



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD

AUTORA: Alba Parrilla Bel

DIRECTOR: Vicente Alcalá Heredia

ESPECIALIDAD: ITI Electrónica

Febrero 2013

RESUMEN

La dependencia del petróleo y el alto nivel contaminante de los vehículos de combustión ha obligado a buscar alternativas en el transporte, y el vehículo eléctrico es una de las que está cobrando gran importancia en los últimos tiempos. Por ello, el presente proyecto, llevado a cabo en la University of Southern Denmark (Odense, Dinamarca), tiene como finalidad la transformación real de un quad de gasolina en un vehículo eléctrico impulsado por baterías.

Para la realización del proyecto se dispone de un quad “T-Rex Hummer” de gasolina, de la marca Menila y un presupuesto muy ajustado, que obliga a la utilización de componentes alcanzables sin coste alguno siempre que sea posible. En cuanto a los resultados obtenidos, estos han sido el cambio del sistema de tracción a uno totalmente eléctrico y el control de velocidad del vehículo desde el ordenador o desde los manguitos del manillar.

En este documento se expone, tanto un estudio de las posibilidades que nos ofrece el mercado en cuanto a componentes, como el análisis de las opciones utilizables en base al presupuesto disponible. En él se trata de describir también todo el proceso de transformación del quad, el sistema eléctrico y la programación del software.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1	OBJETIVOS.....	6
2	VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	8
1	DEFINICIÓN.....	8
3	DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO INICIAL.....	15
1	DEFINICIÓN DE QUAD.....	15
2	CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL QUAD DE GASOLINA.....	16
2.1	Detalles técnicos:.....	16
4	SISTEMA ELÉCTRICO.....	19
1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN (BATERÍAS).....	19
1.1	Tipos de baterías más comunes.....	21
1.1.1	Plomo-ácido.....	21
1.1.2	Níquel-Cadmio (Ni-Cd).....	21
1.1.3	Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH).....	22
1.1.4	Ión-Litio (Li-ion).....	22
1.1.5	Litio-Polímero (Li-Po).....	24
1.1.6	Zinc-aire	24
1.1.7	Zebra	25
1.2	Tabla comparativa de baterías.....	25
1.3	Elección de la batería.....	26
2	MOTOR ELÉCTRICO.....	28
2.1	Tipos de motores.....	30
2.1.1	Motor CC.....	30
2.1.2	Motor de imanes permanentes.....	31
2.1.3	Motor de CC sin escobillas (Brushless DC motor).....	31
2.1.4	Motor de inducción.....	32
2.1.5	Motor de reluctancia conmutada.....	33
2.1.6	Motor de flujo axial.....	33
2.2	Comparativa de motores disponibles.....	34
2.2.1	Motor de ciclo de Otto (TZH152FMH90456760).....	36
2.2.2	Siemens 1FK 6080 – 6AF71 – 1TA0.....	37
2.2.3	SAUER DANFOSS TSA120-80.....	39
2.3	Elección final.....	40
3	CONVERTIDOR.....	42
3.1	Elección.....	45
4	CAN BUS.....	46
4.1	El “Controller Area Network”	46
4.2	La red CAN (CAN Network).....	46
4.3	Propiedades eléctricas del bus CAN.....	47
4.4	El problema de sincronización.....	49
4.5	Sincronización del CAN.....	50
4.6	Comunicación a través del bus CAN.....	51
5	PLACA DE CONTROL.....	53

5.1	Hardware asociado a la placa de control.....	53
5.2	Microcontrolador.....	57
5.2.1	El microcontrolador LM3S9B92.....	57
5.2.2	CAN-Bus en el microcontrolador LM3S9B92.....	57
5.2.3	Convertidor Analógico-Digital en el microcontrolador LM3S9B92.....	58
6	CONEXIÓN DEL INVERSOR CC/CA AL PC.....	60
6.1	Cable de conexión entre el inversor y el ordenador.....	61
6.2	Conexiones en el quad.....	62
6.3	Software (programación).....	64
5	SOFTWARE.....	65
1	PLUS+1 GUIDE.....	65
1.1	Objetivos.....	66
1.2	Ejecución.....	67
1.2.1	Página principal.....	67
1.3	Inversor.....	69
1.4	CAN RECEIVE → CAN_Rx1.....	72
1.5	CAN TRANSMIT → CAN_Tx1.....	74
1.6	Página 2 → Command Interpreter (intérprete de comandos).....	75
2	PLUS+1 GUIDE SERVICE TOOL.....	78
2.1	Ejecución.....	78
6	TRABAJO DE CAMPO.....	81
7	CÁLCULOS.....	94
8	LISTADO DE MATERIALES.....	97
9	PRESUPUESTO.....	99
10	CONCLUSIONES.....	103
1	CONCLUSIONES.....	103
2	VALORACIÓN PERSONAL.....	105
11	BIBLIOGRAFÍA.....	106

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto trata de plasmar por escrito los estudios y tareas desarrollados en la asignatura de *robotic project*, dentro del programa de robótica de la *University of Southern Denmark* (Odense, Dinamarca), en el que se convirtió un quad de gasolina en un vehículo eléctrico.

El proyecto realizado en Dinamarca fue un proyecto en equipo de carácter principalmente práctico al que se le añadió un informe escrito sobre su ejecución. El grupo estuvo formado por varios estudiantes internacionales, cuyo número fue variando entre 4 y 6 miembros a lo largo del curso. Algunos de los estudiantes formaron parte del equipo sólo de forma ocasional o temporal, mientras que dos de nosotros formamos parte del proyecto durante el curso entero, desde su inicio hasta el final.

El grupo de trabajo principal estuvo formado por: Nicola Forti (Italia, Ingeniería mecánica), Hang Jiang Soo (Singapur, Ingeniería robótica), Alba Parrilla (España, Ingeniería electrónica), Agostino Stilli (Italia, Ingeniería mecánica).

1 OBJETIVOS

El proyecto tiene por objeto convertir un quad de gasolina en un vehículo eléctrico con todo lo que eso conlleva, desde el diseño del nuevo sistema motor, hasta el diseño de las piezas mecánicas para adaptar los nuevos componentes a la carrocería ya existente, pasando por la búsqueda de los mejores elementos y componentes para cumplir el objetivo principal, que es que el quad funcione con energía eléctrica.

El proyecto no se limita a hacer un estudio teórico, sino también a conseguir que un quad real cumpla los objetivos fijados.

Los objetivos que el tutor, Morten Hansen, marcó para el proyecto fueron, en un principio, el convertir el quad en un vehículo eléctrico y hacer un control de velocidad. Sin embargo, debido a distintos problemas ajenos a nuestro trabajo, finalmente redujo los objetivos a uno solo: *El quad debía funcionar, aunque tan solo fuera unos segundos, con un motor eléctrico impulsado por baterías.*

A pesar de ello, en el grupo decidimos que si reducíamos nuestros objetivos también reduciríamos nuestros resultados, por lo que se decidió hacer una lista de objetivos mucho más ambiciosa que la que el tutor proponía. No se podrían lograr todos los objetivos, pero queríamos dar todo lo posible por seguir avanzando en el proyecto hasta el último día sin relajar nuestro ritmo de trabajo.

En los objetivos que se propuso el equipo, los puntos a seguir eran los siguientes:

- Lograr que el quad funcione.
- Realizar un control de velocidad del vehículo de dos formas diferentes: se quería poder controlar el quad desde el ordenador (conectado por cable) y desde el mismo quad.
- En caso de conseguir los dos objetivos anteriores se empezaría a estudiar la posibilidad de contar con un sistema de frenada regenerativa.

Es importante recalcar que, debido al limitado presupuesto del que se disponía para el proyecto, no entraba dentro de los objetivos que su rendimiento fuera alto, ya que se nos exigía reducir los costes al máximo, siendo siempre la mejor opción utilizar componentes disponibles previamente en el laboratorio de robótica de la universidad, en lugar de comprarlos.

Debido a la necesidad de utilizar los elementos disponibles en el laboratorio, no todos los componentes eran apropiados para la función que debían cumplir. No obstante, en este proyecto no sólo se muestran las opciones elegidas finalmente en el proyecto, sino también otras opciones que habrían sido más adecuadas en caso de disponer de presupuesto suficiente.

2 VEHÍCULO ELÉCTRICO

1 DEFINICIÓN

Se podría definir un vehículo eléctrico (VE) como todo aquel propulsado por energía eléctrica procedente de baterías que se recargan en la red eléctrica. Hasta aquí la definición está clara, pero existen varios tipos de vehículos eléctricos y de vehículos que funcionan tanto con motor de combustión como con motor eléctrico. En este primer apartado de vehículo eléctrico se van a distinguir los principales tipos de coches, tanto los eléctricos, como los “no eléctricos”, sin llegar a entrar en descripciones de otros tipo de VEs como podrían ser tranvías, metro, etc.

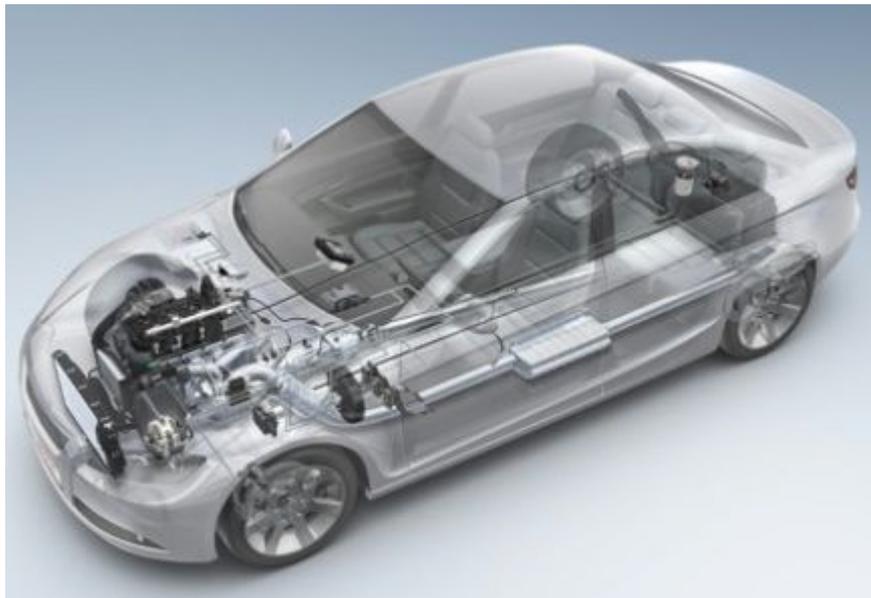
Actualmente se suele hablar de 4 tipos de coches en cuanto al tipo de energía que los impulsa. En este apartado se van a clasificar por orden de importancia que tiene la energía eléctrica en ellos, desde el de combustión hasta el vehículo eléctrico puro.

Estos coches son los vehículos de combustión, los híbridos, los híbridos enchufables, los eléctricos de autonomía extendida y los eléctricos puros.

La categoría de vehículos eléctricos engloba a los eléctricos puros, a los eléctricos de autonomía extendida y a los híbridos enchufables (aunque a estos últimos no siempre se les incluye en este grupo).

Vehículo de combustión

Es el tipo de vehículo que se ha utilizado desde hace prácticamente un siglo. Estos coches se caracterizan porque cuentan con un motor de combustión interna, que funciona gracias a gasolina o gasoil, ambos derivados del petróleo. Son vehículos altamente contaminantes y debido a ello, junto con la importante dependencia del petróleo que crean, se están estudiando, desde hace ya algún tiempo, alternativas más ecológicas para propulsar nuestros vehículos.



(Fuente: http://www.bosch-tecnologiadelautomovil.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/direct_gasoline_injection_9/direct_gasoline_injection_1.htm)

Vehículo híbrido

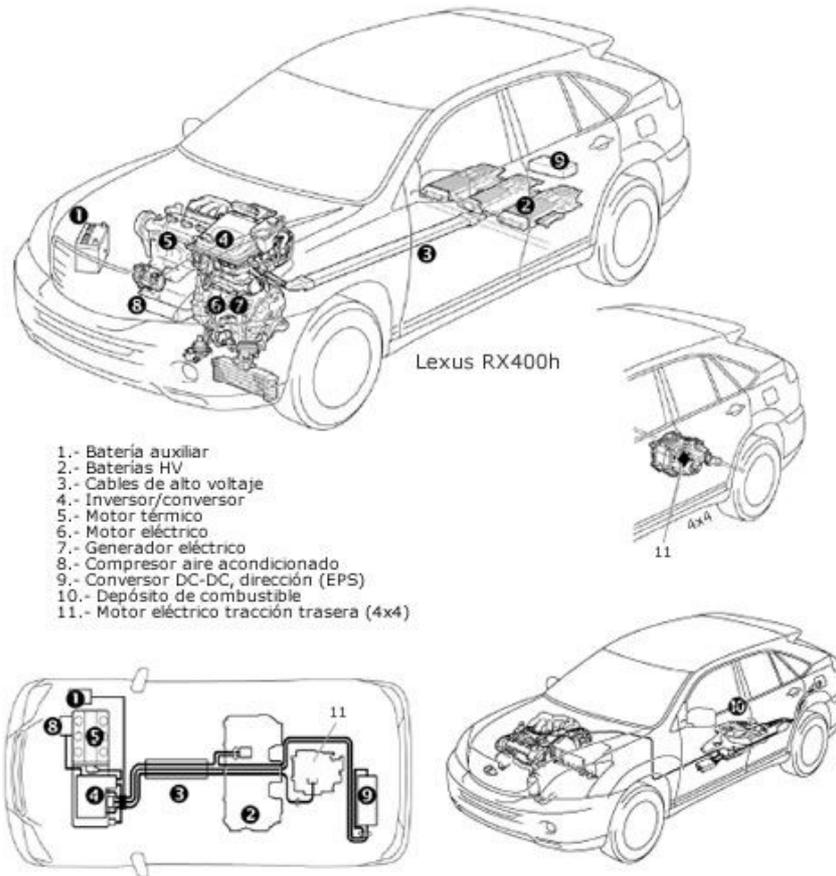
Combina uno, o varios, motores eléctricos con uno de combustión. Existen tres tipos de vehículos híbridos, que son los híbridos serie, híbridos paralelo o híbridos combinados.

En un **vehículo híbrido serie**, el motor de combustión tiene, como única finalidad, cargar las baterías que alimentan al motor eléctrico, es decir, el movimiento de las ruedas del coche siempre lo produce el motor eléctrico.

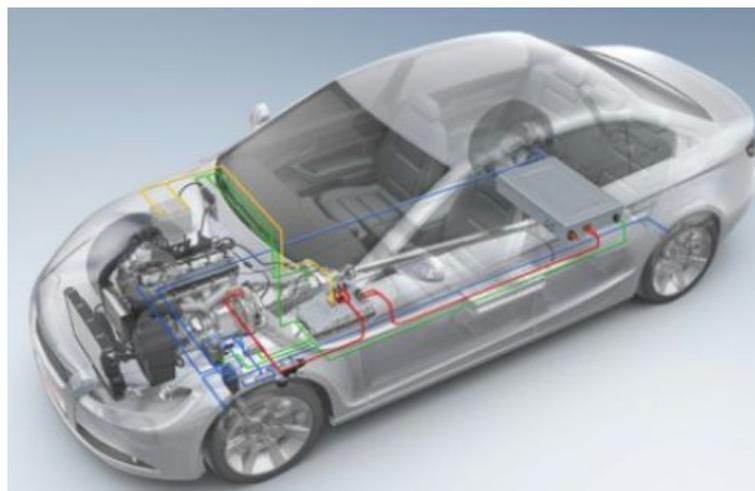
En el **vehículo híbrido paralelo**, en cambio, el funcionamiento del motor eléctrico sirve como apoyo al de combustión. Su finalidad principal es reducir el consumo del motor de combustión, pero no está preparado para trabajar con el motor eléctrico como único motor de tracción del coche.

Los **híbridos combinados** cuentan con la tecnología más complicada de todas. Este tipo de coches trabajan con el motor eléctrico o con el de combustión según las necesidades del coche en cada momento y situación. El uso de su motor eléctrico se limita a situaciones urbanas, a bajas velocidades y en recorridos reducidos. En cuanto estas condiciones cambian, el motor de combustión pasa a ser el que proporciona el movimiento a las ruedas, relegando al motor eléctrico a un segundo plano. Mientras el vehículo funciona con su motor de combustión, éste se encarga de recargar la batería, al igual que ocurre con las baterías de los vehículos de combustión normales. A pesar de que el cambio parece mínimo, este tipo de coches tienen unos niveles de consumo muy bajos, ya que, según estudios, la mayor parte de los usuarios utilizan sus coches para trayectos cortos en zonas urbanas.

Los coches híbridos tienen también una característica muy importante, su capacidad de generar electricidad a partir de las frenadas, bajadas o llanos, para aprovechar al máximo la energía producida y utilizarla para la recarga de las baterías.



Ejemplo del híbrido combinado Lexus RX400h
 (Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos-lexus.htm>)

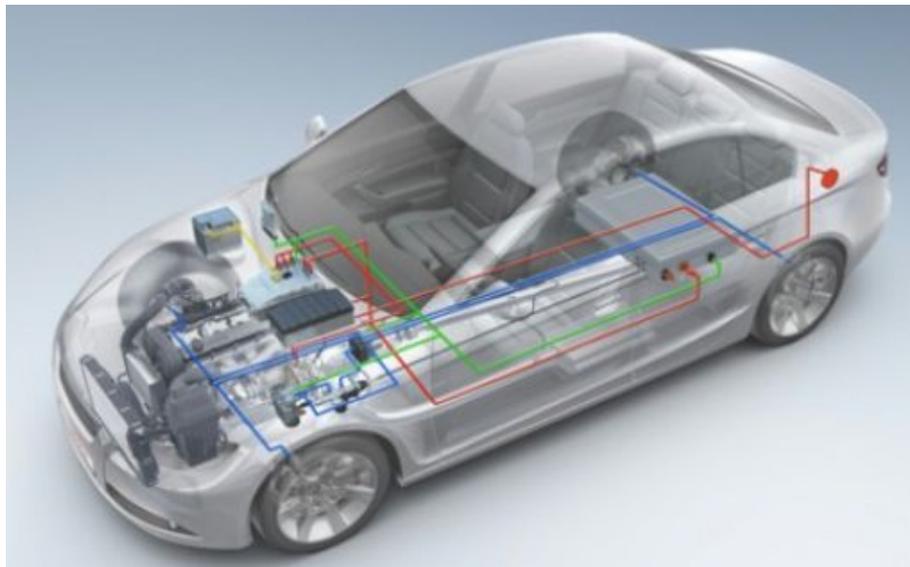


(Fuente: http://www.bosch-tecnologiadelautomovil.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/systems_for_hybrid_vehicles_8/systems_for_hybrid_vehicles_1.html)

Vehículo híbrido enchufable (o *plug-in*)

Se trata de un nuevo tipo de vehículos híbridos que dan una mayor importancia al motor eléctrico de lo que lo hacían hasta ahora. Estos vehículos cuentan con una batería de mayor capacidad que los híbridos comunes. Mientras los coches híbridos comunes sólo pueden cargar la batería a partir del motor de combustión, los híbridos enchufables, al contar con baterías más grandes, disponen también de una toma de corriente para recargar de la red.

Están preparados para funcionar como eléctricos en trayectos más largos y a mayores velocidades, que pueden llegar hasta 80-85 km/h y recorrer de 20 a 50 km antes de que el motor eléctrico le pase el relevo al de combustión.



(Fuente: http://www.bosch-tecnologiadelautomovil.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/systems_for_plug_in_hybrid_vehicles_8/systems_for_plug_in_hybrid_vehicles_1.html)

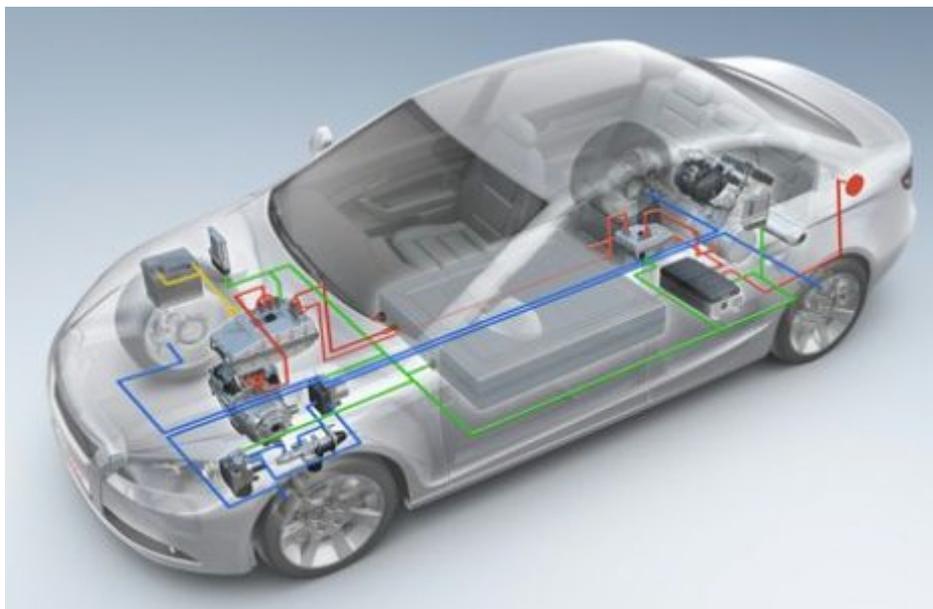


Imagen del híbrido enchufable de Toyota, el Toyota Prius Plug-in

Vehículo eléctrico de autonomía extendida

Los VEs de autonomía extendida tienen las mismas características que un coche eléctrico puro, pero llevan además un motor de combustión interna, cuya función no es otra que recargar las baterías para aumentar la autonomía del vehículo y su funcionamiento es similar al de los híbridos serie.

Mientras los coches eléctricos puros cuentan actualmente con unas autonomías de 80-150 km, un eléctrico de autonomía extendida puede llegar a tener una autonomía de 500 km, como es el caso, por ejemplo, del nuevo Opel Ampera.

