

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

Escuela Politécnica Superior

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
AUTOMÁTICA INDUSTRIAL**

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE LA ADAPTACIÓN DE LA ELECTRÓNICA Y
MOTORES PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE
FÓRMULA SAE**

Autor: Noelia León García

Director: Pedro Alfonso Revenga de Toro

TRIBUNAL:

Presidente: D. Francisco Javier Rodríguez Sánchez.

Vocal 1: D. Santiago Cobreces Álvarez.

Vocal 2: D. Pedro A. Revenga de Toro.

CALIFICACIÓN:.....

FECHA:.....

*A mis abuelos,
Por enseñarme que nunca hay que rendirse
Ni dejar de luchar por lo que uno desea.*

Índice

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Resumen extendido.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN.....	20
1.2 OBJETIVO.....	22
1.3 FASES DEL PROYECTO.....	24
1.4 PRUEBAS DE LA COMPETICIÓN.....	25
1.4.1 PRUEBAS DE SEGURIDAD.....	25
1.4.2 PRUEBAS ESTÁTICAS.....	27
1.4.3 PRUEBAS DINÁMICAS.....	28
2. SEGURIDAD ELÉCTRICA.....	30
2.1 RIESGOS ELÉCTRICOS.....	30
2.1.1 PRINCIPALES PELIGROS.....	33
2.2 SISTEMAS DE SEGURIDAD.....	34
3. NORMATIVA.....	36
4. EL MOTOR.....	37
1.1 INTRODUCCIÓN.....	37
1.2 COMPARATIVA MOTOR ELÉCTRICO vs MOTOR DE COMBUSTIÓN.....	38
1.2.1 VENTAJAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.....	38
1.2.2 DESVENTAJAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.....	40
1.3 ELECCIÓN DEL MOTOR.....	42
1.3.1 MOTOR BRUSHLESS.....	42
1.3.2 TÉCNICAS DE CONTROL PARA LOS MOTORES BRUSHLESS.....	44
1.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR SIN ESCOBILLAS.....	47
1.3.4 MOTOR DC SIN ESCOBILLAS VS DC CON ESCOBILLAS.....	50
1.3.5 MOTOR EMPLEADO.....	51
5. ELECTRÓNICA Y CABLEADO ORIGINAL.....	53
5.1 VECTRIX VX1.....	54
5.2 DIAGRAMA GENERAL VECTRIX.....	62
5.3 SISTEMA DE ARRANQUE.....	64

5.4 ESQUEMAS ELECTRICOS DE ILUMINACIÓN.....	65
5.5 CUADRO Y GRUPO DE INSTRUMENTOS	67
5.5.1 FUNCIONES DE LOS CONMUTADORES.....	68
5.6 BATERÍAS	69
5.7 MOTOR.....	72
5.8 CONTROLADOR DEL MOTOR.....	74
6. MODIFICACIONES EN LA ELECTRÓNICA Y CABLEADO DE LA MOTO.	76
6.1 MODIFICACIONES SISTEMA DE ARRANQUE.....	77
6.1.1 INTERRUPTOR MAESTRO PRIMARIO.....	80
INTERRUPTOR PRINCIPAL DE LA CABINA DE MONTAJE.....	81
6.2 MODIFICACIONES SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	84
6.2.1 LUZ DE FRENO	84
6.2.2 LUZ DE POSICIÓN.....	84
6.2.3 FARO Y LUZ DE CRUCE.....	87
6.2.4 INTERMITENTES.....	88
6.2.5 LUZ DE MALETERO	89
6.2.6 LUZ DE MARCHA ATRÁS	90
6.3 MODIFICACIONES CONJUNTO DE BATERÍAS.....	91
6.4 MODIFICACIONES EN EL MOTOR	98
6.4.1 POTENCIAS.	99
6.5 MODIFICACIONES EN LA ELECTRÓNICA.	101
6.6 MODIFICACIONES EN EL CUADRO Y GRUPO DE INSTRUMENTOS.....	102
7. MODIFICACIONES ADICIONALES.	114
7.1 READY-TO-DRIVE SOUND	114
7.2 IMD (MONITOR DE AISLAMIENTO).	115
7.3 INTERRUPTOR DE INERCIA.	116
7.4 PUESTA A TIERRA.	117
7.5 PRUEBAS DE LA INSTALACIÓN ELECTRICA.....	118
7.5.1 IMDT (INSULATION MONITORING DEVICE TEST).....	118
7.5.2 PRUEBA DE AISLAMIENTO DE MEDICIÓN	119
7.5.3 PRUEBA DE LLUVIA.....	119
8. DOCUMENTACIÓN FSAE.....	120
9. CONCLUSIONES	122
9.1 CONCLUSIONES.	122
9.2 DIFICULTADES OBTENIDAS EN EL DESARROLLO.....	124
9.3 FUTUROS DESARROLLOS.....	125

10. DIAGRAMAS	127
10.1 Plano eléctrico general.....	127
10.2 Plano electrónico general.....	128
10.2.1 RESUMEN DE LOS DISPOSITIVOS.....	129
10.3 Diagrama general	130
10.4 Diagrama general con modificaciones.....	131
11. PLIEGO DE CONDICIONES.....	132
11.1 PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES.	132
11.1.1 Especificaciones de materiales y equipos	132
11.1.2. Especificaciones de ejecución.	134
12. PRESUPUESTO.	135
13. MANUAL DE USUARIO.....	136
13.1 PUESTA EN MARCHA	137
13.2 CONTROLES	138
14. BIBLIOGRAFÍA.....	139
ANEXO I: NORMATIVA FÓRMULA SAE.....	142
ANEXO II: Documentación FMEA.....	144
ANEXO III: Vectrix Maxi Scooter Workshop Manual.....	146
2.1 ILUMINACIÓN.....	147
2.2 CUADRO	163
2.3 BATERÍAS	165

Índice de figuras.

Figura 1. Logo fórmula Student Spain.....	20
Figura 2. Pruebas de seguridad 1.....	25
Figura 3. Pruebas de seguridad 2.....	26
Figura 4. Pruebas de seguridad 3.....	26
Figura 5. Pruebas de seguridad 4.....	26
Figura 6. Pruebas estáticas 1.....	27
Figura 7. Pruebas estáticas 2.....	27
Figura 8. Pruebas de seguridad 3.....	27
Figura 9. Pruebas dinámicas 1.....	28
Figura 10. Pruebas dinámicas 2.....	28
Figura 11. Pruebas dinámicas 3.....	29
Figura 12. Pruebas dinámicas 4.....	29
Figura 13. Efectos fisiológicos de la electricidad.....	32
Figura 14. Packaging y célula de seguridad para la unidad acumuladora.....	34
Figura 15. Motor brushless.....	43
Figura 16. Despiece de motor Brushless DC.....	44
Figura 17. Esquema de los caminos de control trapezoidal.....	45
Figura 18. Esquema de un controlador con conmutación trapezoidal.....	45
Figura 19. Esquema de un controlador con conmutación sinusoidal.....	46
Figura 20. Esquema de controlador con control vectorial.....	47
Figura 21. Tipos de conexión.....	47
Figura 22. Bobinado de un motor brushless conectado en triángulo.....	48
Figura 23. Circuitos controladores de los motores BLDC.....	50
Figura 24. Motor de la moto.....	52
Figura 25. Engranaje planetario.....	52
Figura 26. Interior del motor.....	52
Figura 27. Vectrix VX1.....	53
Figura 28. Componentes importantes de la moto.....	55
Figura 29. Vista frontal de la moto.....	56
Figura 30. Vista del basculante del lado izquierdo.....	57
Figura 31. Vista lateral izquierda.....	58
Figura 32. Vista del controlador del motor.....	59
Figura 33. Vista posterior.....	60
Figura 34. Vista lateral.....	61
Figura 35. Diagrama general moto Vectrix.....	62
Figura 36. Visión general de la moto.....	63
Figura 37. Cuadro de la moto.....	67
Figura 38. Conmutadores de la moto.....	68
Figura 39. Terminales positivo y negativo de la batería principal.....	70
Figura 40. Conector de la batería principal.....	71
Figura 41. Unión del basculante al motor.....	72

Figura 42. Conexión al motor.....	73
Figura 43. Controlador electrónico del motor	74
Figura 44. Diagrama de bloques general.....	77
Figura 45. Llave de la moto	78
Figura 46. Interruptor start/stop.....	78
Figura 47. Medidas del interruptor.....	79
Figura 48. Pulsador arranque	79
Figura 49. Seta de emergencia externa.....	81
Figura 50. Caballete de la moto	83
Figura 51. Seta de emergencia interna.	83
Figura 52. Arco principal	86
Figura 53. Luz intermitente TSAL	87
Figura 54. Luz indicadora de condiciones meteorológicas adversas.	89
Figura 55. Sistema de iluminación situado sobre el diseño del chasis.....	90
Figura 56. Conexión de las baterías en la moto.	92
Figura 57. Celdas de las baterías.....	92
Figura 58. Disposición de las baterías.	93
Figura 59. Zona habilitada para recipiente del acumulador.	94
Figura 60. Carga de nuestro vehículo eléctrico.....	95
Figura 61. Conectores del cargador.	95
Figura 62. Ventilador de refrigeración de las baterías.....	96
Figura 63. Ventilador de baterías.....	97
Figura 64. Rueda de coche.....	98
Figura 65. Rueda de moto.....	98
Figura 66. Centralita electrónica.....	101
Figura 67. Tablero de la moto.....	102
Figura 68. Descripción movimientos.....	103
Figura 69. Boceto del espacio dedicado a la parte frontal.....	105
Figura 70. Medidas interruptor de contacto.....	105
Figura 71. Medidas pulsador secuencia de arranque	106
Figura 72. Medidas interruptor condiciones meteorológicas adversas.....	106
Figura 73. Medidas seta de emergencia interna.....	107
Figura 74. Interruptor de arranque vista lateral	108
Figura 75. Interruptor de arranque vista frontal.....	108
Figura 76. Tuerca interruptor de arranque.....	108
Figura 77. Pulsador start vista frontal.....	109
Figura 78. Pulsador start vista lateral.....	109
Figura 79. Tuerca pulsador start.....	109
Figura 80. Interruptor lluvia vista lateral.....	110
Figura 81. Interruptor lluvia vista frontal.....	110
Figura 82. Tuerca interruptor lluvia.....	110
Figura 83. Seta de emergencia.....	111
Figura 84. Seta de emergencia vista inclinada	111
Figura 85. Tuerca seta de emergencia	111
Figura 86. Adaptación 1.....	112
Figura 87. Adaptación 2.....	113
Figura 88. Secuencia para la prueba IMDT.....	118

Índice de tablas.

Tabla 1. Puntuación de la competición.	22
Tabla 2. Máximo voltaje permitido en las distintas competiciones.....	31
Tabla 3. Evolución de la densidad energética de baterías	40
Tabla 4. Especificaciones generales del motor escogido	49
Tabla 5. DC con escobillas vs DC sin escobillas.	51
Tabla 6. Características principales de la moto.....	52
Tabla 7. Datos generales vectrix VX1.	55
Tabla 8. Iluminación original.	65
Tabla 9. Información general de las Baterías.	69
Tabla 10. Parámetros del TSAL.....	87
Tabla 11. Sistema de aislamiento del vehículo.	115

Acrónimos.

SAE → Society of Automotive Engineers

IMD → Insulation Monitoring Device

IMDT → Insulation Monitoring Device Test

BLDC → Brushless direct current

DC → Direct Current

AC → Altern current

FSE → Electric System Form

FMEA → Failure Modes and Effects Analysis

ECU → Electronic Unit Control

TSAL → Traction Active System Light

EMI → ElectroMagnetic Interference

Resumen.

Este proyecto consiste en la adaptación de la electrónica y de los motores para el diseño y la fabricación de un vehículo monoplace de competición de fórmula SAE, a partir de dos motos de carretera eléctricas. Así pues, participaremos en la competición con un vehículo eléctrico. Se explicará los ajustes necesarios así como los cálculos y diseños realizados para el correcto funcionamiento del monoplace.

La fórmula SAE es una competición dirigida a futuros ingenieros de muchas universidades tanto españolas como de otros países de Europa y de América, donde tuvo su origen dicha competición. El objetivo final por tanto, es participar y clasificarse en el campeonato que se lleva a cabo en el circuito de Montmeló (Barcelona).

Así pues podemos dividir el proyecto en tres partes. La primera fase es la fase teórica, en la cual debemos de informarnos de toda la normativa existente y debemos de realizar el estudio de todos los sistemas para poder escoger el más favorable para nuestro futuro vehículo. Pasamos a la segunda fase, la cual se trata de una fase práctica en la que adaptaremos completamente nuestro coche, partiendo de dos motos eléctricas. Además debemos de añadir todos los elementos necesarios para hacer que nuestro coche sea funcional y práctico. Finalmente llegamos a una fase final en la cual realizaremos las pruebas debidas para comprobar que todo funciona como deseamos y realizaremos la toma de datos para realizar mejoras en futuras competiciones.

Palabras clave: Fórmula SAE, competición, electrónica, motores.

Abstract.

This Project consists of the adaptation of the electronics and the motors for the design and the manufacture of a Fórmula SAE competition vehicle from two electrical road motorbikes. So, we will participate in the competition with an electric vehicle. I am going to explain the necessary adjustments, as well as the calculations and designs, it have been realized for the correct functioning of the car.

The Formula SAE is a competition aimed at future engineers of many universities both Spanish as in other countries of Europe and America, where this competition had its origin. The ultimate goal is, therefore, to participate and qualify in the Championship which takes place in the of Montmeló's circuit (Barcelona).

So we can divide the project in three parts. The first phase is the theoretical phase in which we must inform us of any existing law and we should make the study of all systems in order to choose the most favorable for our future vehicle. In the second phase, which is a practical phase we will adapt our car from two electric motorbikes. We must also add all the elements needed to make our car functional and practical. Finally we arrived at a final stage in which we will make the appropriate evidence to verify that everything works as we want and we will make the collection of data to make improvements in future competitions.

Keywords: Formula SAE, competition, electronics, motors.

Resumen extendido.

Este proyecto consiste en la adaptación de la electrónica y de los motores para el diseño y la fabricación de un vehículo monoplace de competición de fórmula SAE, a partir de dos motos de carretera eléctricas. Así pues, participaremos en la competición con un vehículo eléctrico. Se explicará los ajustes necesarios así como los cálculos y diseños realizados para el correcto funcionamiento del monoplace.

Actualmente los vehículos eléctricos están en continuo desarrollo, se trata de una nueva tecnología que se quiere potenciar e investigar ya que, probablemente será el futuro medio de transporte. Existen numerosos avances en este campo de investigación, claro que sigue habiendo impedimentos para que se establezca como el principal tipo de locomoción. Uno de los principales inconvenientes que presentan los vehículos eléctricos es su autonomía, la cual es muy limitada. Sin embargo, éste, que es el mayor inconveniente que tienen, no lo es para nosotros ya que el objetivo de este proyecto es el diseño de un coche para participar en una competición.

Esta competición es la Formula SAE, una competición entre estudiantes de universidades de todo el mundo que promueve la excelencia de la ingeniería. También conocida como fórmula Student, tuvo su origen en Houston, sin embargo distaba mucho de la actual. Cada vez, con más oportunidad de diseño, imaginación y capacidad de realización por parte de los alumnos.

Hablamos en todo momento de competición por que no se trata únicamente de una carrera donde se evaluaría la rapidez, si no que se trata de un conjunto de pruebas separadas en tres grandes grupos que son: las pruebas de seguridad, las pruebas estáticas y las pruebas dinámicas. Las primeras son obligatorias y sin embargo no puntúan. Esto es porque la seguridad está presente a lo largo de todo el proyecto y si no se supera alguna de estas pruebas no se podrá seguir compitiendo. Una vez finalizadas las pruebas de seguridad, se procede a competir en las otras pruebas que sí puntúan. El ganador será aquel que obtenga el mayor número de puntos obtenidos. La máxima puntuación es de 1000 puntos.

Pero como hemos indicado la seguridad es uno de los aspectos más importantes a lo largo de proyecto, no solo en la competición si no en el desarrollo del mismo. Por ello, y como trabajaremos continuamente con electricidad, debemos de informarnos previamente de los peligros y de los modos de trabajo que debemos de llevar a cabo en caso de algún fallo. Para otros miembros que puedan acceder al área de trabajo se ha realizado un cartel de protecciones indicando las medidas que hay que llevar a cabo en dicho área. A continuación, ha sido necesario realizar un estudio de toda la normativa y restricciones que se imponen por parte de la SAE. La gran mayoría de las modificaciones que haremos a lo largo del proyecto será para cumplir con dicha normativa, ya que la infracción de alguna de ellas, estudiando su gravedad, pueden suponer una descalificación del equipo.

Por otro lado, en mi investigación se ha partido de una moto ya construida, por lo tanto he tenido un sistema en el que basarme y lo primero antes de empezar a trabajar fue determinar nuestro vehículo de tal modo que aclaramos desde un principio que se iba a tratar de dos motos, con sus dos motores y que tendríamos que adaptarlos a un solo coche. Así pues, lo primero en determinar fue el tipo de motor que escogemos para nuestro vehículo y su localización en el mismo. Nosotros hemos escogido dos motores de dos motos eléctricas que incorporaremos en las ruedas del monoplaza de modo que no se pierde energía en la transmisión. Se trata de dos motores de corriente continua sin escobillas, también llamado Brushless (BLDC). La amplia gama de velocidad, su fácil control y su alto rendimiento para un amplio margen de velocidades así como otras muchas características los hacen más apropiados que los motores de corriente alterna para muchas aplicaciones. Sin embargo los motores de corriente continua pueden tener un mantenimiento bastante caro debido a sus escobillas. Como el proyecto tiene un presupuesto restringido hemos optado por, como hemos indicado, motores de corriente continua sin escobillas.

Una vez planteado nuestro sistema eléctrico y motriz, pude proceder a estudiar los cambios que eran imprescindibles de realizar para cumplir tanto con la normativa impuesta por la organización SAE, como aquellos que eran necesarios para que hubiese un correcto funcionamiento del coche. Así pues, he ido modificando cada uno de los componentes y elementos, verificando en cada momento que el resto del sistema funcionaba correctamente de modo que si se cometía algún fallo era fácilmente localizable. Una vez realizado estos cambios, planteo un sistema donde incorporar los nuevos elementos que debíamos incluir, reutilizando en todo momento la electrónica que poseía la moto. Primero con una moto y después con la otra, pude realizar la adaptación creando un coche basado en dos motos eléctricas.

Por último, una vez que el vehículo se desplaza correctamente, hay que realizar pruebas y modificar los aspectos necesarios para mejorar la eficiencia del coche. Como sabemos, para que el vehículo eléctrico se pueda desplazar debe de vencer las fuerzas resistivas que se oponen al movimiento. Estas fuerzas resistivas son: la fuerza de rodadura, que es la fuerza de rozamiento entre los neumáticos y el asfalto, la fuerza de resistencia al viento, que es la fuerza dependiente del diseño del vehículo y su velocidad, que se opone al movimiento del vehículo.

La potencia útil del vehículo es la resultante de multiplicar la fuerza que se consigue de vencer a las fuerzas resistivas por la velocidad a la que se desplaza el vehículo, siendo la potencia útil máxima permitida en la competición, de 85 kW.

Una de las mejoras que hemos conseguido incorporar en el vehículo es eliminar peso por parte del sistema de alimentación. Al tratarse de un vehículo puramente eléctrico, el sistema de alimentación está compuesto tanto por las baterías como por los ventiladores de las mismas, que se trata de un elemento fundamental para la seguridad del vehículo y del conductor, así como del cargador que conecta el sistema de alimentación a la red eléctrica para suministrar electricidad a las baterías cuando estas se descarguen.

Sin embargo el cargador, que inicialmente está incluido en la moto, se ha sacado del vehículo para aligerar peso ya que es un elemento que a lo largo de la competición no es necesario, debido a que las baterías ya estarán cargadas para poder competir. Por otro lado incluiremos un departamento habilitado para que en el momento que se descarguen las baterías, poder cargarlas conectando el cargador y el cable que llega a la red, a las baterías.

Finalmente, podemos concluir diciendo que hemos creado un sistema completamente eléctrico que incorpora todos los elementos necesarios para hacer de éste un vehículo funcional y cumplir con todos los requisitos y especificaciones impuestas por la organización de la formula SAE, pudiendo cumplir con nuestro principal objetivo que consiste en la clasificación de nuestro equipo en esta famosa competición.

CAPÍTULO 1.

MEMORIA.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN.

Este trabajo consiste en diseñar la adaptación de la electrónica y de los motores para el diseño y fabricación de un coche eléctrico de carreras. Esto es una parte de un proyecto en conjunto realizado por varios alumnos de la universidad de Alcalá de Henares, cuya finalidad es participar en la competición Formula SAE (Society of Automotive Engineers) que se llevará a cabo en Barcelona en el circuito de Montmeló.



Figura 1. Logo fórmula Student Spain.

La Fórmula SAE o también conocida como Fórmula Student, es una competición entre estudiantes de universidades de todo el mundo que promueve la excelencia en ingeniería a través de una competición donde los miembros del equipo diseñan, construyen, desarrollan y compiten con un pequeño pero potente monoplaça.

La primera competición empezó a gestarse en 1979 cuando Mark Marshek, docente de la Universidad de Houston, contactara con el Departamento de Relaciones Educativas de la SAE un año antes. El concepto original era una evolución de la BAJA SAE, en la que el tipo de vehículo a construir por los estudiantes es similar a un Car-Cross. Sin embargo, esta competición limitaba

mucho la libertad (motor proporcionado por la organización sin posibilidad de modificarlo) y la nueva competición debía darles mayor margen para diseñar el monoplaza.

Así se llega a 1981, año en que se organiza en la Universidad de Texas en Austin la primera edición de la Formula SAE. Participan 6 equipos y un total de 40 alumnos. Esta competición ha ido creciendo y desde 1998 también se celebra en Warwickshire una edición británica conocida como Formula Student. Aquel año participaron 4 equipos y 40 alumnos.

Actualmente se celebran competiciones en numerosos países como Alemania, Japón, Brasil, Australia, etc. Todas ellas utilizan la misma normativa base original de la Formula 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.

La competición en la que participaremos es por tanto la Fórmula Student Spain. La presencia de equipos españoles es todavía muy discreta en comparación con la de las grandes potencias: Alemania, Japón y Estados Unidos.

1.2 OBJETIVO

El objetivo que persigue la Fórmula SAE es simular una situación real en la cual una empresa de competición contrata a estos ingenieros para desarrollar un prototipo.

Las puntuaciones son obtenidas según los siguientes aspectos, evaluándolos sobre un total de 1000 puntos.

EVENTOS ESTÁTICOS		TOTAL: 325 puntos
Diseño		150
Análisis de costes		100
Business Presentación		75

EVENTOS DINÁMICOS		TOTAL: 675 puntos
Skidpad		75
Aceleración		75
Auto-cross		100
Resistencia		325
Consumo		100

TOTAL COMPETICIÓN		1000 Puntos
--------------------------	--	--------------------

Tabla 1. Puntuación de la competición.

En las competiciones de Formula Student existen varias categorías, o clases:

- **Clase 3:** Se trata de la clase de entrada para los equipos nuevos, en la cual participan únicamente vehículos en fase de diseño y validación del modelo. Como norma general y para fomentar el progreso, un equipo no se puede presentar a esta categoría dos años consecutivos, teniendo que hacerlo en las superiores. Se permiten excepciones para aquellos equipos que, además, se presenten a las clases 2 o 1. Únicamente se puntúan las pruebas de diseño, presentación y coste.
- **Clase 2:** Esta categoría está pensada para equipos que hayan pasado de los conceptos básicos del diseño inicial y hayan logrado fabricar un vehículo completo. El mínimo requisito de entrada en esta categoría es disponer de un chasis completo. Al igual que

en la categoría 3, los equipos que hayan participado un año en esta categoría han de promocionar a la primera en el próximo año para poder participar también en esta. Únicamente se puntúan las pruebas de diseño, presentación y coste.

- **Clase 1:** En esta categoría participan monoplazas totalmente contruidos y que son capaces de moverse. Es la categoría más importante de todas, y un mismo coche solamente puede participar en ella durante los 12 meses siguientes a la primera competición en la que participa. Esta regla fomenta a los equipos a progresar y fabricar cada vez nuevos vehículos. Se permite reaprovechar los componentes de monoplazas antiguos, salvo el chasis. Dentro de la categoría existen las llamadas “series 200”, en la que pueden participar vehículos de hasta 2 años de antigüedad.

En concreto, la meta de nuestro equipo consiste en participar en la competición construyendo un monoplaza capaz de clasificarse en la clase 1. Este proyecto comenzó a desarrollarse a lo largo del curso 2013-2014, por lo tanto somos nuevos en esta competición de modo que podemos afirmar que el objetivo es participar por primera vez para la universidad de Alcalá de Henares en un evento de estas características, no entendiéndose necesariamente por éxito, la victoria en la competición, sino simplemente conseguir un vehículo funcional y cumplir con las exigencias impuestas para participar en todas las pruebas de la competición.

Existe además, un objetivo personal, que es participar en dicha competición aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en un proyecto práctico y enfrentándose a la realidad de este ámbito profesional. Uno de los objetivos más enriquecedores es el desarrollo de capacidad técnica y trabajo en equipo, que se llevará a cabo tanto en la misma competición como a lo largo del año para el desarrollo del vehículo. Además, una aplicación fundamental es la adquisición de experiencia tanto en el mundo del automóvil como en el propio mundo laboral. Asimismo conoceremos las últimas tendencias y necesidades de los productos, ya que si queremos ser altos competidores tendremos que ser conocedores de los últimos avances.

Por tanto, para la realización del mismo es necesario tener información y conocimientos sobre la Fórmula SAE y todas las normas necesarias para poder competir, porque el incumplimiento de alguna supone la descalificación del vehículo, de modo que cada participante del equipo adquiere la responsabilidad en la aplicación de los elementos necesarios para que todo este correcto para la puesta en marcha. Una vez cada participante realice su trabajo, será necesario el trabajo del equipo en conjunto para hacer las modificaciones oportunas en caso de que fueran necesarias y para la puesta en marcha del monoplaza con sus pruebas correspondientes. Todo esto debe estar listo antes de la fecha impuesta por la organización, de manera que el vehículo tiene unas exigencias y fechas de entrega.

Este proyecto en concreto consiste en la adaptación de la electrónica y de los motores para el diseño y la fabricación de un vehículo monoplaza de competición a partir de dos motos de carretera eléctricas. Así pues, participaremos en la competición con un vehículo eléctrico. Explicaré los ajustes necesarios así como los cálculos y diseños realizados para el correcto funcionamiento del monoplaza.

1.3 FASES DEL PROYECTO

Para alcanzar los objetivos anteriormente mencionados debemos estructurar el proyecto en las distintas fases, lo vemos a continuación.

FASE 1: La primera fase puede considerarse una fase de estudio. En ésta, debemos familiarizarnos con el entorno. Además es necesaria la recopilación de información tanto de los vehículos eléctricos como de la Formula SAE en concreto, conociendo sus normas y ámbito en el que vamos a trabajar.

FASE 2: Esta fase se puede dividir a su vez, en dos partes.

Primero estableceremos los criterios de diseño y selección de material. Así pues partiendo de dos motos, debemos de analizar los componentes válidos y los nuevos que hay que implementar para el diseño y elaboración de un coche. Una vez hecho esto, pasamos a la parte más práctica del proyecto, que consiste en ir incluyendo o eliminando cada una de los elementos de las motos que veamos oportunos e ir realizando pruebas para comprobar que todo funciona correctamente. En caso contrario estudiar el fallo y corregirlo.

Una vez realizado el trabajo individual, se recoge todo lo elaborado por cada componente del equipo y se realizan pruebas conjuntas actuando al igual que hemos indicado en la primera parte de la fase 2. Si el funcionamiento es el deseado se continua con el estudio, de lo contrario se realizan los cambios oportunos.

FASE 3: Finalmente, se recoge en un documento todos los estudios, diseños y cambios elaborados a lo largo de la parte práctica, así como rellenar los documentos presentados por la organización de la Formula SAE, imprescindibles para poder participar en la competición.

1.4 PRUEBAS DE LA COMPETICIÓN.

Como ya hemos explicado el objetivo del equipo es participar en la competición. Esto es, no se trata de una carrera si no de un conjunto de pruebas en las cuales hay que ir obteniendo el máximo número de puntos. Explicaré a continuación las diferentes pruebas.

Por un lado nos encontramos con una primera fase donde el tipo de pruebas a las que son expuestos los vehículos son de carácter de seguridad. Una vez superadas las mismas se pasa a la siguiente fase, la cual se trata de la misma competición en la que están en juego los puntos que clasificarán a los mejores monoplazas participantes. Para ello podemos clasificar cada prueba dentro de dos grandes grupos, que son, las pruebas estáticas y las pruebas dinámicas.

Por tanto, la Formula SAE está conformada por 4 pruebas dinámicas y 3 estáticas (todas puntuables), además de 4 de seguridad no puntuables que son requisito fundamental para poder llevar a cabo las dinámicas.

1.4.1 PRUEBAS DE SEGURIDAD.

Inspección de Seguridad (Tech Inspection)



Figura 2. Pruebas de seguridad 1

Es la primera prueba que se realiza, y consiste en una evaluación exhaustiva del coche por parte de los jueces. El vehículo debe estar en perfecto estado y cumplir absolutamente con todos los requisitos de seguridad impuestos por SAE. Es indispensable su aprobación para poder realizar las otras pruebas, inclusive las restantes de seguridad.

Prueba de Ruido (Noise Test)



El coche no debe sobrepasar los 110 dB a 10.000 rpm, colocando el sonómetro a 1 metro de distancia y en un ángulo de 45 grados.

Figura 3. Pruebas de seguridad 2

Prueba de Inclinación (Tilt Test)



El vehículo se coloca en una plataforma y se somete a una inclinación de 45 grados. El vehículo debe permanecer encendido sin derramar ningún fluido ni levantar ninguna rueda. Luego se inclina a 60 grados para simular las aceleraciones pico sufridas en las curvas.

Figura 4. Pruebas de seguridad 3.

Prueba de Frenado (Brake Test)



El coche debe ser capaz de bloquear las 4 ruedas sin salirse de la pista de 25 metros.

Figura 5. Pruebas de seguridad 4.

1.4.2 PRUEBAS ESTÁTICAS

Presentación y Ventas (Presentation and Sales Event)



Consiste en exponer a los jueces, principalmente ejecutivos de Ford, General Motors y Chrysler, un plan de mercado, ventas y negocios, para producir el prototipo en forma masiva.

Figura 6. Pruebas estáticas 1.

Costos (Cost Report)



Esta prueba exige la entrega anticipada de un informe que reporta la descripción y el valor de cada pieza empleada en el coche en base a valores standard, midiendo los costes. Éste se defiende ante los jueces y se presta a discusión.

Figura 7. Pruebas estáticas 2.

Diseño (Design Event)



Es la prueba más prestigiosa de todas, puesto que aquí se evalúa el diseño completo desde el punto de vista de ingeniería. Se defienden las decisiones tomadas a lo largo de las distintas fases de diseño y construcción del vehículo, así como el acabado final del mismo.

Figura 8. Pruebas de seguridad 3.

Por tanto en las pruebas estáticas es donde se comprueba que el vehículo está correctamente equipado con sus medidas de seguridad, neumáticos correctos, requerimientos estructurales, etc. El objetivo de este evento es enseñar a los participantes la importancia de los costes y presupuestos a la hora de realizar un proyecto, coger experiencia creando listas de materiales y entender los principios del lean manufacturing. En cuanto al evento de presentación, su objetivo es evaluar la capacidad y la habilidad de un equipo para convencer a los ejecutivos, representados por los jueces de la competición, de una compañía de que su proyecto es el que mejor se ajusta a la demanda. Por último, el evento de diseño pretende evaluar el esfuerzo de los ingenieros por adecuar su diseño a la demanda del mercado.

1.4.3 PRUEBAS DINÁMICAS.

Aceleración (Acceleration Event)



Se mide el tiempo de aceleración del vehículo en una recta de 75 metros. Para superar la prueba de aceleración, el monoplaza deberá ser capaz de recorrer 75 metros en menos de 5,8 segundos, partiendo de parado. A partir de este tiempo, la puntuación aumentará. Cabe destacar que existe un margen en el caso probable de que el coche inicialmente derrape debido al alto par inicial.

Figura 9. Pruebas dinámicas 1.

Skid-Pad (Skid-pad Event)



Figura 10. Pruebas dinámicas 2.

Se evalúa la capacidad del vehículo para soportar aceleraciones laterales. Para ello cada monoplaza deberá realizar una vuelta a una curva de radio constante en un circuito en forma de ocho (8). Aquí se pone a prueba el desempeño del sistema de suspensión. Hasta que las ruedas motrices no superen esta línea no comienza a medirse el tiempo de la prueba. Se medirá el tiempo que tarda el monoplaza en realizar el recorrido.

Autocross (Autocross Event)



Figura 11. Pruebas dinámicas 3.

Llegados a este punto es momento de probar el coche en una vuelta real al circuito de manera individual, sin el obstáculo de otros monoplazas en pista. Consiste en un circuito corto de aproximadamente 1 km de longitud. En esta oportunidad hay un sólo coche en pista, se evalúa el desempeño general del vehículo y los resultados definen la posición de salida para la próxima prueba a evaluar, la prueba de resistencia.

También se deberán superar los eventos de endurance y eficiencia. Pese a que ambos eventos se desarrollan de manera simultánea ya que se mide la eficiencia durante la prueba endurance, son dos eventos diferentes con puntuaciones por separado.

El objetivo de la prueba endurance es probar la durabilidad del coche sometido a esfuerzos durante un tiempo prolongado. Esta prueba también exigirá pilotos con destreza ya que podrán estar en pista hasta cuatro monoplazas al mismo tiempo. En cuanto a la eficiencia simplemente se puntuará según la energía consumida en función de las vueltas dadas y teniendo en cuenta el tiempo por vuelta.

Resistencia y Confiabilidad (Endurance Event)



Figura 12. Pruebas dinámicas 4.

Es la prueba de más peso en toda la competición (representa casi el 40% de los puntos). Se evalúa sobre un circuito de 1 km de longitud en el que se realizan 22 vueltas, haciendo cambio de piloto en la vuelta número 11. Ésta es la prueba más difícil de superar, ya que el vehículo no puede desprender ninguna pieza ni derramar ningún fluido ya que supondría la descalificación inmediata.

NOTA: Las imágenes se han extraído de la página <http://www.formulasae.grupos.usb.ve/>, que se corresponde con pruebas reales de un equipo dentro de la competición.

2. SEGURIDAD ELÉCTRICA.

2.1 RIESGOS ELÉCTRICOS.

Como se ha indicado anteriormente, el proyecto consiste en el diseño y adaptación de dos motos totalmente eléctricas en un monoplaza eléctrico. Para dicha adaptación trabajaremos y utilizaremos la electrónica, primero de una moto (utilizando la otra como referencia) y después de la otra. También será necesaria la manipulación de las baterías. Por tanto como se puede observar nos vamos a mover en un ámbito eléctrico con ciertos riesgos que hay que tener en cuenta. Así pues, antes de trabajar de manera práctica tenemos que conocer el entorno de trabajo.

En vehículos puramente eléctricos, como es el caso de nuestro monoplaza, los componentes esenciales se limitan al motor eléctrico y a las baterías que lo alimentan. Se elimina el motor de combustión como elemento de tracción y como carga de arrastre. Para sacar el mayor provecho a nuestros motores y lograr larga autonomía, se trabaja con tecnología de alto voltaje. El alto voltaje se encuentra generalmente dentro del rango 200 a 400 V. El motor/generador en parte llega a trabajar incluso con más de 600 V.

En la competición existe una serie de restricciones de las cuales hablaremos más adelante pero, en relación concretamente con el máximo voltaje permitido que puede viajar entre dos conectores eléctricos viene limitado por la siguiente tabla.

Competition	Voltage Level
Formula SAE Electric	300 VDC
Formula SAE Brazil	300 VDC
Formula SAE Australasia	600 VDC
Formula SAE Italy	600 VDC
Formula Student	600 VDC
Formula Student Germany	600 VDC
Student Formula Japan	Refer to SFJ website

Tabla 2. Máximo voltaje permitido en las distintas competiciones.

El principal riesgo a la hora de trabajar con alto voltaje es que produzca daños en el cuerpo humano. Para que la electricidad produzca efectos en el organismo, el cuerpo humano debe convertirse en parte de un circuito eléctrico. Para que circule corriente por el mismo deben existir al menos dos conexiones entre el cuerpo y una fuente de alimentación o tensión externa. La magnitud de la corriente depende de la diferencia de potencial entre las conexiones y de la resistencia eléctrica del cuerpo. La mayor parte de los tejidos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de agua por lo que la resistencia eléctrica que presentan es baja y pueden considerarse como un buen conductor, no obstante, la impedancia de la piel (epidermis) es bastante elevada (200-500K) por lo que el cuerpo humano puede considerarse como un conductor volumétrico no homogéneo en la que la distribución del flujo de la corriente eléctrica, que viene determinada por la conductividad local del tejido.

Según la asignatura de instrumentación biomédica de la universidad de Alcalá de Henares, los efectos que la corriente eléctrica produce sobre el cuerpo humano dependen fundamentalmente de los siguientes parámetros: magnitud de la corriente que circula por el tejido, frecuencia, tiempo de exposición a la corriente eléctrica, zona por la que circula (superficie o tejido interno). La gravedad del daño producido dependerá también del órgano afectado.

La corriente eléctrica puede afectar al tejido principalmente de tres formas:

- En primer lugar se produce una excitación eléctrica de los tejidos excitables (nervios y músculos), comenzando con una sensación de “hormigueo” o “escozor” que si alcanza intensidad suficientemente elevada puede ser dolorosa y molesta.
- En segundo lugar puede aparecer un incremento de la temperatura del tejido debido a la resistencia que presenta y la energía disipada por el mismo.
- Por último, el aumento de temperatura si el elevado puede provocar lesiones (quemaduras) en el tejido.

Son muchos los factores que influyen en la magnitud de la corriente eléctrica necesaria para producir un efecto fisiológico concreto en una persona.

A continuación, se comentan los efectos fisiológicos que se producen en el cuerpo humano en función de la magnitud de la corriente eléctrica que circula a través de él suponiendo que se aplica una diferencia de potencial entre las extremidades superiores (las dos manos). En la figura se muestra los valores aproximados de la corriente y los efectos que producen para un tiempo de exposición de 1-3 segundos y varios niveles de magnitud alterna de 50 Hz aplicada al exterior del cuerpo de una persona de 70 Kg aproximadamente.

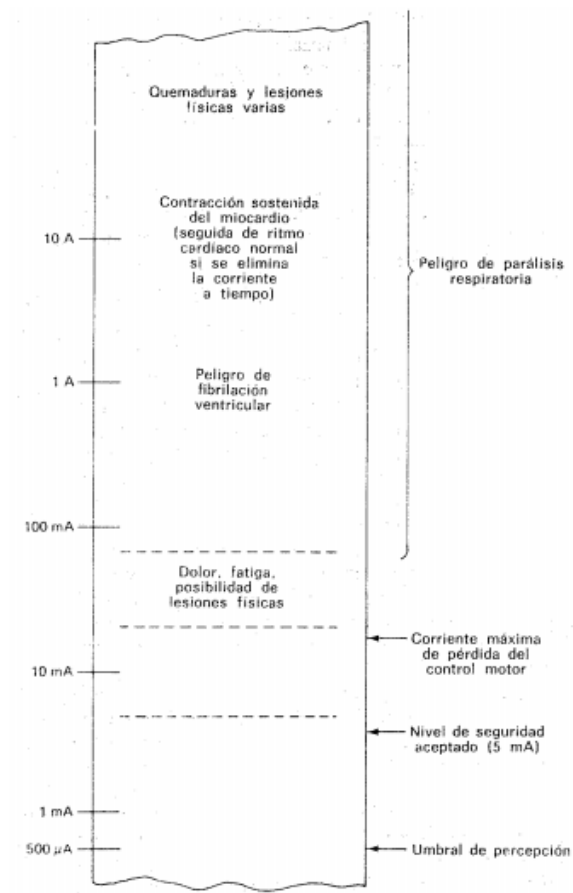
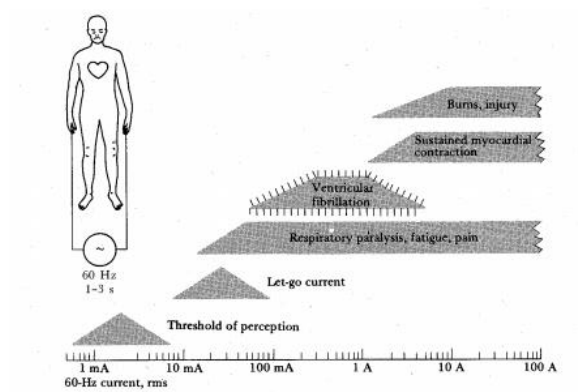


Figura 13. Efectos fisiológicos de la electricidad

2.1.1 PRINCIPALES PELIGROS

La electricidad es un agente físico presente en todo tipo de materia que bajo ciertas condiciones especiales se manifiesta como una diferencia de potencial entre dos puntos de dicha materia. Los efectos que pueden producir los accidentes de origen eléctrico dependen:

- Intensidad de la corriente.
- Resistencia eléctrica del cuerpo humano.
- Tensión de la corriente.
- Frecuencia y forma del accidente.
- Tiempo de contacto.
- Trayectoria de la corriente en el cuerpo.

