

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio, diseño e implementación del embrague y sistema de cambio de un monoplaza para la competición de Formula Student.

Autor: Francisco Javier Castaño Fuentes

Tutor: Sergio Vázquez Pérez.

**Departamento Ingeniería Electrónica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2017





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

**Estudio, diseño e implementación del embrague y  
sistema de cambio de un monoplace para la  
competición de Formula Student.**

Autor:

Francisco Javier Castaño Fuentes

Tutor:

Sergio Vázquez Pérez

Departamento Ingeniería Electrónica.  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2017



# Agradecimientos

---

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todo el equipo ARUS por hacerme formar parte del este fantástico proyecto, en especial a los 8 componentes del departamento de Electrónica y en concreto a D. Francisco Gamero Gómez, el cual me ha ayudado en los momentos más difíciles y con el que he aprendido muchísimos conceptos y habilidades.

Agradecer a D. Sergio Vázquez Pérez por aceptar tan amablemente ser mi tutor, y ayudarme en todo lo necesario para poder completar este proyecto satisfactoriamente.

Hacer mención a mis hermanos, D<sup>a</sup>. Cristina Castaño Fuentes, D. Alejandro Castaño Fuentes y D<sup>a</sup>. Mariángeles Castaño Fuentes, los cuales se han preocupado día a día por como marchaba el proyecto en todo momento; a mi madre D<sup>a</sup>. Mariángeles Fuentes León por ese empuje constante y esa fuerza para poder finalizar todos estos años de estudio y a mi difunto padre D. Alejandro Castaño Vázquez que comenzó tan ilusionado como yo este emocionante proyecto pero no ha podido verlo finalizado.

Por último agradecer a todos mis compañeros de clase y a totalidad del resto de mi familia por mostrarme, cada uno a su manera, su total apoyo.

Un agradecimiento singular y sincero a todos.



## Abstract

---

El desarrollo completo del sistema de embragado y cambios de marcha de un monoplaça para dicha competición es complejo y abarca ámbitos de ingeniería como electrónica, automática, mecánica, diseño y eléctrica. Requiere un buen estudio teórico de todos los elementos del sistema en cuestión acompañado de una buena programación del mismo y un amplio testeo de todos los elementos que lo componen. Son muchas las cuestiones a resolver hasta conseguir una integración de toda esta ingeniería dentro de un sistema funcional y operativo.

Es necesario saber utilizar “CATIA” para el diseño de las diferentes piezas del monoplaça, “AUTOCAD” para hacer planos de las piezas mecanizadas y como consecuencia tener una buena fabricación. Para el diseño y simulación de la placa electrónica se ha utilizado por primera vez “PROTEUS” y para la programación “CODE COMPOSER STUDIO”.

El sistema en cuestión es uno de los pocos sistemas críticos del monoplaça y su no funcionalidad puede destrozar el trabajo de 70 estudiantes que han dedicado mucho esfuerzo, por lo que la fiabilidad va a ser uno de los principales pilares. La motivación, el esfuerzo y la constancia por llegar a esta meta van a ser el día a día de este proyecto.

Seguro que habrá complicaciones y obstáculos que se tendrán que superar, pero con el apoyo de otros compañeros, la confianza en uno mismo y el poder del ingeniero para superar diferentes problemáticas se llegará al éxito.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Índice</b> .....	<b>5</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>7</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Configuración y actuadores del sistema</b> .....	<b>11</b>
2.1. Configuración del volante.....	11
2.2. Actuador del embrague.....	13
2.3. Filtro del ruido para el actuador del embrague.....	15
2.4. Mecanismo del acoplamiento del embrague. ....	16
2.4.1 Opción A: Paralelogramo articulado.....	16
2.4.2 Opción B: Mecanismo Manivela-Balancín. ....	17
2.5. Diseño del acoplamiento del embrague.....	18
2.5.1 Sujeción del servomotor.....	18
2.5.2 Manivela.....	19
2.5.3 Biela.....	21
2.5.4 Balancín.....	23
2.5.5 Resultado final .....	23
2.6. Actuador del cambio de marchas .....	24
2.6.1 Elección del actuador .....	24
2.6.2 Características del actuador.....	25
2.6.3 Configuración eléctrica .....	25
2.6.4 Acoplamiento.....	26
<b>3 Estudio y diseño de la placa electrónica</b> .....	<b>28</b>
3.1. Introducción.....	28
3.2. Esquemático.....	28
3.2.1 Placa electrónica general.....	28
3.2.1.1 Microcontrolador .....	29
3.2.1.2 Conectores.....	32
3.2.1.3 Resistencias Pull-Down y Pull-Up .....	33
3.2.1.4 Portafusible. ....	34
3.2.1.5 Traco Power. ....	35
3.2.1.6 Celdas de potencia. ....	36
3.2.1.7 Can Bus. ....	38
3.2.2 Placa Electrónica simple para el Buffer Schmitt-Trigger .....	41
3.3. Simulaciones.....	42



3.4. Circuito impreso, PCB .....	44
<b>3.4.1</b> .....	46
3.4.1.1 Encapsulados y Pads.....	46
3.4.1.2 Pistas o tracks.....	47
3.4.1.3 Perforaciones metalizadas.....	48
3.4.1.4 Resultado final.....	49
3.4.2 Circuito impreso, PCB, de la placa electrónica simple para el Buffer Schmitt-Trigger.....	51
<b>4 Testeo del Sistema .....</b>	<b>52</b>
4.1. Montaje y Testeo de la placa electrónica.....	52
4.2. Testeo del Servomotor.....	55
4.3. Testeo del FlatShifter Max Paddel.....	56
<b>5 Fabricación y montaje.....</b>	<b>57</b>
5.1. Cableado .....	57
5.2. Fabricación del acoplamiento del embrague.....	58
5.3. Montaje del resto del sistema .....	61
<b>6 Programación del sistema y conclusión .....</b>	<b>63</b>
6.1. Introducción.....	63
6.2. Diagrama de bloques.....	63
6.3. Conclusiones.....	65
<b>Referencias.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 3 .....</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 4 .....</b>	<b>70</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

<i>Tabla 1. Principales características del Servomotor</i>	13
<i>Tabla 2. Longitudes mecanismo final manivela-balancín.</i>	17
<i>Tabla 3. Características principales MSP430G2553</i>	30
<i>Tabla 4. Capas de la PCB de la placa electrónica general del sistema</i>	44
<i>Tabla 5. Componentes del circuito impreso de la placa general del sistema</i>	45
<i>Tabla 6. Checklist del testado de la placa electrónica</i>	54
<i>Tabla 7. Incidencias encontradas en la checklist</i>	54
<i>Tabla 8. Cableado del sistema del embrague en el monoplaza.</i>	57



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1. Configuración de las levas del volante.</i>	11
<i>Figura 2. Configuración leva de arranque.</i>	12
<i>Figura 3. Actuador del embrague (Servomotor).</i>	14
<i>Figura 4. Mecanismo de 4 barra: Paralelogramo articulado.</i>	16
<i>Figura 5. Mecanismo de 4 barras: Manivela-Balancín.</i>	17
<i>Figura 6. Servomotor en Catia, con sus dos aletas laterales para la correcta sujeción.</i>	18
<i>Figura 7. Placas para la cogida del Servomotor al Chasis</i>	18
<i>Figura 8. Manivela del mecanismo de 4 barras.</i>	19
<i>Figura 9. Cilindro para corregir altura entre servomotor y embrague.</i>	19
<i>Figura 10. Unión del Servomotor, sus cogidas y la manivela.</i>	20
<i>Figura 11. Parte de la biela del mecanismo de 4 barras.</i>	21
<i>Figura 12. Rod-End de la biela del mecanismo de 4 barras.</i>	21
<i>Figura 13. Unión del Servo, sus cogidas, manivela y biela.</i>	22
<i>Figura 14. Barra balancín, en nuestro caso la leva del embrague que trae de serie el motor.</i>	23
<i>Figura 15. Resultado final del mecanismo de 4 barras.</i>	23
<i>Figura 16. Actuador del cambio de marchas, FlatShifter Max.</i>	24
<i>Figura 17. Configuración mecánica FlatShifter Max, Conexión biela-palanca.</i>	26
<i>Figura 18. Configuración mecánica FlatShifter Max, Angulo biela-pivote.</i>	26
<i>Figura 19. Configuración mecánica FlatShifter Max, Alineación correcta.</i>	27
<i>Figura 20. Posición en Catia del FlatShifter Max Paddel.</i>	27
<i>Figura 21. Esquemático completo de la placa electrónica general del sistema.</i>	29
<i>Figura 22. Microcontrolador MSP430G2553</i>	29
<i>Figura 23. Configuración pines Microcontrolador MSP430G2553</i>	31
<i>Figura 24. Conectores Placa Electrónica.</i>	32
<i>Figura 25. Resistencias Pull-Down de los pulsadores correspondientes</i>	33
<i>Figura 26. Portafusible.</i>	34
<i>Figura 27. Configuración pines Traco Power</i>	35
<i>Figura 28. Configuración celda de potencia para bajar de marcha</i>	37
<i>Figura 29. Configuración celda de potencia del corte de chispa</i>	37
<i>Figura 30. Can Bus, MCP2515.</i>	39
<i>Figura 31. Can Bus, MCP2551.</i>	39
<i>Figura 32. Can Bus, Jumpers</i>	40
<i>Figura 33. Placa electrónica simple, Buffer Schmitt Trigger.</i>	41





<i>Figura 34. Simulación celda de potencia para LOW.</i>	42
<i>Figura 35. Simulación celda de potencia HIGH</i>	43
<i>Figura 36. Ejemplo pad y encapsulado Through hole, Mosfet IRF 4905</i>	46
<i>Figura 37. Ejemplo pad y encapsulado SMD, Traco Power THL 6</i>	46
<i>Figura 38. Huella del portafusible a la izquierda y del Traco power a la derecha.</i>	47
<i>Figura 39. Pistas entre diferentes componentes de la placa electrónica general del sistema.</i>	47
<i>Figura 40. Perforación metalizada 1 atravesando la PCB.</i>	48
<i>Figura 41. Perforación metalizada 2 atravesando la PCB.</i>	48
<i>Figura 42. PCB final de la placa electrónica general del sistema</i>	49
<i>Figura 43. Resultado final de la parte superior de la placa electrónica.</i>	50
<i>Figura 44. Resultado final de la parte inferior de la placa electrónica.</i>	50
<i>Figura 45. Huella del Buffer Schmitt-Trigger.</i>	51
<i>Figura 46. PCB de la placa electrónica simple del Buffer Schmitt-Trigger.</i>	51
<i>Figura 47. Simulación en 3D de la placa electrónica básica del Buffer Schmitt-Trigger.</i>	51
<i>Figura 48. Prueba A. Test velocidad servomotor</i>	55
<i>Figura 49. Prueba B. Test velocidad servomotor.</i>	56
<i>Figura 50. Piezas reales fabricadas.</i>	58
<i>Figura 51. Peso de las piezas fabricadas.</i>	59
<i>Figura 52. Acoplamiento del embrague real.</i>	60
<i>Figura 53. Vista lateral derecha de la locación de los principales elementos del sistema del embrague.</i>	61
<i>Figura 54. Vista desde arriba de la locación de los principales elementos del sistema del embrague.</i>	62
<i>Figura 55. Vista lateral izquierda de la locación de los principales elementos del sistema del embrague.</i>	62
<i>Figura 56. Diagrama de bloques de la programación.</i>	64



# 1 INTRODUCCIÓN

---

**F**ormula Student , también conocida como Formula SAE, es una competición entre estudiantes de diferentes universidades de todo el mundo, en la cual los diferentes equipos se encargan de diseñar, implementar y construir un monoplaça de competición. Dicha competición promueve y motiva a los estudiantes en ingeniería a hacer un buen proyecto con el que disfrutar y aprender.

El objeto de la competición es simular una situación real en la cual una empresa de competición contrata a estos ingenieros para desarrollar un prototipo. Los compradores hipotéticos serían corredores amateur. El coche debe por ello satisfacer unas prestaciones elevadas en aceleración, frenada, y estabilidad, pero también debe ser fácil de mantener, barato y fiable. Otros factores como la estética y el confort se valoran igualmente. El precio máximo para el vehículo es de 21.000 euros y la victoria es para el equipo que mejor logre superar todos estos requisitos.

Actualmente se celebran competiciones en numerosos países como Alemania, España, Austria, Brasil, Australia, etc. Todas ellas utilizan la misma normativa base original de la Fórmula SAE y llegan a albergar hasta 120 equipos y más de 2.000 estudiantes. Los resultados de las competiciones son recogidos y puntúan en el ranking mundial.

Tras una exhaustiva entrevista, el equipo ARUS acepto la solicitud de colaborar con ellos en el ART-17 y poder hacer este proyecto. ARUS, Andalucía Racing Universidad de Sevilla, comenzó a participar en esta competición en 2014, siendo el primer equipo Andaluz. Actualmente es un equipo muy bien estructurado en departamentos y con estudiantes con mucha experiencia y muy buenos conocimientos.

El reto del equipo este año es crear un monoplaça de combustión que supere todas la pruebas (el próximo año también se creará un monoplaça eléctrico) y mi responsabilidad, dentro del departamento de Electrónica, consiste en diseñar e implementar el sistema del embrague y de cambios de marchas.

Así pues, el grosor del trabajo consiste en crear una placa electrónica que cumpla con los requisitos exigidos. La función que corresponde debe hacerse lo más rápido y eficazmente posible y para ello la placa electrónica debe de estar bien programada para que tanto el actuador del embrague como el actuador del cambio de marchas estén perfectamente coordinados. Aclarar que el trabajo no conlleva tocar nada del motor, para eso existe otro departamento

La primera etapa del proyecto consiste en el estudio teórico, en la cual hay que ver las diferentes alterativas y el enfoque que va a tener el sistema. La segunda etapa consiste en la fabricación y el testeo, donde hay que aplicar todo los conceptos teóricos estudiados anteriormente y reflejarlos en resultados positivos. Finalmente la última etapa es el montaje definitivo y la puesta a punto final del sistema.

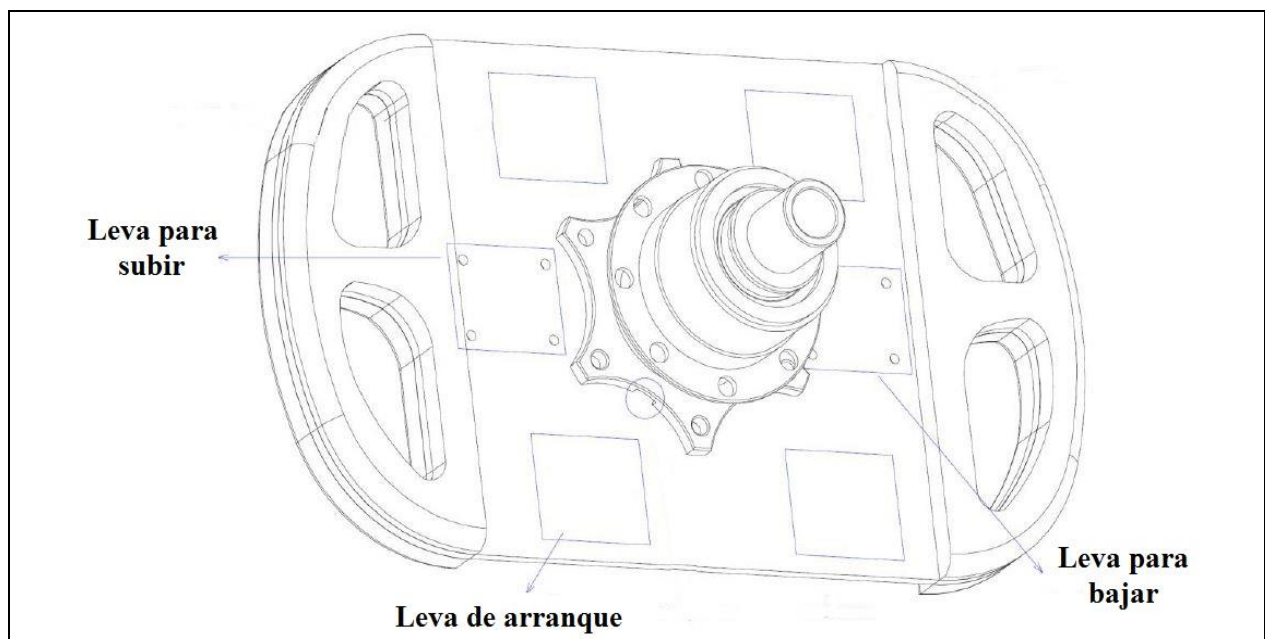
## 2 CONFIGURACIÓN Y ACTUADORES DEL SISTEMA

La primera etapa del proyecto consiste en el estudio teórico del sistema. Hay que analizar el abanico de opciones que lleve al mejor resultado, teniendo siempre en cuenta que el presupuesto del equipo es bastante bajo. Se exige el mayor rendimiento para el sistema: rapidez, eficacia y seguridad, a la misma vez que un precio y un peso lo más reducido posible.

Se parte de la base de que el sistema va a ser controlado de forma **semiautomática**, es decir, los cambios de marchas de realizaran presionando diferentes levas en el volante, evitando tener que embragar de forma manual como actualmente lo hacen la mayoría de los coches convencionales.

### 2.1. Configuración del volante

En el volante del monoplaza habrá tres levas: dos de ellas serán los pulsadores para subir y bajar de marchas según el piloto estime necesario, y la tercera, será un potenciómetro, mapeado entre el valor máximo y mínimo de embragado, para controlar la posición exacta del embrague, especialmente útil para la salida del monoplaza (leva de arranque). La configuración se puede ver en la figura 1, en la cual se muestra la parte trasera del volante.



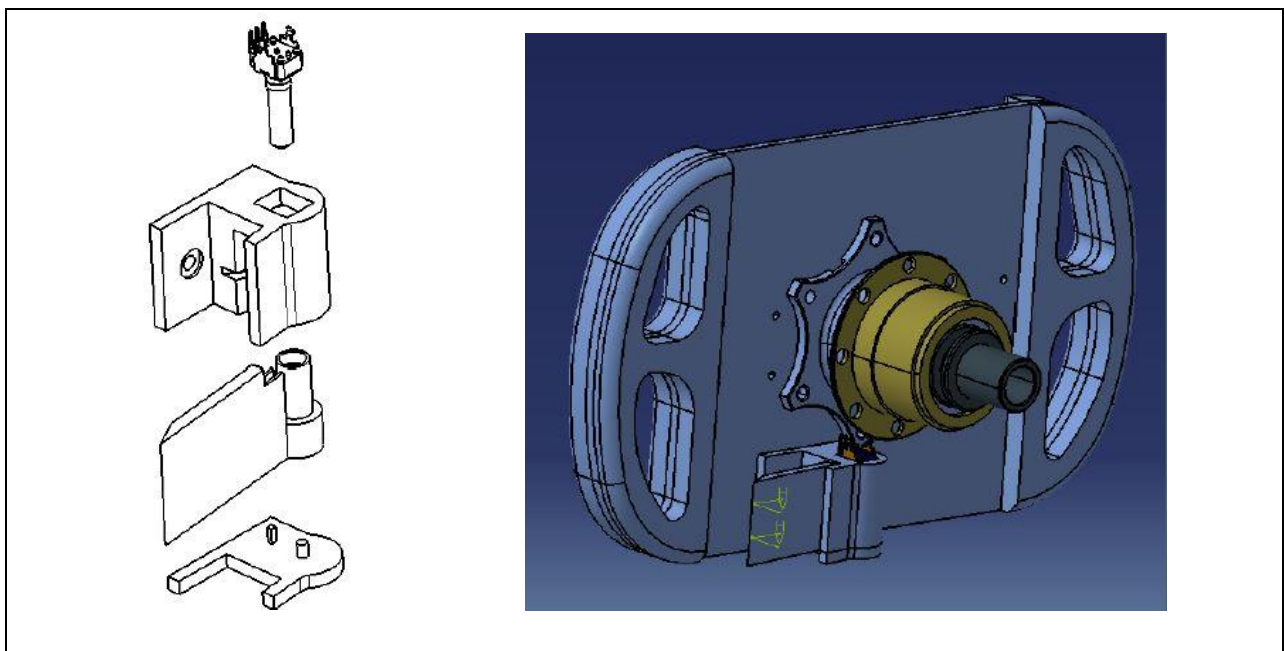
*Figura 1. Configuración de las levas del volante.*



La colocación en el lado derecho de la **leva de arranque** se debe a que tras poner el vehículo en movimiento (mano derecha) hay que meter primera (mano izquierda), ya que el arranque se hace en punto muerto que se encuentra entre la primera y segunda marcha.