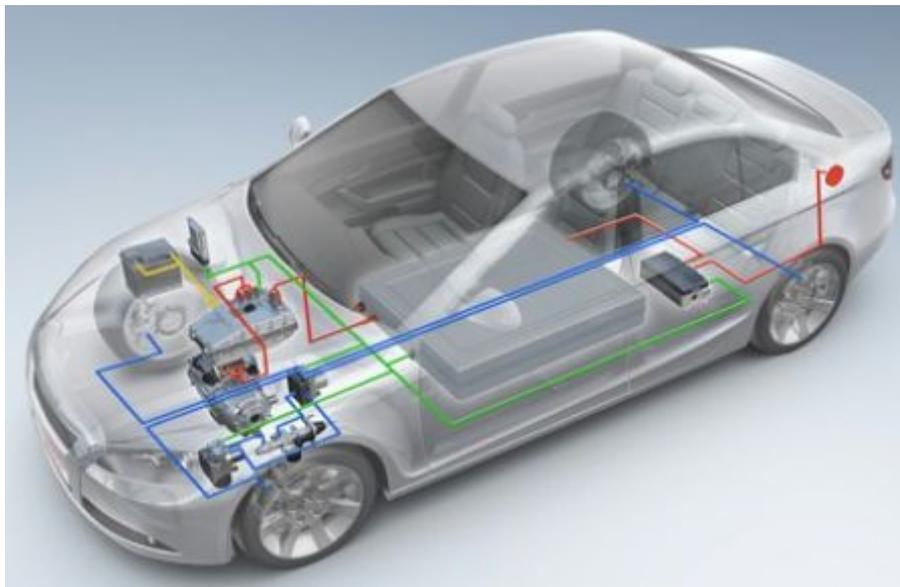


(Fuente: http://www.bosch-tecnologíaodelautomóvil.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/systems_for_electric_vehicles_with_range_extender_8/)

Vehículo eléctrico puro

Aquí tenemos el tipo de vehículo que más interesa en este proyecto. Los vehículos eléctricos puros están propulsados únicamente por motores eléctricos y su energía proviene de baterías que se cargan a través de la red.

La transformación del quad que se realiza en este proyecto es el paso de un vehículo de combustión a uno eléctrico puro.



(Fuente: http://www.bosch-tecnologiadelautomovil.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/systems_for_electric_vehicles_8.htm)

3 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO INICIAL

1 DEFINICIÓN DE QUAD

Según la DGT, se puede definir un Quad/ATV (*All Terrain Vehicle*) como: “*Vehículo de cuatro o más ruedas fabricado para usos específicos muy concretos, con utilización fundamentalmente fuera de carretera, con sistema de dirección mediante manillar en el que el conductor va sentado a horcajadas y dotado de un sistema de tracción adecuado al uso fuera de carretera y cuya velocidad puede estar limitada en función de sus características técnicas o uso. Se exceptúan de esta definición los vehículos incluidos en las categorías definidas en las Directivas europeas 92/61/CEE del Consejo, de 30 de junio de 1992, relativa a la recepción de los vehículos a motor de dos o tres ruedas, y 2002/24/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de marzo de 2002, relativa a la homologación de los vehículos a motor de dos o tres ruedas*”.



2 CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL QUAD DE GASOLINA

Fabricante: MENILA.

Marca del motor: NITRO motors.

Modelo: 110cc T-REX HUMMER MIDI QUAD Automatic + 3x Brake.

Equipado con:

- “Notausleine” para mayor seguridad.
- 2 frenos de tambor delanteros y un freno de disco trasero.
- Faros delanteros y luz trasera.
- Tamaño neumáticos: 7”, 16x8-7.
- 3x suspensiones sólidas ajustables.
- Extra ancho (90 cm) para mayor seguridad en las curvas.
- Rejillas en la parte delantera y trasera.
- Tubo de escape doble.

2.1 Detalles técnicos:

Cilindrada	110 cc
Relación de compresión	10,5:1
Encendido	CDI
Potencia máxima	6,7 KW/ 7 PS / 6000 r.p.m.
Par máximo	5,0 N.m./ 8500 r.p.m.
Tiempos	4
Cilindro	1
Alcance máximo	7,5 CV
Revoluciones del motor	8000 r.p.m.
Transmisión	Cadena

3 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO INICIAL

Transmisión	Automatica
Refrigeración	Air-cooled
Inicio del sistema de arranque	e-starter
Batería	12 V 4Ah
Velocidad máxima	65 km/h
Combustible	Gasolina
Volumen del depósito	2,5 L
Consumo	-
Aceite del motor	15 W/40 - SE
Capacidad de aceite del motor	0,8 L

Suspension	
Delantera	2 muelles
Trasera	1 muelle

Frenos	
Freno	2 frenos de tambor
Trasero	1 freno hidráulico de disco

Peso	
Peso en seco/ Cargado	85 kg / 150 kg
Carga máxima	-

Neumáticos	
Delanteros	16x8-7
Traseros	16x8-7

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD

Dimensiones	
Longitud	135 cm
Anchura	85 cm
Altura	94 cm
Volante	74 cm
Altura del asiento desde el nivel del suelo	67 cm
Distancia del suelo	7 cm
Distancia de los ejes	82 cm
Indicador	85 cm

4 SISTEMA ELÉCTRICO

1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN (BATERÍAS)

Las baterías en un coche eléctrico son uno de los elementos fundamentales en su construcción. De ellas dependen en gran parte la autonomía, el coste y el peso total del vehículo.

Hay varias características muy importantes a tener en cuenta a la hora de elegir una batería. Éstas son:

Energía/peso (Wh/kg): nos encontramos ante el valor de la densidad de energía de la batería, es decir, la cantidad de energía que es capaz de almacenar en proporción a su peso. Se mide en Wh almacenables por cada kilogramo de peso de la batería.

Energía/volumen (Wh/l): es otra forma de medir la densidad de energía, cantidad de energía almacenable en proporción a su volumen. En este caso, la medida nos indica la cantidad de energía almacenable por cada litro o decímetro cúbico de volumen que ocupa la batería. De los valores de Wh/kg y Wh/l, junto con el consumo del motor, dependerá la autonomía del quad (o de cualquier otro vehículo eléctrico).

Potencia/peso: Con este dato se indica la potencia que una batería puede proporcionar por cada kilogramo de peso de esta. Este valor es importante, ya que una densidad de potencia alta ayudará a que el motor pueda realizar esfuerzos mayores, como el que supone, por ejemplo, subir una cuesta o un pequeño bordillo.

Ciclos: el valor de ciclos de una batería nos indica su vida útil, es decir, el número de ciclos de carga que debería soportar la batería manteniendo, al menos, un 80% de su capacidad de carga. Dato importante, ya que las baterías son elementos que suponen gran parte de los costes del vehículo eléctrico.

Existen varios tipos de baterías y en la actualidad se está avanzando en este campo, aunque, de momento, todavía sigue siendo uno de los problemas principales de los coches eléctricos.

1.1 Tipos de baterías más comunes

1.1.1 Plomo-ácido

Se trata de una de las tecnologías más antiguas en cuanto a baterías se refiere, pero todavía se utilizan en diferentes campos. Uno de los usos comunes de este tipo de baterías es en los vehículos de combustión. En la actualidad hay modelos más adecuados para utilizar en vehículos eléctricos, por ello no se recomienda el uso de este tipo de baterías para VEs.

Como ventajas se podrían destacar el bajo coste de esta tecnología y el poco efecto memoria, pero en cambio, cuenta con desventajas importantes como su baja densidad de energía (elevado peso), baja durabilidad, nivel de autodescarga considerable y una eficiencia mejorable.

1.1.2 Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Hoy en día la tecnología níquel-cadmio está fuera de uso en el mercado de consumo debido al alto valor contaminante del cadmio. En su momento se utilizaron en vehículos eléctricos pero actualmente este tipo de baterías tampoco es adecuado para estos vehículos.

Las baterías destacan por su larga vida. También cuentan con una densidad de energía, potencia y eficiencia mejores que las de las baterías de plomo-ácido. Como aspectos negativos aparecen su alto valor contaminante, un coste superior al de las anteriormente citadas, autodescarga y efecto memoria.

1.1.3 Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH)

Podría decirse que se trata de la evolución de las baterías níquel-cadmio, que por el contenido contaminante del cadmio se vieron obligadas a mejorar en ese aspecto.

Cuentan con mayor densidad de energía que las de Ni-Cd. Se han utilizado en vehículos híbridos y electrónica de consumo, sobretodo para carga continua, debido a su alto nivel de autodescarga. En cuanto a su coste, es superior al de sus antecesoras más directas, pero en cambio, mejoran en una (ya comentada) mayor densidad de energía, menor efecto memoria y un bajo mantenimiento.

1.1.4 Ión-Litio (Li-ion)

Las baterías de ión-litio son las baterías más utilizadas actualmente en VE. Existen varios tipos de baterías que se engloban dentro de este grupo de ión-litio y de los que se hablará ligeramente en este apartado.

En general, estas baterías son más ligeras (alta densidad de energía), almacenan más carga y se descargan menos que todas las anteriores. Trabajan peor bajo temperaturas extremas, tanto altas como bajas, por lo que es conveniente utilizar sistemas de refrigeración. Las situaciones de descarga total o de sobrecarga pueden llegar a estropear la batería y, para evitarlo, suelen llevar sistemas electrónicos que impidan llegar a ambas situaciones. Estos sistemas consumen energía de la propia batería, pero, a pesar de ello, siguen teniendo una elevada eficiencia, superior a la de otras baterías ya explicadas, entre otras cosas, porque el nivel de autodescarga en esta tecnología es muy bajo. Su precio es elevado y su vida es ligeramente inferior al de las de Ni-Cd, siendo su vida de unos 1000 ciclos conservando el 80% de carga, lo que, en caso de tener que cambiarlas, conllevaría un aumento de costes.

Las variantes de esta tecnología son:

Baterías de Litio-Cobalto (LiCoO₂)

Las más utilizadas en teléfonos móviles u ordenadores portátiles, pero con pocas opciones dentro del campo de la automoción, ya que su vida no es muy larga y tienen peligro de producir reacciones exotérmicas en caso de accidente o rotura, lo que podría llegar a provocar incendios.

Baterías de Litio-Hierro-Fosfato (LiFePO₄)

Más seguras que las anteriores y bastante duraderas, llegando hasta los 2.000 ciclos de recarga, pero con una densidad energética bastante baja. Son las más baratas, junto con las de Litio-Cobalto. Este tipo de baterías sí puede ser utilizado en Vehículos Eléctricos sin riesgo.

Baterías de Litio-Manganeso (LiMn₂O₄)

También esta tecnología es bastante estable y soporta mayor tensión que las de cobalto, pero volvemos a tener el problema de la baja densidad energética. Su punto a favor, que uno de sus elementos, el manganeso, no es contaminante.

Baterías de Litio-Níquel-Cobalto-Manganeso (LiNi_{1-x-y-z}Co_xMn_zO₂)

Estamos ante unas baterías con muy buen rendimiento y una densidad energética y coste razonables. Llega a soportar 1.500 ciclos de carga y tensiones más altas que los tipos anteriores, por lo que es una buena opción para Vehículos Eléctricos.

Baterías de Litio-Titanio (Li₄Ti₅O₁₂)

Tienen una vida mucho más larga que cualquiera de las anteriores, soportando hasta 12.000 ciclos, pero su coste es muy alto y su densidad de energía es demasiado baja.

1.1.5 Litio-Polímero (Li-Po)

Se trata de una variación de la tecnología Ión-litio. En este tipo de baterías se debe trabajar a alta temperatura (80°). De momento, estas baterías no se utilizan tanto como las de ión-litio.

1.1.6 Zinc-aire

Las baterías de zinc-aire podrían ser una buena alternativa a las que se utilizan en la actualidad. Esta tecnología se basa en el uso de zinc en el electrodo negativo y en el positivo, un material poroso con un catalizador que reduce el oxígeno del aire. Debido a que su funcionamiento se basa en el uso del oxígeno del aire, su peso puede ser muy reducido, con una densidad de energía muy alta. Otro punto a favor del zinc-aire es su bajo coste y, en cuanto al impacto medioambiental, también estas baterías ganan la batalla, ya que son muy poco contaminantes. Sin embargo este tipo de tecnología tiene un gran inconveniente difícil de solventar: no tiene la capacidad de recarga eléctrica. El único modo de recarga (al menos en la actualidad) es sustituyendo los electrodos, lo que no parece una alternativa potencialmente viable en un vehículo eléctrico, que necesita ser recargado a menudo. Además, en caso de que este sistema de sustitución de electrodos se convirtiese en una forma de recarga de VEs habitual, sería imposible el uso de un sistema de freno regenerativo que permitiese la recarga de las baterías aprovechando la energía de las frenadas para aumentar la autonomía del VE.

Actualmente se está estudiando la posibilidad de trabajar con baterías **Li-aire**, que aumentarían considerablemente la densidad de energía y que, quizás, podrían permitir recarga electroquímica, pero esta tecnología está todavía en estudio.

1.1.7 Zebra

Las baterías zebra (Zeolite Battery Research Africa Project) también podrían tener grandes cualidades dentro del mercado de VEs, debido a su alto Voltaje por celda, su bajo peso, con la gran densidad de energía y potencia que ello conlleva, su altísima durabilidad y baja autodescarga. Además, son baterías 100% reciclables y muy seguras.

Pero, al igual que ocurre con las baterías Zinc-aire, las Zebra también tienen un gran inconveniente que limita enormemente sus posibilidades de ser la opción elegida por los fabricantes. Esta desventaja es que deben trabajar a una temperatura superior a los 250°C, lo que obliga en cualquier caso a mantener las baterías en un recipiente que controle la temperatura, suponiendo un aumento de precio y tamaño. Otro problema que presentan estas baterías, directamente relacionado con su temperatura de trabajo, es la necesidad de mantenerlas a 250°C incluso cuando el vehículo está apagado, para tenerlo siempre a punto para su utilización; o de esperar a que se calienten antes de cada uso.

1.2 Tabla comparativa de baterías

A continuación se muestra una tabla comparativa de las prestaciones de las baterías utilizadas actualmente en vehículos eléctricos:

BATERÍA	Pb-ácido	NiMH	Lion
Voltaje (V)	2.0	1.2	3.0 – 4.5
Energía (Whkg ⁻¹)	10 – 40	60 - 80	80 - 170
Energía (Whl ⁻¹)	50 – 100	250	170 - 450
Número de ciclos (80%)	400 - 800	300 - 600	500 - 3.000
Coste (\$/kWh)	100 - 125	220 - 400	250 - 800
Impacto medioambiental	Alto	Bajo	Moderado-Bajo

Fuente: *Guía del vehículo eléctrico*, varios autores, 2010.

1.3 Elección de la batería

Para alimentar al inversor de nuestro vehículo necesitamos una tensión de 24V, por lo cual, para este proyecto se eligieron, en un principio, dos baterías de plomo-ácido de 12V cada una, porque se disponía de ellas en el laboratorio. No eran las adecuadas, sin embargo no se nos dio la opción de elegir, por lo que se hizo todo lo posible por trabajar con ellas.

Se trata de dos baterías de 12V, 10Ah/20h.

Ambas contaban con las mismas características, pero pertenecían a dos proveedores distintos: Skywise y McNair.

Se trata de baterías antiguas, que ya habían formado parte de varios proyectos anteriores. Una de ellas, la de Skywise funcionaba bien, sin embargo, la de la marca McNair daba muchos problemas de carga y autonomía.

En un principio se utilizaron estas baterías para todas las pruebas que se hicieron con anterioridad al montaje final del motor en la estructura del quad. Eran capaces de activar el motor durante periodos cortos, siempre y cuando éste no tuviese que arrastrar ninguna carga, lo cual fue suficiente para las pruebas de software, de control de velocidad desde el ordenador y de control desde el potenciómetro.

Sin embargo, cuando llegó el momento de montar todos los componentes en el interior de la carrocería y conectar el motor con las ruedas del vehículo, las baterías no fueron capaces de proporcionar la energía necesaria para mover el quad.

Este era un problema con el que ya contábamos y habíamos hablado con anterioridad con nuestro tutor, así que trató de conseguirnos otras baterías que nos permitiesen llevar a cabo estas últimas pruebas.

Las baterías que se nos proporcionaron esta vez fueron dos baterías de coche.

Sus características son las siguientes: 12V 60Ah 450A (EN)

Tenían un tamaño desmesurado, que tan sólo nos permitía situarlas en las rejillas “reposapiés” del quad, una a cada lado y sujetas con una cuerda para que no cayeran hacia los lados.

El resultado visual, desde luego, no era el esperado y mucho menos aún, útil, ya que hacía imposible que alguien se sentara en el quad para poder conducirlo con normalidad, tal y como se habría hecho con su versión de gasolina. No obstante, cumplieron su función en el sentido de que el quad se movía y fue posible demostrar el correcto funcionamiento del control de velocidad tanto desde el ordenador, como desde el potenciómetro.

2 MOTOR ELÉCTRICO

El motor es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, por ello es muy importante la elección del motor para el rendimiento final del sistema.

Al comenzar el proyecto, como ya se ha dicho en repetidas ocasiones, se disponía de un quad de gasolina sin ningún tipo de uso ni desgaste previo. Lo ideal sería intentar alcanzar unas características, en relación a velocidad y par, similares a las que poseía el vehículo en su configuración de compra, para que su funcionamiento se asemeje, en la medida de lo posible al del motor de combustión. Por ello se buscaron inicialmente motores eléctricos, mediante los cuales se pudieran satisfacer todos los requerimientos posibles.

A pesar de que sabíamos que para el proyecto tan sólo podríamos contar con los motores que se pudiesen conseguir en el laboratorio y que la elección no sería amplia ni con unas condiciones óptimas, desde un principio realizamos un estudio de los tipos de motores existentes y de cuál podría ser la mejor elección.

Las características a tener en cuenta a la hora de elegir un motor son varias.

Un punto importante es que el motor que se utilice en el vehículo eléctrico debe tener unas dimensiones y peso que nos permitan su montaje en el interior del vehículo. Para ello es importante que el motor eléctrico tenga una alta densidad de potencia, de forma que que la relación potencia/peso y potencia/dimensiones sea elevada.

Otro punto importante a tener en cuenta a la hora de elegir un motor para un vehículo eléctrico es su robustez, tanto mecánica como térmica, lo que alargará la vida útil del vehículo, a la vez que reducirá su mantenimiento.

Y un último aspecto es el coste del motor, ya que es uno de los elementos que influyen de forma importante en el precio final del vehículo eléctrico.

En caso de que se desee devolver a las baterías la energía recuperable de las frenadas, frenada regenerativa, hay que tener en cuenta que el motor deberá trabajar en los cuatro cuadrantes, para poder así funcionar como motor y como generador.

El rendimiento de un motor eléctrico está alrededor del 90%, lo que supera con creces el rendimiento de un motor de combustión. Dentro de los motores de combustión varía la eficiencia del motor según el tipo, pero por ejemplo, un motor de gasoil de ciclo Diesel ronda un rendimiento de un 40%, mientras que un motor de gasolina de ciclo de Otto, como el del quad del proyecto actual, tan solo tiene un rendimiento aproximado de un 25%.

Otra ventaja de los motores eléctricos respecto a los de combustión es que un motor de combustión tiene que tener como potencia nominal el valor máximo de potencia que pueda ofrecer, aunque normalmente no se vaya a utilizar tanta potencia. Por el contrario, un motor eléctrico puede entregar picos de potencia muy superiores a su potencia nominal durante periodos cortos de tiempo, lo que nos permite utilizar “motores relativamente pequeños” que nos permiten disponer de una elevada potencia en ocasiones puntuales.

2.1 Tipos de motores

Entre las múltiples opciones existentes de motores a utilizar en vehículos eléctricos, los que podríamos tener en cuenta son los de corriente continua, de continua sin escobillas (*brushless DC motors*), de inducción (asíncronos), síncronos de imanes permanentes, de flujo axial y de reluctancia conmutada.

2.1.1 Motor CC

Lo que nos llevó a estudiar la opción de utilizar un motor de corriente continua en el quad fue principalmente la mayor simplicidad de control, evitándonos el tener que añadir un convertidor CC/CA, como ocurre con cualquier motor de corriente alterna, lo que permitiría unas conexiones más sencillas y un menor número de componentes de gran tamaño (punto realmente importante debido al limitado espacio disponible dentro de la estructura del quad).

Además, un motor de CC también cuenta con una buena densidad de potencia, operación en los cuatro cuadrantes y un par constante.

En cuanto a las desventajas de utilizar este tipo de motor se incluyen su elevado volumen, un rendimiento mejorable (alrededor del 80%), baja resistencia térmica de escobillas y colector, una necesidad de mantenimiento mucho mayor que otro tipo de motores, debido al desgaste que se produce principalmente en las escobillas de los motores de corriente continua y un elevado coste de fabricación.

2.1.2 Motor de imanes permanentes

Cuando se habla de motores de imanes permanentes se refiere a un tipo de motor síncrono, que cuenta con imanes permanentes para la fabricación del rotor. Lo que define a las máquinas síncronas es que trabajan a velocidad sincrónica, es decir, la velocidad de los imanes del rotor y del estator es la misma independientemente de la carga. La carga tan sólo modificará el ángulo entre ellos.

Los motores síncronos de imanes permanentes son, junto con los de inducción, los más utilizados en vehículos eléctricos. Como ventajas importantes se podría destacar que tienen un rendimiento y una densidad de potencia muy elevadas, par con pocas variaciones y un control sencillo. En relación al proceso de fabricación y mantenimiento, estos motores son robustos y fáciles de fabricar y mantener. A ello se le puede sumar que, mediante variadores de frecuencia, se puede conseguir par nominal a casi cualquier velocidad.

Otra de las virtudes de este tipo de motores es que tienen un tamaño y peso reducidos, y gracias a su alta densidad de potencia, pueden proporcionar potencia suficiente con un volumen mínimo, lo cual nos beneficiaría enormemente a la hora de utilizarlo en un proyecto como este, ya que el hueco destinado a alojar el motor y las baterías es muy pequeño.

Pero no todo son ventajas a la hora de trabajar con motores de imanes permanentes. Un problema que afecta a este tipo de motores es que pueden trabajar en una gama de velocidades bastante baja y su coste de fabricación es elevado.

2.1.3 Motor de CC sin escobillas (Brushless DC motor)

Los motores de CC sin escobillas son una variante de los motores de CC que los hacen más válidos para su uso en vehículos eléctricos. Estos motores requieren menos mantenimiento que sus compañeros de CC con escobillas. Además, al ser motores de CC, requieren menos electrónica de potencia que los motores CA trifásicos.

Su funcionamiento es bastante similar al de un motor síncrono, pero estos motores llevan incorporada la electrónica dentro del motor, a diferencia de los motores síncronos, que la electrónica se conecta a ellos de forma externa.

Se trata de motores con un peso reducido que se suelen utilizar en dispositivos pequeños de baja potencia, pero también pueden ser adecuados para utilizarse en vehículos eléctricos pequeños, como motos, bicicletas, o quads, como el del presente proyecto.

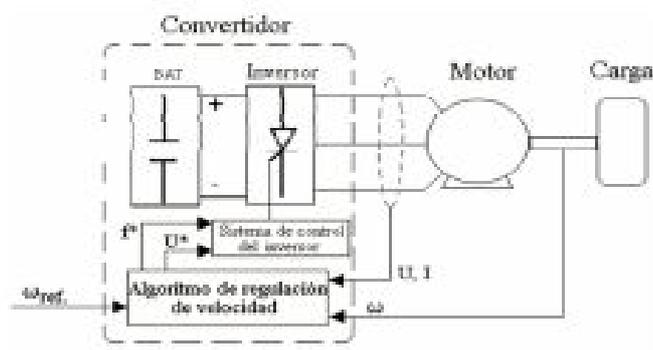
2.1.4 Motor de inducción

Los motores de inducción son motores muy robustos, fáciles de mantener, con una alta eficiencia y con un control sencillo. A todo ello se suma una fabricación sencilla y un coste reducido.

