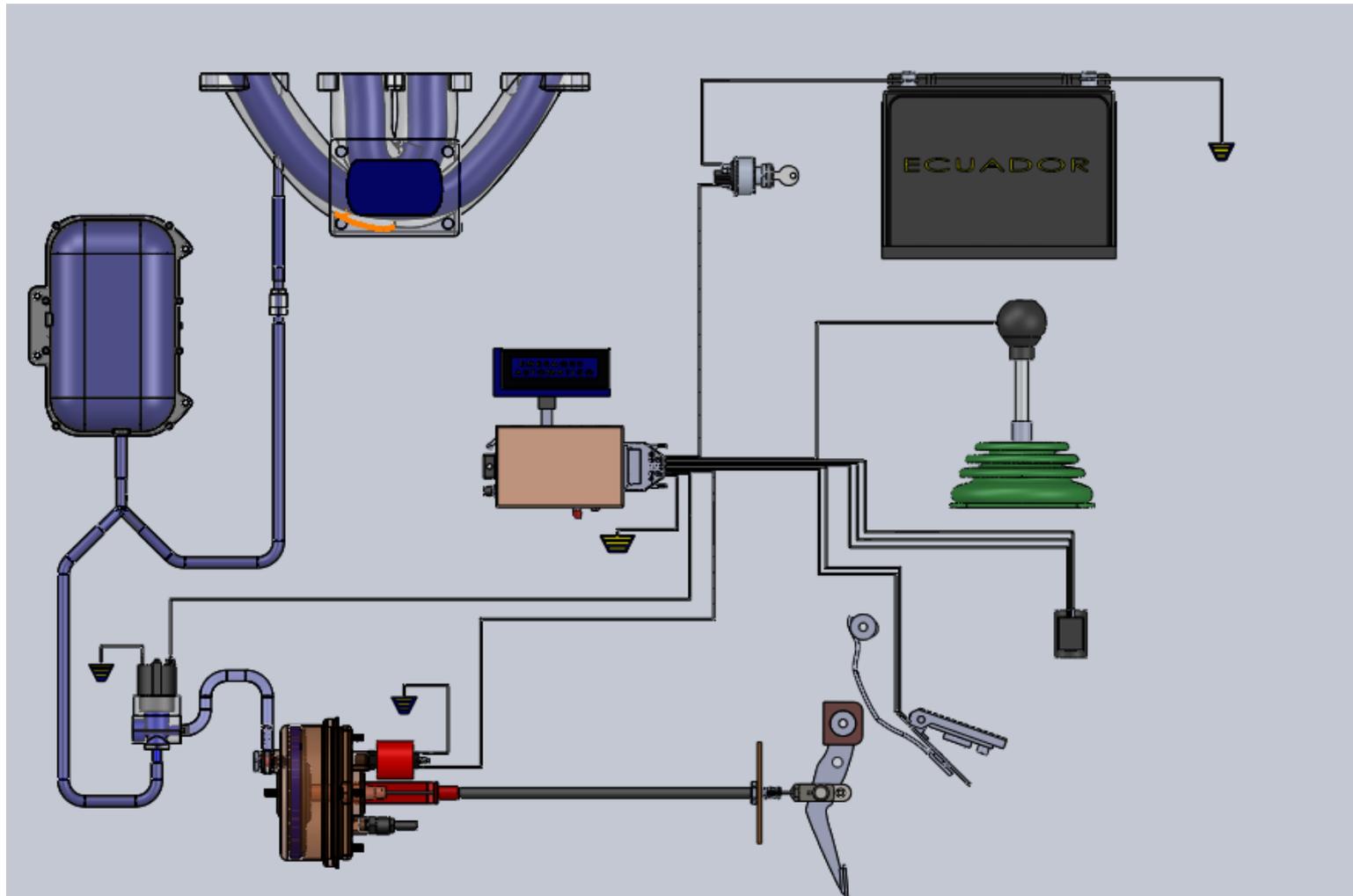
# Circuito del módulo



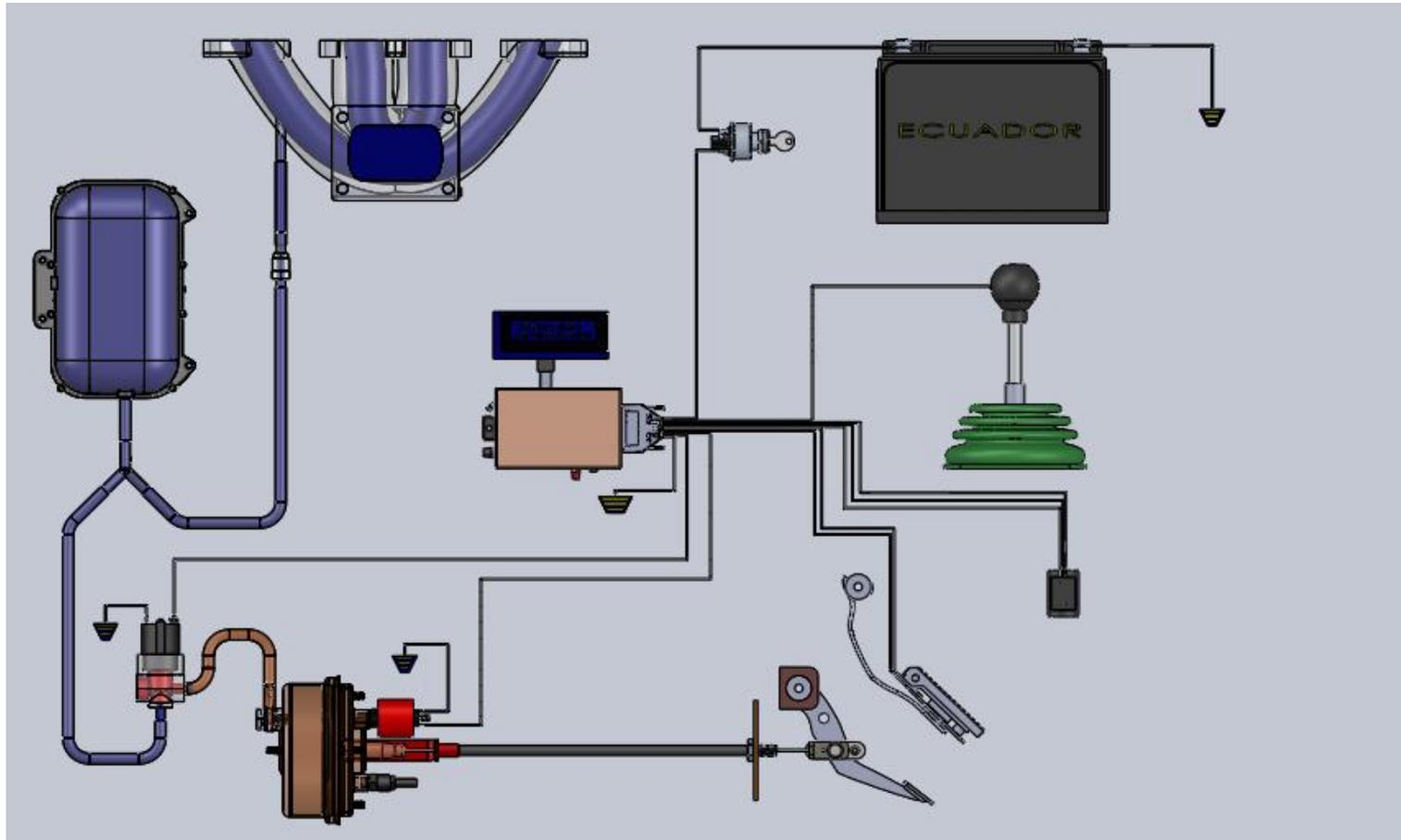
# Sistema Inactivo



# Sistema Activo



# Embragado y desembragado a velocidades superiores de 25km/h





- Microcontrolador Atmega164P



- Circuito Integrado LM239-N



- LCD



- Leds



Sensor óptico



Sensor de velocidad



Interruptor de pedal del acelerador

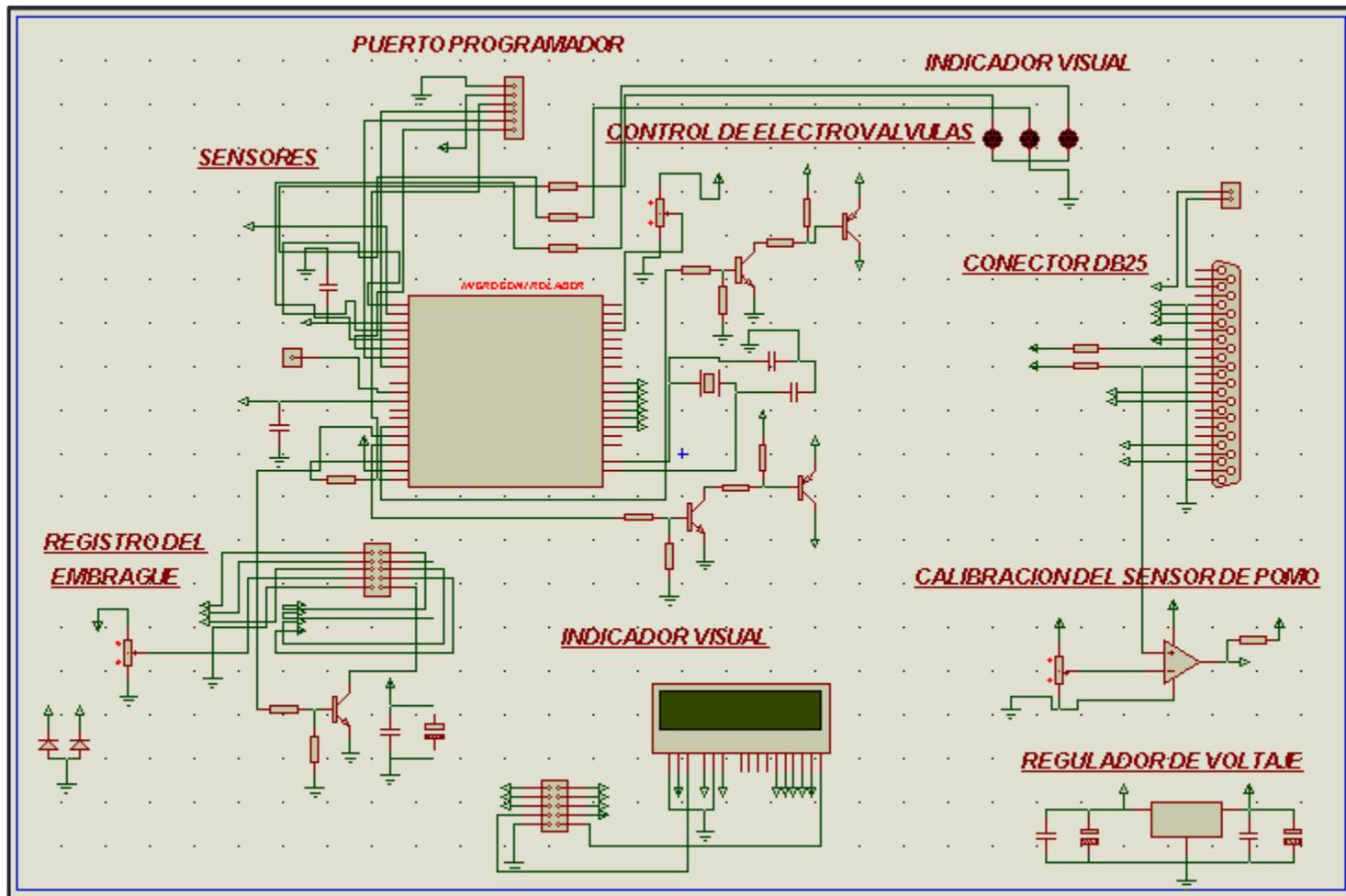


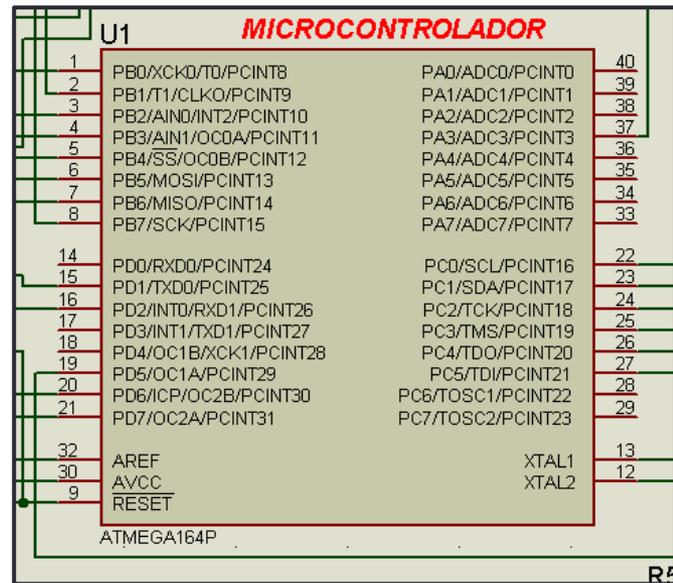
Electroválvula de una vía