Tanto la **leva de subir** como la **de bajar** son pulsadores puramente digitales por lo que su funcionamiento es relativamente simple.

Respecto a la **leva de arranque**, su funcionamiento es más complejo, ya que es necesario conocer en cada momento su posición, además de que se efectúe el retorno a la posición inicial por sí misma y se mantenga hasta que el piloto vuelva a accionarla. Para ello se ha utilizado un potenciómetro que se comporta como un divisor de tensión o voltaje. El mecanismo utilizado se puede ver en las Figura 2.



*Figura 2. Configuración leva de arranque.*



## 2.2. Actuador del embrague

Por primera vez el actuador utilizado va a ser un **servomotor**, cambiando radicalmente con los actuadores utilizados en los años anteriores. Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

Los requisitos exigidos eran precio asequible, máxima velocidad y un alto torque (par motor). Tras un amplio estudio del mercado se llegó a la conclusión de obtener un servomotor de gama media-alta.

Entrando en detalles numéricos se debía de cumplir las siguientes características:

- El monoplaza tiene una batería que proporciona entre **12V y 13V**, por lo que el servomotor debe estar en dicho rango.
- El par resistente que ofrece el embrague es aproximadamente de **100 kg · cm**.
- La velocidad de un embragado completo debe ser **como mínimo** de 150 ms
- El consumo debe ser **moderado** ya que los cambios de marchas van a ser constantes y la batería es limitada.

Tras satisfacer todas las necesidades se decidió comprar el modelo HS-1005SGT (Hitec) que destacaba principalmente por su gran torque, ver figura 3. Entre sus principales características destaca:

Principales características del Servomotor		
Peso	310	g
Rango Voltaje	11.1 - 14.8	V
Velocidad sin carga 11.1V	0.26	seg/60°
Velocidad sin carga 14.8V	0.19	seg/60°
Torque 11.1V	84	kg · cm
Torque 14.8 V	110	kg · cm
Consumo inactivo	0.1	A · h
Consumo sin carga	1.3	A · h
Consumo carga máxima	6.1	A · h

*Tabla 1. Principales características del Servomotor*



El actuador elegido, HS-1005SGT (Hitec), se puede observar en la figura 3.



*Figura 3. Actuador del embrague (Servomotor).*

El funcionamiento de dicho actuador es relativamente simple. Posee 5 cables de conexión:

- Cable rojo grueso: conexión al positivo de la alimentación, es decir, batería de 12V.
- Cable negro grueso: conexión al negativo de la alimentación, “tierra” de la batería.
- Cable amarillo delgado: conexión por la que se envía la señal de control del Servomotor.
- Cable negro delgado: conexión para la alimentación de la señal, máximo 5V.
- Cable rojo delgado: conexión para la “tierra” de la señal.

El control del servomotor se hace por medio de modulación de pulsos eléctricos (señal PWM), es decir, el sistema de control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

Por último decir que todo servo tiene su límite angular, en nuestro caso es de 135° y cuando llega a dicho límite emite una especie de zumbido como aviso.



### 2.3. Filtro del ruido para el actuador del embrague.

Los Servomotores se controlan por señal PWM, es decir, modulación por ancho de pulsos, cuyo principal problema es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Su posición será muy cerca del motor del coche pudiéndose generar las interferencias (ruido) anteriormente mencionadas. Las consecuencias de esta posibilidad pueden ser desastrosas por lo que se tuvo que tomar medidas al respecto:

1. En el cableado final la señal PWM irá trenzada junto a su referencia, es decir, su tierra. De este modo se evitaban los problemas de **modo común**.
2. Dicho cable también estará **apantallado o blindado**, es decir, recubierto por una malla o un tubo metálico, que actúa de jaula de Faraday para evitar el acople de ruidos y otras interferencias, tanto del entorno hacia el cable, como del cable al entorno.
3. La última medida es reconstruir la señal en destino con un **Buffer Schmitt-Trigger**. Este usa la histéresis para prevenir el ruido que podría tapar a la señal original y que causaría falsos cambios de estado si los niveles de referencia y entrada son parecidos. Se colocará muy próximo a la entrada del Servomotor. Su tamaño y peso son muy reducidos, por lo que no será ningún inconveniente.

## 2.4. Mecanismo del acoplamiento del embrague.

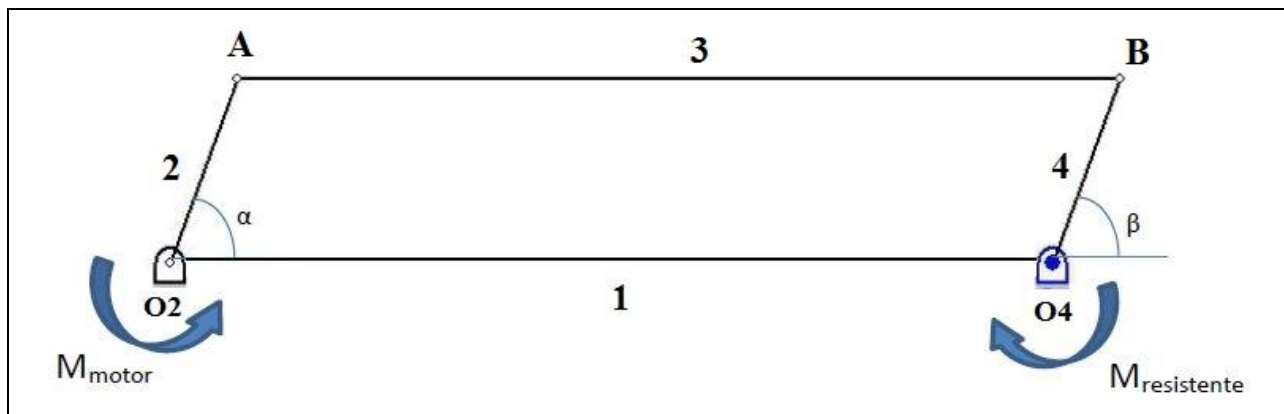
Para transmitir la fuerza del Servomotor a la palanca del embrague, situada en el lateral del motor, ha sido necesario diseñar un mecanismo de 4 barras, en el que el par motor (servo) sea capaz de superar el par resistente (embrague).

Se han barajado dos opciones:

### 2.4.1 Opción A: Paralelogramo articulado.

Mecanismo de 4 barras en la que cada una tiene el mismo tamaño que la opuesta.

En este tipo de mecanismos las dos barras contiguas al soporte (barra 2 y 4) son manivelas, es decir, el giro de alfa y beta está permitido 360° y siempre son del mismo valor.



*Figura 4. Mecanismo de 4 barra: Paralelogramo articulado.*

Aplicando principio potencias virtuales (PPV) suponiendo que las fuerzas de inercia y fuerza gravitacional no afectan al funcionamiento general (suposiciones hechas con el apoyo de profesores de teoría de máquinas y mecanismos):

$$M_{motor} \cdot \alpha - M_{resistente} \cdot \beta = 0$$

como se sabe que:

$$\alpha = \beta$$

Se llega a la conclusión:

$$M_{motor} = M_{resistente}$$

El par resistente y el par motor son iguales en todas las posiciones, no depende de  $\alpha$  ni de  $\beta$ .

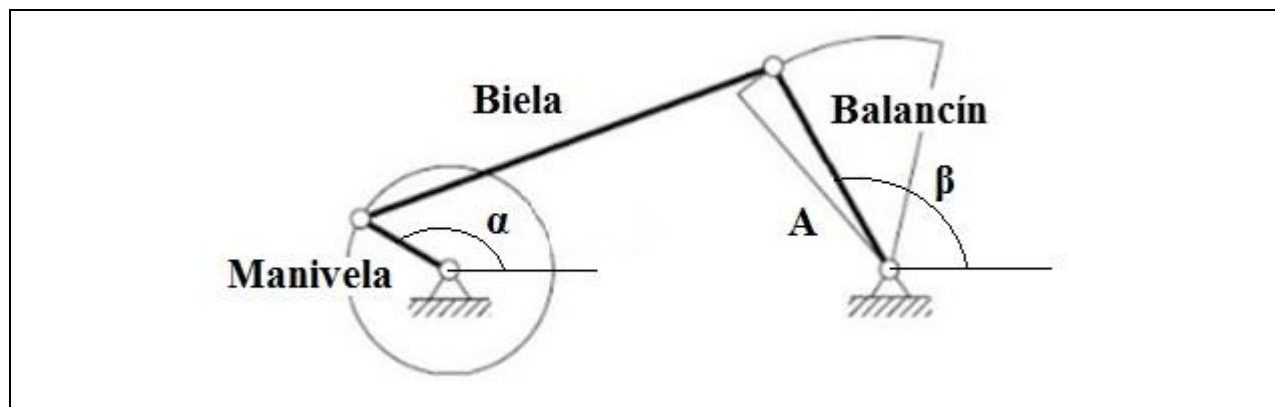
Este mecanismo es como si se colocara el servomotor directamente en el embrague, ya que el paralelogramo articulado simplemente se encarga de trasladar la fuerza y no beneficia ni perjudica al par motor.



### 2.4.2 Opción B: Mecanismo Manivela-Balancín.

El mecanismo manivela balancín se obtiene a partir de la cadena cinemática de 4 barras y necesariamente la barra más corta tendrá que ser la manivela que realiza giros completos mientras que la otra barra articulada realizara un movimiento oscilatorio. Es decir el mecanismo manivela balancín tiene la función de convertir el movimiento rotacional de entrada en la manivela en movimiento oscilatorio de salida en el balancín.

En nuestro caso la manivela sería el brazo del servo y el balancín la barra del embrague.



*Figura 5. Mecanismo de 4 barras: Manivela-Balancín.*

Realizando el principio de fuerzas virtuales de igual modo y sabiendo que en este caso alfa y beta son diferentes:

$$M_{motor} = M_{resistente} \cdot \frac{d\beta}{d\alpha}$$

En este caso el par motor si depende de alfa y beta, es decir, haciendo unos buenos cálculos entre las barras se puede disminuir el par motor.

Por este motivo se decidió realizar este mecanismo. Tras varias semanas de cálculos y simulaciones con algunos programas (WinMEC principalmente) se llegó al mecanismo definitivo. Se partió de la base de que había que colocar todas las barras en el mismo plano, es decir corregir la diferencia de altura entre el embrague y el servomotor. En la siguiente tabla se muestra las longitudes finales del mecanismo.

Longitudes Mecanismo Final Manivela- Balancín.		
Barra base	110	mm
Manivela	15	mm
Biela	105	mm
Balancín	30	mm

*Tabla 2. Longitudes mecanismo final manivela-balancín.*

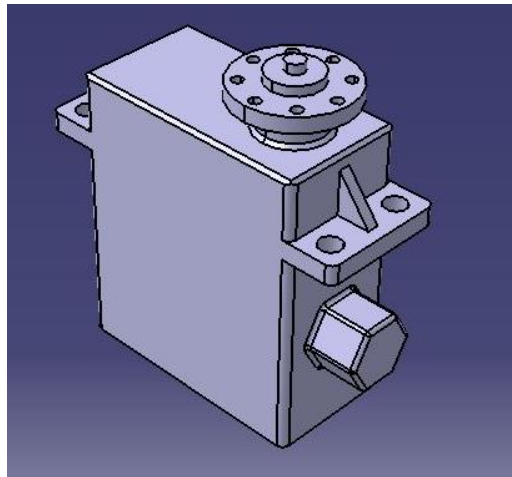


## 2.5. Diseño del acoplamiento del embrague.

El diseño se ha hecho virtualmente con el programa de diseño CATIA. Se detalla cada una de las piezas diseñadas y su función en el acoplamiento.

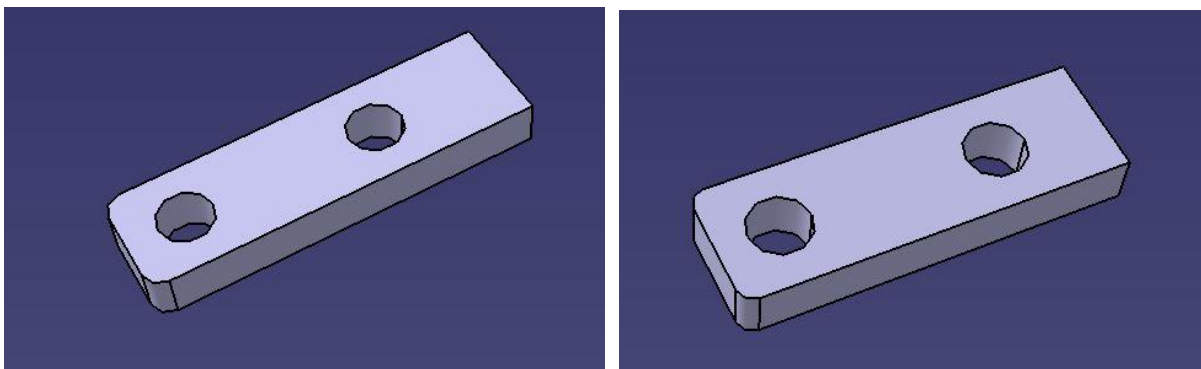
### 2.5.1 Sujeción del servomotor

El servomotor debe ir bien fijado para que funcione correctamente así, se ha utilizado sus dos aletas laterales para tal uso, ver figura 6.



*Figura 6. Servomotor en Catia, con sus dos aletas laterales para la correcta sujeción.*

Por ello se ha diseñado dos placas que se ajustan a dichas aletas (ver figura 7): son de acero, de 6 mm de espesor, con dos taladros y diferentes medidas para su correcto apoyo, ver figura 7. Estas dos cogidas irán soldadas al chasis del monoplaza, quedando así el servomotor estrictamente fijado.



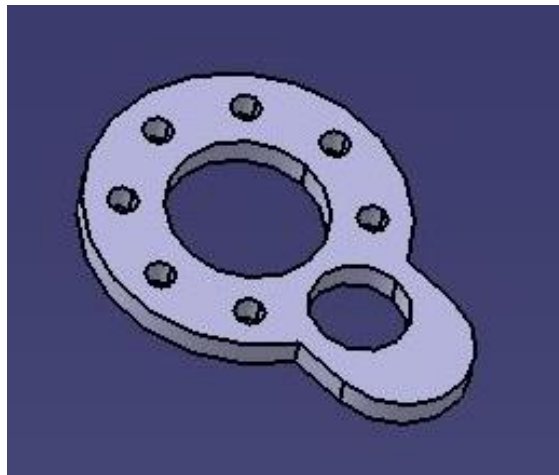
*Figura 7. Placas para la cogida del Servomotor al Chasis*



### 2.5.2 Manivela

La manivela debe ser la barra más pequeña y la barra que ejerza de par motor, por ello será la que encaje en el servo. Estará formada por una placa y un cilindro.

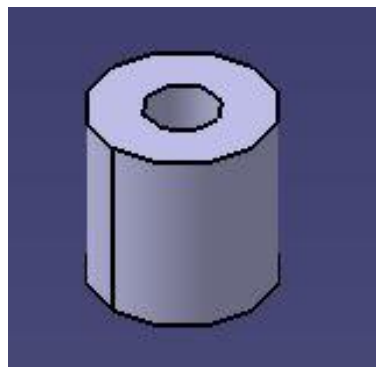
La placa diseñada, ver figura 8, es de acero, de 3 mm de espesor y tiene una forma peculiar con 7 pequeños taladros para la unión entre ella y el servomotor. Además tiene otro taladro de 10 mm de diámetro para colocar un pequeño cilindro que corrija la diferencia de altura entre servomotor y embrague y estén así en el mismo plano horizontal.



*Figura 8. Manivela del mecanismo de 4 barras.*

El cilindro mencionado anteriormente, ver figura 9, es de acero de 13 mm de altura, 5 mm de diámetro exterior y 2,5 mm de diámetro interior. Dicho cilindro encajará en la placa unos 3 mm e ira soldado a ella.

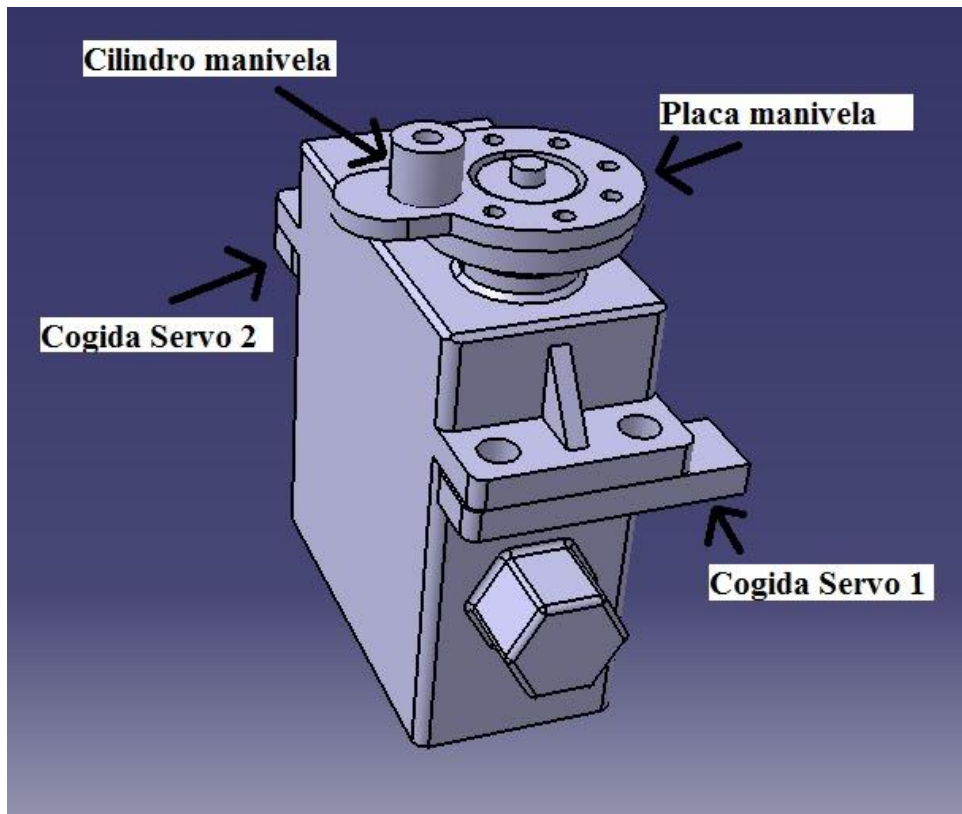
El tamaño de la barra manivela será de 15mm, ver tabla 2, es decir la distancia entre el eje central del cilindro y el eje central del giro del servomotor.



*Figura 9. Cilindro para corregir altura entre servomotor y embrague.*



El resultado de la unión de todas las piezas mencionadas hasta ahora se refleja en la Figura 10.



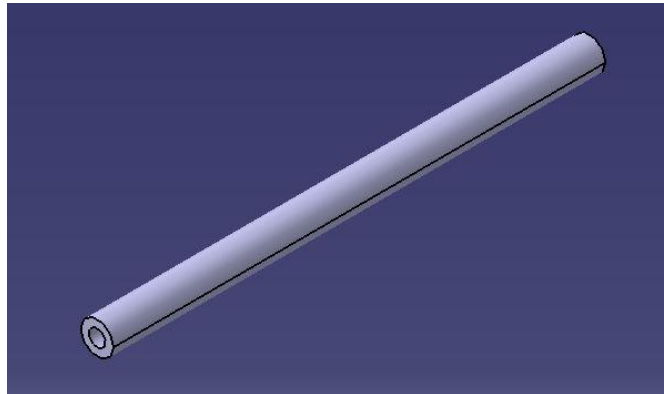
*Figura 10. Unión del Servomotor, sus cogidas y la manivela.*



### 2.5.3 Biela

La biela debe ser larga para el correcto funcionamiento del mecanismo. Estará formada por un cilindro en cuyos extremos habrá un Rod-End.

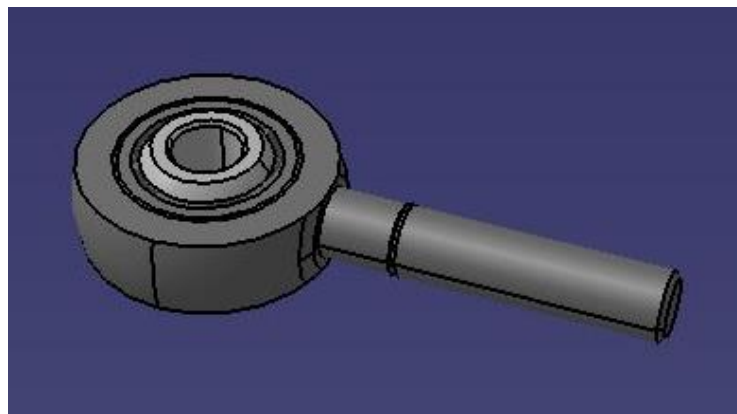
El cilindro, ver figura 11, será de aluminio, de 80 mm de longitud, 8 mm de diámetro exterior y 5 mm de diámetro interior con rosca derecha en su interior.