En un motor de inducción, o asíncrono, la velocidad del rotor y estator es la misma con par cero, pero al aumentar el par aumenta también la diferencia de velocidad entre el estator y el rotor, mientras que en el motor síncrono lo que aumenta es solamente el ángulo entre el rotor y estator, funcionando ambos siempre a la misma velocidad.

El par en este tipo de motores va aumentando con la velocidad hasta su máximo y luego vuelve a disminuir hasta anularse en el momento en el que se alcance la velocidad de sincronismo. A partir de ese momento, el motor pasará a funcionar como generador. Es importante resaltar que la velocidad de giro del campo del estator puede modificarse mediante variadores de frecuencia electrónicos, permitiendo que se pueda entregar el par nominal a casi cualquier velocidad.

Estos variadores, junto con las características nombradas al principio del apartado, consiguen que los motores asíncronos sean muy adecuados para vehículos eléctricos, aunque, desafortunadamente, la baja densidad de potencia de estos motores no siempre permite que su uso sea la mejor elección. Cuentan con un tamaño y peso poco reducidos, lo que hace que no sean los más adecuados cuando la limitación de espacio es importante o la potencia necesaria sea muy elevada. Sin embargo, sí tienen una gran cabida en vehículos eléctricos pequeños y de bajo coste, que no necesitan una potencia elevada.



Esquema de alimentación y control para un motor de inducción

2.1.5 Motor de reluctancia conmutada

Los motores de reluctancia conmutada pueden utilizarse para aplicaciones muy diferentes con exigencias muy distintas.

Es robusto, de muy bajo coste, de mantenimiento y control muy sencillos, alta eficiencia, alta densidad de potencia y alto rango de velocidades de trabajo. También tiene un par elevado a baja velocidad, lo que lo hace interesante para vehículos pesados.

Par de arranque bajo, un par muy fluctuante y vibraciones importantes son sus desventajas.

Se trataría de una opción muy atractiva si se consiguiesen controlar las fluctuaciones del par, pero de momento no es una tecnología adecuada para vehículos.

2.1.6 Motor de flujo axial

Los motores de flujo axial son un tipo de motores síncronos de imanes permanentes, pero que cuentan con una tecnología que los diferencia de los anteriores. En este caso se trata de un tipo de motores en los que el devanado inductor crea un campo magnético paralelo al eje de giro del rotor, mientras los motores anteriores cuentan con un flujo rotatorio radial.

Una característica principal de este tipo de motores es su gran densidad de par. Tienen un volumen mucho menor y serían ideales para utilizarlos en las ruedas, de forma que el vehículo contase con un motor de flujo axial en cada una de las ruedas, permitiendo así una tracción total y optimizando el espacio en el interior del vehículo.

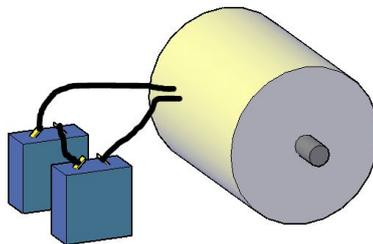
Actualmente se está trabajando en el estudio de dichos motores para su uso en vehículos eléctricos y podría tener una buena acogida.

2.2 Comparativa de motores disponibles

Cuando empezamos a trabajar en el proyecto tuvimos que elegir entre dos opciones principales para la estructura del sistema. La primera decisión que había que tomar era si utilizaríamos un motor de CC o de CA.

Nuestra primera idea fue que elegir un motor de continua sería mucho más fácil que uno de alterna, debido a que, teniendo un sistema de alimentación formado por baterías, nos ahorrábamos el paso de tener que utilizar un convertidor CC/CA y el control de velocidad sería más sencillo.

El circuito simplificado para la alimentación de un motor de CC sería el de la figura siguiente:



En este esquema no se incluye ningún dato sobre las características de los componentes, ni el sistema para el control de velocidad del motor o cualquier otro aspecto que pudiera ser importante. Y debido a la simplicidad de la solución propuesta, el resultado

final con control de velocidad sería mucho más complejo que el esquema de la figura, pero se trata tan sólo una explicación básica de cómo el motor podría obtener la energía eléctrica directamente de las baterías sin la necesidad de ningún paso intermedio.

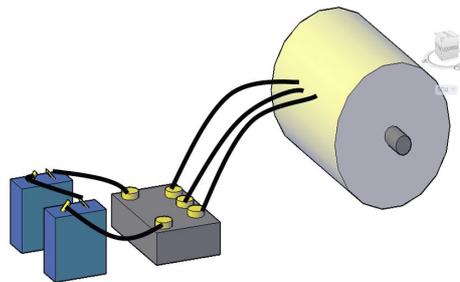
Por el contrario, si elegíamos un motor de CA, teníamos que utilizar un convertidor CC/CA para poder utilizar la corriente de las baterías en el motor.

Existen convertidores CC/CA que permiten programar en un ordenador las características de salida del inversor al motor, de forma que facilitan y simplifican el trabajo de control del motor. Este tipo de convertidores son los más adecuados en el caso de utilizar un motor de CA.

El diseño del circuito eléctrico y de los componentes utilizados depende de las características del motor, ya que es necesario conocer los detalles técnicos del motor a la hora de elegir un convertidor/inversor y es importante también conocer las características del convertidor para elegir la tensión de salida de las baterías.

Como ya se ha dicho anteriormente, la idea es conectar la batería (o baterías, según los requisitos para la fuente de alimentación) a la entrada del inversor y la salida de este, al motor de inducción.

El circuito esquemático del sistema utilizando un motor de CA sería el siguiente:



Al igual que en la solución propuesta para un motor CC, en este esquema también se ha obviado el control de velocidad y otras posibles conexiones y controles que se pudieran realizar más adelante.

Un punto importante que nos creaba conflicto a la hora de elegir un motor de CA es el volumen del convertidor de CC a CA trifásica, teniendo en cuenta que todos los elementos deben insertarse en el espacio disponible dentro de la estructura del vehículo.

Sin embargo, al final no tuvimos ni siquiera la opción de elegir entre un motor de CC o uno de CA, ya que, debido a las limitaciones de presupuesto para el proyecto, se nos impuso el uso de alguno de los motores disponibles en el laboratorio de robótica y todos ellos eran motores CA.

A partir de ese momento, nuestras opciones se limitaron a los siguientes motores que se van a detallar a continuación.

2.2.1 Motor de ciclo de Otto (TZH152FMH90456760)

Este es el motor original del quad HB-ATV110 (110cc T-REX HUMMER MIDI QUAD). El motor pertenece a las series TZH152, del fabricante “NITRO motors”, y es un motor de gasolina de 4 tiempos. El quad está dotado con un tanque de gasolina de 2,5 litros de capacidad y sistema de refrigeración natural. La caja de cambios es de cambio automático, con marcha atrás. Este motor es mucho más potente que cualquiera de los motores eléctricos con los que lo vamos a comparar en este apartado, dispone de mayor potencia y par, pero debido a que el presupuesto del que se dispone para este proyecto es limitado, la mejor opción es siempre utilizar los componentes de los que disponemos en el laboratorio sin necesidad de compra, siempre y cuando las características sean adaptables al proyecto.

Con este motor, el quad alcanzaba una velocidad máxima de 65 km/h.



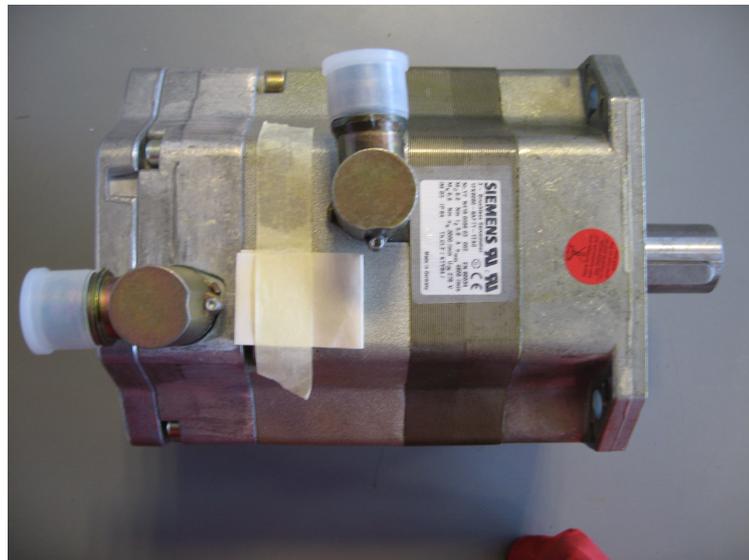
Dimensiones

- Longitud: 430mm
- Anchura: 330mm
- Altura: 240mm
- Peso: 21kg

2.2.2 Siemens 1FK 6080 – 6AF71 – 1TA0

El Siemens 1FK 6080–6AF71–1TA0 es un motor síncrono trifásico de la serie 1FK6. El uso de este motor nos lo planteamos por el simple hecho de que había pertenecido a un proyecto anterior que no se llegó a terminar y podíamos disponer de él libremente en el laboratorio.

Se trata de un motor síncrono trifásico de imanes permanentes. Este es un motor sin cuerpo frameless. Según la información que nos proporciona el fabricante en su catálogo de motores, la serie 1FK6080 tiene una gran densidad de potencia y una eficiencia muy alta, además, necesita muy poco mantenimiento.

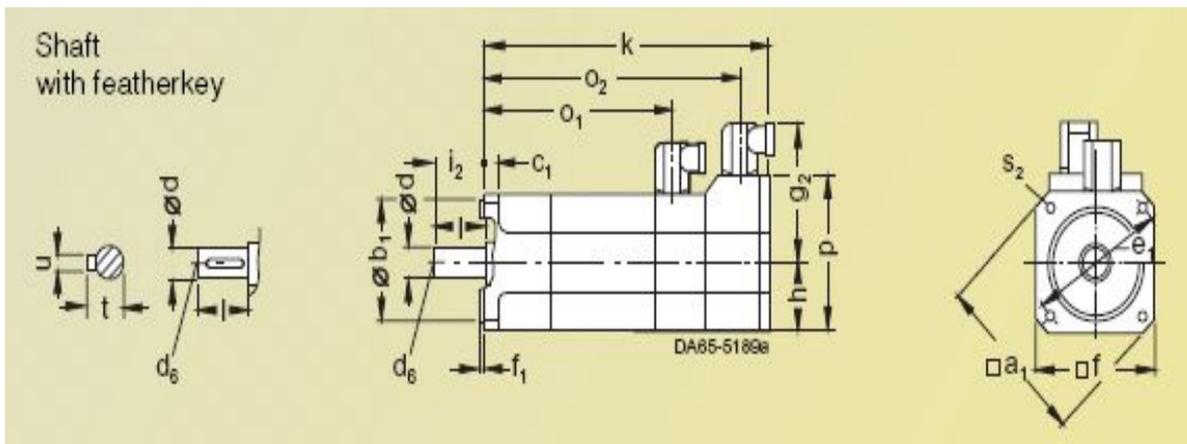


TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD



Como ya se ha explicado en el apartado anterior, los motores síncronos de imanes permanentes son una de las mejores opciones a la hora de construir un vehículo eléctrico.

Dimensiones



(fuente: Siemens catalogue of servomotors 2002/2003)

Size	Type	DIN IEC	a ₁ P	b ₁ N	c ₁ LA	e ₁ M	f AB	f ₁ T	g ₂ -	h H	i ₂ -	o ₁ -	o ₂ -	p HD	s ₂ S	k LB	k LB	d D	d ₆ -
Type of construction IM B 5, self-cooled, with angled plug, with/without brake																			
80	1FK6080		7.3 (186)	5.1 (130)	0.51 (13)	6.4 (165)	6.1 (155)	0.13 (3.5)	4.5 (114.5)	3.05 (77.5)	2.28 (58)	3.8 (97)	6.4 (165)	-	0.43 (11)	7.7 (195)	9.5 (242)	1.25 (32)	M12
	1FK6083											5.3 (135)	7.9 (203)			8.8 (223)	11 (280)		

(fuente: Siemens catalogue of servomotors 2002/2003)

Consideramos que era un buen motor, con unas características bastante interesantes y podría ser una buena opción para nuestro proyecto. A pesar de ello, la escasa información que había sobre él en el laboratorio y la dificultad de encontrar datasheets que nos pudiesen ofrecer datos más detallados, junto con el hecho de que su volumen y peso superaban con diferencia al otro motor que disponíamos, nos decantaron por utilizar el motor de inducción de la compañía Sauer Danfoss, que se detallará a continuación.

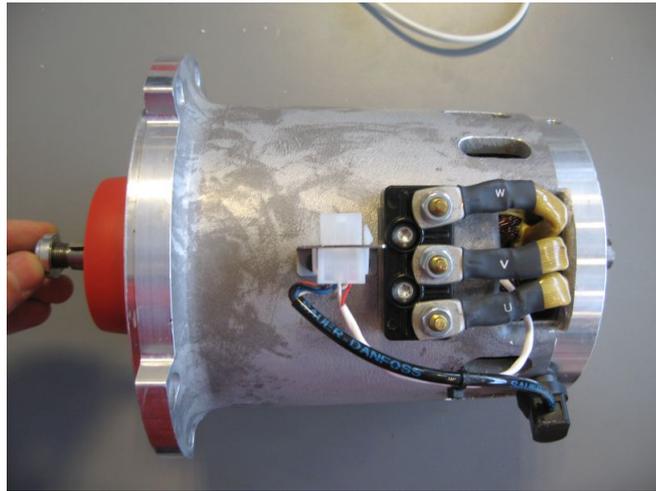
2.2.3 SAUER DANFOSS TSA120-80

El Sauer Danfoss TSA120-80 es un motor de inducción trifásico. Se han considerado sus características y tamaño y finalmente este es el motor elegido para el proyecto.

Se trata de un motor ligero, con dimensiones bastante reducidas. Sus características técnicas son suficientes para hacer que el vehículo funcione. Desafortunadamente, este motor es bastante menos potente que el motor de Siemens, pero teniendo en cuenta que el espacio en el que tenemos que adaptar el motor y las baterías es tan sólo el pequeño hueco que queda debajo del asiento, entre las ruedas delanteras y traseras, no podemos permitirnos el uso de un motor grande y pesado, que además requerirá mayor consumo de batería.

Otro aspecto determinante para la elección de este motor es que se dispone de él en el laboratorio, sin necesidad de comprarlo y está también disponible un convertidor CC/CA de motores para vehículos eléctricos de la misma marca, que nos evita también el tener que comprar el inversor para pasar de CC a CA.

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD



*NOTA: aunque la etiqueta de las características técnicas del motor nos indica una potencia de 1 kW, en realidad el motor es de 2kW.

Dimensiones

- Longitud del núcleo: 115mm
- Longitud total: 233 mm
- Anchura: 130 mm
- Altura: 125 mm
- Peso: 10,5 kg

2.3 Elección final

El motor que se eligió finalmente fue el motor de inducción trifásico de la casa Sauer Danfoss.

La elección se basó principalmente en el tamaño de los dos motores a elegir.

Aunque el Siemens, motor síncrono trifásico, era un motor más potente que el de Sauer Danfoss, su volumen era excesivo para el poco espacio del que se disponía en el quad y las características del Sauer Danfoss serían suficientes para el propósito de mover el quad.

3 CONVERTIDOR

El convertidor es una parte fundamental del coche. Su función principal es adaptar la corriente continua que ceden las baterías a la corriente alterna trifásica que alimenta al motor.

Aparte de esta función imprescindible, el convertidor del que se dispone para el proyecto puede ser programado para controlar los valores a la salida, según las necesidades del sistema en cada momento.

Dicho convertidor es el *MI06-S-24/400-P*, de la familia PLUS+1, perteneciente a la compañía danesa Sauer Danfoss.

Los convertidores de la familia PLUS+1 están diseñados para el control de motores CA en todo tipo de vehículos eléctricos. Permiten un control del motor, utilizando un algoritmo de control del flujo, que ofrece una optimización del rendimiento en los motores de la misma marca.

El convertidor PLUS+1 MI06 ejerce el papel tanto de inversor de corriente, como de controlador para motores de vehículos, en un solo dispositivo. Mediante los puertos I/O, analógico, digital y CAN, el convertidor permite interactuar con un amplio rango de dispositivos externos.



Las características principales del convertidor son:

Marca: Sauer Danfoss

Tipo: MI06-S-24/400-P

Num. Serie: 025311600018

Input: 24V -30% +50%

Output: 3Phase 0 - 16V max. 400A

Tensión nominal = 24V

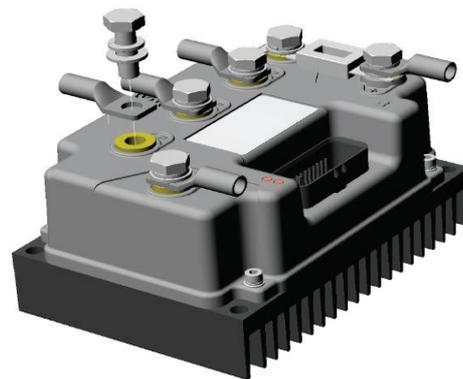
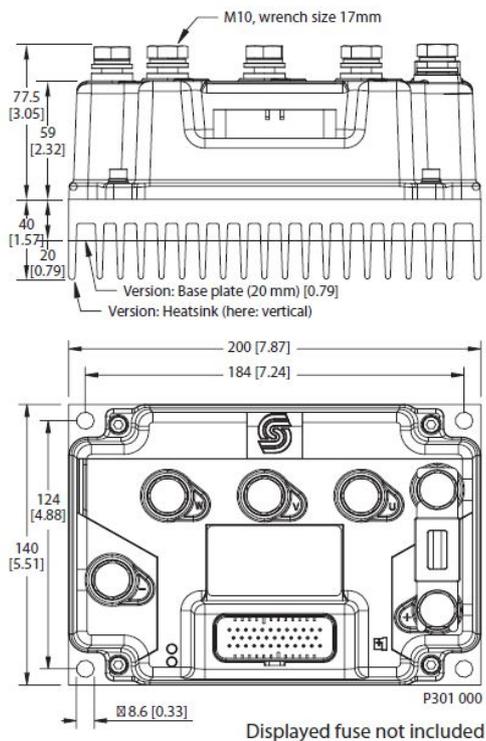
Rango de tensión de entrada = 16-36 V_{dc} ↔ baterías = 2·12 = 24V

Intensidad de corriente nominal = 200A_{rms}

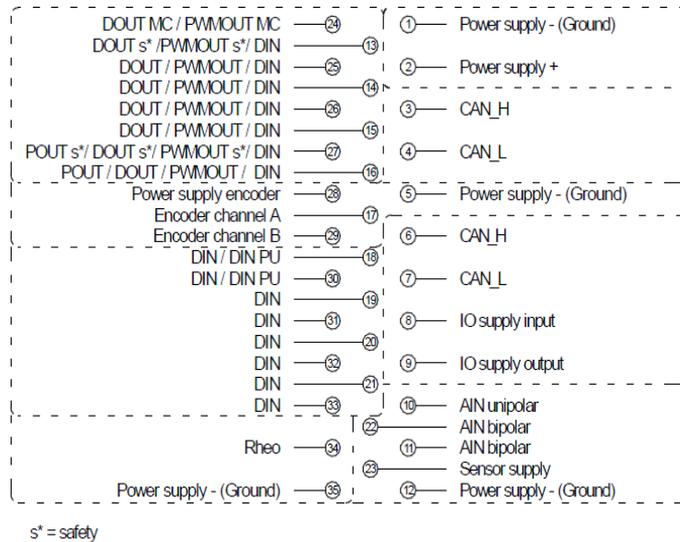
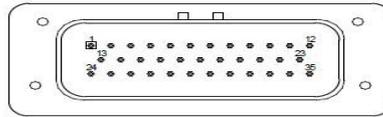
Tensión de salida = 3 x 0...16V ↔ V_{n motor} = 15V

* Conectores de señal de línea: AMPSEAL 35 pins

Estos convertidores es están especialmente diseñados para controlar motores CA de inducción trifásicos alimentados mediante baterías. Se utilizan principalmente para pequeños vehículos eléctricos.



PINS del convertidor



Los convertidores PLUS+1 tienen pins separados para la entrada y salida de la alimentación externa para componentes de entrada/salida conectados a la interfaz. Las tensiones de entrada y salida son independientes de las conexiones de la alimentación principal del vehículo. Se puede conectar a la alimentación principal del vehículo o a cualquier otra alimentación suplementaria dentro de un rango de tensión válido (como podría ser un convertidor DC/DC).

Las características de estos pins I/O son:

Nominal Voltage [V]	24	36 - 48	72 - 80
Inverter Type: MI XX-S-	24/xxx	48/xxx	80/xxx
I/O supply input	Power supply input for I/Os		
Maximum current [ADC]	8,0		
Max. input voltage [VDC]	36	62	105
Min. input voltage [VDC]	12		
I/O supply output	Power supply output for I/Os		
Maximum current [ADC]	8,0		
Output voltage	I/O supply input		

3.1 Elección

No tuvimos ninguna opción de elegir el inversor a utilizar. Este convertidor perteneció a un proyecto anterior que no se llegó a terminar, el mismo proyecto al que también pertenecía el motor que utilizamos, por lo tanto, cogimos también el convertidor. Tanto el motor como el convertidor pertenecen a la misma compañía, *Sauer Danfoss*.

En cuanto a la búsqueda y estudio de otros convertidores que se pudieran utilizar, al no tener ninguna opción de elegir otro diferente, no se llegó a realizar ninguna búsqueda, ni comparativa de características con otros convertidores del mismo estilo. Fue el único convertidor que estudiamos para el proyecto y el que utilizamos una vez decidido el motor eléctrico.