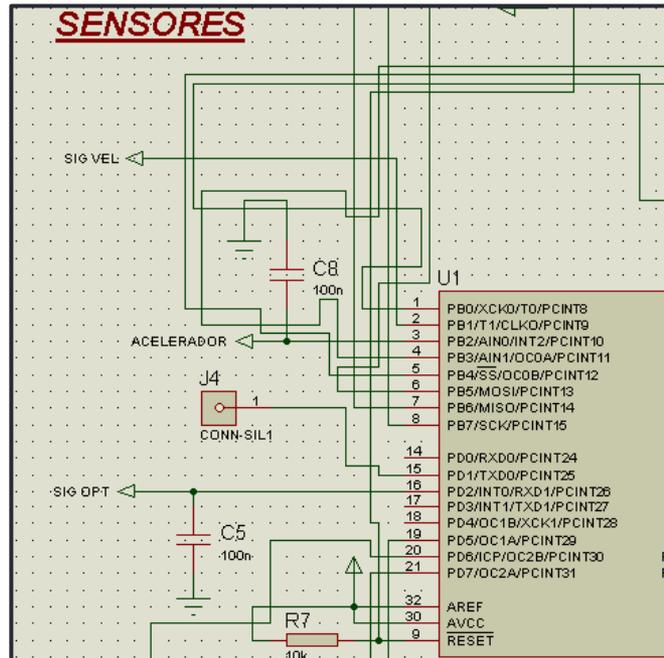
Electroválvula de tres vías

# Simulación y programación del módulo electrónico

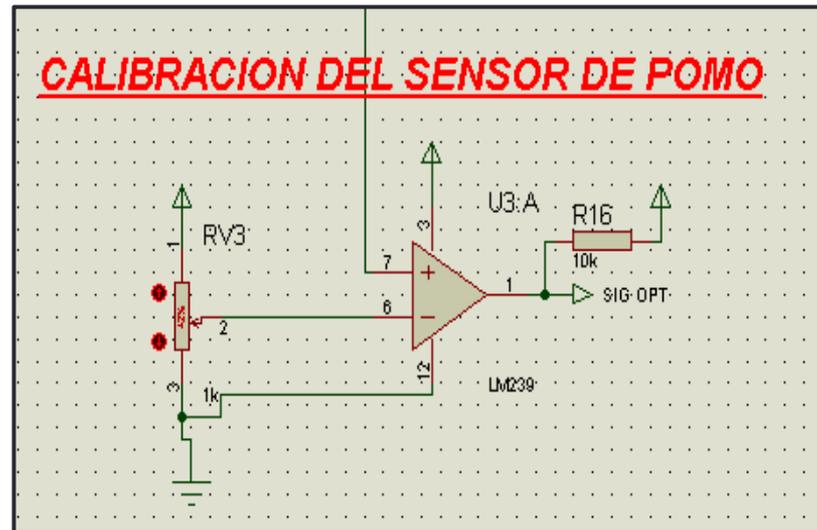




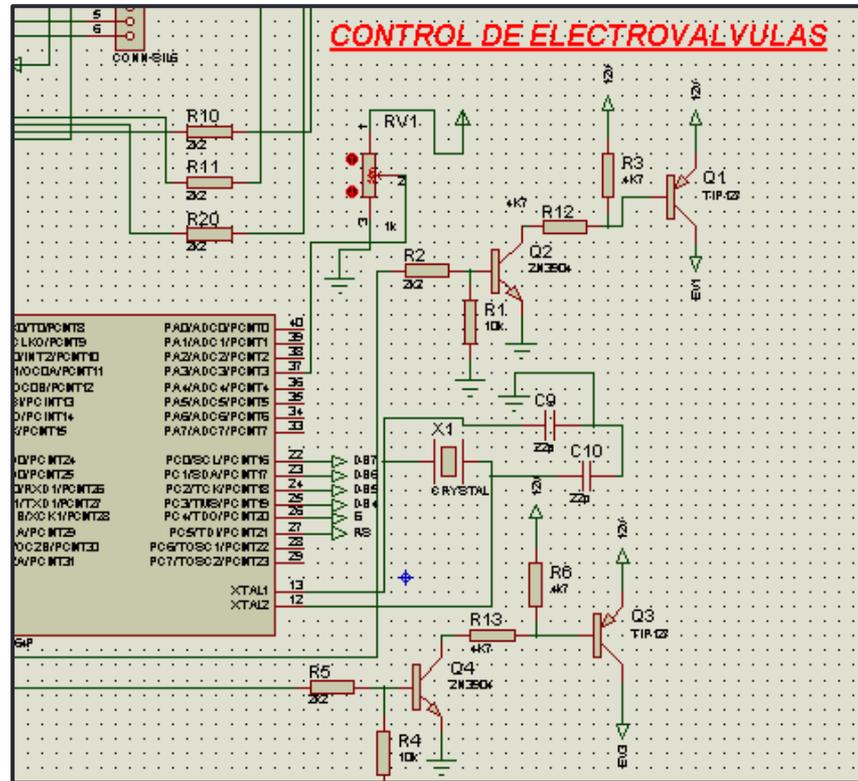
- Atmega164P



Sensores

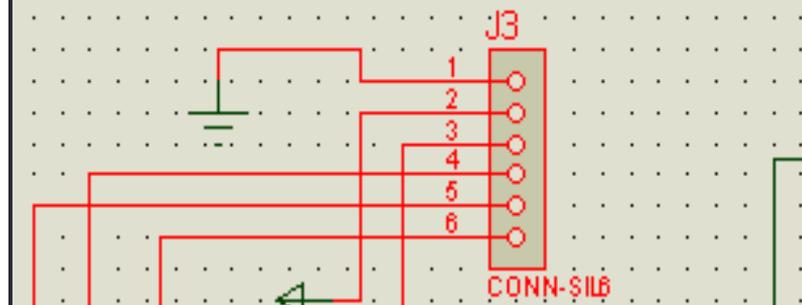


Calibración del sensor óptico

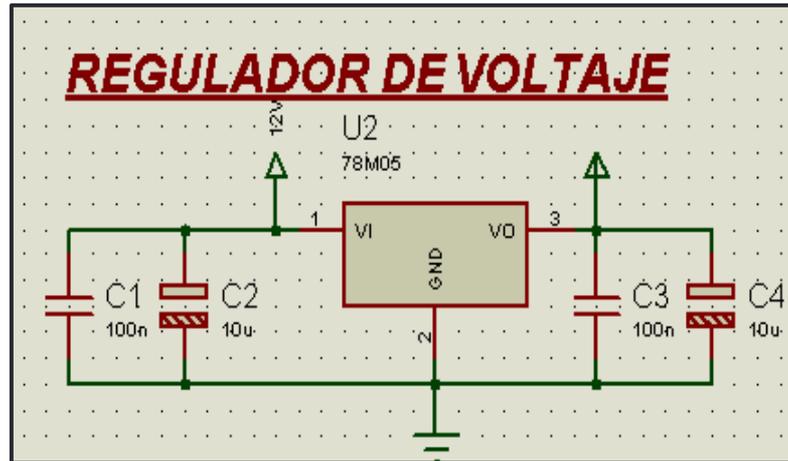


Control de electroválvulas

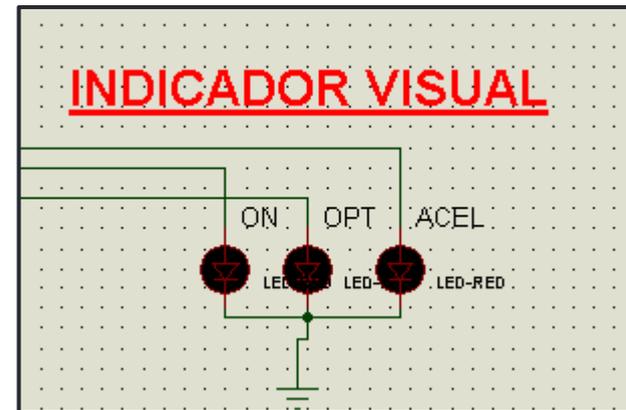
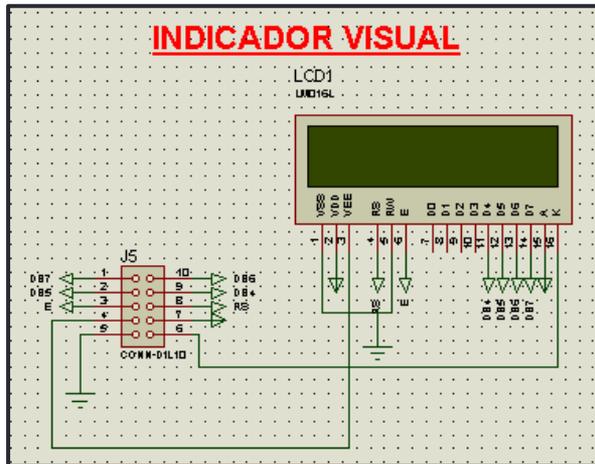
## PUERTO PROGRAMADOR