*Figura 11. Parte de la biela del mecanismo de 4 barras.*

Los Rod-End, ver figura 12, serán de rosca M5 ajustándose así correctamente en el cilindro anteriormente mencionado. Uno de los Rod-End irá unido al cilindro de la manivela a través de un tornillo pasante, ver figura 13.

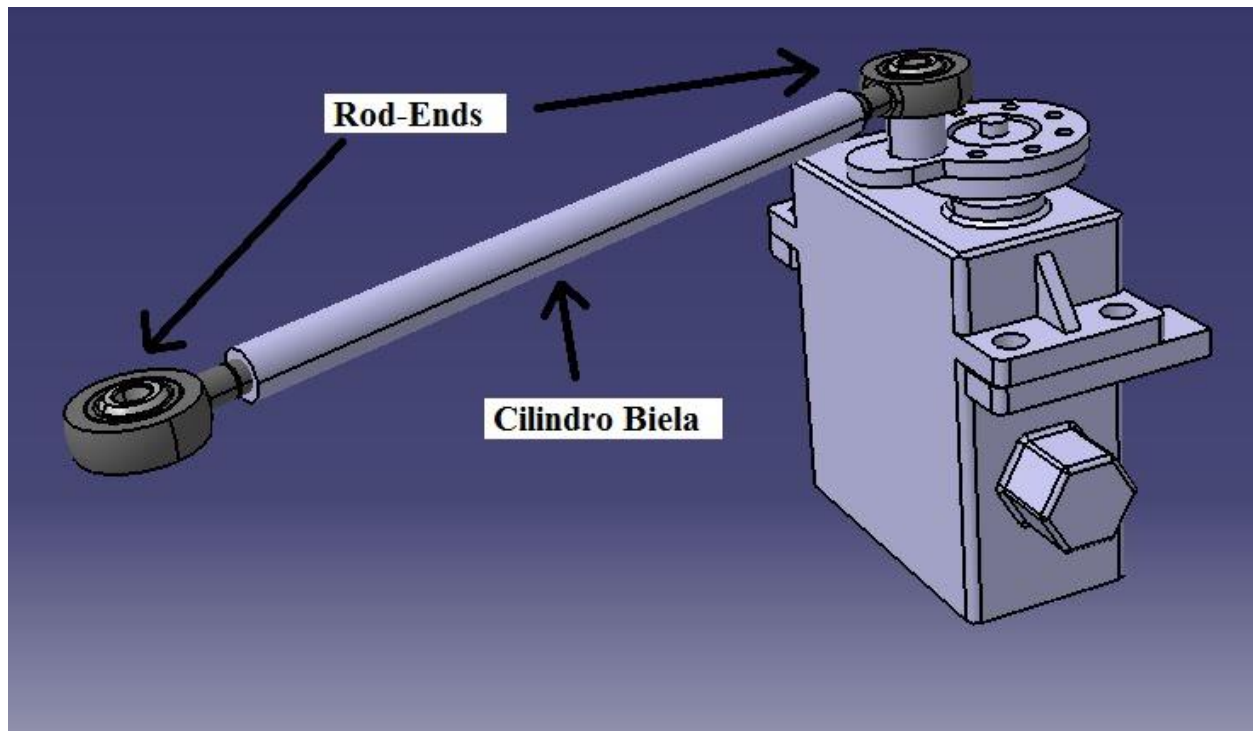
El tamaño total de la barra biela será de 110 mm de longitud, ver tabla 2.



*Figura 12. Rod-End de la biela del mecanismo de 4 barras.*



La unión de todas las piezas diseñadas hasta ahora se puede observar en la figura 13.



*Figura 13. Unión del Servo, sus cogidas, manivela y biela.*



#### 2.5.4 Balancín

La última barra del mecanismo estudiado es el balancín, que en nuestro caso será la leva del embrague que trae de serie el motor, ver figura 14.

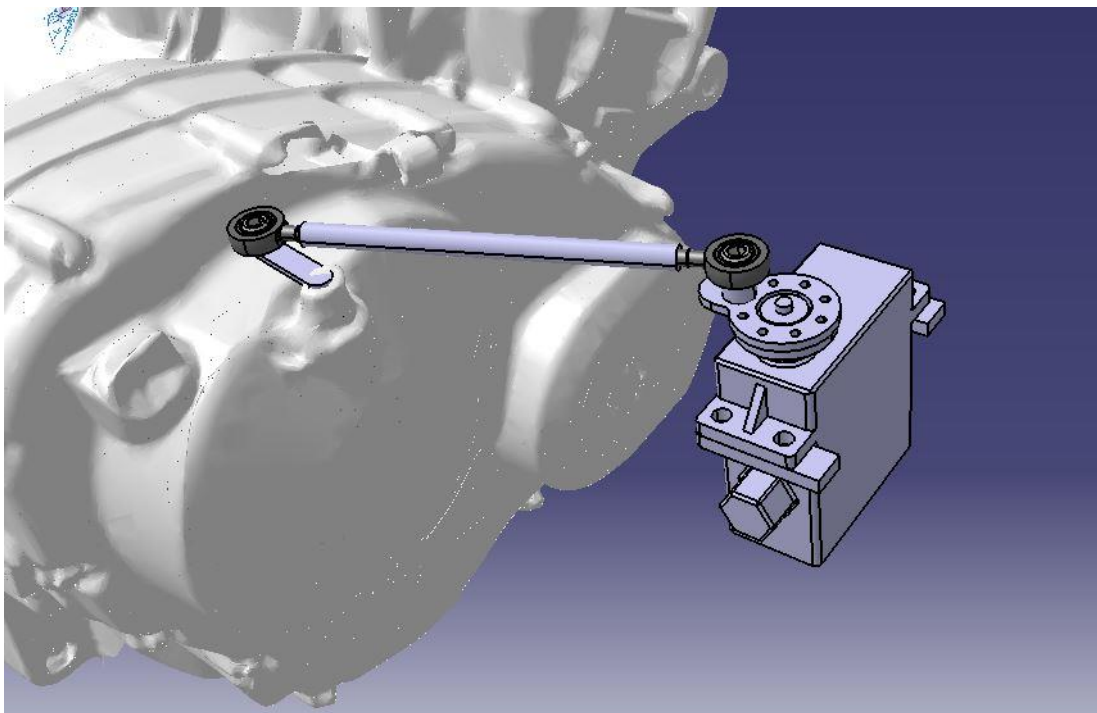
Dicha leva tendrá un taladro de 5mm de diámetro y estará situado 30 mm del eje del embragado. Dicho taladro servirá de unión con el otro Rod-End de la biela, cuya unión se hará también con un tornillo pasante.



*Figura 14. Barra balancín, en nuestro caso la leva del embrague que trae de serie el motor.*

#### 2.5.5 Resultado final

El resultado final de la unión de todas las piezas mencionadas anteriormente se puede observar en la figura 15, junto al bloque motor y la zona del embragado.



*Figura 15. Resultado final del mecanismo de 4 barras.*





## 2.6. Actuador del cambio de marchas.

Al igual que el embragado, el cambio de marchas también necesita un actuador que realice dicha función. El cambio de marchas se encuentra situado en el extremo opuesto del embragado del bloque motor.

### 2.6.1 Elección del actuador

En este caso se ha utilizado el actuador de años anteriores ya que es bastante bueno, se conoce su funcionamiento y el equipo no tiene libertad económica para permitirse otro.

Se trata de **FlatShifter Max (Paddle)**, ver figura 16, un sistema de cambio de marchas eléctrico que permite cambios de engranajes electrónicos y es válido para la mayoría de las cajas de velocidades secuenciales.



*Figura 16. Actuador del cambio de marchas, FlatShifter Max.*





### 2.6.2 Características del actuador

Es un actuador bastante contractado, es utilizado por la mayoría de los equipos de competición de la categoría y destaca por su fiabilidad y respuesta. Entre sus principales características se encuentran:

- Selector de marchas para realizar sin esfuerzo cambios de marcha arriba y abajo.
- Extremadamente confiable, solamente una pieza móvil.
- No requiere mantenimiento adicional.
- Diseño compacto y construcción resistente a la intemperie.
- No hay límite para el número de cambios de marchas.
- Funciona para todas las marchas secuenciales.
- El kit universal se adapta virtualmente a todas las marcas y modelos de motores.
- Cambio rápido de marcha típicamente 35-50 ms.

### 2.6.3 Configuración eléctrica

El cableado de este actuador es más complejo que el del Servomotor. Posee 5 cables de conexión y 2 conectores tipo DIN de 3 y 4 pines respectivamente:

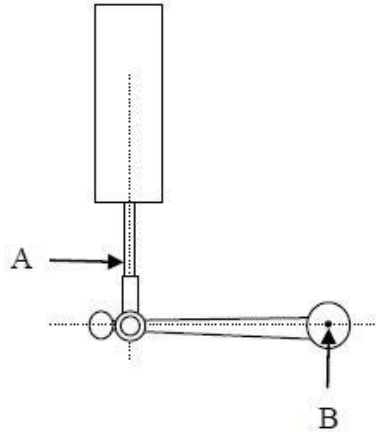
- Cable rojo delgado: se conecta al interruptor de encendido (12V). La línea es de 2A y debe tener un fusible por obligación.
- Cable rojo grueso: se conecta directamente al positivo de la batería. Línea de 35A con su fusible correspondiente.
- Cable negro grueso: se conecta directamente al negativo de la batería.
- Cables amarillo y azul: sólo se utilizan si se conecta un módulo opcional de interrupción de encendido / acelerador. En nuestro caso no se utiliza..
- Dos conectores de tipo DIN:
  - el conector de 3 pines es para el actuador
    - Pin 1: Cable verde, subida de marcha (la varilla se retrae)
    - Pin 2: Cable negro - negativo común
    - Pin 3: Cable blanco, bajada de marcha (la varilla se extiende)
  - el conector de 4 pines es para el interruptor.
    - Pin 1: Cable amarillo para el circuito de cambio de marcha arriba.
    - Pin 2: No utilizado.
    - Pin 3: Cable marrón, fuente común.
    - Pin 4: Cable azul para el circuito de cambio de marcha abajo.



## 2.6.4 Acoplamiento

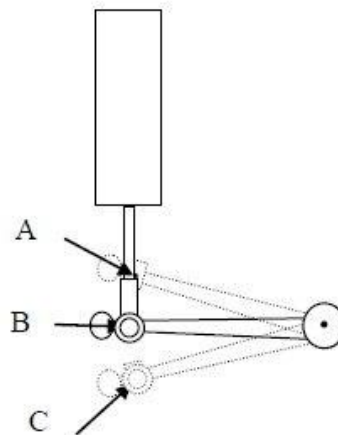
El acoplamiento o sujeción del actuador es muy importante para obtener la respuesta deseada. Por ello es importante seguir las instrucciones correctamente. Se resumen en tres puntos:

1. La conexión entre la biela y la palanca debe estar en un punto en el que el recorrido sea de 25mm en ambas direcciones. Hacer cálculos con la 1ª marcha metida. (puede ser necesario extender la longitud de la biela para ciertos vehículos). Ver figura 17.



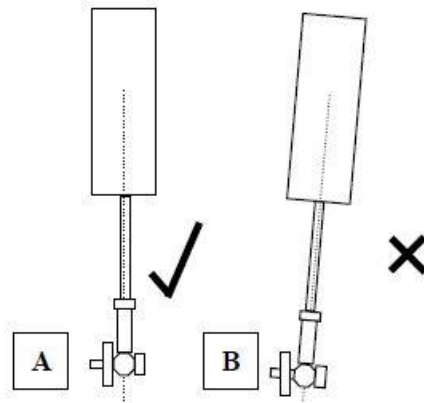
*Figura 17. Configuración mecánica FlatShifter Max, Conexión biela-palanca.*

2. El ángulo entre la biela y el punto del pivote de la palanca debe estar lo más cerca a 90°. Ver figura 18.



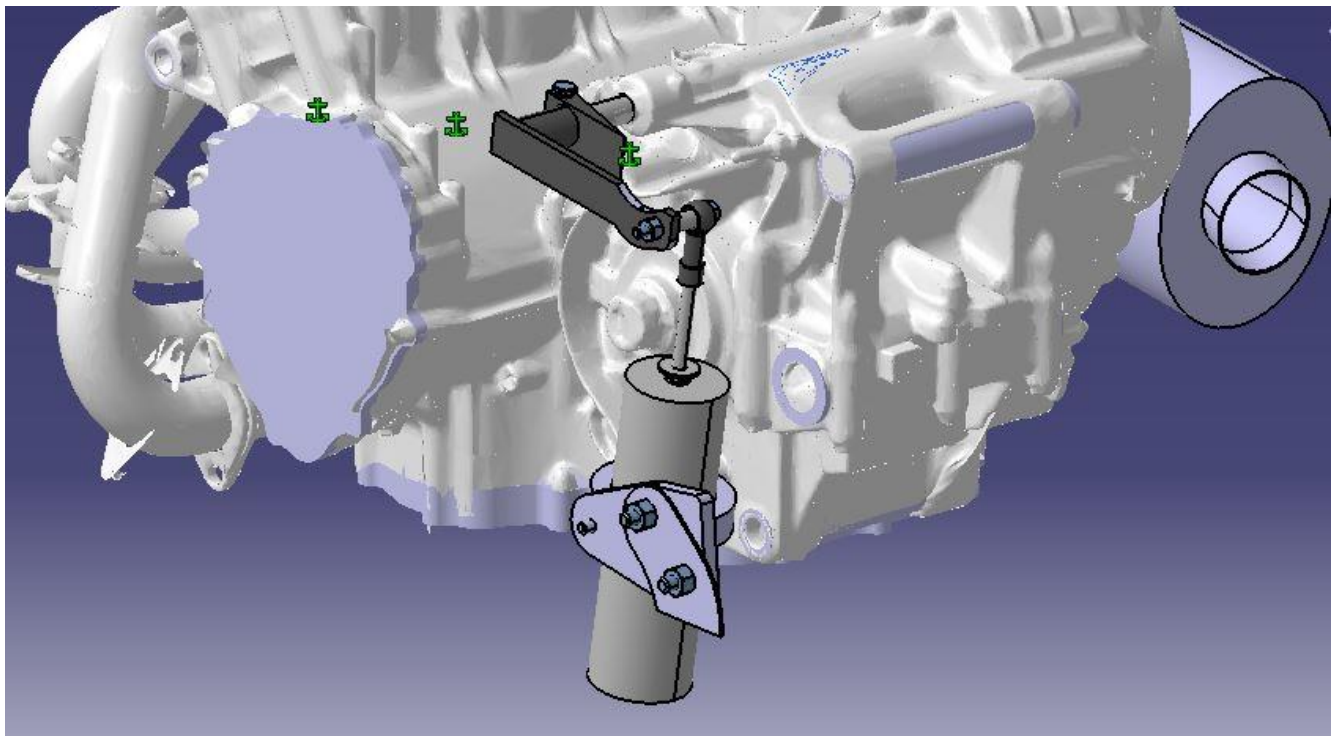
*Figura 18. Configuración mecánica FlatShifter Max, Angulo biela-pivote.*

3. Alineaciones entre conexiones correctas. Ver figura 19.



*Figura 19. Configuración mecánica FlatShifter Max, Alineación correcta.*

La posición final del *FlatShifter Max Paddel*, se puede observar en la figura 20.



*Figura 20. Posición en Catia del FlatShifter Max Paddel.*



# 3 ESTUDIO Y DISEÑO DE LA PLACA ELECTRÓNICA

---

## 3.1. Introducción

El diseño de las placas electrónicas es la parte más compleja a estudiar en este departamento (Electrónica). Se parte desde cero y hay que satisfacer todas las necesidades del sistema sin cometer errores. En primer lugar se comienza por el estudio del esquemático en que se encuentran todos los componentes electrónicos necesarios y sus respectivas conexiones. Una vez finalizado se realiza el circuito impreso, es decir, el diseño de la PCB, en la que habrá que analizar el tamaño de la placa, el número de capas necesarias, la distribución de sus pistas y la posición definitiva de todos sus componentes.

El programa utilizado para ello va a ser PROTEUS ya que permite, además de todo lo anterior, hacer simulaciones.

Serán necesarias dos placas electrónicas:

- Placa electrónica general, cuyo estudio y diseño es complejo y debe realizar la mayoría de las necesidades del sistema.
- Placa electrónica simple para el Buffer Schmitt-Trigger, necesaria para reconstruir la señal PWM del servomotor y evitar así problemas de ruido en la señal. Es muy pequeña y sencilla, ya que apenas tiene 4 componentes.

## 3.2. Esquemático

### 3.2.1 Placa electrónica general

El funcionamiento de la placa está basado en varios aspectos:

1. Deberá poder de **subir de marcha, bajar y embragar** cuando el piloto lo estime necesario.
2. Existirá un **protocolo de CAN BUS** en el que se podrá intercambiar información entre los diferentes sistemas del monoplaça: telemétrica, gestión de potencia y adquisición de datos.
3. Para posibles mejoras para próximos años estará la opción del **corte de chispa**. Se trata de una configuración de la ECU para poder cambiar de marchas sin tener que dejar de pisar el acelerador y ganar velocidad en el monoplaça. Además tampoco es necesario embragar.
4. Otros aspectos son los pines de **programación del Microcontrolador** y la posibilidad de colocar un **potenciómetro en el Servomotor** para saber en cada instante su posición exacta.



En la figura 21 se puede observar el esquemático completo de dicha placa, organizada en diferentes bloques.

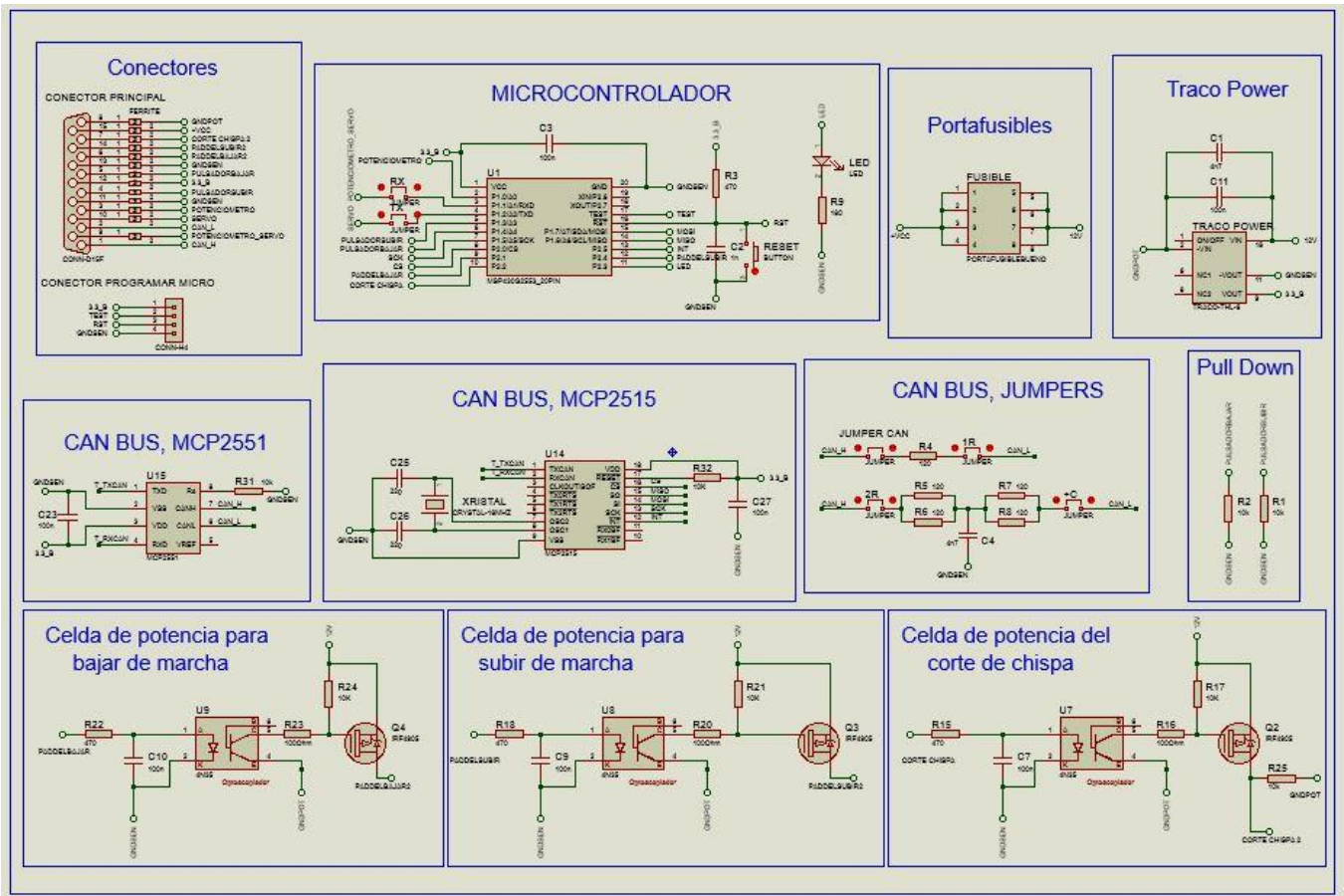


Figura 21. Esquemático completo de la placa electrónica general del sistema.