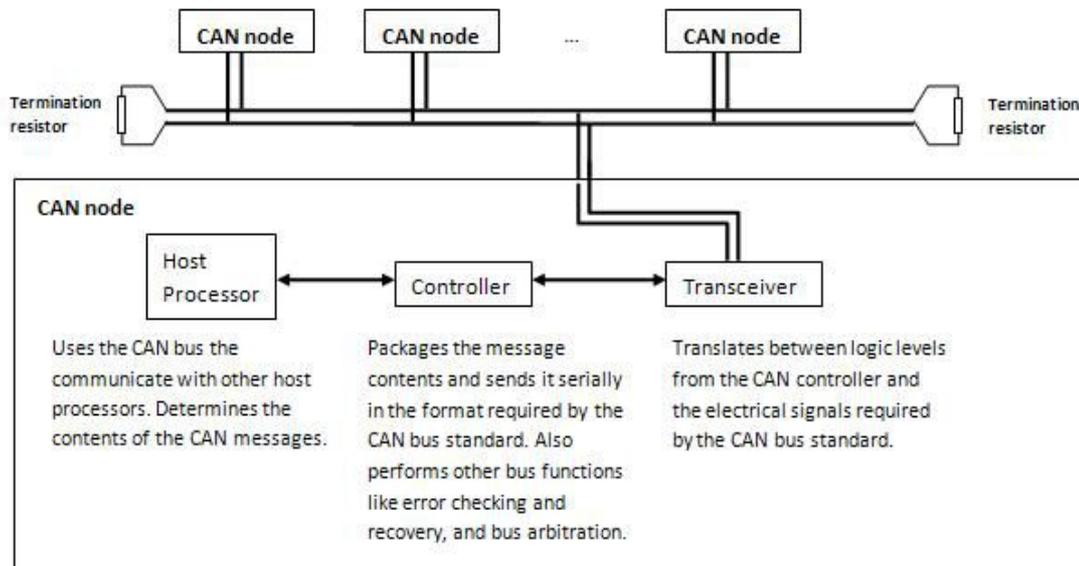
4 CAN BUS

4.1 El “Controller Area Network”

El Controller Area Network, o CAN bus, es un tipo de bus eléctrico que permite el intercambio de información entre dispositivos eléctricos. El bus CAN es una opción muy común sobre todo en vehículos de carretera, debido principalmente a su simplicidad de cableado y la tolerancia frente a las interferencias eléctricas. Originalmente desarrollado en Robert Bosch GmbH, su adopción generalizada ha llevado a la creación de varias normas formales por diferentes organismos de normalización, como la ISO y SAE. En este proyecto, se ha adoptado la norma ISO-11898, ya que los componentes eléctricos necesarios para apoyar el bus CAN que están disponibles, obedecen a esta norma.

4.2 La red CAN (CAN Network)

Una red CAN (ilustrada a continuación) se compone de nodos, todos ellos conectados entre sí a través de un bus de dos hilos. Cada nodo consta de un procesador *host*, un controlador CAN y un transmisor-receptor CAN.



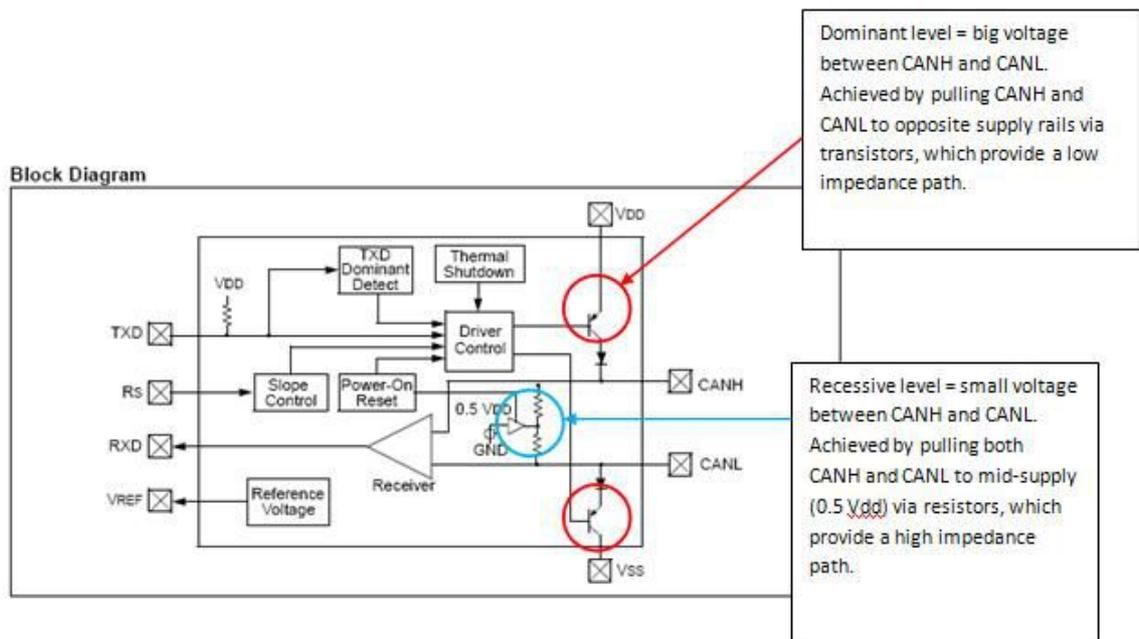
4.3 Propiedades eléctricas del bus CAN

La información se transmite a lo largo del bus en serie, y dos cables se utilizan para realizar la señal diferencial. Estos cables llevan las señales conocidas como CAN_H y CAN_L.

Se entiende por señal diferencial, que los niveles lógicos se codifican como la diferencia de voltaje entre los dos cables del bus. Los niveles de voltaje en CAN_H y CAN_L son generados por el transceptor (transmisor-receptor) CAN, y sus niveles de tensión varían entre las distintas especificaciones del bus CAN. En la norma ISO11898, un valor lógico bajo aparece como una diferencia de potencial alta entre CAN_H y CAN_L, mientras que un valor lógico alto está representado mediante una tensión muy baja entre ambos.

CAN_H y CAN_L se llaman así porque, para un valor bajo de salida digital, la diferencia de potencial se genera haciendo que CAN_H se acerque al valor de alimentación positiva y CAN_L al de alimentación negativa. A la inversa, para un valor de salida digital alto, CAN_H y CAN_L se mantienen aproximadamente a la misma tensión, habiendo una diferencia de potencial entre ambos muy pequeña.

Además, según las especificaciones particulares del CAN, uno de estos valores lógicos se designa como nivel dominante, y el otro pasa a ser el nivel recesivo. Un nivel dominante se crea llevando las líneas de señal para el nivel de tensión requerido a través de una fuente de baja impedancia, mientras que se utiliza una fuente de alta impedancia para generar las tensiones requeridas para sacar un nivel recesivo. En la norma ISO11898, la cual hemos tomado como base, el nivel lógico bajo es el dominante, mientras que el nivel lógico alto es el recesivo.



El propósito de los niveles dominante y recesivo es hacer posible la aplicación del proceso de arbitraje del bus, que se describirá en la sección posterior.

Es necesario poner fin al bus mediante la conexión de una resistencia de 120 Ohm entre el CAN_H y el CAN_L en ambos extremos del bus. Esto es especialmente necesario para altas velocidades de datos, donde el periodo entre las transiciones adyacentes de tensión en la señal son comparables al tiempo de propagación de las señales eléctricas a lo largo del cable. Bajo tales circunstancias, ya no se puede ignorar el efecto corruptor de las señales reflejadas en los extremos de un cable sin terminación debido a la desigualdad de impedancia. El propósito de estas resistencias de terminación es absorber las señales que llegan al final de los cables y, por lo tanto, reducir la cantidad de reflexión.

4.4 El problema de sincronización

Todos los nodos en el bus CAN funcionan a la misma velocidad de transmisión de datos. La transmisión de datos es asíncrona, ya que puede comenzar en cualquier momento, y no hay ninguna señal de reloj global para facilitar la sincronización.

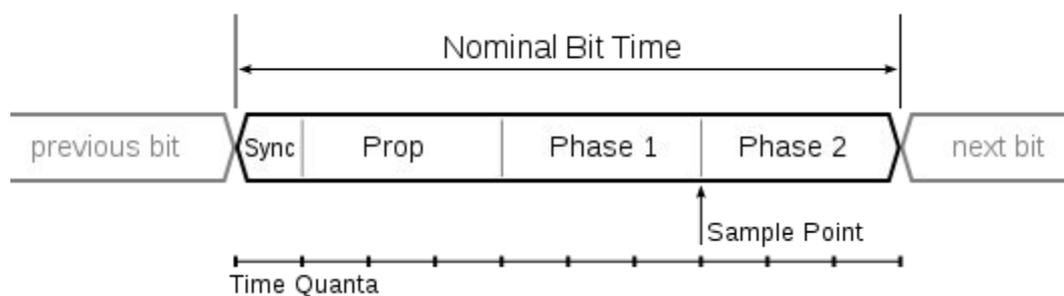
Cada nodo en el bus, que se ejecuta con su propio reloj, debe sincronizarse de alguna manera con el *Bit Timing* de los datos que se transmiten a través del bus CAN por otro nodo. Esto es necesario para que aparezcan los niveles de tensión necesarios en el momento adecuado, de forma que cada muestra corresponda a un bit enviado.

Para que un nodo de recepción sincronice su propio reloj con el del nodo transmisor, es necesario detectar un evento en la línea de señal que pueda servir como referencia de tiempo. Ese evento es una transición en el valor del bit. Si el flanco del reloj del nodo receptor no está alineado con el flanco del reloj del bit transmitido, entonces el nodo receptor no está sincronizado con el nodo transmisor.

Además, debido a los retardos de propagación, el mismo flanco de reloj se detectará en distintos momentos por nodos situados lejos uno del otro. Esto genera un problema durante el arbitraje. Por ejemplo, el nodo A envía un bit dominante y el nodo B envía un bit recesivo al mismo tiempo. El nodo que envía el bit recesivo (en este caso el nodo B) necesita comprobar el nivel del bus para ver si hay un bit dominante transmitido por algún otro nodo. Sin embargo, debido al retardo de propagación, cuando el nodo B muestrea el nivel del bus, el cambio de recesivo a dominante no ha llegado todavía al nodo B. Así, el nodo B asume erróneamente que puede transmitir cuando en realidad se ha perdido el arbitraje.

4.5 Sincronización del CAN

En lugar de ejecutar el reloj interno del receptor a la misma velocidad que los bits, el reloj funciona a una frecuencia mayor, de manera que cada bit dura 2 ciclos de reloj. La duración del ciclo de reloj, se conoce como quantum. Cada bit dura varios ciclos de reloj, y la duración de cada bit se divide en cuatro segmentos: segmento de sincronización, segmento del tiempo de propagación, fase buffer 1 (*phase buffer segment 1*) y fase buffer 2 (*phase buffer segment 2*) 2.



(Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8a/CAN_Bit_Timing2.svg/530px-CAN_Bit_Timing2.svg.png)

Internamente, el receptor realiza un seguimiento de en qué segmento de un bit se encuentra. El nivel de tensión debería ser muestreado en torno al punto medio de la duración del bit, bien lejos de cualquier cambio en el nivel de tensión, donde es más estable. El receptor debe también esperar un mínimo de tiempo especificado por el segmento de propagación antes de que pueda muestrear el nivel del bit.

Siempre que una transición en el nivel del bit se detecta es posible ver si el reloj del receptor está sincronizado con el del nodo transmisor, ya que la transición en el nivel del bit debería coincidir con el segmento de sincronización. Si no es así, entonces los relojes no están sincronizados y es necesario corregir este error mediante el ajuste del número de quanta en cualquiera de los segmentos de fase buffer.

4.6 Comunicación a través del bus CAN

Los nodos se comunican entre sí por medio de intercambio de tramas (*frames*), las cuales son secuencias de bits que contienen la información en un formato particular que determina el bus CAN. Hay 4 tipos de mensajes: de datos (*data frame*), remota o de repetición de datos (*remote frame*), de error (*error frame*) y de sobrecarga del bus (*overload frame*). Las tramas de error y sobrecarga se generan automáticamente con un controlador CAN, como parte del proceso de detección de error y recuperación, mientras que los contenidos de las tramas de datos y remota son especificados por el procesador *host*.

Trama de datos (*Data frame*)

Los datos enviados a través del bus CAN se empaquetan en mensajes de datos. Una trama de datos consiste principalmente en un campo de mensaje ID y un campo de datos que puede contener entre 1 y 8 bytes. El contenido de la trama de datos lo determina el procesador *host*.

Trama remota (*Remote frame*)

Una trama remota es casi idéntica a una de datos, pero ésta no contiene datos. Se trata de un medio por el cual un nodo CAN puede solicitar datos a otros nodos CAN. Cuando se envía una trama remota, los otros nodos CAN deben inspeccionar el ID de la trama remota y si tienen que responder, lo harán enviando una trama de datos con el mismo ID que la trama remota, añadiendo algunos datos.

Trama de error (*Error frame*)

Las tramas de error se envían automáticamente a un controlador CAN cuando se detecta un error.

Trama de sobrecarga de bus (*Overload frame*)

Las tramas de sobrecarga se envían automáticamente por un controlador CAN con el fin de crear un retardo entre datos sucesivos o tramas remotas.

Mecanismos de arbitraje para evitar colisiones

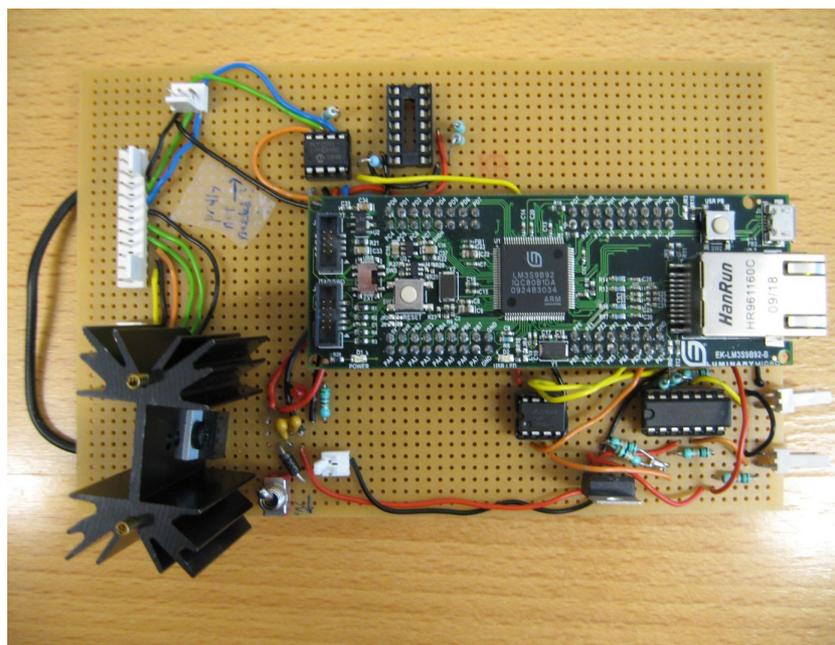
Puesto que todos los nodos están conectados entre sí al mismo tiempo tan sólo un nodo puede transmitir información en cada momento y, cuando esto ocurre, ningún otro nodo puede transmitir al mismo tiempo. Sin embargo, es posible que múltiples nodos empiecen a transmitir al mismo tiempo. Por lo tanto, alguna forma de arbitraje es necesaria, donde los nodos decidirán cual de ellos continuará transmitiendo, mientras el resto dejará de transmitir. En ese momento es donde los niveles dominante y recesivo tienen utilidad. Siempre que un nodo transmite un nivel lógico recesivo, se muestrea el nivel de tensión en el bus para ver si ésta corresponde a un nivel recesivo.

Como el nivel dominante según la norma ISO11898 es el nivel bajo, y los bits más significativos se transmiten primero, esto significa que el mensaje con el ID de valor más bajo tendrá la prioridad más alta y por lo tanto ese nodo será el que seguirá transmitiendo el mensaje.

5 PLACA DE CONTROL

5.1 Hardware asociado a la placa de control

El propósito de la placa de control en la implementación actual es principalmente servir como intermediario entre los controles del conductor (por ejemplo, los sensores del acelerador y freno) y el inversor. El acelerador permite el control de la cantidad de potencia suministrada al motor, que está determinada en última instancia por el funcionamiento del inversor. Los frenos de tambor del vehículo se accionan mecánicamente a través de las palancas de freno en el manillar, al igual que en el vehículo original, pero en este caso, se ha añadido un sensor que informa sobre la posición de una de las palancas de freno. Tal medida es necesaria para la ejecución de la función de frenado regenerativo, de la que la placa de control descrita en esta sección es responsable parcial. A fin de desarrollar todo lo anterior, la placa del microcontrolador debe obtener las señales en bruto desde la posición de los sensores del acelerador y el freno, realizar cualquier acondicionamiento de señal necesario y comunicarse con el inversor para que éste responda apropiadamente.



Placa del Microcontrolador

En el centro de la placa de control se encuentra el Microcontrolador LM3S9B92, puesto a nuestra disposición en una placa de evaluación.

Los sensores del acelerador y el freno son potenciómetros, que emiten una salida analógica cuyo voltaje se corresponde con la posición del acelerador y el freno respectivamente. Estas señales son digitalizadas por el convertidor A/D (ADC). Como el rango de tensión de salida es entre X e Y, el cual es significativamente mayor que el máximo de 3V que los pines de entrada analógica del microcontrolador pueden aceptar, se utilizan amplificadores operacionales para reducir los niveles de tensión a un rango aceptable. Por supuesto, también habría sido posible hacer funcionar los potenciómetros a una tensión más baja y, por lo tanto, evitar la necesidad de cualquier circuito de reducción del nivel de tensión, pero eso conllevaría una mayor influencia de las interferencias y ruido que puedan aparecer. El inversor y el motor son fuentes de interferencias electromagnéticas y no sabíamos con anterioridad cuál podría ser su efecto. Por tanto, optamos por asegurarnos de que las interferencias no pudieran influir de forma cuantitativa mediante el uso de una señal mayor.

El controlador CAN del microcontrolador se utiliza para la comunicación con otros dispositivos en el vehículo, en particular con el inversor. Sin embargo, para generar y aceptar los niveles de tensión requeridos para el bus CAN, es necesario un transmisor-receptor. En el proyecto se utilizó el chip transmisor-receptor CAN MCP2551 de Microchip Inc. La principal razón para esta elección es que está disponible en modelo DIP (Dual In-line Package), que nos permitía trabajar más fácilmente con él. Aunque el chip transmisor-receptor trabaja con una tensión TTL de 5V, mientras que el microcontrolador funciona con 3,3V, no es un problema la interacción entre ambos, ya que los niveles de tensión son compatibles en sus respectivas *datasheets*.

La placa de control se situó en uno de los extremos del cable del bus CAN (siendo el inversor el que está colocado en el otro extremo). Por lo tanto, se utilizó una resistencia de 120 Ohm en la placa para marcar el “final de cable” (como ya se ha explicado en el respectivo apartado).

Además, el termistor y las señales del codificador del motor están conectadas al inversor a través de la placa. Se eligió esta configuración en lugar de la conexión directa entre el motor y el inversor en previsión de la posibilidad de que estas señales también podrían ser utilizadas por alguna versión futura de software que se pudiera ejecutar en el microcontrolador, como podría ser, por ejemplo, algún tipo de mecanismo de seguridad.

Un único cable que discurre entre la batería y el inversor a través de la placa de control proporciona energía a ambos circuitos, tanto al circuito de control del inversor como al circuito general de la placa de control.

5.2 Microcontrolador

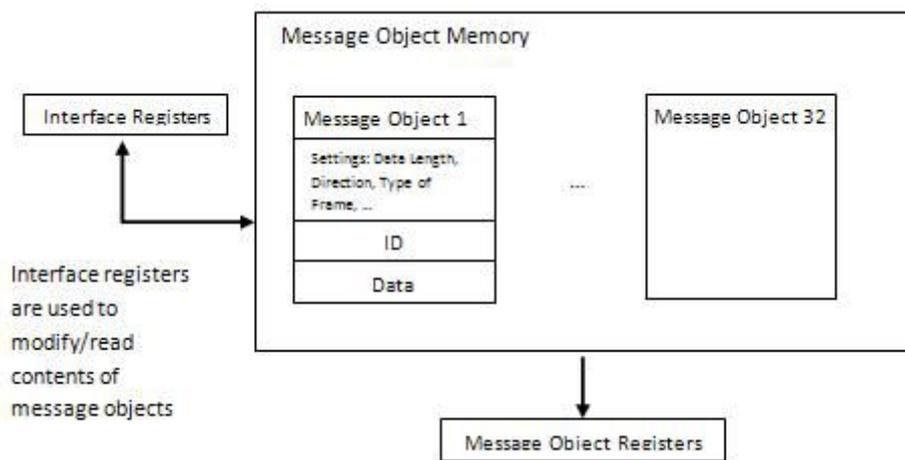
5.2.1 El microcontrolador LM3S9B92

El microcontrolador LM3S9B92 forma parte de la línea Stellaris de microcontroladores basados en ARM, anteriormente producidos por Luminary Systems y actualmente bajo Texas Instruments. El microcontrolador cuenta con núcleo ARME Cortex-M3, y numerosos chips periféricos, incluido un Convertidor Analógico-Digital (de ahora en adelante, convertidor A/D o ADC) de 10 bits y un módulo controlador CAN. El microcontrolador es un componente importante de la placa del controlador (véase el apartado “Placa de control” para más información). Su capacidad de procesamiento permitiría la implementación de un control más avanzado del quad en proyectos futuros. En las secciones siguientes se describe el controlador CAN y el módulo de conversión A/D en el microcontrolador LM3S9B92, que se utilizaron en la placa del controlador.

5.2.2 CAN-Bus en el microcontrolador LM3S9B92

En esta sección, se proporciona una visión general del módulo controlador, que se implementa en el microcontrolador LM3S9B92.

Hay dos controladores CAN idénticos en el chip, llamados CAN0 y CAN1. En este proyecto tan sólo se ha utilizado el CAN0. Cada controlador CAN tiene un par de señales, CANnRX y CANnTX (donde “n” indica el número del controlador CAN: 0 o 1), que deben estar conectadas al transmisor-receptor CAN con el fin de conducir correctamente el bus CAN. El controlador CAN0 en particular permite que estas señales sean asignadas a uno o varios pins del microcontrolador, lo que proporciona cierta flexibilidad en la disposición de la placa. En el proyecto hemos optado por utilizar los pines PD0 y OD1 para CAN0RX y CAN0TX respectivamente.



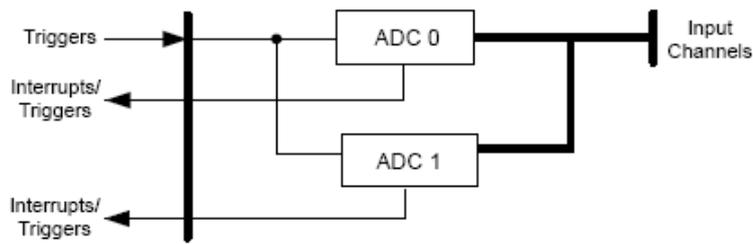
Cada controlador CAN tiene un conjunto de registros que se agrupan en las siguientes categorías: registros de control, registros de interfaz y registros de mensajes de objeto. Los registros de control se utilizan para configurar el controlador CAN, como el bit timing (que a su vez determina la velocidad de transmisión de datos) y las características de interrupción, y también para obtener información sobre el estado del controlador CAN. Los registros de la interfaz se utilizan para leer y modificar los contenidos de los mensajes de objeto. Los registros de los mensajes objeto son registros de sólo lectura que se pueden utilizar para inspeccionar rápidamente el estado de todos los mensajes de objeto a la vez, como saber, por ejemplo, qué mensajes objeto tienen datos nuevos o cuales están en uso.