## REGULADOR DE VOLTAJE

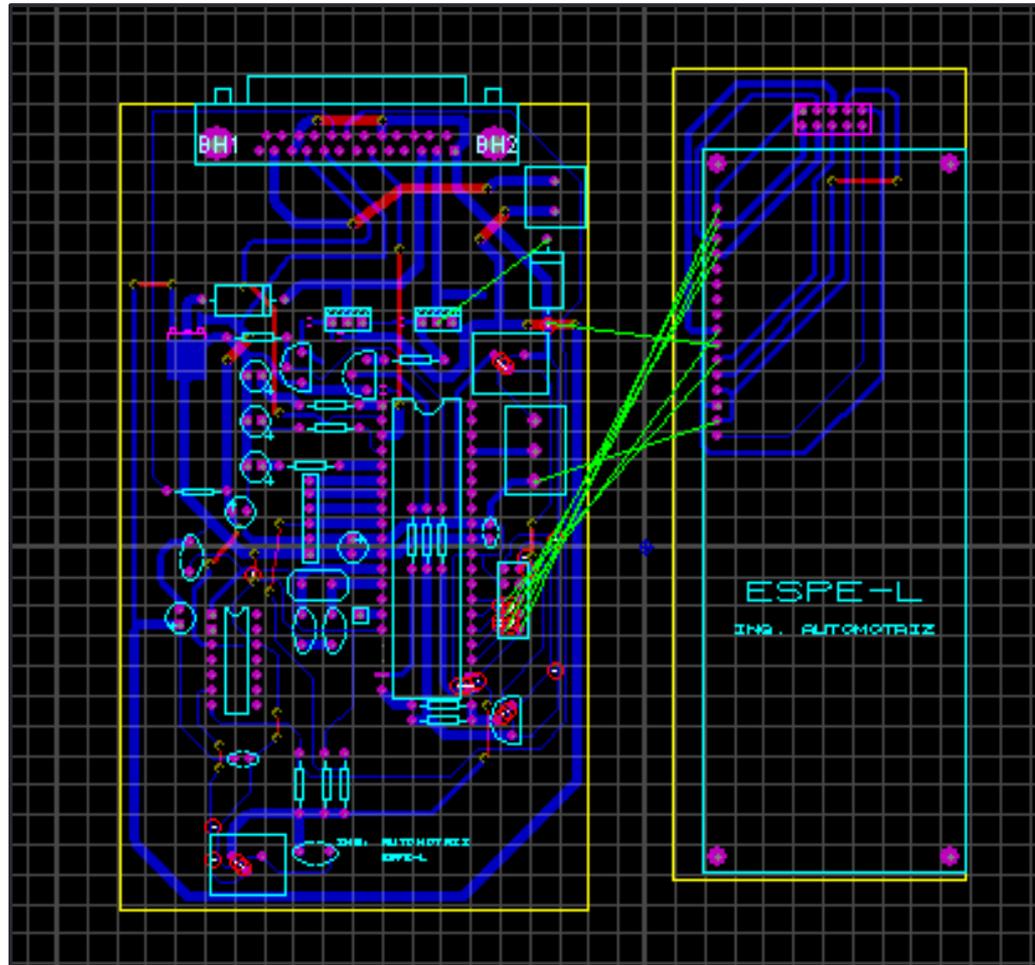


# Indicadores visuales

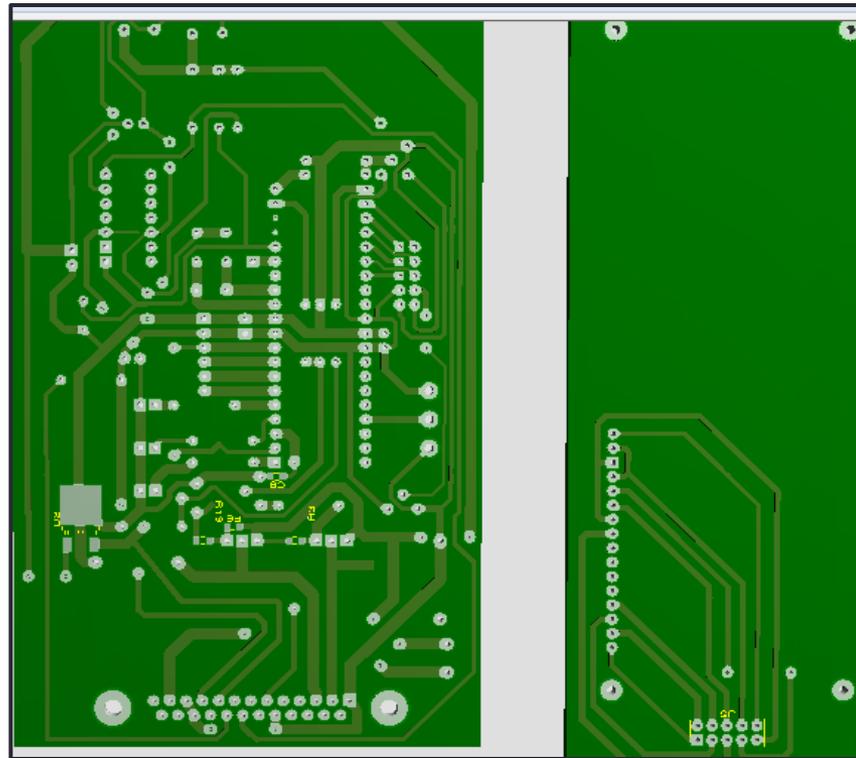




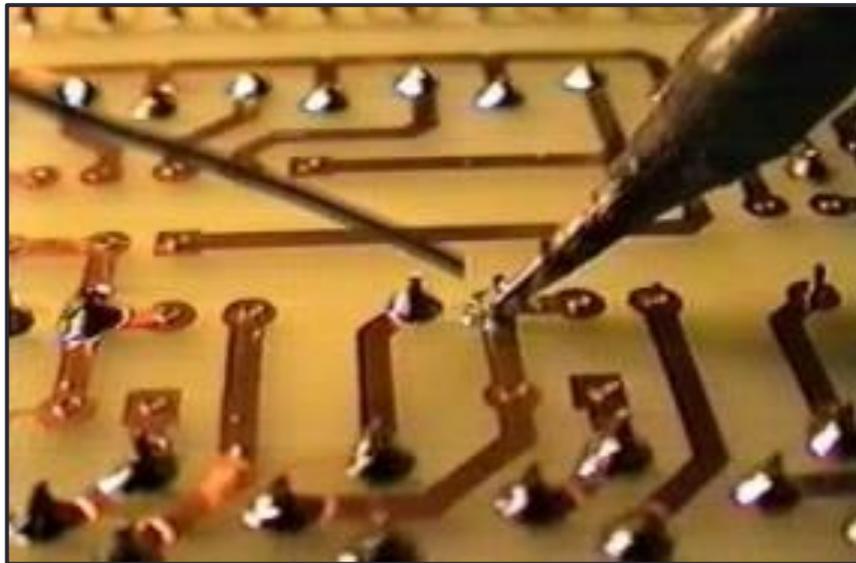
# Concepción del dispositivo



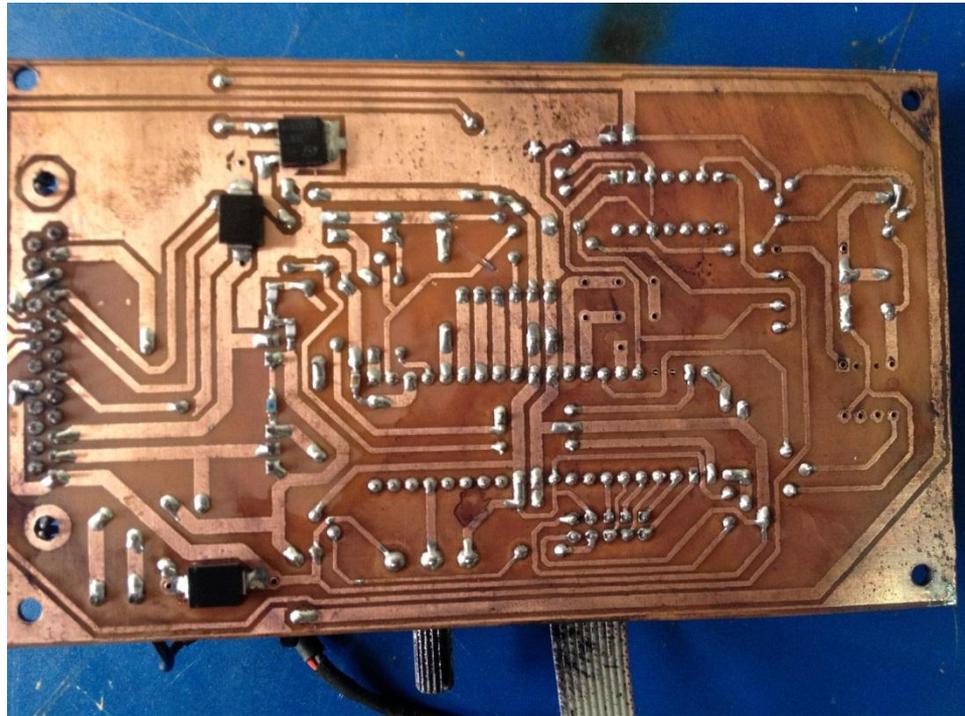
Diseño de la placa en ARES



Diseño final de la placa



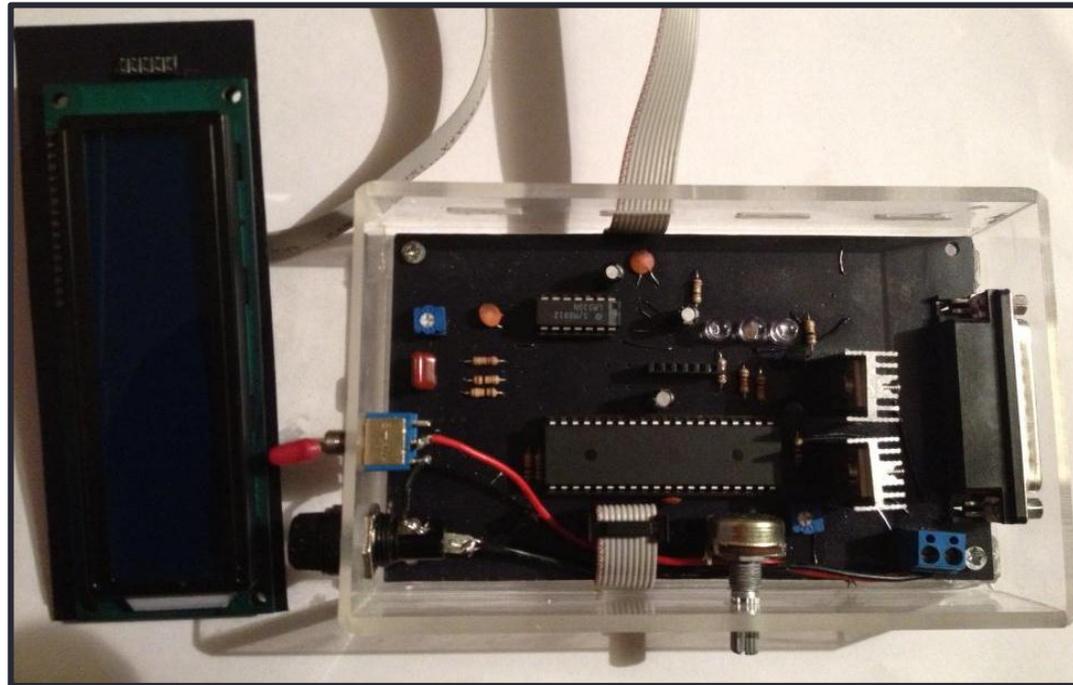
Soldadura de componentes electrónicos



Placa con los elementos electrónicos

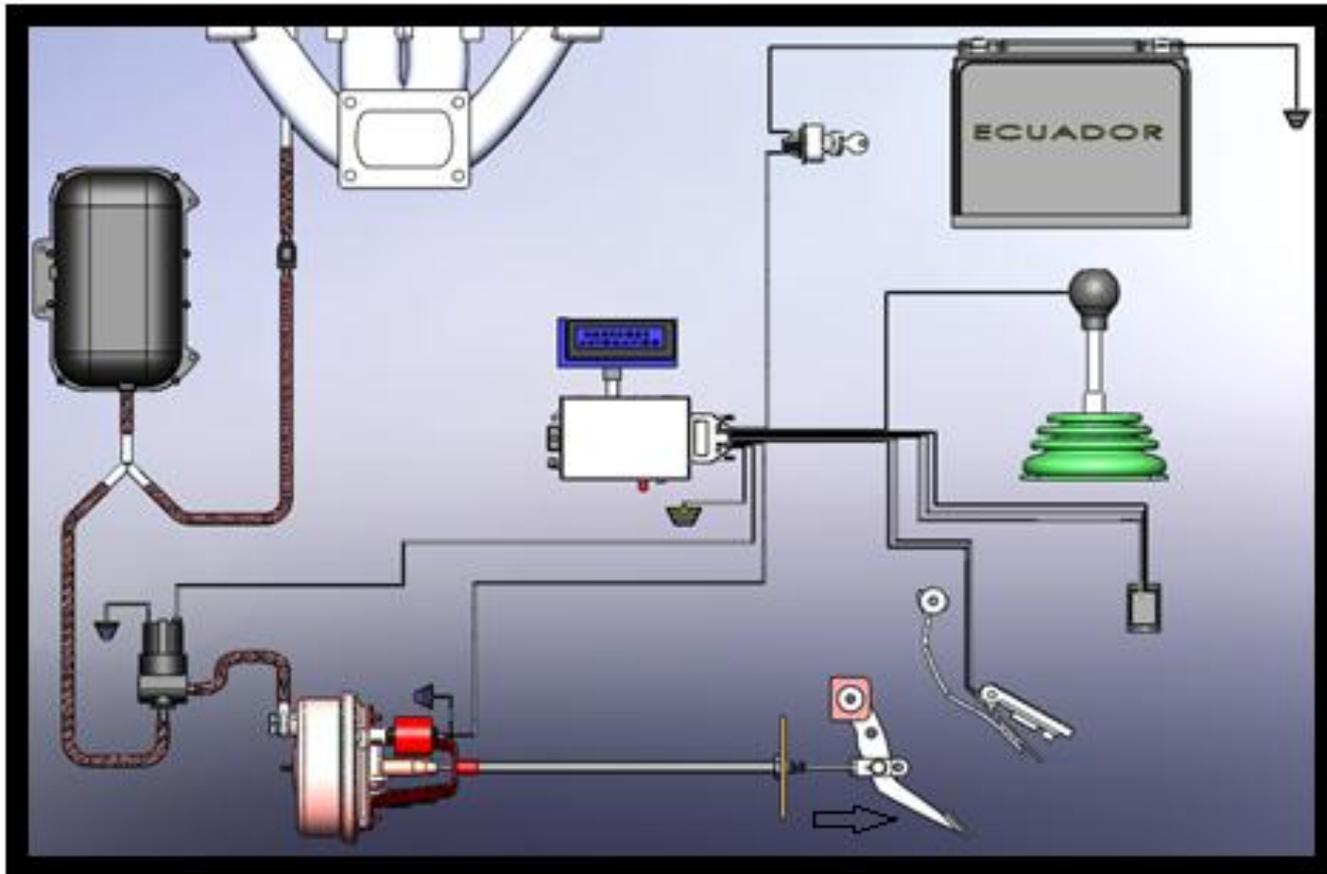


**Pintura para protección de la placa**



- LCD y Módulo terminado

# MONTAJE DEL SISTEMA PARA AUTOMATIZAR EL ACCIONAMIENTO DEL EMBRAGUE



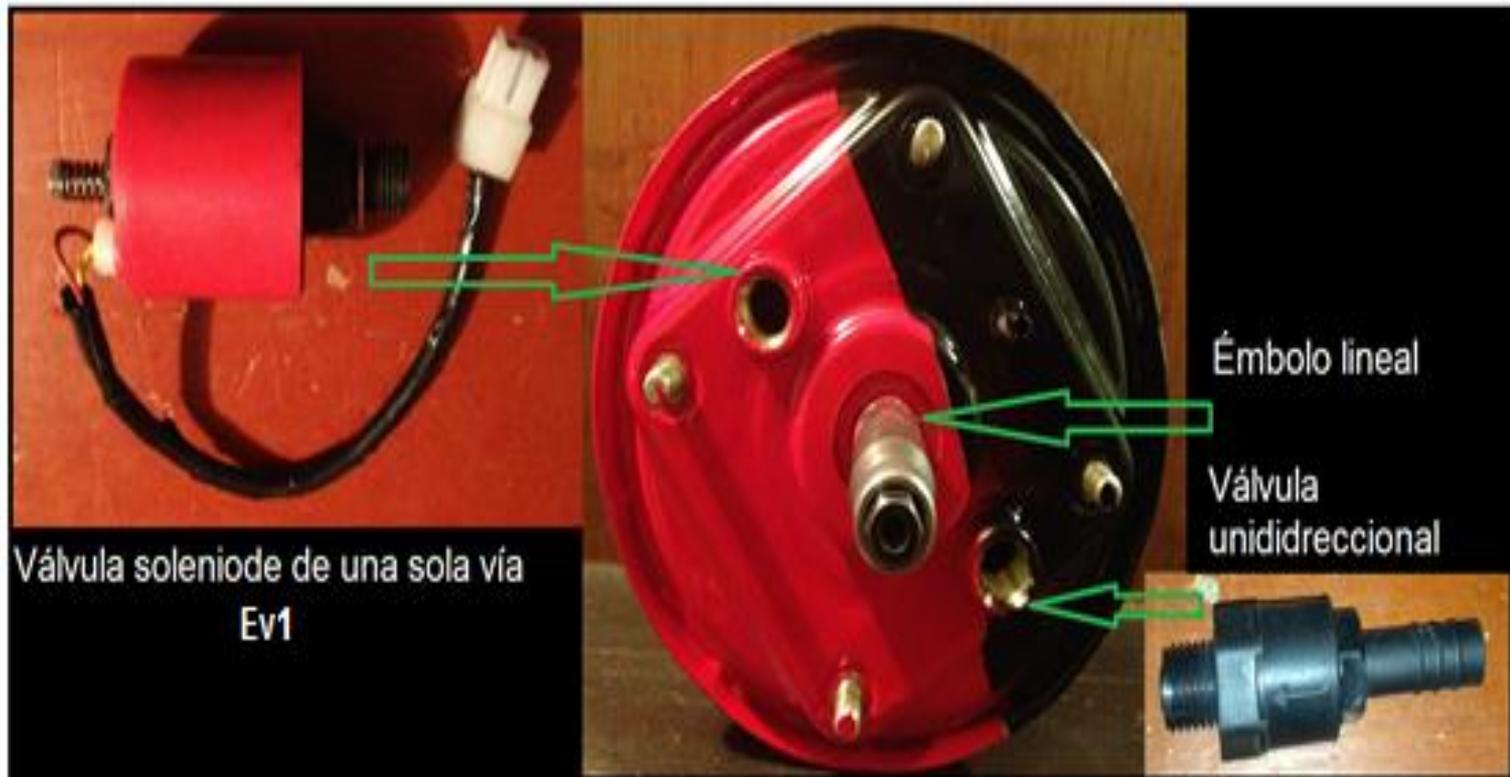
## Instalación del punto de anclaje del pedal de embrague

Se debe localizar un punto perpendicular al pedal de embrague para reducir el esfuerzo de desplazamiento del mismo.