### 3.2.1.1 Microcontrolador

El microcontrolador elegido es el famoso MSP430G2553 de “Texas Instruments”. Es un procesador de señal combinada de 16 bits basados en la arquitectura RISC ( Reduced Instruction Set Computer) diseñados para tener un consumo ultra bajo. Además disponen de una cantidad de periféricos muy variados para poder realizar cualquier tipo de proyectos.

Su simplicidad, velocidad, multitud de conexiones de entrada/salida y haber trabajado con él anteriormente, son los principales motivos de su elección.



Figura 22. Microcontrolador MSP430G2553



Entre sus principales características se encuentran:

Velocidad de reloj	Configurable entre 1 y 16 MHz
Memoria FLASH	16 KB
Memoria SRAM	4 KB
Memoria NVM	56 KB
Pines	20
Temporizadores	2
Convertidor ADC	Si, de 8 canales
UART	Si
SPI	Si
I2C	Si
Placa de desarrollo o LaunchPad	Si

La configuración de cada uno de sus pines, se puede observar en la figura 23 y es la siguiente:

- **PIN 1:** Entrada. Alimentación de 3,3V necesaria del microcontrolador.
- **PIN 2:** Entrada. Potenciómetro del embragado, es decir la leva de embrague del volante.
- **PIN 3:** Entrada. Potenciómetro del Servomotor, para conocer su posición en cada instante. Este pin corresponde con la RXD de la UART por lo que se ha colocado un jumper para poder leer información del microcontrolador en caso de que sea necesario.
- **PIN 4:** Salida. Señal PWM enviada al Servomotor para su control. Este pin corresponde con la TXD de la UART por lo que se ha colocado otro jumper con la misma finalidad que el anterior.
- **PIN 5:** Entrada. Recibe el pulso desde el volante para subir de marcha.
- **PIN 6:** Entrada. Recibe el pulso desde el volante para bajar de marcha.
- **PIN 9:** Salida. Enviar señal al Paddel para bajar la marcha de la caja de cambios.







### 3.2.1.2 Conectores

El conector principal de la placa será de 15 pines, conexión hembra y preparado para ser soldado directamente en la placa electrónica (pines a 90°). Es un conector contrastado por el equipo durante años anteriores y que destaca por su dureza y fiabilidad.

De los 15 pines que tiene el conector, 14 son utilizados y el restante se va a conectar a GND de señal. Siete pines son de entrada y ocho de salida.

Destacar el uso de **ferrita** en 13 de los pines, exceptuando los dos pines de Can Bus en los que no son necesarios. La ferrita actúa como filtro de corrientes parásitas y su función es que la eficiencia de las pistas sea máxima.

Existe otro conector básico de 4 pines para la programación del microcontrolador, en el que se encuentra:

- PIN1: Alimentación de 3.3V
- PIN2: TEST
- PIN3: RESET
- PIN4: GND SEÑAL

En la figura 24 se puede observar la conexión de ambos conectores.

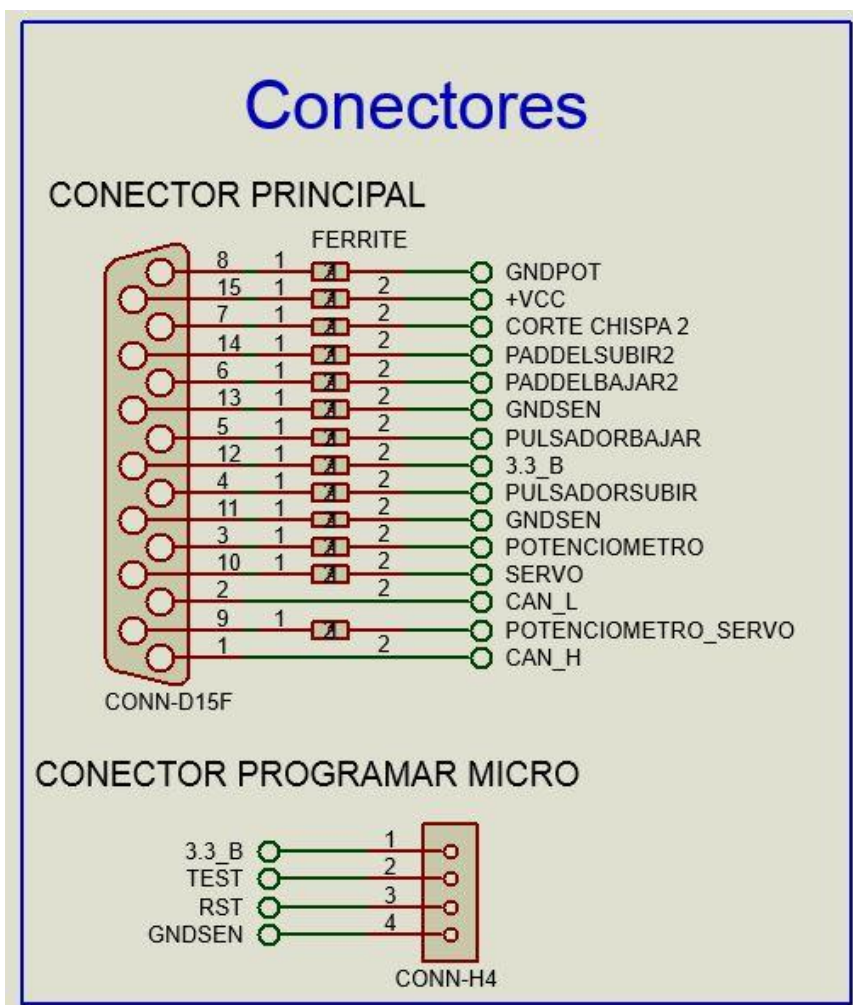


Figura 24. Conectores Placa Electrónica.





### 3.2.1.3 Resistencias Pull-Down y Pull-Up

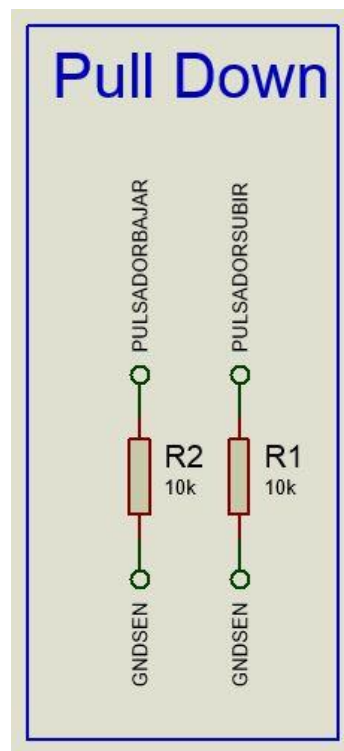
En la configuración Pull-Down, cuando el circuito está en reposo la caída de tensión en la resistencia es prácticamente 0V (**LOW**), en cambio si se pulsa el botón, dejará pasar la corriente y se tendrá una diferencia de potencial de 5V (**HIGH**).

Las resistencias Pull-Up establecen la tensión en un nivel alto (**HIGH**) hasta una tensión precalculada. Así se evitar que una corriente excesiva fluya a través del circuito cuando se necesite un nivel lógico bajo (**LOW**).

Para poder detectar las señales de los pulsadores se ha conectado una resistencia Pull-Down en los pines 5 y 6, ver figura 25. Esto se hace por que estos componentes funcionan a bajo nivel, así que es estrictamente necesario. Las resistencias son de 10K cada una, un extremo conectado a tierra, GND de señal, y otro extremo conectado entre PIN del microcontrolador correspondiente y el pulsador.

Además de existir en los pulsadores, existen este tipo de resistencias en otras localizaciones de la placa, como por ejemplo en la configuración de CanBus.

Las resistencias Pull-Up se pueden encontrar en las celdas de potencias o en otras partes de CanBus, que se analizaran más adelante.



*Figura 25. Resistencias Pull-Down de los pulsadores correspondientes*



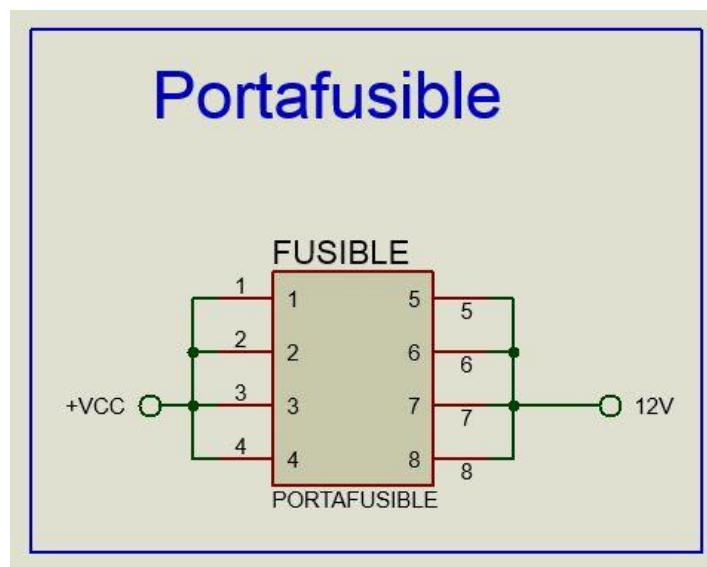
### 3.2.1.4 Portafusible.

En electricidad, se denomina fusible a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado y un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda cuando la intensidad de corriente supere (por un cortocircuito o un exceso de carga) un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los componentes electrónicos.

El portafusible es el componente electrónico, principalmente de las placas electrónicas, en que se coloca el correspondiente fusible.

En nuestra placa se colocará entre la alimentación que recibe desde la gestión de potencia, es decir, en los 12 V.

El portafusible posee 8 pines. Los 4 (1-4) de la izquierda funcionan como un único pin y se corresponde a la entrada del portafusible y los 4 (5-8) de la izquierda, también actúan como un único pin y corresponde a la salida del portafusible, ver figura 26.



*Figura 26. Portafusible.*



### 3.2.1.5 Traco Power.

Nuestra placa está alimentada desde la gestión de potencia por 12V, los cuales se necesitan transformar en un valor más pequeño para alimentar los principales componentes electrónicos como son el microcontrolador y los dos MCP de Can Bus. Por ello se ha utilizado el Traco “*THL 6-2410WISM*” que convierte de 12V a 3,3V. La serie THL 6 es una familia de compactos convertidores DC/DC de 6 W con buenos rangos de voltaje de entrada. El producto está disponible en paquete SMD, que es un 31% más pequeño que un paquete estándar. Además es una excelente solución para aplicaciones de datos, telecomunicaciones, instrumentación y electrónica industrial.

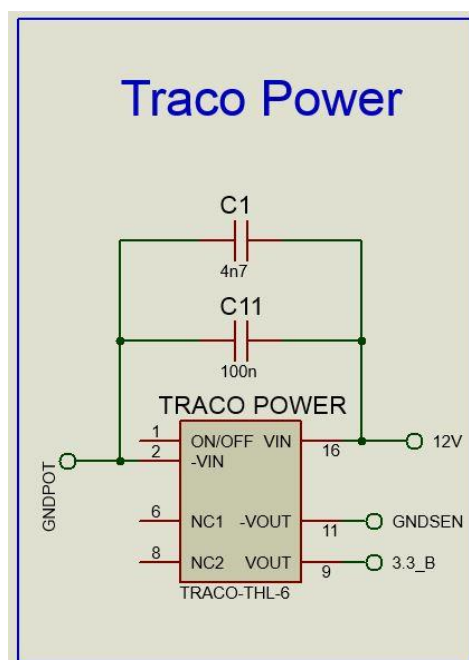
Entre sus principales características se encuentran:

- Diseño compacto en paquete SMD.
- Amplio rango de voltaje de entrada 4:1
- Salidas totalmente reguladas
- Aislamiento 1500 VDC
- Rango de temperatura  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+75^{\circ}\text{C}$
- Protección contra cortocircuitos

La conexión de sus pines es la siguiente, ver figura 27:

- PIN 1: Para el control remoto ON/OFF. No se ha utilizado, así que no hay conexión.
- PIN 2: Entrada de GND que proporciona la gestión de potencia, es decir, GND potencia.
- PIN 6 y 8: No necesitan conexión.
- PIN 9: Salida de 3,3V que genera el Traco.
- PIN 11: Salida de GND que proporciona el Traco, es decir GND señal.
- PIN 16: Entrada de 12V desde la gestión de potencia.

Entre el PIN 2 y PIN 16, es decir GND y VCC de entrada, se ha colocado dos condensadores de desacople de 100n y 4.7n



*Figura 27. Configuración pines Traco Power*



### 3.2.1.6 Celdas de potencia.

La celda de potencia es de las partes más importantes de la placa electrónica. El actuador del cambio de marchas, *FlatShifter Max Paddel*, tanto para subir como para bajar necesita recibir señales de 12V. Además para el corte de chispa la ECU del motor también necesita recibir señales con este voltaje. Por ello se han implementado tres celdas de potencia que sean capaz de enviar señales a 12V.

Cada una de las celdas está formada por estos componentes electrónicos:

- Un Optoacoplador 4N35.

Se trata de un circuito integrado compuesto generalmente por un diodo LED y un fototransistor unidos de tal forma que cuando una señal eléctrica circula a través del LED haciendo que brille, la luz que este emite es recibida por la base del fototransistor, que empieza a actuar en modo saturación.

De esta manera la ventaja fundamental de un Optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida, en nuestro caso el aislamiento es entre 3.3V y 12V.
- Un Mosfet IRF4905.

Se trata de un tipo de transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Posee cuatro terminales llamados fuente (S, Source), drenador (D, Drain) y puerta (G, Gate), cuyas conexiones deben ser correctas. Por ello el Mosfet actúa como un interruptor en que se puede decidir cuándo estar abierto o cerrado.
- Tres resistencias de 10k, 100 y 470 ohm. (R24, R23 y R22 respectivamente, para nuestra figura de ejemplo, ver figura 27)
- Un condensador de 100 nF. (C10 para nuestra figura de ejemplo, ver figura 27)

Para evitar problemas y conflictos con los diferentes elementos electrónicos se decidió **separar la GND de señal (3,3V) y la GND de potencia (12V)** en cada una de las placas electrónicas.

La celda de potencia actúa cuando recibe una señal (3,3V) desde el microcontrolador. Para evitar falsos positivos, pasa por un filtro RC cuya resistencia, **R22**, es de 470 ohm y condensador, **C10**, de 100 nF. La entrada anteriormente mencionada está conectada a la parte del diodo luminoso del Optoacoplador, que actúa al recibir dicha señal. Cuando esta señal esté activa, el Optoacoplador transformará esa señal eléctrica en señal luminosa, que recogerá la segunda parte del Optoacoplador, cerrando el circuito entre los pines 4 y 5, ver figura 28.

En el segundo tramo el Mosfet conducirá y repartirá la señal de 12V donde corresponda. La resistencia **R24** hace de pull-up para el Mosfet, mientras que la resistencia **R23**, se encarga de limitar la corriente para proteger el Optoacoplador, ver figura 28.

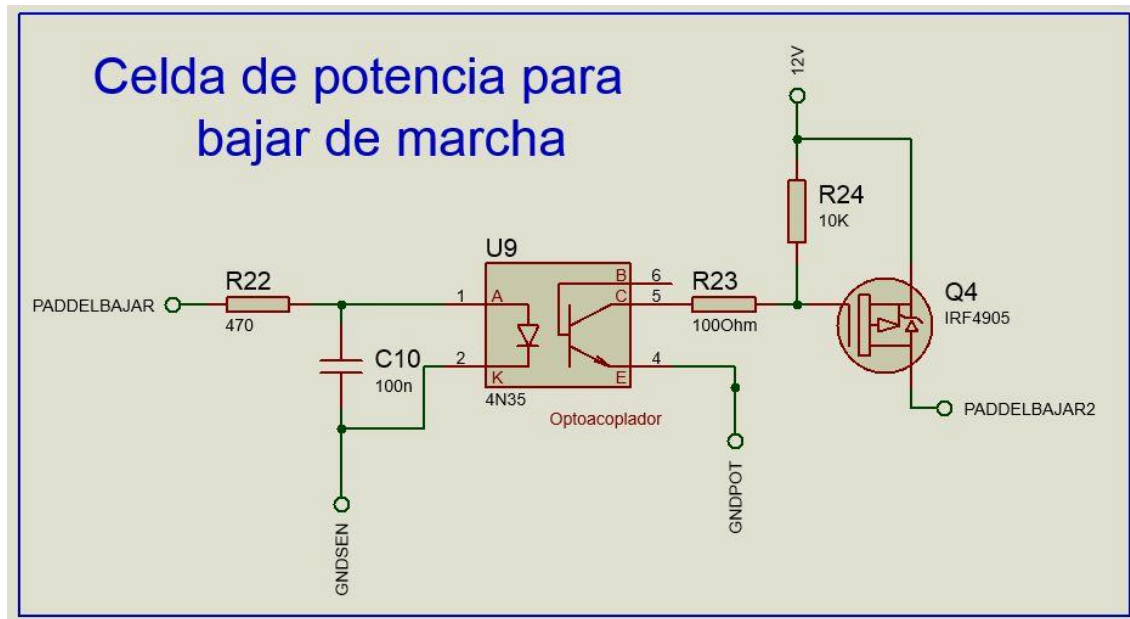
Conexión del Mosfet:

- Puerta G: Se conecta a la salida del Optoacoplador, la cual transmite GND potencia cuando dicho Optoacoplador se activa.
- Fuente S: Se conectan los 12V que la placa recibe de la gestión de potencia.
- Drenador D: Salida de 12V cuando el Mosfet conduce.



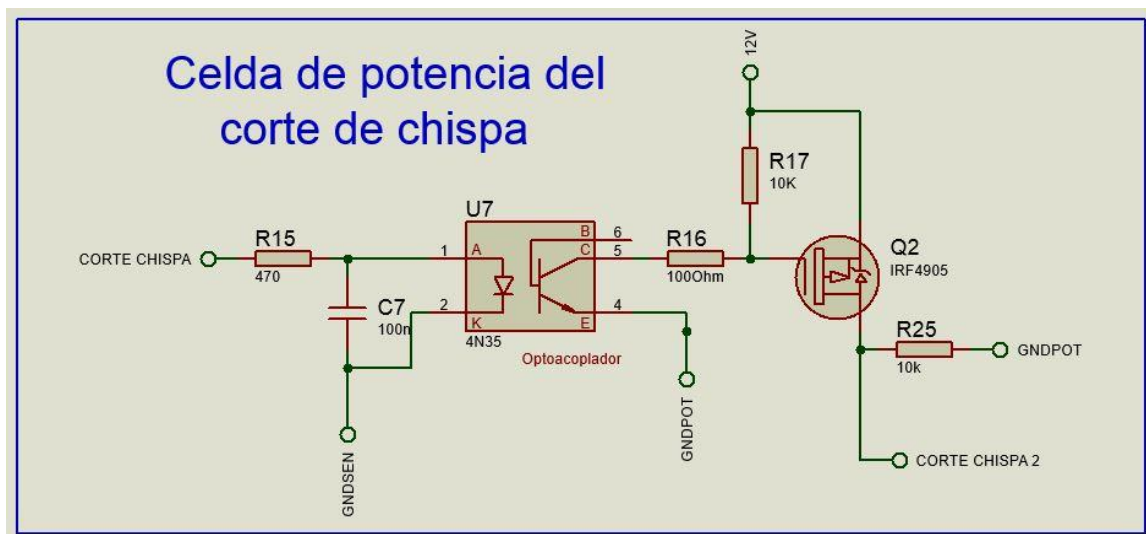
### Conexión del Optoacoplador:

- PIN 1. Conexión al ánodo del led, señal de 3.3V
- PIN 2. Conexión del cátodo del led, GND señal.
- PIN 4. Emisor del fototransistor del Optoacoplador, GND potencia
- PIN 5. Colector del fototransistor del Optoacoplador, salida del Optoacoplador.
- PIN 6. Emisor del fototransistor del Optoacoplador, no conectado ya que es para accionarlo “manualmente” y no es lo que interesa.