5.2.3 Convertidor Analógico-Digital en el microcontrolador LM3S9B92

En esta sección proporcionamos una visión general del módulo convertidor A/D implementado en el microcontrolador LM3S9B92.

Hay dos módulos de conversión A/D en el chip, llamados ADC0 y ADC1. Cada módulo puede convertir señales analógicas a partir de un conjunto común de 16 canales de entrada analógica.

Figure 13-1. Implementation of Two ADC Blocks



Los principales componentes de un módulo convertidor A/D son 4 secuenciadores de muestreo, un convertidor analógico-digital, un promediador de hardware, un bloque FIFO y un comparador digital.

Los secuenciadores de muestreo son, en esencia, multiplexores programables que conectan las entradas del conversor ADC (A/D) a uno de los 16 canales de entrada analógica en una secuencia particular que puede ser programada. La ventaja de tal disposición es evitar la sobrecarga que se produce al tener que cambiar los canales de entrada al convertidor A/D a intervalos regulares, haciéndolo, automáticamente mediante hardware.

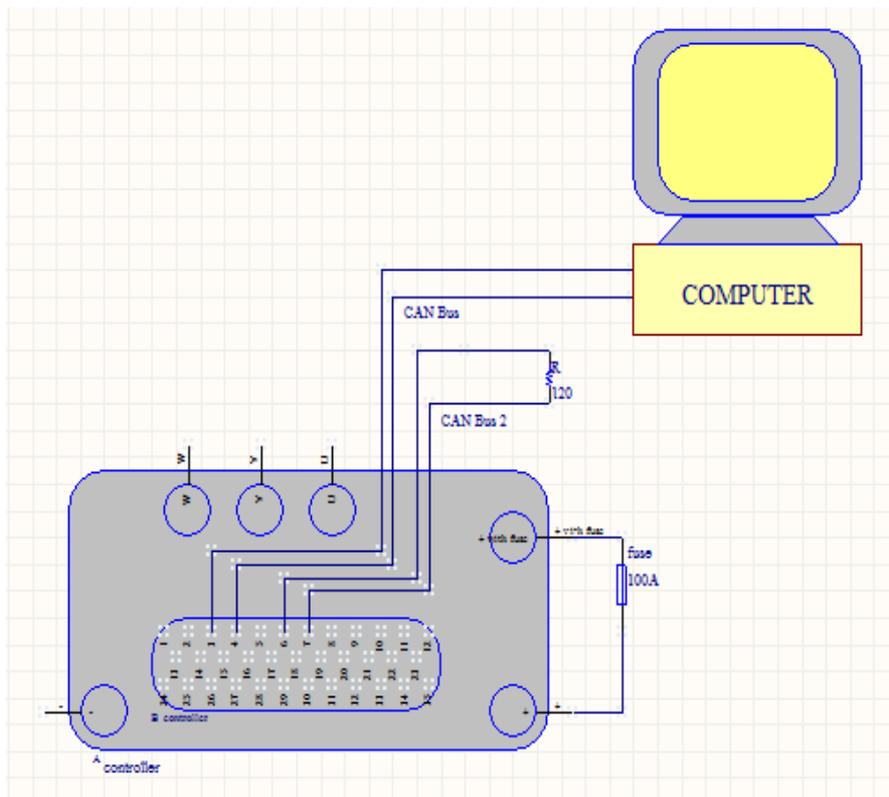
El convertidor A/D digitaliza el valor de la señal analógica que presenta el secuenciador de muestreo, y el resultado se transmite al promediador de hardware.

El promediador de hardware, si está en uso, almacena hasta 64 resultados consecutivos recibidos desde el convertidor A/D y a continuación calcula la media aritmética de los resultados. El valor medio se guarda en uno de los 4 FIFOs correspondientes a cada uno de los 4 secuenciadores de muestreo, es decir, no se trata de un promedio realizado en funcionamiento.

6 CONEXIÓN DEL INVERSOR CC/CA AL PC

En primer lugar, el inversor debe estar conectado al ordenador para poder programar el control de velocidad del motor.

La conexión se realiza tal y como se puede ver en el esquema siguiente:



Mientras se realiza la conexión entre el ordenador y el inversor, el motor no debe estar conectado al circuito. Tan sólo estarán conectados el inversor, la placa de control (a la que se conecta el cable entre el inversor y el PC) y el ordenador. Los pines que están activos en el proceso de enviar el programa del PC al inversor son los pines 3, 4, 6 y 7, que son los pines CAN_H y CAN_L.

6.1 Cable de conexión entre el inversor y el ordenador

Para la conexión entre el inversor y el ordenador es necesario el uso de un cable especial, también de la misma compañía Sauer Danfoss.

Este cable es el *CG150 CAN/USB Gateway Interface Communicator*.

El *Sauer-Danfoss CG150 CAN Interface* es otro elemento de la familia PLUS+1™ de control de maquinaria móvil. El CG150 permite la interacción entre los módulos PLUS+1 en el bus CAN y el puerto USB del ordenador.

Para realizar la conexión entre el inversor y el ordenador a través del cable, se unieron los pins del inversor a la placa de control y el cable hacía la unión entre la placa de control y el ordenador.

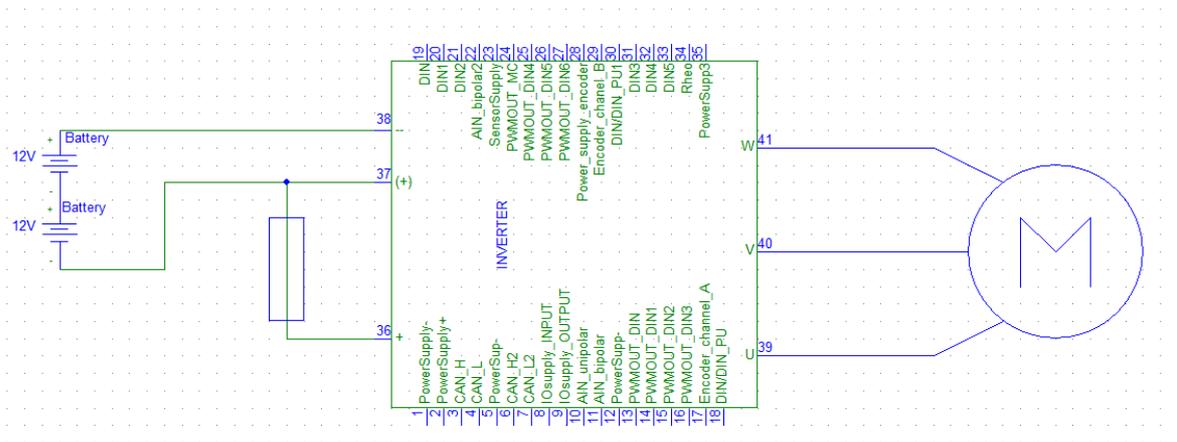


6.2 Conexiones en el quad

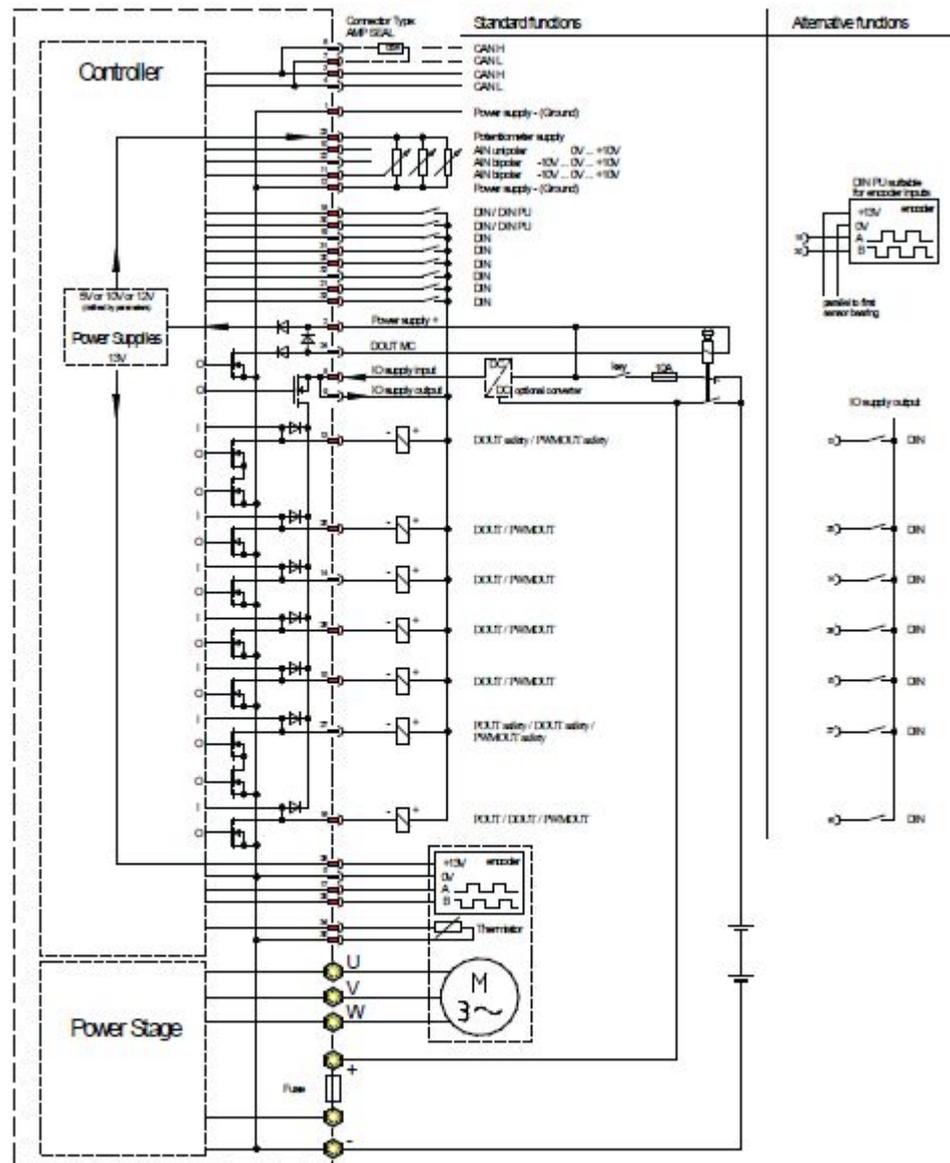
Una vez programado el convertidor CC/CA, este se conecta a la fuente de alimentación (baterías) y al motor.

En el caso de utilizar el control electrónico de velocidad, como es el caso de este proyecto, los pins del bus CAN se conectan también a los elementos correspondientes que se encargan de dicho control. Sin embargo, durante el proceso de realización del proyecto, es importante comprobar que el quad funciona antes de realizar cualquier tipo de control de velocidad. En este caso, no conviene conectar los pins de control a ningún otro dispositivo. El único elemento que es necesario durante ese paso es un interruptor que corte el suministro de corriente lo que obligará a que el quad se detenga.

Este sistema sólo se usa como prueba para comprobar que el quad funciona correctamente con el motor eléctrico, independientemente de que la velocidad sea una u otra.



El esquema de conexiones finales entre el inversor y los demás dispositivos se indican en el esquema siguiente. En él están especificados cada uno de los pines. Aunque para este proyecto tan sólo se utilizaron los relacionados con el control de velocidad, también se preparó la placa de control para poder hacer otro tipo de controles en proyectos futuros.



6.3 Software (programación)

La programación del conversor se realiza a través del programa PLUS+1 GUIDE, especialmente diseñado para programar convertidores de la marca Sauer Danfoss.

El control de velocidad se realizó en dos pasos. En primer lugar todo el control se manejó desde el ordenador y, una vez comprobado que el control funcionaba, se hicieron las conexiones para el control desde el manguito del manillar.

5 SOFTWARE

1 PLUS+1 GUIDE

La misma compañía que fabrica el motor y el inversor, Sauer Danfoss, también proporciona el programa GUIDE Plus+1, especialmente diseñado para programar los inversores Sauer Danfoss.

Existen dos programas necesarios para crear o modificar un programa y enviarlo al inversor.

PLUS+1 GUIDE (la versión que se utilizó para el proyecto fue la 4.2)

GUIDE (Graphical User Integrated Development Environment) es un miembro de la familia de productos PLUS+1 que proporcionan soluciones completas para el control de vehículos. Otros productos de PLUS+1 son controladores, displays y productos electrohidráulicos.

GUIDE permite desarrollar de forma gráfica aplicaciones de gestión de las máquinas, las descarga del software a través de CAN y el desarrollo de servicios específicos del usuario y herramientas de diagnóstico.

Se ha utilizado este software para programar el código que más tarde se ha enviado al inversor. Es importante tener una licencia con el fin de tener libertad para crear un nuevo programa, ya que sin ella tan sólo es posible abrir y leer archivos antiguos ya programados, pero no es posible ningún tipo de modificación.

El software GUIDE tiene su propio lenguaje de programación. Antes de empezar a trabajar con el software, es necesario descargar de la página web de Sauer Danfoss los “archivos de hardware” concretos del motor e inversor que se vayan a utilizar para poder programar posteriormente su control.

Estos “archivos de hardware” contienen información técnica sobre el componente ya pre-programada para el software de PLUS+1. Además de esto, también contienen un archivo de texto con los nombres de las entradas y salidas y los tipos de valores que estas entradas o salidas pueden soportar para facilitar al usuario la programación de su propio código.

1.1 Objetivos

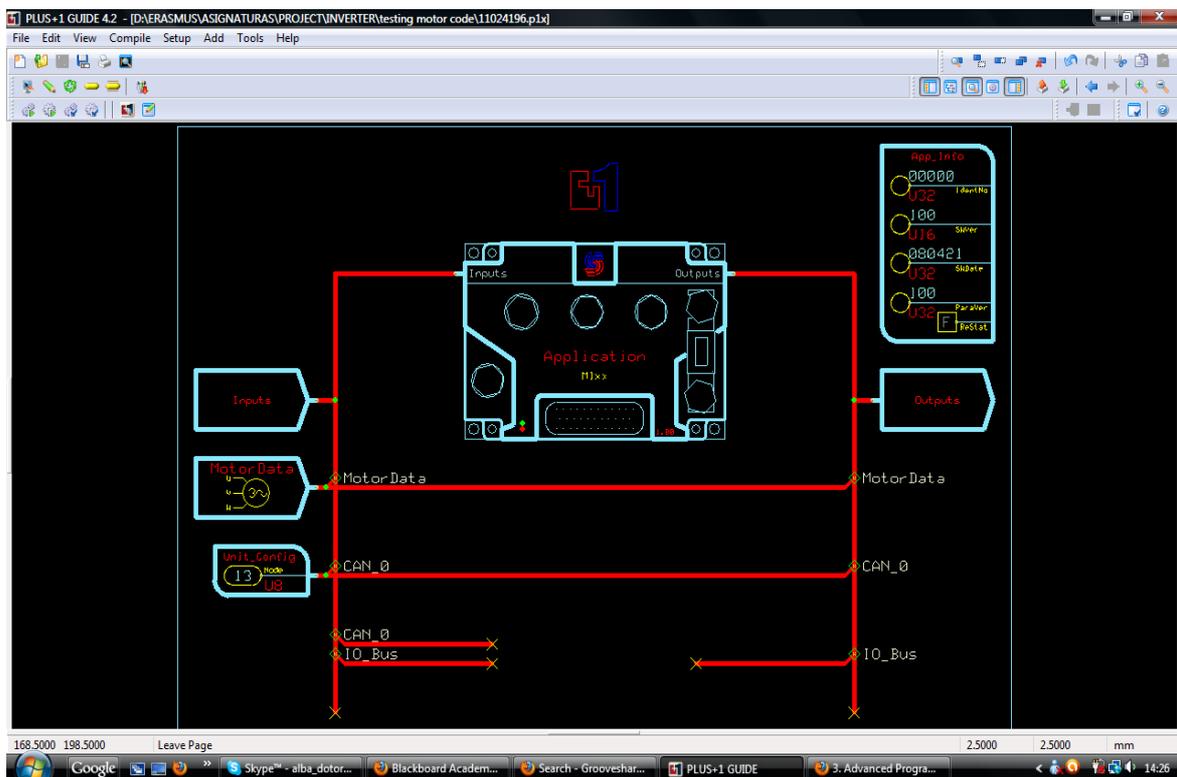
El uso principal del inversor es convertir la tensión DC a AC trifásica, pero con PLUS+1 GUIDE también tenemos la posibilidad de hacer el control del motor mediante este inversor, enviando un programa al inversor por medio del bus CAN con el fin de que el control del vehículo se realice directamente desde el inversor.

Una vez terminado el programa, en un principio el control se realizó desde el ordenador, para comprobar que todo funcionaba correctamente, y una vez este objetivo estuvo conseguido, se modificó el programa para permitir también que todo el control de velocidad se realizase desde el microcontrolador. De este modo, el microcontrolador envía los datos al inversor a través del CAN para que modifique la velocidad.

1.2 Ejecución

La página principal del programa es la página con el archivo de *hardware* del inversor.

1.2.1 Página principal

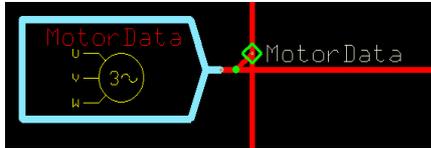


Cada una de los bloques de color azul es una nueva página dentro de nuestro programa. En cada una de estas páginas es posible ver y modificar datos relacionados con nuestros dispositivos o con los valores, por ejemplo, de tensión que les llegarán.

Estas páginas secundarias a las que se puede acceder desde la página principal aparecen al instalar los “archivos de *hardware*” de nuestros dispositivos, que previamente se han descargado de la web de la compañía.

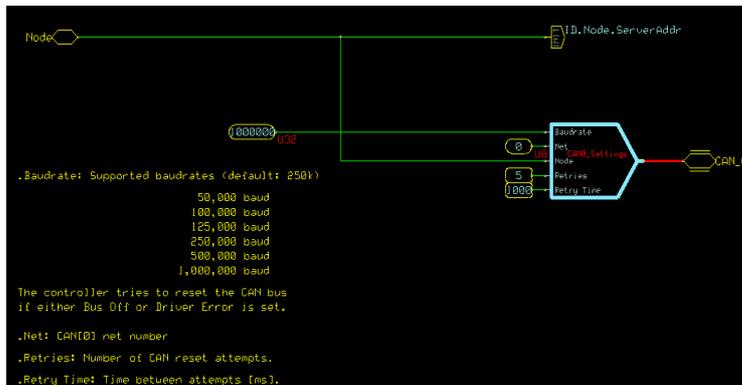
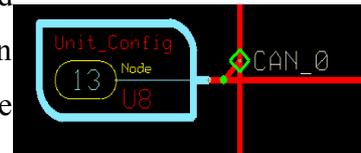
TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD

Dentro de cada una de los bloques de “archivos de hardware” aparecen nuevas cajas con los datos de las entradas y salidas, *inputs* y *outputs* que por lo general no es necesario modificar.

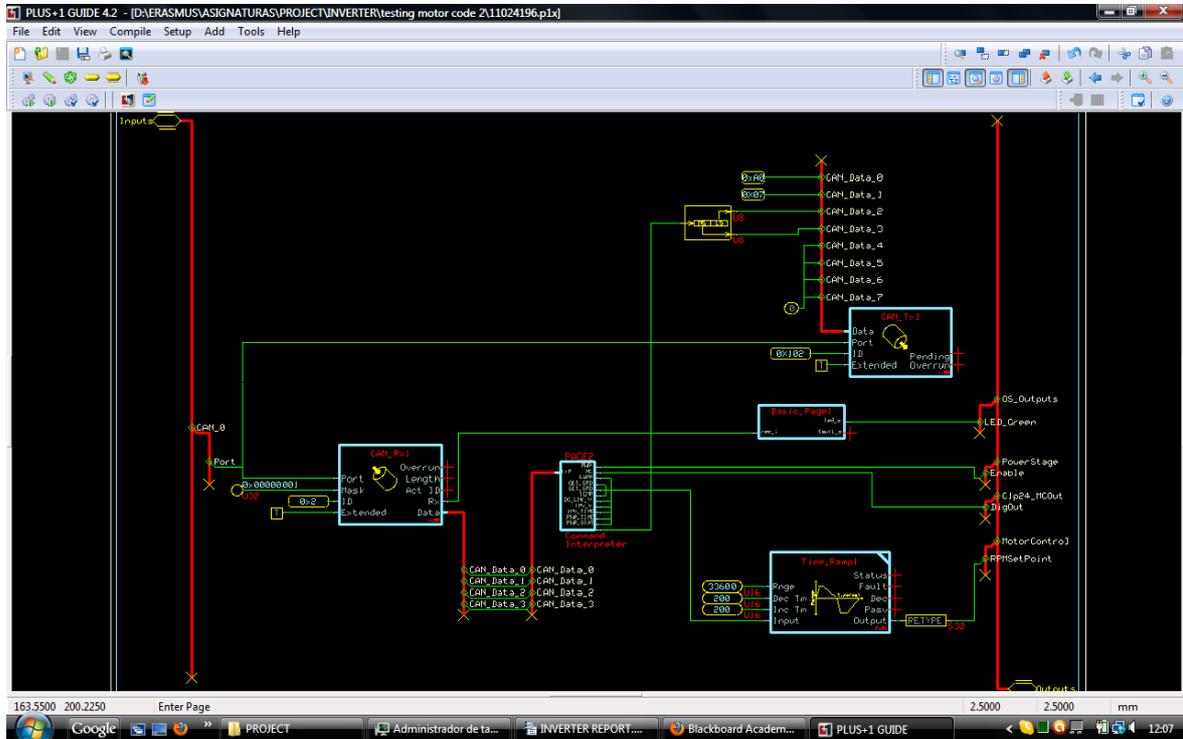


También nos aparece en esta página principal la página de datos del motor, donde es preciso editar los datos precargados por los datos reales del motor a utilizar.

Y la *CAN_0 Unit_Config*, página de configuración de la unidad de *CAN0* (la que se ha utilizado en el proyecto), donde aparecen algunos ajustes, como la velocidad de transmisión (en este proyecto se ha elegido 1M para poder trabajar a la misma velocidad de transmisión que el microcontrolador).



1.3 Inversor



Esta es la apariencia de la página del inversor. Al principio, cuando el archivo de *hardware* se inserta en el archivo del proyecto éste está vacío. En ese momento, la página del inversor cuenta tan solo con la entrada y las salidas.

Esta es la página más importante del programa, ya que en la página del inversor es donde se añade toda la programación de control del motor.

La imagen muestra el código de control del vehículo de este proyecto, teniendo en cuenta que, al igual que ocurría en la página principal, cada una de las cajas azules es una nueva página.

Aquí se van a explicar uno por uno los bloques más importantes para el control del quad.

Se explicarán con detalle el *CAN_Rx1*, el *CAN_Tx1* y el *PAGE2-COMMAND INTERPRETER*.