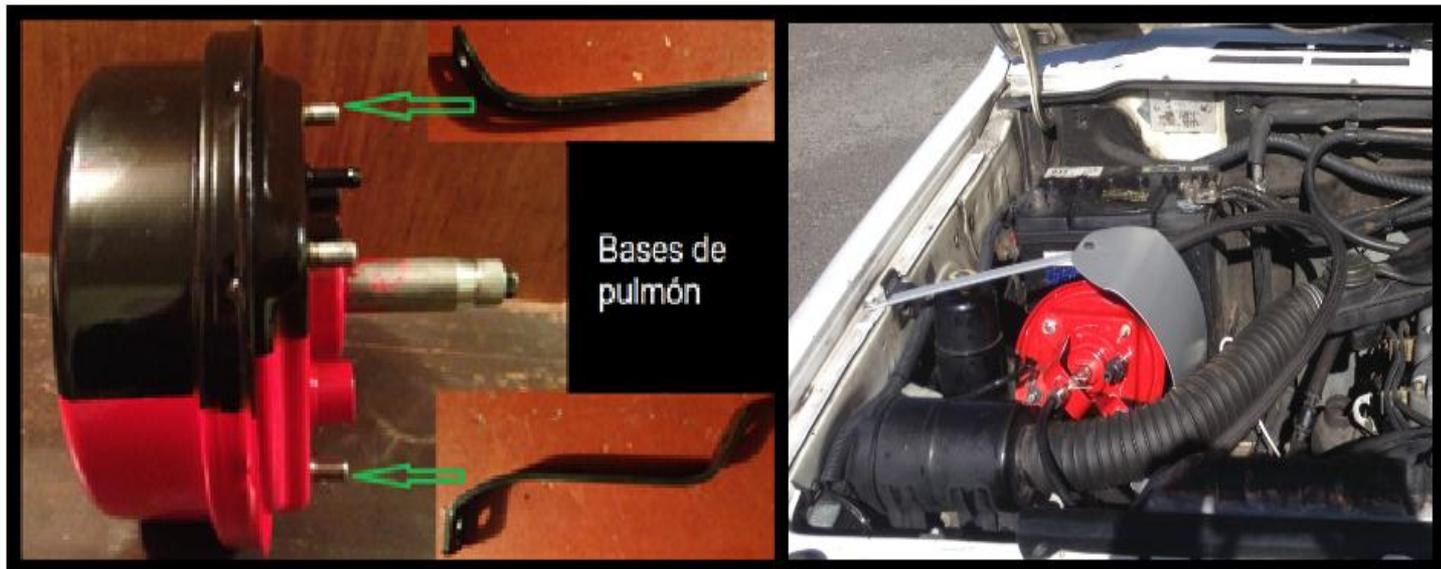
## Montaje del pulmón

Antes de llevar a cabo la instalación del pulmón se debe ubicar los siguientes componentes.



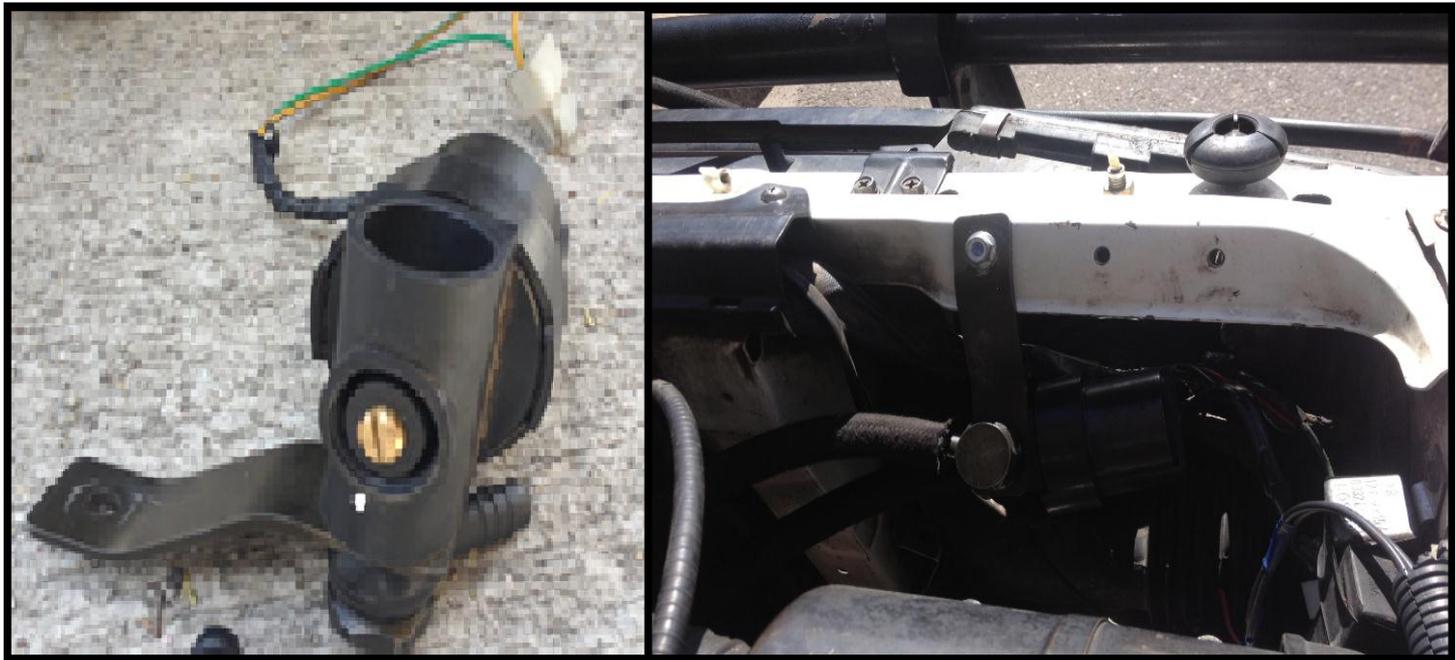
## Montaje del pulmón

Se procede a instalar el pulmón en el compartimiento del motor por medio de bases metálicas. Evitar el uso de puntos de fijación del motor y la interferencia con las partes mecánicas.



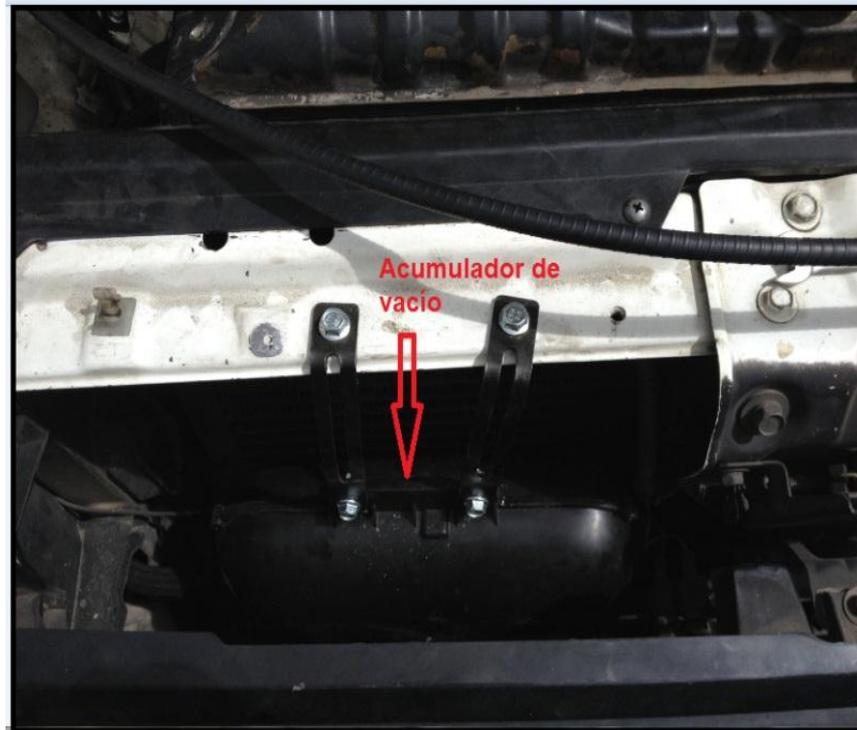
## Instalación de la válvula solenoide EV3

La instalación de esta electroválvula se realiza con el orificio de ingreso de aire hacia abajo sin interferir en los demás componentes del motor.

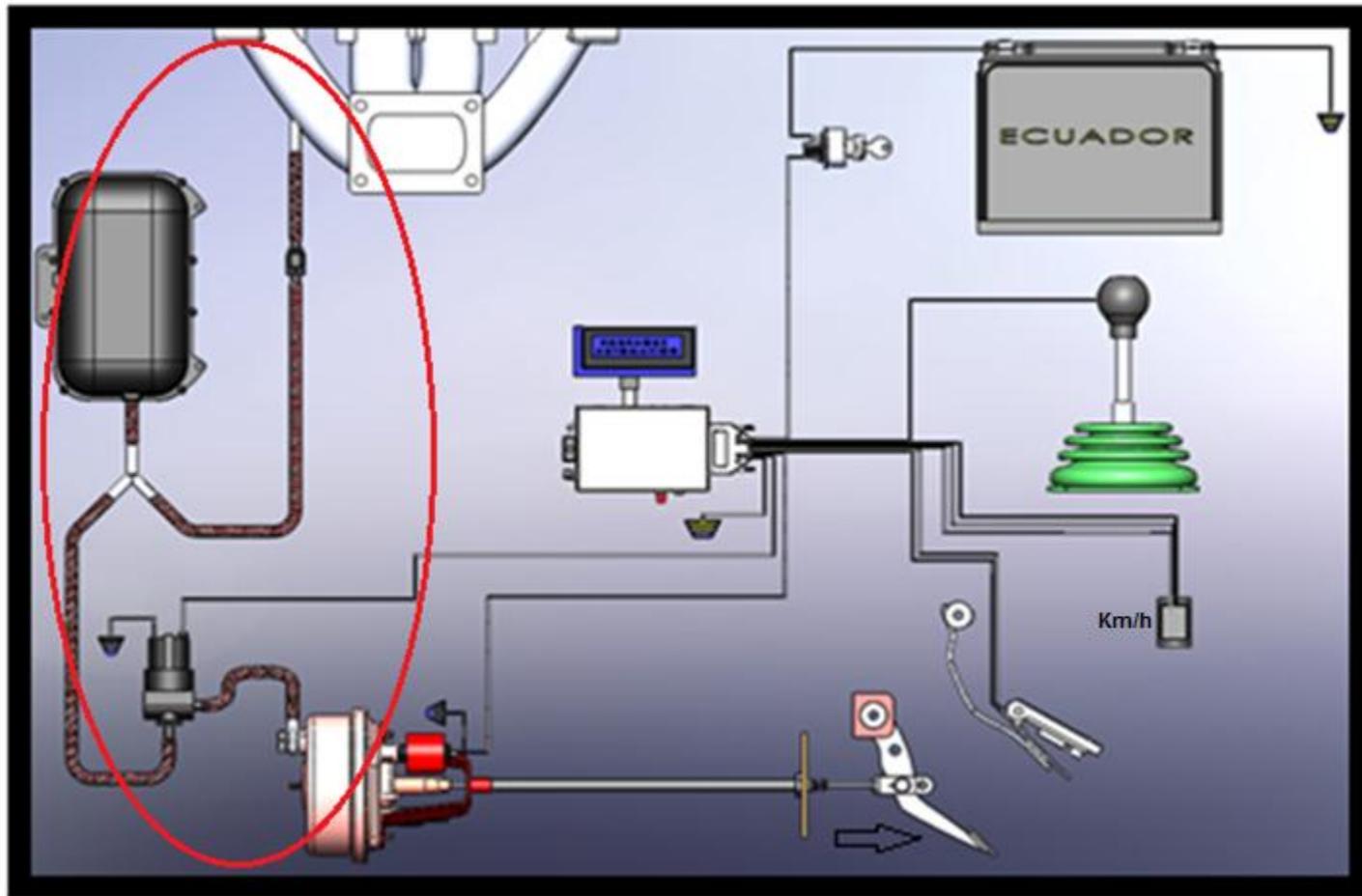


## Instalación del acumulador de vacío

Se ubica en la parte frontal del vehículo, a un costado del radiador evitando la interferencia de calor ya que su estructura es plástica.