*Figura 28. Configuración celda de potencia para bajar de marcha*

Las dos celdas de potencia para subir y bajar de marcha son exactamente iguales, sin embargo la celda del corte de chispa tiene una pequeña modificación: En el drenador del Mosfet existe una resistencia pull-down, **R25**, porque así lo estima necesario la ECU, ver figura 29.



*Figura 29. Configuración celda de potencia del corte de chispa*



### 3.2.1.7 Can Bus.

CAN es un protocolo de comunicaciones basado en una topología BUS para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. Ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples CPUs (unidades centrales de proceso).

El protocolo de comunicaciones CAN proporciona los siguientes beneficios:

- Ofrece alta inmunidad a las interferencias
- Es un protocolo de comunicaciones normalizado, con lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas sobre una red común o bus.
- El procesador anfitrión (host) delega la carga de comunicaciones a un periférico inteligente, por lo tanto el procesador anfitrión dispone de mayor tiempo para ejecutar sus propias tareas.
- Al ser una red multiplexada, reduce considerablemente el cableado y elimina las conexiones punto a punto.

Dentro de nuestro sistema, la idea de utilizar Can Bus se basa en leer desde la ECU la marcha en la que se encuentra la caja de cambios y así poder hacer una programación más profunda marcha a marcha. Cada marcha de la caja de cambios no tiene por qué tener el mismo embragado, por lo que con este sistema se podrá ganar velocidad, uno de los principales objetivos del vehículo.

Este sistema de comunicación es totalmente novedoso en el monoplaça, por lo que este año será “experimental” para poder exprimirlo y sacarle muchísimo más rendimiento en próximos años cuando se use por segunda vez. Debe estar configurado correctamente para poder leer y enviar tramas cumpliendo el protocolo correspondiente a la velocidad adecuada.

En el esquemático hay que destacar el uso del MCP2515 y del MCP2551:

- El MCP2515 es un controlador autónomo de red de área de controlador que implementa la especificación CAN, versión 2.0B. Es capaz de transmitir y recibir tanto datos estándar como extendidos y marcos remotos. Tiene dos máscaras de aceptación y seis filtros de aceptación que se utilizan para filtrar mensajes no deseados, reduciendo así la sobrecarga del host. El MCP2515 se interconecta con microcontroladores a través de una interfaz periférica serie (SPI) estándar de la industria.
- El MCP2551 es un transceptor CAN de alta velocidad, un dispositivo tolerante a fallos que sirve como interfaz entre un controlador de protocolo CAN y el bus físico. El MCP2551 ofrece capacidad de transmisión y recepción diferencial para el controlador de protocolo CAN. Funcionará a velocidades de hasta 1 Mb / s.



Se ha diseñado el circuito con base a un shield de arduino que realiza el mismo fin y utiliza los mismos integrados. El MCP2515 se comunica con el microcontrolador mediante comunicación SPI, y también hace uso de un pin de interrupción para indicar que hay una trama lista para ser leída en el buffer. Además se ha añadido externamente un reloj de 16 MHz necesario para el correcto funcionamiento con condensadores para estabilizar la señal, ver figura 30.

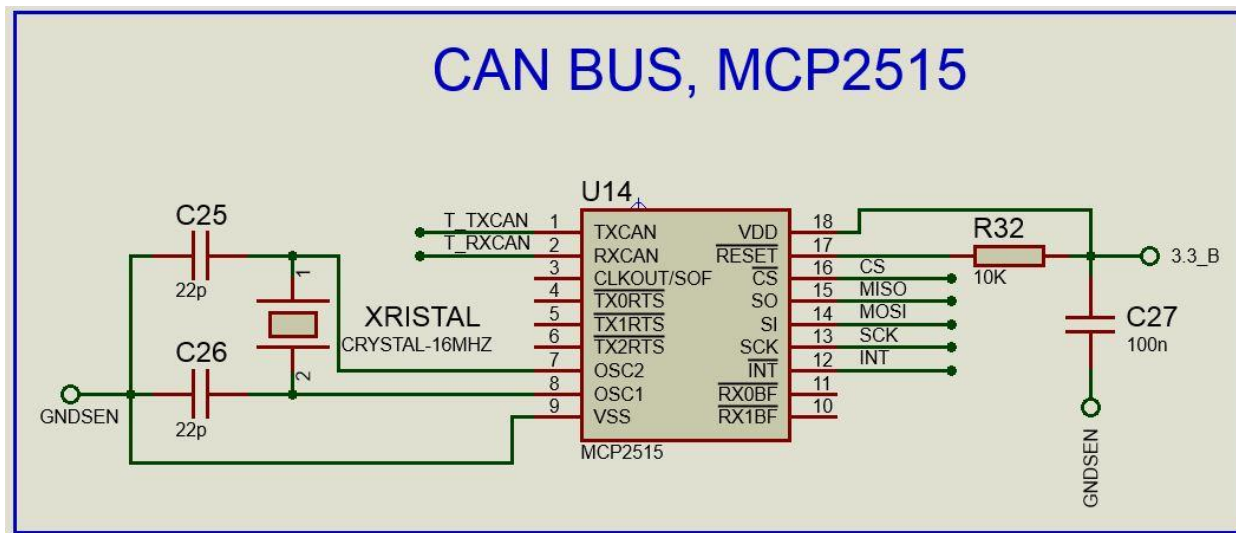


Figura 30. Can Bus, MCP2515.

El MCP2551 traduce los niveles de tensión TTL a la tensión diferencial utilizada por el bus CAN. Ambos integrados se alimentan a 3,3V y se les ha añadido condensadores de desacoplo (C27, C23, C25 y C26), resistencias pull-up (R32) y resistencias pull-down (R31) en los pines donde son necesarios, ver figura 31.

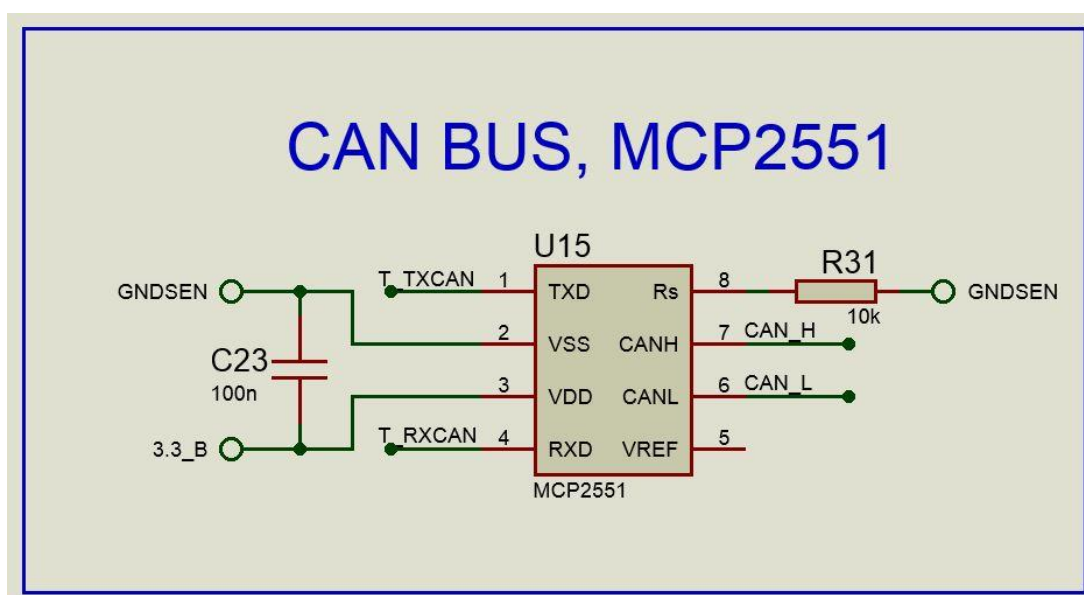
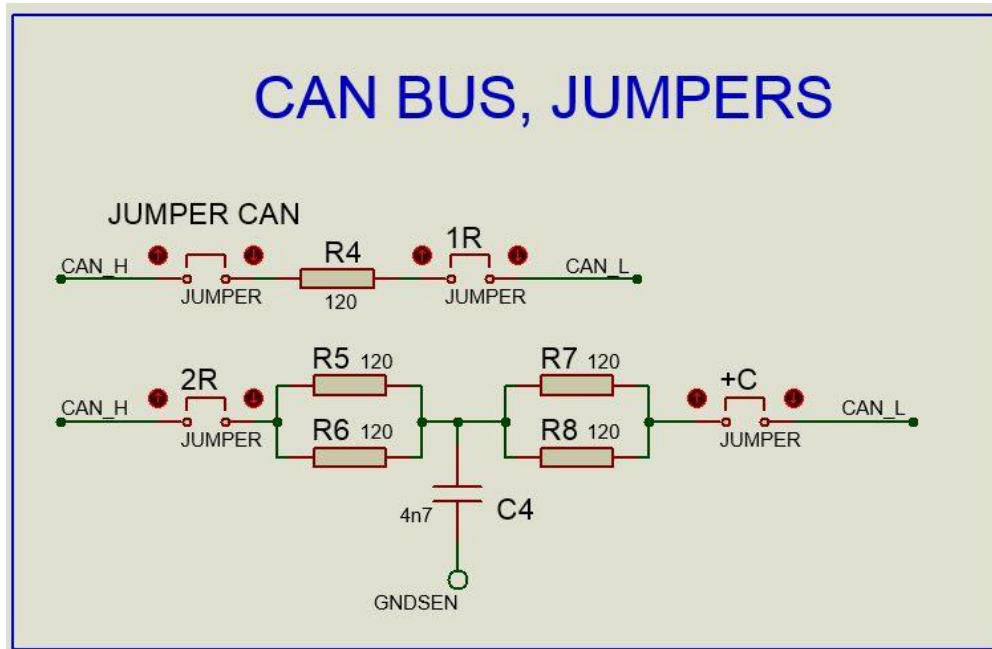


Figura 31. Can Bus, MCP2551.





También se ha añadido la resistencia terminal del bus de forma que pueda adquirir distintas configuraciones en un futuro gracias a la colocación de los jumpers, tanto como configuración terminal como en estrella o incluso para largas distancias para preservar los mensajes enviados.



*Figura 32. Can Bus, Jumpers*





### 3.2.2 Placa Electrónica simple para el Buffer Schmitt-Trigger

Como se ha mencionado con anterioridad existirá una segunda placa electrónica muy pequeña y simple, necesaria para reconstruir la señal PWM del servomotor y evitar así problemas de ruido en la señal.

Además proporciona una función de memoria intermedia con la acción de disparador de Schmitt que es capaz de transformar señales de entrada que cambian lentamente en salidas claramente definidas.

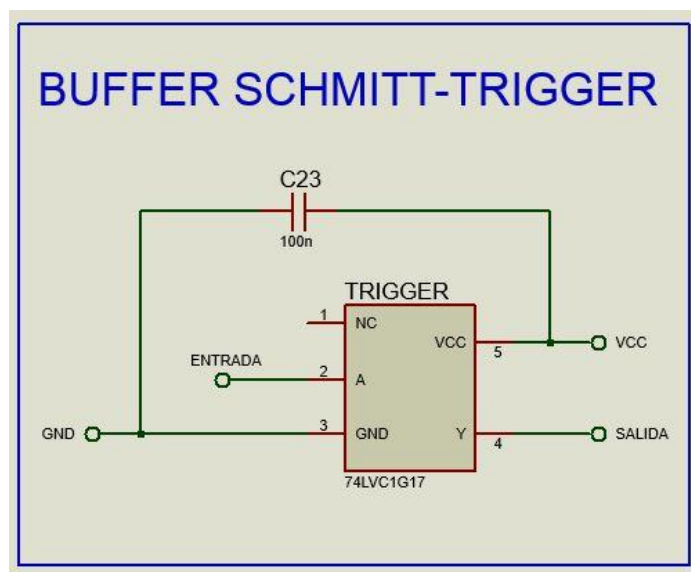
Entre sus principales características destaca:

- Alta inmunidad al ruido
- CMOS de bajo consumo de energía
- Interfaz directa con niveles de TTL
- Tiempos ilimitados de subida y bajada
- La entrada admite voltajes de hasta 5 V
- Protección contra ESD
- Especificado de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Así pues, dicho componente posee 5 pines, ver figura 26:

- PIN 1: No conexión
- PIN 2: Corresponde a la entrada de la señal PWM.
- PIN 3: Tierra, GND, de señal.
- PIN 4: Corresponde a la salida de la señal PWM una vez corregida.
- PIN 5: Alimentación del componente, VCC

Se conectará un condensador de desacoplo de 100n entre el PIN 3 y el PIN 5, es decir entre VCC y GND. **Los condensadores de desacoplo** se deben de poner muy cerca de los pines de alimentación para mantener la inductancia lo más baja posible en las pistas que van desde el condensador de desacoplo al circuito integrado.



*Figura 33. Placa electrónica simple, Buffer Schmitt Trigger.*

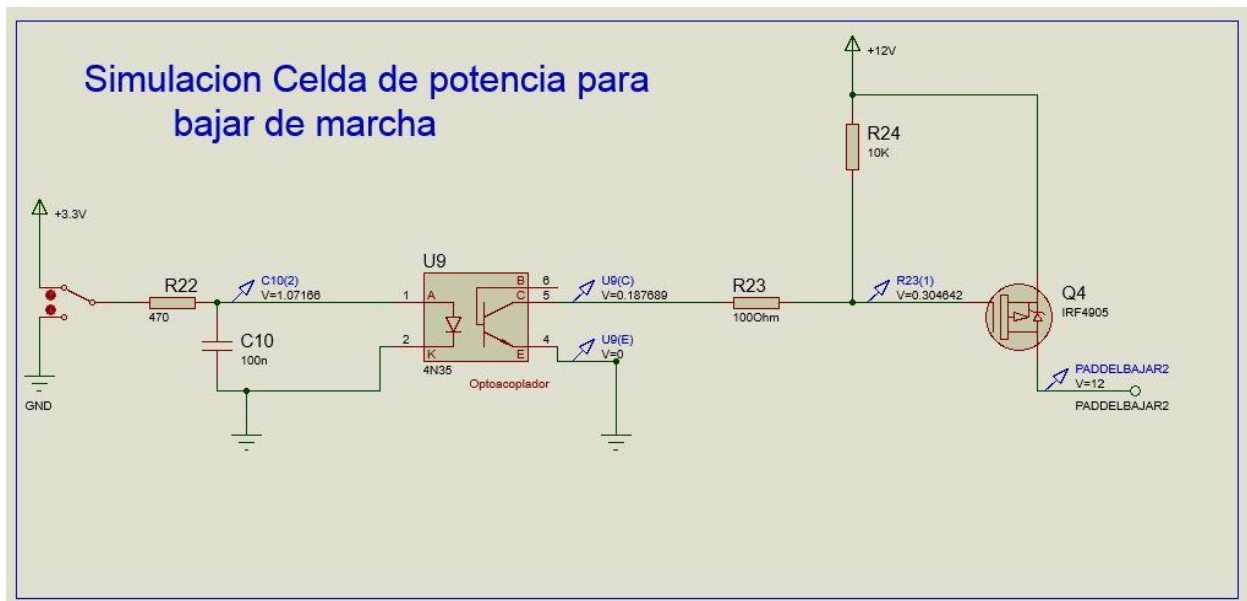




- Microcontrolador con la salida en HIGH

En este segundo caso el microcontrolador va a enviar una señal de 3.3V a la celda de potencia por lo que en la entrada del Optocoplador, tras pasar el filtro RC, se recibirá una señal menor que 3.3V pero válida para que este se active.

Así pues, el Optocoplador se activará y se cerrará el circuito entre el pin 4 y el pin 5, teniendo así una tensión prácticamente de cero. Con consecuencia el Mosfet IRF4905 conducirá y en su salida emitirá los 12V de tensión, ver figura 35.



*Figura 35. Simulación celda de potencia HIGH*



### 3.4. Circuito impreso, PCB.

Una tarjeta de circuito impreso o PCB, es un dispositivo compuesto por trazas de material conductor laminado sobre una base no conductiva o material dieléctrico. La tarjeta se usa para realizar interconexiones entre los componentes y presenta muchas ventajas como una única superficie para montar los componentes, conexiones fijas, mayor inmunidad a ruido, menor probabilidad de fallas, entre otras. Así es utilizada para realizar el emplazamiento de los distintos elementos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas entre ellos.

En los últimos años el tamaño de las componentes electrónicas se ha reducido en forma considerable, lo que implica menor separación entre pines para circuitos integrados de alta densidad. Teniendo también en consideración las actuales frecuencias de operación de los dispositivos, es necesaria una muy buena precisión en el proceso de impresión de la placa con la finalidad de garantizar tolerancias mínimas.

Los circuitos impresos pueden ser desde una hasta aproximadamente ocho capas (o incluso más), dependiendo de la complejidad del diseño físico de dicha placa electrónica.

En el circuito impreso no se va a explicar cada una de las pistas del diseño, ya que es una tarea bastante compleja y sin relativa importancia. Por ello voy a definir los puntos clave del diseño con ejemplos y sus correspondientes figuras.

#### 3.4.1 Circuito impreso, PCB, de la placa electrónica general del sistema

Este primer circuito impreso estará formado por 4 capas, dos exteriores y dos interiores. La elección de este número de capas es principalmente por la gran cantidad de pistas que se van a necesitar para la conexión de todos los componentes.

El tamaño de dicha placa será de 64mm de largo, 55 mm de ancho y 4 mm de grosor.

La cara superior del circuito impreso se puede observar en la figura 36.

<u>Capas</u>	<u>Función</u>	<u>Color</u>
TOP SILK	Para la serigrafía superior	Cian
1. Superior	Para los componentes situados en la capa superior	Rojo
2. Intermedia superior	Realizar pistas para evitar conflictos con la capa superior	Naranja oscuro
3. Intermedia inferior	Realizar pistas para evitar conflictos con la capa inferior	Verde oscuro
4. Inferior	Para los componentes situados en la capa inferior	Azul
BOTTON SILK	Para la serigrafía inferior	Magenta

*Tabla 4. Capas de la PCB de la placa electrónica general del sistema*



La serigrafía es el proceso en donde se imprime sobre la máscara de soldado información conducente a facilitar la labor del ensamblado y de posterior verificación. Generalmente se imprime para indicar puntos de prueba como también la posición, orientación y referencia de las componentes que conforman el circuito.

La lista de componentes que se van a necesitar se describe en la tabla 4, en la que en la se puede observar los componentes, la cantidad necesaria de cada uno, el tipo de encapsulado y en que capa superficial están situados.

Es una tabla general en la que no se especifica por ejemplo, el tamaño (ohm, faradios o pines) de cada una de las resistencias, condensadores o conectores.

<u>Componente</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Encapsulado</u>	<u>Capa superficial</u>
Resistencias	21	SMD	Ambas
Condensadores	11	SMD	Ambas
Opto acopladores 4N35	3	THROUGH HOLE	Superior
Mosfet IRF4905	3	THROUGH HOLE	Superior
MSP430G2553	1	SMD	Inferior
MCP 2515	1	SMD	Superior
MCP 2551	1	SMD	Superior
Conectores	2	THROUGH HOLE	Superior
Jumpers	6	THROUGH HOLE	Superior
Pulsadores	1	SMD	Inferior
LEDs	1	SMD	Superior
Ferrita	13	SMD	Ambas
Reloj Crystal	1	SMD	Superior
Portafusible	1	THROUGH HOLE	Superior
Traco Power	1	SMD	Superior

*Tabla 5. Componentes del circuito impreso de la placa general del sistema*



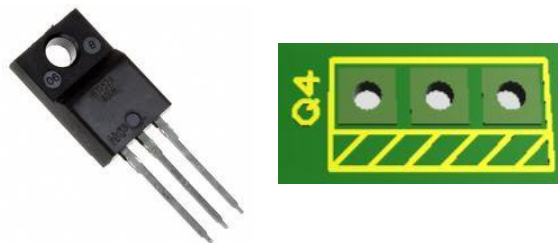
### 3.4.1.1 Encapsulados y Pads

En el mercado se encuentran diversos tipos de encapsulados de componentes electrónicos y es común encontrar varios tipos de encapsulado para un mismo dispositivo.