Todo accidente eléctrico tiene origen en un defecto de aislamiento y la persona se transforma en una vía de descarga a tierra.

Al tocar un objeto energizado o un conductor con la mano, se produce un efecto de contracción muscular que tiende a cerrarla y mantenerla por más tiempo con mayor firmeza.

Los principales peligros de la electricidad son ocasionados por sus características:

- No es perceptible por los sentidos del humano.
- No tiene olor, solo es detectada cuando en un corto circuito se descompone el aire apareciendo Ozono.
- No es detectado por la vista.
- No se detecta al gusto ni al oído.
- Al tacto puede ser mortal si no se está debidamente aislado. El cuerpo humano actúa como circuito entre dos puntos de diferente potencial. No es la tensión la que provoca los efectos fisiológicos sino la corriente que atraviesa el cuerpo humano.

2.2 SISTEMAS DE SEGURIDAD.

Atendiendo a estos problemas hay que diseñar y colocar los elementos del vehículo teniendo en cuenta los posibles impactos e inconvenientes que pueden suceder a lo largo de la competición. Es importante recordar que trabajamos con alta tensión y podría ocasionar lesiones tanto al piloto como al resto del equipo. Por tanto hemos realizado las siguientes reflexiones:

El primer paso, ya en la fase de diseño, es el packaging, es decir la adecuada ubicación de todos los componentes especialmente de las baterías. Éstas deben colocarse en un lugar que esté protegido contra impactos, pero al mismo tiempo en una zona adecuada para el centro de gravedad, ya que, dependiendo de la capacidad, llegan a suponer hasta un 20% del peso total del vehículo. Por ello se conectan células encapsuladas en varios módulos uno detrás de otro. Así en caso de impacto, solo se verían afectados módulos individuales. Montado dentro de un marco rígido y encapsulado, este bloque se puede colocar en la zona central del vehículo. Construcciones adicionales en el marco de la carrocería y en la parte inferior, protegen a las baterías adicionalmente contra deformaciones.

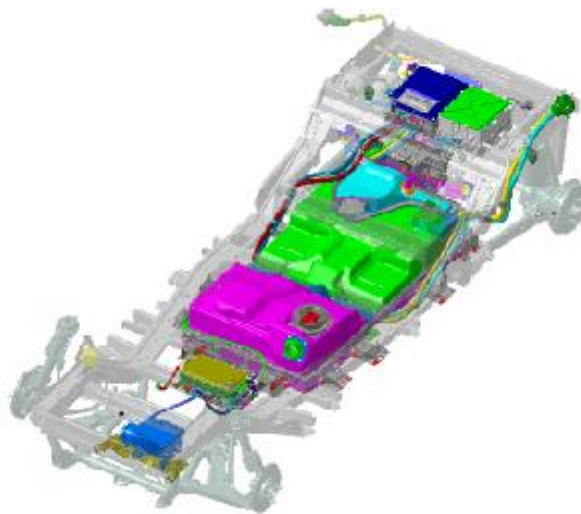


Figura 14. Packaging y célula de seguridad para la unidad acumuladora

También se debe tener en cuenta un posible aplastamiento de los cables de alto voltaje. Estos, al igual que las baterías, no deberían encontrarse en la zona directa del choque sino estar colocados de forma protegida. El recubrimiento de los cables, en combinación con relés, se encarga de que en caso de rotura del cable o contacto con la carrocería se genere un

cortocircuito y los cables de alto voltaje sean separados de la batería. Esto es lo que se conoce como la seguridad intrínseca del vehículo.

Un interruptor adicional se encarga de que sea posible interrumpir la conexión entre las distintas células de la batería, con lo que para realizar una reparación o durante el rescate se puede aislar el monopolaza. A través de lo que se conoce como seta de emergencia se puede lograr que en el momento de desenchufar se interrumpa la alimentación de alto voltaje, con lo que incluso un contacto directo con los conectores no presentaría problema, especialmente en la zona del conector de carga.

Por último como medida de seguridad en el ámbito de trabajo he recopilado lo más importante en un cartel que ha sido colocado en las proximidades al vehículo:

PROTECCIONES EN INSTALACIONES

- a) Puesta a tierra en todas las masas de los equipos e instalaciones.
- b) Instalación de dispositivos de fusibles por corto circuito.
- c) Dispositivos de corte por sobrecarga.
- d) Tensión de seguridad en instalaciones de comando (24 Volt).
- e) Doble aislamiento eléctrico de los equipos e instalaciones.
- f) Protección diferencial.

PROTECCIONES PARA EVITAR CONSECUENCIAS

- a) Señalización en instalaciones eléctricas de baja, media y alta tensión.



- b) Desenergizar instalaciones y equipos para realizar mantenimiento.
- c) Identificar instalaciones fuera de servicio con bloqueos.
- d) Realizar permisos de trabajos eléctricos.
- e) Utilización de herramientas diseñadas para tal fin.
- f) Trabajar con zapatos con suela aislante, nunca sobre suelos mojados.
- g) Nunca tocar equipos energizados con las manos húmedas.
- h) Utilizar Guantes aislantes de alta tensión.
- i) Gafas de seguridad con protecciones laterales.

3. NORMATIVA

Existe una normativa impuesta por la organización de la Formula SAE. Como sabemos, para poder participar tanto en las pruebas estáticas como en las pruebas dinámicas es necesario superar con éxito cada una de las pruebas de seguridad. Además es obligatorio realizar unos documentos por parte del equipo requeridos por la organización.

A su vez, se mirará que se cumplen todas las normas oficiales. Estas normas están en la página oficial de la Fórmula SAE y son las que tendremos todo el tiempo presentes cada vez que queramos modificar algún componente del monoplaza.

Para toda la adaptación que realizaremos de la electrónica del vehículo, que como sabemos, proviene de ambas motos, la normativa de la formula SAE impone una serie de restricciones, las cuales, deben de cumplirse sin excepción puesto que serán evaluadas durante la inspección técnica del vehículo. En caso de incumplimiento de alguna de ellas, el equipo podría ser descalificado ya que los propios inspectores pueden prohibir la participación en la competición de cualquier equipo que no cumpla con la normativa en su conjunto, por tanto existe un compromiso por parte de todo el equipo. Cada uno debe encargarse de cumplir con su parte y después cumplir todas las reglas cuando tengamos el conjunto.

Ya que son tan importantes dichas normas, cada vez que realicemos una modificación las tendremos presentes mencionando el apéndice donde se encuentran. A su vez podremos encontrar la normativa correspondiente a la parte eléctrica en el *anexo I*.

4. EL MOTOR

1.1 INTRODUCCIÓN.

Cada vez más campeonatos oficiales incorporan o estudian seriamente la introducción de categorías eléctricas como una disciplina más en convivencia con las tradicionales, o como campeonatos paralelos. Al parecer, como ocurre en nuestras ciudades, la tecnología eléctrica también llega a la alta competición para quedarse.

A medida que empieza a crecer esta competición por todo el mundo, crece también el interés por parte de las universidades en participar con un vehículo eléctrico, naciendo entonces la FSE (Formula Student Electric). En esta categoría únicamente pueden participar vehículos puramente eléctricos, es decir, el mismo coche que un Formula SAE clásico pero cambiando el motor de combustión y el depósito de gasolina por un motor eléctrico y unas baterías

De esto modo, y debido a los estudios desarrollados a lo largo de la carrera, no tenemos conocimientos suficientes para realizar un vehículo propulsado con un motor de explosión. Nuestros conocimientos van dirigidos hacia la electrónica. Por este motivo, y debido al desarrollo que están teniendo los vehículos eléctricos, hemos optado por utilizar motores eléctricos.

1.2 COMPARATIVA MOTOR ELÉCTRICO vs MOTOR DE COMBUSTIÓN.

El coche eléctrico es un elemento integrante fundamental dentro de la organización de las ciudades inteligentes. Ya sea por su carácter ecológico y sostenible o por su capacidad para intercambiar energía con la red en caso de necesidad, o sus sistemas de gestión de los puntos de carga y la autonomía, o incluso por su funcionamiento silencioso que elimina el factor acústico de la ecuación de la contaminación, el vehículo eléctrico es la eterna promesa de una ciudad mejor.

El siguiente paso de la movilidad de vehículos eléctricos es aplicarla al espectáculo. Nuestro equipo ha optado por tomar este avance tecnológico y escoger dos motores eléctricos para el diseño y fabricación de nuestro vehículo de competición. Claro que aventurarse en este proyecto, dado que es una tecnología que está, en este momento, en pleno desarrollo, tiene sus inconvenientes y sus ventajas. Hablaré tanto de las ventajas e inconvenientes de un vehículo eléctrico en general como de las mismas aplicándolas a nuestro caso, dado que habrá alguna característica que sea perjudicial o beneficiosa en la vida cotidiana pero para la competición en concreto nos es indiferente.

1.2.1 VENTAJAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

- **COSTES:** Los gastos asociados con los motores eléctricos son considerablemente menos que los de los coches tradicionales. La mayoría de las fuentes citan una reducción en los costes de mantenimiento de un 35%.

A igualdad de potencia, un motor eléctrico producido en gran serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni apenas mantenimientos.

Además, al ser más simples los motores eléctricos que los de combustión interna y con menos partes móviles, presenta menor riesgos de avería, y por tanto se reducen los costes de mantenimiento. Por otro lado, tampoco son necesarios cambios regulares de filtros y aceites de los motores gasolina/diésel convencionales.

Prácticamente no hace ruido al funcionar, sus vibraciones son imperceptibles y casi no emite calor. Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura (disponemos de todas las prestaciones del motor, desde el primer instante “en frío”). Al no tener elementos oscilantes, ni empuje discontinuo, no necesita volantes de inercia ni sujeciones especiales que lo aíslen del resto del coche. Al generar muy poco calor y no tener vibraciones su

duración puede ser muy elevada (el motor no “sufre” durante su funcionamiento). Todo esto redundará en un ahorro de espacio y masa desplazada.

Este aspecto es importante tanto en el propio desarrollo de estos vehículos para un futuro éxito en el mercado como para nuestro equipo ya que, antes de la elección de cada componente, hemos realizado un estudio de los gastos debido a que contamos con un presupuesto limitado que nos proporcionan los patrocinadores.

- **CAJA DE CAMBIOS:** Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas exceptuando algún mecanismo para distinguir avance y retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor. Desarrolla un par máximo y constante desde 0 rpm y potencia constante a partir de medio régimen y hasta su límite de giro (teóricamente más del doble que el límite de un motor de gasolina). Esto es lo que hace posible que en la misma “marcha” podamos arrancar desde parado y circular a la máxima velocidad.

Este aspecto no es tan relevante para nosotros ya que estos monoplazas no llevan nunca cambio de marchas, sin embargo, una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno “central” acoplado a una transmisión. Sólo es necesario algo de software para sincronizar el régimen de los distintos motores y habremos vaciado el hueco del motor.

- **EFICIENCIA:** Un motor eléctrico tiene una eficiencia energética que se sitúa en el entorno del 90%, que es el porcentaje de energía consumida que se convierte en movimiento aprovechable. Por limitaciones termodinámicas un motor diésel se sitúa por debajo de un 40% siendo éste superior, a su vez, a uno de gasolina.
- **CONTAMINACIÓN:** Los vehículos eléctricos no emiten gases contaminantes a la atmósfera. Además otra ventaja que ofrecen es que no generan contaminación acústica. Esto permite crear una ciudad mucho más saludable.

Por el contrario esto supone para nosotros un pequeño inconveniente dado que nuestra competición no está permitido, según las normas de la Formula SAE que un vehículo no emita ningún ruido, esto es necesario para alertar a los pilotos de los demás monoplazas de que se acerca un coche. Tendremos que poner una solución para este problema atendiendo a las normas, que explicaremos más adelante.

- **RECUPERACIÓN DE ENERGÍA:** El motor eléctrico es capaz de aprovechar la energía del frenado, que normalmente se pierde en forma de calor de fricción, mejorándose notablemente el rendimiento del mismo.

1.2.2 DESVENTAJAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Como acabamos de ver, las ventajas del motor eléctrico aisladamente considerado, son muchas. Los coches eléctricos también tienen sus desventajas, muchas de ellas dadas por la novedad, la temprana fase de desarrollo en la que se encuentran y por la falta de adaptación a este tipo de tecnología.

- **DENSIDAD ENERGÉTICA:** Todas las baterías existentes en la actualidad cuentan con una densidad energética bastante más baja que la de la gasolina o el diésel.

Sin embargo, durante el proceso de combustión se disipa un porcentaje considerable de la energía almacenada en la gasolina, mientras que los motores eléctricos impulsan las hélices con más eficiencia debido a que su curva de par motor es más apropiada.

No obstante, al desplazarse con motores eléctricos, se dispone de una energía considerablemente menor que la de un motor de combustión.

Tipo	Dens. ener., Wh/kg		Rel. petro.	
	Baja	Alta	Baja	Alta
Petróleo	11.670	11.670	1	1
Plomo-ácido	30	50	389	233
Níquel-Cadmio	45	80	259	146
Níquel-Metal-Hidruro	60	110	194	106
Pila alcalina	80	160	146	73
Litio-ión	90	180	130	65
Litio-aire	1.500	2.000	8	6

Tabla 3. Evolución de la densidad energética de baterías

- **BATERÍAS:** El problema básico es la portabilidad de la energía eléctrica. La densidad energética de la gasolina y el gasoil es mayor. Al fin y al cabo, estamos utilizando una energía que nuestro planeta ha tardado millones de años en reunir y compactar. Según Phil Barker, ingeniero jefe de Híbridos y Vehículos eléctricos en Lotus Engineering, “6kg. de diésel son aproximadamente equivalentes a 200kg. de baterías, de forma que pronto se alcanza un punto en el que son necesarias baterías adicionales para transportar la masa añadida de las propias baterías”. Esto es un problema muy grave, aunque de momento existen algunas soluciones.

Existe otro problema fundamental con respecto al funcionamiento electroquímico de las baterías, y es que envejecen con el uso y el paso del tiempo. Esto introduce, por el momento, una “fecha de caducidad” de algunos años. Siendo esta fecha de caducidad, el ciclo de envejecimiento de cada batería, que se corresponde con el número de cargas y descargas de la misma.

Nosotros no lo vamos a considerar como una grave desventaja tal y como se puede apreciar si el vehículo es usado en la vida diaria. Esto es debido a que nuestro monoplaza va a desplazarse un tiempo determinado previamente, por lo tanto realizaremos el diseño y ajuste de las baterías en función a nuestras necesidades.

Lo más beneficioso para nuestro equipo sería adquirir dos baterías que intercambiaríamos en función de la prueba que realicemos. Como sabemos, en función de las celdas o la capacidad de las baterías, el peso de las mismas puede variar en gran cantidad y para determinadas pruebas sería una desventaja. Así pues tendríamos dos baterías:

1. Funcional para la prueba de aceleración. Con una batería de 10 A/hora bastaría para cumplir con esta prueba y tendríamos un peso de tan solo 20 kg. El tiempo que nos aportarían esta carga sería aproximadamente de 10 minutos.
2. Por otro lado necesitamos unas baterías que aunque sean más pesadas, la carga dure más tiempo funcional para, sobretodo, la carrera (prueba más larga de la competición). De este modo tendríamos unas baterías de 30 A/hora con aproximadamente 30 Kg de peso y que tendría carga para 30 minutos más o menos. Tiempo suficiente para terminar la carrera (22 km).

1.3 ELECCIÓN DEL MOTOR.

La parte fundamental de un vehículo eléctrico es el motor, que pueden ser uno o varios dependiendo del diseño y prestaciones que se quieran conseguir. Nosotros hemos escogido dos motores de dos motos eléctricas que incorporaremos en las ruedas del monoplaza de modo que se pierda menos energía en la transmisión.

Se trata de dos motores de corriente continua sin escobillas, también llamado Brushless (BLDC). Es decir, al llevar imán se comporta como un motor dc, con las mismas ecuaciones de par y potencia pero sin escobillas ni colector. Así pues, primero explicaré el funcionamiento de los motores de corriente continua y por qué hemos escogido un motor brushless.

En los motores de corriente continua (c.c.) concurren una serie de características que les hace especialmente indicados para ciertas aplicaciones, por lo que cada día son más empleados en el ámbito industrial.

La amplia gama de velocidad que ofrecen, su fácil control y la gran flexibilidad de las curvas par-velocidad de este tipo de motores, así como el que presenten un alto rendimiento para un amplio margen de velocidades, junto a su elevada capacidad de sobrecarga, los hace más apropiados que los motores de corriente alterna para muchas aplicaciones.

Los motores DC con escobillas son altamente eficientes y tienen grandes características para hacerlos funcionar como servo-motores. Además de poder ser controlado en cuatro cuadrantes con funciones de recuperador de energía.

El principal inconveniente de estas máquinas es el mantenimiento, muy caro y laborioso, debido principalmente al desgaste que sufren las escobillas al entrar en contacto con las delgas. Además existe otro problema y es que el par motor de los motores con escobillas disminuye con la velocidad de rotación, echo que con el motor sin escobillas no ocurre.

Debido a este problema optamos por un motor de corriente continua pero sin escobillas, también llamado motor brushless como hemos indicado anteriormente.

1.3.1 MOTOR BRUSHLESS.

Como su propio nombre indica, brushless quiere decir "sin escobillas". En este tipo de motor la corriente eléctrica pasa directamente por los bobinados del estator o carcasa, por lo tanto aquí no son necesarias ni las escobillas ni el colector que se utilizan en los brushed. Esta corriente eléctrica genera un campo electromagnético que interacciona con el campo magnético creado

por los imanes permanentes del rotor, haciendo que aparezca una fuerza que hace girar al rotor y por lo tanto al eje del motor.

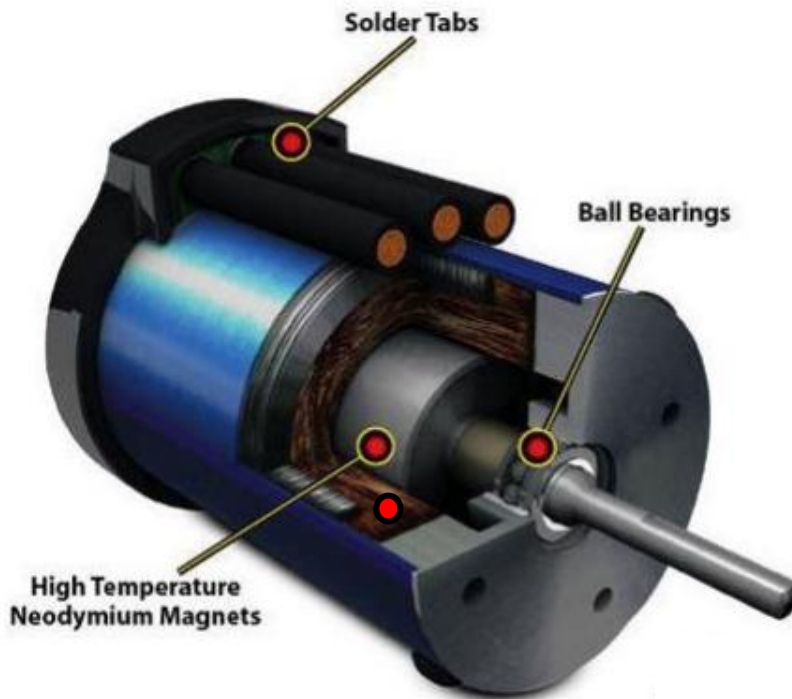


Figura 15. Motor brushless.

No tenemos ni escobillas, ni colector y tampoco tenemos delgas; por lo que ahora el elemento que controlará que el rotor gire sea cual sea su posición será el variador electrónico, que lo que hace básicamente es ver en qué posición se encuentra el rotor en cada momento, para hacer que la corriente que le llegue sea la adecuada para provocar el movimiento de rotación que le corresponde. El variador es capaz de hacer esto, gracias a unos sensores en el motor, o también mediante la respuesta obtenida por la observación de cómo se comporta la corriente del motor (aquí distinguimos entre los motores brushless sensed o los motores brushless sensorless). Por este motivo, los variadores empleados en este tipo de motores son algo más complicados que los utilizados en brushed, ya que deben analizar la respuesta y los datos de funcionamiento del motor según están teniendo lugar, es decir, en tiempo real.

Así pues, se puede concluir que la ventaja de los motores DC sin escobillas, frente a los demás motores de alimentación continua, es que no requieren de un mantenimiento periódico.

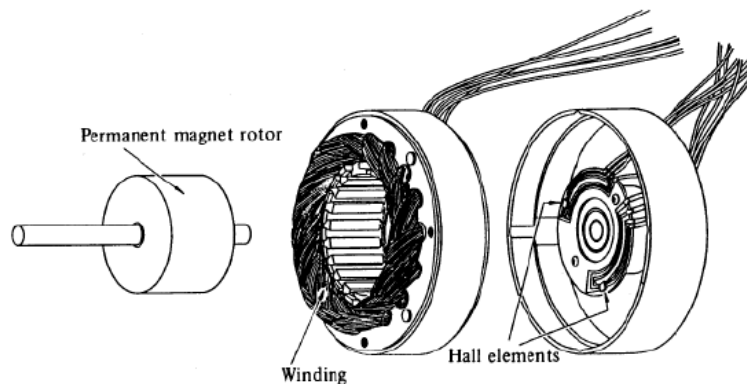


Figura 16. Despiece de motor Brushless DC

1.3.2 TÉCNICAS DE CONTROL PARA LOS MOTORES BRUSHLESS.

Los bobinados de un motor *brushless* (también llamado BLDC) están distribuidos a lo largo del estator en múltiples fases. Dichos motores constan normalmente de tres fases con una separación de 120° entre ellas. A diferencia de los motores *brushed* convencionales donde la conmutación entre sus fases se realiza internamente de forma mecánica, en los motores *brushless* las corrientes y voltajes aplicados a cada uno de los bobinados del motor deben ser controlados independientemente mediante una conmutación electrónica. El dispositivo encargado de realizar esta tarea se denomina *controlador de motor*.

Para generar par motor el controlador debe excitar continuamente los bobinados adecuados de forma que generen un campo magnético perpendicular a la dirección del rotor.

Existen dos grandes familias de controladores de motor diferenciadas principalmente en la utilización (*sensored*) o no (*sensorless*) de algún sensor para determinar la posición del rotor. Los controladores

Sensorless no son motivo de estudio en este documento si bien todos los resultados presentados son extrapolables a ellos.

Las técnicas de control para motores *brushless* se pueden clasificar según el algoritmo de conmutación implementado. Las más utilizadas actualmente son:

- Conmutación trapezoidal (también llamada *6-steps mode* o basada en sensores *hall*),
- Conmutación sinusoidal
- Control vectorial (*Field Oriented Control*).

Estas técnicas tienen básicamente como objetivo estimar la excitación óptima de cada una de las fases del motor y se diferencian principalmente por su complejidad de implementación, que se traduce en un incremento de prestaciones.

A continuación se describen algunas de las características más relevantes de cada técnica de control.

1. Control basado en Conmutación trapezoidal

Uno de los métodos más simples de control de motores *brushless* es el llamado conmutación trapezoidal o *6-steps mode*. En este esquema se controla la corriente que circula por los terminales del motor, excitando un par simultáneamente y manteniendo el tercer terminal desconectado. Sucesivamente se va alternando el par de terminales a excitar hasta completar las seis combinaciones posibles.

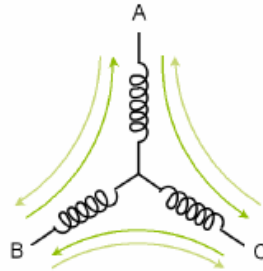


Figura 17. Esquema de los caminos de control trapezoidal.

Tres sensores de efecto *hall*1 situados en el motor son utilizados para proporcionar la posición aproximada del rotor al controlador y que éste pueda determinar el próximo par de terminales a excitar. La siguiente figura muestra el diagrama de bloques de un controlador trapezoidal típico con lazo cerrado de corriente.

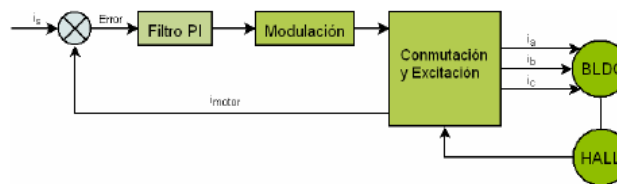


Figura 18. Esquema de un controlador con conmutación trapezoidal

La corriente que circula por el par de terminales activos es comparada con la corriente deseada y el error resultante es aplicado a un Filtro PI (Proporcional - Integrador). La salida de este filtro intenta corregir la desviación y por tanto minimizar el error. Con esta técnica se consigue mantener constante la corriente que circula por cualquiera de los bobinados del motor. Existen distintas técnicas de modulación orientadas a la generación de señales de excitación para motores *Brushless* [3] mediante las cuales, se puede aumentar la eficiencia del sistema.

2. Control basado en Conmutación sinusoidal

La conmutación sinusoidal es vista como un control más avanzado y exacto que el trapezoidal, ya que intenta controlar la posición del rotor continuamente.

Esta continuidad se consigue aplicando simultáneamente tres corrientes sinusoidales desfasadas 120° a los tres bobinados del motor. La fase de estas corrientes se escoge de forma

que el vector de corrientes resultante siempre esté en cuadratura con la orientación del rotor y tenga un valor constante.

Como consecuencia de este procedimiento se obtiene un par más preciso y sin el rizado típico de la conmutación trapezoidal.

No obstante, para poder generar dicha modulación sinusoidal es necesaria una medida precisa de la posición del rotor. Debido a que los sensores de efecto *hall* solo proporcionan una posición aproximada es necesario el uso de otro dispositivo que aporte mayor precisión angular como puede ser un *encoder2*.

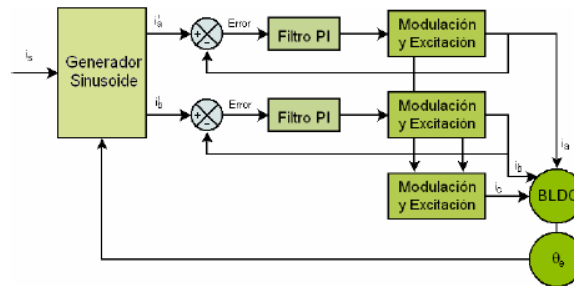


Figura 19. Esquema de un controlador con conmutación sinusoidal

3. Control vectorial

El control vectorial es el más complejo y el que requiere mayor potencia de cálculo de las tres técnicas. A su vez también es la que mejor control proporciona.

El problema principal que presenta la conmutación sinusoidal es que intenta controlar directamente las corrientes que circulan por el motor, las cuales son intrínsecamente variantes en el tiempo. Al aumentar la velocidad del motor, y por tanto la frecuencia de las corrientes, empiezan a aparecer problemas.

El control vectorial o *Field Oriented Control* (FOC) soluciona el problema controlando el vector de corrientes directamente en un espacio de referencia ortogonal y rotacional, llamado espacio D-Q (*Direct-Quadrature*).

Dicho espacio de referencia está normalmente alineado con en el rotor de forma que permite que el control del flujo y del par del motor se realice de forma independiente. La componente directa permite controlar el flujo y la componente en cuadratura el par. Debido a que el vector de corrientes en el espacio de referencia D-Q es estático los filtros PI trabajan en continua y se eliminan por tanto los problemas frecuenciales de la conmutación sinusoidal

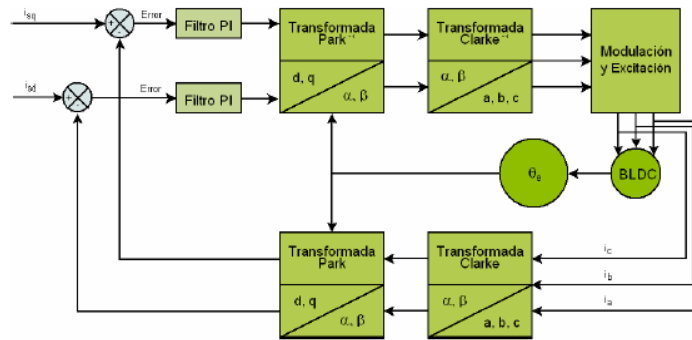


Figura 20. Esquema de controlador con control vectorial.

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR SIN ESCOBILLAS.

1.3.3.1 Movimiento del rotor

La mayoría de estos motores constan de tres bobinados L1, L2 y L3 conectados entre sí, formando una conexión en estrella o triángulo (dependiendo del tipo de motor) que desemboca en tres puntos de conexión, que son los tres cables A, B y C que llevamos desde el motor al variador.

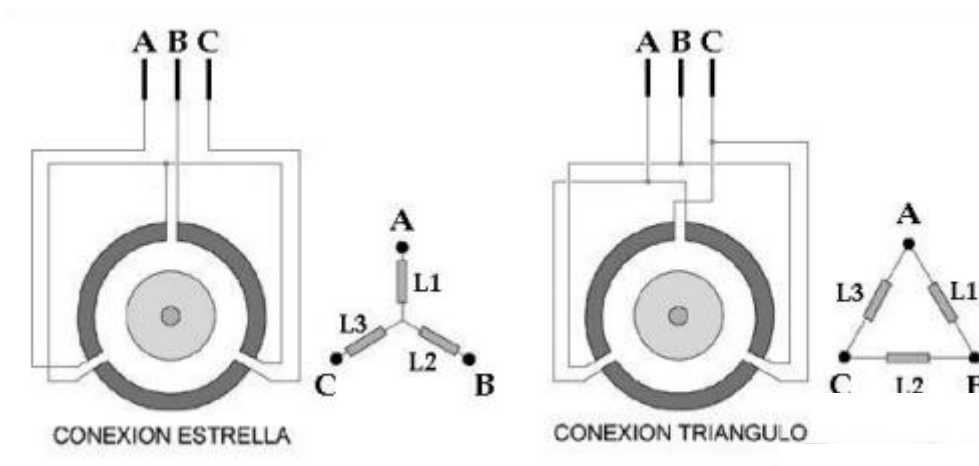


Figura 21. Tipos de conexión

A continuación cada una de estas tres bobinas L1, L2 y L3 puede estar formada a su vez por dos o más bobinas conectadas en serie o paralelo (dependiendo del tipo motor y número de polos) y colocadas dentro del motor en unas ranuras unas enfrente de otras y siempre con un desfase

en la posición de 120 grados. Existen varias formas de bobinar este tipo de motores, pero para entender mejor como se produce el movimiento dentro del motor, tomaremos como ejemplo la siguiente Figura 21, en la que se muestra un bobinado de un motor Brushless con cada una de las bobinas L1, L2 y L3 (conectadas en triángulo) y estas a su vez formadas por cuatro bobinas en serie.

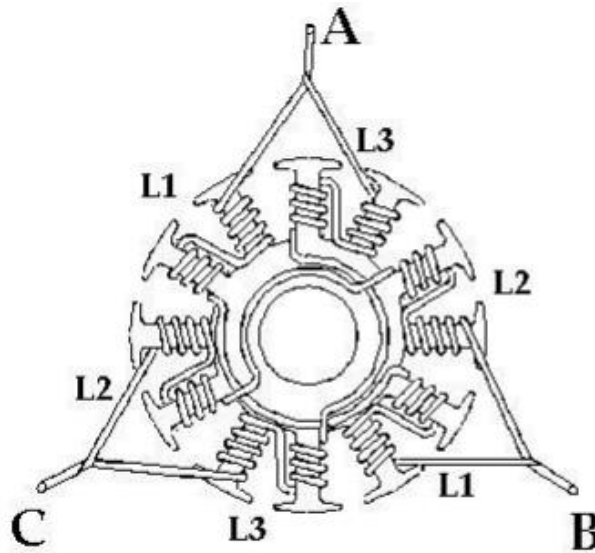


Figura 22. Bobinado de un motor brushless conectado en triángulo.

Según lo buscado y estudiado, por tanto, acerca de motores sensored y sensorless podemos concluir que ahora lo que hace el variador para producir el giro, es aplicar tensiones en cada bobina L1, L2 y L3 con polaridades desfasadas 120 grados y de manera secuencial, de tal forma que los imanes del rotor van atrayendo/repeliendo las polaridades de las bobinas a la velocidad de la secuencia de voltajes que manda el variador.

1.3.3.2 Bobinados del motor

Si queremos hablar de velocidad, no podemos pasar por alto los bobinados. Un bobinado es simplemente un número determinado de vueltas (también denominadas espiras), que se realizan con un material conductor, que en el caso de los motores, suele ser hilo de cobre.

Son los encargados de generar un campo magnético que interactúa con el de los imanes cuando por ellos circula una corriente eléctrica.

También es necesario tener cuenta que, a menor número de vueltas, mayor será el número de revoluciones por minuto pero nos proporcionará menor valor de par. La explicación la tenemos viendo cómo afecta lo que se denomina "flujo por polo" de la máquina. El "flujo por polo" nos

da una idea de la intensidad de campo magnético que tenemos en un bobinado de nuestra máquina y su valor es proporcional al número de espiras del bobinado y al valor de la intensidad o corriente. Con menor número de espiras disminuimos el valor de los amperios-vuelta, obteniendo menos flujo. A menor flujo la máquina girará más rápido pero su interacción con el campo magnético de los imanes será también menor proporcionando menos par y viceversa.

1.3.3.3 Factores característicos

Cuando hablamos de motores brushless, hay un parámetro importante que debemos considerar, que es factor "KV". Normalmente aparece junto al número de vueltas de bobinado del motor, y lo que nos indica es el número de revoluciones por minuto a las que es capaz de girar el motor por cada Voltio de electricidad que se le aplica. Pero como ocurre muchas veces, no todo son ventajas. A mayores valores para el KV, mayores valores de velocidad, pero menores valores de par y viceversa. Por lo tanto se trata de encontrar una solución de compromiso entre velocidad y par teniendo en cuenta las características de nuestro modelo.

MOTOR	<ul style="list-style-type: none"> • Motor de entrehierro radial DC sin escobillas • Potencia Máxima : 21 KW • Corriente máxima: 275 amperios • Par máximo: 65 Nm • K_T : 65/275: 0.236 Nm/A • Tensión máxima: Se da a 16KW y 3.000 rpm • Tensión nominal: 125 V • Tensión eficaz: 75 V <p>Cálculo de $V_{m\acute{a}x}$ eficaz:</p> $\left. \begin{array}{l} P = V \cdot I \\ P = W \cdot Par \\ Par = K_T \cdot I \end{array} \right\} V \cdot I = 16.00 = 3.000 \text{ rpm} \cdot Par$ $V \cdot I = 3000 \cdot K_T \cdot I \rightarrow V = 3000 \text{ rpm} \cdot K_T$ <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">↓ Rpm a rad/s</p> $V = 314,16 \cdot 0,236 = \boxed{75 \text{ V}}$
--------------	--

Tabla 4. Especificaciones generales del motor escogido

1.3.3.4 Configuración clásica

Los circuitos controladores de los motores BLDC tienen sus bobinas como ya hemos indicado anteriormente, en el estator, no el rotor: El conmutador mecánico es sustituido por uno electrónico que pasará a ser su circuito de movimiento.

Los interruptores de movimiento proveen de voltaje a las bobinas del motor (la mayoría de los motores de este tipo tienen 3 bobinas conectadas en conexión estrella). El punto principal está conectado solo internamente, por tanto, hay solo 3 cables al exterior.

Los imanes permanentes se encuentran en el rotor. Tres sensores Hall, incrustados en el estator, miden la posición angular del rotor. Cada vez que los polos magnéticos del rotor pasan cerca de los sensores Hall, le dan una señal alta o baja, para indicar que el polo N o el S está pasando. Estas señales permiten al circuito de movimiento encontrar el momento óptimo de conmutación de las tres bobinas.

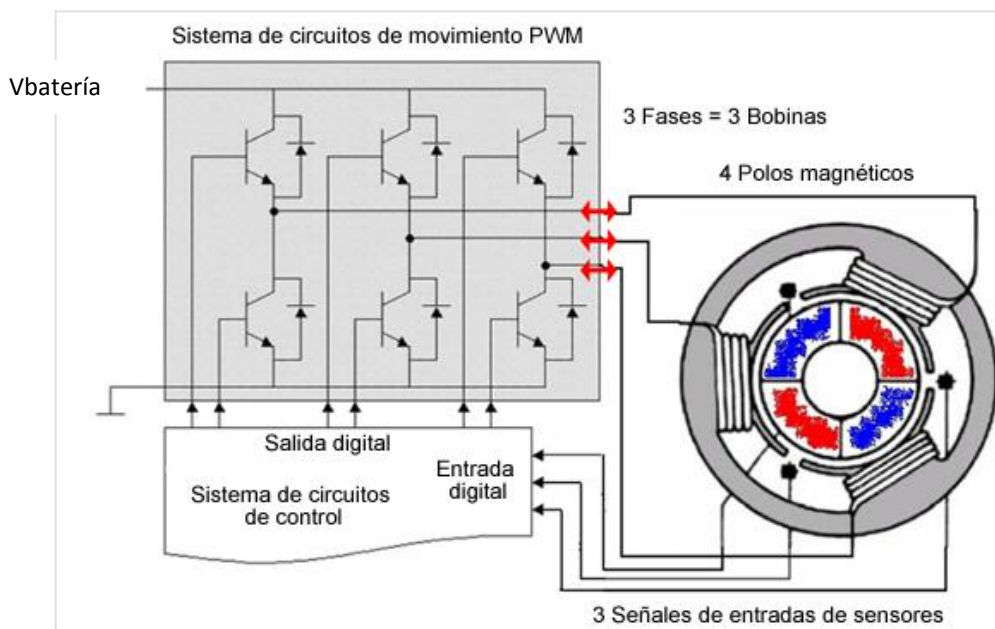


Figura 23. Circuitos controladores de los motores BLDC

1.3.4 MOTOR DC SIN ESCOBILLAS VS DC CON ESCOBILLAS.

Todos los inconvenientes ligados al rozamiento de los carbones (escobillas) sobre el colector desaparecen: no más corrientes parasitas, no más calentamientos del colector ni pérdidas y desaparece el desgaste mecánico. Su rendimiento también es superior al de un motor con escobillas.

Una característica muy beneficiosa de cara a la competición es el peso, ya que a igualdad de potencia desarrollada, un motor brushless pesa 1/3 del peso de un motor brushed. Este hecho es importante ya que una de las pruebas está basada en el peso del monoplaza y todo aspecto que nos permita aligerar el mismo es beneficioso.

A continuación presento la Tabla, en la cual se comparan las características principales de cada uno de estos motores:

	MOTOR DC CONVENCIONAL	MOTOR DC SIN ESCOBILLAS
ESTRUCTURA MECÁNICA	Elementos magnéticos en el estator.	Elementos magnéticos en el rotor.
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	Respuesta rápida y excelente controlabilidad	Fácil mantenimiento
CONEXIÓN DE LOS EMBOBINADOS	Conexión Δ	Conexión Δ o Y
MÉTODO DE CONMUTACIÓN	Contacto mecánico entre las escobillas y el conmutador	Conmutación electrónica por medio de transistores.
MÉTODO PARA DETECTAR LA POSICIÓN DEL ROTOR	Detectada automáticamente por las escobillas.	Sensor de efecto Hall, encoder óptico...
MÉTODO DE REVERSA	Cambiando la polaridad del voltaje.	Cambiando la lógica.

Tabla 5. DC con escobillas vs DC sin escobillas.

1.3.5 MOTOR EMPLEADO

Como hemos indicado anteriormente nuestro monoplaza estará provisto de dos motores que irán situados en las ruedas traseras del vehículo. Estos son motores brushless. Presentamos a continuación una tabla de las características principales de los dos motores que serán empleados.



Figura 24. Motor de la moto.

Motor

Tipo de motor	Motor DC sin escobillas (sin mantenimiento)
Par motor	65 Nm
Potencia máxima	20 KW (27 CV)
Neumático trasero	140/60 R13
Pack Baterías	Baterías de Nickel Metal Hidruro. 125 V - 30 Ah
Cargador	110-230 V, 1.5 KW
Tiempo de carga	3-5 h
Punto de carga necesario	Enchufe estándar de 230 V / 16 A, con RCD
Tracción	Eléctrica
Carga máxima admisible	425 kg
Masa en vacío	210 Kg
Velocidad máxima	110 km/h
Autonomía	Hasta 110 Km en uso urbano
Aceleración 0-80 km/h	6,8 segundos
Emisiones directas CO ₂	0 g CO ₂ /Km
Emisiones indirectas CO ₂	0 g CO ₂ /Km, si proviene de energías renovables y/o se carga de noche. 17 g CO ₂ /Km, si usamos electricidad normal

Tabla 6. Características principales de la moto.

A continuación podemos ver el motor desmontado por ambas caras:



Figura 25. Engranaje planetario



Figura 26. Interior del motor

5. ELECTRÓNICA Y CABLEADO ORIGINAL.

Como sabemos, para el diseño y realización de nuestro monoplaza partiremos tanto de la electrónica como de los motores de dos motos tipo vectrix v1. Se trata de dos motos eléctricas que satisfacen en gran medida nuestras necesidades.



Figura 27. Vectrix VX1.

5.1 VECTRIX VX1

Antes de comenzar con la electrónica y el cableado, que es donde nos centraremos para realizar la adaptación, vamos a hablar de las características fundamentales de la moto, ya que numerosos aspectos nos serán útiles y aprovechadas.