El resto de las páginas, las cuales no se van a describir con detalle, son:

- *BASIC PAGE1* (página básica 1): trabaja como “perro guardián” (*watch dog*) y hace parpadear un led mientras el proceso está funcionando.
- *TIME RAMPI* (rampa de tiempo 1): este bloque envía un valor de salida que es un valor proporcional al de la entrada. Se utiliza para ajustar la velocidad.

La base del código de este proyecto es que CANRx1 recibirá los datos en serie desde el CAN, pasa los datos a paralelo y envía estos valores en paralelo del *CAN_data* a la página de *COMMAND INTERPRETER* (intérprete de comandos).

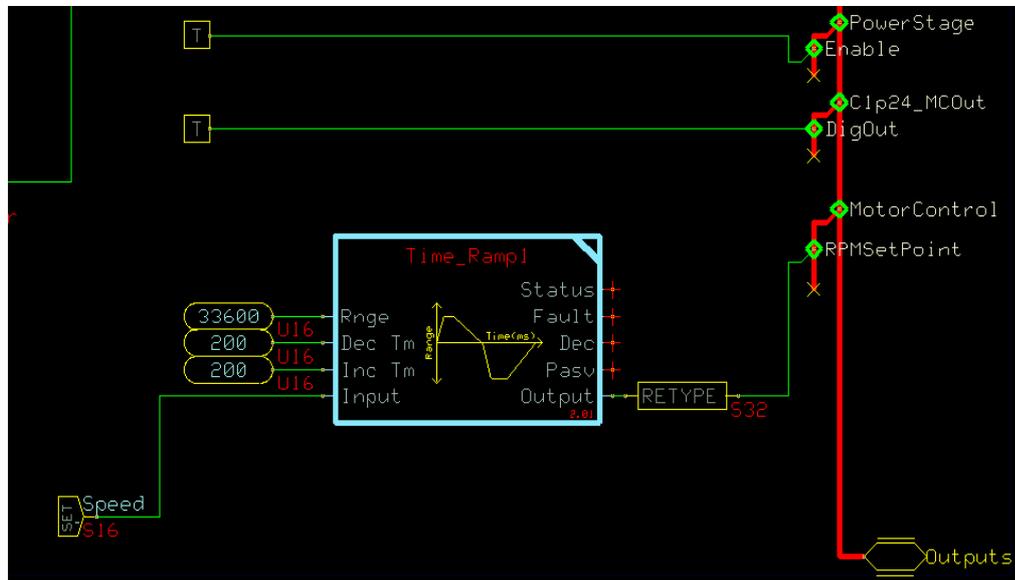
Tan solo se utilizan los primeros 4 bytes de datos del CAN, lo cual significa que se utilizan desde el *CAN_data_0* hasta el *CAN_data_3*.

El valor en *CAN_data_0* es aquél valor que nos indica el comando, mientras que los valores desde *CAN_data_1* hasta *CAN_data_3* son los que establecerán el valor de la velocidad, tal y como se explicará más adelante en la página del intérprete de comandos. Las salidas que vamos a utilizar en este bloque son *Power*, *MC* y *Set_Speed*. Los pins *Power* y *MC* van conectados a sus conexiones correspondientes en el bus de salida para hacer el control ON/OFF de la alimentación.

El pin *Set_Speed* (ajuste de velocidad) es la salida con valor de la velocidad y va conectado a la página *TIME RAMP* (rampa de tiempos). Esta pagina tan sólo se utiliza para modificar el valor de la entrada de velocidad y modificarlo de forma proporcional dentro del rango de salida. Una vez el valor de *Set_Speed* se ha adaptado al rango de salida, se conecta al Control del Motor (RPMSetPoint).

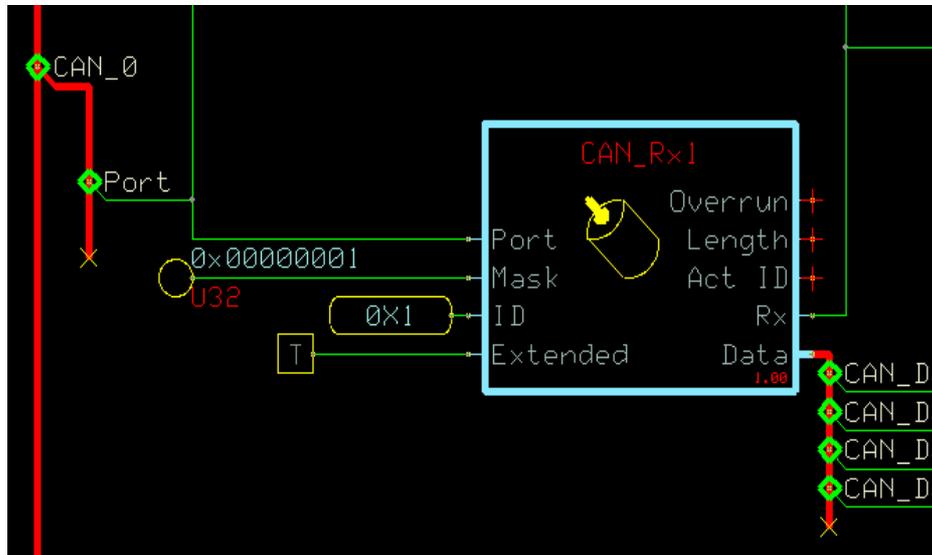
CAN_Tx1 trabaja de forma similar a la del *CAN_Rx1*, pero en este caso su tarea es la contraria. *CAN_Tx1* toma los valores del *CAN_data* en paralelo y los pasa a datos en serie antes de enviarlos. En este proyecto, los datos que el inversor envía no nos interesan para nada, ya que no los utilizamos, pero en el caso de que posteriormente se trabajara en modificaciones de este software y mejoras del proyecto podría ser necesario utilizar estas salidas *CAN_Tx1* para enviar los datos que se creyese conveniente que envíe el inversor.

La imagen que se muestra a continuación es parte de la misma página vista en la última figura, pero en este caso con algunas modificaciones que fueron necesarias para hacer la prueba del programa desde el PC.



Establecimos el *PowerState* (estado de funcionamiento ON/OFF) siempre *verdadero*, de modo que el motor está siempre en marcha. La velocidad está conectada a una variable modificable desde el programa *Service Tool* mientras el ordenador está conectado al sistema (motor + inversor) y funcionando.

1.4 CAN RECEIVE → CAN_Rx1



Esta es la página del *CAN RECEIVE* (receptor CAN). Esta página viene ya precargada en el programa y se puede encontrar directamente en el panel de funciones del programa, dentro de “*SD Basic FB Library*”. Su función es recibir los datos que vienen del bus CAN. Existen 3 páginas precargadas diferentes para el bloque *CAN RECEIVE*, entre las que se elegirá según la complejidad de los mensajes y el ID. En el caso de nuestro vehículo creímos conveniente utilizar el bloque preparado para mensajes de complejidad media. El de nivel de complejidad bajo no nos era suficiente, ya que no permite mensajes con máscara para el ID, y el proyecto cuenta con una máscara para el ID. En cambio, el bloque para mensajes de complejidad alta no nos era útil, ya que está preparado para mensajes en los que, tanto el ID como los mensajes de datos utilicen máscara y en el proyecto presente, el mensaje de datos no utiliza ninguna máscara.

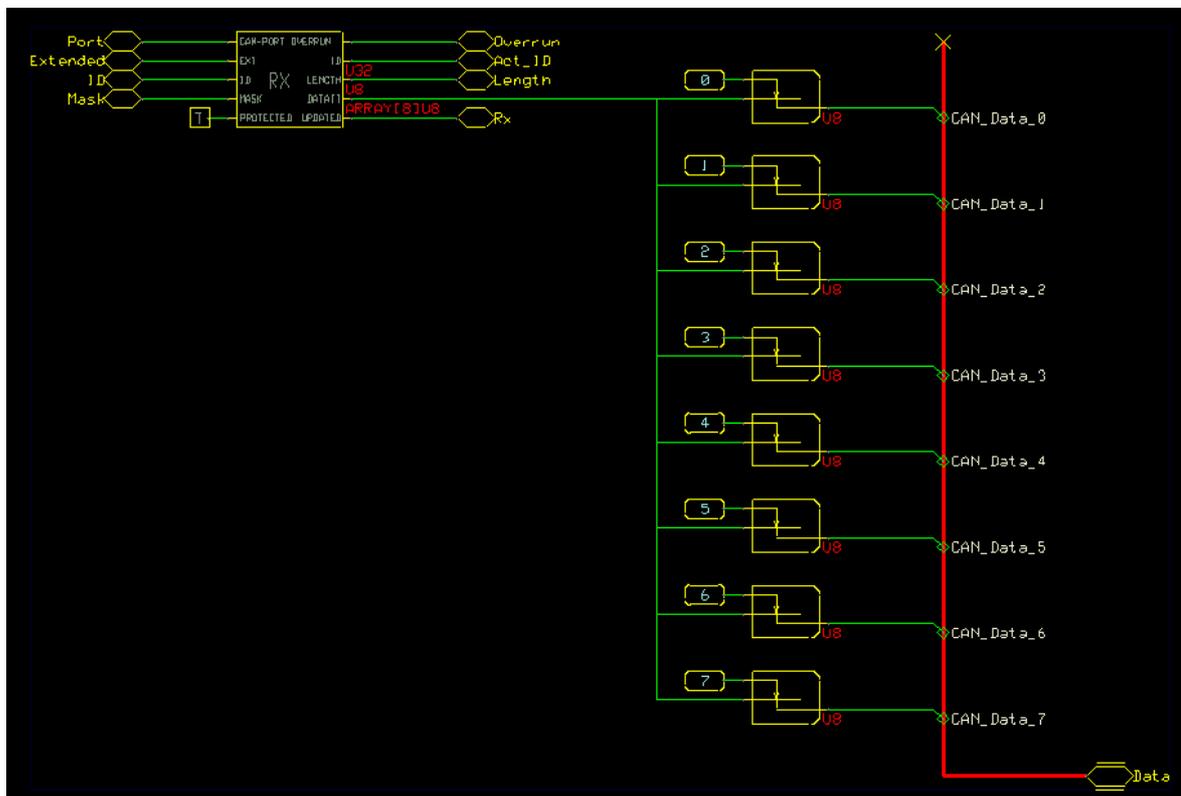
Las entradas a la página se localizan en la parte izquierda del bloque:

- El *Port pin* debe ir conectado al bus *CAN_0* como se indica en documento API del archivo de *hardware*.
- ID para el inversor es simplemente 0x1.

- El *Mask pin* (pin de máscara) es la máscara para el mensaje ID (mensaje de identificación). Un valor '0' es un valor “no importa”, de forma que se establecerá ese valor para indicar que sólo nos interesa el primer bit, que se establecerá si el mensaje CAN es para el inversor.
- *Extended* (extendido) es el tipo de CAN que se está utilizando. Es posible utilizar un protocolo de 11 bits o uno de 29 bits. En este proyecto se utiliza el protocolo de 29 bits, por lo que el pin *Extended* es 'True'.

En el lado derecho se encuentran las salidas del *CAN RECEIVE*. Parte de los pins de salida no son útiles para el actual proyecto, así que se mantienen desconectados.

La siguiente figura muestra el interior del bloque (o página) *CAN_Rx1*:



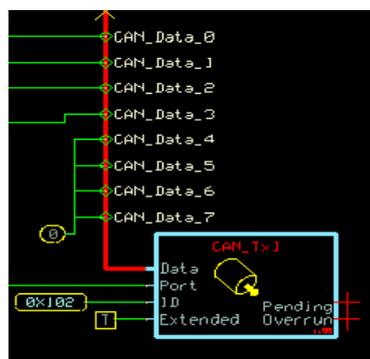
En esta imagen se pueden ver de nuevo los pines de entrada y salida de la página, como ya se ha explicado. Se aprecia también con mayor claridad el funcionamiento de los pines de salida, que se van a explicar a continuación.

En el proyecto, tan sólo se hace uso de los pines de salida de datos y del pin *Rx*.

- Datos: la información se obtiene desde el *CANbus*, pero la información CAN nos llega en forma de datos en serie, así que, para facilitar el uso de estos datos, dentro de la página *CAN_Rx1* se transforman estos datos que llegan en serie en datos en paralelo.
- **Rx (pin actualizado)**: este pin da el valor 'True' en el momento en el que se recibe un nuevo mensaje.

1.5 CAN TRANSMIT → CAN_Tx1

A continuación se muestra la página *CAN TRANSMIT*. Al igual que se ha dicho para la página *CAN RECEIVE*, ésta también es una página que viene precargada en el programa. Se puede encontrar dentro del panel de funciones, dentro de “*SD Basic FB Library*”, y su función es recibir todos los datos que llegan desde el bus CAN.



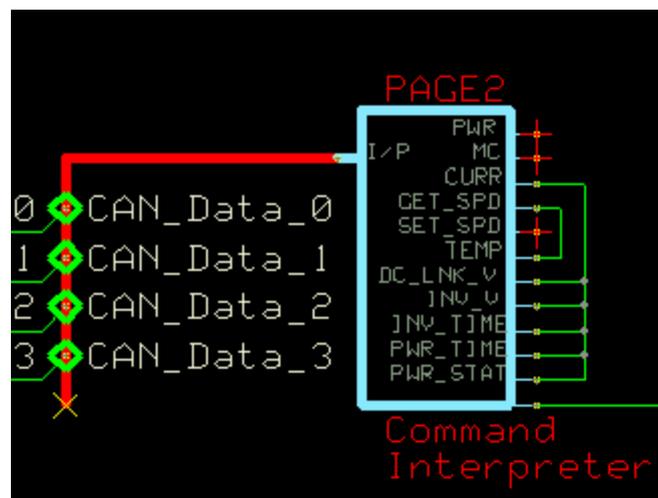
Este bloque cuenta con las siguientes entradas:

- **Port**: como en el *CAN_Rx1*, este pin debe conectarse al bus *CAN_0*, tal como indica el documento API de los archivos de *hardware*.
- **ID**: en este caso el ID no es importante, debido a que no se envía ningún mensaje desde el inversor al microcontrolador, sino que siempre es el microcontrolador el que envía información y el inversor el que la recibe. En el caso de que se quisieran enviar mensajes en el sentido contrario, del inversor al microcontrolador, entonces sí se utilizaría esta entrada.

- **Extended:** tal y como se ha dicho anteriormente en el bloque *CAN_Rx1*, en el proyecto se hace uso del protocolo de 29 bits, por lo que este pin permanece siempre con el valor 'True'.
- **Data:** estos son los datos que son enviados a través del CAN. En este caso, tan sólo el *CAN_data_2* y *CAN_data_3* están conectados a los valores de información del *power_state* (estado ON o OFF) y temperatura. El resto de los valores se establecen a '0'. Pero tal y como ya se ha nombrado con el ID, la información enviada por el inversor a través del bus CAN no es importante, ya que el microcontrolador no la tiene en cuenta.

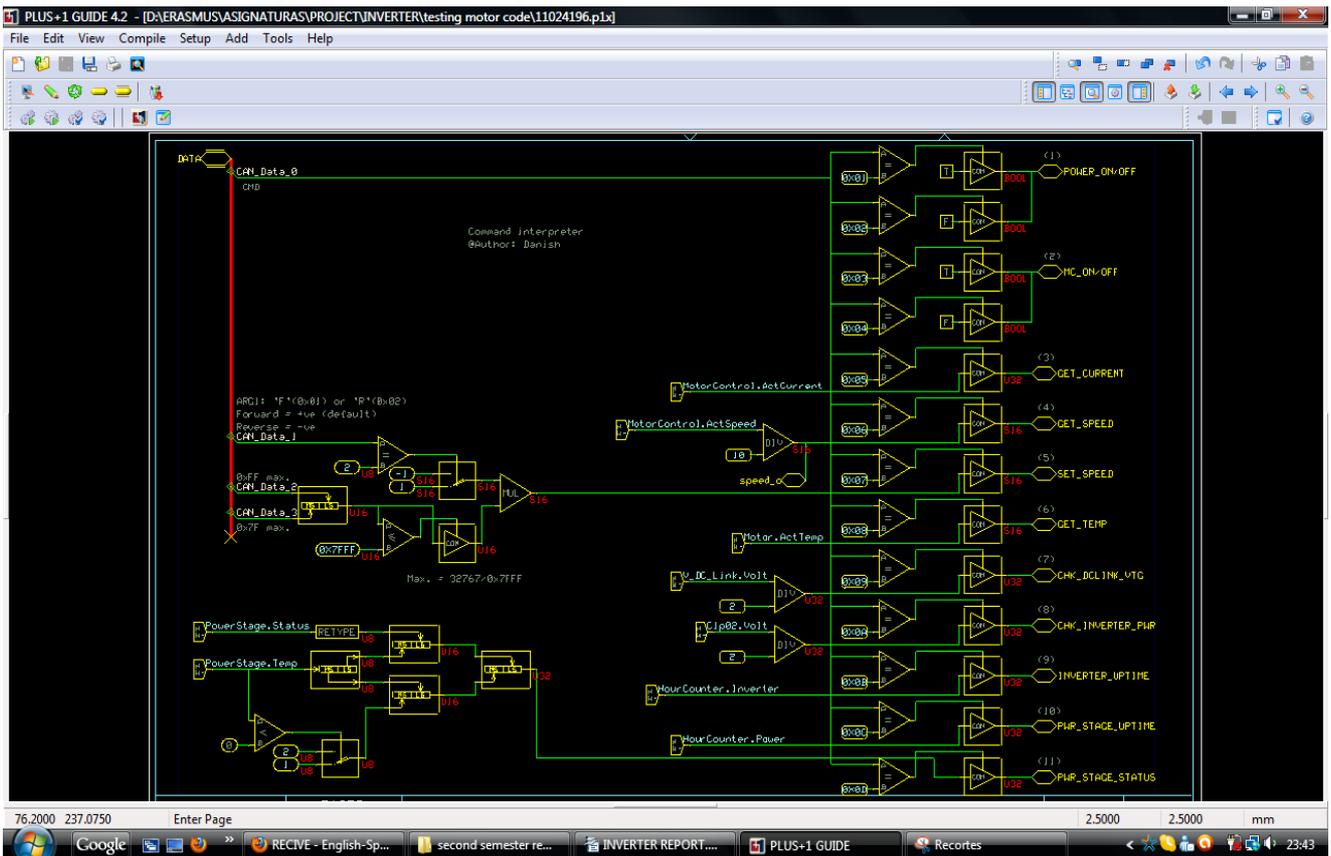
Las salidas (pins localizados en el lado derecho del bloque) no se utilizan y por ello no están conectadas. No obstante, estas salidas indican cuándo hay un mensaje todavía pendiente, cuándo está enviado y cuándo hay un nuevo mensaje para enviar y el anterior todavía no ha sido enviado.

1.6 Página 2 → Command Interpreter (intérprete de comandos)



Éste es el bloque que interpreta los datos que provienen del *CAN_data*. Los datos le llegan en paralelo desde la salida del *CAN_Rx1*.

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD



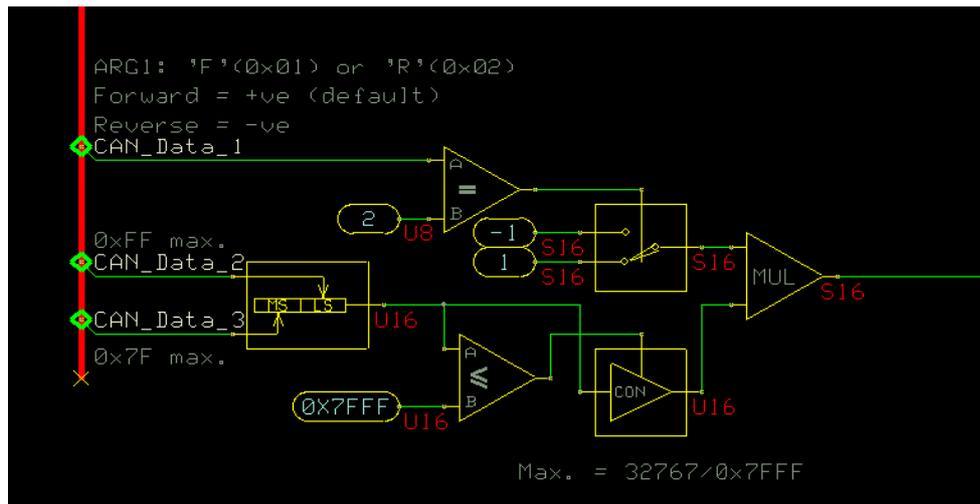
El *CAN_data_0* se utiliza para elegir cual de los datos se va a configurar, revisar o cambiar.

En primer lugar, el valor de *CAN_data_0* se compara con las diferentes opciones y, a continuación, en función del valor que tenga, indicará cual es el objetivo, que puede ser encender el motor, apagarlo, ajustar la velocidad, comprobar la temperatura del motor, etc.

Por ejemplo, si el valor de *CAN_data_0* es 0x1, significa que se quiere encender la unidad, si es 0x2, significa que se pretende desconectar la alimentación...

En este proyecto se utilizan tan sólo algunas de las opciones, pero se ha diseñado para que, en caso de mejoras posteriores del proyecto, todas estas opciones ya estén configuradas y sólo sea necesaria su conexión.

Si el valor de *CAN_data_0* es igual a 0x7, entonces está preparado para establecer una nueva velocidad.



En ese caso, el valor de `CAN_data_1` nos indicará la dirección del movimiento. Si es 0x1, el quad se moverá hacia delante, mientras que si es 0x2, se moverá hacia atrás.

Ese valor se compara con 2. Si el valor de `CAN_data_0` es 2, en la salida del conmutador aparecerá un '-1', que se multiplica por el valor de la velocidad y, por tanto, la velocidad será inversa. Si el valor del `CAN_data_0` es 1, marcha adelante, se enviará un '1' a la salida y la velocidad se multiplicará por ese valor, de forma que tenemos velocidad positiva.

Los valores de `CAN_data_2` y `CAN_data_3` establecen el valor de la velocidad. El Byte más significativo será el `CAN_data_3` y el menos significativo será el `CAN_data_2`. El valor completo se compara con 0x7FFF que representa el valor máximo de velocidad. Si la velocidad es menor o igual a este valor, entonces se transmitirá el valor al pin de salida `Set_Speed` del *Command Interpreter* con signo positivo si se trata de velocidad de avance o con signo negativo si es marcha atrás.

2 PLUS+1 GUIDE SERVICE TOOL

Plus+1 GUIDE Service Tool es el programa que permite la transferencia de código a través del bus CAN desde el PC hasta el inversor. Es un programa directamente conectado al Plus+1 GUIDE 4.2, de modo que tras guardar y compilar el código en Plus+1 GUIDE 4.2, es posible utilizarlo en el Service Tool.

Service Tool permite, no sólo enviar el código programado desde el ordenador al inversor, sino también hacer uso del navegador de diagnóstico. Este navegador permite crear archivos de parámetros que se utilicen como parámetros operativos del inversor, cargar y descargar dichos archivos e importar y exportar esos archivos de parámetros a formato “.xml”.