Los utilizados en nuestro diseño son dos:

- Through hole” o “A través de orificio”: Son todos aquellos componentes que poseen pines para ser instalados en perforaciones metalizadas. Sus pads están pensados para que el pin del componente atraviese totalmente la placa y luego poder soldarla por el lado opuesto al cual se introdujo. Generalmente son montados por un solo lado de la placa.

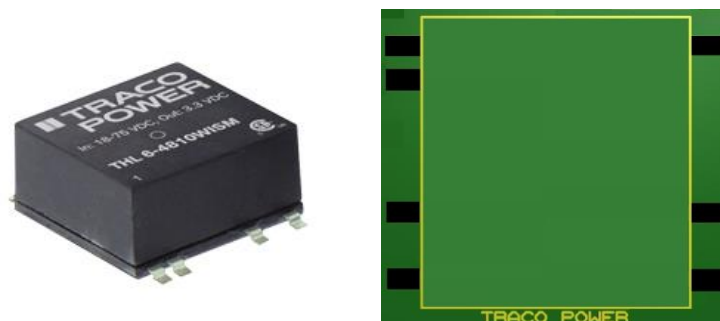
Por ejemplo MOSFET IRF 4905, ver figura 37.



*Figura 36. Ejemplo pad y encapsulado Through hole, Mosfet IRF 4905*

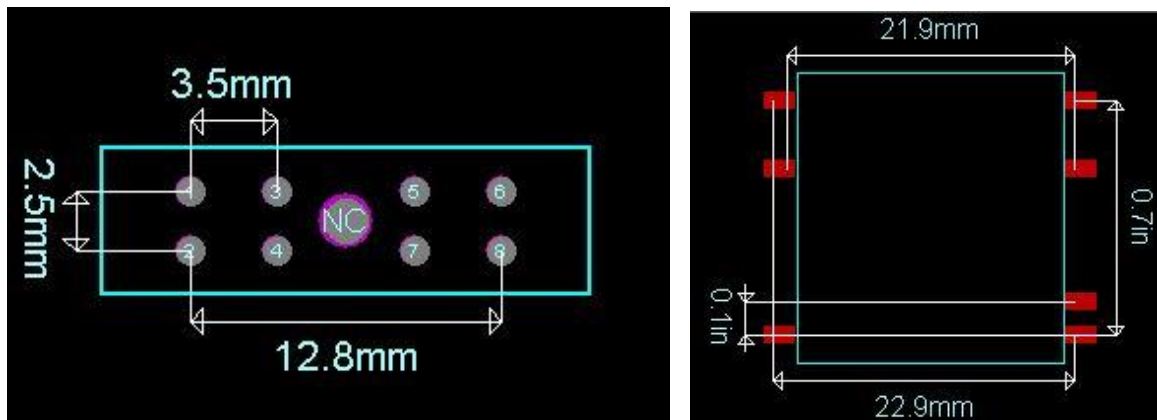
- “SMD” o “En superficie”: Son todos aquellos componentes que se montan en forma superficial, es decir, están pensados para soldar la componente por el mismo lado de la placa en donde se emplazó (zonas negras de la huella del Traco Power en la figura 28) . Estos son de tamaño reducido y se pueden fabricar circuitos pequeños y densos.

Por ejemplo Traco Power THL 6, ver figura 38.



*Figura 37. Ejemplo pad y encapsulado SMD, Traco Power THL 6*

Algunos de los componentes utilizados no tenían huella en la librería de proteus, por lo que ha sido necesario diseñarlos uno a uno. Es el caso del portafusible (Through Hole) o del Traco power (SMD), entre otros, ver figura 38.



*Figura 38. Huella del portafusible a la izquierda y del Traco power a la derecha.*

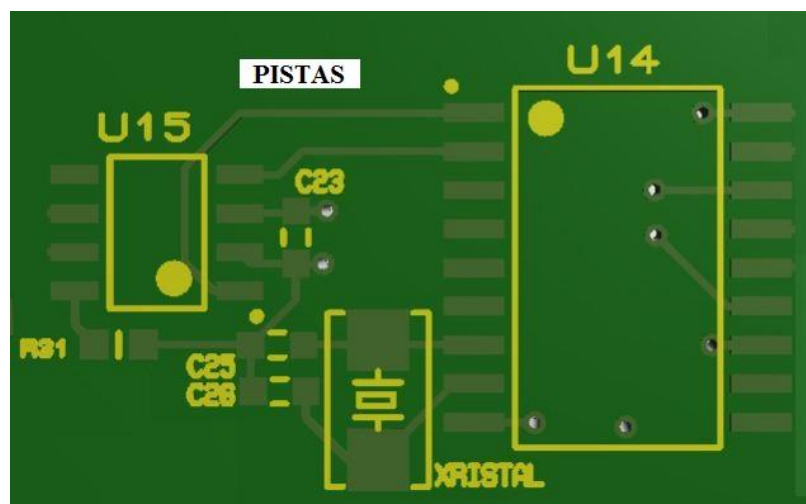
### 3.4.1.2 Pistas o tracks.

Una pista es un camino conductor de cobre que sirve para conectar varios pads, es decir, donde descansa el pin o terminal de un componente. Las pistas pueden ser de distinto ancho dependiendo de las corrientes que fluyen a través de ellos.

Es importante separar holgadamente las pistas que puedan tener conflictos, principalmente VCC y GND para evitar cortocircuitos irreparables.

Cabe destacar, que en altas frecuencias es necesario calcular el ancho de la pista de forma que exista una adaptación de impedancias durante todo su recorrido. Así, el ancho de las pistas de VCC y GND van a ser bastantes más anchas que las demás. Las pistas pueden pasar de una capa a otra a través de perforaciones metalizadas, que se explicaran a continuación.

En la figura 39 se puede observar algunas pistas entre diferentes componentes de la placa diseñada.



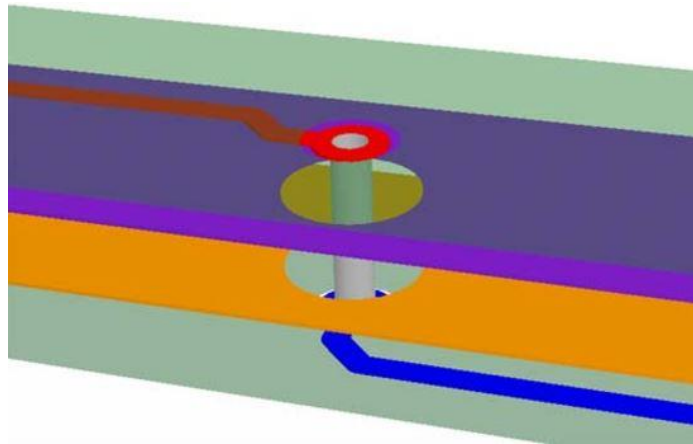
*Figura 39. Pistas entre diferentes componentes de la placa electrónica general del sistema.*



### 3.4.1.3 Perforaciones metalizadas

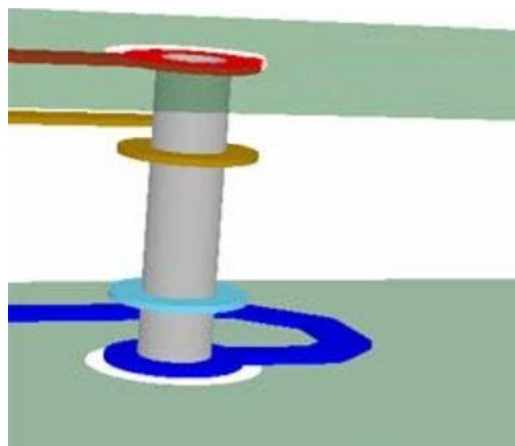
Cuando se debe realizar una conexión de un componente que se encuentra en la capa superior de la PCB con otro de la capa inferior, se utiliza una vía. Una vía es una perforación metalizada que permite que la conducción eléctrica no se interrumpa cuando se pasa de una superficie a otra.

En la figura 40 puede apreciarse como una pista de la capa superior atraviesa la placa electrónica apareciendo una nueva pista en la capa inferior.



*Figura 40. Perforación metalizada 1 atravesando la PCB.*

Dichas perforación es también se pueden usar para sacar pistas en cualquiera de las 4 capas existentes. En la figura 41 se observa otra perforación metalizada en la que han salido 3 pistas diferentes de las 4 capas existentes.



*Figura 41. Perforación metalizada 2 atravesando la PCB.*

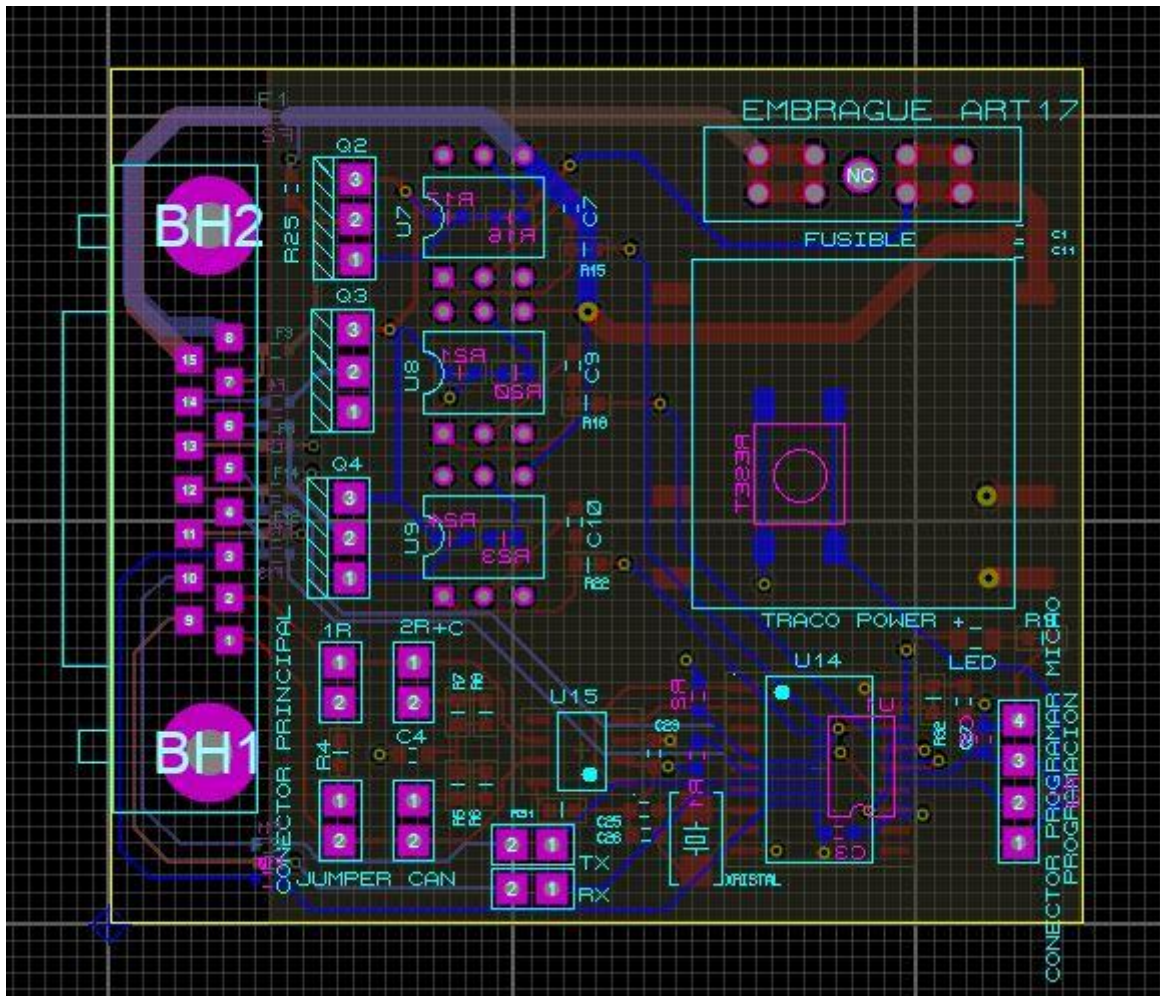




### 3.4.1.4 Resultado final.

Tras aplicar las diferentes técnicas mencionadas anteriormente y realizar diferentes versiones del sistema el resultado de la placa electrónica fue muy satisfactorio.

En la figura 42 se puede observar la PCB, en el que a simple vista es difícil diferenciar entre las pistas de cada capa. Volver a ver tabla 4 para diferenciar por colores las pistas de las diferentes capas.

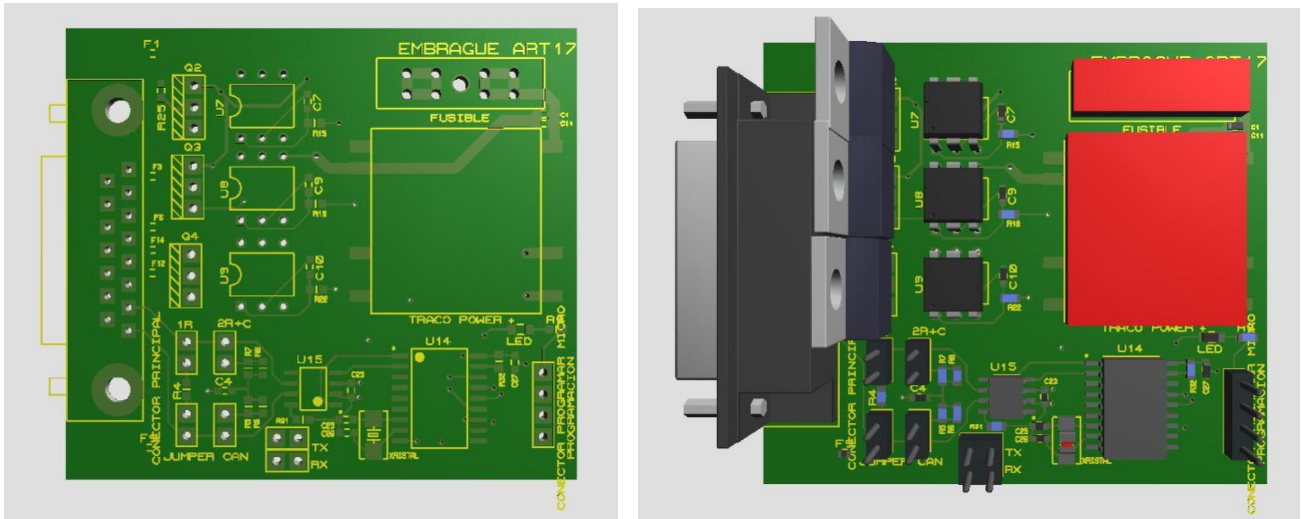


*Figura 42. PCB final de la placa electrónica general del sistema*



La parte superior de la placa electrónica se puede observar en la figura 43. En la izquierda se observa la simulación del circuito impreso final con las pistas, perforaciones y huellas de los componentes.

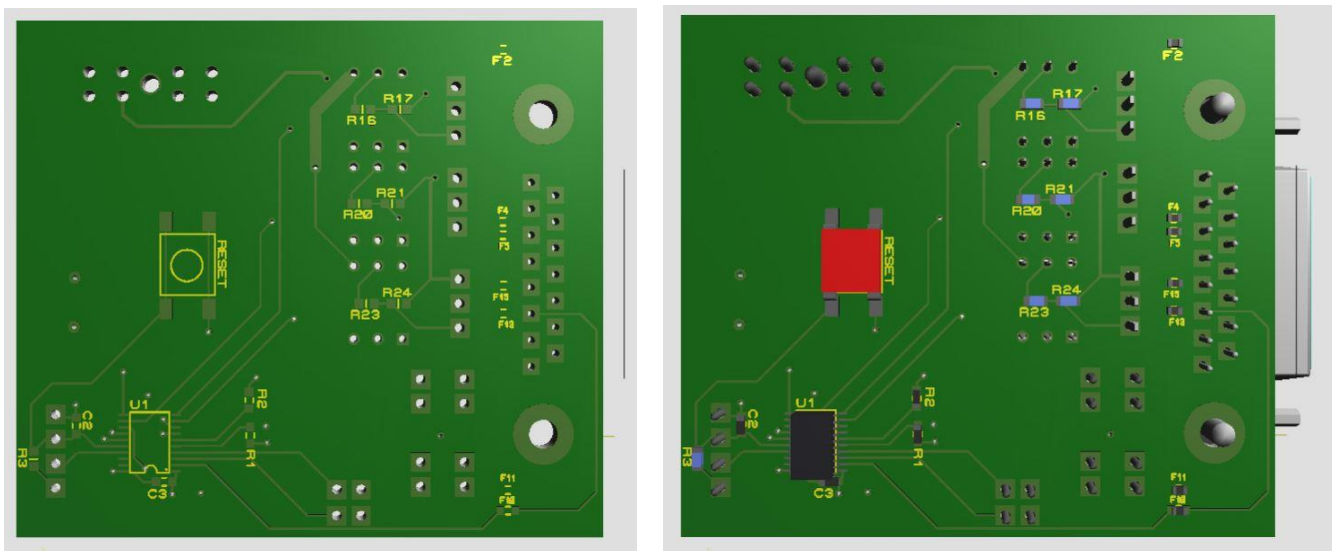
En la derecha se encuentra la visualización en 3D que ofrece PROTEUS con la mayoría de los componentes colocados.



*Figura 43. Resultado final de la parte superior de la placa electrónica.*

De igual forma, se puede observar la parte inferior de la placa electrónica en la figura 44.

Dicha parte se encuentra bastante más desierta respecto a componentes, ya que solo aparecen algunas resistencias, condensadores, ferritas, un pulsador (RESET) y el Microcontrolador.



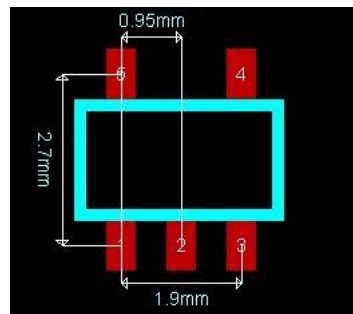
*Figura 44. Resultado final de la parte inferior de la placa electrónica.*



### 3.4.2 Circuito impreso, PCB, de la placa electrónica simple para el Buffer Schmitt-Trigger

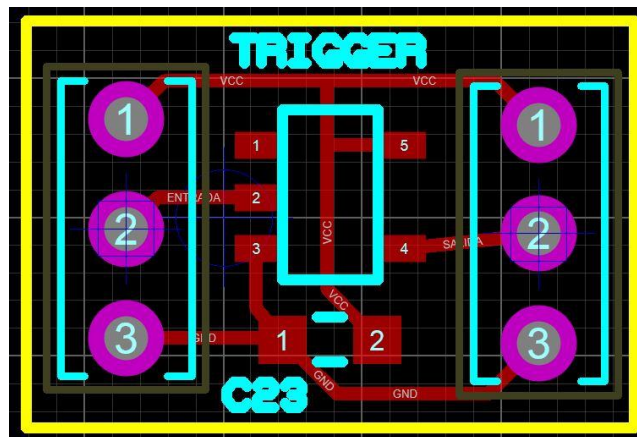
Esta segunda placa es mucho más simple que la anterior. Está formada por una única capa y tiene muy pocos componentes: condensador y Buffer Schmitt-Trigger. Se ha seguido las mismas técnicas mencionadas anteriormente para su diseño.

La huella del Buffer Schmitt-Trigger tampoco estaba disponible en la librería de proteus, por lo ha sido necesario hacer su diseño, ver figura 45.



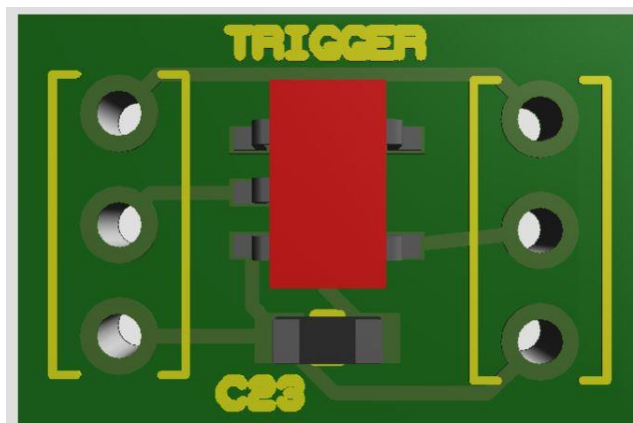
*Figura 45. Huella del Buffer Schmitt-Trigger.*

El circuito impreso de esta placa se puede ver en la figura 46.