El VX1 se mantiene como uno de los megascooters eléctricos más polivalentes y de mayor calidad técnica del momento, gracias en gran parte a sus evolucionados, eficientes y solventes sistemas de propulsión y alimentación eléctricos

La mecánica de desplazamiento, como hemos indicado anteriormente, se basa en un motor tipo Brushless DC de corriente continua sin escobillas, situado en el buje de la rueda posterior. Este modelo ofrece una potencia máxima de 21 kW (28,5 CV), y goza de un impresionante par constante de 6,63 kg·m. Realmente, el motor Brushless trabaja con suavidad, muy progresivamente y con una ausencia casi total de ruido. Decimos casi total porque lo único que lograremos escuchar es ese habitual zumbido tan característico de los cada vez más populares scooters eléctricos.

A pesar de su tamaño (1.524 mm de distancia entre ejes) y peso (209 kg), tiene una aceleración rápida, pasando de 0km/h a 100 km/h en 9 segundos, y con un tacto de acelerador preciso incluso cuando se le exige circular a velocidades muy bajas. Comparar directamente un scooter eléctrico con sus homónimos con motor de gasolina puede ser muy sorprendente para nuestra mentalidad basada en las prestaciones y el comportamiento de los scooters de motor de explosión.

En cuanto a los frenos, en su caso, se trata de un par de discos de 280 mm con unas pinzas de dos pistones paralelas para el anterior y el posterior (siendo los discos Brembo). Nos encontramos frente a un buen sistema de frenada para un scooter, gracias a su poder de retención en ambos trenes y a una capacidad de dosificación debida a la precisión de su tacto, proporcionado, en gran medida, por los latiguillos metálicos inextensibles que equipa de serie.

Datos generales

Longitud total (mm)	2170
Anchura total (mm)	830
Altura total (mm)	1280
Distancia entre ejes	1524
Altura del asiento	775
Peso	231

Ficha técnica VECTRIX VX-1 Ni

Potencia máxima	21 kW cv
Par motor máximo (Nm)	65 Nm
Transmisión	Integrada a la rueda posterior, con rotación epicicloidal
Chasis	Aleación de aluminio rígido
Suspensión delantera	Horquilla telescópica Marzocchi
Suspensión trasera	Amortiguador Sachs de 110 mm y regulable en 5 posiciones
Neumático delantero	Pirelli: GTS23 120/70-14
Neumático trasero	Pirelli: GTRS23 140/60-13

Tabla 7. Datos generales vectrix VX1.

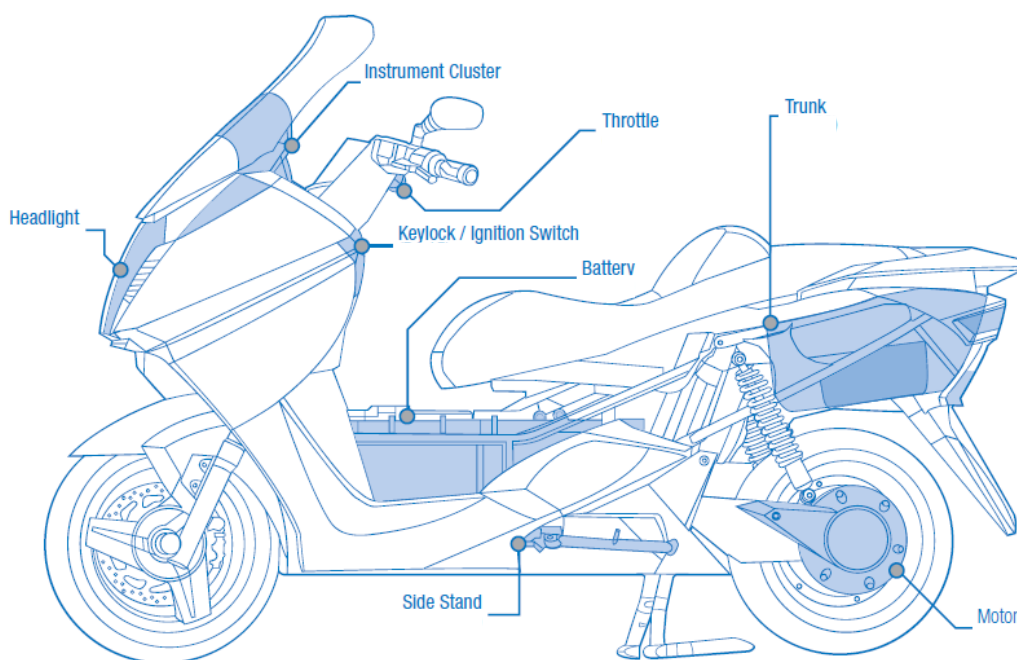


Figura 28. Componentes importantes de la moto

A continuación detallamos todas las vistas de la moto con todo el cableado y conectores que nos servirán para el desarrollo y diseño del coche.

- **Vista frontal**

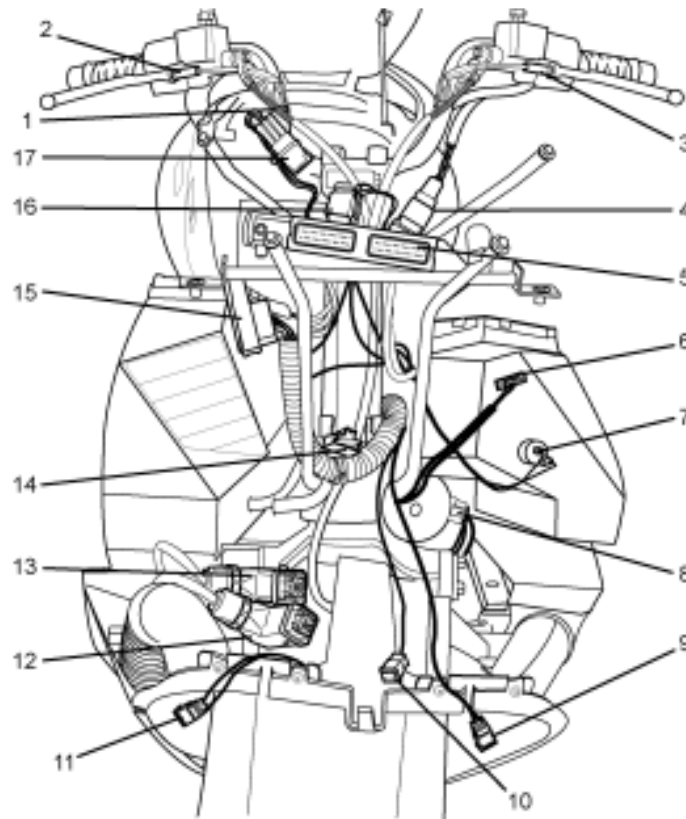


Figura 29. Vista frontal de la moto

Leyenda

- | | |
|--|---|
| (1) J18 - Control del manillar derecho | (10) J7 - Luz de posición delantera |
| (2) J12, J13 - Conmutador de freno derecho | (11) J8 - Intermitente delantero derecho |
| (3) J10, J11 - Manillar izquierdo | (12) V19 - Cable de alimentación del cargador |
| (4) J19 - Control del manillar izquierdo | (13) V20 – Cargador |
| (5) J2 - Módulo de control de interfaz (ICM) | (14) J6 – Faro |
| (6) J5 - Conector de enlace de datos (DLC) | (15) J1C - Cargador de batería |
| (7) J14, J15 - Toma de corriente de accesorios | (16) J4 - Grupo de instrumentos del tablero (IPC) |
| (8) J16, J17 - Claxon (17) P3 - Mazo principal a mazo de carga | |
| (9) J9 - Intermitente delantero izquierdo | |

- Vista del basculante del lado izquierdo del scooter

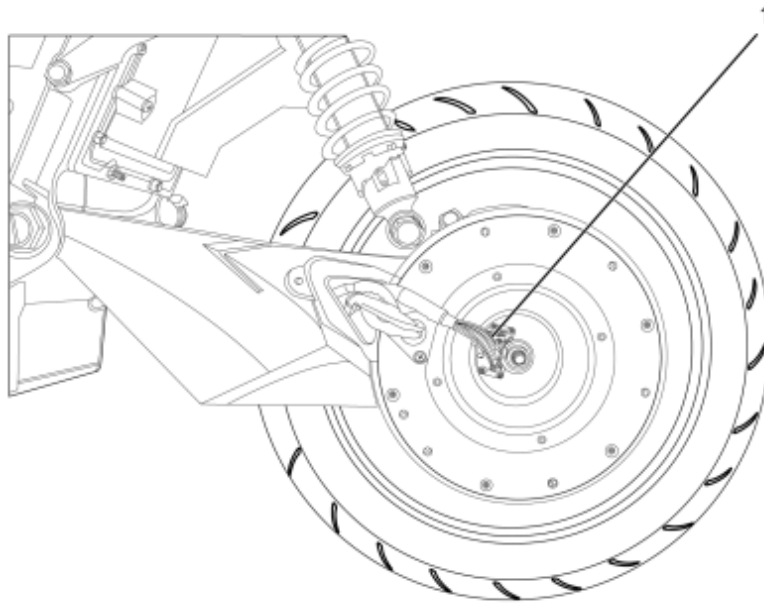


Figura 30. Vista del basculante del lado izquierdo.

Leyenda

- (1) J2E - Conector de codificador

- Vista lateral izquierda del scooter

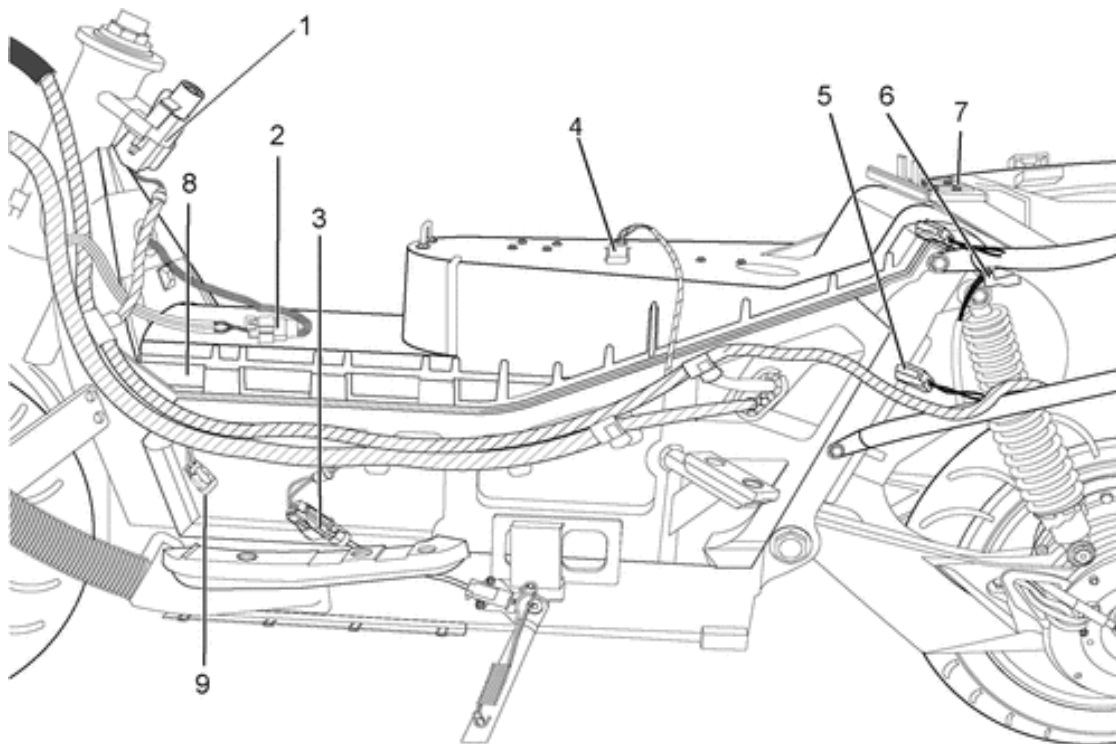


Figura 31. Vista lateral izquierda

Leyenda

- | | |
|---|---|
| (1) J20 - Interruptor de encendido | (5) J26 - Conmutador de asiento |
| (2) J26 - Sensor de temperatura de la batería delantero | (6) J25- Línea interna de conmutador de luz de maletero |
| (3) J21- Conmutador de caballete lateral | (7) Conmutador de luz de maletero |
| (4) J6C - Ventilador de refrigeración de batería | (8) Conector principal de batería |
| | (9) Sensor de temperatura ambiente |

- **Vista del controlador del motor**

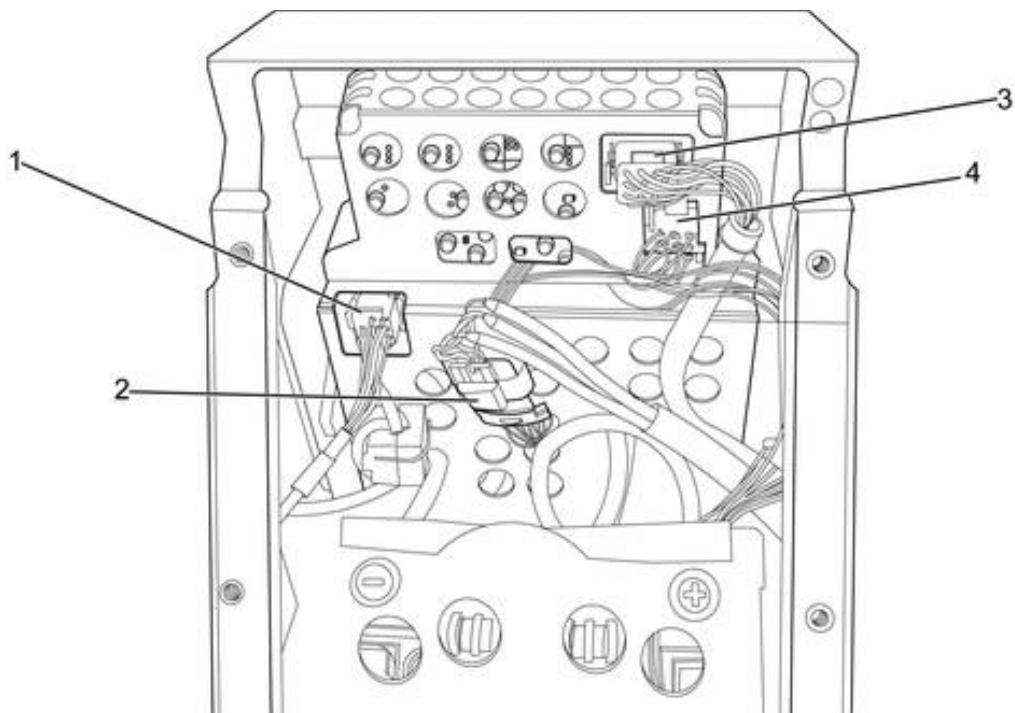


Figura 32. Vista del controlador del motor

Leyenda

- (1) J1P - Controlador del motor
- (2) J5C - Conector del sensor de temperatura de batería trasera
- (3) J22 - Controlador del motor
- (4) J22E - Controlador del motor

- **Vista posterior del scooter**

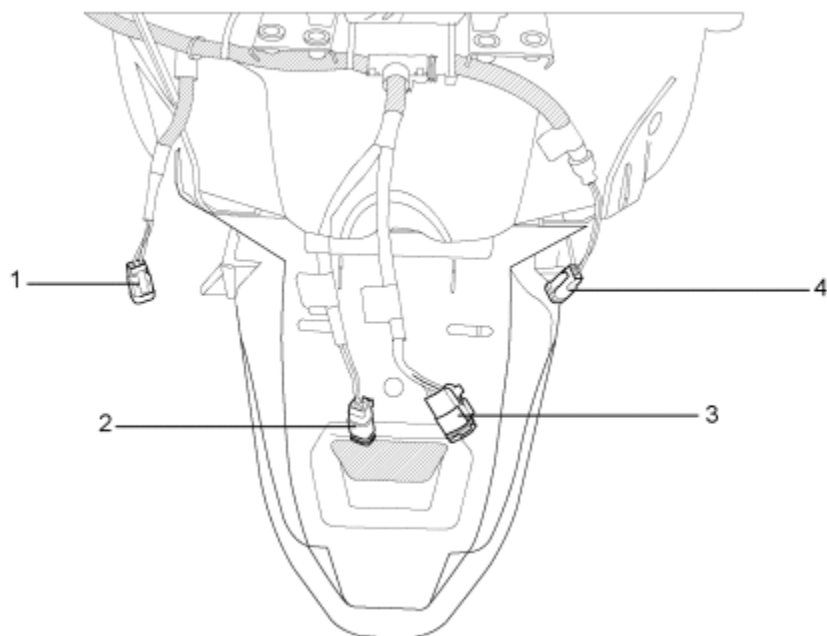


Figura 33. Vista posterior

Leyenda

- (1) J27 - Conector de intermitente izquierdo
- (2) J29 - Conector de luz de placa de matrícula
- (3) J28 - Conector de luz de freno/trasera
- (4) J20 - Conector de intermitente derecho

- Vista lateral derecha del scooter

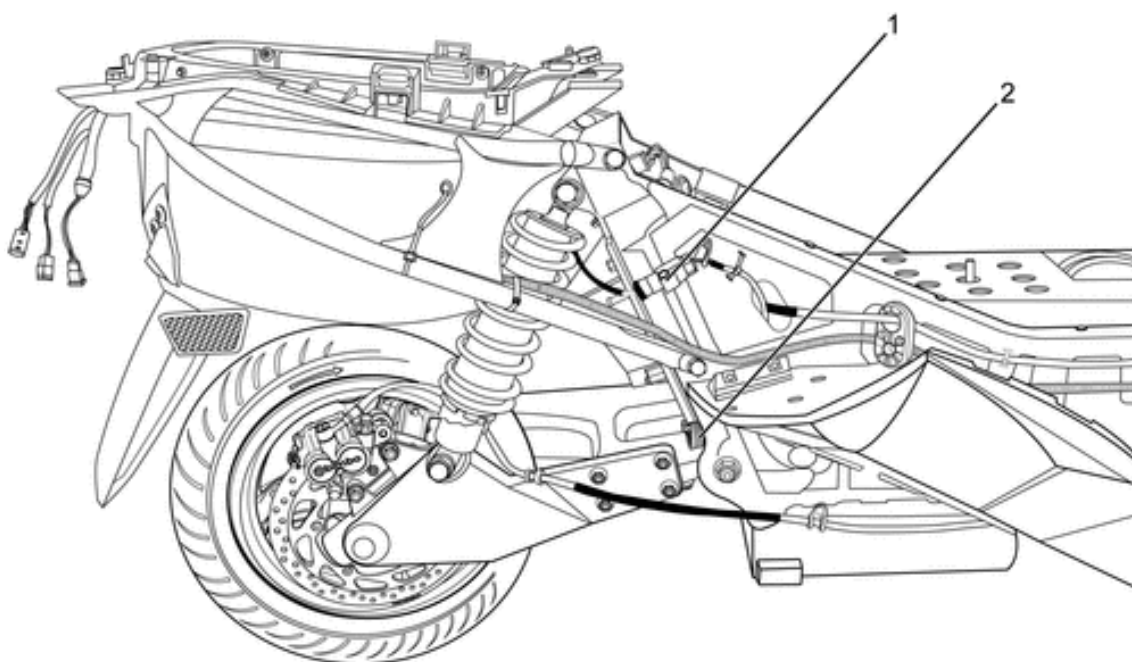


Figura 34. Vista lateral

Leyenda

- (1) J1 - Conector del ventilador de refrigeración del controlador
- (2) Tira de masa de suspensión trasera basculante

5.2 DIAGRAMA GENERAL VECTRIX.

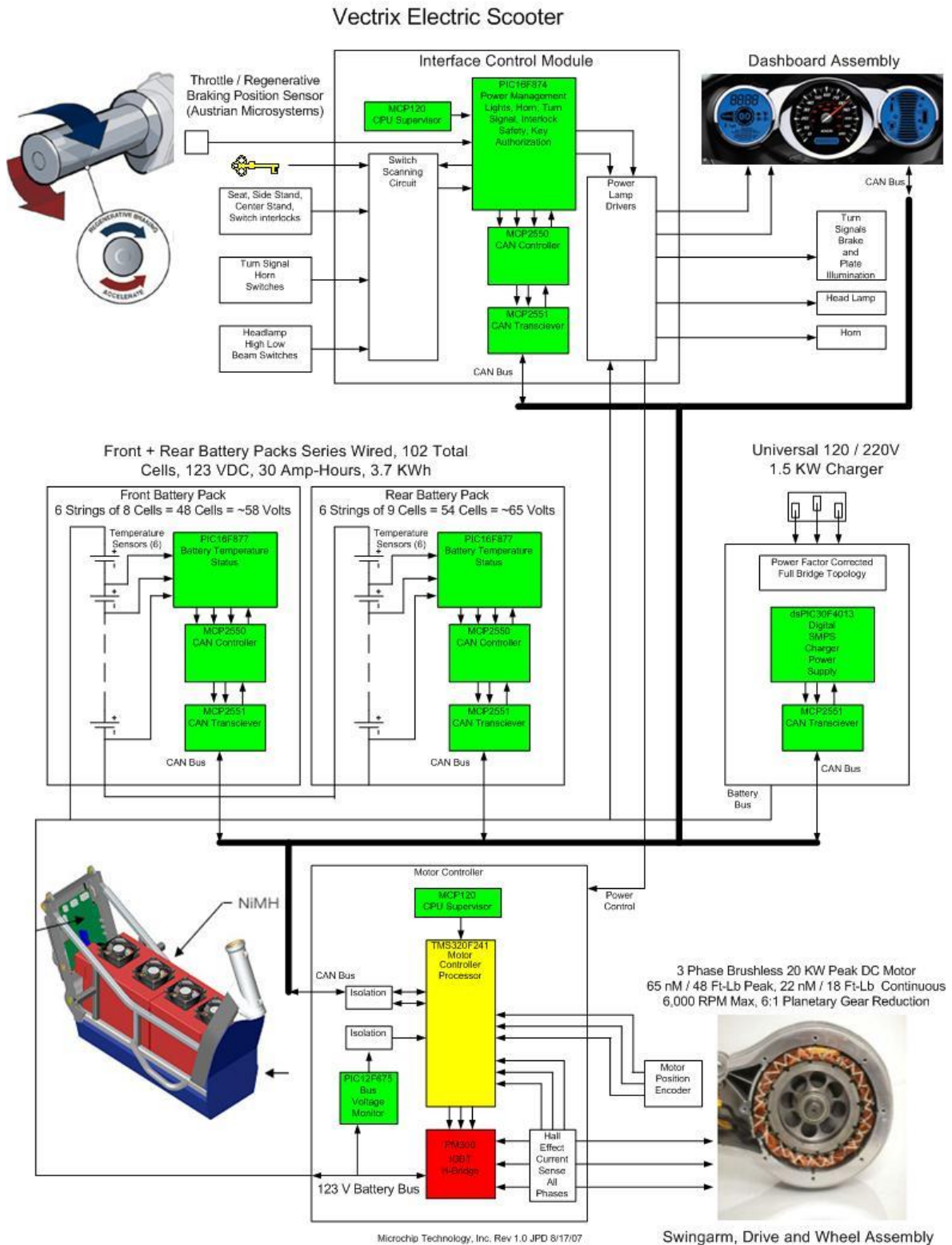


Figura 35. Diagrama general moto Vectrix



Figura 36. Visión general de la moto.

5.3 SISTEMA DE ARRANQUE.

Una de las partes más importantes de todo vehículo es el arranque. En unos casos basta con girar la llave, en otros existe un pulsador. En la moto sin embargo hay que seguir una secuencia.

Lo primero que debemos de hacer es poner el contacto de la moto. Una vez puesto el contacto debemos de esperar a que el marco se ilumine indicando que debes continuar, es decir, todavía no lo hemos arrancado. Existen indicadores para informarnos en que momento estamos del proceso. Así pues, para indicar que únicamente tenemos dado el contacto, y tras esperar a que el marco se ilumine, en la pantalla de cristal líquido de la izquierda del cuadro de instrumentos se enciende un indicador READY.

Tras ello tendremos que presionar la maneta izquierda de la moto, a continuación presionamos la derecha, y una vez hecha esta secuencia esperamos un momento y se enciende el testigo GO al lado del READY de antes. Así pues, nos indican que ya estamos listos para circular.

Hay que tener cuidado ya que no se escucha ningún ruido y si nos despistamos abriendo el acelerador de golpe la moto se pone en movimiento con 6,63 kg·m de par.

5.4 ESQUEMAS ELECTRICOS DE ILUMINACIÓN.

La moto está dotada de gran cantidad de iluminación como es necesario para una moto que circule por la vía urbana, sin embargo, para el diseño de nuestro vehículo, esto no es necesario. A su vez será necesario incorporar otros elementos (tanto de iluminación como de otro tipo) para cumplir con la normativa SAE.

Así pues, en este apartado hablaremos de todas las conexiones y circuitos originales de la moto. Después haremos referencia a la normativa realizando los cambios necesarios.

La iluminación es el apartado más amplio debido a la gran cantidad de luces necesarias y voluntarias que llevan incorporado los dispositivos, ya sea por seguridad del conductor o por simple estética. Toda la información la obtendremos del manual de la moto vectrix. Este manual proporciona información sobre la diagnosis, los procedimientos de servicio, los ajustes y las especificaciones relacionadas con el Scooter eléctrico Vectrix. A continuación nombramos todas las luces que lleva incorporada la moto.

ILUMINACIÓN	INFORMACIÓN ADICIONAL
Luz de freno	Al igual que sucede en un coche, al tocar el freno se enciende una luz en la parte trasera de la moto para alertar a los demás vehículos.
Luz posición delantera	La luz de posición delantera se enciende en el momento del poner el contacto de la moto. Se trata de una luz fija que podremos utilizar posteriormente.
Faro y Luz de cruce	Los faros son halógenos. Con los halógenos, es muy importante que el enfoque sea correcto.
Intermitentes	Al tratarse de un vehículo que circula por la vía urbana debe de tener todo tipo de señalización obligatoria.
Luz de maletero	La moto posee un pequeño maletero en el asiento y contiene una luz para la visibilidad en su interior.
Luz marcha atrás	Al girar el manillar en sentido contrario al habitual, el movimiento comienza marcha atrás. En este momento se enciende una luz para indicar dicha acción. Para que se produzca este movimiento la moto debe partir del reposo absoluto.

Tabla 8. Iluminación original.

Podremos encontrar más información en los esquemas de iluminación y en las características de los conectores que podremos encontrar en el *anexo III 2.1: Iluminación*.

5.5 CUADRO Y GRUPO DE INSTRUMENTOS

El grupo de instrumentos es una pantalla de cristal líquido que contiene un microprocesador. El microprocesador del grupo de instrumentos se comunica con otros módulos del scooter a través de la línea de datos de serie CAN. La información que pasa a través de la línea de datos de serie CAN, junto con los circuitos especiales para los sensores específicos, conmutadores y módulos, proporciona las entradas que se usan para hacer funcionar todos los medidores e indicadores en el grupo de instrumentos. Éste procesa continuamente los datos de serie CAN a fin de determinar los valores y estados correctos que debe exhibir.

La pantalla del grupo de instrumentos no es reparable y debe reemplazarse como conjunto. El grupo de instrumentos incluye los siguientes componentes:

- Medidores
- Indicadores
- Velocímetro/cuentakilómetros

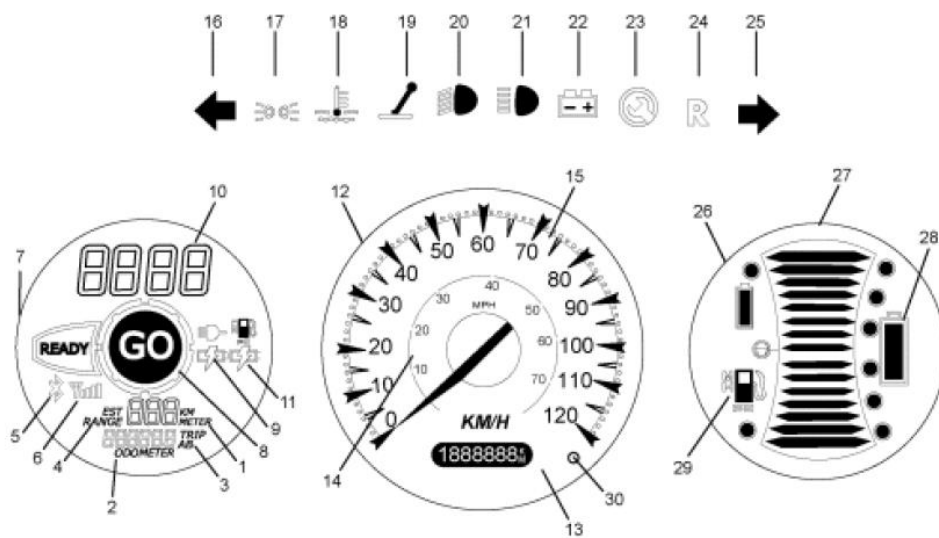


Figura 37. Cuadro de la moto.

Leyenda:

- | | |
|--|---|
| (1) Indicador de trayecto A-B | (6) Indicador de alcance de RF |
| (2) Indicador de cuentakilómetros | (7) Indicador de Listo |
| (3) Cuentakilómetros o lectura de trayecto A-B | (8) Indicador de Adelante |
| (4) Lectura de alcance estimado | (9) Indicador de carga de batería/carga |
| (5) Indicador de Bluetooth | (10) Lectura del reloj |

- (11) Indicador de carga de célula de combustible/carga
- (12) Velocímetro (Km/h-MPH)
- (13) Lectura del cuentakilómetros
- (14) Indicador de Km/h
- (15) Indicador de MPH
- (16) Indicador de intermitente izquierdo
- (17) Indicador de luces de posición
- (18) Indicador de temperatura alta
- (19) Indicador de caballete lateral/central
- (20) Indicador de luz de cruce
- (21) Indicador de luz de carretera

- (22) Indicador de funcionamiento incorrecto de la batería
- (23) Indicador Mantenimiento requerido
- (24) Indicador de reversa
- (25) Indicador de direccional derecho
- (26) Indicador de batería (Modo dual)
- (27) Indicador de nivel de batería/célula de combustible
- (28) Indicador de batería (Modo Sólo batería)
- (29) Indicador de célula de batería
- (30) Sensor de luz

5.5.1 FUNCIONES DE LOS CONMUTADORES.

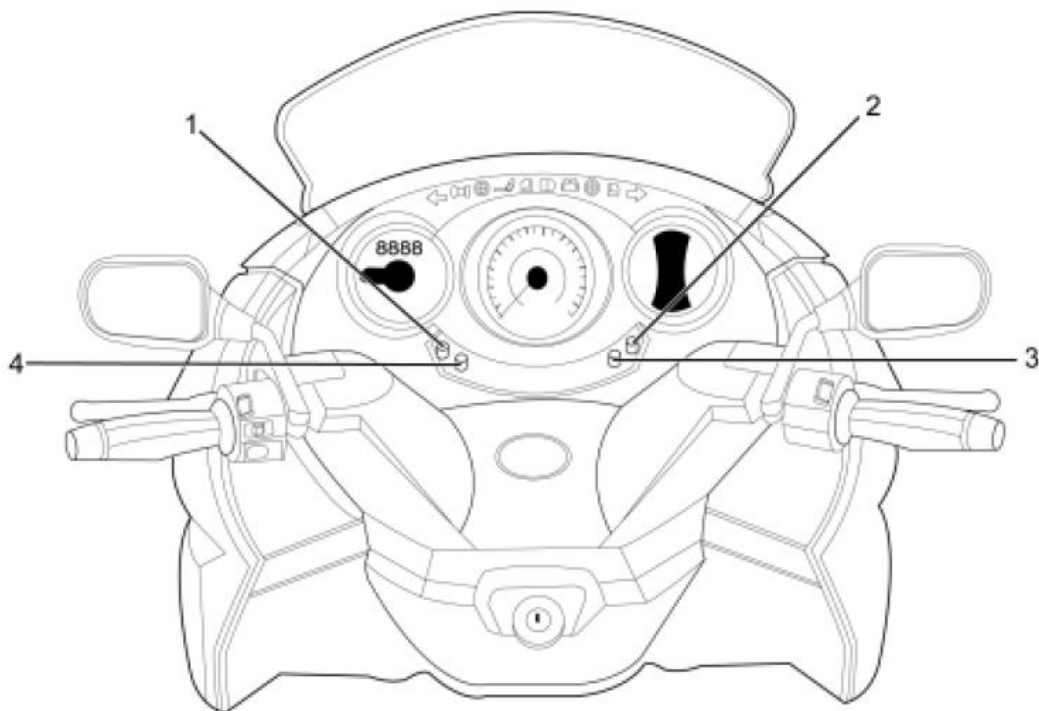


Figura 38. Conmutadores de la moto

Leyenda

- (1) Selector de Km/h-MPH
- (2) Selector de cuentakilómetros de trayecto A-B
- (3) Ajuste de minutos
- (4) Ajuste de la hora

5.6 BATERÍAS

Batería	
Tipo de batería	Níquel Metal Hidruro (NiMH)
Capacidad nominal	30 AH 3,7 kWh
Tensión	125 voltios
Tiempo de recarga	2 horas (80%)
Ciclos de descarga	1.700
Vida útil estimada	80.000 km (50.000 millas)
Cargador de batería	
Salida nominal	1,5 kW
Entrada nominal	110 V - 220 V (50/60 Hz)

Tabla 9. Información general de las Baterías.

El conjunto de las baterías está formado por una serie de elementos fundamentales. Hablaremos tanto de las baterías en sí, como de estos elementos sin los cuales la conducción podría ser incluso peligrosa o no permitida.

Por un lado tenemos el conjunto de baterías en sí. Cuando trabajamos con las baterías debemos de tener cuidado, ya que la batería tiene una tensión de bus nominal de 150 voltios DC que podría provocar lesiones graves si no se toman precauciones.

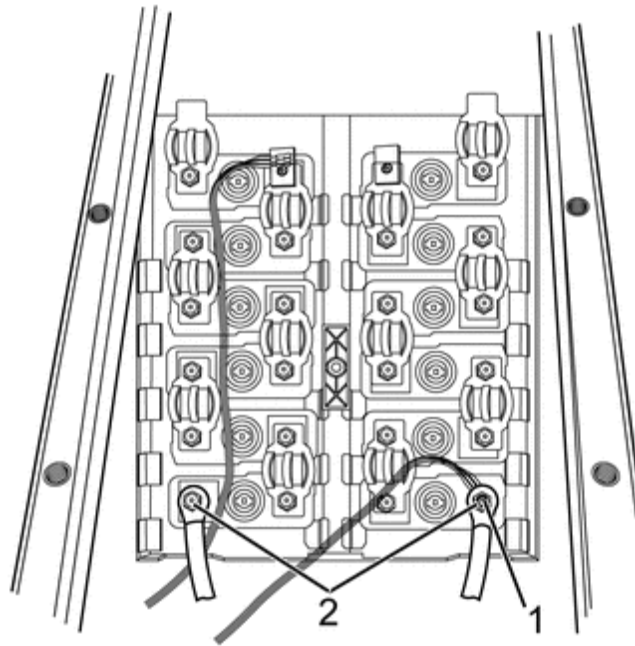


Figura 39. Terminales positivo y negativo de la batería principal.

Los conjuntos de baterías están situados dentro del chasis del scooter. Hay dos conjuntos de baterías. Los conjuntos de baterías necesitan mantenerse dentro de ciertos límites de temperatura de funcionamiento. Para cumplir con dicha especificación las baterías están dotadas de un ventilador. La tapa superior de la batería o cámara del ventilador de refrigeración dirige aire frío por las cajas de baterías. Los ventiladores funcionan en respuesta a la temperatura y están activos mientras el scooter está en marcha y mientras el cargador de baterías está en funcionamiento. Hay entradas del ventilador de refrigeración en la parte delantera del scooter que son importantes de mantener sin residuos. También hay conductos de entrada conectados entre las entradas y las cajas de las baterías; éstos deben estar conectados para garantizar que pase aire frío por el sistema.

Las baterías son de Níquel Metal Hidruro (NiMH). Tienen una capacidad de 30 Ah, 3,7 kW-h. La tensión nominal de la batería es 125 voltios. El tiempo de recarga de la batería (80% de carga) es de unas 2,5 horas. Los ciclos completos de descarga de la batería (80% de carga) son alrededor de 1.700. La vida útil estimada de la batería es de 80.000 km (50.000 millas).

El cargador de batería está situado detrás del panel carenado delantero derecho. Las baterías deberían mantenerse frías cuando se están cargando, puesto que normalmente las altas temperaturas acortan la vida útil de las mismas. Cuando carga, los ventiladores de refrigeración de batería se encienden para evitar que haya alta temperatura durante el proceso de carga. Las baterías elevarán su temperatura durante la segunda mitad del proceso de carga. Varios sensores de temperatura están colocados dentro de los conjuntos para monitorizar la carga y/o la temperatura de la batería. Si la temperatura se eleva por encima del umbral presente, el proceso de carga se detendrá hasta que se alcance una temperatura aceptable.

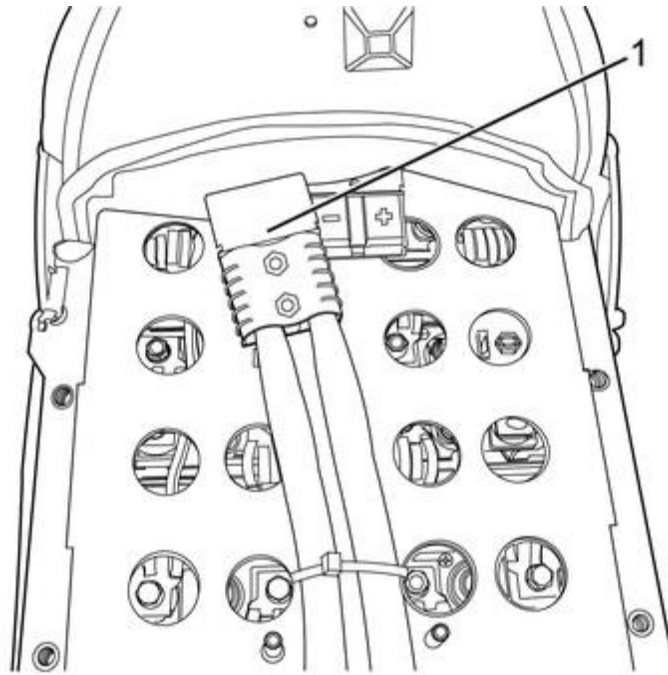


Figura 40. Conector de la batería principal.

El cargador controla automáticamente el proceso de carga; durante este proceso de carga estará activo el icono de carga de la batería a la izquierda de la pantalla LCD del IPC. A medida que el proceso de carga avanza, el indicador de nivel de la batería en el LCD del IPC aumentará. La carga está completa cuando se han llenado todas las barras en el indicador de nivel. Si el cargador detecta cualquier bajo rendimiento en los conjuntos de baterías, realizará automáticamente una carga de ecualización de las baterías. Esta carga de ecualización se extenderá por un tiempo de carga de 2,5 horas. El cargador de batería tiene una tensión de entrada requerida para operar de 110 V - 220 V (50/60 Hz). Producirá 1,5 kW de salida.

5.7 MOTOR

El motor está situado en el lado izquierdo de la suspensión trasera basculante con su eje conectado a la caja de cambios. En el motor de entrehierro radial DC sin escobillas, los electroimanes no se mueven; en cambio, los imanes permanentes giran y el inducido permanece estático. Esto nos evita el problema de cómo transferir corriente a un inducido en movimiento. A fin de lograr esto, el conjunto de sistema de escobilla y colector es reemplazado por el controlador del motor. El controlador realiza la misma distribución de tensión que se halla en los motores DC con escobillas, pero utiliza un circuito de estado sólido en lugar de un sistema de colector y escobilla.

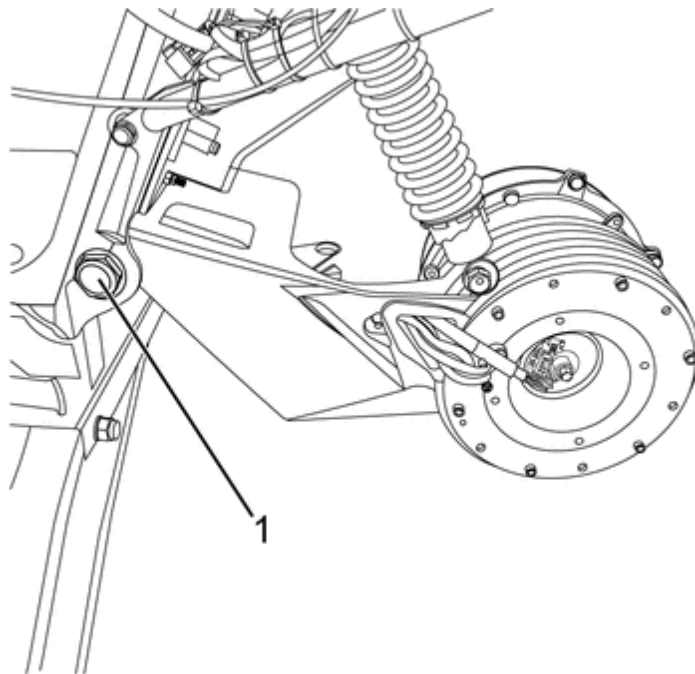


Figura 41. Unión del basculante al motor.