# Unión de los componentes neumáticos del sistema



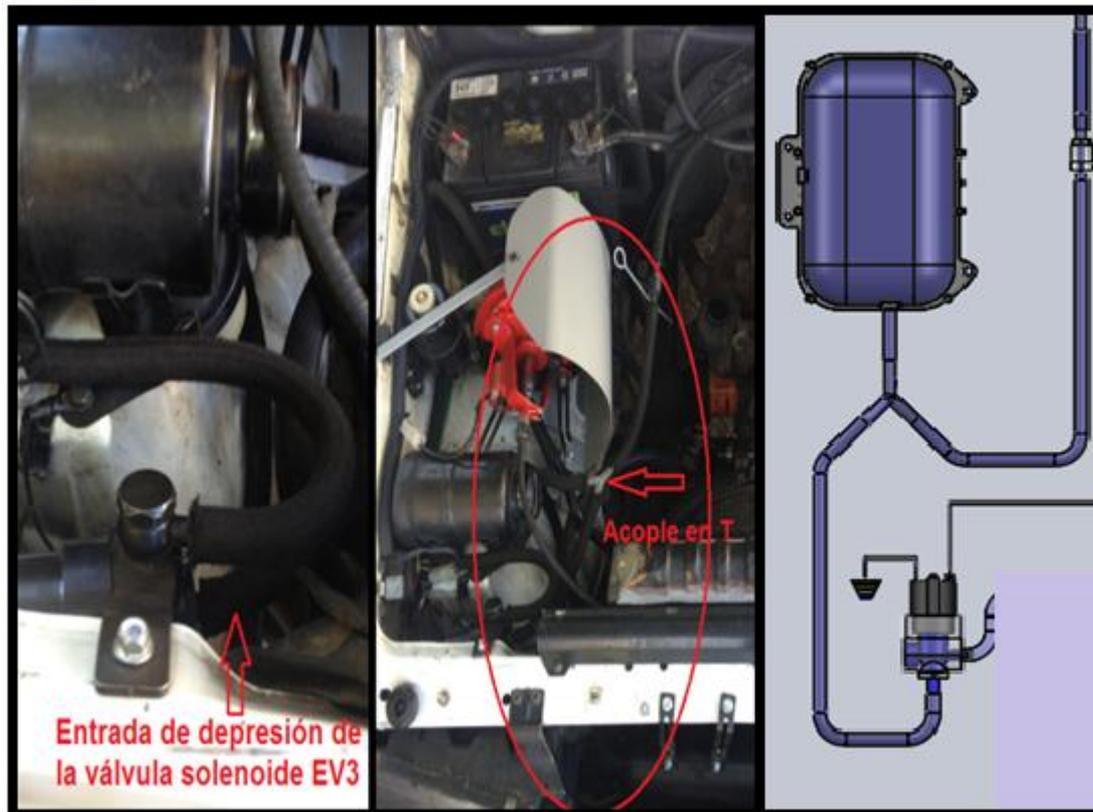
## Unión de la toma de vacío con la válvula check

Se une la toma de vacío del servofreno con la válvula unidireccional mediante un acople en T y una manguera de suministro de presión de aire.



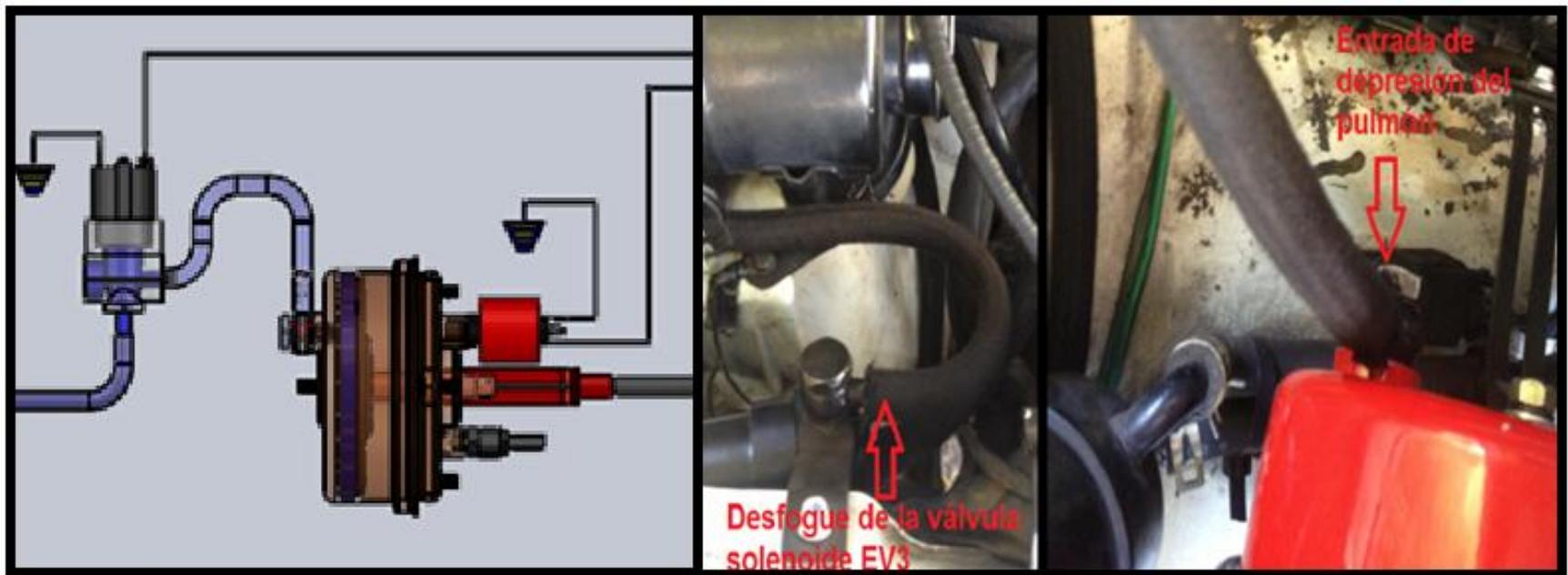
# Unión del acumulador de vacío con la válvula check y la electroválvula EV3

Se acopla la válvula unidireccional con el acumulador de vacío y la entrada de depresión de la válvula solenoide EV3 utilizando un acople en T y mangueras de suministro de presión de aire.



## Unión de la electroválvula EV3 con el pulmón

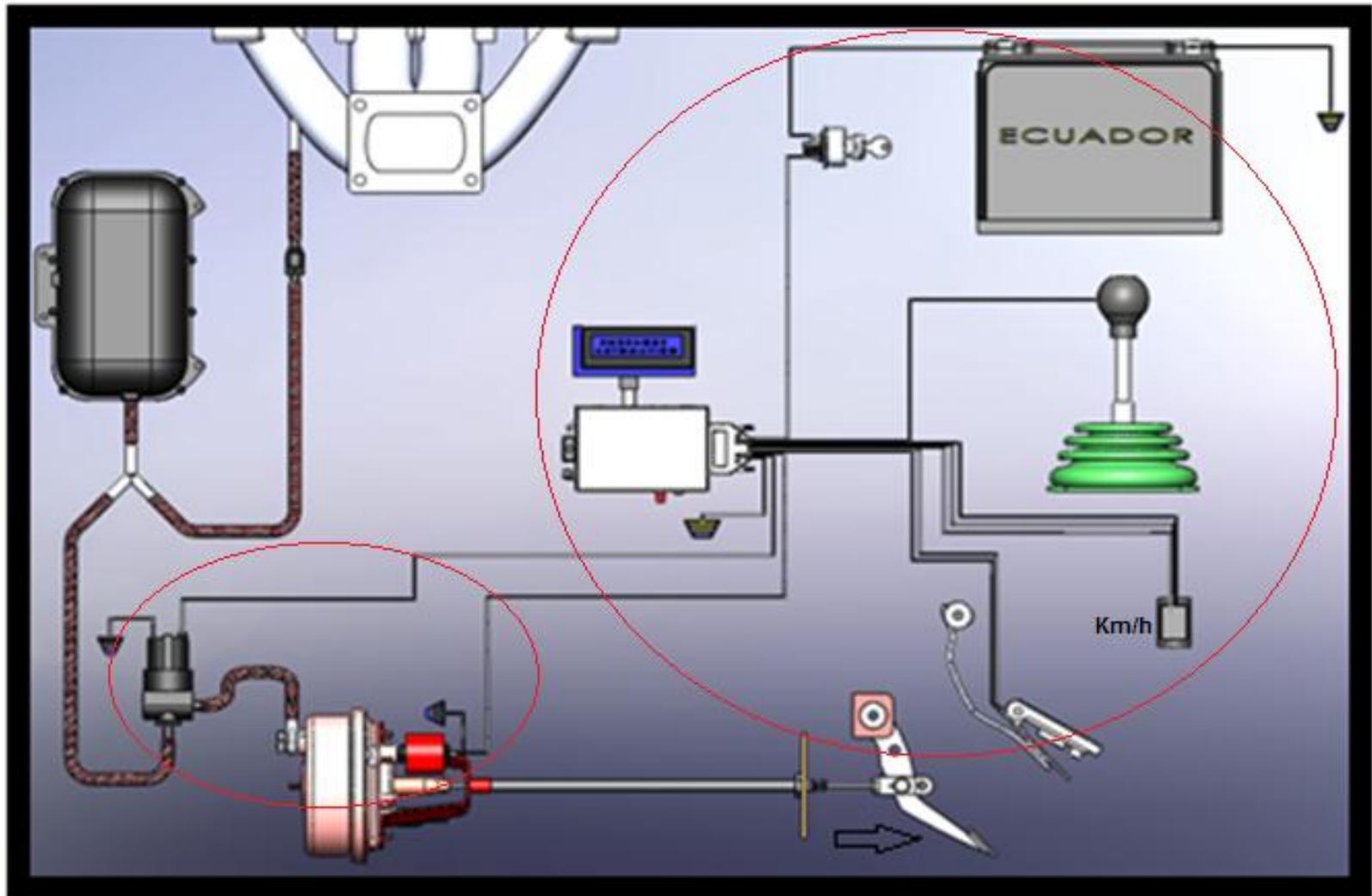
Se realiza la unión del desfogue de la válvula solenoide EV3 con la entrada de depresión del pulmón utilizando una manguera de suministro de presión de aire.



# Conjunto de componentes neumáticos del sistema



# Instalación de los componentes eléctricos y electrónicos



## Instalación del sensor óptico

Se procede a perforar el pomo de la palanca de cambios e insertar el sensor óptico con la cabeza hacia la periferia posterior del pomo.



## Instalación del interruptor del acelerador

La instalación va sujeta al pedal de acelerador debido a que este elemento debe de ser activado solamente cuando se presione.



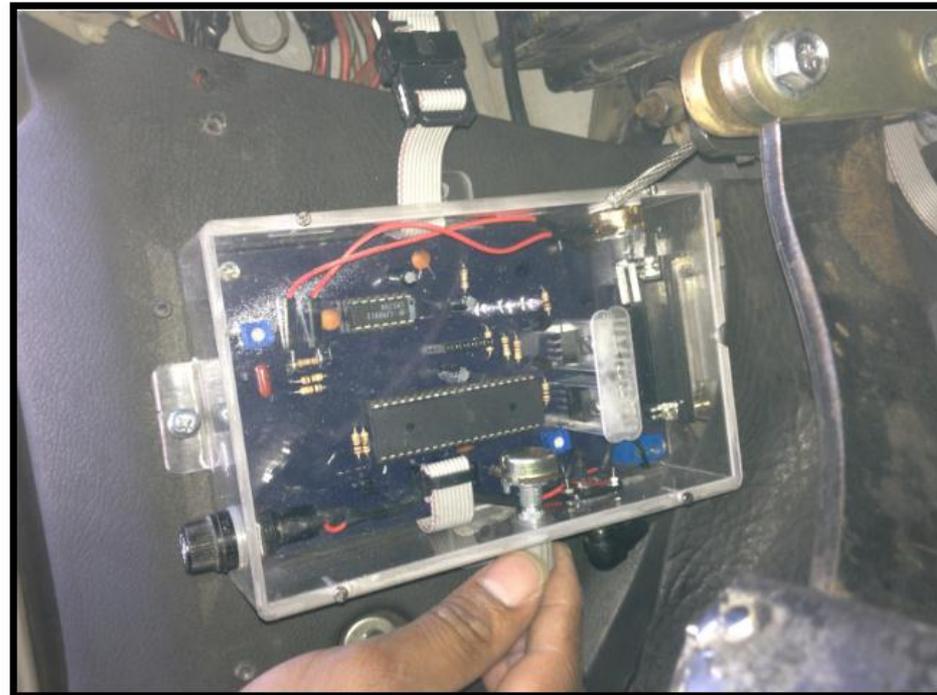
## Instalación del sensor de velocidad del vehículo

Este aprovecha el movimiento rotativo de la cadena del velocímetro y se instaló entre la salida de la caja de cambios y la cadena.