*Figura 46. PCB de la placa electrónica simple del Buffer Schmitt-Trigger.*

La simulación de la placa electrónica en 3D se puede observar en la figura 47.



*Figura 47. Simulación en 3D de la placa electrónica básica del Buffer Schmitt-Trigger.*



## 4 TESTEO DEL SISTEMA

---

Este capítulo se divide en tres testeados diferentes:

### 4.1. Montaje y Testeo de la placa electrónica.

El testeo de la placa se realizará paralelamente al montaje de la misma. Se irán soldando los diferentes componentes de dicha placa y se comprobará el funcionamiento, principalmente haciendo uso del multímetro para comprobar la continuidad.

- Continuidad en las pistas.

En primer lugar se comprobará continuidad en todas las pistas de la placa, sin tener soldado ningún componente y ayudándose de la PCB. Hacer especial hincapié entre las pistas de alimentación y tierra, 12V, 3'3V, GND señal y GND potencia.

- Traco power, portafusible y conector principal.

Se continúa soldando el conector 15 pines, el portafusible, el traco power y sus condensadores y comprobar que todos los componentes hacen un buen contacto con la placa.

A continuación conectar una batería externa (12V) a los pines correspondientes del conector de 15 pines, colocar un fusible en el portafusible y comprobar que el traco power funciona correctamente, transformando los 12V de entrada en 3,3V. Así pues, comprobar dicho voltaje en las diferentes zonas de la placa.

- Microcontrolador.

Soldar el microcontrolador MSP430G2553, sus condensadores, sus resistencias, el led, el botón para resetear y el conector de 4 pines para la programación del micro y comprobar que cada componente hace buen contacto con la placa.

Comprobar que el micro se programa correctamente. Conectar externamente el MSP430g2553 LAUNCHPAD y realizar programación ISP con código sencillo (parpadear al led).

Para que el controlador se programe *IN SYSTEM* es necesario cumplir dos condiciones:

- Tener disponible los pines TEST y RESET del microcontrolador. Estas dos señales durante la programación ISP llevan el reloj y los datos.
- La señal RESET no se halle directamente conectada a alimentación.

Esta configuración es la que se realizó en el esquemático explicado con anterioridad, ver figura 23.





- Pulsadores de entrada, potenciómetros de entrada y servomotor.

Comprobar los dos pulsadores de entrada (subir y bajar) y los dos potenciómetros (leva del volante y posición del servomotor) y el servomotor. Conectar los componentes a los pines correspondientes del conector, volver a hacer un código simple para cada uno de ellos, programar micro y comprobar correcto funcionamiento.

- Celdas de potencia.

Soldar los elementos correspondientes a cada uno de las celdas de potencia (paddel subir, paddel bajar y corte de chispa): optoacoplador, resistencias, condensadores y transistor. Realizar un código sencillo y verificar su correcto funcionamiento.

- CanBus.

Soldar los componentes: El MCP2551, MPC2515, resistencias, condensadores, cristal y jumpers. Poder leer información por el CAN.

La lista de testeo y montaje, o checklist, creada para ver posibles errores, dificultades o incidencias y poder solucionarlos en años próximos se puede observar en la tabla 6. La columna central está creada para señalar un “tic”, en caso de que haya sido favorable, o una “cruz”, en caso desfavorable. En este último caso se le asignara una numeración, columna de la derecha, en la que se explicará al detalle el defecto o dificultad encontrada, ver tabla 7.

#### Checklist:

<b><i>CONTINUIDAD EN PISTAS</i></b>	<b>V/X</b>	<b>Nº</b>
Continuidad entre 12V y GND de potencia		
Continuidad entre 3.3V y GND de potencia		
Continuidad entre 12V y GND de señal		
Continuidad entre 3.3 y GND de señal		
Continuidad entre GND de potencia y GND de señal		
Continuidad entre 12V y 3.3V		
<b><i>TRACO POWER, PORTAFUSIBLE Y CONECTOR 15 PINES</i></b>		
Soldadura Traco Power		
Soldadura Portafusible		
Soldadura Conector 15 pines		
Soldadura Condensadores		
Tensión de 12V		
Tensión de 3.3V en alimentación MSP430G2553.		
Tensión de 3.3V en alimentación MCP2551 CANBUS.		
Tensión de 3.3V en alimentación MCP2515 CANBUS.		
Tensión de GND de señal		
Tensión de GND de potencia		
<b><i>MICROCONTROLADOR Y COMPONENTES</i></b>		
Soldadura MSP430G2553		
Soldadura Condensadores microcontrolador		
Soldadura Resistencias microcontrolador		
Soldadura Pulsador Reset		
Soldadura Conector 4 pines (Programación)		



Soldadura LED		
¿Programación correcta?		
¿Algoritmo del tiempo de parpadeo del led correcto?		
<b>PULSADORES , POTENCIÓMETROS Y SERVOMOTOR</b>		
Pulsador subir		
Pulsador bajar		
Potenciómetro leva volante		
Potenciómetro servo		
Servo		
<b>CELDA DE POTENCIA</b>		
Soldadura Condensadores		
Soldadura Resistencias		
Soldadura Optoacopladores		
Soldadura Mosfet IRF 4905		
Paddel Subir (señal salida 12V)		
Paddel Bajar (señal salida 12V)		
Corte de chispa (señal salida 12V)		
<b>CANBUS</b>		
Soldadura Condensadores		
Soldadura Resistencias		
Soldadura Cristal		
Soldadura Jumpers		
Soldadura MCP2551		
Soldadura MCP2515		
Leer CanBus		

*Tabla 6. Checklist del testado de la placa electrónica*

### Incidencias:

Nº	EXPLICACIÓN INCIDENCIA

*Tabla 7. Incidencias encontradas en la checklist*

En el testado no se encontró ningún incidente grave, toda la placa funcionaba a la perfección. Si es cierto que se tuvo que repasar algunas soldaduras que no realizaban un buen contacto.



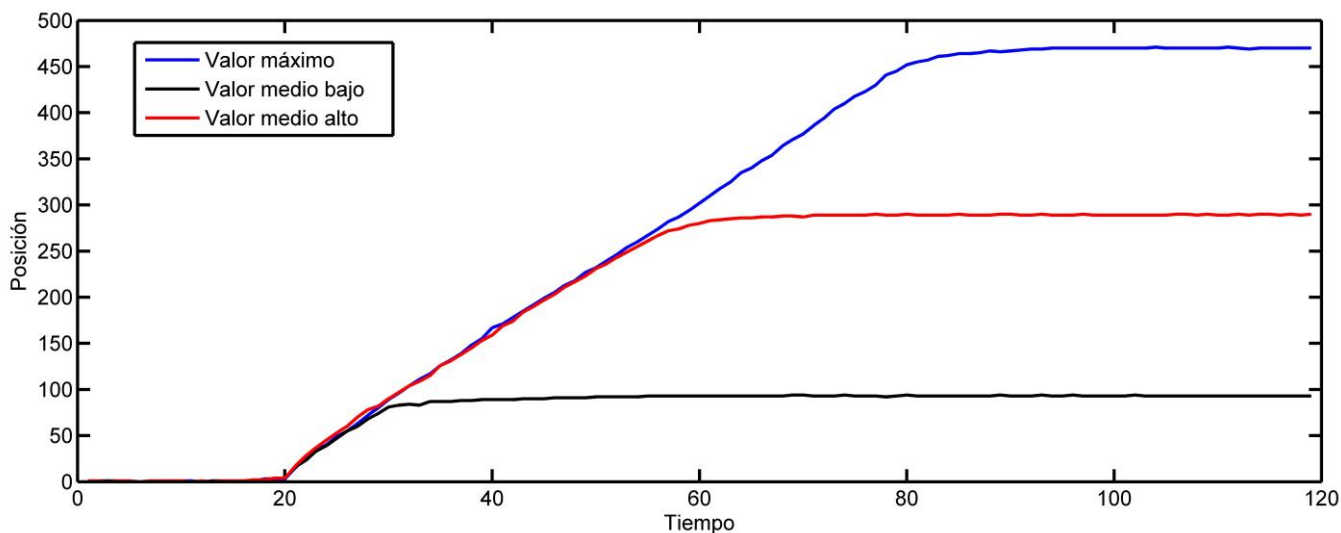
## 4.2. Testeo del Servomotor.

El uso del servomotor fue nuevo este año por lo que había que asegurarse de su correcto funcionamiento. El testeo se centrará principalmente en el control de posición y en la velocidad que ofrecería. Se hizo un intento de testeo en fuerza, pero los resultados no fueron concluyentes al ser una prueba compleja ya que la fuerza del servomotor es muy grande.

- **POSICIÓN:** El recorrido del servomotor es de 135 grados, colocándose en la posición de  $0^\circ$  al enviar una señal PWM con pulso de 800ms y colocándose en la posición  $135^\circ$  a los 2050 ms.

Para llegar a estas conclusiones se tuvo que ir haciendo un estudio a base de “prueba y error”, es decir probando un valor e ir subiendo hasta que comenzase a moverse (límite inferior o  $0^\circ$ ) e igualmente continuar subiendo hasta apreciar que dejaba de moverse (límite superior o  $135^\circ$ )

- **VELOCIDAD:** Se tuvo la duda de si se podría aumentar la velocidad de dicho servomotor realizando un control propio, ya que se tendría un potenciómetro que diría la posición en la que se encontraba el servomotor y se podría realimentar fácilmente. Por otro lado se sabía que el servo tenía su propia realimentación por lo que realmente se dudaba de que se pudiera superar dicha velocidad. Por todo ello y para salir de dudas se realizaron 2 pruebas.
  - **Prueba A:** dicha prueba va a consistir en dar 3 escalones de diferente posición y ver la respuesta del sistema. De esta forma se podrá ver si la velocidad del servo depende de ello, ver figura 48.

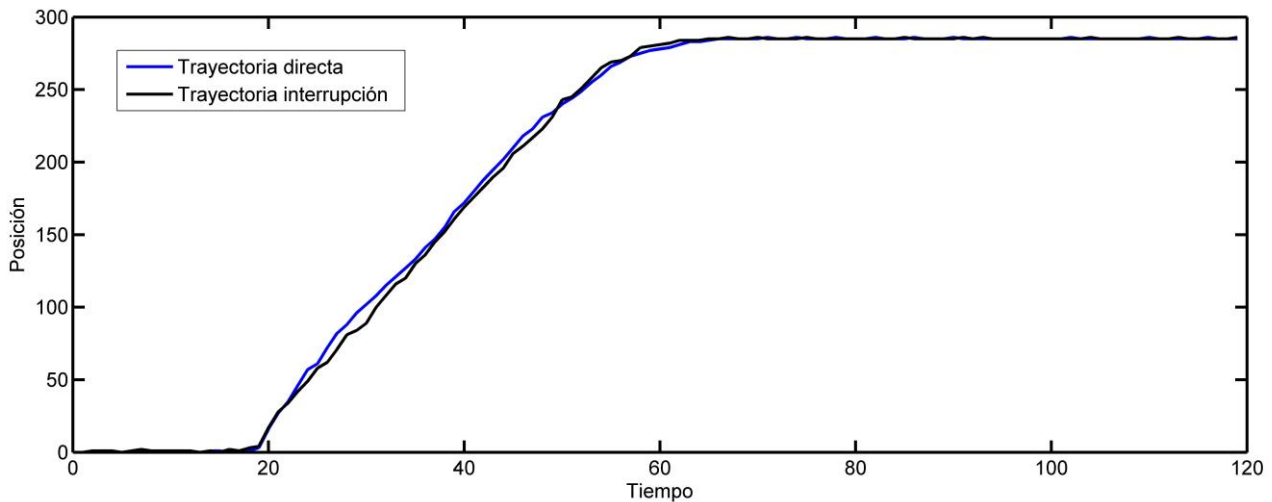


*Figura 48. Prueba A. Test velocidad servomotor*

Se puede apreciar que la velocidad de para las tres posiciones es la misma, siendo esta prácticamente lineal en su subida.



- **Prueba B:** En primer lugar se realizó un escalón enviando una señal PWM intermedia de 1800ms. Luego se ha hecho otro escalón de 2170ms (máximo) que será interrumpido cuando pase por la posición del potenciómetro correspondiente a 1800ms para que el servo se coloque en dicha posición, ver figura 49:



*Figura 49. Prueba B. Test velocidad servomotor.*

Se puede apreciar que la velocidad para ambas pruebas es prácticamente la misma, siendo esta imposible de superar con un control externo.

Como conclusión del testado del servomotor se puede decir que no es necesario controlar en velocidad ya que siempre actúa a la velocidad máxima y dicha velocidad no se puede superar. Por ello se controlará únicamente en posición para que el embragado sea efectivo.

### **4.3. Testeo del FlatShifter Max Paddel.**

Este actuador del cambio de marchas ya fue utilizado en años anteriores por el equipo, así que se conocía su funcionamiento. El testeo de este actuador fue básicamente comprobar que funcionaba y que no se había dañado de los años anteriores.

Se ha utilizado la placa electrónica ya testeada y configurada correctamente, una batería externa para alimentar y el FlatShifter con su correspondiente controlador.

Se realizó las conexiones de todos los componentes mencionados y una vez asegurada todas las conexiones se verificó que funcionaba correctamente en todos los aspectos. Se cambió la mayor parte del cableado para evitar problemas de malas conexiones.





# 5 FABRICACIÓN Y MONTAJE

El proceso de fabricación es una de las partes más complejas a realizar, ya que hay que plasmar todo el estudio teórico en resultados reales. Plasmar en papel el trabajo realizado en la fabricación es también bastante complejo. Los aspectos más importantes de dicho proceso fueron los siguientes:

## 5.1. Cableado

El cableado es una parte bastante importante en la fabricación del monoplaza. Al realizar todo su montaje en Catia se tiene unos valores aproximados del cableado, pero no se realizó el pedido final hasta que se comprobó todas las medidas en el chasis. La mayoría de las medidas coincidían con las aportadas por Catia pero otras no eran realistas y tuvieron que ser modificadas.

El cableado final del sistema del embrague en el monoplaza, junto a su longitud, se puede observar en la tabla 8.

Conexión del cable	Longitud (m)
Servomotor, tierra.	0.74
Servomotor, alimentación.	1.10
Servomotor, señal	1.20
PCB principal, tierra.	0.94
PCB principal, alimentación.	0.10
PCB Trigger, tierra.	1.12
PCB Trigger, alimentación.	1.12
Paddel Flatshifter Max, tierra.	0.66
Paddel Flatshifter Max, alimentación.	0.96
Paddel Flatshifter Max, subir	0.94
Paddel Flatshifter Max, bajar	0.94
Potenciómetro servo	1.16
Potenciómetro leva embrague	1.00
Pulsador leva subir	1.00
Pulsador leva bajar	1.00
CAN H	0.08
CAN L	0.08
Corte de chispa	0.30

*Tabla 8. Cableado del sistema del embrague en el monoplaza.*

## 5.2. Fabricación del acoplamiento del embrague.

La fabricación de piezas se han realizado por dos métodos diferentes: corte por láser y mecanizado. Dependiendo del tipo de pieza se elige un método u otro.

- Los mecanizados se han realizado en el “Taller de fabricación y mecanizados” de la ETSI, ya que dicho departamento ayuda en la fabricación. Los cilindros junto a sus roscas correspondientes han sido fabricados por este método.

Los planos de piezas creadas por mecanizado se encuentran en los ANEXOS 1 Y 2. En dichos planos aparece el número necesario de piezas, el material y los datos del autor entre otros.

- El corte por láser los realiza una empresa especializada en ello. Las piezas planas como las cogidas del servo han sido fabricadas por este método.

Los planos de las piezas de corte por láser se encuentran en los ANEXOS 3 y 4. Las piezas de estos planos no están acotadas, ya que se deben hacer a escala 1:1, mencionando el espesor necesario en el nombre de la pieza y la cantidad necesaria en la casilla correspondiente.

En todos nuestros planos se ha pedido 4 piezas, para tener siempre alguna preparada en caso de rotura o defecto. Las piezas recibidas deben ser ligadas y retocadas antes de poder hacer uso de ellas.

Algunas piezas reales se pueden observar en la figura 50.



*Figura 50. Piezas reales fabricadas.*



Importante siempre es el peso total del acoplamiento. El peso fue de 81 gramos, sin añadir pequeños detalles como tornillos, arandelas o soldaduras, por lo que se decidió considerar 100g el peso total del acoplamiento, ver figura 51.



*Figura 51. Peso de las piezas fabricadas.*

Para realizar las soldaduras oportunas se han aplicado dos métodos:

- Soldadura TIG. Entre sus características destacan:
  - No se requiere de fundente y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura.
  - No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco.
  - Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión.
  - La calidad del acabado es bastante buena, se necesita gran habilidad por parte de los operarios y el coste es medio-alto.

Este tipo de soldaduras se ha realizado en la unión entre tornillos y cilindros como se explicara más adelante.

- Soldadura por arco eléctrico. El calidad del acabado es baja, se necesita gran habilidad por parte del operario y tiene un coste bajo. El arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto. Con el calor del arco, el extremo del electrodo se funde y se quema el recubrimiento, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido.

Este tipo de soldadura se ha realizado para unir los cilindros a las chapas y las cogidas del servomotor al chasis.



Destaca frente a lo demás la fabricación final de los tornillos pasantes en los nodos del mecanismo de 4 barras. El procedimiento fue el siguiente:

1. Roscar el tornillo en el cilindro fabricado.
2. No atravesar por completo dicho cilindro y realizar soldadura TIG en la parte superior e inferior de dicho cilindro, uniendo así ambos materiales.
3. Eliminar la cabeza del tornillo y aplicarle buena lija.

De esta manera los tornillos quedan fijados tanto en el servo (manivela) como en la leva del embrague (balancín) y para cada montaje o desmontaje solo es necesario desacoplar la barra de los RodEnds (biela).

El resultado casi final del acoplamiento es el mostrado en la figura 52, donde se puede apreciar los tornillos pasantes, algunas soldaduras y la fijación del servomotor al chasis.



*Figura 52. Acoplamiento del embrague real.*

Tras verificar todos los elementos del mecanismo y realizar una buena fijación, se comprobó que el servomotor fuera capaz de embragar y el resultado fue todo un éxito.



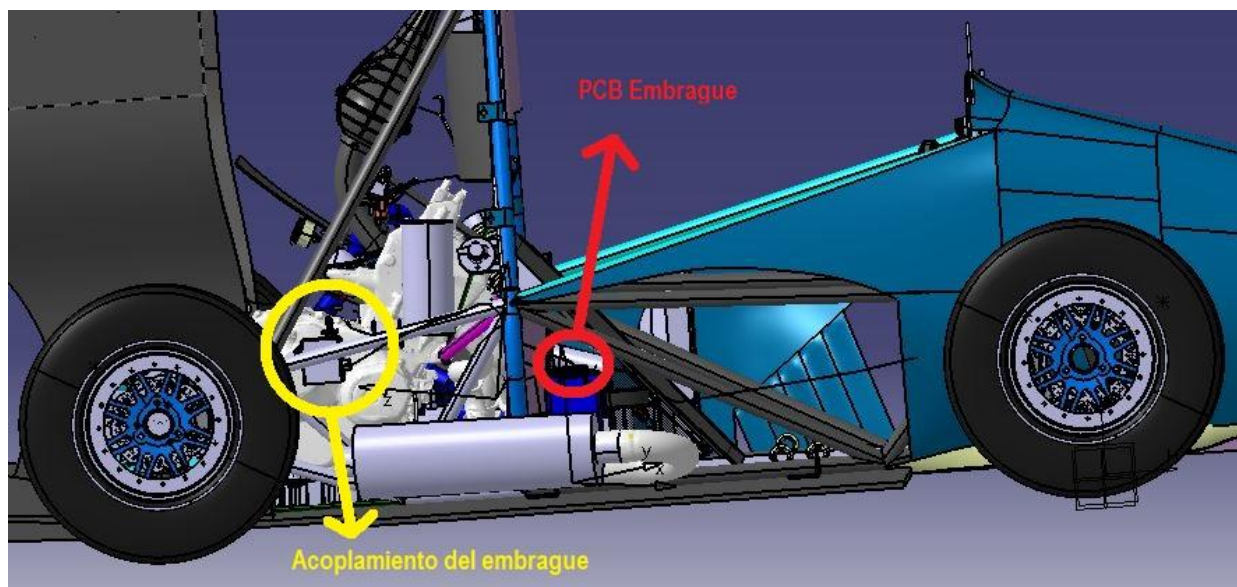
### 5.3. Montaje del resto del sistema

La fabricación y el montaje del posicionamiento final del actuador de cambio de marchas (FlatShifter Max Paddel) fue realizado por el departamento de Motor, aunque supervisado por nuestro departamento de Electrónica. Se encuentra situado en la parte izquierda del motor.