Debido a que el controlador debe dirigir el giro del rotor, el controlador necesita algún medio para determinar la orientación o posición del rotor (relativa a las bobinas del estator). Un codificador giratorio para medir directamente su posición. La potencia máxima es 21 kW a 3.000 rpm, dándose la tensión máxima a 16 kW y 3.000 rpm. La corriente máxima es 275 amperios a un par de 65 N·m (48 lbs. pie), pudiéndose alcanzar el par máximo desde una velocidad de 0 rpm.

La caja de cambios planetaria está permanentemente sellada y lubricada. Para ventilar la caja de cambios hay un pequeño tapón de ventilación situado en la parte superior del lado del motor

de la suspensión trasera basculante. Esta ventilación debe mantenerse limpia de tierra y residuos.

El controlador del motor provee la interfaz entre las baterías y el motor. El uso del codificador le permite al motor saber la posición del rotor del motor.

El control de aceleración/freno está situado en el manillar derecho. Este control es el interfaz de usuario, que determina el movimiento hacia adelante a la vez que implementa el frenado regenerativo y la reversa. La reversa sólo se activa desde una posición de parada completa.

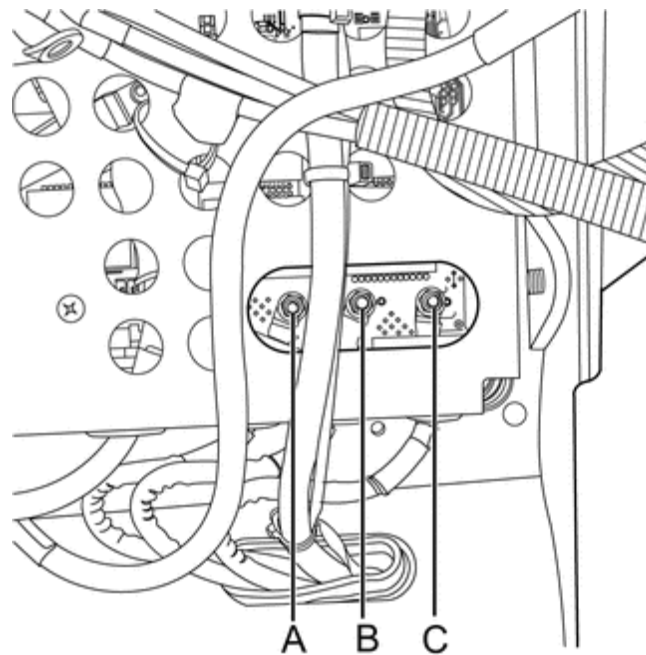


Figura 42. Conexión al motor.

Los cables importantes (A, B y C) deben estar en su posición correcta para que el motor gire correctamente y en el sentido deseado.

5.8 CONTROLADOR DEL MOTOR

El motor eléctrico diseñado por Vectrix lo suministra por SBA Parker Hannifin (Milán, Italia). El motor trabaja en una amplia gama de la velocidad. El regulador del motor, con un DSP de Texas Instruments TMS320F241 16 bits, se encarga de esta tarea, que consiste en operar de 0 a 1 kHz y 0 a 375 amperios pico mediante el control de ganancia en el lazo de corriente. Debido a que se trata de un motor eléctrico, produce su par máximo a velocidad cero, par que está limitado a velocidades bajas en el vehículo, por lo que la moto es menos propensa a sobrecargar el motor.

Las revoluciones por minuto del motor están limitadas a 5.000, aproximadamente 1.000 rpm por debajo de su capacidad máxima, que se traduce en la velocidad de 100 km/h a 5.000 rpm en la moto VX1.

Muchas de estas y otras funciones electrónicas se llevan a cabo gracias al módulo de control de interfaz (ICM). Este componente maneja, acelerador entradas y salidas del controlador del motor, frenado regenerativo para conservar energía, el panel de instrumentos, la bocina, los intermitentes, los sensores de temperatura y carga de batería, todo esto forma un "Caja de I/O". Una red determinista de CANbus une funcionalidad y controles electrónicos de scooter eléctrico VX1.

Podemos ver que el circuito impreso ICM es bastante convencional. Tecnología de Microchip PIC se presentan para su control y funciones, junto con controladores de LED y FETs.

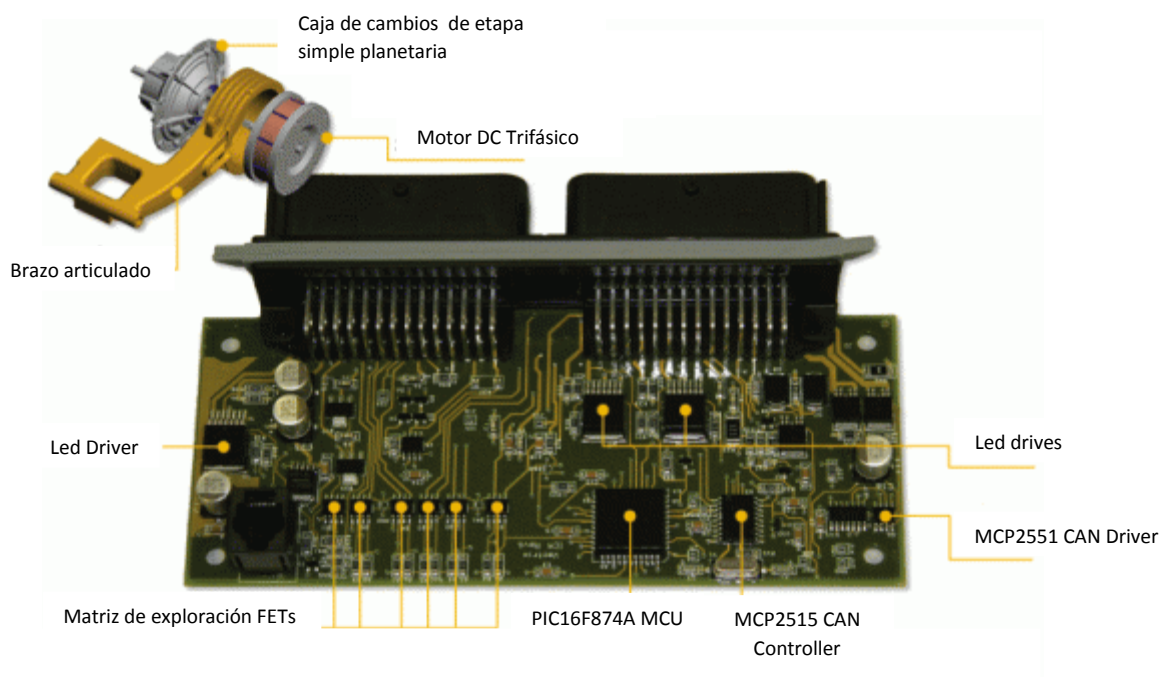


Figura 43. Controlador electrónico del motor

Algunos de los elementos de diseño único de la VX1 destacan en el software. Como por ejemplo puede ser tomar el control del acelerador en el manillar. Vectrix ingenieros podrían haber

utilizado un enlace de control mecánico convencional. Sin embargo, decidió tomar ventaja del motor de accionamiento eléctrico de la vespa para funcionar como un generador y cargar la batería por la frenada regenerativa y así conservar la energía al frenar el vehículo. El mando del acelerador de la vectrix, es un control electrónico, de modo que al activarlo en una dirección conseguimos la aceleración y en sentido contrario la frenada regenerativa.

Un codificador magnético rotatorio absoluto Austriamicrosystems proporciona una señal PWM de la posición del manillar del acelerador que la ICM envía al controlador de motor a través del CANbus.

6. MODIFICACIONES EN LA ELECTRÓNICA Y CABLEADO DE LA MOTO.

Como explicamos anteriormente nuestro vehículo va a ser la unión de dos motos eléctricas que cumplen en gran medida con nuestras especificaciones. En este apartado lo que contaremos serán las modificaciones que son necesarias realizar a la moto para que cumpla con nuestros requisitos y los impuestos por la normativa general SAE.

Estos cambios los realizaremos únicamente en una de las motos ya que si nos encontramos ante cualquier problema o fallo en el sistema tendremos una moto que funciona a la perfección como originalmente estaba diseñada. Así pues, si en mitad de un proceso de modificación nos encontramos con algún inconveniente tendremos una guía donde fijarnos para solventar dicho problema.

Además, cada vez que realicemos cualquier cambio, por mínimo que sea, debemos probar el sistema completo para comprobar que no ha producido fallos en ningún otro punto del vehículo, porque como sabemos, puede suceder que un cambio insignificante para nosotros suponga un variación en una secuencia de actuación para el sistema y si no lo detectamos en el momento en un futuro será más complicado de solucionar.

De modo que ésta será nuestra manera de trabajar para procurar tener el mínimo número de problemas posibles o por lo menos solucionarlos sin incluir nuevos inconvenientes.

Por tanto explicaremos el procedimiento de cambio del sistema en una sola moto, como ambas motos son idénticas, las variaciones en las dos serán las mismas.

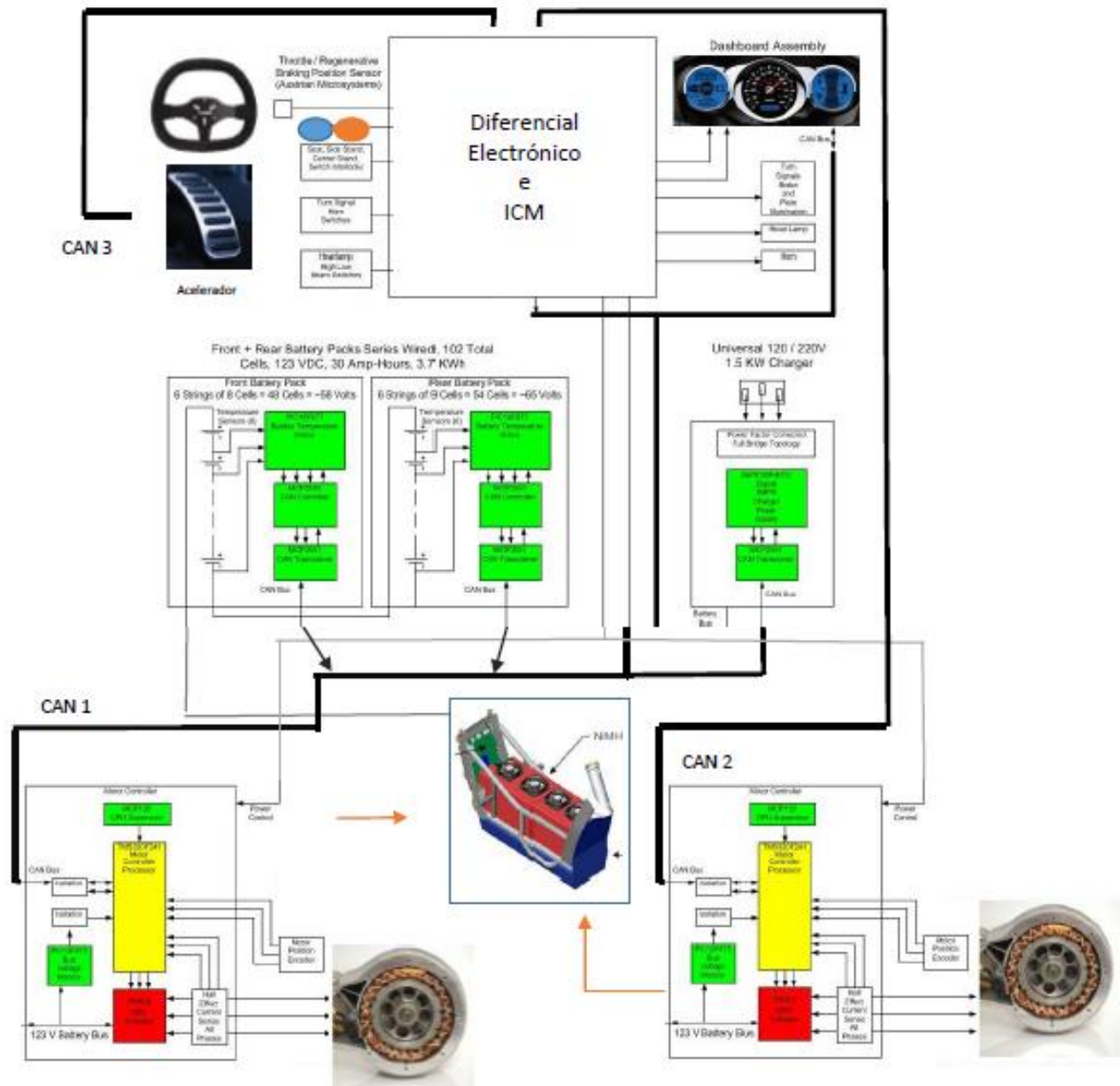


Figura 44. Diagrama de bloques general

6.1 MODIFICACIONES SISTEMA DE ARRANQUE.

Como hemos explicado, la moto necesita seguir una secuencia para ser arrancada.

Lo primero es poner el contacto, en la moto original este proceso se realizaba girando la llave. Ahora hemos sustituido la llave por un interruptor. El cambio ha sido sencillo pues es sustituir uno por otro utilizando el mismo cableado y sin realizar modificaciones complementarias.

El interruptor que sustituye a las llaves es el siguiente:



Figura 45. Llave de la moto

Interruptor de botón pulsador, DP, Montaje en Panel, acción mantenida, iluminado, 6 A a 12 V dc, 6 A a 250 V ac



Figura 46. Interruptor start/stop.

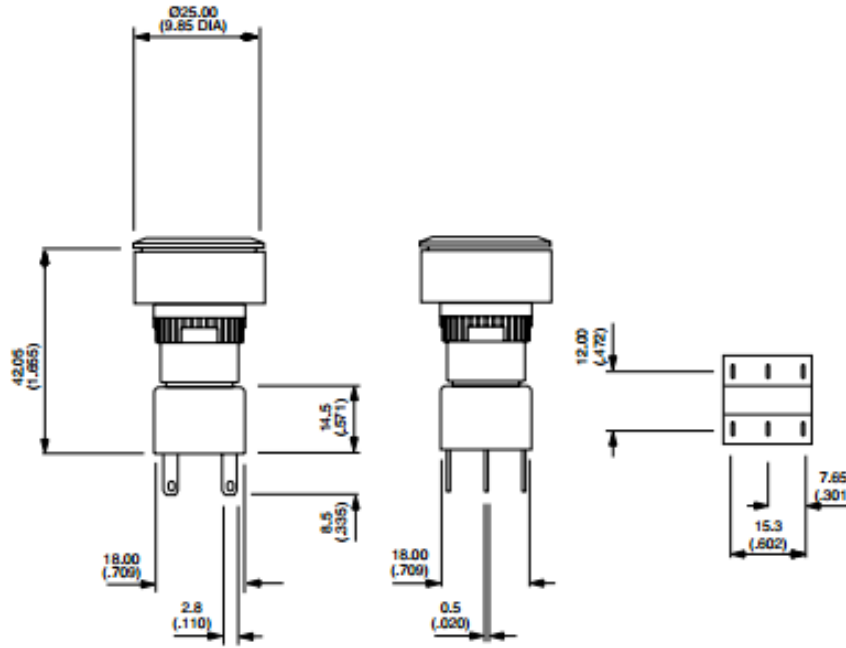


Figura 47. Medidas del interruptor.

Una vez puesto el contacto viene el arranque del vehículo, para ello debemos de cambiar nuestra secuencia debido a que ciertos pasos son imposibles llevarlos a cabo en un coche. Así pues, donde debíamos de quitar la pata de cabra y a continuación presionar la maneta izquierda y después la derecha hemos realizado una secuencia similar.

Nos ha parecido bien el hecho de tener una serie de pasos a la hora del arranque del monoplaza ya que como es eléctrico, podría ser arrancado pulsando un solo botón de manera no intencionada. A su vez, cualquier persona sabría cómo realizar el arranque. De este modo tenemos, tanto seguridad para el equipo y piloto como privacidad.

Así pues, hemos modificado lo de presionar la maneta izquierda y derecha por dos pulsadores convencionales. Para ello, conectamos la señal del freno izquierdo al pulsador de contacto, de modo que el primer paso de la secuencia se activa automáticamente al poner el contacto del vehículo. Finalmente conectamos la señal de freno derecho al interruptor de arranque. Así pues se realiza la secuencia simplemente pulsando un botón y un interruptor consecutivamente.



Figura 48. Pulsador arranque

El mayor cambio es el de la pata de cabra. Un coche no lleva incorporada la pata de cabra, sin embargo si la moto no tiene la pata de cabra levantada un sensor no le permite el arranque del mismo. Para solucionar este inconveniente teníamos dos posibilidades:

1. La más sencilla, y en la que primero pensamos, fue en cortocircuitar dicha pata de cabra. Así el sensor le mandaría siempre la información de que está levantada y nunca tendríamos ningún problema en este punto.
2. Otra opción es sustituirla por otro interruptor o similar. Esta opción parece menos óptima ya que no vamos a querer nunca tener la pata de cabra bajada, sin embargo es la escogida porque nos es útil para cumplir con las especificaciones de la normativa.

NOTA: Realmente lo que estamos simulando es un sistema redundante al arranque, que consiste repetir aquellos datos o secuencias de carácter crítico y lo cuales se quieren asegurarse ante posibles fallos que puedan surgir en su uso.

Se presenta como una solución a los problemas de protección y confiabilidad. Este tipo de sistemas se encarga de realizar el mismo proceso en más de una estación, ya que si por algún motivo alguna dejara de funcionar o colapsara, inmediatamente otro tendría que ocupar su lugar y realizar las tareas del anterior. Aplicamos por tanto este modo de trabajo al momento del arranque, empleado todos los elementos necesarios para que se produzca esta acción y evitando problemas en los mismos.

Siempre que realizamos cualquier cambio es en función de dicha normativa. Por tanto a la hora de diseñar el modo de arranque también tenemos normas y limitaciones.

La normativa SAE nos dice en relación con el sistema eléctrico y el sistema de paro que es obligatorio que el vehículo esté equipado de dos interruptores maestros que formen parte del sistema de parada, podemos verlo en el *apartado IC4.2 Primary Master Switch* y en el *apartado IC4.3 Cockpit-mounted Master Switch*.

6.1.1 INTERRUPTOR MAESTRO PRIMARIO.

- Debe estar ubicado en el lado derecho del vehículo, en las proximidades del aro principal, a la altura del hombro y ser fácilmente accionado desde fuera del coche.
- Debe desactivar la alimentación de todos los circuitos eléctricos, incluyendo la batería, el alternador, luces, controles eléctricos...
- Toda la corriente de la batería debe fluir a través de ese interruptor.
- Debe ser de acción directa.
- La posición OFF como la ON debe de estar bien señalizada.

Como se trata de un vehículo eléctrico, hemos utilizado una primera seta de emergencia situada como nos han indicado (IC4.2 normativa) y la hemos conectado a las baterías. De modo que cuando es accionada, automáticamente se procede a la desconexión de las baterías y por tanto todos los sistemas del vehículo que dependen de la corriente y de la tensión enviada por las mismas se desactivan. Hemos elegido una seta de dos fases para poderla conectar a su vez, a una batería auxiliar de 12V, que es la utilizada para desarrollar la electrónica del cuadro de instrumentos del vehículo, de modo que al accionar la seta se procederá a la desconexión del ambos circuitos de baterías.

La seta de emergencia empleada es la siguiente, la cual nos permite trabajar con la tensión y corriente que aporta la batería (122V – 200A):



Figura 49. Seta de emergencia externa.

INTERRUPTOR PRINCIPAL DE LA CABINA DE MONTAJE.

- Debe estar ubicado para facilitar el accionamiento por parte del conductor en caso de emergencia o pánico.
- Para que sea fácilmente accesible para el piloto, debe estar ubicado a poca distancia del mismo y que pueda ser accionado teniendo el piloto el cinturón de seguridad puesto. A su vez debe estar junto al volante, pero sin ningún elemento que le pueda obstaculizar como el mismo volante o cualquier otra parte del coche.
- Debe ser un interruptor de emergencia con un sistema mecánico de push/pull. Dicho interruptor debe instalarse de manera que:

- Desde la posición ON, empujando el interruptor de alimentación se desactivará a la ignición y todas las bombas de combustible.
 - Desde la posición OFF, tirando de interruptor de potencia, permitirá la ignición y combustible bomba.
- Pueden actuar a través de un relé.

Como nuestro vehículo es eléctrico, lo que debe de hacer este interruptor situado dentro de la cabina de montaje no es impedir el paso de combustible, si no paralizar los motores ya que no disponemos de combustible para realizar el desplazamiento. La diferencia con el interruptor maestro primario, es que éste, cuando sea accionado se detendrá el vehículo por la desconexión de la baterías pero además se detendrá todo sistema eléctrico del mismo. Sin embargo, en este último lo que queremos es que el vehículo si se detenga pero sin detener el resto de sistemas del mismo.

Para ello, hemos utilizado un componente que he nombrado anteriormente, los caballetes. Dijimos que la acción más fácil para eliminar el problema de la pata de cabra era cortocircuitarla, sin embargo nos va a ser útil en este apartado ya que como sabemos si el caballete está bajado el vehículo no permite el movimiento del motor.

Así pues, sustituiremos el sistema de la pata de cabra por una seta de emergencia, que debemos de conectar al revés, esto es, nosotros queremos que en estado normal (off) nos mande la información de que la pata de cabra esta levantada para que cuando nosotros arranquemos el vehículo esto no sea ningún inconveniente. Si en algún momento el piloto necesita detener el movimiento del motor, ya sea por pánico o por detectar algún fallo, éste pulsara la seta de emergencia (on). En este momento el coche detecta que la pata de cabra esta bajada y por tanto se detendrá correctamente el vehículo parando los motores.

En el cuadro de la moto existe un Indicador de caballete lateral/central. De modo que se encenderá una luz ámbar si los caballetes lateral o de centro están abajo o se bajan.

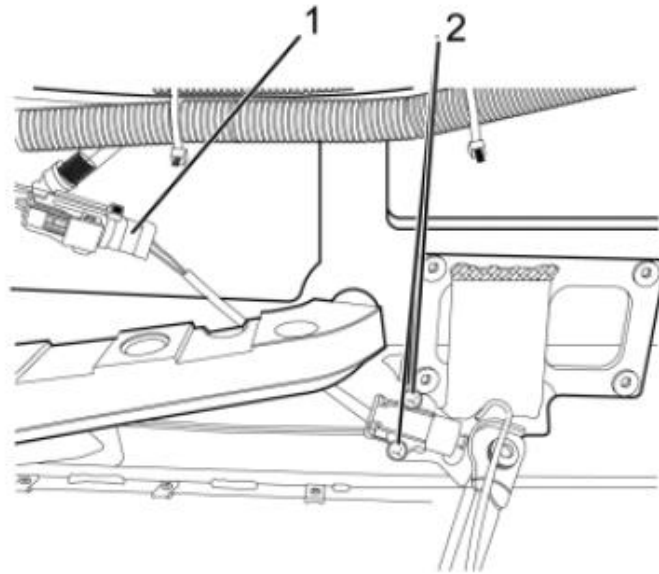


Figura 50. Caballete de la moto

Leyenda.

- (1) Conmutador de caballete lateral.
- (2) Conector de caballete lateral.

La seta de emergencia debe ser fácilmente reconocible y accesible para el piloto, tal y como nos indican en la normativa en el *apartado IC4.3*, por tanto la escogida es la siguiente:

Stop compacto 40mm rojo giro



Figura 51. Seta de emergencia interna.

6.2 MODIFICACIONES SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

Realizaremos varios cambios en el sistema de iluminación, hablaremos de cada uno de ellos por separado.

6.2.1 LUZ DE FRENO

En este tipo de competiciones la luz de freno no es utilizada. Esto podría ser un problema porque en una carrera si un piloto da un frenazo brusco no hay manera de alertar a los que van detrás del mismo. Dotar a los vehículos con esta señalización sería muy útil, sobretodo en la primera vuelta.

Sin embargo, esto se puede utilizar como estrategia como ya ha pasado en competiciones de carácter superior. Un piloto puede pisar ligeramente el freno creyendo los demás que está frenando bruscamente y simplemente lo que puede conseguir es desestabilizar al resto de competidores.

Por tanto tiene su lado positivo pero también de estrategia. En un futuro puede que se modifique pero en un principio, en este tipo de competiciones, los vehículos no llevan este tipo de señalización.

Sin embargo, nosotros partimos de los sistemas de iluminación de una moto urbana, donde esta señalización es obligatoria. Como esta información no la vamos a utilizar ni a modificar, lo que haremos será cortocircuitar los cables que envían la señal de frenada.

6.2.2 LUZ DE POSICIÓN

Como hemos indicado anteriormente, en el momento de poner el contacto en una moto se enciende la luz de posición, ya sea de día o de noche, ya que tienen la obligación de llevar las luces encendidas.

De cara a la competición este hecho nos es indiferente. Podríamos, al igual que hemos hecho con la luz de freno, cortocircuitar esta señal. Sin embargo, como sabemos, debemos de cumplir todas las normas impuestas por la SAE. Así pues, en un primer momento pensamos en utilizar la señal de luz de posición para la luz de tracción de sistema activo, se trata de una iluminación de

carácter obligatorio impuesto por la normativa tal y como vemos en el *apartado EV4.12 Tractive-system-active light (TSAL)*.

- TSAL (Luz tracción sistema activo)

El vehículo debe estar equipado con una luz montada en el marco, en punto más alto del arco antivuelco principal. Esta luz debe de encenderse en el momento que el sistema de tracción del monoplaza este activo y que se apague en el momento que se apaguen los motores. Esta luz debe seguir una serie de especificaciones:

1. El TSAL debe ser de color rojo.
2. Debe parpadear continuamente con una frecuencia entre 2 Hz y 5 Hz.
3. La tensión está presente en el sistema de tracción que debe controlar directamente el funcionamiento de esta señalización, es decir, no podemos encender o apagar el TSAL utilizando un control de software. Simplemente podemos utilizar un cableado electrónico.
4. Esta luz debe ser claramente visible. Para su comprobación será necesario que sea visible por una persona de pie, de una estatura mínima de 1.6 metros a una distancia de 3 metros del vehículo.
5. Si algún funcionario considera que esta luz no es fácilmente visible durante las operaciones de pista, el equipo no podrá competir hasta que esté resuelto el problema.
6. Está prohibido montar otras luces en la proximidad de la misma.

Sin embargo si utilizamos la señal de luz de posición para esta función, se encendería en el momento de poner el contacto de la moto, el problema es que según nos indica la normativa nosotros necesitamos que esta luz se encienda en el momento del arranque de motores. Así pues, lo que haremos será conectar los cables de la luz de posición al último interruptor de arranque, ya que como sabemos, tenemos una secuencia determinada para realizar este proceso de arranque. De esta manera cambiamos el momento de encendido de esta iluminación.

Una vez cambiado esto, cambiaremos el faro por una luz roja intermitente que llevaremos a la parte trasera del vehículo. Para conseguir esto, hemos necesitado la obtención de nuevo cableado ya que el original no era suficientemente largo.

En el momento que realizamos algún cambio en el cableado, ya sea prolongarlo o recortarlo debemos de seguir un proceso de aislamiento. Para ello utilizaremos tuberías termo retráctiles para asegurar la imposibilidad del algún fallo.

Lo primero, en este caso es prolongar el cableado. Una vez llegada la longitud necesaria, se sueldan dichos cables para permitir un unión directa. A continuación aislaremos los cables utilizando los tubos termo retráctiles.

Este material se utiliza para conectar cables eléctricos, aislar puntos de resistencias y condensadores, marcar y proteger barras o tubos metálicos contra corrosión y proteger antenas. Estos tubos son a prueba de agua y sirven también para conectar clave de fibra de vidrio. Son muy flexibles y de alta calidad. Gracias a su excelente resistencia química y térmica son muy aptos para muchas aplicaciones, entre ella, para lo que nosotros lo necesitamos. Además, cumplen con todas las normas y existen de distintos colores para que puedan ser también utilizadas con fines de identificación.

En nuestro caso simplemente lo necesitamos para realizar un proceso de aislamiento, así que será todo del mismo color y cumple perfectamente con nuestras necesidades.

Por lo tanto este led lo colocamos en el arco principal, ya que es el punto más alto del vehículo.

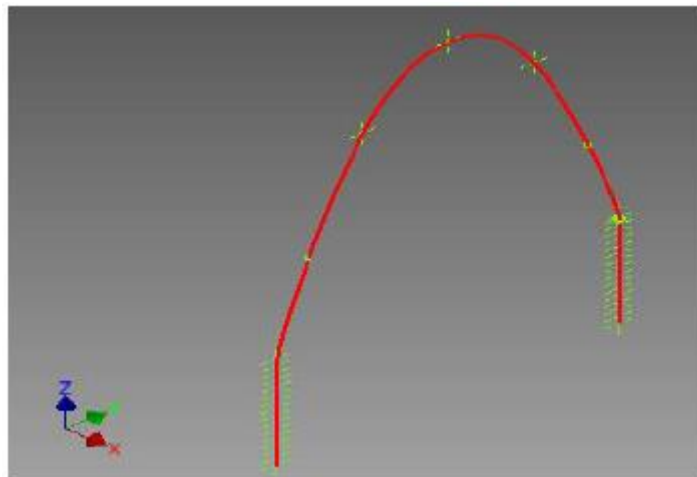


Figura 52. Arco principal

Esta luz debe ser de color rojo y visible a determinada distancia como nos han indicado en la normativa. La nuestra en concreto es la siguiente:

Avisador luminoso Flashguard Xenon, Rojo, Intermitente, Xenón, 12 V dc, 24 V dc



Figura 53. Luz intermitente TSAL

Supply voltage:	12VDC
Max. operational current:	700mA
Lamp type	LED
Power consumption:	4.5 W
Brightness	100 Lumen
Frequency:	3Hz
Size (length x height x width):	20mm x 10mm x 50mm

Tabla 10. Parámetros del TSAL

6.2.3 FARO Y LUZ DE CRUCE

Al igual que sucede con la luz de posición, en una moto que circula por la vía urbana le es obligatorio, en el momento que se ponga el contacto se encienda a la vez que la luz de posición, la luz de faro.

Para la conexión de la luz TSAL podíamos haber utilizado tanto el faro como la luz de posición ya que las dos tienen el mismo sistema de funcionamiento. Como hemos utilizado la luz de posición, lo que haremos con el faro será conectar los cables a una resistencia de alta resistividad, evitando cualquier problema que pueda darnos la moto, ya que si no anulamos este

elemento, en el marco nos puede avisar de que esta luz no está funcionando. De este modo evitamos este tipo de inconvenientes.

Para la desconexión de la bombilla debemos de seguir un procedimiento de seguridad. Las bombillas halógenas contienen gas sometido a presión. La manipulación incorrecta de una bombilla podría hacer que explote en fragmentos de cristal. Para ayudar a evitar lesiones personales:

- Gire el conmutador de luz para apagarla y permita que la bombilla se enfríe antes de cambiarla.
 - Deje el conmutador en posición OFF (apagado) hasta terminar de cambiar la bombilla.
 - Siempre use gafas protectoras cuando cambie una bombilla halógena.
 - Tome la bombilla sólo por su base. Evite tocar el cristal.
 - Mantenga la bombilla sin tierra ni humedad.
 - Deseche adecuadamente la bombilla usada.
-
- Evite tocar la bombilla o permitir que ésta entre en contacto con algo húmedo. La grasa de la piel o la humedad en contacto con la bombilla puede provocar que ésta explote cuando se la encienda. Si la bombilla estuvo en contacto con humedad o grasa, límpiela con alcohol o un desengrasante y séquela con un paño.

La moto también posee la luz de cruce o de carretera que se utiliza para zonas donde la visibilidad es escasa. Esta iluminación, al igual que sucede con el faro no la utilizaremos de cara a nuestro monoplaza y por tanto será anulada.

6.2.4 INTERMITENTES

Los intermitentes se utilizan para indicar al resto de conductores que se va a realizar un desplazamiento hacia la dirección que indique el intermitente. Como sabemos, esto de cara a la competición no se va a utilizar. Sin embargo esta señal intermitente nos puede servir para realizar una modificación en la iluminación del monoplaza.

Esta modificación no es obligada por parte de la normativa, sin embargo, como sucede en competiciones superiores como la Formula 1, existe una luz que se enciende en el momentos de lluvia o escasa visibilidad. Se trata de una luz roja trasera intermitente situada en la parte baja del vehículo. Esta luz se activa en el momento de lluvia por visibilidad y porque el sistema de tracción interpreta que hay poca adherencia y lo activa.

En nuestro caso pondremos un pulsador que lo active de manera manual. Es decir, en el momento que el piloto interprete que hay poca visibilidad ya sea por causas meteorológicas o cualquier otra causa, pulsará el botón activando la luz intermitente.

Esta luz, como hemos indicado está en la parte trasera, pero situada en la parte baja, ya que no puede estar en las proximidades de la luz de tracción activa.

Como la luz está conectada al intermitente hemos escogido una luz fija, en el momento de pulsar este botón, parpadeará con la misma frecuencia que lo hace un intermitente convencional. La bombilla escogida es la siguiente:

Avisador luminoso 206, Rojo, Constante, Incandescente, LED, 12 → 48 V ac/dc



Figura 54. Luz indicadora de condiciones meteorológicas adversas.

6.2.5 LUZ DE MALETERO

En nuestro vehículo no habrá maletero, puesto que la luz de maletero no nos es de utilidad. La conectaremos a una resistencia quedando inutilizada, siguiendo el procedimiento que hemos seguido con el resto de luces que no necesitamos.

6.2.6 LUZ DE MARCHA ATRÁS

La moto tiene la posibilidad de ir marcha atrás girando el manillar hacia delante. Nuestro monoplaza no va a tener dicha posibilidad, por tanto, al igual que sucede con la luz de maletero, la luz que indica que el vehículo se mueve hacia atrás no nos es de utilidad y por tanto también será conectada a una resistencia.

Por tanto, el sistema de iluminación del monoplaza se resume en dos bombillas indicativas en la parte trasera del mismo, una por el cumplimiento obligatorio de la Normativa SAE y la otra por seguridad para el propio piloto y el resto de participantes de la competición.

Situamos esta iluminación en el boceto del chasis para poder visualizar donde irán colocadas una vez tengamos el chasis construido.

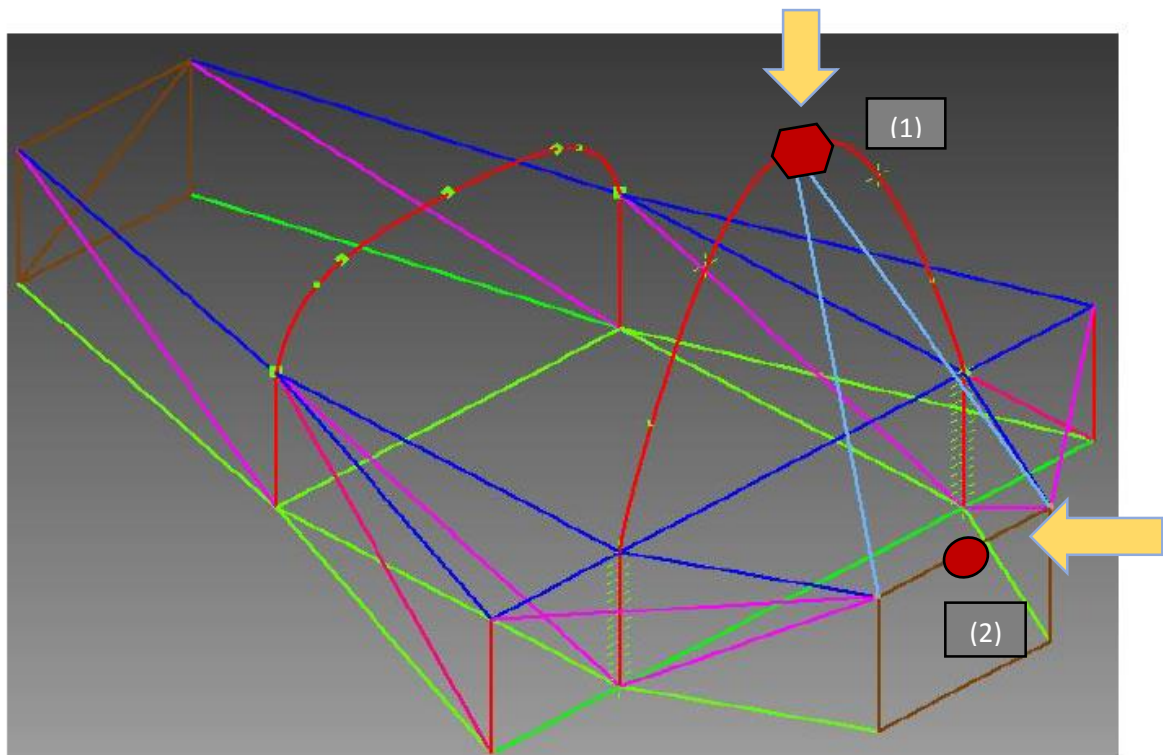


Figura 55. Sistema de iluminación situado sobre el diseño del chasis.

Leyenda:

- (1) Luz obligatoria TSAL.
- (2) Luz indicadora de condiciones meteorológicas adversas.

6.3 MODIFICACIONES CONJUNTO DE BATERÍAS.

Las baterías que utilizaremos serán, en un principio las mismas que teníamos en la moto. Nuestras necesidades actualmente es que el monopla se ponga en marcha, y las baterías que tenemos funcionan perfectamente. Es cierto, que una de las partes más importantes del conjunto es el peso y estas pesan en total 70kg. Las baterías tienen un tiempo eficaz más amplio del que verdaderamente necesitamos para la competición. Así pues, una vez que nuestro vehículo funcione el siguiente paso será optimizar el peso de las baterías aligerándolas eliminando las celdas que no sean necesarias.

Sin embargo, esto sucederá más adelante. En un principio cogeremos las baterías tal cual nos las ofrece la moto. Así pues, el conjunto de las baterías debe seguir una serie de normas, que se indican en el *apartado IC4.4 Batteries*.

1. Todas las baterías deben fijarse firmemente al marco.
2. Cualquier batería ubicada en el compartimento del conductor debe estar encerrada en un contenedor no conductor. Así pues, el terminal que no esté a tierra debe estar aislado.
3. Todas las baterías que utilizan químicos que no sean de plomo deben ser presentados en la inspección técnica

Nuestras baterías son de Níquel metal hidruro. Una batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de óxido de níquel (NiOOH), como la batería de níquel cadmio, pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por el contrario, presentan una mayor tasa de auto descarga que las de NiCd (un 30% mensual frente a un 20%), lo cual relega a estas últimas a usos caracterizados por largos periodos entre consumos (como los mandos a distancia, las luces de emergencia, etc.), mientras que son desplazadas por las de NiMH en el de consumo continuo.

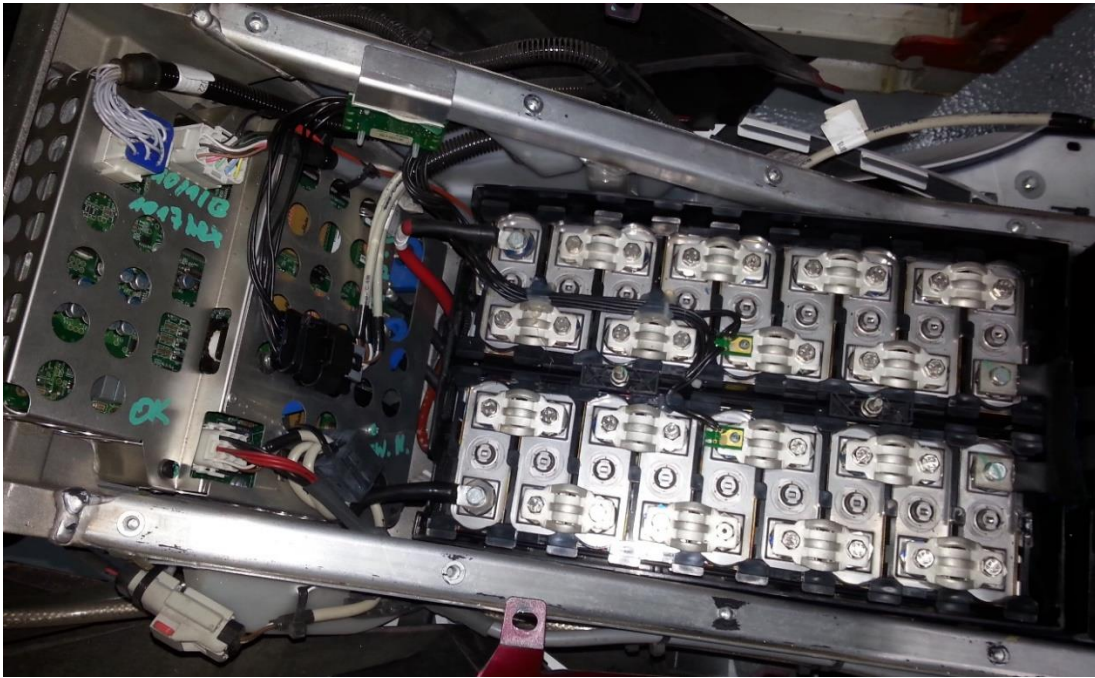


Figura 56. Conexión de las baterías en la moto.