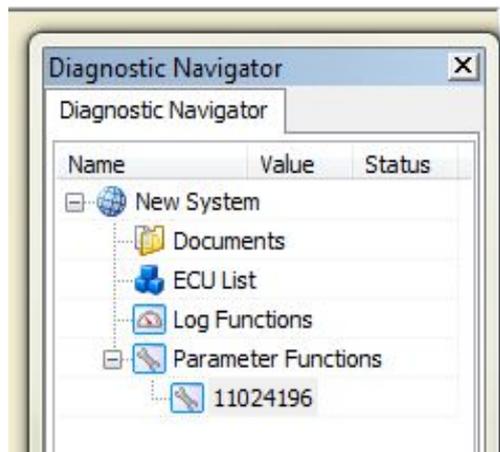
2.1 Ejecución

Para hacer uso del Service Tool es imprescindible estar en todo momento conectado al inversor a través del bus CAN, ya que en el momento en el que el PC detecta que el equipo no está conectado al bus, éste no permite ningún tipo de manipulación de los archivos, ya sea abrir proyectos, abrir archivos del navegador de diagnóstico o cargar o descargar archivos.

Una vez todo está correctamente conectado, la herramienta *Service Tool* detecta el cable CAN y la esquina inferior derecha se volverá de color verde. Lo que nos indica que, a partir de ese momento cualquier archivo o proyecto se puede descargar al inversor y el navegador de diagnóstico se puede empezar a utilizar.

Si se va a utilizar algún archivo de parámetros, en primer lugar se deben crear estos archivos en el *Service Tool*. Los archivos de parámetros se crean una vez se tiene todo el sistema conectado. Son realmente útiles para cambiar variables como la velocidad o el estado de encendido y apagado del motor, pero todos los parámetros que se van a cambiar del *Service Tool* mientras se ejecuta el programa deben haberse programado anteriormente

en Plus+1 GUIDE como parámetros modificables desde *Service Tool* (en el bloque de conexión de componentes). Debe también tenerse en cuenta, que existen algunos parámetros que no pueden ser modificados desde el *Service Tool*.



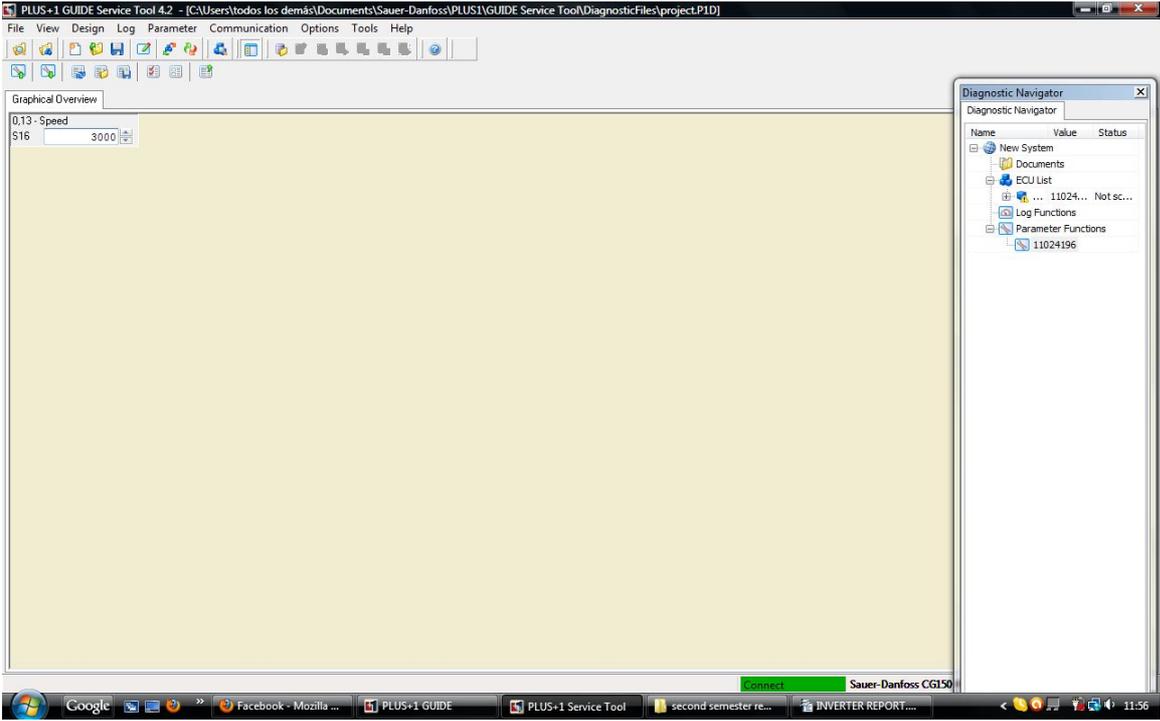
En el momento en el que se crea un archivo de parámetros es importante guardarlo con el mismo nombre con el que se ha guardado en el proyecto de Plus+1 GUIDE, y a partir de ese momento el programa lo reconocerá y sincronizará.

En el proyecto se creó un archivo de parámetros con una doble finalidad: la primera era comprobar la posibilidad de controlar el quad desde el ordenador; y la segunda, hacer un test del funcionamiento global del sistema, ya que esta fue la primera vez que todo el conjunto se puso en funcionamiento.

Este test ayudó a confirmar varias cosas. Por un lado, todo el sistema de control funcionaba perfectamente y, por otro, tal y como ya nos temíamos, las baterías que nos proporcionó la universidad no serían capaces de mover el quad (ver apartado de baterías). Tras el primer intento fallido con las baterías de las que disponíamos inicialmente, se volvió a realizar un segundo test con unas baterías distintas, dando en este caso un resultado satisfactorio. (Es importante reconocer que el resultado fue satisfactorio en cuanto a funcionamiento del sistema, aunque no en cuanto a un montaje factible, debido a que las únicas baterías que pudimos conseguir eran también viejas y con un tamaño muy superior al espacio disponible en el quad, lo cual imposibilitaba totalmente el uso del vehículo de una forma natural.)

Una vez comprobado que el proyecto creado en Plus+1 GUIDE funcionaba correctamente en el inversor, ya estaba todo preparado para hacer el control desde el potenciómetro.

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD



6 TRABAJO DE CAMPO

Este proyecto supuso un trabajo de campo importante, ya que no se trata de un estudio teórico, sino que el proyecto en sí implica todas las modificaciones necesarias en un vehículo real. Por ello, fue necesario desalojar del quad todos los componentes relacionados con el sistema de combustión y sustituirlos por los equivalentes para el sistema eléctrico.

Eso supone que, al realizar las modificaciones pertinentes para el sistema eléctrico, los componentes tuvieron que adaptarse en la medida de lo posible a la estructura y espacio disponible del quad. En muchos casos la adaptación era complicada, ya que no es fácil acomodar todo un nuevo sistema de tracción eléctrica en el hueco diseñado para un sistema totalmente diferente, y por ello fue necesario el diseño de nuevas piezas fabricadas a medida que posibilitaran o facilitaran esa tarea.

En este punto se explicarán los distintos pasos que se llevaron a cabo para el montaje del proyecto, intentando dejar claro todo el proceso de ensamblaje.

El primer paso fue eliminar del vehículo todos los componentes inútiles para el nuevo sistema. Para ello fue necesario desmontar el quad por completo, con la única excepción de las ruedas delanteras.

Los componentes que se eliminaron son el motor de gasolina y todas las piezas o componentes conectados a éste, como el tanque de gasolina, la caja de cambios o el tubo de escape.

El quad también contaba con una batería de 12V 4Ah, para el encendido del motor y para las luces, que también se ha descartado en el actual proyecto.

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD

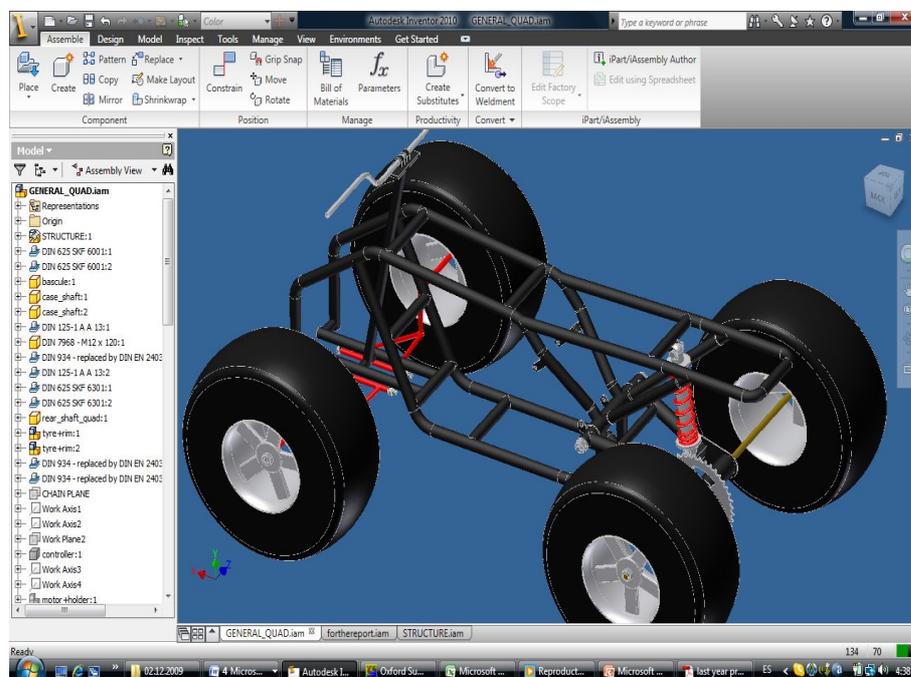


A continuación, una serie de imágenes muestran el proceso de desmontaje del sistema de combustión del quad.





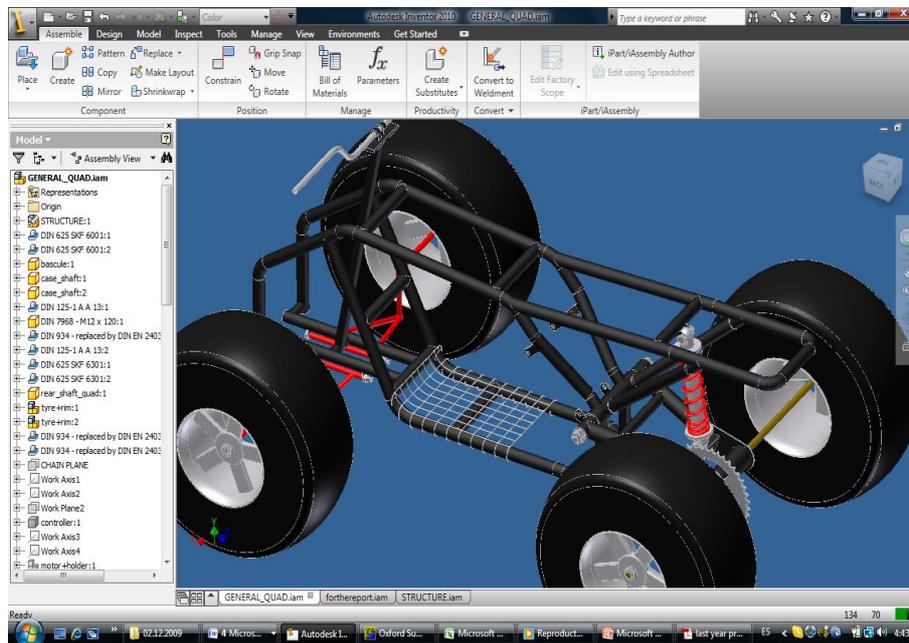
Para poder diseñar las piezas que se debían fabricar, se realizó un modelo del quad con el programa de diseño Inventor.



Era importante estudiar una buena distribución de los nuevos componentes, para optimizar el espacio disponible.

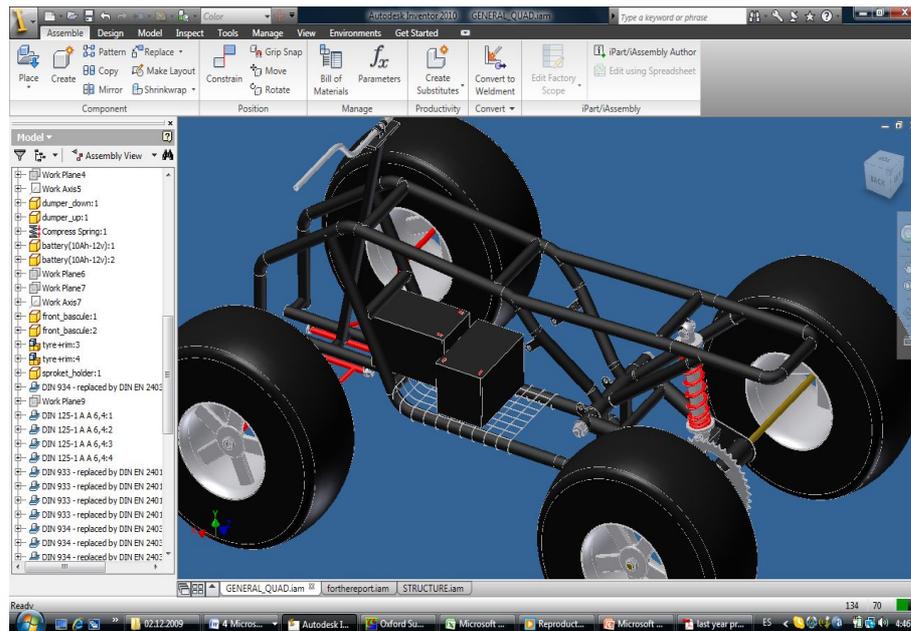
TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD

En primer lugar se decidió poner una rejilla en el fondo de la estructura para apoyar las baterías en su superficie y, de este modo, facilitar su sujeción al conjunto.

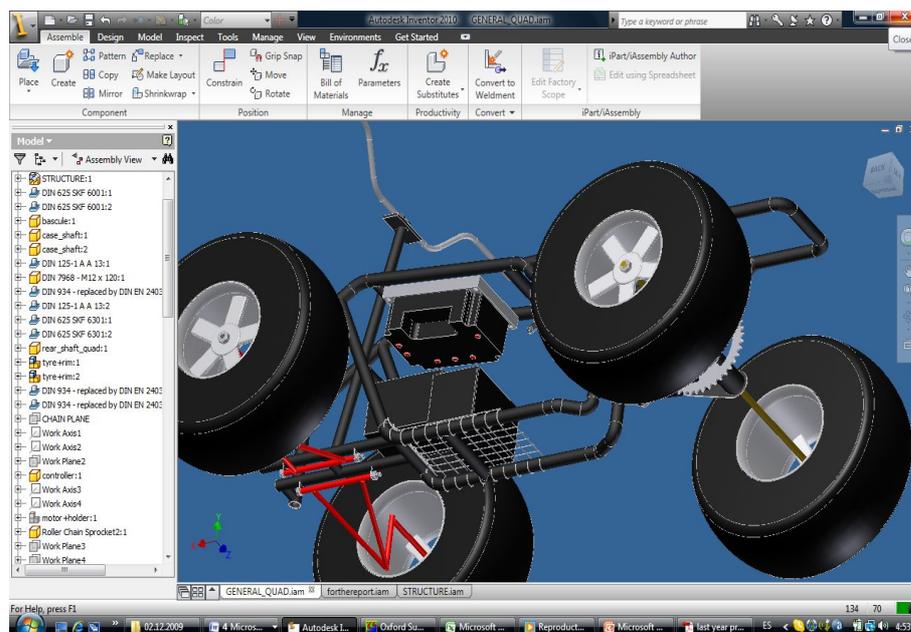


En la siguiente imagen se puede apreciar cómo las baterías se distribuyen en la estructura del vehículo.

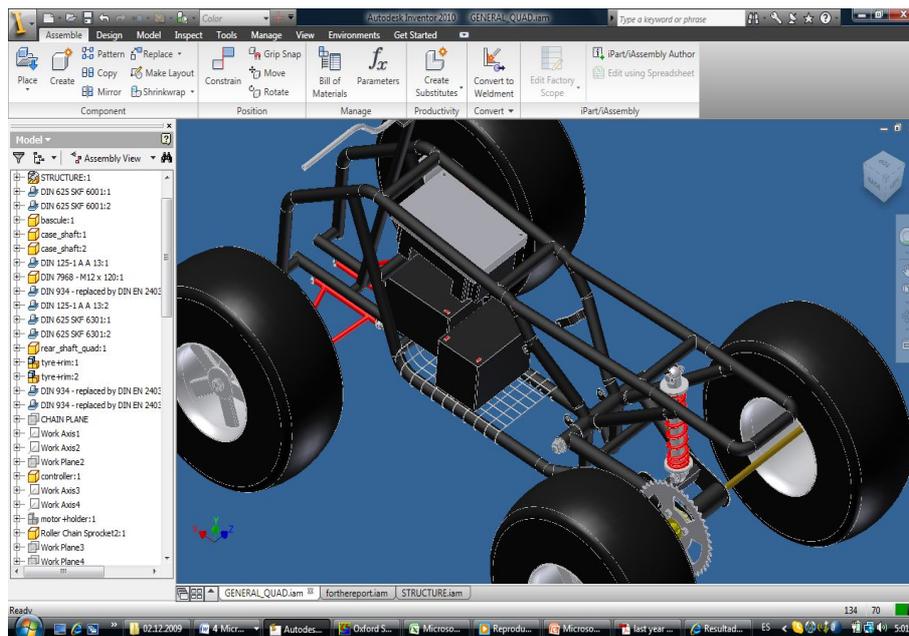
El uso de estas baterías, como ya se ha explicado anteriormente en su correspondiente apartado (elección de las baterías), se limitó únicamente a las pruebas realizadas.



El siguiente paso fue colocar el inversor. Se llegó a la conclusión de que el mejor lugar para el inversor era enganchado bajo la parte superior de la estructura. La sujeción del inversor se hizo mediante bridas de plástico.



TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD



Una vez fijados el inversor y las baterías era hora de incluir el motor. Para poder sujetar el motor en el hueco restante fue necesario fabricar varias piezas. El motor se sostenía en las barras metálicas gracias a dos piezas de acero que diseñaron nuestros compañeros de ingeniería mecánica.

TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD

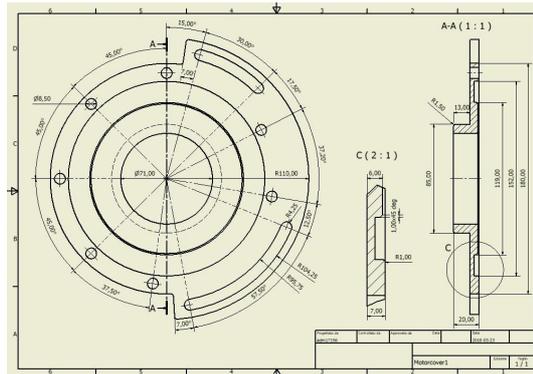


Figura: planos de la pieza delantera

Estas dos piezas se unieron al motor mediante tornillos, y éste se fijó posteriormente al chasis mediante varillas roscadas que lo atravesaban desde la pieza frontal hasta la trasera.



Figura: Pieza posterior montada en el motor (Izq.) y detalle (Dcha.)

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, los agujeros para los tornillos del antiguo sistema de combustión, sirvieron de referencia para crear las nuevas piezas delantera y trasera del motor, ya que esos eran los únicos puntos que nos ofrecía el chasis para poder fijar el motor.



Figura: espacio elegido para alojar y fijar el motor

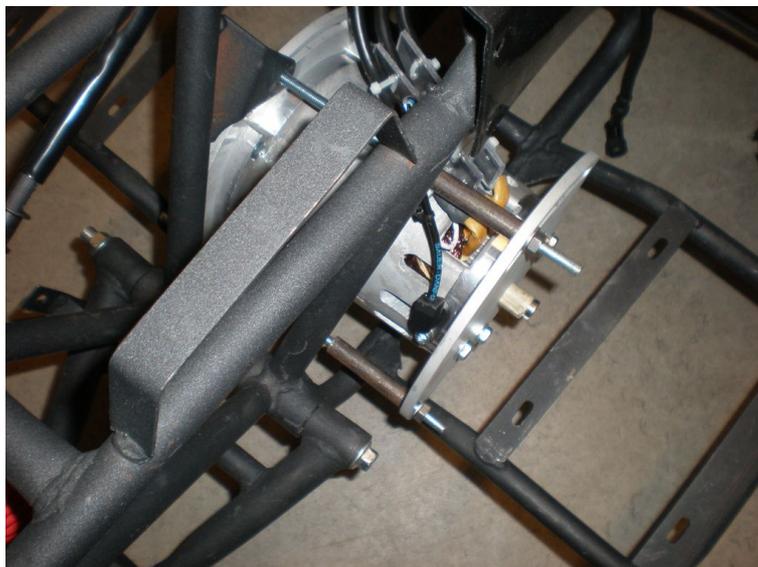


Figura: Motor montado

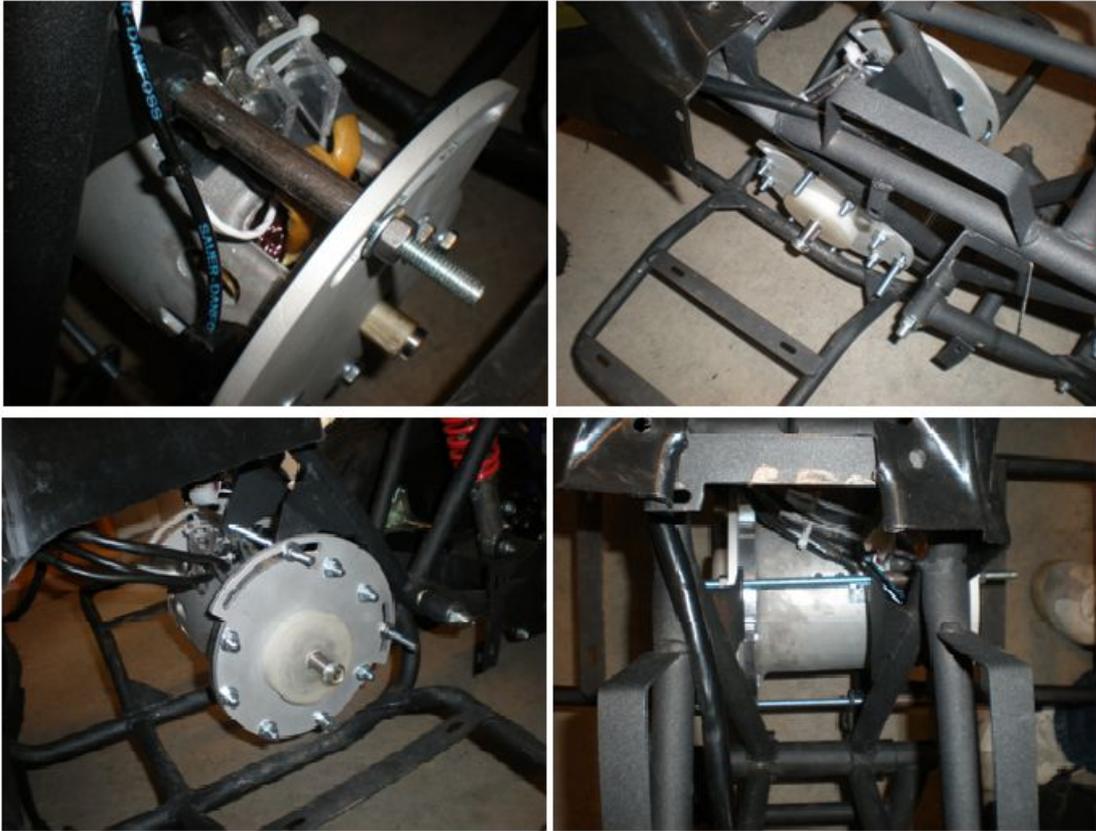


Figura: Motor montado 2

Al modificar la posición del eje del motor con respecto a la posición que tenía en el motor de combustión, la cadena original del quad no tenía la longitud suficiente, por lo que hubo que adquirir una nueva y también fue necesario diseñar a medida las dos ruedas dentadas que transmitirían el movimiento del motor a las ruedas traseras, ya que las del motor anterior no se podían adaptar.