Se fabricó una caja protectora para la PCB en impresión 3D, realizada por el departamento de Interior. Su posición en el monoplaza fue, junto al resto de placas, detrás de firewall o cortafuego (donde el piloto apoya la espalda al conducir el monoplaza).

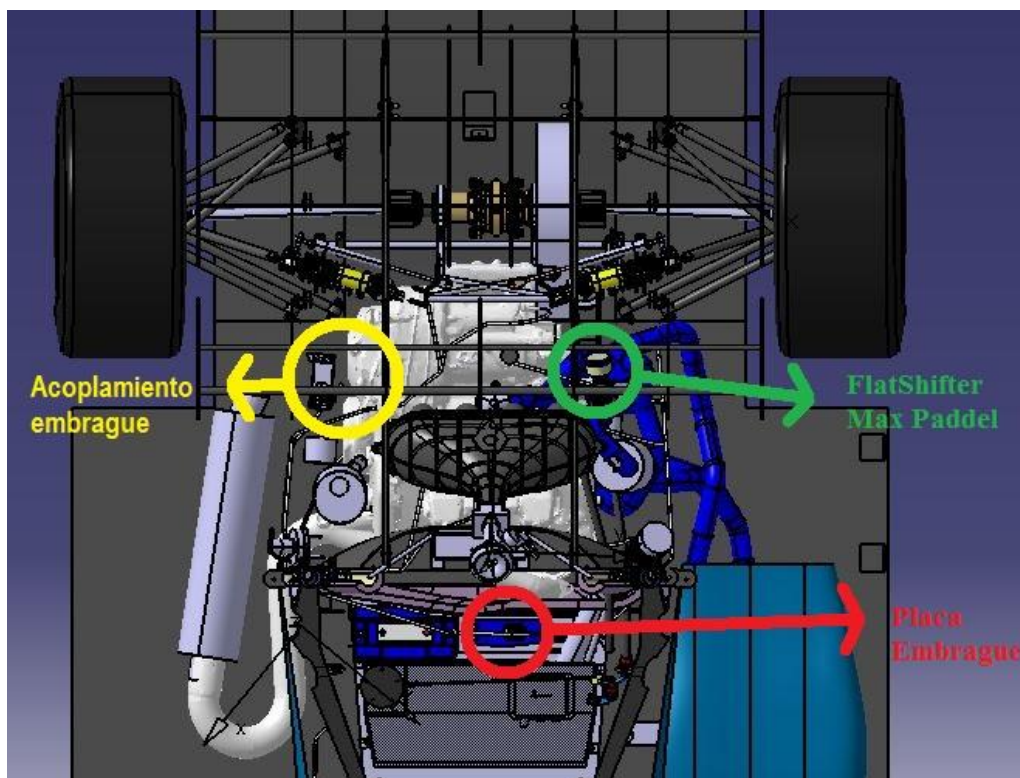
El acoplamiento del embrague junto al servomotor está situado en la parte derecha del motor.

En las figuras 53,54 y 55 se puede observar la posición de cada uno de los principales elementos del sistema del embrague.

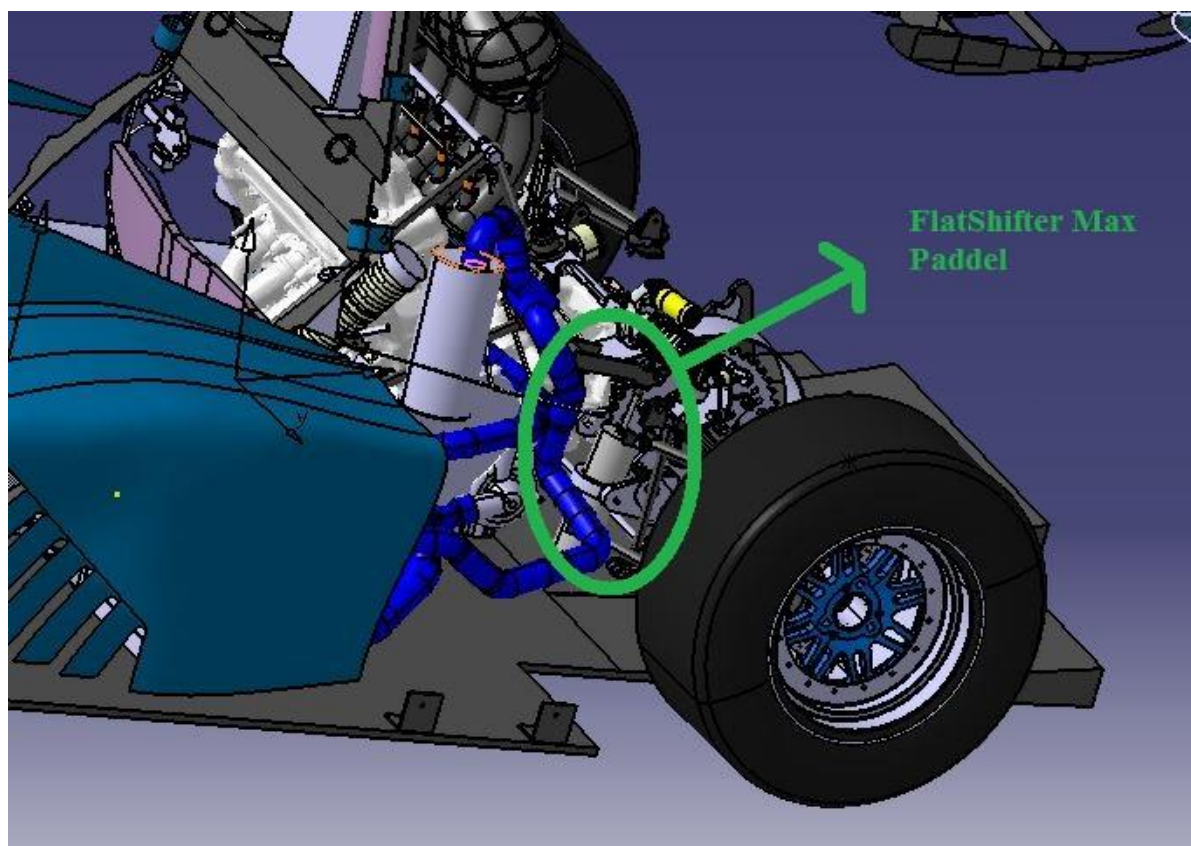


*Figura 53. Vista lateral derecha de la locación de los principales elementos del sistema del embrague.*





*Figura 54. Vista desde arriba de la locación de los principales elementos del sistema del embrague.*



*Figura 55. Vista lateral izquierda de la locación de los principales elementos del sistema del embrague.*



# 6 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA Y CONCLUSIÓN

---

## 6.1. Introducción

En el último capítulo se va a hablar de la programación de la placa electrónica estudiada. La codificación real del sistema se realizó con el programa “Code Composer Studio” y ocupaba unas 300 líneas. Por motivos de privacidad del equipo no se va a plasmar los códigos reales, pero si se va a realizar un diagrama de bloques en el que se entienda fácilmente la programación.

## 6.2. Diagrama de bloques.

El código se basa en tres puntos clave: leva del embrague (potenciómetro), leva para subir de marcha (pulsador) y leva para bajar de marcha (pulsador).

- Leva del embrague: se va a hacer uso de ella en la salida y en la parada del monoplace principalmente. Consiste en un potenciómetro que leerá en cada instante la posición de la leva y el embragado seguirá dicha leva. Así el monoplace se quedará sin embragar cuando la leva no esté pulsada y embragará a su límite cuando la leva esté pulsada al máximo.
- Pulsador subir: cuando este hecho se produzca se leerá por CanBus la marcha en la que se encuentra la caja de cambios (información que ofrece la ECU del motor). Existirá un temporizador que es el tiempo que necesita dicha marcha para completar el embragado antes de ejecutar el cambio. El tiempo de embragado de cada una de las marchas será diferente, ya que no se necesita el mismo embragado para meter segunda que para meter quinta (prácticamente no se necesita embragar). Una vez finalizado el temporizador, el actuador de cambio de marchas realiza su función, se activa un segundo temporizador para que le dé tiempo de ejecutarse correctamente y finalmente se desembraga.
- Pulsador bajar: el procedimiento es análogo al proceso de subir de marchas.

De la placa diseñada hay dos configuraciones de las que no se ha hecho uso:

- El corte de chispa: Se trata de una configuración de la ECU para poder cambiar de marchas sin tener que dejar de pisar el acelerador (al subir de marcha) y ganar velocidad. Además tampoco es necesario embragar. Está correctamente diseñado pero es complejo realizar una buena configuración del mismo, ya que es necesario conocer al detalle el funcionamiento del motor para que el sistema no de problemas. El próximo año será una de las metas del departamento de Electrónica.
- Potenciómetro del servomotor: se ha hecho uso de él para el testeado de la placa y para realizar algunas pruebas iniciales, pero en la programación final se decidió hacer uso de un temporizador para tener los diferentes tiempos de embragado.

La programación está realizada, dentro de lo posible, por el mayor número de interrupciones, para así reducir el consumo de del microcontrolador. El diagrama de flujo se puede observar en la figura 56.

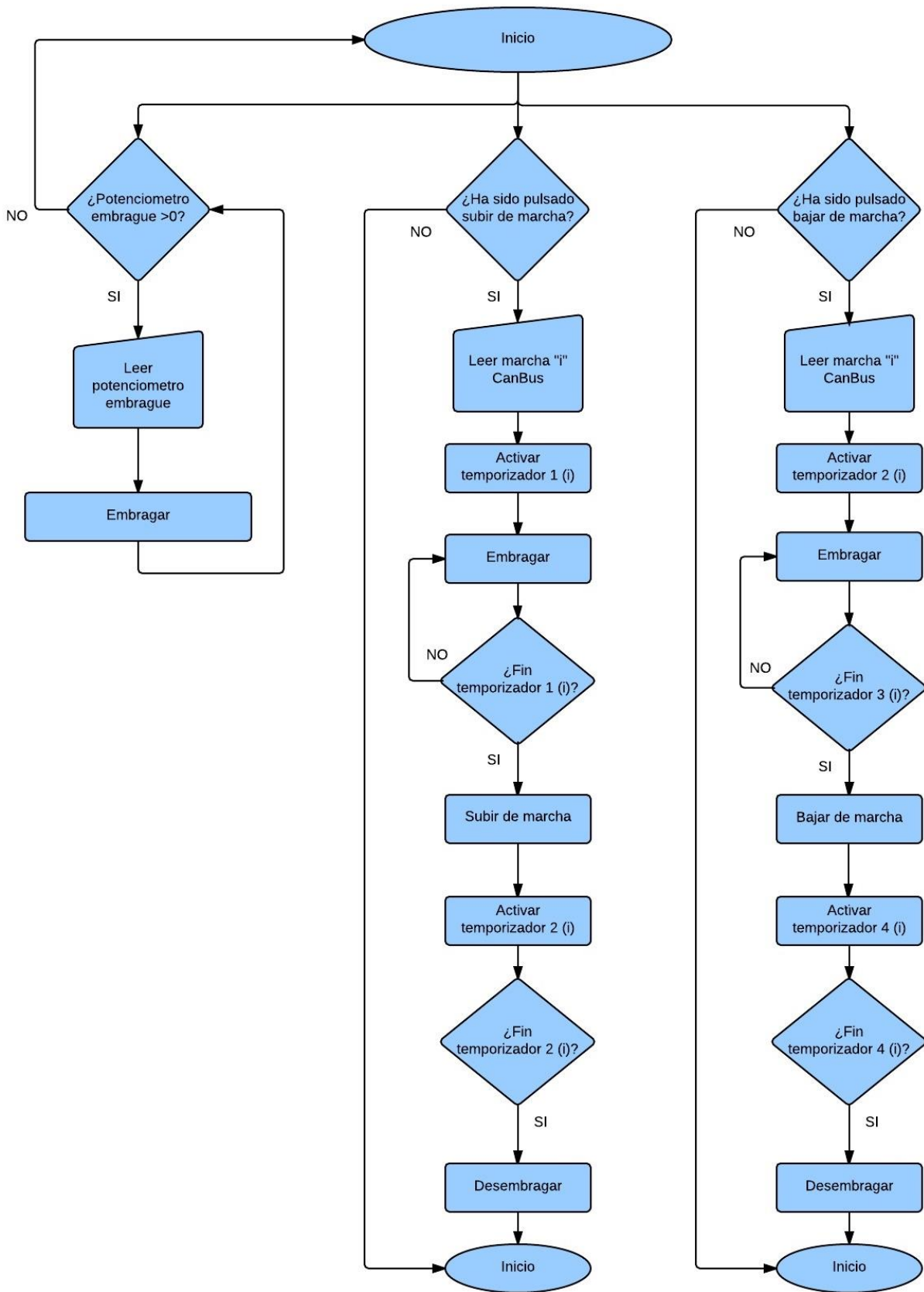


Figura 56. Diagrama de bloques de la programación.





### 6.3. Conclusiones

El desarrollo completo del sistema de embragado y cambios de marcha de un monoplaça para dicha competición es complejo y abarca ámbitos de ingeniería como electrónica, automática, mecánica, diseño y eléctrica. Se han utilizado programas informáticos como Catia, Matlab, Code Composer Studio, WinMec o Autocad entre otros.

En el capítulo 1 se ha realizado una introducción del sistema a estudiar, analizando las necesidades de dicho sistema y como se van a satisfacer.

En el capítulo 2 se ha hablado de los actuadores empleados en el sistema de embragado y cambio de marchas, mostrando sus principales características. La configuración de las levas del volante y el estudio del mecanismo de 4 barras también han sido puntos importantes de este capítulo.

En el capítulo 3 se ha realizado el estudio teórico de las placas electrónicas necesarias, en las que hay que destacar el estudio del esquemático y de la PCB, junto a un listado con todos los componentes necesarios.

El capítulo 4 trata del testeo de todas las partes del sistema en estudio, es decir, del actuador del embrague o Servomotor, de la placa electrónica fabricada y del actuador de cambio de marchas o FlatShifter Max Paddel.

El capítulo 5 se debe a la fabricación y montaje del sistema en el monoplaça.

El último capítulo habla principalmente de la programación de la placa, en el que se puede observar un diagrama de flujo de dicha programación.

La realización de este proyecto ha sido la mayor experiencia educativa que he tenido. Estar en constante contacto con el sistema del embragado, realizar todo un estudio teórico, llevarlo a la práctica y ver sus resultados es exactamente lo que esperaba con esta experiencia y por ello estoy muy satisfecho.

Los resultados esperados no siempre fueron buenos pero hay que tener la capacidad para solventar situaciones adversas, aumentando así notablemente los conocimientos y llegando a ser un mejor ingeniero.

Destacar que el trabajo en equipo ha sido fantástico, intercambiando conocimientos unos con otros y apoyándonos constantemente y concluir que el resultado final del sistema de embragado en las competiciones ha sido un rotundo éxito.



## REFERENCIAS

---

- [1] Irving L. Kosow , «Máquinas eléctricas y transformadores». Pearson Educación. 2011.
- [2] Kalpakjian, Serope, and Steven Schmid, “Manufacturing Engineering and Technology”. Upper Saddle river, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [3] Jeffus, Larry. “Welding: Principles and Applications”. Florence, KY: Thomson Delmar Learning, 2002.
- [4] Formula SAE - SAE Collegiate Design Series - Students - SAE International. Students.sae.org. <http://students.sae.org/cds/formulaseries/about/>
- [5] Baja SAE - SAE Collegiate Design Series - Students - SAE International. Students.sae.org. <http://students.sae.org/cds/bajasae/about/>
- [6] Diseño de PCB con EAGLE por HeTPro PCB & PCBA. HETPRO / TUTORIALES. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/guia-diseno-de-pcb-con-eagle/>
- [7] Electrosoft Ingeniería - Conceptos y terminologías utilizadas en el diseño circuitos impresos PCB. Pcb.electrosoft.cl. <http://www.pcb.electrosoft.cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html>
- [8] Disparador Schmitt. Es.wikipedia.org. [https://es.wikipedia.org/wiki/Disparador\\_Schmitt](https://es.wikipedia.org/wiki/Disparador_Schmitt)
- [9] Modulación por ancho de pulsos. Es.wikipedia.org. [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos)

# ANEXO 1



<b>NOMBRE DE LA PIEZA</b>		<b>Cilindro 1</b>			
<b>MATERIAL</b>	Acero	<b>ESCALA</b>	1 : 1		
<b>TAMBAÑO</b>	Nº DE HOJA	<b>AUTOR:</b>	Francisco J Castaño Fuentes		
A4	1 / 1	<b>REVISADO POR</b>	Juan Manuel Bozada Carrmona		
<b>VERSION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FECHA:</b>	02/03/2017		
1.0	4	<b>FECHA:</b>	07/03/2017		
		<b>E-mail:</b>	fcjavier1993@hotmail.com		
		<b>Teléfono:</b>	618433672		
		<b>E-mail:</b>			
		<b>Teléfono:</b>			

# ANEXO 2

<p>NOMBRE DE LA PIEZA</p> <h2>Cilindro 2</h2>		<p>DEPARTAMENTO</p> <p>Electrónica</p>		<p>REFERENCIA</p>		
		<p>MATERIAL</p> <p>AL 7075-T6</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:1</p>	<p>FECHA:</p> <p>02/03/2017</p>		
<p>TAMAÑO</p> <p>A4</p>	<p>Nº DE HOJA</p> <p>1/1</p>	<p>AUTOR:</p> <p>Francisco J Castaño Fuentes</p>		<p>FECHA:</p> <p>07/03/2017</p>		<p>E-MAIL:</p>
<p>VERSIÓN</p> <p>1.0</p>	<p>CANTIDAD</p> <p>4</p>	<p>REVISADO POR</p> <p>Juan Manuel Bozada Carmona</p>		<p>FECHA:</p>		<p>Teléfono:</p>

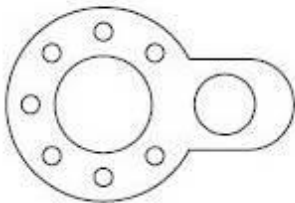


# ANEXO 3

<b>NOMBRE DE LA PIEZA</b> <b>EL_SV1_6mm</b>		<b>ESCALA</b> 1 : 1	<b>DEPARTAMENTO</b> Electrónica	<b>REFERENCIA</b>	
		<b>MATERIAL</b> Acero	<b>AUTOR:</b> Francisco J Castaño Fuentes		
<b>TAMANO</b> A4	<b>Nº DE HOJA</b> 1 / 1	<b>REVISADO POR</b> Juan Manuel Bozada Carmona	<b>FECHA:</b> 02/03/2017	<b>FECHA:</b> 07/03/2017	<b>E-MAIL:</b> fojasventes@nodmail.com
<b>VERSION</b> 1.0	<b>CANTIDAD</b> 4	<b>REVISADO POR</b> Juan Manuel Bozada Carmona	<b>FECHA:</b> 07/03/2017	<b>FECHA:</b> 07/03/2017	<b>Teléfono:</b> 818488872
 <b>ARUS</b> ANÁLISIS Y SISTEMAS DE TRÁNSITO					



# ANEXO 4

<b>NOMBRE DE LA PIEZA</b> <b>EL_SV2_3mm</b>		<b>ESCALA</b> <b>1 : 1</b>		<b>DEPARTAMENTO</b> <b>Electrónica</b>	<b>REFERENCIA</b>	
<b>MATERIAL</b> <b>Acero</b>	<b>TAMAÑO</b> <b>A4</b>	<b>Nº DE HOJA</b> <b>1 / 1</b>	<b>AUTOR:</b> <b>Francisco J Castaño Fuentes</b>	<b>FECHA:</b> <b>02/03/2017</b>	<b>E-mail:</b> fooswvrt1883@indmail.com <b>Teléfono:</b> 818433872	
<b>VERSION</b> <b>1.0</b>	<b>CANTIDAD</b> <b>4</b>	<b>REVISADO POR</b> <b>Juan Manuel Bozada Carmona</b>	<b>FECHA:</b> <b>07/03/2017</b>	<b>E-mail:</b> <b>Teléfono:</b>	