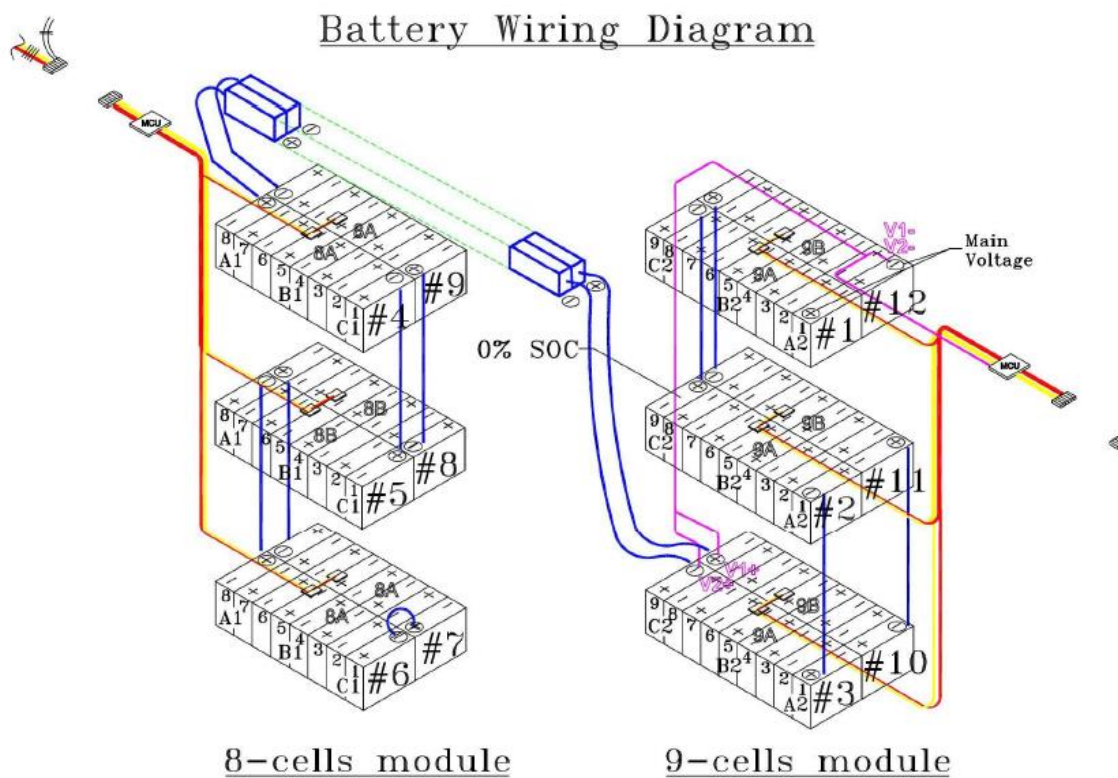


Figura 57. Celdas de las baterías.

Hay una serie de requisitos que hay que seguir para la colocación de las baterías en el chasis del monoplaza. Según el apartado *EV3.4 Tractive System Accumulator Container - Mechanical Configuration*, de la normativa SAE, las baterías deben colocarse teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Todos los contenedores de acumuladores o baterías deben estar fijadas y montadas de manera rígida al chasis.
2. El sistema de montaje debe estar diseñado para soportar fuerzas de una desaceleración de 20 g en horizontal y 10 g en vertical.
3. El material donde se encuentren las baterías deben de ser mecánicamente resistentes.
4. Los segmentos de los acumuladores deben estar separados eléctricamente mediante una barrera aislante.

Los acumuladores los hemos situado en la parte trasera del vehículo, ya que como los motores se encuentran en las ruedas, lo más próximo posible es en el compartimento trasero detrás del asiento del conductor. Así pues, debido a la cercanía, no será necesario prolongar las conexiones entre batería y motor y el aislamiento es el adecuado. A continuación, vemos el diseño del chasis con el espacio reservado a los módulos de las baterías.

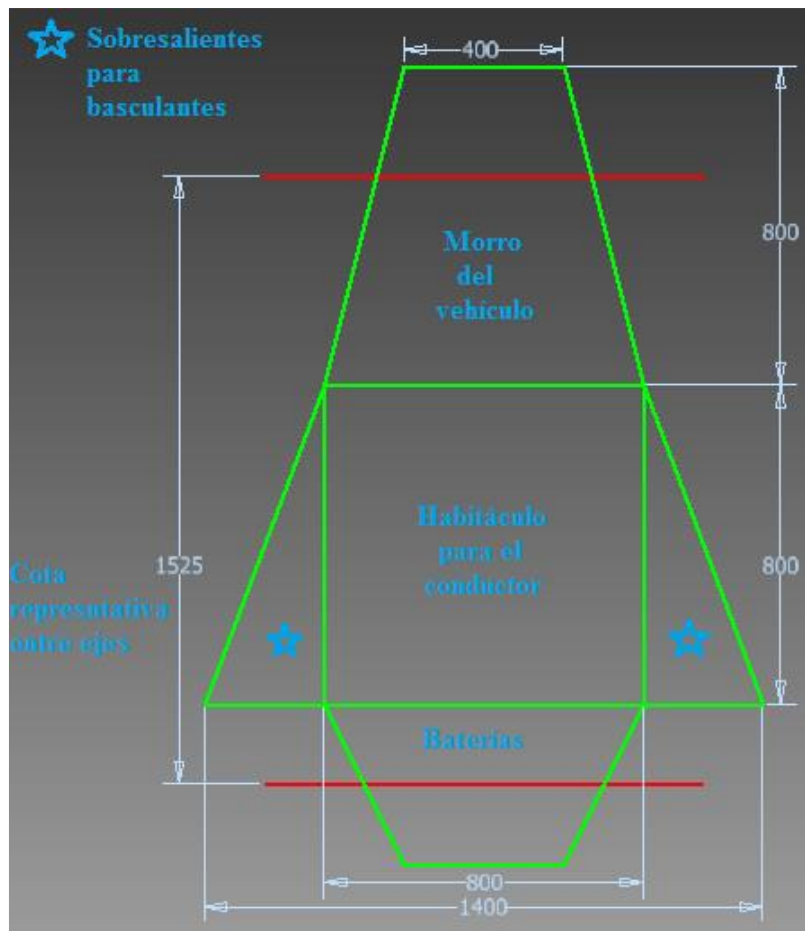


Figura 58. Disposición de las baterías.

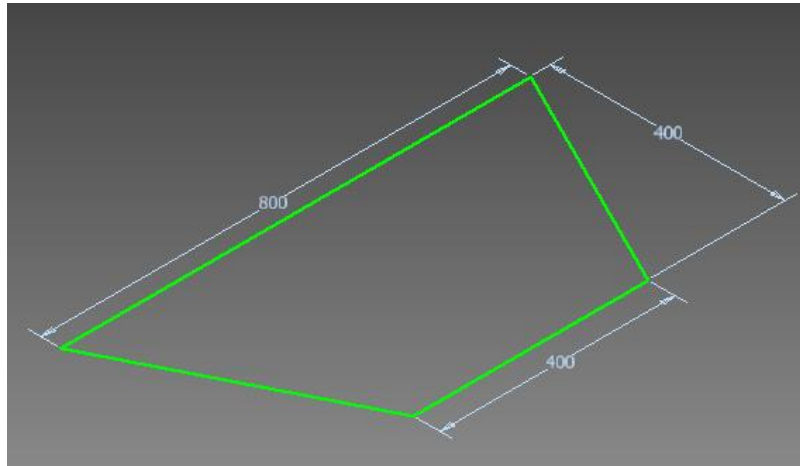


Figura 59. Zona habilitada para recipiente del acumulador.

➤ CARGADOR

En la moto el cargador de las baterías se encuentra situado detrás del panel carenado delantero derecho. Sin embargo, mantenerlo dentro del vehículo supone un incremento del peso abordo. El cargador no es necesario que permanezca dentro del coche, por lo tanto si sacamos este conjunto fuera del vehículo aligeramos el peso total.

Para poder realizar esto, es necesario dejar el conector entre baterías y cargador en una zona del monoplaza de manera que sea fácilmente accesible para en el momento en que se descarguen las baterías poder cargarlo sin ningún problema.

Para ello, lo que hemos pensando, teniendo en cuenta que tenemos un coche de carreras y que cada kilo que aligeremos será beneficioso en la competición, es diseñar una especie de depósito. Como nos podemos encontrar en un coche de gasolina, simplemente que al levantar la tapa nos encontremos con un enchufe en lugar del propio depósito de gasolina.

Este diseño lo podemos encontrar en la mayoría de los vehículos eléctricos. Por tanto, cuando abrimos la tapa nos encontramos con el cable para poder cargar el coche enchufándolo a la red, la diferencia es que en lugar de encontrarnos un simple cable con enchufe, nos lo encontraremos conectado al cargador de las baterías que van a ir fuera del mismo, como podemos ver a continuación:

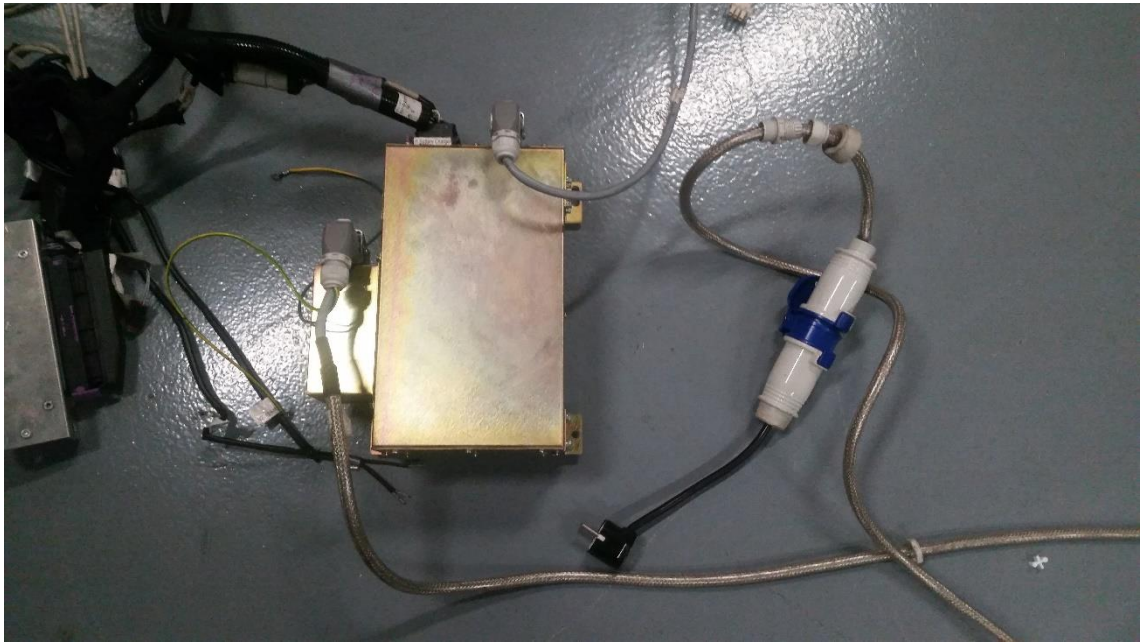


Figura 60. Carga de nuestro vehículo eléctrico

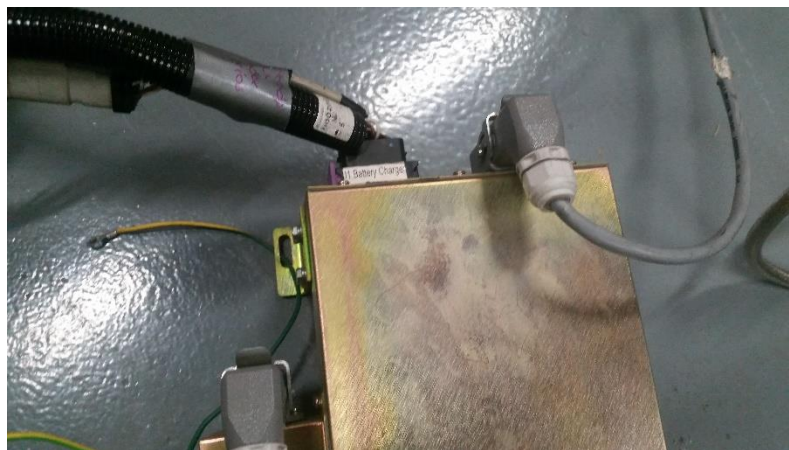


Figura 61. Conectores del cargador.

En la figura 59 podemos apreciar los conectores que debemos dejar fácilmente accesibles para poder realizar el proceso.

De cara al uso diario del coche, esto no es práctico, sin embargo cubre perfectamente con nuestras necesidades.

➤ VENTILADOR

La tapa superior de la batería o cámara del ventilador de refrigeración dirige aire frío por las cajas de baterías. Los ventiladores funcionan en respuesta a la temperatura y están activos

mientras el scooter está en marcha y mientras el cargador de baterías está en funcionamiento. Los ventiladores deben funcionar en todo momento durante el proceso de carga.

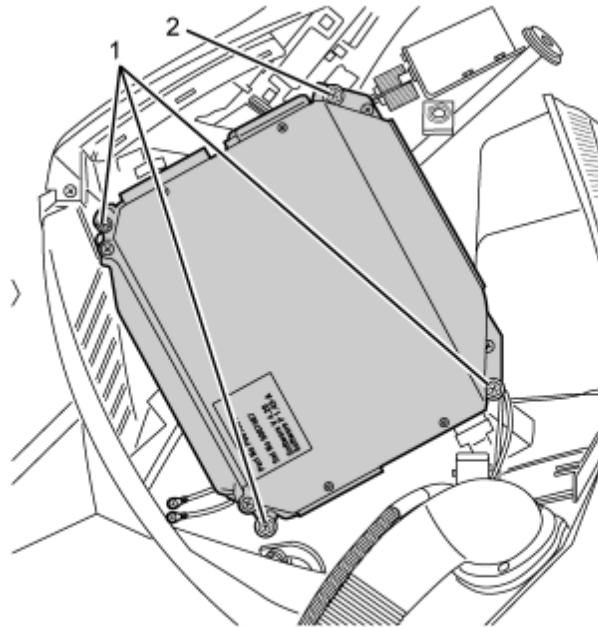


Figura 62. Ventilador de refrigeración de las baterías.

Este elemento sí que debemos incluirlo dentro del vehículo ya que dado que nuestro coche es cien por cien eléctrico, este aspecto es muy importante para la seguridad tanto de las personas como del vehículo en sí.

Todo vehículo eléctrico o incluso híbrido, dispone de varias tomas de refrigeraciones situadas en la cercanía de las baterías. En nuestro caso, irán situadas en la parte trasera del asiento del conductor, como ya hemos explicado, en la proximidad de las propias baterías. Alrededor de ella se suelen encerrar en carcasas metálicas, con el fin de aumentar más si cabe su protección e incluso en muchos casos, el electrolito utilizado es de tipo gel con lo que se minimiza en gran medida el riesgo de fugas.

Durante su carga el calor interior aumenta y estas baterías para su correcto funcionamiento deben operar dentro de unos rangos de temperatura determinados. Así por ejemplo, las baterías NiMH, que son las nuestras, son capaces de operar en descarga con temperaturas desde 20 °C hasta 50 °C y en carga desde 0 °C hasta 45 °C aproximadamente. Si nos encontramos fuera de estos límites, tendremos que o bien calentar o bien refrigerarlas para así mantenerlas en las condiciones óptimas.

Si la temperatura decae por debajo del valor mínimo fijado por el fabricante, la solución es muy fácil: sólo hay que dotar el compartimento de la batería con una serie de resistencias térmicas y, por ejemplo, un ventilador que haga circular este aire caliente por su interior de forma que reparta el calor homogéneamente.

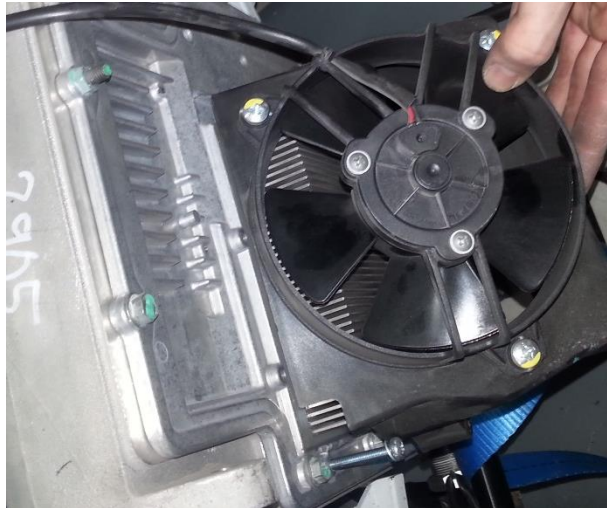


Figura 63. Ventilador de baterías.

Pero para la refrigeración se presentan mayores complicaciones ya que es obligatorio tomar aire del exterior y hacerlo circular por el interior. Para ello existen precisamente estas tomas de aire en las proximidades.

Cuatro sensores de temperatura se distribuyen a lo largo del sistema de refrigeración, uno en la zona del aire de entrada y los otros tres a lo largo de los módulos de la batería de forma que se controla uniformemente su temperatura. Una vez que el aire ha circulado por el interior de la batería, otro conducto lo lleva al exterior hacia donde exista una salida de aire para tal fin.

6.4 MODIFICACIONES EN EL MOTOR

El motor lo tomaremos directamente de la moto sin realizar ningún tipo de cambio ya que cumple plenamente con nuestras necesidades. Este motor está en la rueda trasera de la moto. Esto sí que supone un pequeño inconveniente dado que las ruedas de las motos son distintas a las de los coches. Por tanto lo que haremos será buscar una rueda que tenga el mismo radio de yanta que la moto pero con la forma de un coche.

Las ruedas de los coches son más planas en el centro mientras que las de las motos tienen una forma más ovalada.



Figura 64. Rueda de coche.



Figura 65. Rueda de moto.

La principal diferencia entre las ruedas de coches y las de motos es la adherencia. De todas las características de un neumático para motos, la adherencia es la más importante, la que define la capacidad del neumático para frenar fuerte sin que se bloquee la rueda, para pasar la potencia sin patinar y negociar curvas y cambios de dirección sin derrapar. En otros términos, ésta es sinónimo de seguridad. Cuando se realiza un giro, la moto tumba ligeramente y necesita superficie de agarre, cosa que no es necesaria en un coche. La zona donde apoya se denomina banda de rodadura y los laterales los llamamos flancos.

También hay que tener en cuenta que cada tipo de neumático tiene su especialidad. Por lo tanto, es conveniente definir el uso y las condiciones de uso para elegir el neumático adecuado. Por otro lado, las ruedas de los coches están diseñadas para proporcionar estabilidad y tracción, además de direccionalidad y fuerza de frenado.

El funcionamiento en sí, así como el tiempo de respuesta o el uso de un coche no es el mismo que el de una moto, por tanto sus neumáticos tampoco lo son. La tecnología de fabricación de neumáticos ha evolucionado mucho, generando una gama muy amplia atendiendo a las características de cada uno. Por tanto, debemos de elegir el neumático que se acomode a nuestras necesidades. Por otro lado, necesitamos además que la rueda que elijamos tenga el mismo radio de llanta que el que tenía la rueda de la moto, ya que en este lugar será donde vayan a ir posicionados los motores. Tendremos por tanto tracción trasera.

El controlador del motor provee la interfaz entre las baterías y el motor. El uso del codificador le permite al motor saber la posición del rotor del motor. Este elemento también lo incluiremos en el monoplaza.

Por otro lado es necesario el diseño de un diferencial electrónico para integrar los dos motores en el sistema de tracción.

6.4.1 POTENCIAS.

La potencia es un aspecto muy importante de cara a la competición ya que tenemos limitaciones por parte de la normativa, como podemos ver en el apartado *EV2.2 Power and Voltage Limitation*.

Una vez conocidos el comportamiento de nuestro vehículo, el motor que vamos a utilizar y los esfuerzos que debe superar, y haciendo unas simplificaciones es sencillo determinar qué potencia de tracción deberá desarrollar la planta motora para acelerar el vehículo desde cero hasta una velocidad final V_f en un tiempo t_a .

$$P_t = \frac{\delta M}{2t_a} (V_f^2 + V_b^2) + \frac{2}{3} M g f_r V_f + \frac{1}{5} \rho C_D A_f V_f^3$$

Donde V_b es la velocidad base del motor y V_f es igual a la aceleración por el tiempo t_a . Qué potencia se consume en cada instante una vez que el vehículo ha adquirido una velocidad, y por tanto, qué potencia de salida deben proporcionar las baterías.

$$P_{b-out} = \frac{V}{\eta} \left(Mgf_r \cos(\alpha) + \frac{1}{2} \rho C_D A_f V^2 + M \delta \frac{dV}{dt} \right)$$

Y si fuera el caso, qué potencia es posible recuperar mediante frenada regenerativa.

$$P_{b-in} = \frac{\beta V}{\eta} \left(Mgf_r \cos(\alpha) + \frac{1}{2} \rho C_D A_f V^2 + M \delta \frac{dV}{dt} \right)$$

El coeficiente β indicará el porcentaje de energía disipada durante la frenada que se va a ser capaz de recuperar. En el caso de la frenada, tanto la inclinación α como dV/dt podrán tomar valores negativos.

La potencia que nos ofrece cada motor es de 21 kw, en un principio no habría ningún problema, sin embargo debemos de estudiar y evaluar el vehículo cuando esté todo terminado, con ambos motores trabajando a la vez.

En la normativa SAE no está limitado el número de motores de empleo, sin embargo lo que sí que está limitada es la potencia que ofrecen el conjunto de los motores. La potencia máxima extraída de la batería no puede ser superior a 85 KW. El desacato de esta norma puede suponer la descalificación inmediata. Este valor se estudiará como el uso de más de 85 kw durante más de 100 ms continuamente o utilizando más de 85 kw después de aplicar una media móvil durante 500 ms.

Cuando dispongamos del conjunto finalizado, antes de la puesta en marcha se someterá el vehículo a una serie de pruebas para comprobar que no se superan dichos límites. En el caso de que esta potencia fuera superior a los kW sumados por los dos motores de potencia pico sería necesario o limitar electrónicamente el motor a la potencia requerida o reducir los valores impuestos de diseño.

6.5 MODIFICACIONES EN LA ELECTRÓNICA.

Emplearemos el sistema de control de cada una de las motos para el diseño y funcionamiento del coche. Cada moto posee una centralita electrónica, también conocida como unidad de control electrónico o ECU (del inglés *electronic control unit*), es un dispositivo electrónico normalmente conectado a una serie de sensores que le proporcionan información y actuadores que ejecutan sus comandos. Una centralita electrónica cuenta con software cuya lógica le permite tomar decisiones (operar los actuadores) según la información del entorno proporcionada por los sensores.

En la electrónica del automóvil una centralita electrónica, es un sistema embebido que controla al menos un subsistema eléctrico en el vehículo.

El motivo por el cual mantendremos la centralita de la moto y la traspasaremos al coche es porque desde dicho sistema se controla todos los sistemas eléctricos del vehículo. De modo que desde esta central podremos controlar:

- Electrónica del motor
- Transmisión
- Estabilidad
- Iluminación
- Tablero de instrumentos
- Etc...

Además este sistema central supone un interfaz entre hombre-máquina. Todo cambio que realicemos se verá reflejado en este dispositivo que transfiere la información al coche.

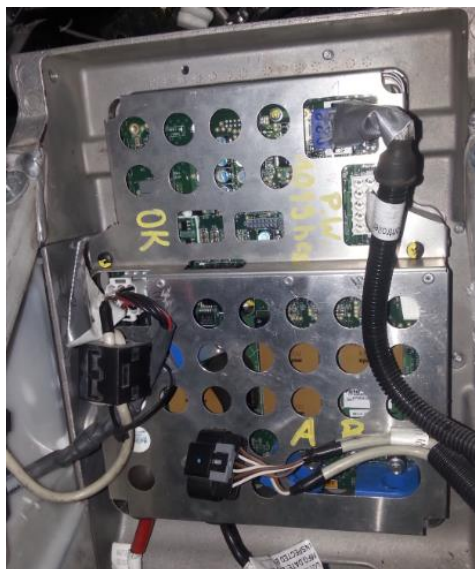


Figura 66. Centralita electrónica.

6.6 MODIFICACIONES EN EL CUADRO Y GRUPO DE INSTRUMENTOS.

El tablero y grupo de instrumentos tiene, en un vehículo, varias funciones. Una de ellas, y la más importante, es ofrecernos y devolvernos los valores de las operaciones que suceden dentro del coche. Así pues, como hemos explicado cada uno de los indicadores del cuadro tiene una función determinada, ya sea indicarnos del nivel de batería como de que un fallo está ocurriendo en el sistema.

Este grupo de instrumentos nos va ser de utilidad en nuestro coche, sin embargo hay ciertos aspectos que tenemos que modificar. Para ello, debemos de saber que la toma de corriente de accesorios está controlada por el controlador del motor. Dicha toma de corriente tiene una salida máxima de 12 DC 0,5 amperios (6 vatios). Está situada en la guantera junto al conector de enlace de datos.

El procedimiento que hemos seguido ha sido desmontar el conjunto del tablero de la moto.



Figura 67. Tablero de la moto.

Como hemos dicho, este tablero nos va a ser de utilidad porque nos devuelve valores importantes para el coche. Uno de los aspectos más importantes es la secuencia de arranque, con el ready y go que nos indica en que punto de dicha secuencia estamos.

Por otro lado, la información de la carga de las baterías también es algo que vamos a necesitar tanto de cara a la competición como cuando esté todo montado y necesitemos realizar las pruebas oportunas.

El cuenta kilómetros, en un principio lo dejaremos tal y como está, porque nuestro objetivo primordial es conseguir que el coche funcione y cumpla con los requisitos necesarios. Sin embargo, es cierto que desde un principio tuvimos en mente aumentar la velocidad del coche. Esto puede realizarse de varias maneras:

- **Método informático.** Todos los vehículos tienen una limitación de velocidad, una manera de aumentar la velocidad de nuestro coche es cambiando dicha limitación mediante el programa que se comunica con la moto.
- **Método mecánico.** Si aumentamos el radio de la rueda aumenta la velocidad.
La descripción de un movimiento circular puede hacerse bien en función de magnitudes lineales ignorando la forma de la trayectoria (y tendremos velocidad y aceleración tangenciales), o bien en función de magnitudes angulares (y tendremos velocidad y aceleración angulares). Ambas descripciones están relacionadas entre sí mediante el valor del radio de la circunferencia trayectoria.
Al trabajar con magnitudes angulares es imprescindible entender lo relativo a una unidad de medida angular conocida como radián.

Cuando un objeto se mueve en una circunferencia, llevará una velocidad, ya que recorre un espacio, pero también recorre un ángulo.

Para tener una idea de la rapidez con que algo se está moviendo con movimiento circular, se ha definido la velocidad angular (ω) como el número de vueltas que da el cuerpo por unidad de tiempo. Si un cuerpo tiene gran velocidad angular quiere decir que da muchas vueltas por segundo.

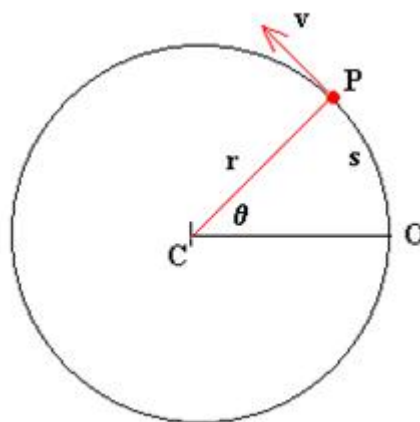


Figura 68. Descripción movimientos.

$$\text{velocidad angular } \omega = \frac{\Delta\theta \leftarrow \text{ángulo recorrido}}{\Delta t \leftarrow \text{tiempo empleado}}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

ω = velocidad angular en rad/seg.

θ = desplazamiento angular en rad.

t = tiempo en segundos en que se efectuó el desplazamiento angular.

Además de la velocidad angular tenemos la velocidad lineal o tangencial, esto es, por ejemplo, la velocidad en la periferia de un elemento que gira como podría ser la rueda de nuestro coche.

$$V = \omega \cdot r$$

Así pues, si aumentamos el radio de nuestra rueda podríamos aumentar la velocidad.

- **Ajuste de la reductora:** La reductora de un vehículo es un elemento que se encarga de aumentar el par en la rueda perdiendo velocidad en el desplazamiento. Nos encontramos con que en alguna de las pruebas de la competición es preferible conseguir mayor velocidad aun pudiendo perder par. De modo que una manera de aumentar dicha velocidad es reduciendo la constante de la reductora, aumentando la relación de engranajes y piñones.

Por tanto, nos interesa la información que nos devuelven las tres circunferencias del cuadro. Sin embargo, el resto de indicadores no los necesitamos puesto que la mayoría de sus señales las tenemos cortocircuitadas y el resto han sido utilizadas con otros fines.

Por otro lado, tenemos otros pulsadores e interruptores que hemos añadido y que si queremos que aparezcan en nuestro tablero. Así pues lo que haremos será un nuevo diseño del cuadro incluyendo lo que necesitamos del original e incluyendo todo lo que no tenga y sea necesario.

Para comenzar con el diseño debemos de partir del espacio que los que han diseñado el chasis le han concedido al cuadro. Así pues este es el boceto de cómo será nuestra parte delantera del vehículo.

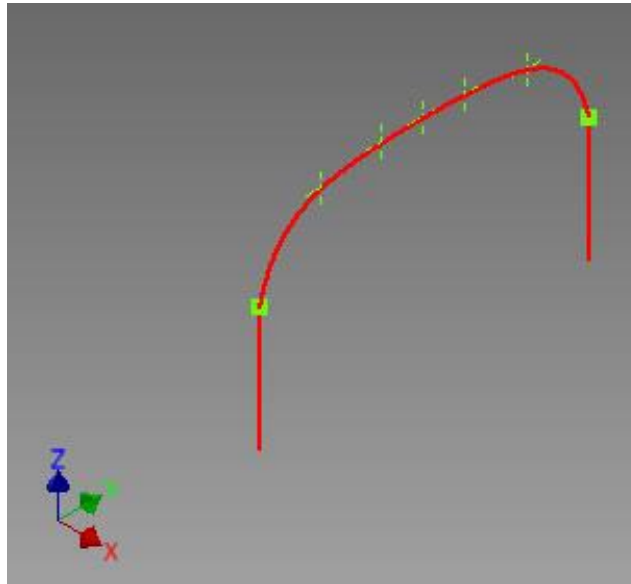


Figura 69. Boceto del espacio dedicado a la parte frontal.

Como podemos observar en la figura, la parte inferior es el hueco para las piernas del piloto, a continuación, más arriba irá el volante y por encima situaremos nuestro tablero de instrumentos. En este colocaremos en la parte superior las tres circunferencias con nuestra información proveniente de la moto. Abajo incluiremos los 4 botones que hemos necesitado instalar para realizar el cumplimiento adecuado de la normativa SAE.

Estos botones serán los siguientes:

1. Empezando por la izquierda tenemos el interruptor de arranque. Cuyas medidas para el diseño del cuadro, obtenidas de su hoja de características, son las siguientes:

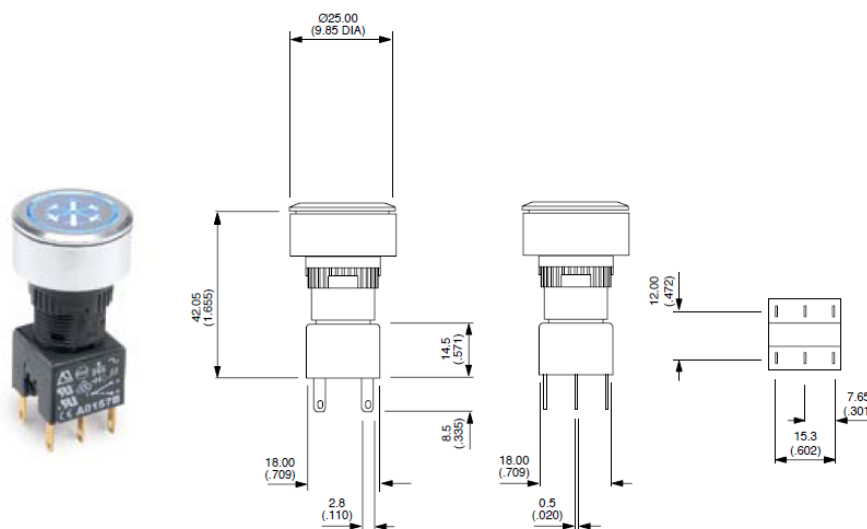


Figura 70. Medidas interruptor de contacto.

2. A continuación, también en la parte izquierda del volante, encontramos un pulsador que será utilizado para seguir la secuencia de arranque que indicamos anteriormente, así pues primero pulsaríamos el interruptor de start y a continuación éste que estamos indicando. Así quedaría el coche en marcha.
- Las medidas de este pulsador, tomadas igualmente de sus hojas de características son:

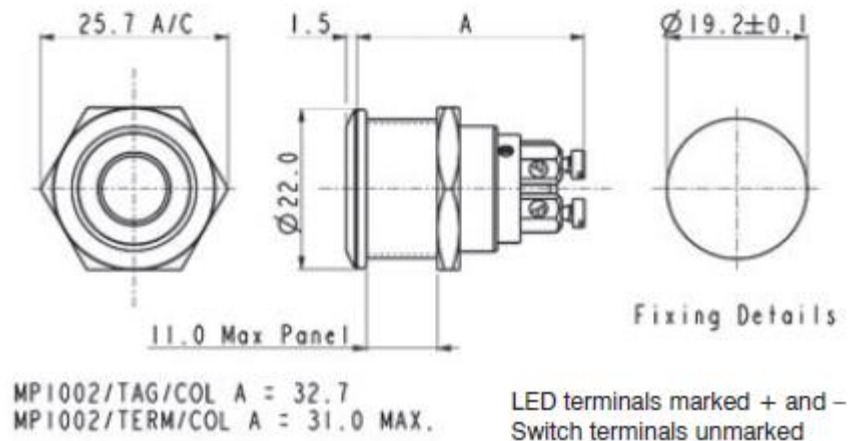


Figura 71. Medidas pulsador secuencia de arranque

3. El siguiente estaría al otro lado del volante, un pequeño interruptor blanco que activaría el intermitente. A la señal del intermitente hemos conectado una luz que es la que advierte de que las condiciones meteorológicas no son adecuadas, y dota al vehículo de una señalización para que sea fácilmente visible por los demás pilotos.
- Las medidas de este interruptor son las siguientes:

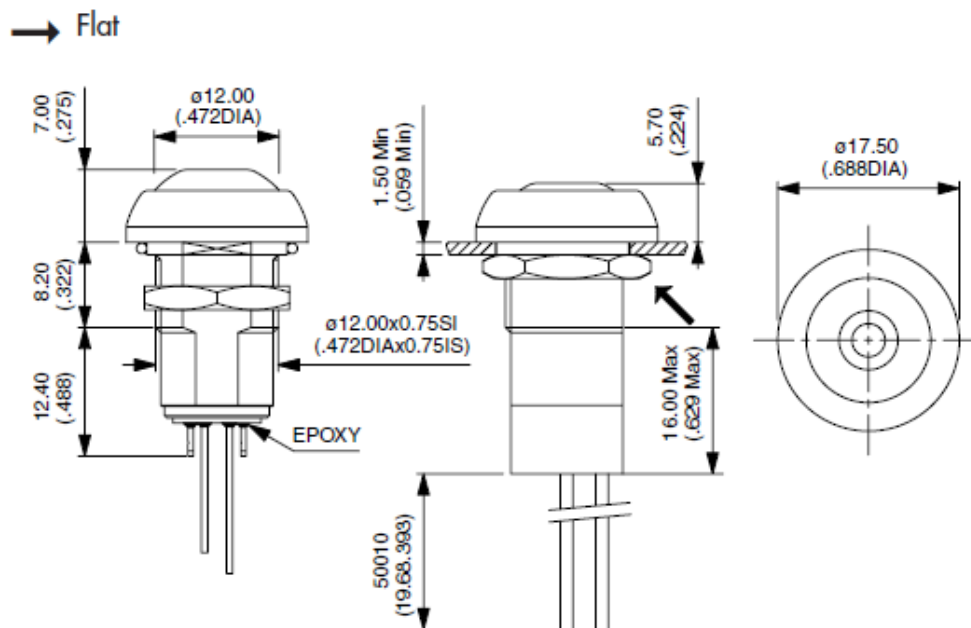


Figura 72. Medidas interruptor condiciones meteorológicas adversas.

4. El ultimo, con fácil alcance para el conductor pero sin problemas de accesibilidad por parte del volante o cualquier otro objeto, encontramos la seta de emergencia del interior del vehículo. Como dijimos, según la normativa debemos de incorporar en el coche dos interruptores maestros, y el del interior debe ser fácilmente accionable por el piloto. Así pues lo hemos situado en el lado derecho del coche. Las medidas de éste son las siguientes:

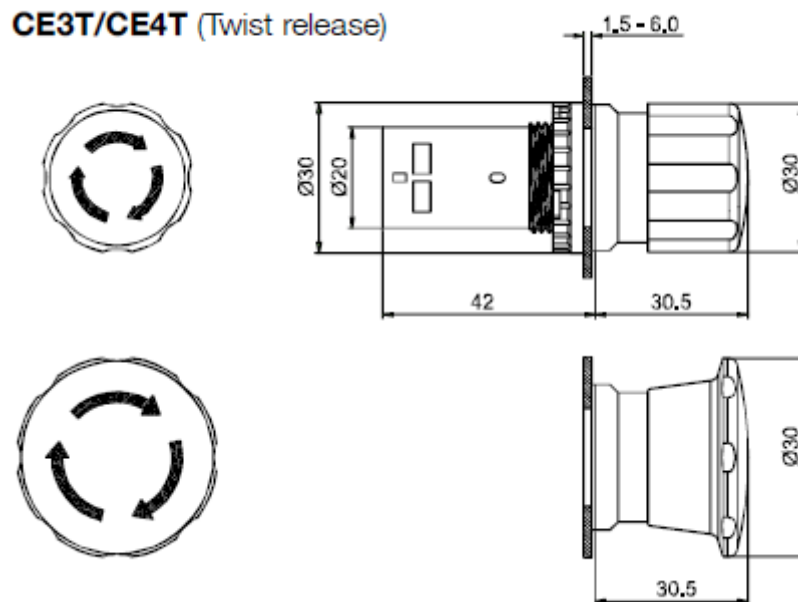


Figura 73. Medidas seta de emergencia interna.

De modo que tenemos por un lado todo aquello que formaba parte de la moto y que nos es de utilidad en nuestro coche de carreras y por otro lado, lo que no incorporaba la moto pero que es de obligado cumplimiento que lo tenga el vehículo para cumplir con la normativa SAE, ya que como hemos explicado si fallamos en algún momento a la normativa el equipo puede ser descalificado.

Si juntamos los nuevos elementos con los que ya teníamos, este conjunto forma nuestro nuevo tablero o grupo de instrumentos del coche.

Para fabricarlo primero debemos de hacer un diseño con todas las medidas exactas. Una vez que realicemos el diseño, lo crearemos mediante una fresadora.