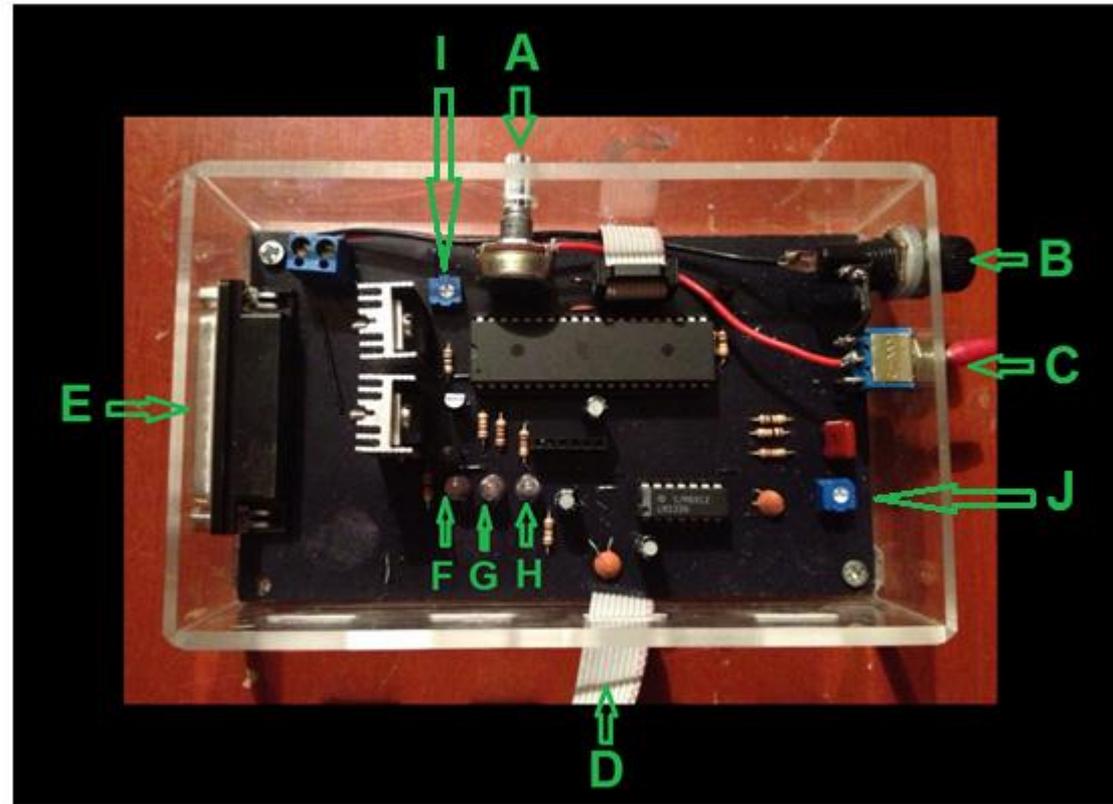
## Instalación del módulo electrónico

Se instala el módulo electrónico utilizando soportes en una posición de fácil accesibilidad, debido a que se pueda regular la velocidad de registro de embrague.



# Componentes del módulo electrónico

| COMPONENTE | DESCRIPCIÓN   |
|------------|---|
| A          | Control de registro de embrague.  |
| B          | Fusible de la unidad de protección.   |
| C          | Activación del sistema de accionamiento automático del embrague .                 |
| D          | Cable de datos hacia la pantalla de cristal líquida.                              |
| E          | Conector DB25 (cableado eléctrico de todo el sistema).                            |
| F          | Indicación de color verde para activación de sistema.                             |
| G          | Indicación de color anaranjado para el sensado del pomo de la palanca de cambios. |
| H          | Indicación de color rojo para el sensado del interruptor de aceleración.          |
| I          | Control de backlight del LCD  |
| J          | Control de sensibilidad de luz del sensor óptico                                  |



## Instalación del visor y selector de activación del sistema

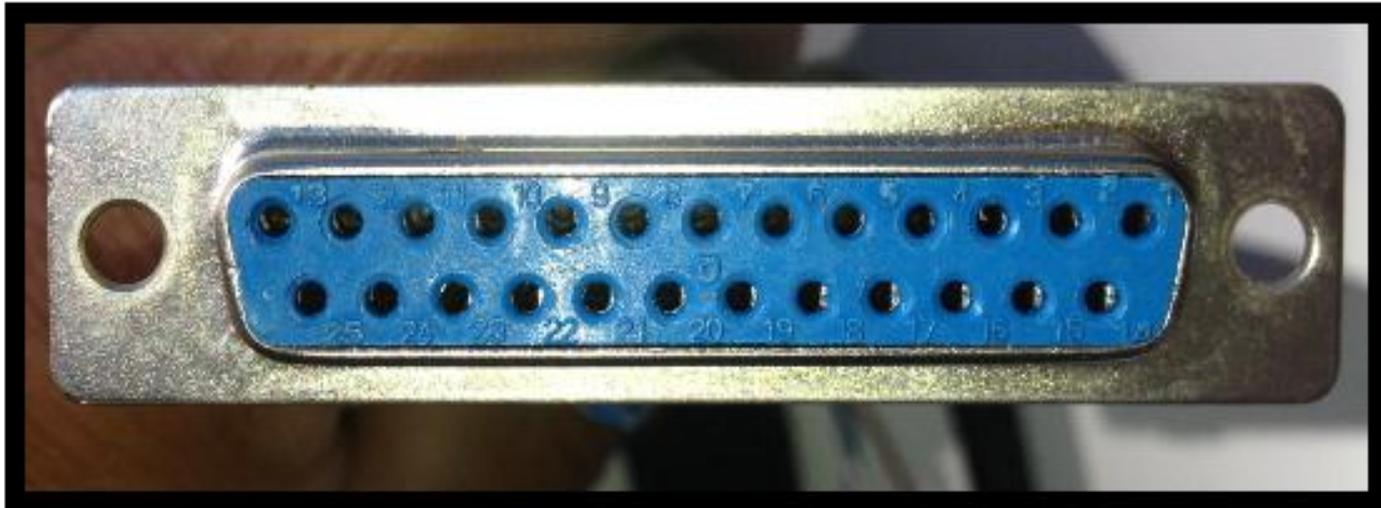
Se instala la pantalla de cristal líquido y el selector en el panel de instrumentos del vehículo.



## Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas salen de cada uno de los componentes eléctricos del sistema hacia el conector DB25 hembra.

Desconectar la batería del vehículo antes de hacer cualquier conexión.



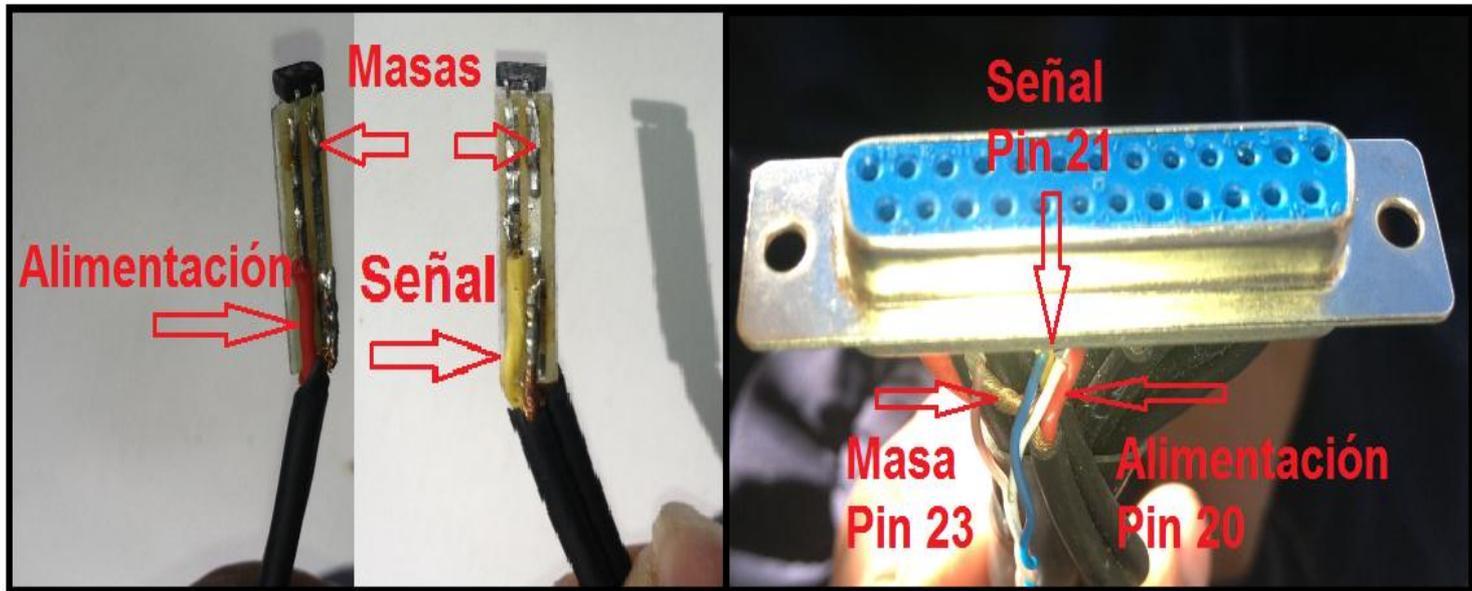
## Conexión de corriente positiva

Se realiza mediante un cable de color rojo identificado como corriente positiva, el mismo que va conectado desde la salida de corriente de encendido del vehículo hacia el pin número 12 del conector DB25 hembra.



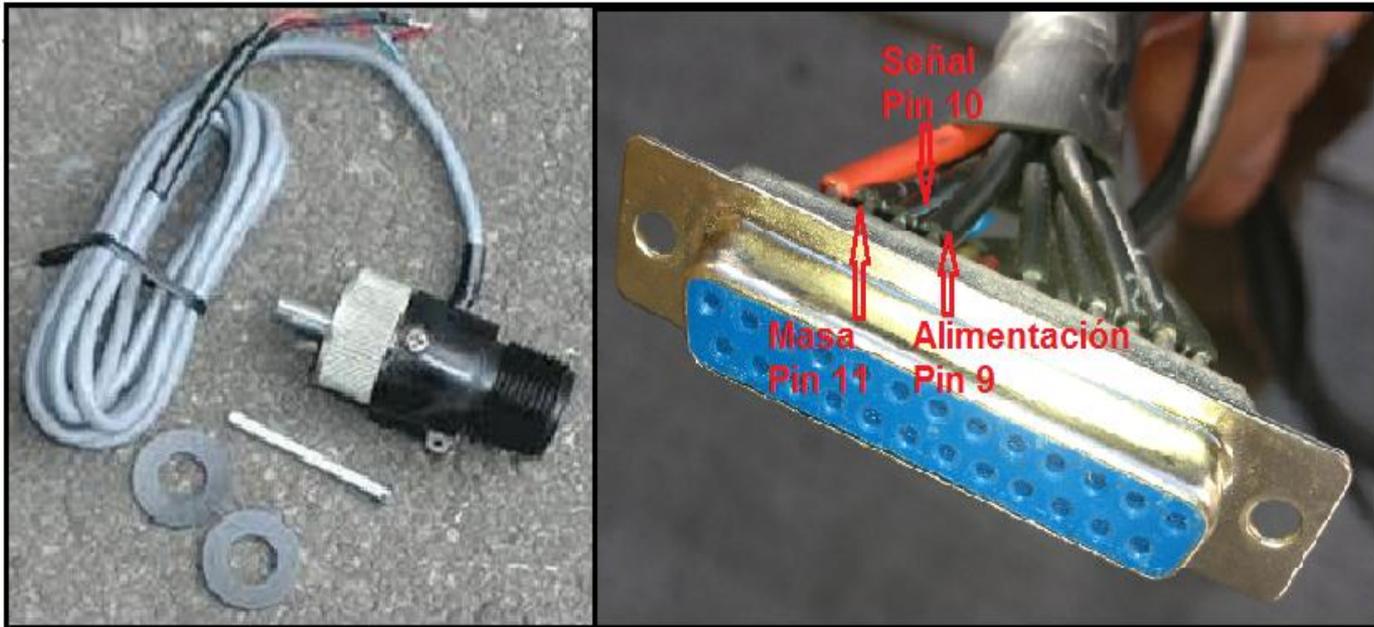
## Conexión del sensor óptico

Se conecta desde los cables de alimentación, señal y masa del sensor óptico hacia el conector DB25 hembra número 20, 21, 23 respectivamente.



## Conexión del sensor de velocidad

Se conecta desde los cables de alimentación, señal y masa del sensor de efecto hall hacia el conector DB25 hembra número 9, 10, 11 respectivamente.



## Conexión del interruptor para el pedal del acelerador

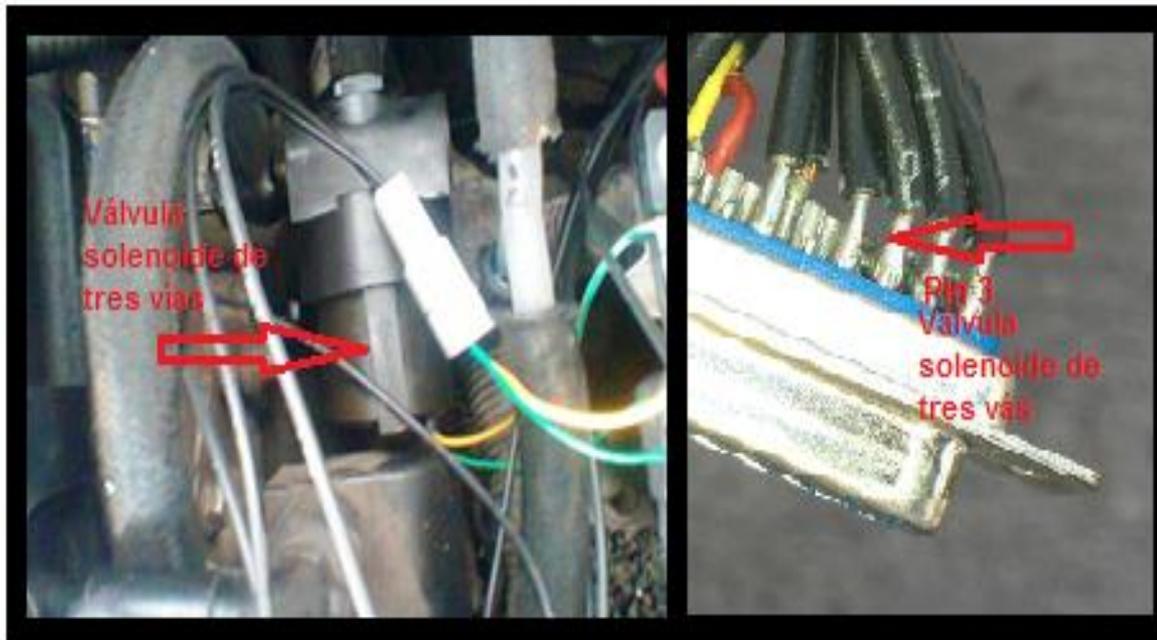
Se conecta desde los cables común y normalmente cerrado del interruptor de aceleración hacia los pines 6 y 18 del conector DB25 hembra.



## Conexión de la válvula solenoide EV3

Posee dos cables de color verde y amarillo, el primero se conecta al pin 3 del conector DB25 hembra y el otro a masa directa de la batería.

En esta conexión no importa la polaridad porque es un solenoide y estos no tienen polaridad.



## Conexión de la electroválvula EV1

Dispone de dos cables de color amarillo y café, el primero se conecta al pin 2 del conector DB25 hembra y el otro a masa directa de la batería.

En esta conexión no importa la polaridad porque es una electroválvula y estos no tienen polaridad.

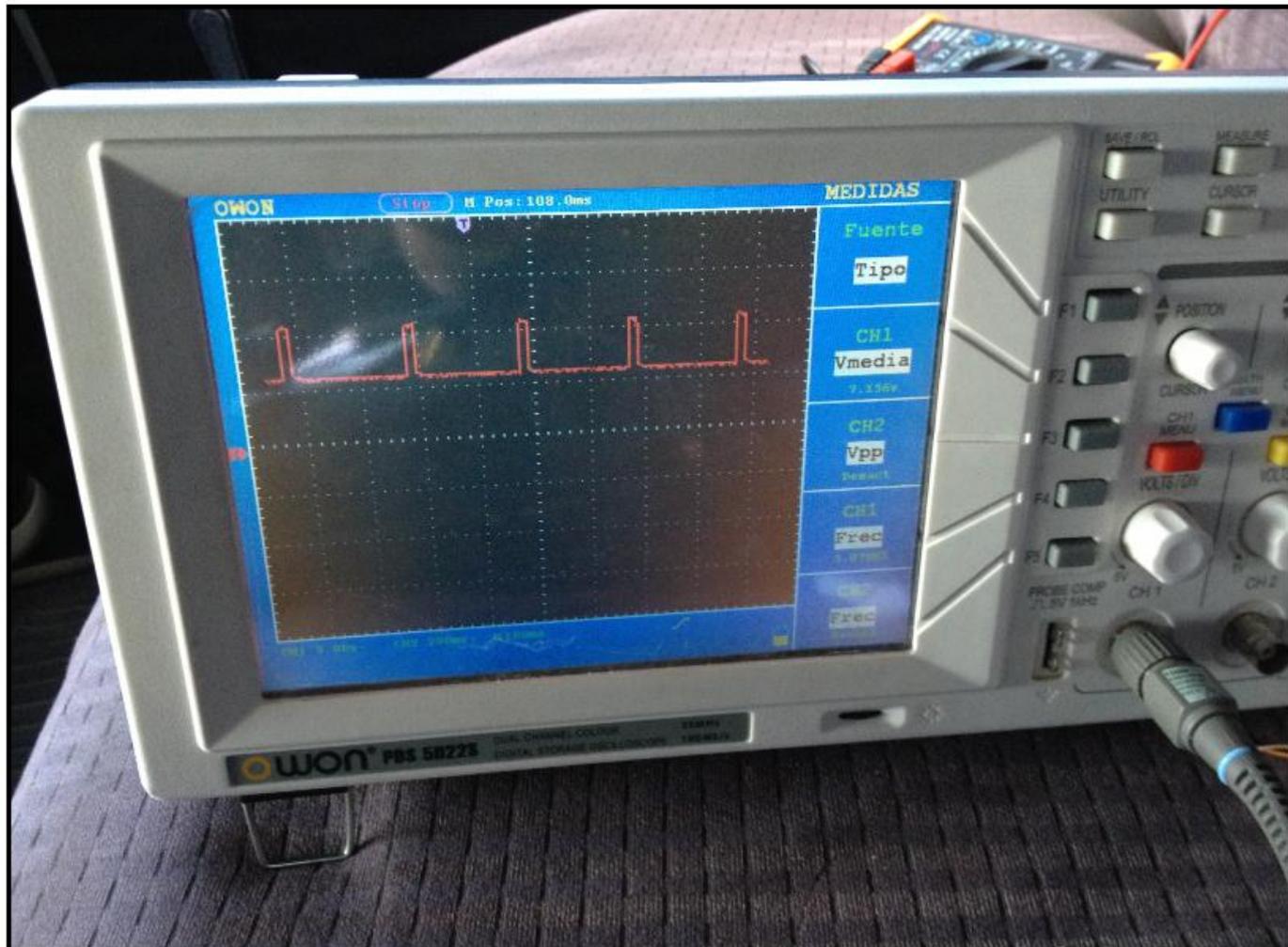


## Conexión de masas

Las conexiones de masas de los dispositivos eléctricos tienen que ser conectados al borne negativo directo de la batería y estos tienen que ir protegidos dentro de un espagueti.

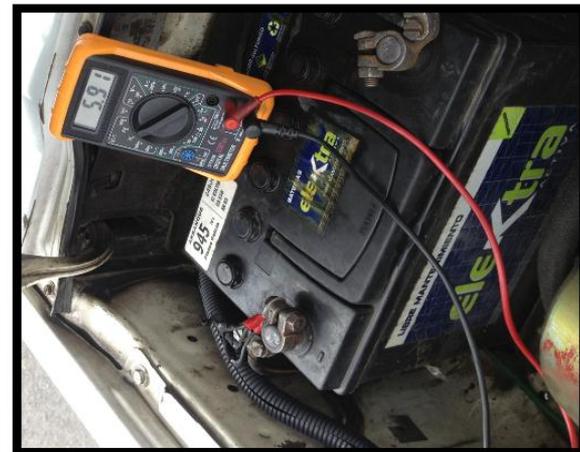
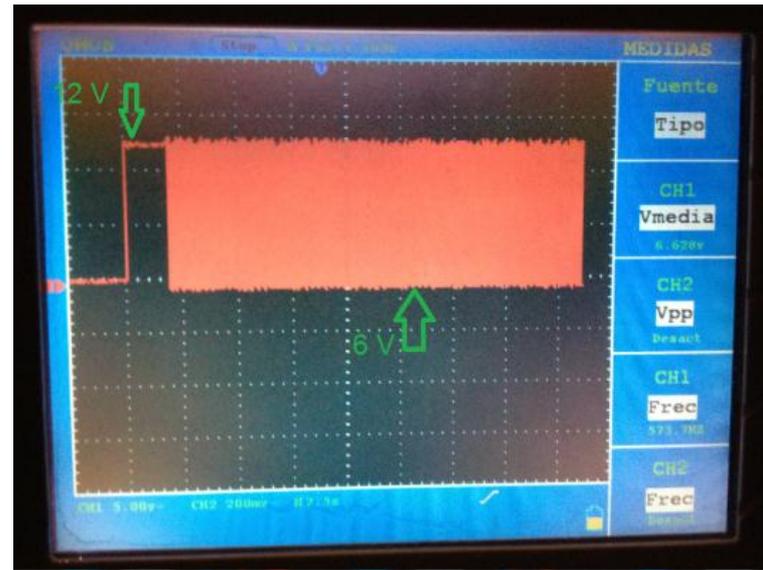


# Medición de los componentes eléctricos del sistema



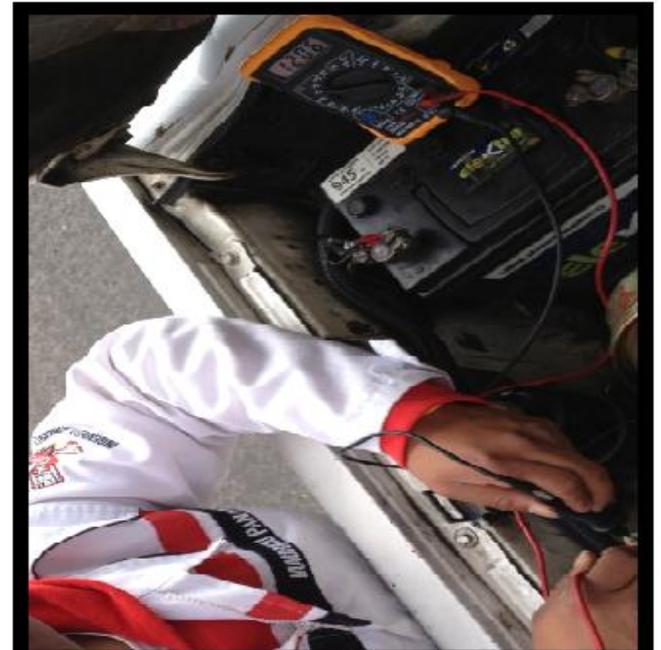
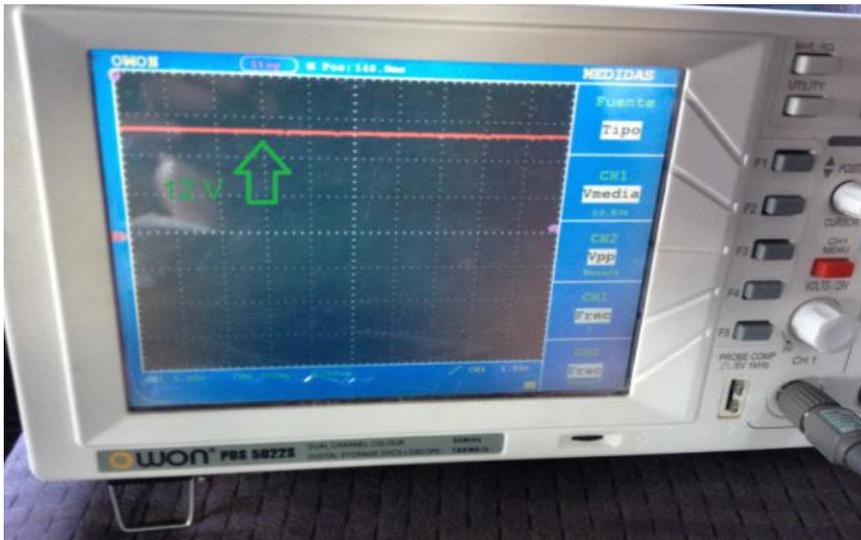
## Tensión de la válvula de solenoide EV3

La tensión de alimentación de la electroválvula EV3 es de aproximadamente 12V y después de 1.8 segundos la tensión se reduce a 6V, esto es para evitar el sobrecalentamiento del mismo.