Para realizar el diseño emplearemos la herramienta de trabajo Solid-Works. Hemos realizados el diseño de cada uno de los interruptores, así como de sus tuercas. A continuación, y utilizando las medidas de los pulsadores e interruptores ya diseñados, podríamos realizar un boceto del cuadro que implementará tanto los elementos que teníamos anteriormente como los nuevos. El resultado es el siguiente:

1. Interruptor de arranque:

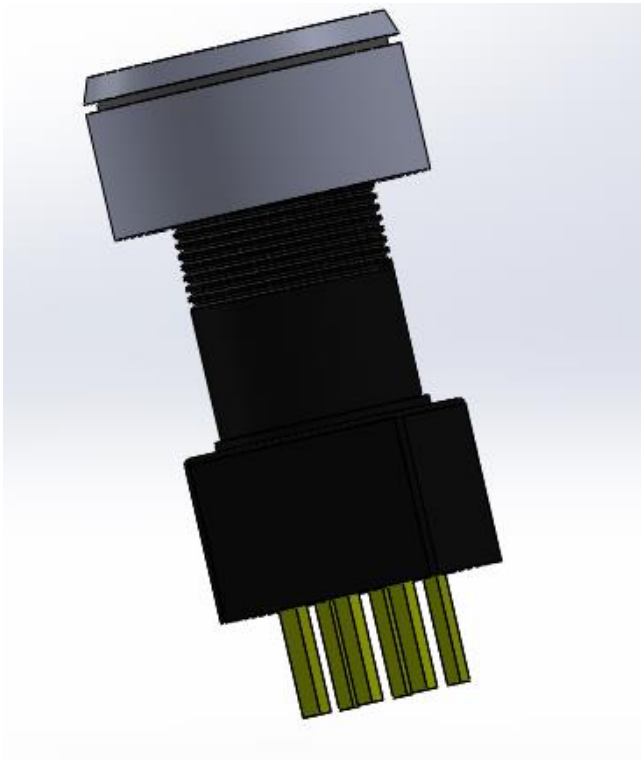


Figura 74. Interruptor de arranque vista lateral

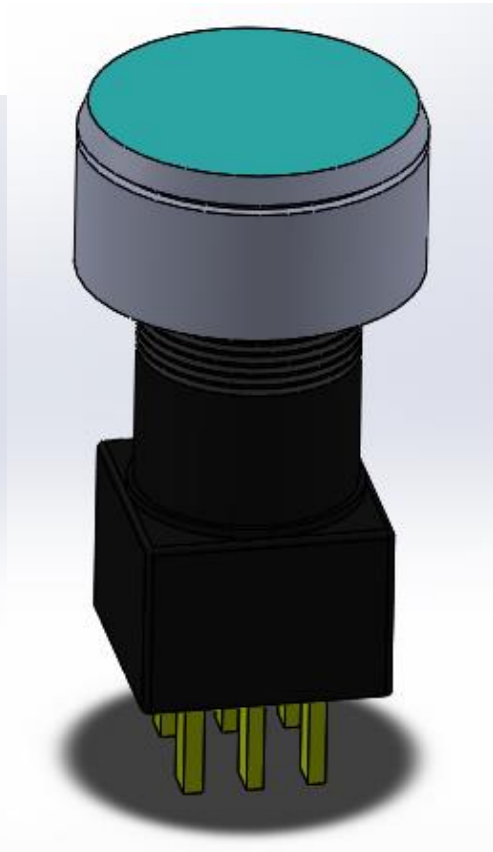


Figura 75. Interruptor de arranque vista frontal

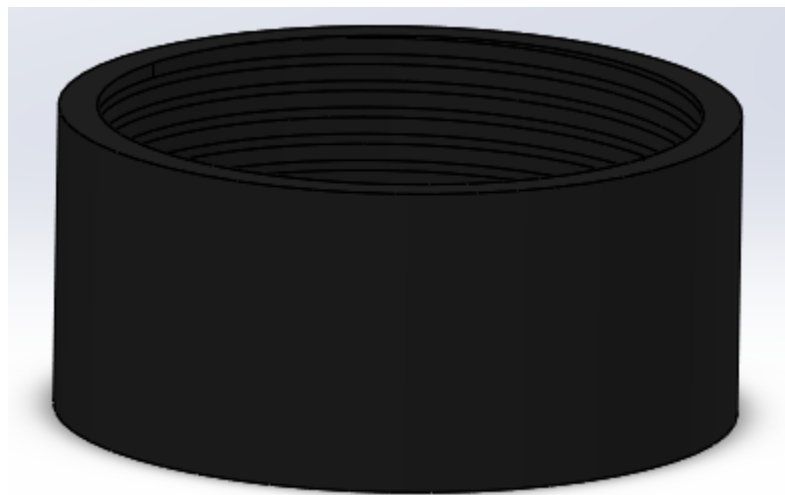


Figura 76. Tuerca interruptor de arranque.

2. Pulsador Start.

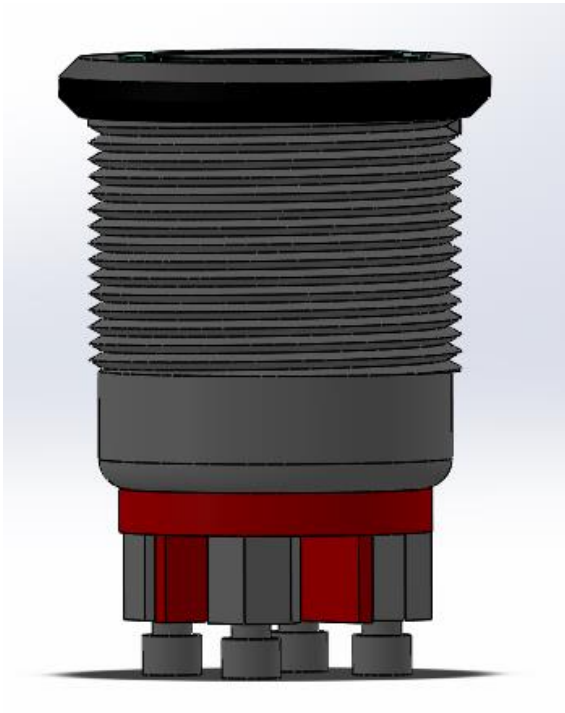


Figura 77. Pulsador start vista frontal.

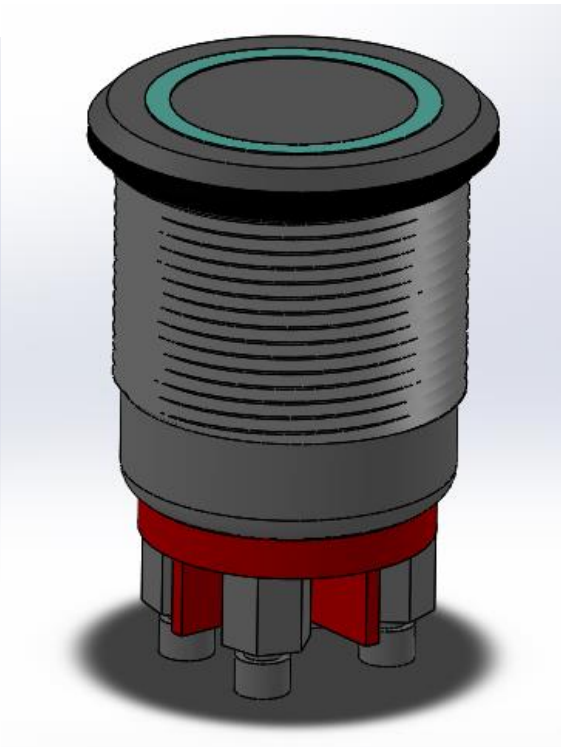


Figura 78. Pulsador start vista lateral.

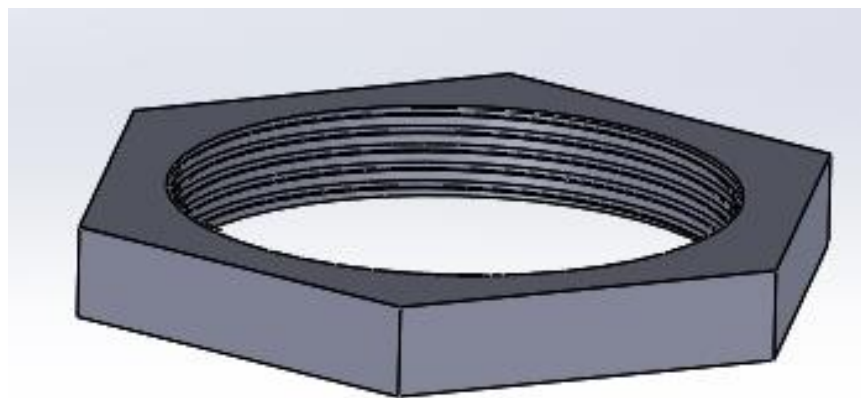


Figura 79. Tuerca pulsador start.

3. Interruptor de lluvia



Figura 80. Interruptor lluvia vista lateral.

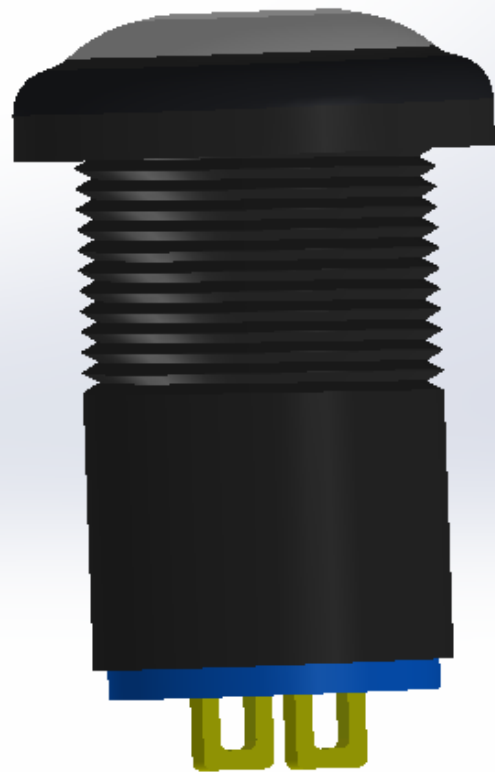


Figura 81. Interruptor lluvia vista frontal.

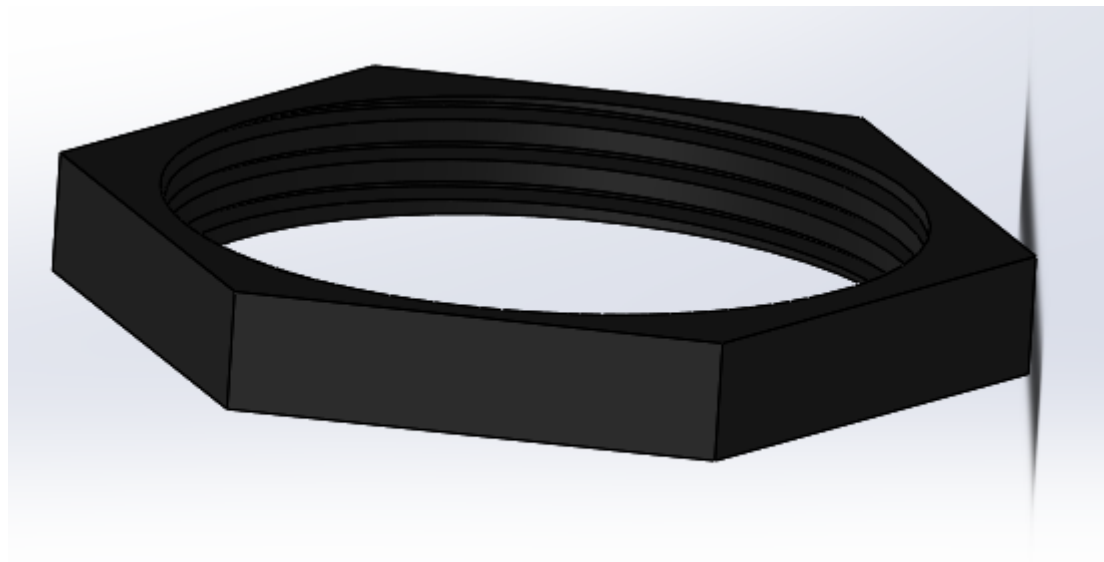


Figura 82. Tuerca interruptor lluvia.

4. Seta de emergencia.

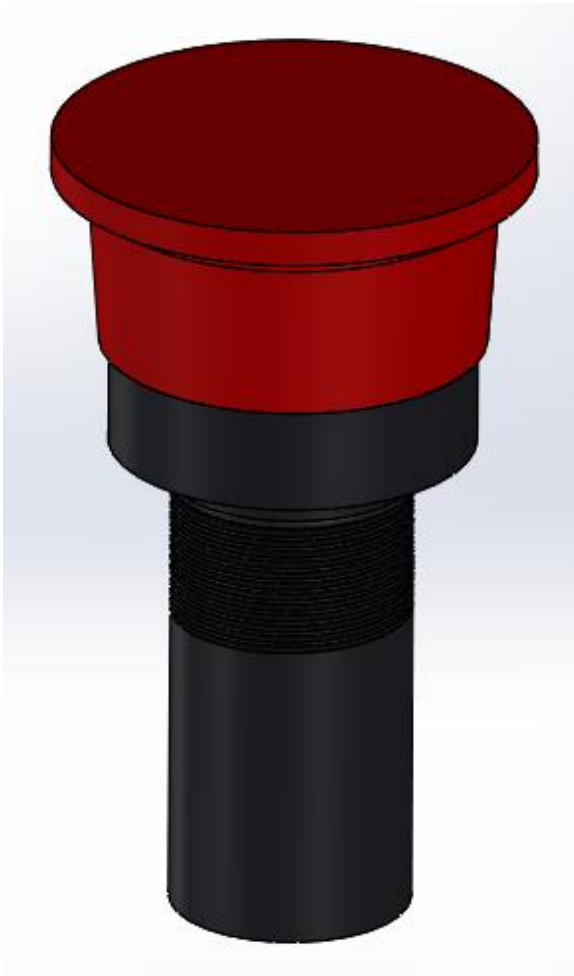


Figura 83. Seta de emergencia

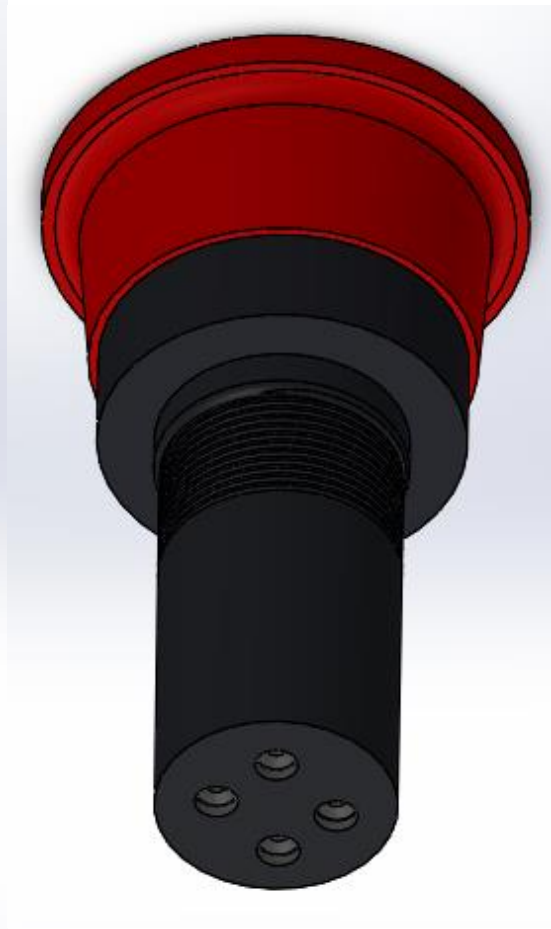


Figura 84. Seta de emergencia vista inclinada

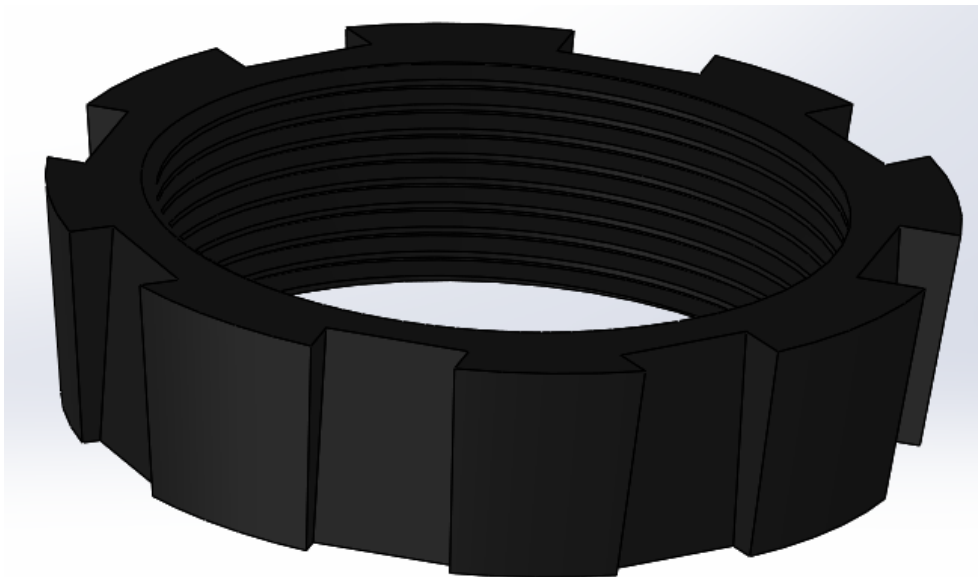


Figura 85. Tuerca seta de emergencia

Una vez diseñado todos los nuevos elementos del vehículo, comenzamos con la implementación y realizamos de manera práctica las modificaciones para el posterior uso de los diseños anteriormente mencionados, quedando de la siguiente manera:



Figura 86. Adaptación 1.

De este modo, tenemos el nuevo sistema eléctrico, el de la moto adaptada al coche. No hay que olvidar que todas las modificaciones las hemos realizado utilizando únicamente una de las motos y tomando como referencia la otra en el momento de encontrarnos con algún fallo o algún problema. Una vez que tengamos el chasis en el taller y todo lo elaborado utilizando una moto, lo instalaremos en nuestro chasis y comenzaremos la adaptación de esta segunda moto.

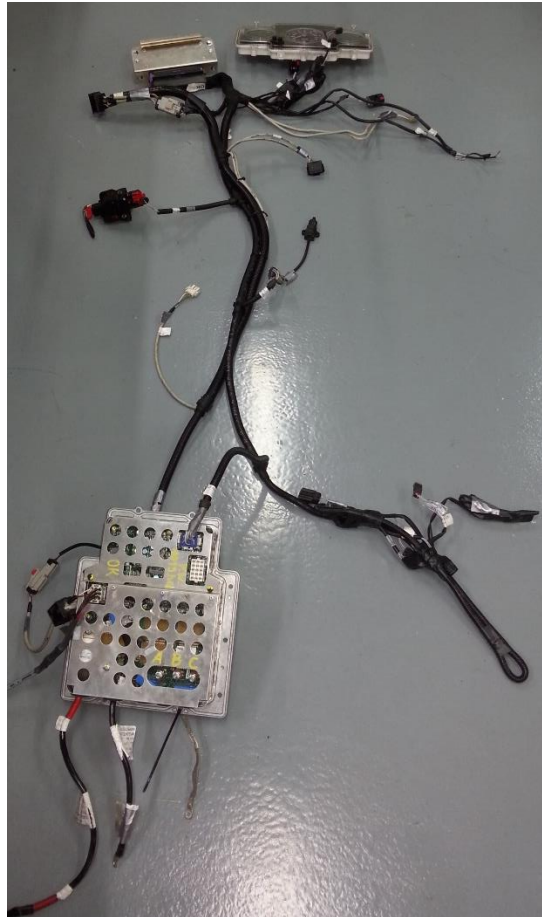


Figura 87. Adaptación 2.

En esta parte la adaptación será sencilla porque simplemente tendremos que eliminar, al igual que lo hemos hecho en una primera moto, los elementos que no necesitemos y unir las señales de los elementos que no sean de utilidad. En este caso no es necesario realizar ningún tipo de adaptación ni de modificación ajena a este proceso ya que eso lo hemos hecho empleando la otra moto.

Así pues, todos estos cambios, como hemos explicado en un principio, se han realizado utilizando el cableado y la electrónica ya existente en la moto. Sin embargo, hay otros aspectos o dispositivos que son necesarios añadir para finalizar con adaptación y para cumplir en su totalidad con la normativa referente a la parte eléctrica y electrónica del monoplaza.

7. MODIFICACIONES ADICIONALES.

Como sabemos, existen una serie de cambios que es necesario añadir para que el vehículo sea práctico, seguro y tenga el permiso para participar en la competición. Como hemos indicado, estos cambios son adicionales a las modificaciones ya realizadas en la electrónica y el cableado original de la moto.

7.1 READY-TO-DRIVE SOUND

Existe una modificación que es necesario añadir para cumplir con la normativa SAE. En el *apartado EV4.13 Ready-to-drive-sound*.

En este apartado nos dice que el coche debe hacer un sonido característico durante al menos, 1 segundo de duración y con un máximo de 3 segundos, cuando esté listo para conducir, es decir, cuando sea arrancado. Decimos por tanto que el vehículo está listo para conducir en el momento que el motor responde a la entrada del par codificador, es decir, al acelerador.

El nivel del sonido debe tener un mínimo de 70 dBA y que sea escuchado en un radio de al menos 2 metros alrededor del coche. Este sonido debe ser fácilmente reconocible.

El problema de nuestro vehículo es, que al tratarse de un coche eléctrico no emite ningún tipo de sonido al ser arrancado. Por tanto lo que haremos será una grabación de un sonido característico y conectar dicho elemento a la señal de arranque, de modo que cuando el vehículo esté en marcha se activará la grabación y simularemos el ruido del motor.

7.2 IMD (MONITOR DE AISLAMIENTO).

El IMD es un sistema de aislamiento del vehículo que en nuestro caso se instala en la unidad del sistema. Un dispositivo de control de aislamiento supervisa el sistema sin conexión a tierra entre un conductor de fase activa y de la tierra. Se pretende dar una alerta (luz y sonido) o desconectar la fuente de alimentación cuando la resistencia entre los dos conductores cae por debajo de un valor determinado, por lo general 50 k Ω . La principal ventaja, es que el sistema de puesta a tierra o flotante permite una operación continua importante para los consumidores. Incluso si hubiera un fallo, todavía no habría peligro para las personas y para la aplicación.

El valor de respuesta IMD está relacionada con la tensión de funcionamiento máxima del sistema de tracción. El estado de la IMD se muestra al conductor mediante una luz indicadora de color rojo en la cabina que es fácilmente visible incluso con luz solar brillante. Este indicador se enciende, si el IMD detecta un fallo de aislamiento o si el IMD detecta un fallo en su funcionamiento.

En caso de un fallo de aislamiento o un fallo de IMD, el IMD debe abrir el circuito de apagado. Esto se hace sin la influencia de cualquier lógica programable.

Supply voltage range:	10..36VDC
Supply voltage	24VDC
Environmental temperature range:	-40..105°C
Selftest interval:	Always at startup, then every 20 minutes
High voltage range:	DC 0..1000V
Set response value:	300k Ω (500 Ω /Volt)
Max. operation current:	500mA
Approximate time to shut down at 50% of the response value:	27s

Tabla 11. Sistema de aislamiento del vehículo.

7.3 INTERRUPTOR DE INERCIA.

El interruptor de inercia es un mecanismo que asegura la conexión eléctrica para interrumpir la bomba de suministro durante un accidente.

El interruptor de inercia está conectado en serie con los botones de parada de tal manera que un impacto se traducirá en el circuito de desconexión activándose y los aires se abren. El interruptor de inercia debe permanecer cerrado hasta ser restablecido manualmente.

El dispositivo debe activarse debido a una carga de impacto que desacelera el vehículo en entre 6 g y 11 g, dependiendo de la duración de la desaceleración. Puede volver a activarse por el conductor. También el dispositivo está conectado mecánicamente al vehículo. Por tanto, el interruptor de inercia es parte del circuito de apagado.

7.4 PUESTA A TIERRA.

Tomamos como tierra general de la instalación del circuito eléctrico del vehículo, el chasis. Debido a las necesidades de seguridad eléctrica, la masa o la base de la electrónica está conectada al metal del chasis.

Los diferentes puntos de tierra están eléctricamente conectados, pero como resultado de las corrientes que se cierra por ellos y la impedancia de conexión entre los puntos aparecen posibles diferencias de tensión. Este hecho puede causar interferencias con la transmisión de la señal entre los sistemas.

7.5 PRUEBAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Podemos encontrar la información y los requisitos acerca de las distintas pruebas de instalación eléctrica en el apartado EV7 (ARTICLE 7: ELECTRICAL SYSTEM TESTS) de la normativa.

7.5.1 IMDT (INSULATION MONITORING DEVICE TEST)

Una vez finalizado la implementación del vehículo, se llevarán a cabo una serie de pruebas en la instalación eléctrica. Una de ellas, es la prueba de aislamiento. Se pondrá a prueba el monitor de aislamiento. Para ello se conecta una resistencia entre los puntos de medición del sistema de tracción y varias en las partes eléctricamente conductoras del vehículo mientras que el sistema de tracción se encuentra en estado activo. LA prueba se supera si el IMD apaga el sistema de tracción a los 30 segundos cuando la resistencia se encuentre al 50% de su valor, es decir, 250 ohm/volt.

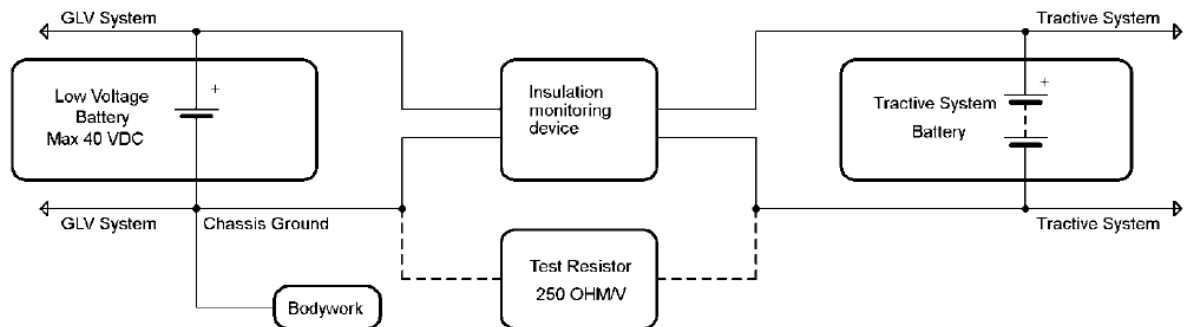


Figura 88. Secuencia para la prueba IMDT.

El IMDT se puede repetir en cualquier momento durante el evento. Después de que el coche pasa la prueba por primera vez, se sellarán las partes críticas del sistema de tracción. El vehículo no se le permite participar en cualquier evento dinámico si en algún momento no se supera esta prueba y no se le permite la participación hasta que el IMDT se pasa con éxito de nuevo.

7.5.2 PRUEBA DE AISLAMIENTO DE MEDICIÓN

La resistencia de aislamiento entre el sistema de tracción y sistema de tierra GLV se medirá durante Eléctrico Técnico de Inspección. Las tensiones de medición disponibles son 250V y 500V. Todos los coches con una tensión máxima de operación nominal inferior a 500V se medirán con el siguiente nivel de tensión por ejemplo disponible un sistema de 175V se medirá con 250V, un sistema de 300 V se medirá con 500V etc. Todos los equipos con una tensión del sistema de 500 V o más se medirá con 500V.

Para pasar el IMT la resistencia de aislamiento medida debe ser de al menos 500 Ohm / Volt relacionada con la tensión nominal máxima de operación del sistema de tracción.

7.5.3 PRUEBA DE LLUVIA

Los equipos tienen que pasar una prueba de lluvia durante la inspección técnica eléctrica que se le permita mover el coche por sus propios medios en el evento. El coche debe pasar la IMDT antes de que pueda llevarse a cabo la prueba de lluvia.

Durante la prueba de lluvia el sistema de tracción debe estar activo y ninguna de las ruedas motrices puede tocar el suelo. No se le permite tener un conductor sentado en el coche durante la prueba de lluvia.

A continuación, se pulveriza agua en el coche desde cualquier dirección posible durante 120 segundos. El spray de agua será una simulación similar a la lluvia. Por lo tanto no habrá ningún chorro de agua a alta presión directa que se dispare contra el coche.

Se pasa la prueba si el dispositivo de control de aislamiento no reacciona mientras que el agua se rocía en el coche y también durante los 120 segundos después de la que aspersión con agua se haya detenido. Por lo tanto el tiempo total de la prueba de lluvia es 240 segundos, 120 segundos con agua pulverizada y 120 segundos después.

Los equipos tienen que asegurarse de que el agua no puede agregarse en cualquier parte del chasis.

8. DOCUMENTACIÓN FSAE.

Como indicamos en un principio, antes de la propia competición cada equipo debe pasar por numerosas pruebas. Antes de las pruebas de seguridad que, como hemos explicado, sin su superación no es posible la participación en las pruebas dinámicas y estáticas, es necesario rellenar una serie de documentos a lo largo del diseño e implementación de nuestro vehículo. Estos documentos tienen fechas de entrega y según la función de cada miembro del equipo, nos corresponde cumplimentar con unos determinados documentos.

De modo que si no completamos esta información y se la mandamos a la administración de la Fórmula SAE, no podremos participar en la posterior competición.

- **FSE (ELECTRIC SYSTEMFORM)**

Antes del evento, todos los equipos deben, por tanto, presentar la documentación claramente estructurada de toda la electricidad del sistema (incluido el sistema de control y el sistema de tracción).

El FSE, que podemos localizar en el *apartado EV9.1* de la normativa, debe visualizar la interconexión de todos los componentes eléctricos, incluyendo el nivel de tensión, la topología, el cableado en el automóvil y la construcción y adaptación de las baterías.

Los equipos deben presentar las hojas de datos con especificaciones nominales de todas las partes del sistema de tracción utilizados y demostrar que ninguna de estas calificaciones se excede (incluidos los componentes del cableado). Esto incluye el estrés causado por el medio ambiente, por ejemplo, altas temperaturas, vibraciones, etc...

Para cumplimentar correctamente con este documento, existe una plantilla que incluye la estructura necesaria para el FSE, que está disponible en la página web oficial de la Fórmula SAE (www.fsaeonline.com). Además existen una serie de requisitos como el

tamaño o el tipo de letra, las imágenes o las tablas que ponemos incluir, toda esta información como hemos dicho, la podemos encontrar en esta página web.

- **FMEA (Failure Modes and Effects Analysis).**

Los equipos deben presentar un completo análisis de efectos y modos de fallo del sistema de tracción antes del evento, como podemos ver en el *apartado EV9.2* de la normativa. Un análisis modal de fallos y de efectos es un procedimiento que evalúa los fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema.

La interpretación que encontramos en este documento es que al analizar los resultados, se deberá actuar en aquellos puntos prioritarios para la optimización del diseño del vehículo. Estos puntos son los que tienen un NPR elevado y los de índice de gravedad más grande. Las acciones que se realizan como consecuencia del análisis del resultado del FMEA se puede orientar a:

- Reducir la probabilidad de ocurrencia (preferible). Hay que cambiar el diseño del proceso o del producto.
- Aumentar la probabilidad de localización (implica aumento de coste). Una interpretación errónea puede provenir de no haber identificado todas las funciones o prestaciones de los elementos del vehículo que estamos estudiando, o bien, no corresponden dichas funciones con las necesidades y expectativas. También puede provenir por no haber considerado todos los modos de fallos potenciales por creer que alguno de ellos no podría darse nunca.
- Realizar una identificación de causas posibles.
- Un cálculo de los índices de incidencia y detección basados en probabilidades contrastadas con datos históricos.

Existe también una plantilla en la que se incluyen una serie de fallos de los cuales los miembros del equipo deben realizar el estudio y rellenar dicho documento.

Tanto el formulario de sistemas eléctricos (FSE) como el de modos de fallo y análisis de efectos (FMEA) deberán presentarse en conformidad con el procedimiento y el plazo publicado en el sitio web de la competición.

Si el documento se entrega pero su presentación se realiza fuera de plazo, el quipo será penalizado según la norma con 10 puntos negativos (-10) por día total o parcial después de la fecha límite, con un máximo de 50 puntos negativos (-50). Presentamos nuestros documentos en el *anexo II*.

9. CONCLUSIONES

9.1 CONCLUSIONES.

El proyecto realizado ha cumplido los objetivos previstos, determinando un sistema de propulsión eléctrico completo para un vehículo de Fórmula SAE, incluyendo el motor, el sistema de almacenamiento de energía y el controlador, así como el circuito de control y de seguridad.

Una de las principales conclusiones que obtenemos tras este proyecto es que cada vez más, conviven los vehículos eléctricos con los vehículos de combustión, llegando a tal punto que existe una competición en la que ambos participan y no hay, por el contrario, competiciones separadas.

Por esta razón los diseños de los vehículos eléctricos se han creado de tal manera que las prestaciones de las que dispone un vehículo eléctrico sean iguales o superiores a las de los automóviles con motor de combustión, tanto en el día a día, como en el caso de nuestro coche. Pero las prestaciones de las que dispone un vehículo eléctrico no igualan y por supuesto no superan en algunas ocasiones las prestaciones de un vehículo de combustión. Para que un vehículo eléctrico pueda competir con un vehículo de combustión se necesitan años en avances en investigación y desarrollo. Este aspecto se ve, claramente, en la diferencia tan elevada que encontramos entre las autonomías. Sin embargo, esto para nosotros no supone un problema, pero si lo es, si estudiamos estos vehículos en un ámbito diario.

Así pues, el desarrollo de este proyecto ha sido satisfactorio ya que hemos partido de la teoría y de la normativa de la competición Fórmula SAE y hemos terminado adaptando un vehículo para que pueda participar en dicha competición.

Para ello hemos tenido que realizar una estructuración del modo de actuar y un planteamiento de los pasos a seguir para poder realizar el proyecto. También ha sido necesario rellenar los documentos proporcionados por la organización SAE en sus determinados plazos indicados, por tanto la organización es un aspecto muy importante a la hora de realizar un proyecto. Más aún,

cuando el mismo, forma parte de un proyecto global y conjunto con otros miembros de un equipo. Por tanto, debemos de tener un carácter competitivo para querer superarnos y clasificarnos con nuestro vehículo, y a la vez, saber trabajar en equipo puesto que todos los miembros realizan una tarea muy importante para que el conjunto final sea el deseado.

Debe haber comunicación entre los distintos miembros y se debe de avanzar en conjunto, por ello se ha realizado varias reuniones de equipo donde estamos informados de cualquier cambio o problema importante. Sin embargo, aunque se trate de un trabajo en equipo, esa es una etapa final y conjunta. En un principio cada uno de los proyectos se evalúa por separado, por tanto hemos desarrollado una capacidad creativa y aprendemos a actuar antes cualquier problema.

Dado que el mundo de la competición es el mejor escenario para sacar a la luz el desarrollo de nuevas tecnologías, este proyecto es muy interesante debido a que si se realiza un correcto estudio y se lleva a la práctica puede demostrarse que es viable para llevarlo a cabo en el mundo real, de modo que se podría avanzar en el mundo de los vehículos eléctricos tanto en la vida cotidiana como en la competición, estudiando y viendo las mejoras que se pueden hacer para ser más rápidos sobre la pista. Actualmente los vehículos eléctricos es un campo que está en continuo desarrollo y evaluación, existen problemas que continuamente se intentan solventar e intentan superar a los vehículos de combustión. Nuestro trabajo es intentar superar dichos vehículos en modo de competición. Para ello hemos realizado un estudio y una elección de todos los elementos eléctricos del vehículo para que esté listo para la puesta en marcha.

Este proyecto es una pequeña parte de todo lo que abarca los vehículos eléctricos, su comportamiento en carretera, en altas velocidades o en condiciones extremas, pero que muestra los principios básicos para ir conociéndolos e ir desarrollándolos. Todavía queda mucho por investigar para mejorar los vehículos eléctricos e infraestructuras para que algún día puedan ser una realidad, y por supuesto existen mejoras que podremos llevar a cabo más adelante y que nuestro coche llegue a ser uno de los altos competidores en la Fórmula SAE.

9.2 DIFICULTADES OBTENIDAS EN EL DESARROLLO

A lo largo del desarrollo del proyecto, como es normal, han surgido diversas dificultades y fallos. Desde un principio pensamos que la mejor forma de actuar a la hora de realizar la adaptación era desmontar una única moto, y cuando se instalase según lo buscado, ya procederíamos al desmontaje de la segunda. Así pues, si en algún momento nos surge algún fallo o problema tenemos como referencia la otra moto y podremos volver atrás.

En todo momento hemos seguido este modo de actuar, sin embargo hemos tenido otros fallos que no podíamos resolver observando o buscando una solución en la otra moto.

Uno de los problemas que tuvimos fue a la hora de conectar una de las setas de emergencia. Como explicamos debemos de tener dos setas, una de ellas, situada en la parte exterior para que pueda ser accionada desde fuera y que desactivan inmediatamente las baterías. Y una segunda seta de emergencia que se encuentra dentro del vehículo y que se utilizará ante una situación de pánico por parte del conductor. Con su accionamiento detenemos únicamente los motores y no con ello la alimentación de las baterías de modo que el coche se queda con el contacto puesto pero los motores parados. Para volver a producir su movimiento basta con volver a arrancar el coche.

Esta última seta fue la que causó un problema, ya que como hemos indicado en el capítulo 2, dicha seta de emergencia fue conectada a la pata de cabra. Si la moto detecta en cualquier momento que la pata de cabra esta bajada se detienen los motores, por el contrario cuando quitamos el caballete nos permite su arranque.

Por tanto queremos que al pulsar por pánico la seta se detenga el vehículo, es decir el caballete está en el suelo, al revés del funcionamiento normal, ya que queremos que al pulsar algún conmutador, el vehículo se ponga en marcha. Pero al tratarse de un sistema de seguridad el conexionado es el contrario.

Esto fue un inconveniente ya que se conectó la seta al revés y aparentemente no funcionaba. El método que empleamos para encontrar el fallo fue repetir reiteradas veces el procedimiento de arranque hasta que llegamos al fallo.

9.3 FUTUROS DESARROLLOS.

Es la primera vez que se plantea la formación de un equipo de Fórmula SAE en la Universidad Politécnica de Alcalá de Henares por lo que se empezará el diseño desde el principio. No obstante existen otros equipos en España los cuales son un referente. Como es normal, cada equipo mejora con la experiencia en la competición y cada año se incorpora mejoras y se estudian los elementos que hagan que el vehículo se comporte lo mejor posible de cara a la carrera.

En un principio, para nuestro equipo es satisfactorio llegar a clasificarse, claro que en un futuro, como el resto de universidades se estudiarán todos los aspectos de nuestro coche para que, cada vez, sea un vehículo más eficiente y competitivo.

Existen numerosos cambios que pueden ser aplicados a nuestro primer vehículo diseñado pero que necesitan tiempo para realizar los estudios necesarios y mayor presupuesto. Uno de los posibles cambios es que dado que la normativa permite montar un sistema de propulsión de hasta 85 kW y actualmente la potencia serie del conjunto es menor, cabría realizar un estudio de posibles aumentos de potencia, algo que posiblemente requiera un cambio en la configuración de la planta. Se podrá estudiar la instalación de cuatro motores pero de menor potencia cada uno, para que la suma total se acerque a los 85 kW, de esta manera se podría ser más competitivo tanto en el evento *endurance* como en el de *Aceleración*.

Otra posible modificación, que podría ser estudiada es el sistema de baterías. En un principio utilizaremos las baterías que poseían las motos, pero es posible que sea mejor utilizar unas baterías de Litio en lugar de la de Níquel metal-hidruro. Este hecho puede mejorar tanto el sistema de alimentación como el peso del coche. Cuantas menos celdas necesite el coche menos peso tendrá.

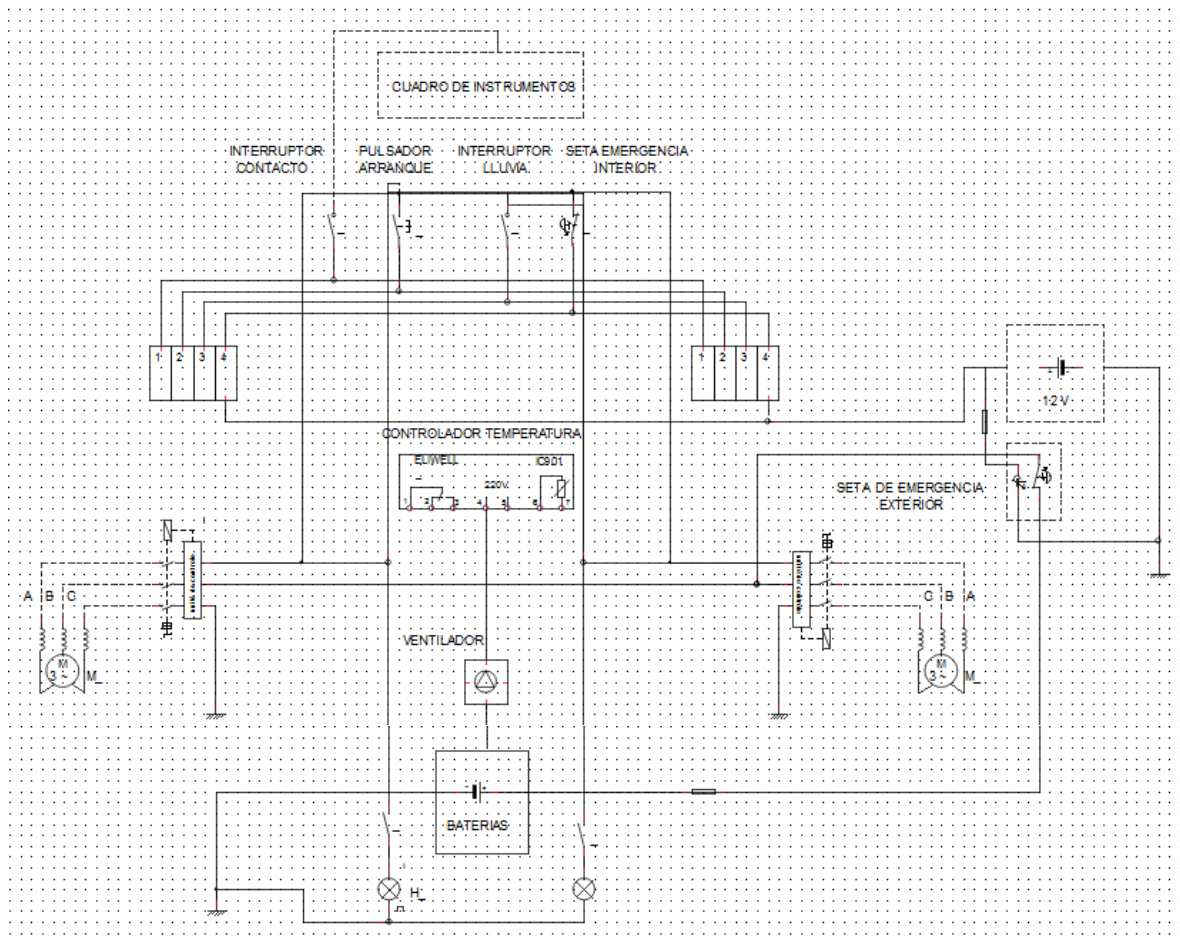
Estos son una serie de cambios que pueden ser estudiados en un futuro para lograr una mejora tanto del vehículo como de sus propiedades, realizando previamente sus pruebas y estudios correspondientes.