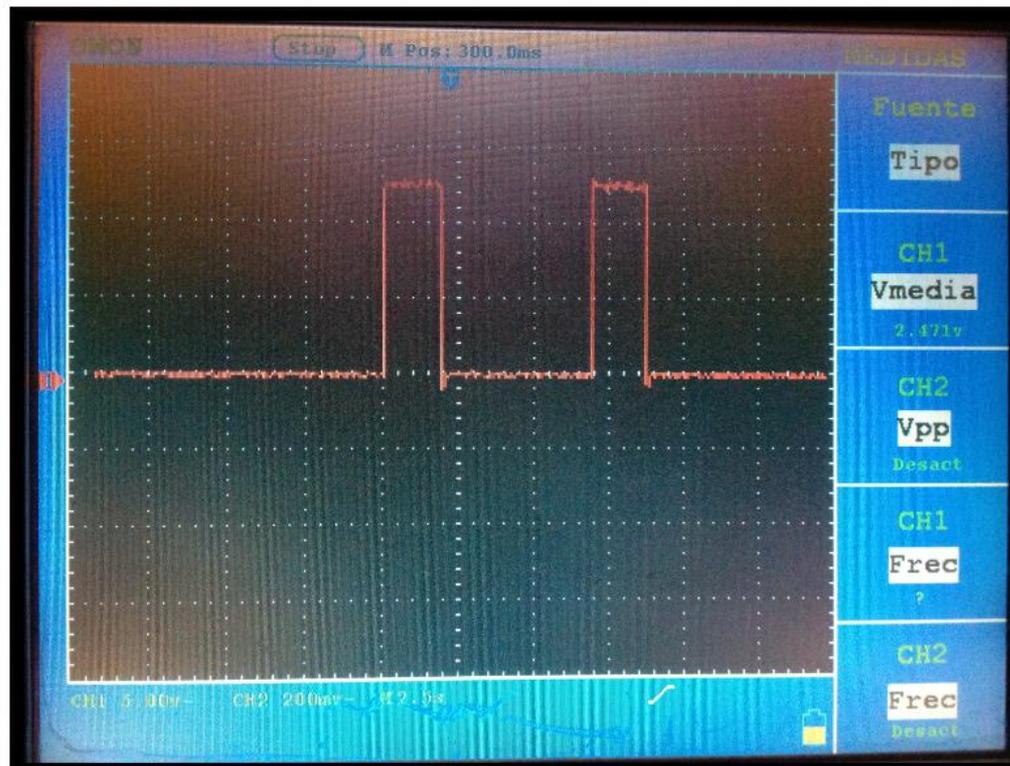
## Tensión de alimentación de la válvula de solenoide EV1

La tensión de alimentación de esta válvula solenoide es de aproximadamente 12v constante.



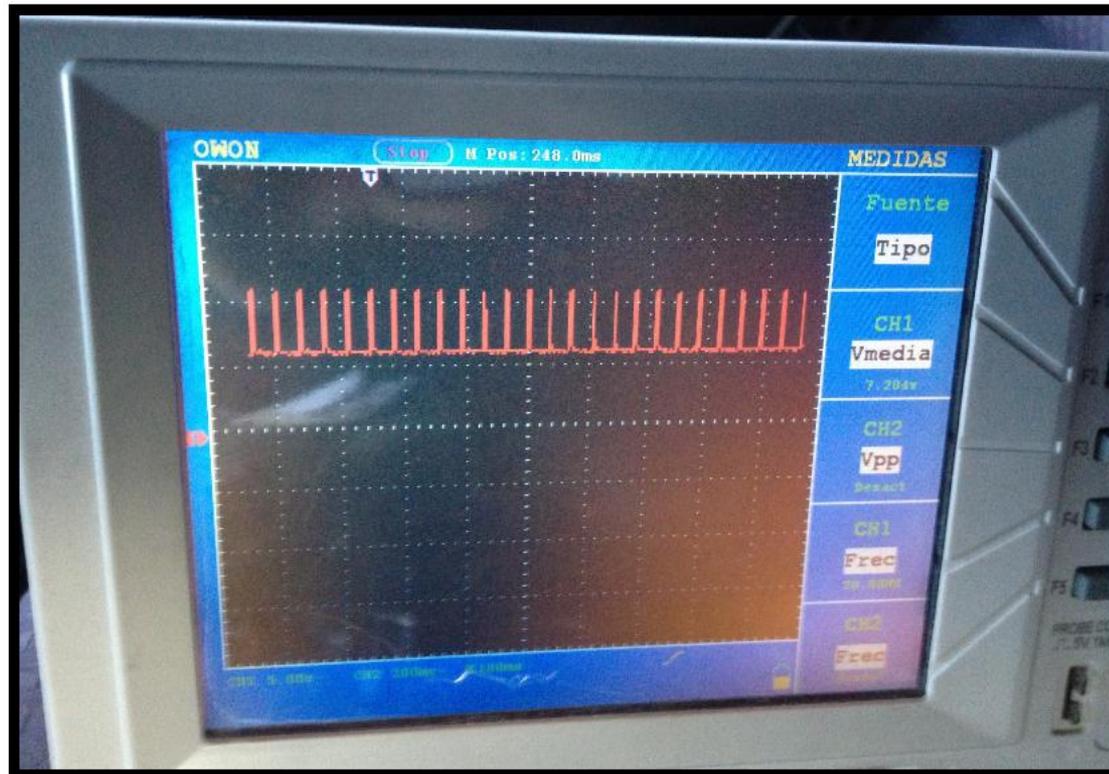
# Oscilograma del sensor de la palanca de cambios

El sensor óptico cumple la función de enviar señales eléctricas al módulo electrónico para activar el pedal de embrague.



## Oscilograma del sensor de velocidad

El sensor de efecto hall envía pulsos instantáneos al módulo electrónico cuando el vehículo está en movimiento.



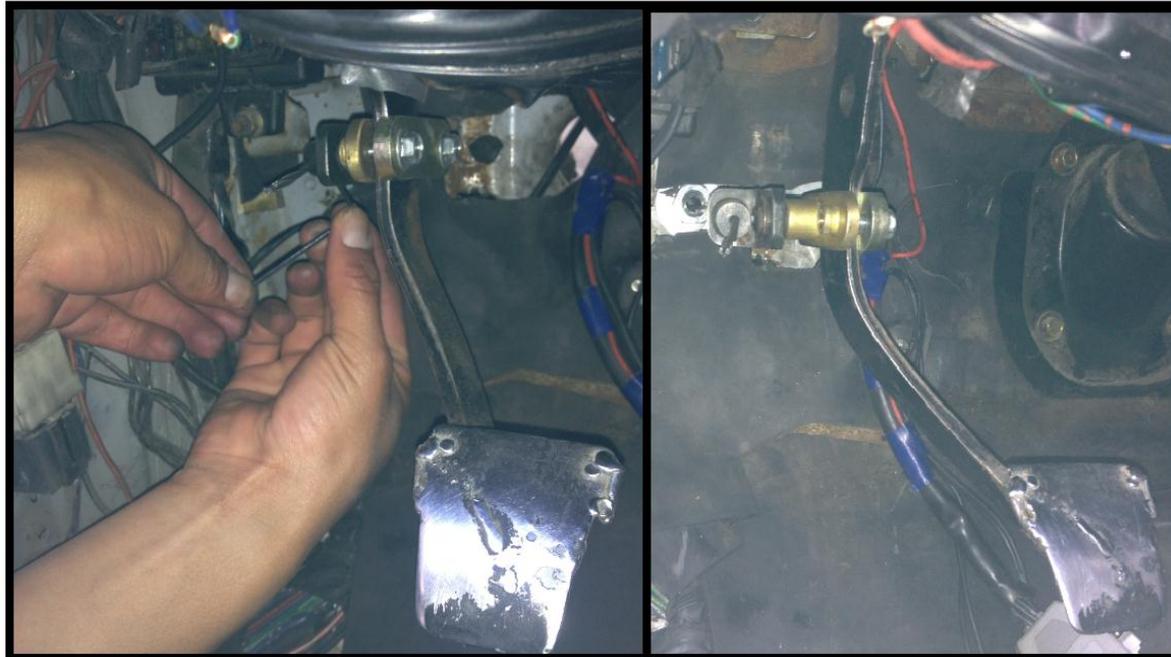
## AJUSTES DEL SISTEMA

Todos los ajustes se los realizó después del montaje de los componentes en sus respectivos lugares y posiciones.



## Ajuste del cable del pedal de embrague

Se realiza con el módulo encendido y presionando el pedal del embrague hasta cuando la primera marcha ingrese fácilmente; después tensionar el cable de acero y ajustar los prisioneros junto con las tuercas de seguridad.



## Ajuste del re-acoplamiento del pedal de embrague

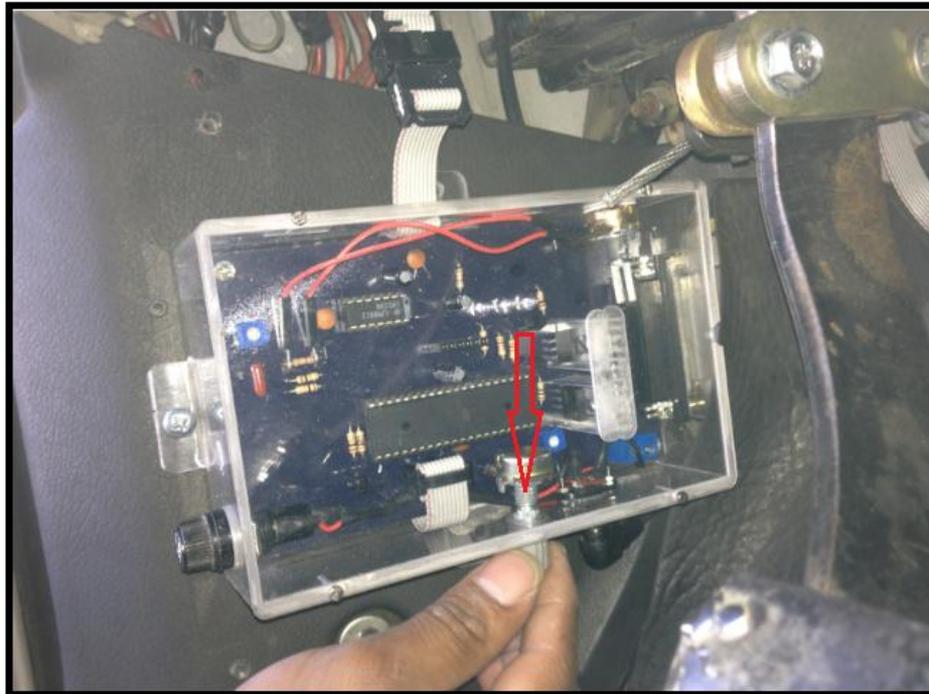
Si el re-acoplamiento es demasiado rápido cuando sobrepasa los 25 Km/h, se ajusta el tornillo de liberación de la electroválvula EV1 a la derecha para disminuir la entrada de aire y a la izquierda para aumentar.



## Ajuste de la velocidad de registro del embrague

Se gira el potenciómetro del módulo electrónico a la derecha para aumentar la velocidad de registro y en sentido contrario para reducir.

El rango es de 15 a 30 Km/m.



# CONCLUSIONES

- La automatización del accionamiento del embrague en el vehículo Mitsubishi modelo Montero 1995, utilizando elementos electromecánicos para la activación del pedal y controlados por un microcontrolador, es una aplicación práctica de los conocimientos recibidos a lo largo de la carrera de Ingeniería Automotriz, pues en el presente proyecto se han conjugado aplicaciones eléctricas, electrónicas y mecánicas para lograr un diseño y posterior materialización de un mecanismo eficaz y efectivo.

- El módulo electrónico para automatizar el accionamiento del embrague fue construido para brindar confort y seguridad en la conducción de vehículos, además ofrece una mejora considerable en las prestaciones y manejo del cambio de marcha en un embrague convencional.

- La batería del vehículo almacena una corriente de 80 Amperios/hora y el consumo de la electroválvula de tres vías es de 1 Amperio durante 1.8 segundos pasado este tiempo su consumo baja a 0.5 Amperios junto a la válvula solenoide de una vía que consume 1 Amperio cuando entran en funcionamiento. La corriente proporcionada es suficiente para el módulo y para el vehículo, por lo que no se presentaron errores en el control por bajos niveles de voltaje y corriente.

- En función de la velocidad del vehículo y la posición del acelerador, el módulo electrónico determina el tiempo más oportuno de embragado o desembragado según la necesidad del vehículo sin preocupación del conductor.

- Se implementó un visor de datos para apreciar la velocidad del vehículo, velocidad de registro de embrague y el estado de las electroválvulas junto con un selector que activa el sistema o permite trabajar en la manera convencional logrando desactivar los elementos eléctricos y electrónicos del sistema para evitar el consumo de corrientes innecesarias.

Mediante este proyecto se puede brindar una alternativa al alcance de todas las personas porque es posible adaptar en cualquier tipo de vehículo.

# RECOMENDACIONES

- Establecer un cronograma de actividades que permita llegar al objetivo propuesto porque en la fase de pruebas se presentan problemas electrónicos y mecánicos.

- Realizar diagramas de flujos para la lógica de programación del microcontrolador, esto ayudará a una mejor comprensión y a optimizar tiempo.

- Cerciorarse mediante cálculos de fuerza para la correcta elección del actuador que moverá el pedal del embrague.

- Durante la fase de pruebas en el vehículo procurar soldar todas las conexiones eléctricas realizadas para evitar que las uniones se oxiden y provoquen cortocircuitos.

- Antes de energizar el sistema de accionamiento automático de embrague en el vehículo revisar minuciosamente toda la instalación eléctrica para evitar daños de los elementos eléctricos y electrónicos.

- En la instalación del sistema evitar que haya interferencia por el cableado original de vehículo, esto se logra mediante el uso espaguetis térmicos.

# BIBLIOGRAFÍA

- ÁNGULO, José María: Diseño práctico de aplicaciones de microcontroladores, 2003, España, McGraw-Hill.
- CASTRO. Miguel V.: EL Motor de gasolina, 1989, España, Editorial CEAC SA.
- CROUSE, William H.: Equipo eléctrico y electrónico del automóvil, 1992, México, Alfa omega.
- DOMINGUEZ, Esteban José: Sistemas de transmisión y frenado, 2008, Madrid, Editex S.A
- SHIGLEY, Joseph E.: Diseño en Ingeniería Mecánica, 1990, México, Editorial Mc GRAW HILL.