CAPÍTULO 2.

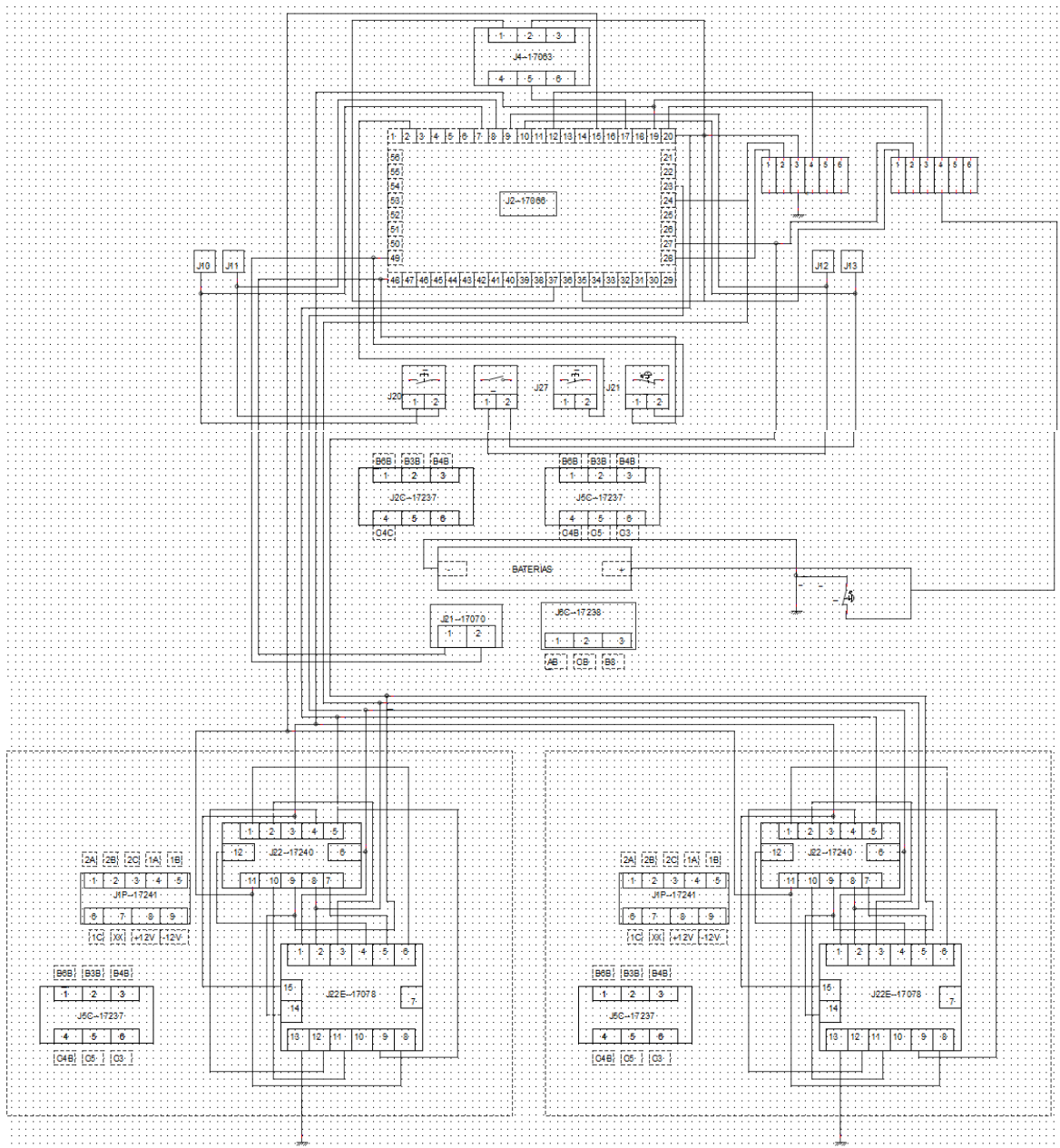
DOCUMENTACIÓN Y FASE FINAL

10. DIAGRAMAS

10.1 Plano eléctrico general



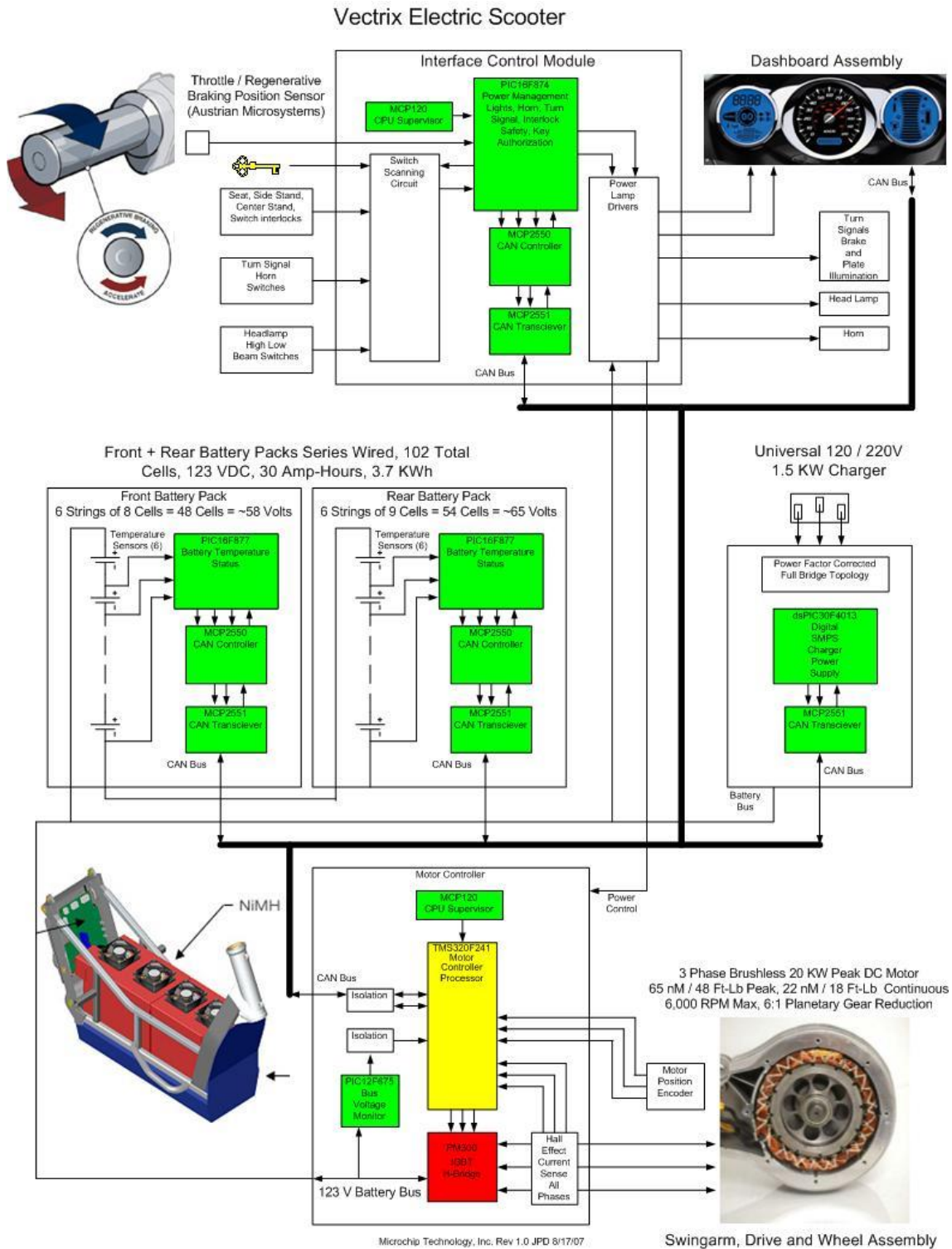
10.2 Plano electrónico general



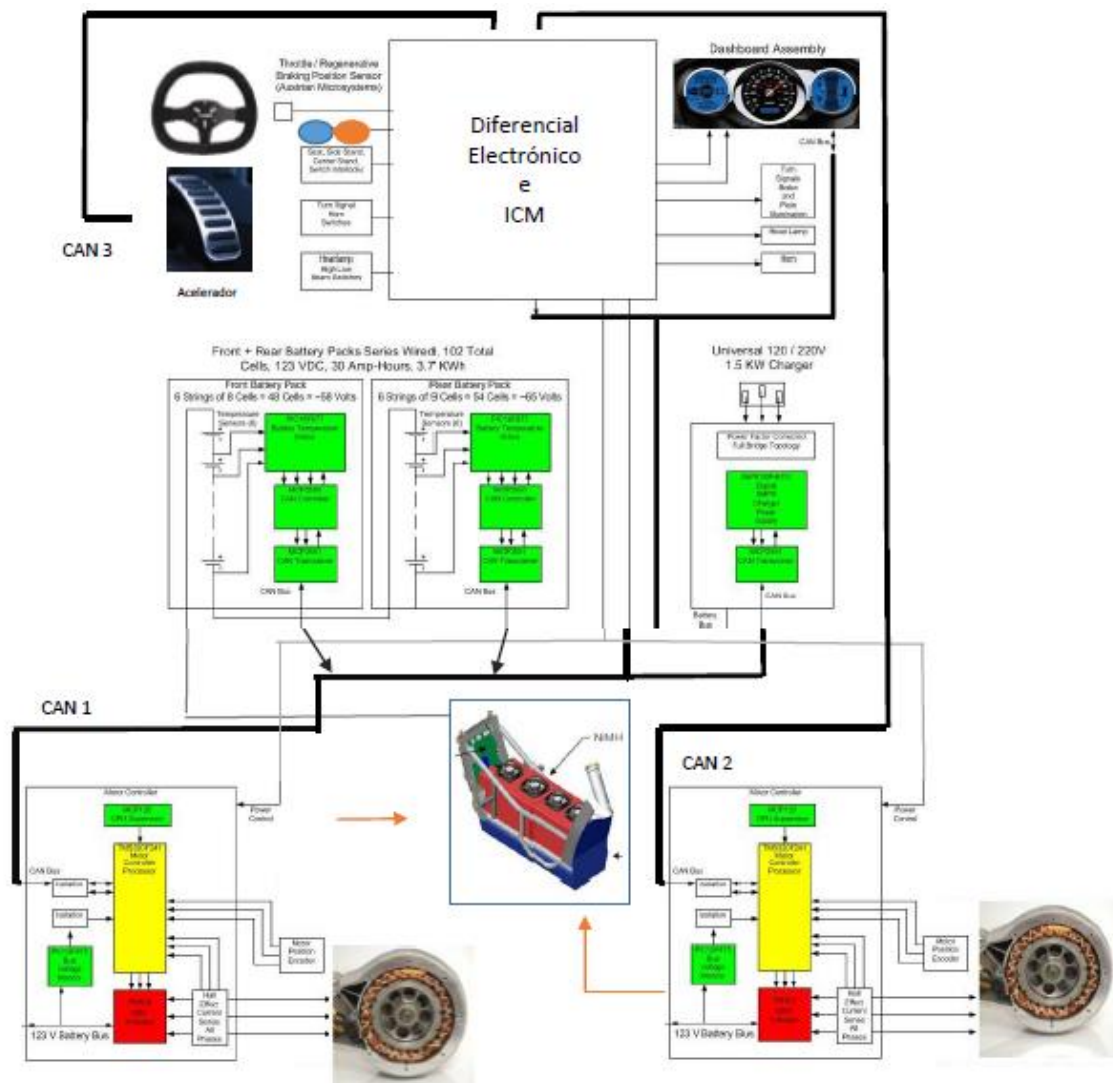
10.2.1 RESUMEN DE LOS DISPOSITIVOS

DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN	UTILIZADO	OBSERVACIONES
J1	Ventilador controlador motor	X	-
J1C	Cargador batería	✓	Fuera del vehículo
J1P	Alimentación controlador motor	✓	-
J2	Módulo control interfaz	✓	-
J2C	Monitor batería delantera	✓	-
J2E	Codificador	✓	-
J4	Grupo de instrumentos del tablero	✓	-
J4C	Sensor de temperatura ambiente	X	-
J5	Enlace de datos	✓	-
J5C	Monitor batería trasera	✓	-
J6	Headlamp	X	-
J6C	Ventilador batería	✓	-
J7	Luz posición delantera	X	-
J8	Intermitente delantero derecho	X	-
J9	Intermitente delantero izquierdo	X	-
J10	Conmutador freno izquierdo	✓	-
J11	Conmutador freno izquierdo	✓	-
J12	Conmutador freno derecho	✓	-
J13	Conmutador freno derecho	✓	-
J14	Toma corriente accesorios	X	-
J15	Toma corriente accesorios	X	-
J16	Claxon	X	-
J17	Claxon	X	-
J18	Controlador manillar izquierdo	✓	-
J19	Control manillar derecho	✓	-
J20	Interruptor de encendido	✓	Sustituido por pulsador de contacto
J21	Conmutador caballete lateral	✓	Sustituido por seta de emergencia
J22	Controlador motor	✓	-
J25	Conmutador luz maletero	X	-
J26	Conmutador asiento	X	-
J27	Intermitente trasero izquierdo	✓	Sustituido por interruptor de lluvia
J28	luz de freno trasera	X	-
J29	Luz placa matrícula	X	-
J30	Intermitente trasero derecho	X	-
V19	Cable alimentación cargador	✓	Fuera del vehículo
V20	Cargador	✓	Fuera del vehículo

10.3 Diagrama general



10.4 Diagrama general con modificaciones



11. PLIEGO DE CONDICIONES

Una vez obtenido los conocimientos necesarios y haber realizado los estudios y los diseños convenientes, pasamos a la siguiente parte (que tiene su lado práctico y su lado teórico) y en la que explicamos los aspectos relacionados con la implementación y la adaptación de las dos motos en un coche de carreras. Para ello disponemos de una sala en la universidad acondicionada para mantener todo el material que hemos ido utilizando a lo largo del desarrollo.

Para poder realizar dicho proceso ha sido necesario emplear tanto herramientas como cierto tipo de materiales y dispositivos. Algunos, fácilmente usados en la universidad, y otros, que ha sido necesaria su búsqueda y compra.

Así pues distinguimos en el material empleado a lo largo del proyecto, las herramientas y el material propiamente dicho.

11.1 PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES.

11.1.1 Especificaciones de materiales y equipos

11.1.1.1 Herramientas Utilizadas

Las herramientas se han utilizado tanto para desmontar todos los componentes sujetos a los chasis de las motos, como a la hora de trabajar con las baterías, como para realizar la adaptación al coche. Las herramientas de mayor importancia utilizadas son las siguientes:

- Atornillador.
- Gato hidráulico
- Llaves fijas
- Soldador de estaño
- Tijeras
- Multímetro con puntas protegidas
- Guantes aislantes de alta tensión
- Gafas de seguridad
- Alicates de corte
- Calibre
- Martillo

11.1.1.2 Material Utilizado

Al igual que hemos explicado con las herramientas, el material que hemos empleado ha sido comprado. Cierta material lo hemos adquirido de tiendas directamente pero otros componentes o dispositivos eran específicos. Los principales son:

- Bidas
- Tuercas
- Tornillos
- Cinta americana
- Cinta aislante
- Cinta de tela
- Estaño
- Termo retráctil
- Cables de diferentes secciones
- Avisadores luminosos
- Leds
- Interruptores
- Pulsadores
- Setas de emergencia
- Terminales

11.1.2. Especificaciones de ejecución.

Como hemos indicado, la segunda fase es puramente práctica. Para la ejecución de esta segunda parte del proyecto es necesario que ciertos componentes o partes estructurales del vehículo estén finalizadas para poder continuar con el desarrollo del mismo.

Por un lado, para comenzar a trabajar ha sido necesario que las motos estuvieran en la universidad. Así pues, se pudo comenzar a desmontar y probar la electrónica y las modificaciones que eran necesarias realizar. De modo que se fue comprobando el material que era necesario y que posteriormente se compró.

A su vez, este proyecto parte de la electrónica ya implementada en las motos, de manera que previo a las modificaciones y la adaptación, es el correcto funcionamiento de todos los dispositivos de la moto así como de la electrónica, las baterías y los motores.

Es necesario el diseño a su vez, del diferencial electrónico para adaptar las velocidades entre el interior y el exterior de la curva, ya que el movimiento de la rueda que se encuentra en interior da menos vueltas que la del exterior.

Es necesario ajustar la señal del acelerador para que se adapte a los dos motores, realizando el movimiento simultáneo.

Finalmente, es necesario que los compañeros que se encargan del diseño del chasis hayan finalizado con dicho diseño cumpliendo las especificaciones y las normas de la Fórmula SAE, y su posterior montaje y traslado a la universidad. Una vez estemos en este punto, se podrá proceder al montaje de las modificaciones realizadas al mismo chasis y continuar con la otra moto. Hasta que no tengamos una de las motos funcionando como parte independiente en el chasis, no podremos proceder al desmontaje de la otra, simplemente por motivos de seguridad como ya hemos indicado.

De modo que esta parte del trabajo no podrá concluir hasta que no se finalice con lo especificado en este apartado.

12. PRESUPUESTO.

Artículo	Código Externo	Descripción	Cantidad	Unidad de Venta	Precio Unitario	Importe Línea	IVA	Importe con IVA
M-001	151846	Hearshrink Kit Basic Shrinkfit	1	KIT	15,81 €	15,81 €	21%	19,13 €
M-002	5473150	PCB MTG HEADERS	5	C/U	2,80 €	14,00 €	21%	16,94 €
M-003	7485405	TinkerKit Cable 20 cm	10	C/U	1,14 €	11,40 €	21%	13,79 €
M-004	7125308	Green PVC equipement wire 1/0.6 100 m	1	RL de 100	9,03 €	9,03 €	21%	10,93 €
C-005	403620	Linear Active Thermistor MVP9700-E/TO	20	C/U	0,19 €	3,86 €	21%	4,67 €
C-006	7485332	TinkerKit Accelerometer Module	1	C/U	21,28 €	21,28 €	21%	25,75 €
C-007	6961670	Digi International Xbee Zigbee Shield	1	C/U	14,22 €	14,22 €	21%	17,21 €
C-008	7485297	Ethernet Shield with PoE	1	C/U	47,79 €	47,79 €	21%	57,83 €
C-009	7697409	Placa Arduino Uno SMD rev3	1	C/U	22,91 €	22,91 €	21%	27,72 €
C-010	7482336	Red/blue PVC Equipement Wire 7/0.2mm 100m	1	RL de 100	10,33 €	10,33 €	21%	12,50 €
M-011	4510781	Antena de latiguillo M4 1/4 onda 868 MHz	1	C/U	6,32 €	6,32 €	21%	7,65 €
M-012	7589351	Tinkerkit 2 Axis Gyroscope 4X	1	C/U	23,94 €	23,94 €	21%	28,97 €
C-013	6672982	XBEE-Pro 868MHz RF Module, U.FI conn	1	C/U	97,61 €	97,61 €	21%	118,11 €
C-014	6512868	2-wire temperature sensor	5	C/U	1,19 €	5,95 €	21%	7,20 €
C-015	309-5966	Xenón perfil bajo rojo 12/24 Vdc	1	C/U	24,62	24,62	21%	29,79 €
C-016	455-2678	Red Static installation 57mm	1	C/U	31,00 €	31,00 €	21%	37,51 €
M-017	781-1406	M-Slotted parrallel screwdriver 3x75 mm	1	C/U	2,37 €	2,37 €	21%	2,87 €
M-018	323-1904	s/driver for slotted screws	1	C/U	3,22 €	3,22 €	21%	3,90 €
M-019	536-6068	BLDC Motor	2	C/U	1.790,00 €	3.580,00 €	21%	4.331,80 €
M-020	56262378	batteries	2	C/U	2.890,00 €	5.780,00 €	21%	6.993,80 €
M-021	68493587	controlador 20Kw	2	C/U	1.000,00 €	2.000,00 €	21%	2.420,00 €

Total = 3.945,66 €
Total con IVA = 4.774,25 €

Este sería el presupuesto real comprando cada uno de los elementos por separado. Los precios han sido obtenidos de las siguientes páginas de compra:

- www.rs-components.com
- www.goldenmotor.com

Sin embargo, en presupuesto es menor debido a que no se han comprado los motores baterías... por separado, si no que se ha adquirido una moto completa como ya sabemos, de segunda mano, lo que abarata el coste final.

El resto de componentes si han sido comprados en las tiendas nombradas.

13. MANUAL DE USUARIO

Este manual está dirigido a las personas autorizadas que vayan a utilizar el monoplaza que está en desarrollo, o en otro caso, que vaya a continuar realizando modificaciones y pruebas en el mismo. Se reduce el uso del vehículo a la realización de pruebas funcionales, así como a la competición.

Los usuarios podrían ponerse en peligro a sí mismos y a los demás, si no son capaces de conducir el monoplaza eléctrico de forma segura. Es responsabilidad del usuario asegurarse de que tienen la destreza manual para conducir el vehículo, la vista y el oído suficiente para percibir el peligro a tiempo y en todo momento. Es recomendable que el vehículo no sea utilizado ante la presencia de una sola persona, por seguridad y para evitar problemas o fallos en el sistema perjudiciales tanto para la persona como para el vehículo es recomendable la presencia de al menos dos personas.



¡ADVERTENCIA! Indica una situación potencialmente peligrosa y que puede causar lesiones o daños en el equipo del usuario (símbolo negro en un triángulo amarillo con borde negro).



¡OBLIGATORIO! Pasos que han de realizarse como se indica. En caso contrario, podría provocar en el usuario o en terceros lesiones o daños en el material.



¡PROHIBIDO! Estas acciones están prohibidas y no deberán realizarse bajo ninguna circunstancia. El incumplimiento de esta prohibición puede provocar lesiones o daños en el material (símbolo negro con círculo y raya rojos).

NOTA: El presente manual de instrucciones recoge las últimas especificaciones e informaciones disponibles en el momento de su publicación.

13.1 PUESTA EN MARCHA

Para poner en marcha el vehículo es necesario seguir una secuencia. En caso de no seguir tal y como se indican los pasos, el vehículo no arrancará.

1. Pulse el primer interruptor (interruptor situado a la izquierda del volante).
2. A continuación pulse el botón que le sigue a su derecha.
3. Note que en este momento el monoplaza se encuentra arrancado, utilice el vehículo con cuidado y atento a los usuarios que se encuentran en las proximidades del mismo.
4. Tenga gran cuidado y conduzca con baja velocidad si no se está en un circuito acondicionado para su uso.
5. En caso de emergencia existe una seta dentro de la cabina del vehículo. Se puede accionar en caso de pánico o choque y realiza la parada de los motores.
6. En caso de emergencia por parte del equipo, existe una seta de emergencia exterior. Si se acciona esta seta, se realiza la desconexión de todas las baterías del vehículo (batería de motores y batería de 12V).



¡ADVERTENCIA! El vehículo está diseñado para soportar el peso de una sola persona. No montar varios usuarios en el mismo ni posicionarse bruscamente en el mismo.



¡ADVERTENCIA! Daños. Antes de conducir compruebe que el vehículo eléctrico no tiene daños, en particular los que podrían afectar a los controles, ruedas y / o el motor de accionamiento.



¡ADVERTENCIA! Carga de la batería. Antes de salir a conducir, compruebe siempre el indicador de batería. Si tiene alguna duda, asegúrese de que todas las baterías están completamente cargadas.



¡OBLIGATORIO! Si se producen movimientos indeseados o una liberación de frenos involuntaria, apague el coche tan pronto como usted pueda. Póngase en contacto con el equipo para informar del hecho y comenzar a buscar el fallo.

13.2 CONTROLES

1. **Indicador batería:** Este indicador muestra el nivel de carga de las baterías. Asegúrese antes de su uso que el nivel de carga es máximo ya que la batería se ajusta a las necesidades de la competición sin dejar demasiado margen de uso.
2. **Botón de encendido ON/OFF:** Para realizar el proceso de encendido del coche, debemos seguir la secuencia indicada en el apartado anterior. Cuando pongamos el contacto del vehículo, veremos en el cuadro de instrumentos del coche la palabra 'READY', una vez pulsado el siguiente botón veremos la palabra 'GO', lo que nos indica que ha completado la secuencia de arranque del coche.
3. **Luces:** El vehículo sólo incorpora las luces necesarias y exigidas por la normativa de la Fórmula SAE. Todas son accionadas de forma automática, así pues el conductor no debe preocuparse por ello. Existe solamente una luz, que indica que estamos ante condiciones adversas de circulación; está se encuentra a la derecha del volante y debe ser accionada por el piloto cuando detecte estas condiciones atmosféricas.
4. **Punto de carga:** Existe una cavidad donde están, fácilmente accesibles los conectores que son necesarios unir al cargador para realizar el procedimiento de carga. El objetivo del aparatoso proceso es la eliminación de peso innecesario.



¡PROHIBIDO! NUNCA cargue las baterías en un lugar donde haya llamas al descubierto, como calentadores a gas, ya que en circunstancias excepcionales las pilas pueden desprender gases que pueden encenderse y explotar. Asegúrese siempre de que la batería no esté dañada.



¡PROHIBIDO! Cuando cargue las baterías NUNCA conecte o desconecte el cargador mientras esté conectado a la red eléctrica.



¡OBLIGATORIO! Utilizar material y protecciones adecuadas cuando se está trabajando con tensión o corriente.



¡OBLIGATORIO! Antes de manipular las baterías hay que desconectar el conector azul que une los bloques.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Vectrix Maxi Scooter Workshop Manual PDF*
- [2] **Vectrix_users_guide** → http://visforvoltage.org/sites/default/files/manuals/vectrix_users_guide.pdf
- [3] *Formula SAE. Formula Student Electric Rules 2014.*
- [4] *Formula SAE. Formula Student Electric Rules 2015.*
- [5] *Mehrdad Ehsani; Yimin Gao; Ali Emadi. Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory and Design. Second edition. CRC Press. Taylor & Francis Group, 2010. [EHSA10].*
- [6] *D. Alonso Fuentes, Diseño básico del sistema propulsor eléctrico para el futuro vehículo de fórmula SAE, Trabajo fin de carrera 2012*
- [7] *Carlos F. Escobar García, Control de un motor Brushless DC con frenado regenerativo, Trabajo fin de carrera, 2005*
- [8] *Fco. J. Cabello, J.F. Sánchez, Principios de funcionamiento de las máquinas eléctricas.*
- [9] *M.Vila, "A quick overview on rotatory Brush and Brushless DC motors", ingenia-cat S.L., 2006.*
- [10] *George Ellis, "Control System Design Guide", Elsevier Academic Press.*
- [11] *A.Torné, "Algoritmos de modulación para motores brushless", ingenia-cat S.L., 2006*
- [12] *University of Idaho, "Utility Applications of Power Electronics", ECE 529*
- [13] *L. Romeral, "Motion Control for Electric Drives", Dept. Eng. Electrònica. Universitat Politècnica de Catalunya.*
- [14] *Electro-Craft Servo System, 1993*
- [15] *Permanent-Magnet and Brushless DC Motor,*
- [16] **2015 SAE International** → <http://students.sae.org/cds/formulaseries/>
- [17] **Fórmula Student Germany** → <http://www.formulastudent.de/>
- [18] **Fórmula SAE (2014-2015)** → <https://www.fsaeonline.com/>
- [19] **Fórmula SAE Universidad Simón Bolívar 2013** → <http://www.formulasae.grupos.usb.ve/version2/proyectocompetencia.html>
- [20] **3D Connexion Fórmula Student** → <http://www.3dconnexion.es/index.php?id=219>

- [21] <http://es.wikipedia.org/wiki>
- [22] **Unidad de Gestión de Riesgos** →
http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/Segu_electrica.pdf
- [23] **Instrumentación Bioquímica, Universidad Alcalá de Henares** →
<http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%20%20-%20seguridad%20elctrica.pdf>
- [24] **La seguridad en los vehículos eléctricos, enero 2011** →
http://imagenes.w3.racc.es/uploads/file/14531_estudivehicleelectric.pdf
- [25] **Manual de seguridad ISASTUR, 2010** →
http://www.grupoisastur.com/manual_isastur/data/es/1/1_5_2.htm
- [26] **Diario motor, Vehículo eléctrico, 2011** →
<http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/14/vehiculo-electrico-ventajas-inconvenientes-y-perspectivas-de-futuro/>
- [27] **Vehículos eléctricos, un paso hacia un desarrollo sostenible, Febrero 2011** →
http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_39/JUAN_C_VILLAR_1.pdf
- [28] <http://www.ev-power.eu/>
- [29] **Motor eléctrico Brushless** →
<https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/motores-brushless.pdf>
- [30] **Vectrix, septiembre 2008** →
<http://scooter-vectrix.blogspot.com.es/2008/09/corch-du-vectrix.html>
- [31] **Pliegos de condiciones** →
<http://www.proyectosfindecarrera.com/pliego-condiciones-proyecto.htm>
- [32] <http://www.cochesrc.com/>
- [33] **Club del Automóvil, Universidad de Nebrija** →
<http://www.nebrija.com/medios/clubdelautomovil/>
- [34] **Vectrix** → <http://www.motofan.com/vectrix>
- [35] **Tienda Motores eléctricos** → <http://www.motoreselectricos.eu/>
- [36] <http://www.goldenmotor.com/>
- [37] <http://es.rs-online.com/web/>
- [38] <http://www.motores-electricos.es/>
- [39] **Información Vectrix** → <http://www.electromaps.com/motos-electricas/vectrix/vx1-li>

ANEXO I: NORMATIVA FÓRMULA SAE

Adjunto la normativa de la fórmula SAE en formato electrónico.

[Rules FormulaSAE 2015](#)

ANEXO II: Documentación FMEA

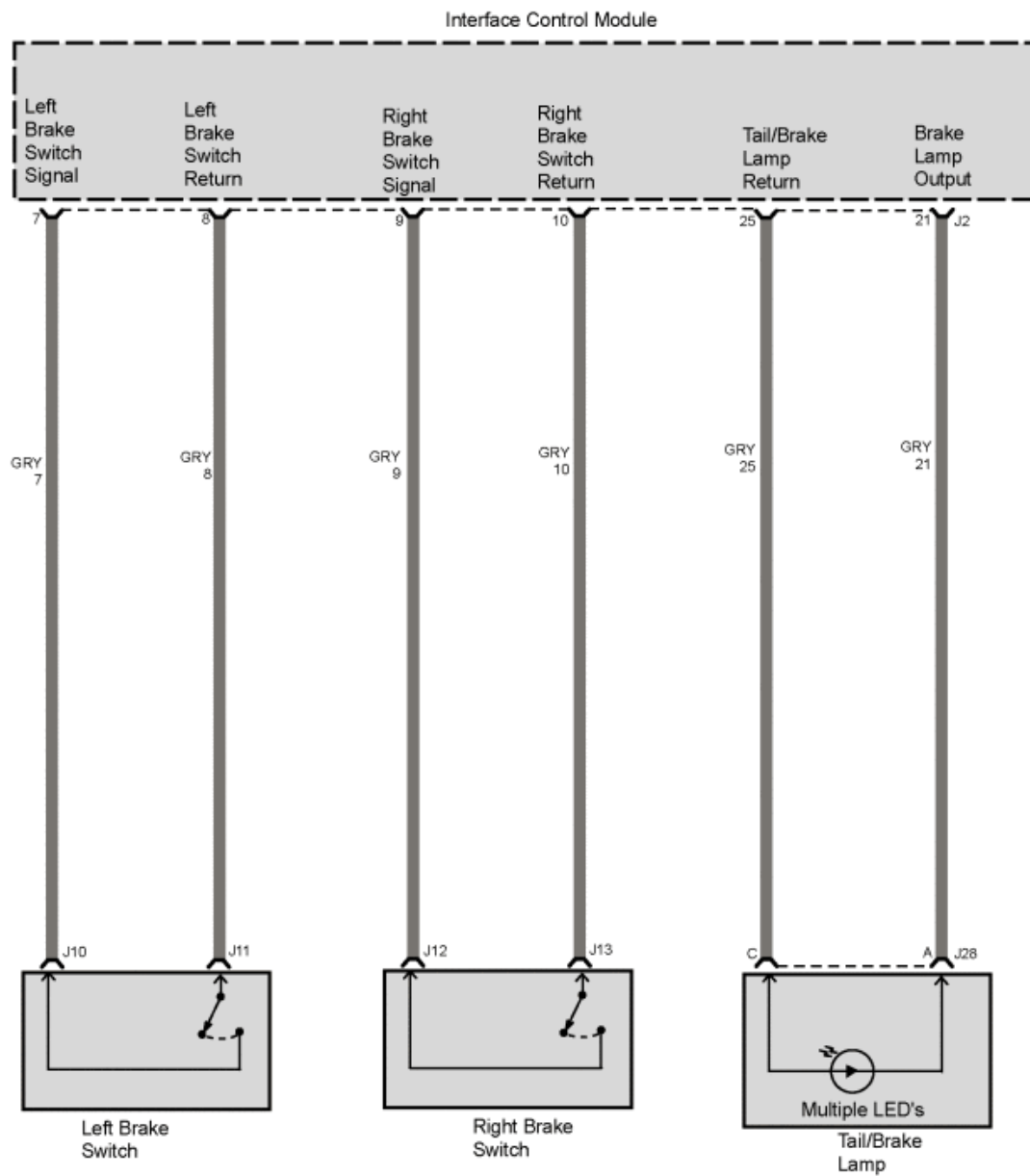
Adjunto los documentos relativos a la parte eléctrica presentados a la organización SAE en formato electrónico.

ANEXO III: Vectrix Maxi Scooter Workshop Manual

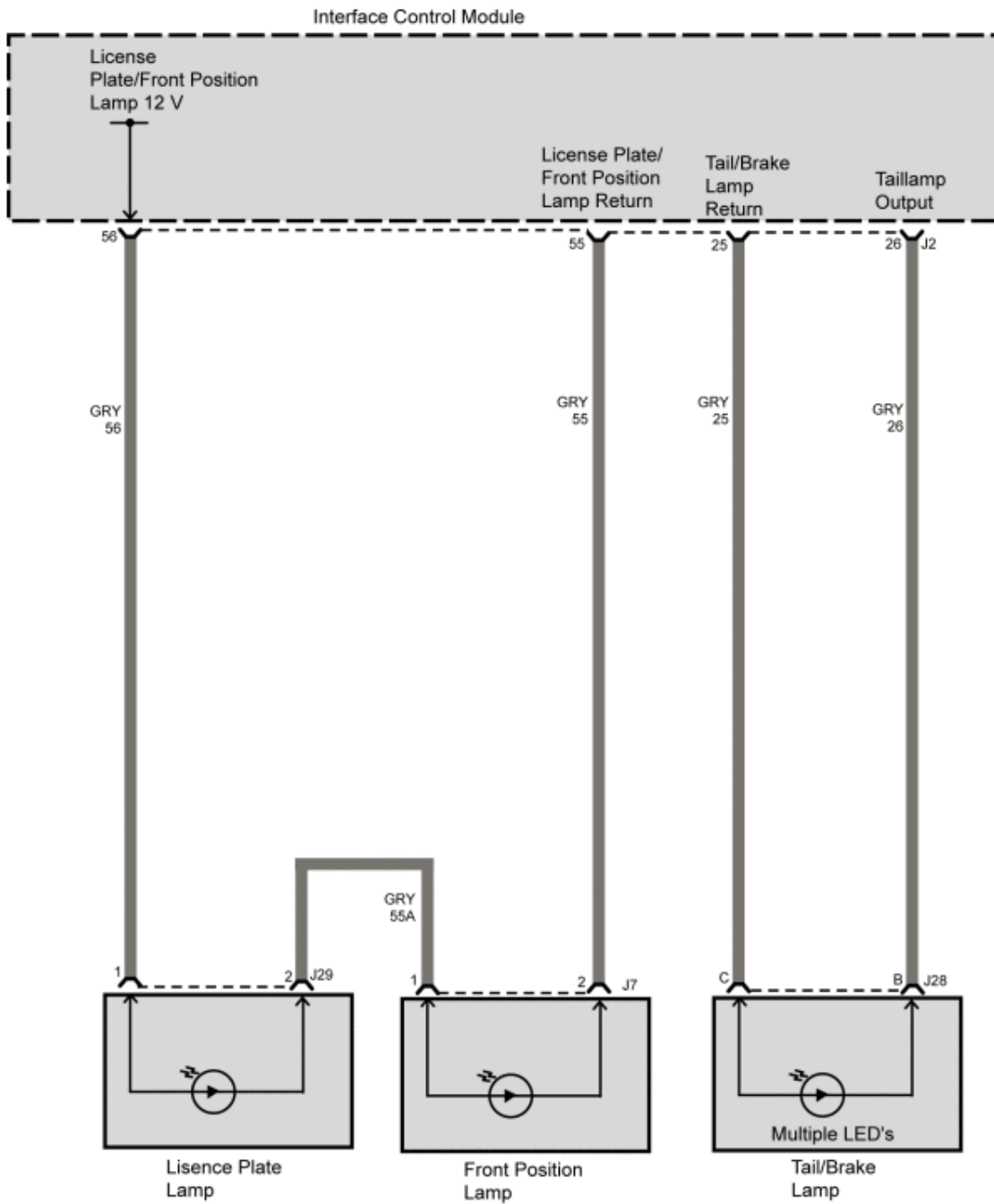
2.1 ILUMINACIÓN

2.1.1 ESQUEMAS ELÉCTRICOS.

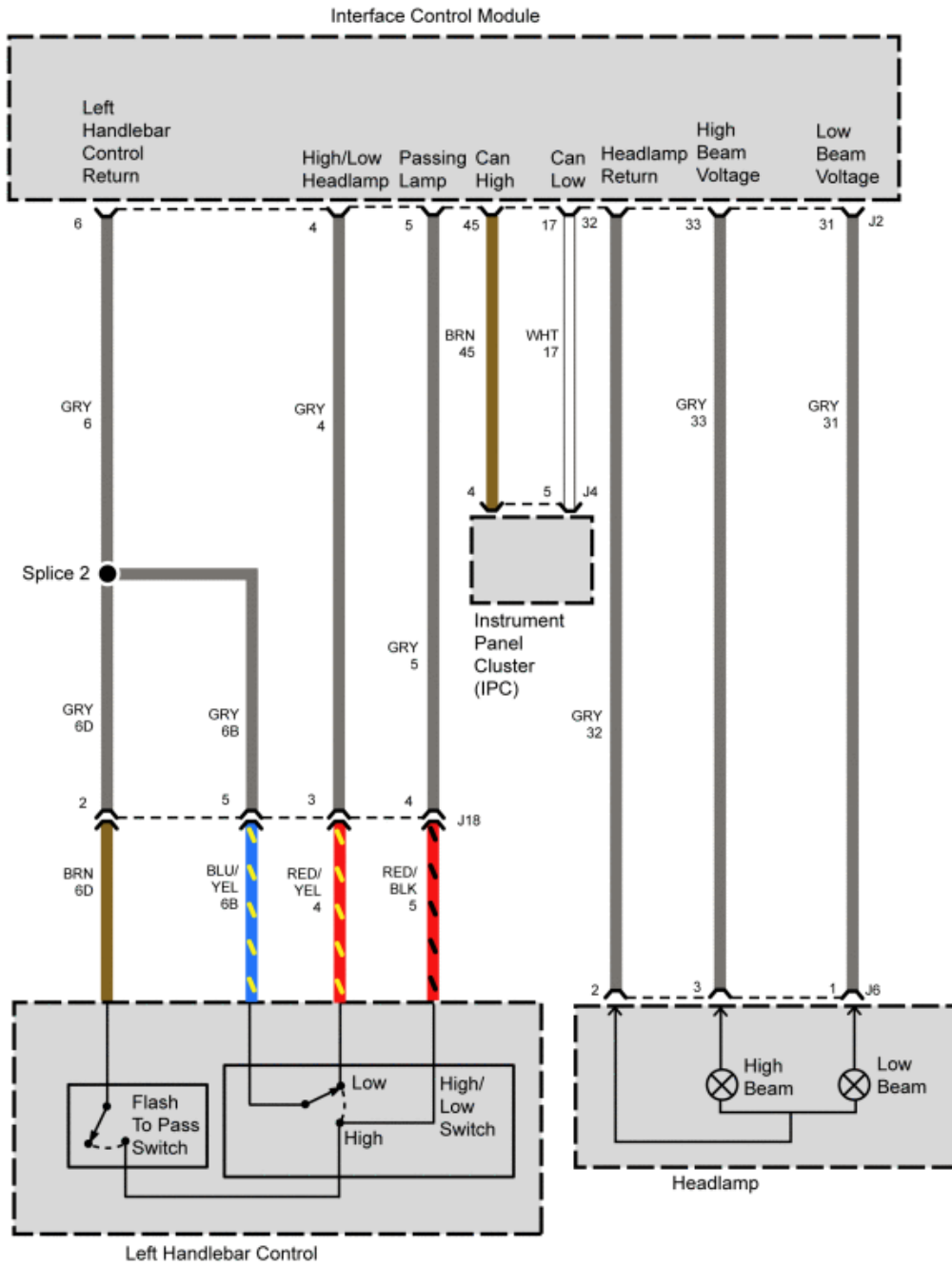
- Luz de freno



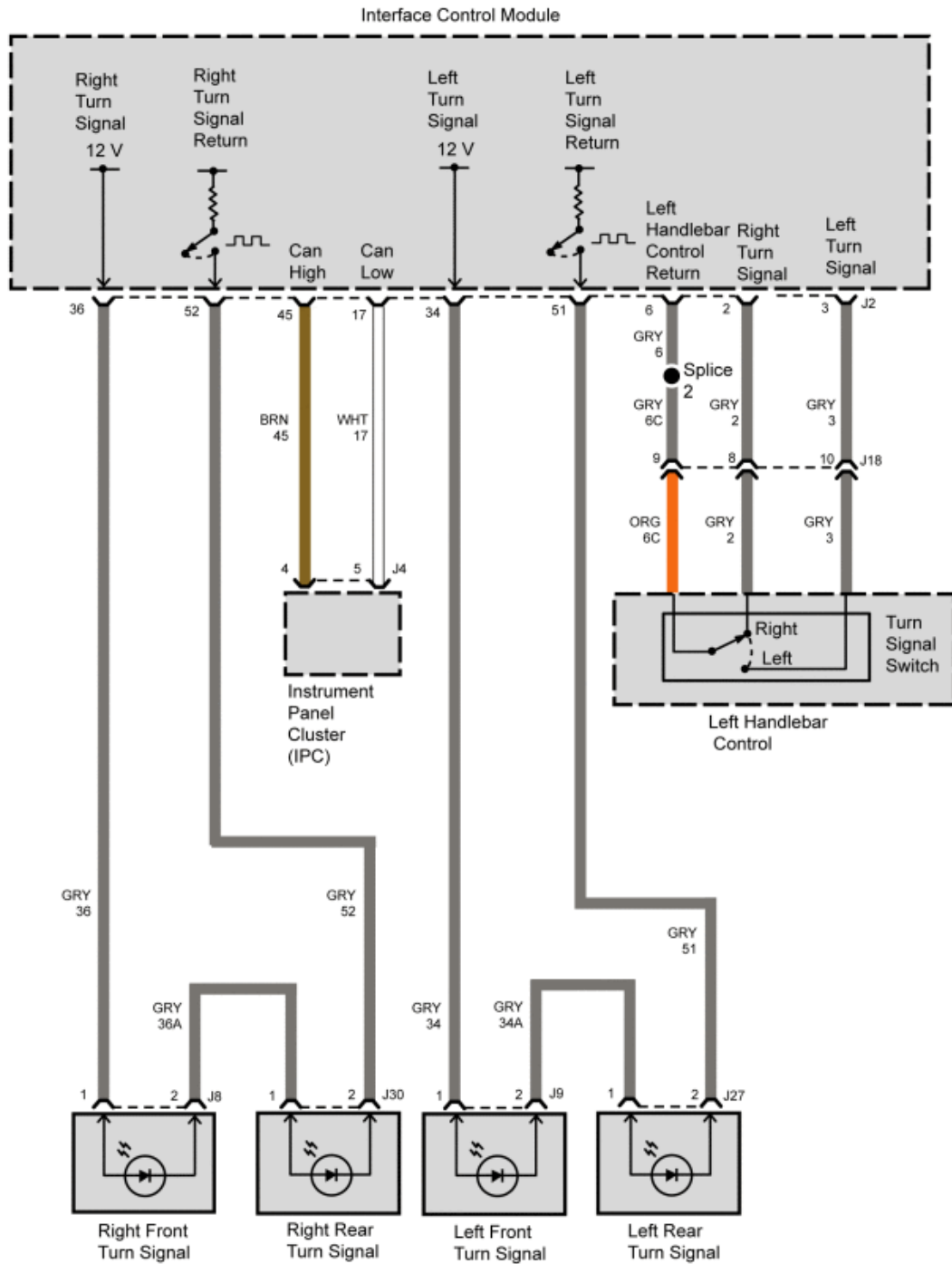
- Luz de posición delantera/luz de funcionamiento



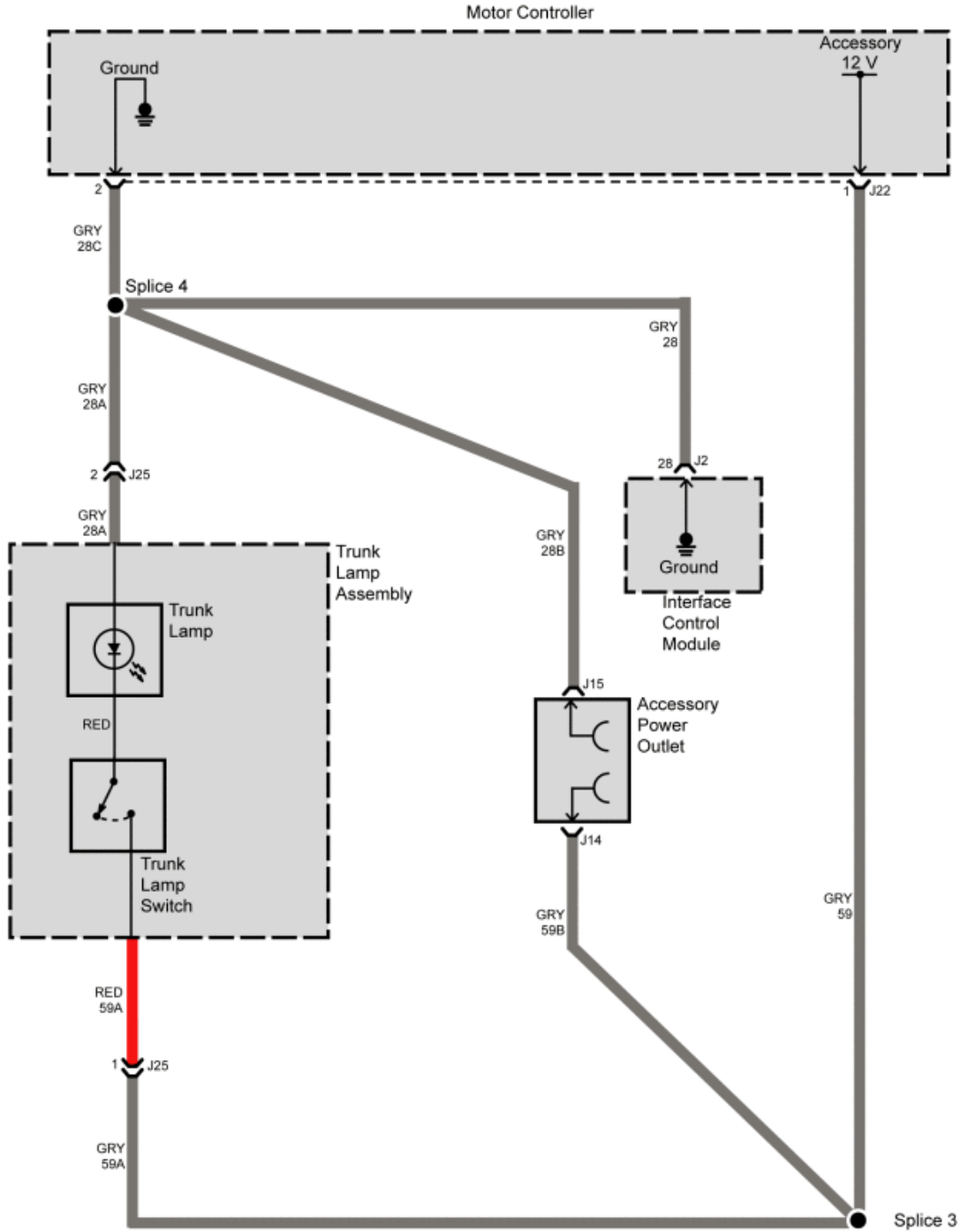
- **Faro**



- Intermitentes

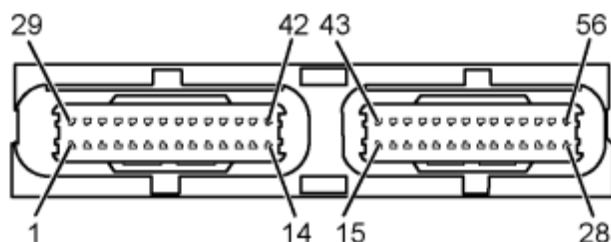


- Luz de maletero



2.1.2 LOCALIZADOR DE COMPONENTES.

- Módulo de control de interfaz J2



Información de pieza de conectores		56 vías F (BLK)	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	1	Claxon
2	GRY	2	Intermitente derecho
3	GRY	3	Intermitente izquierdo
4	GRY	4	Faro de luz de cruce/carretera
5	GRY	5	Luz de adelantamiento
6	GRY	6	XX
7	GRY	7	Freno izquierdo
8	GRY	8	Freno izquierdo (-)
9	GRY	9	Freno derecho
10	GRY	10	Freno derecho (-)
11	GRY	11	5 V
12	GRY	12	Masa
13	GRY	13	Señal de mariposa del acelerador
14	WHT	14	CAN bajo (Enlace de datos)
15	GRY	15	CAN bajo (Controlador del motor)

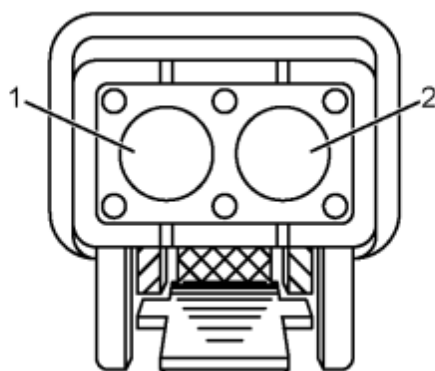
16	WHT	16	CAN bajo
17	WHT	17	CAN bajo (IPC)
18	-	-	No se usa
19	GRY	19	12 V
20	GRY	20	Masa
21	GRY	21	Freno
22	-	-	No se usa
23	GRY	23	12 V
24	GRY	24	Masa
25	GRY	25	Retorno de luz de freno trasera
26	GRY	26	Luz trasera
27	GRY	27	12 V
28	GRY	28	Masa
29	GRY	29	Claxon 12 V
30	GRY	30	Retorno de claxon
31	GRY	31	Luz de cruce 12 V
32	GRY	32	Retorno de faro
33	GRY	33	Luz de carretera 12 V
34	GRY	34	Intermitente izquierdo 12 V
35	BRN	35	12 V
36	GRY	36	Intermitente derecho 12 V
37	WHT	37	Masa 12 V
38	GRY	38	Interruptor de desconexión -
39	GRY	39	Interruptor de desconexión
40	WHT	40	Masa de CAN
41	BRN	41	CAN 5 V
42	BRN	42	CAN alto (Enlace de datos)
43	GRY	43	CAN alto (Controlador del motor)
44	BRN	44	CAN alto
45	BRN	45	CAN alto (IPC)

46	GRY	46	Control de conmutador de asiento
47	GRY	47	Retorno de conmutador de asiento
48	GRY	48	Control de conmutador lateral
49	GRY	49	Retorno de conmutador lateral
50	BRN	50	12 V 150
51	GRY	51	Retorno de intermitente izquierdo
52	GRY	52	Retorno de intermitente derecho
53	WHT	53	Retorno 12 V 150
54	GRY	54	ICM 12 V
55	GRY	55	Retorno de placa de matrícula
56	GRY	56	Placa de matrícula 12 V

- **J6 Headlamp**

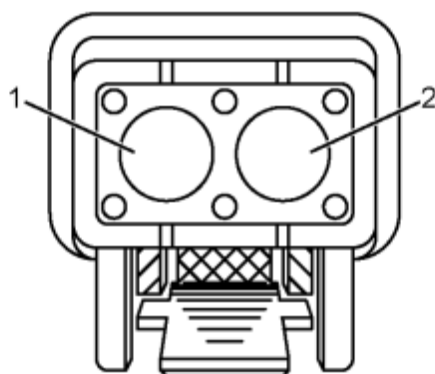
Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • 172236-2 • 3 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	31	Luz de cruce 12 V
2	GRY	32	Retorno de faro
3	GRY	33	Luz de carretera 12 V

- Luz de posición delantera J7



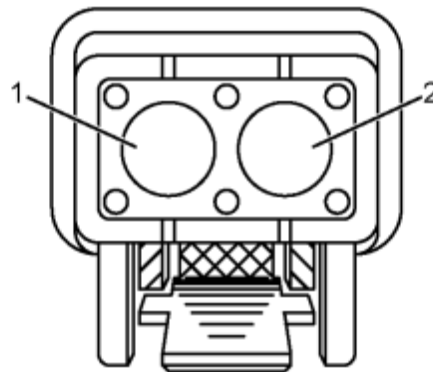
Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • DT06-25-E003 • 2 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	55 A	Luz de posición delantera V
2	GRY	55	Luz de posición delantera (-)V

- Intermitente delantero derecho J8



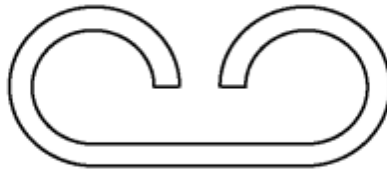
Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • DT06-25-0122 • 2 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	36	Intermitente derecho 12 V
2	GRY	36 A	Intermitente derecho (-)12 V

- **Intermitente delantero izquierdo J9**



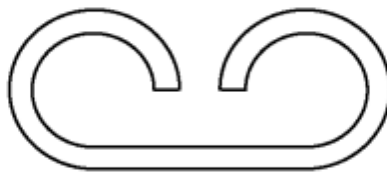
Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • DT06-25-E003 • 2 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	34	Intermitente izquierdo 12 V
2	GRY	34 A	Intermitente izquierdo 12 V

- **Conmutador de freno izquierdo J10**



Información de pieza de conectores		1 vía F	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
-	GRY	7	Freno izquierdo (+)

- **Conmutador de freno izquierdo J11**



Información de pieza de conectores		1 vía F	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
-	GRY	8	Freno izquierdo (-)

- **Conmutador de freno derecho J12**



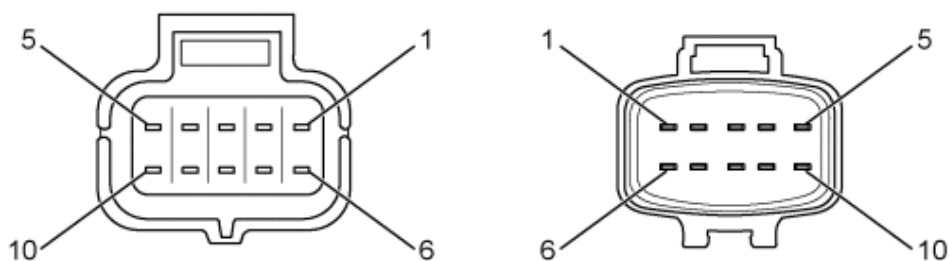
Información de pieza de conectores		1 vía F	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
-	GRY	9	Freno derecho (+)

- **Conmutador de freno derecho J13**



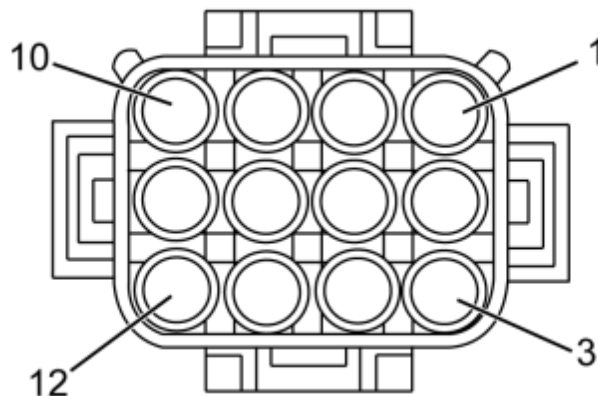
Información de pieza de conectores		1 vía F	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
-	GRY	10	Freno derecho (-)

- **Control de manillar izquierdo J18**



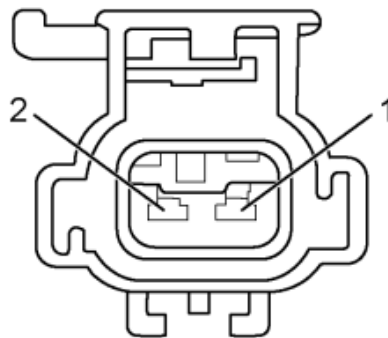
Información de pieza de conectores				Información de pieza de conectores			
<ul style="list-style-type: none"> • 174655-2 amperios • 10 vías F (BLK) 				<ul style="list-style-type: none"> • 174655-2 amperios • 10 vías M (BLK) 			
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función	Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	-	-	No se usa	1	-	-	No se usa
2	GRY	6D	Retorno de LCNTRL	2	BRN	6D	Retorno de LCNTRL
3	GRY	4	Faro de luz de	3	RED/YEL	4	Faro de luz de
			carretera/cruce				carretera/cruce
4	GRY	5	Luz de adelantamiento	4	RED/BLK	5	Luz de adelantamiento
5	GRY	6B	Retorno de LCNTRL	5	BLU/YEL	6B	Retorno de LCNTRL
6	GRY	6A	Retorno de LCNTRL	6	BLK/YEL	6A	Retorno de LCNTRL
7	GRY	1	Claxon	7	BLK/WHT	1	Claxon
8	GRY	2	Intermitente derecho	8	GRY	2	Intermitente derecho
9	GRY	6C	Retorno de LCNTRL	9	ORN	6C	Retorno de LCNTRL
10	GRY	3	Intermitente izquierdo	10	GRN	3	Intermitente izquierdo

- **Controlador del motor J22**



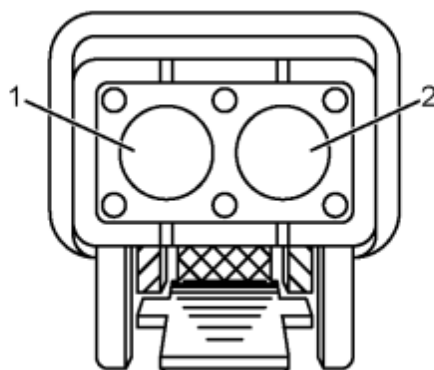
Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • 350735-1 amperios • 12 vías F 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	59	ACC 12 V
2	GRY	28C	Masa
3	GRY	19	12 V
4	GRY	58	Interruptor de encendido -V
5	GRY	20	Masa
6	GRY	23	12 V
7	GRY	54	ICM 12 V
8	GRY	24	Masa
9	GRY	27	12 V
10	GRY	43	CAN alto
11	GRY	15	CAN bajo
12	GRY	57	Interruptor de encendido V

- Conmutador de luz del maletero J25



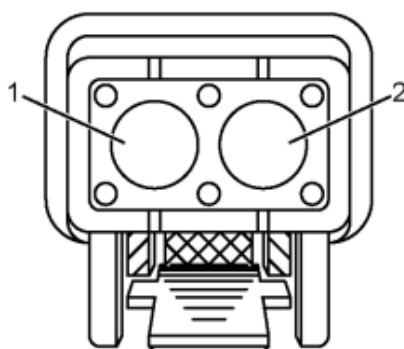
Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • 54200206 FCI • 2 vías F 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	29A	Conmutador de luz de maletero 12 V
2	GRY	28A	Masa

- **Intermitente trasero izquierdo J27**



Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • DT06-25-E003 Alemán • 2 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	34A	Intermitente 12 V
2	GRY	51	Retorno de intermitente trasero

- **Intermitente trasero derecho J30**

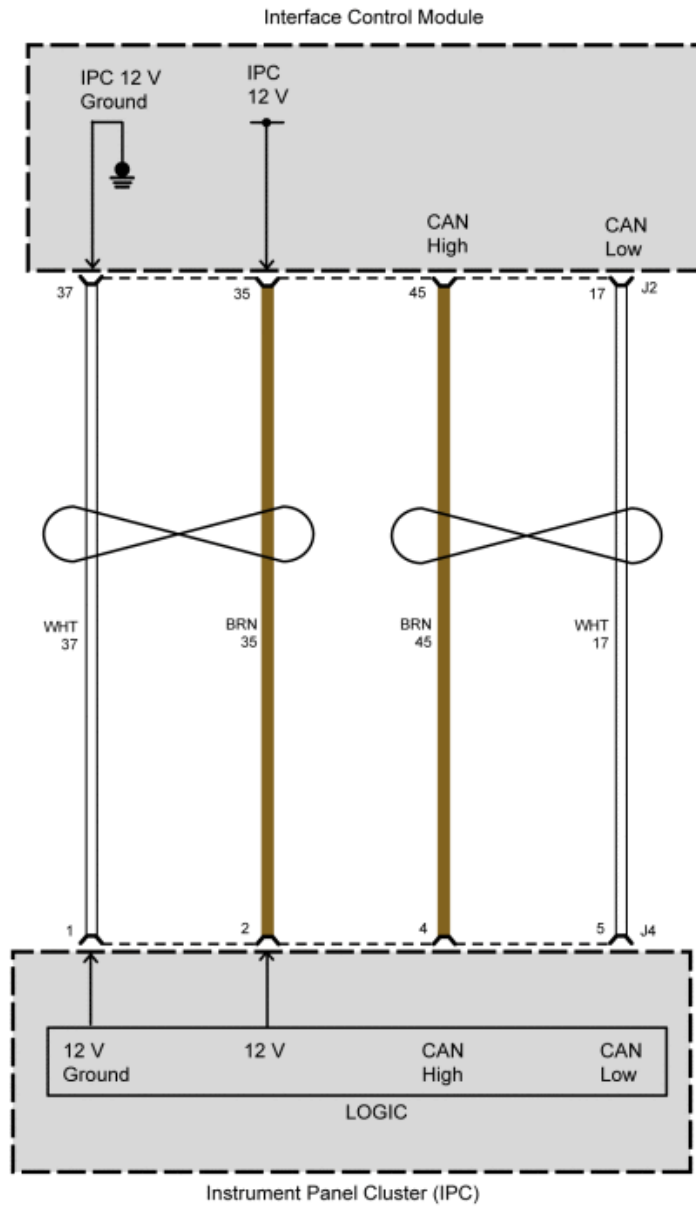


Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • DT06-25-E003 Alemán • 2 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	GRY	36A	Intermitente 12 V
2	GRY	52	Retorno de intermitente trasero

2.2 CUADRO

2.2.1 ESQUEMAS ELÉCTRICOS

- Grupo de instrumentos del tablero

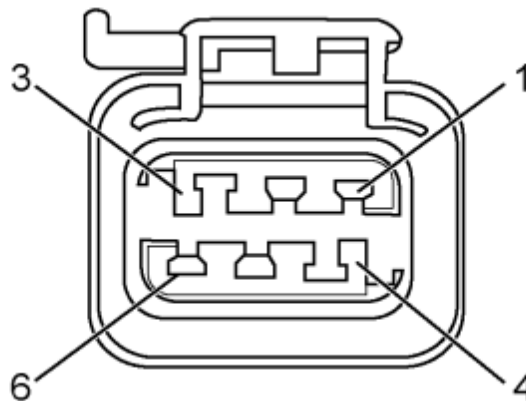


2.2.2 LOCALIZADOR DE COMPONENTES

- **Módulo de control de interfaz J2**

Explicado en el apartado 2.1.2

- **Grupo de instrumentos del tablero J4**

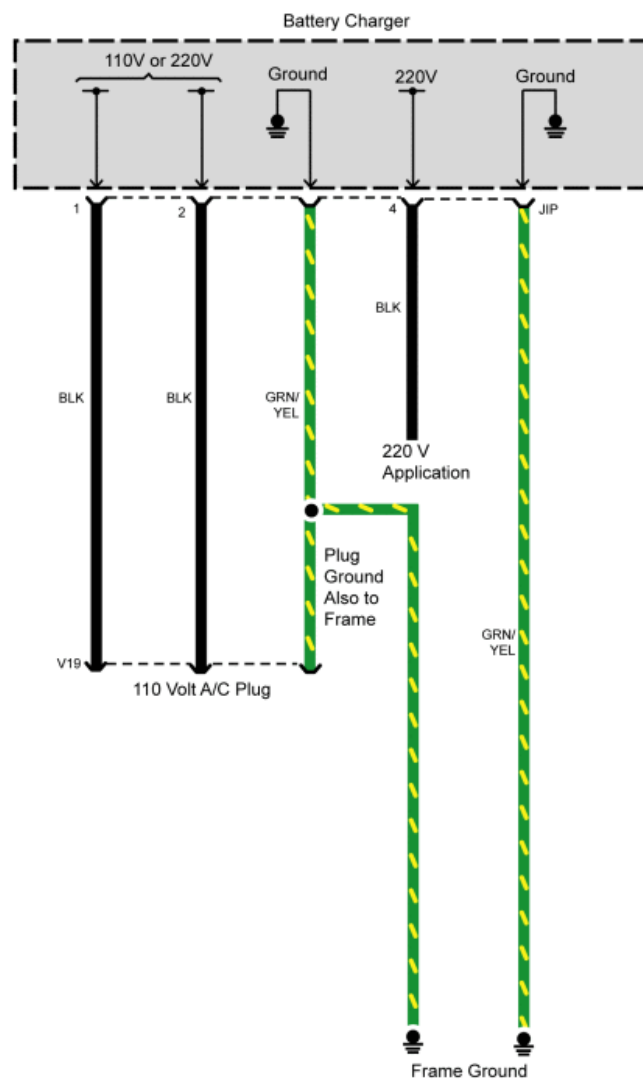


Información de pieza de conectores		<ul style="list-style-type: none"> • 54200608 FCI • 6 vías F (BLK) 	
Espiga	Color de cable	Número de circuito	Función
1	WHT	37	Masa 12 V
2	BRN	35	12 V
3	-	-	No se usa
4	BRN	45	CAN alto
5	WHT	17	CAN bajo
6	-	-	No se usa

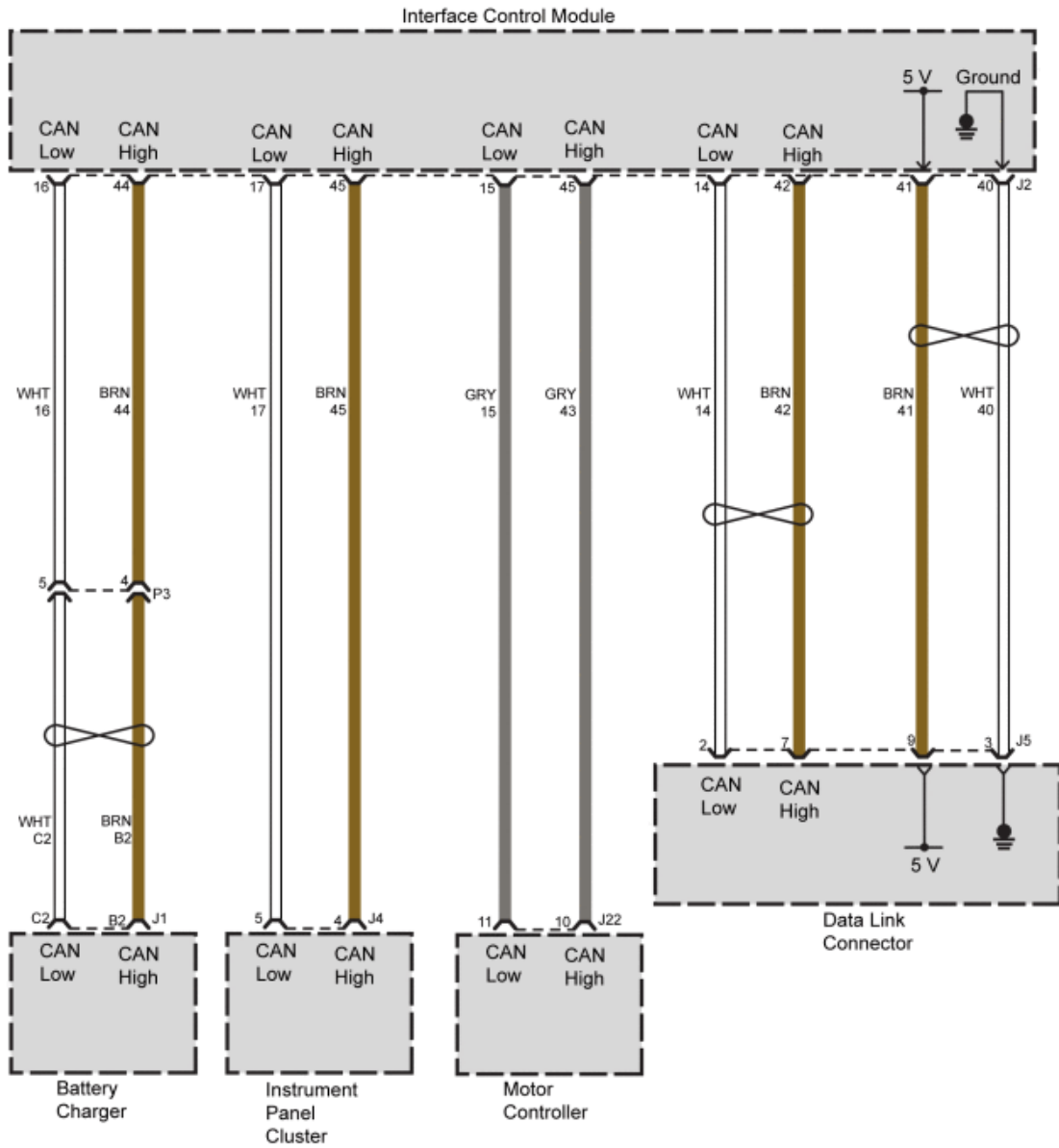
2.3 BATERÍAS

2.3.1 ESQUEMAS ELÉCTRICOS

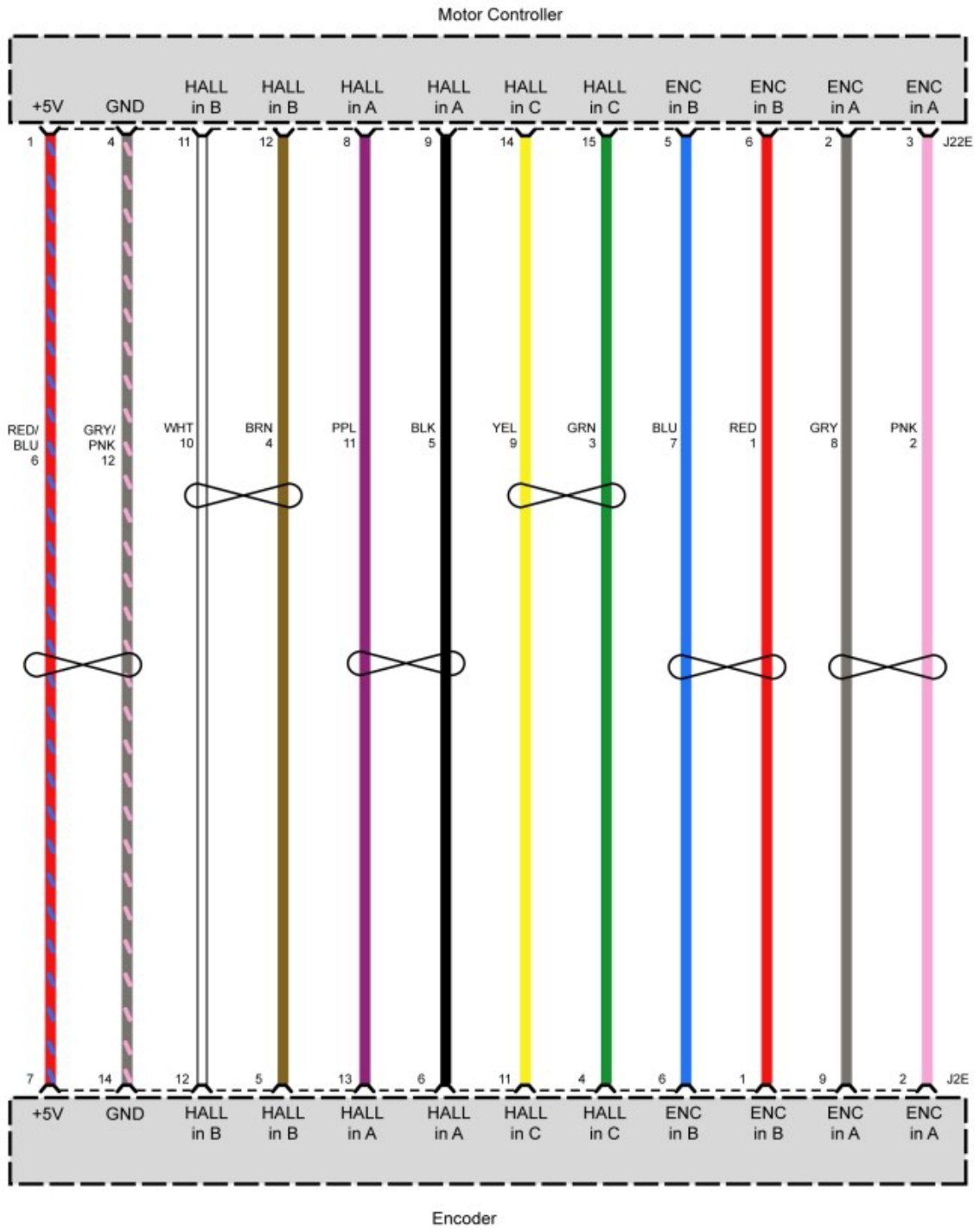
- Cable de alimentación A/C



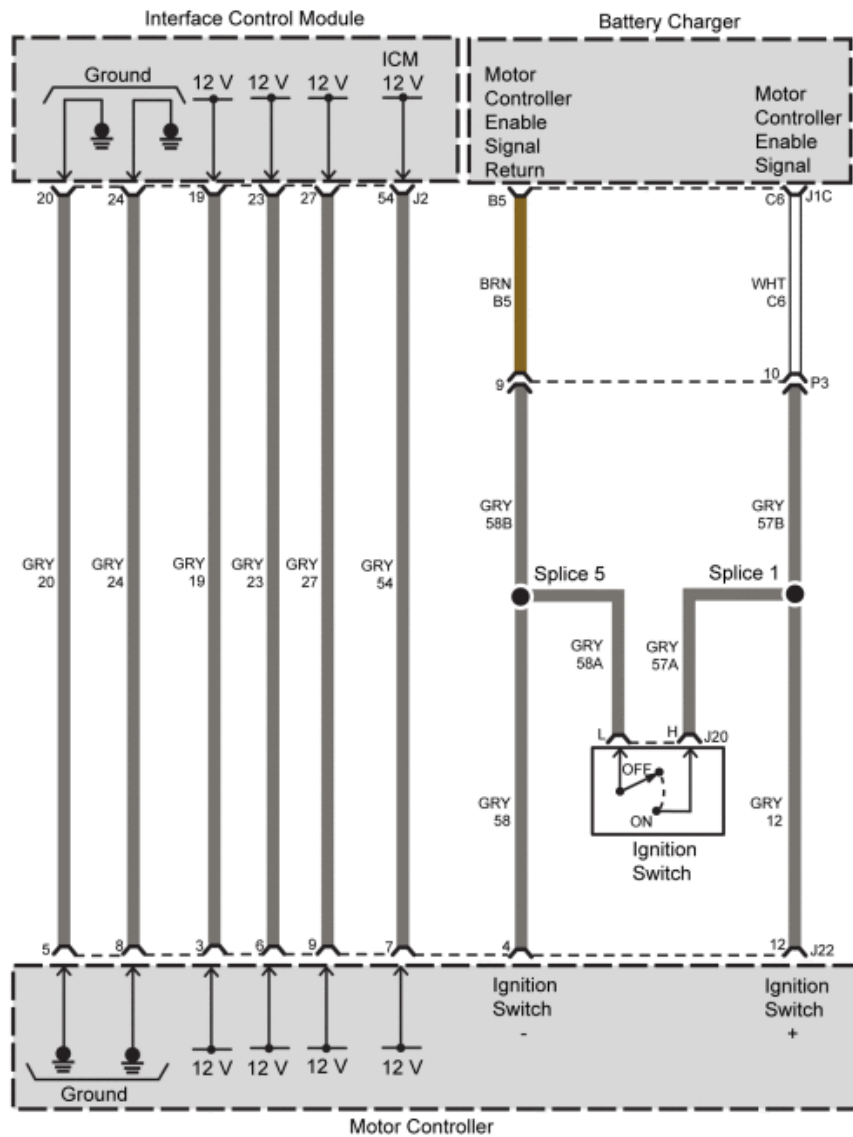
- Red de área del controlador (CAN)



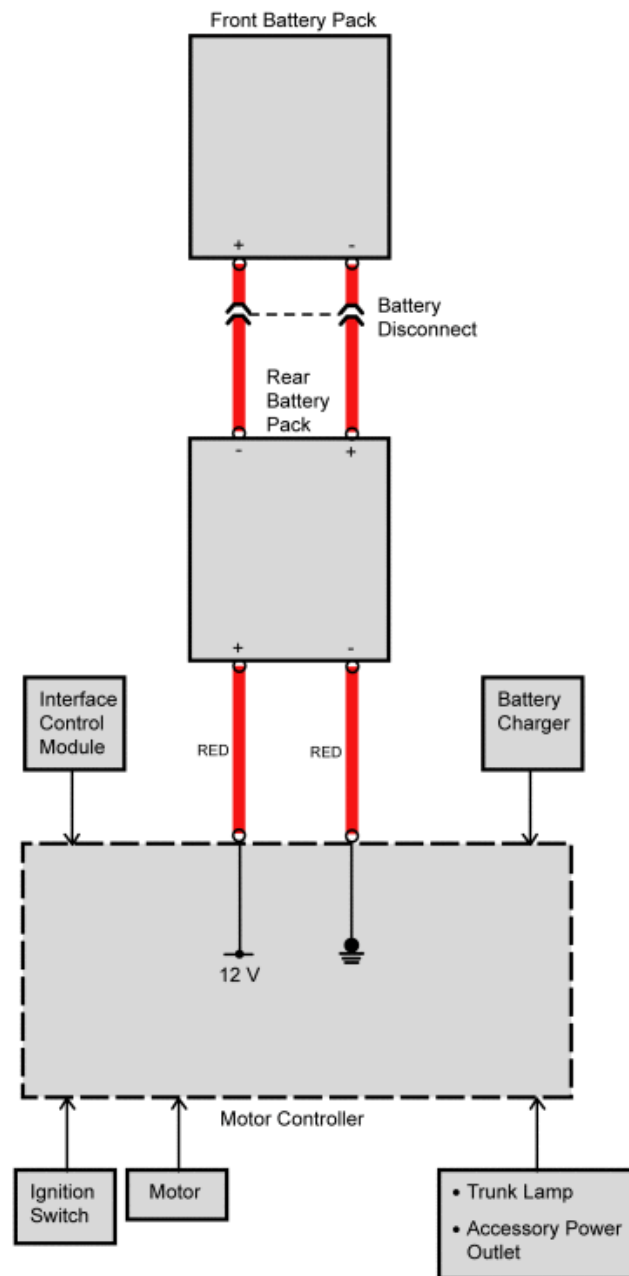
- **Codificador**



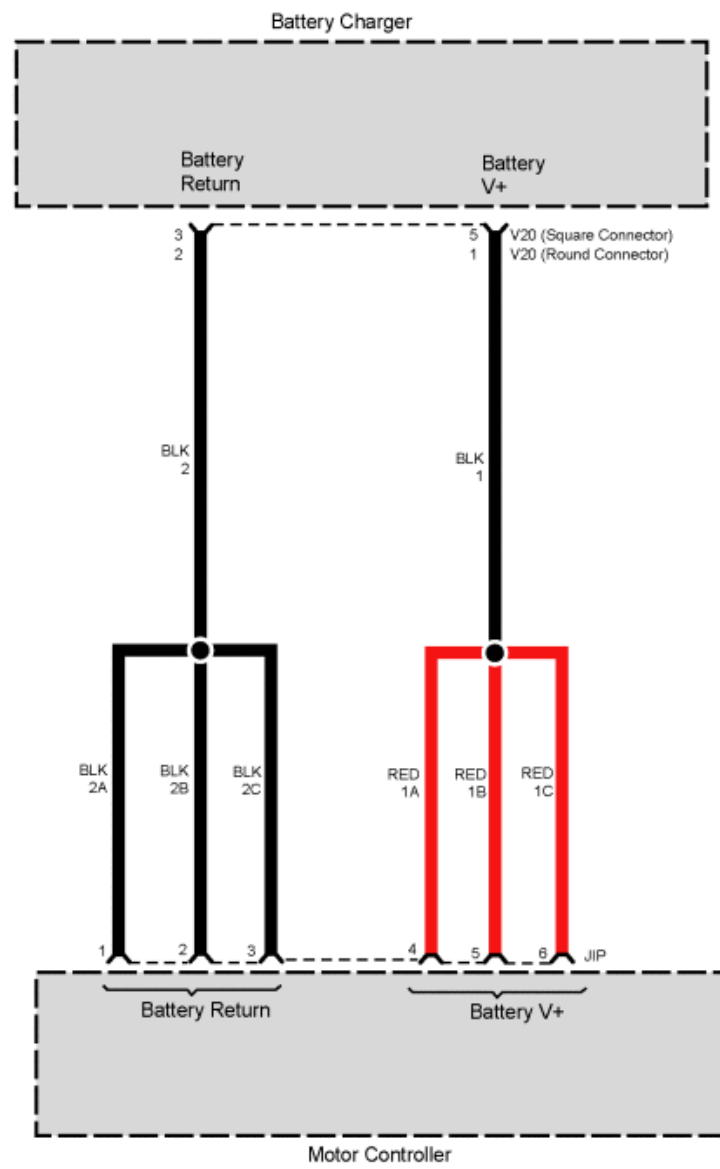
- **Circuito de masa y alimentación**



- **Distribución de tensión de la batería**



- Carga



- Ventilador de refrigeración