En la siguiente figura se muestra la imagen anterior y posterior de las nuevas ruedas dentadas macizas, antes de perforarlas con las medidas de la posición de los tornillos de las antiguas.

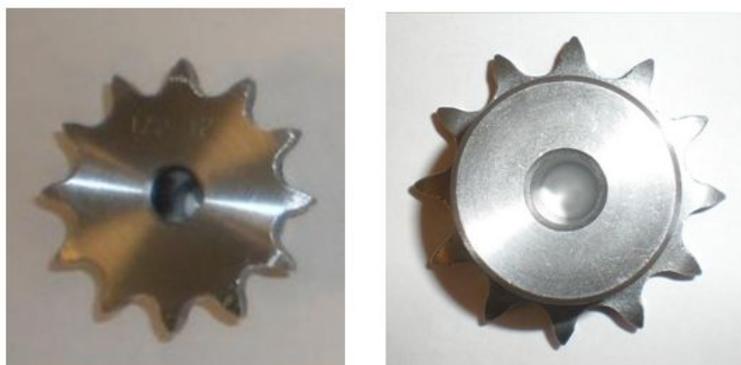
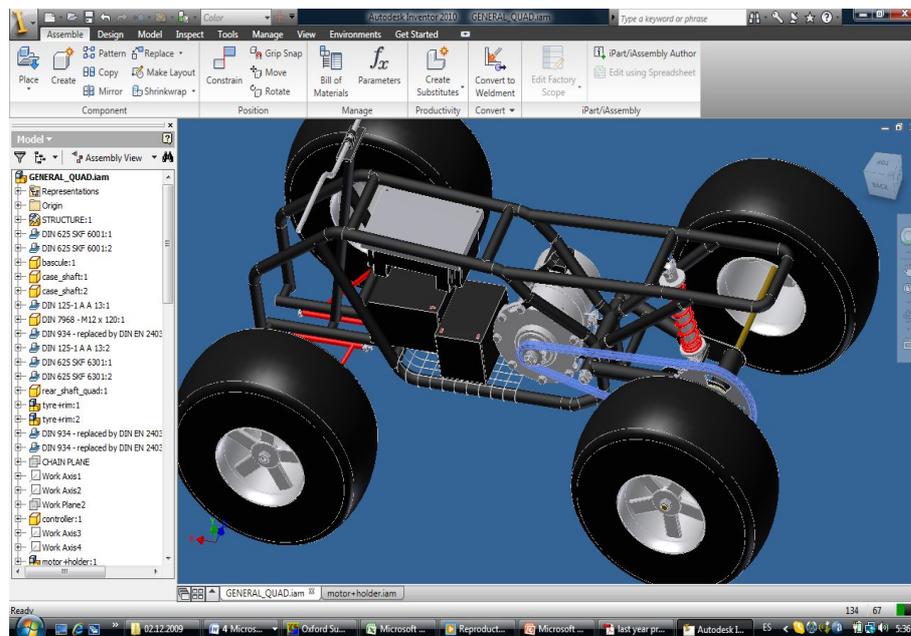


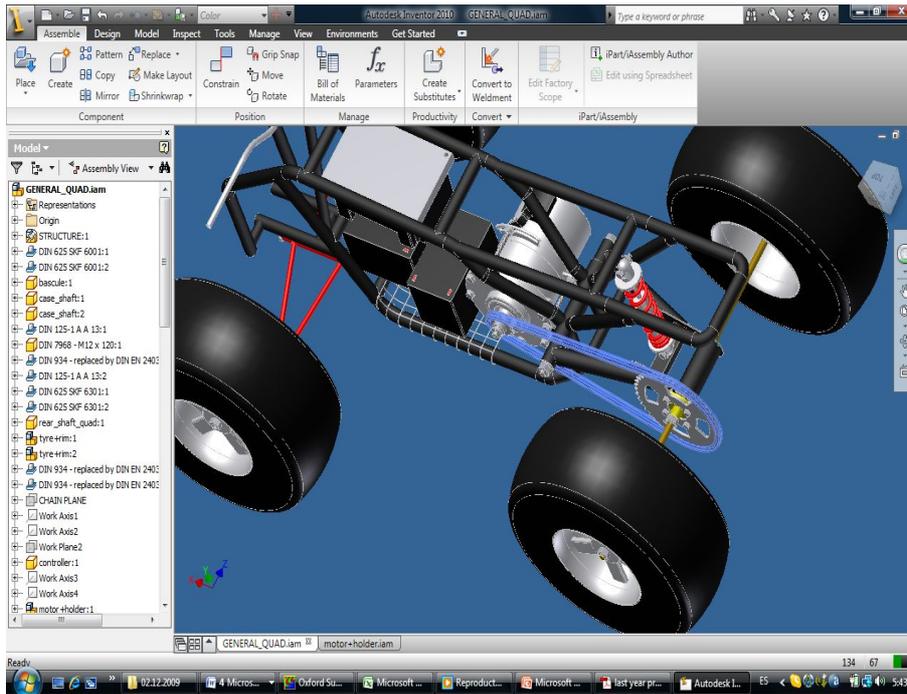


Figura: Nuevas ruedas dentadas

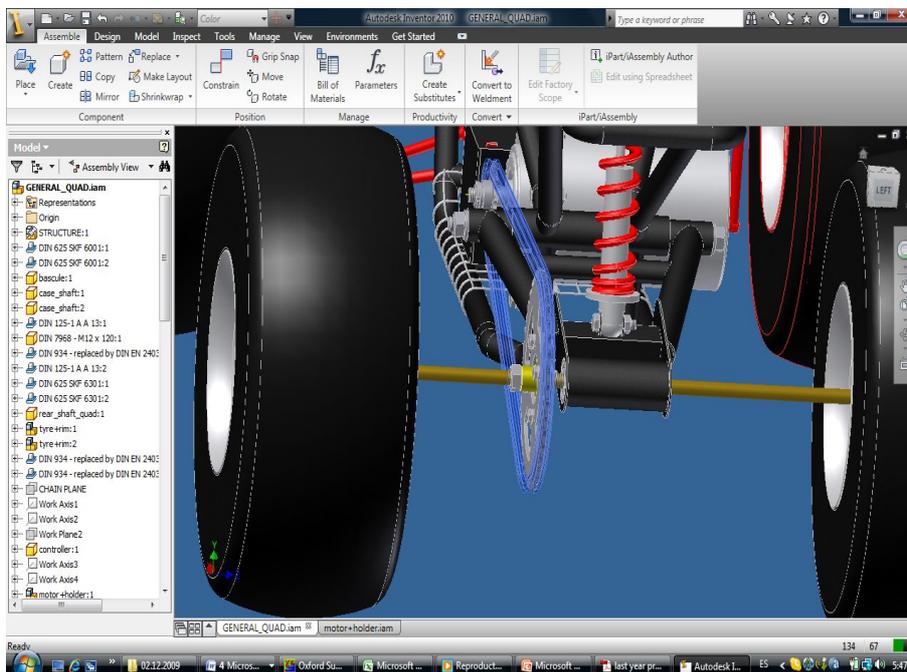
Este es el diseño 3D del conjunto, una vez incluidos todos los elementos eléctricos en su interior.



TRANSFORMACIÓN DE UN QUAD: DE GASOLINA A ELECTRICIDAD



Para meter la rueda dentada en el eje y poner la cadena, fue necesario desmontar la rueda trasera izquierda, como es de imaginar.



Una vez todo el sistema eléctrico estuvo montado, tan sólo faltaba añadir los componentes electrónicos y los nuevos manguitos de aceleración.

Para la placa del microcontrolador, se llegó a la conclusión de que el mejor lugar era debajo del asiento, en el hueco que anteriormente iba destinado a la batería del quad de combustión. El hueco era idóneo para la placa de control, ya que era un espacio desaprovechado y protegido del exterior. El tamaño era bastante pequeño, pero suficiente para la placa electrónica.



Figura: hueco para la placa del microcontrolador

Por último se pusieron los nuevos manguitos, que servirían para controlar el acelerador sin necesidad de pedales ni botones. Las conexiones para regular la velocidad desde los manguitos no dio tiempo de terminarlas, por lo que el control desde los manguitos no llegamos a probarlo, pero sí desde el potenciómetro que en un futuro iba a estar conectado a los manguitos, para calcular el grado de aceleración necesario.



Figura: Nuevos manguitos para acelerar.

7 CÁLCULOS

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

Fabricante:	Sauer Danfoss	
Modelo:	TSA 120-80	
Tensión:	15V	3PHmin-1:3360
kW:	2kW	S2-60min
E-code	008	
2p:	4 polos	
Tipo:	Rotor de jaula de ardilla	

CARACTERÍSTICAS DEL CONVERTIDOR CC/CA

Fabricante:	Sauer Danfoss	
Modelo:	MI06-S-24/400-P	
Input:	24V - 30% - +50%	
Output:	3Fases 0 - 16V	max. 400A
Tensión nominal:	24V	
Rango tensión entrada:	16-36 Vdc	<input type="checkbox"/> baterías = 2 · 12 = 24V
Corriente nominal:	200Arms	
Tensión salida:	3 x 0...16V	<input type="checkbox"/> necesitamos $V_o = 15V$

* Conectores de señal de línea: AMPSEAL 35 pins

Estos inversores están especialmente diseñados para controlar motores de inducción alimentados mediante baterías. Por lo general se usan en vehículos eléctricos de baja potencia.

Características de entrada al convertidor:

Tensión de entrada al inversor (salida de las baterías): $V=24V$

Características a la salida del convertidor (entrada del motor):

Tensión 3~ AC inversor: $V_o=0...16V$

Corriente nominal inversor: $I_{rms}=200A$

Tensión nominal motor 3~: $V_n=15V$

Cálculo del valor de I_{max} de entrada al motor (suponiendo que el inversor trabajase en condiciones nominales):

$$I_{max} = I_{rms} \times \sqrt{2} = 200 A \times \sqrt{2} = 282,84 A$$

Siendo la potencia activa a la entrada del motor:

$$P = \sqrt{3} U \times I \times \cos\varphi$$

No se tienen muchos datos del motor, ya que las únicas características técnicas de las que se disponía son las que aparecen en la placa. Tampoco existe ningún dato de posibles ensayos realizados al motor.

Dado que no se poseen datos del factor de potencia ($\cos \varphi$), ni es posible calcularlo con los datos de los que se dispone, se ha tomado como el valor de $\cos \varphi=0,8$ para el cálculo aproximado de la potencia absorbida por el motor trabajando en las condiciones nominales del inversor. Se ha tomado ese valor de factor de potencia debido a que valores entre 0,8 y 0,9 son valores muy comunes en los motores asíncronos.

$$P_{\max} = \sqrt{3} U \times I_{\max} \times \cos\phi = \sqrt{3} \times 15 \times 282,84 \times 0,8 = 5879 \text{ W} \approx 6 \text{ kW}$$

Como se puede observar, la potencia que sale utilizando el inversor en sus valores nominales es una potencia mucho mayor que la potencia nominal del motor. Si queremos que el rendimiento del motor sea aceptable no debemos trabajar a los valores nominales del inversor.

Calculando la potencia desde los valores nominales del motor y suponiendo un rendimiento de un 90%, nos daría los siguientes resultados:

$$P_{\text{abs}} = \frac{P_n}{\eta} = \frac{2000}{0,9} = 2222,2 \text{ W}$$

$$P = \sqrt{3} U \times I \times \cos\phi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{2222,2}{\sqrt{3} \cdot 15 \cdot 0,8} = 106,9 \text{ A}$$

8 LISTADO DE MATERIALES

En el presente capítulo se muestra una lista de los materiales utilizados en el proyecto. Se ha hecho distinción entre los elementos de compra y los fabricados o modificados para este propósito en cuestión.

Elementos de compra		
Denominación	Dimensiones	Unidades
Cadena de transmisión – ISO 606:2004 short pitch	Pitch = 12,7	1
Tornillo cabeza hexagonal DIN 933	M8X110	2
Washer DIN 125	M8	13
Batería (10Ah-12V)		2
Convertidor		1
Motor eléctrico - SAUER DANFOSS TSA120-80		1
Tuerca hexagonal DIN 934	M8	11
Bridas de plástico		4
Bridas para las Baterías		2
Disco grueso DIN EN 28738	Ver dibujos en anexos	1
Tornillo cabeza hexagonal DIN 933	M8X28	7
Rejilla	Ver dibujos en anexos	1
Tuerca de bloqueo DIN 981	M12	1
Cable conexión PC-Convertidor		1
General cables&conexiones		xx
Fusible convertidor, 200 A		1
Interruptor		1
PLUS+1 GUIDE		1

Elementos manufacturados		
Denominación	Dimensiones	Unidades
Driver sprocket	p= 12,7 , z1=12	1
Sprocket wheel	P=12,7, z2=42	1
Motor holder	Ver dibujos en anexos	1
Motor cover	Ver dibujos en anexos	1

9 PRESUPUESTO

Este apartado trata de hacer un presupuesto aproximado del coste del proyecto. Los valores de muchos de los componentes no son valores reales, ya que la mayor parte de ellos se obtuvieron del reciclaje de proyectos anteriores.

Tan sólo se añaden los gastos de compra de componentes y de manufactura de nuevas piezas o de modificaciones de las mismas. No se tiene en cuenta ningún coste de mano de obra, puesto que todo el proceso ha sido llevado a cabo por los miembros del grupo.

A este presupuesto habría que añadir los costes de la licencia del software de programación del inversor PLUS+1 GUIDE, del que desconocemos su valor.

El presupuesto total se va a desglosar en dos presupuestos parciales, que separarán los costes de compra y los de manufactura.

PRESUPUESTO COMPRA						
Componente	Dimensions	Unidades /cantidad	Precio/unidad [€/unidad]	Precio/unidad [DKK/unidad]	Total [€]	Total [DKK]
Cadena de transmisión – ISO 606:2004 short pitch	Anchura = 12,7	1	10	74,41	10	74,41
Tornillo cabeza hexagonal DIN 933	M8X110	2	0,625	4,65	1,25	9,30
Washer DIN 125	M8	13	0,05	0,37	0,65	4,84
Baterías (10Ah-12V)		2	40	297,64	80	595,29
Convertidor DC-AC		1	100	744,11	100	744,11
Motor eléctrico - SAUER DANFOSS TSA120-80		1	200	1488,22	200	1488,22
Tuerca hexagonal DIN 934	M8	11	0,14	1,04	1,54	11,46
Bridas de plástico		4	0,07	0,52	0,28	2,08
Bridas para las Baterías		2	0,1	0,74	0,2	1,49
Disco grueso DIN EN 28738	Ver anexos	1	0,04	0,30	0,04	0,30
Tornillo cabeza hexagonal DIN 933	M8X28	7	0,34	2,53	2,38	17,71
Rejilla	Ver anexos	1	5	37,21	5	37,21
Tuerca de bloqueo DIN 981	M12	1	0,9	6,70	0,9	6,70
Cable conexión PC-Convertidor		1	15	111,62	15	111,62
General cables&conexiones		1	30	223,23	30	223,23
Fusible convertidor,200 A		1	22,75	169,28	22,75	169,28

Interruptor		1	3	22,32	3	22,32
PLUS+1 GUIDE		1	0	0,00	0	0,00
Rueda dentada 1	p= 12,7 , z1=12	1	15	111,62	15	111,62
Rueda dentada 2	P=12,7, z2=42	1	12,5	93,01	12,5	93,01
Soporte para motor	Ver anexos	1	21	156,26	21	156,26
Tapa del motor	Ver anexos	1	40	297,64	40	297,64
QUAD		1	499	3713,10	499	3713,10
TOTAL PARCIAL 1					1.060,5 €	7.891,2 DKK

Presupuesto manufactura

Gastos relacionados con fabricación o modificación de piezas.

Para este apartado se ha considerado el precio del acero a 10 €/kg.

PRESUPUESTO MANUFACTURA						
Tarea	Unidades [trabajadores]	Tiempo [h]	Precio/unidad [€/h]	Precio/unidad [DKK/h]	Total [€]	Total [DKK]
Manufactura de piezas	1	8	30	223,23	240	1785,84
TOTAL PARCIAL 2					240,00 €	1785,84 DKK

Presupuesto Total del proyecto

En este apartado se consideran los cálculos totales de gastos realizados para este proyecto.

PRESUPUESTO TOTAL		
	COSTES [€]	COSTES [DKK]
Presupuesto Compra	1.060,49 €	kr. 7.891,20
Presupuesto Manufactura	240,00 €	kr. 1785,84
TOTAL	1.300,49 €	kr. 9.677,04

Como ya se ha indicado al principio del capítulo, estos costes son tan solo una aproximación de la inversión que habría sido necesaria para este proyecto en caso de que todos los elementos se hubieran comprado y que estos elementos comprados tuvieran las mismas características que los que se han utilizado.

No obstante, se considera oportuno recalcar, que en el caso de haber comprado todos los componentes necesarios para el proyecto, con total seguridad no serían los que se adjuntan aquí, sino otros más adecuados para el correcto funcionamiento del proyecto en cuestión.

10 CONCLUSIONES

1 CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se ha transformado un vehículo de gasolina en uno eléctrico y se ha tratado de reflejar en la presente memoria el trabajo realizado.

El único objetivo que el tutor nos marcó para el proyecto fue que *el quad debía funcionar, aunque tan solo fuera unos segundos, con un motor eléctrico impulsado por baterías*. Sin embargo, como ya se ha comentado en la introducción, el equipo prefirió marcarse unos objetivos más ambiciosos para evitar relajar el ritmo de trabajo.

Los objetivos que se propuso el grupo fueron:

- Lograr que el quad funcione.
- Realizar un control de velocidad del vehículo de dos formas diferentes: desde el ordenador (conectado por cable) y desde el mismo quad.
- En caso de lograr los dos objetivos anteriores, se intentaría realizar un sistema de frenada regenerativa.

De los objetivos fijados por el grupo, se consiguió que el quad funcionase y hacer un control de velocidad, controlable desde el ordenador y desde un potenciómetro conectado a la placa del microcontrolador. Se compraron unos manguitos para acelerar desde el manillar y se adaptó un potenciómetro para que al mover el manguito se pudiese regular la velocidad.

Respecto a las tecnologías utilizadas, el presupuesto con el que se contaba para el proyecto era mínimo, ya que la universidad estaba invirtiendo en las nuevas mejoras de su coche de *Formula Student*, y recortó dinero al resto de proyectos relacionados.

Tan sólo se nos permitía invertir en elementos de bajo coste como tornillos y cables, y en las piezas que se debieran manufacturar a medida. Sin embargo, todo el resto de componentes debían obtenerse sin coste alguno.

Como motor eléctrico se escogió finalmente un motor de inducción trifásico de la casa Sauer Danfoss. Considero que el motor era adecuado para este proyecto, tenía un tamaño fácilmente adaptable al chasis del quad y las características eran suficientes para nuestro propósito. Además, los motores de inducción son motores que se utilizan a menudo en vehículos eléctricos, debido a su bajo coste y a su robustez.

Respecto al inversor utilizado para la transformación CC/CA, considero que es un inversor perfecto para el uso que se le da en nuestro proyecto. El inversor no sólo convertía la tensión, sino que era posible programarlo para que se pudieran controlar las variables de salida al motor a través de éste.

Se utilizó una PCB con un microcontrolador que se programó para poder controlar la velocidad desde el potenciómetro que se adaptó al manguito.

En cuanto a las baterías, la única opción que se nos dio fue utilizar unas de plomo-ácido del laboratorio. Debo decir que no fue una elección acertada y se nos debería haber permitido adquirir otras o, por lo menos, elegir entre más opciones. Las baterías con las que contábamos no tenían capacidad suficiente, eran viejas y la capacidad de recarga de una de ellas estaba bastante deteriorada. Para la demostración final del funcionamiento del quad con el control de velocidad nos prestaron dos baterías de coche que adaptamos como pudimos en el quad para poder hacerlo funcionar.

2 VALORACIÓN PERSONAL

Este proyecto me ha supuesto una gran satisfacción personal, por la cantidad de conocimientos obtenidos, por la posibilidad de trabajar en equipo con gente de diferentes países y culturas y por el hecho de realizar un trabajo que empieza desde cero y en el que se puede ver un proceso y unos resultados reales. Éste ha sido, sin duda, el proyecto más interesante en el que he trabajado hasta el momento.

El hecho de ser un proyecto en equipo, formado por estudiantes de distintos países, con distintas culturas fue algo muy enriquecedor. Trabajar en grupo es algo que me ha ayudado a abrir la mente a nuevas ideas, a adaptarme a otras costumbres, a ser constante y a tener un compromiso hacia el trabajo por respeto a mis compañeros.

He aprendido cosas que nunca había hecho en la carrera, como soldar una PCB, diseñar nuestros propios circuitos partiendo de nuestras ideas e imaginación, nociones básicas de mecánica o programar en varios lenguajes que no conocía.

Según mi parecer, uno de los aspectos más complicados del proyecto fue el trabajar con elementos que no habíamos elegido nosotros y que, en algunos casos, se alejaban muchísimo de lo ideal, o incluso de lo “utilizable”. El ejemplo más claro de esta dificultad fueron las baterías y los problemas que nos causaron. Si desde un principio se nos hubiese permitido adquirir las adecuadas habríamos podido avanzar más, más rápido y con mejores resultados pero, a pesar de las dificultades, fuimos capaces de buscar alternativas, siempre que fue posible y sacar adelante el proyecto.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Varios autores. *El vehículo eléctrico: desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. 1ª Ed. Barcelona: Libbooks Barcelona, 2011. ISBN 978-84-938910-0-8
- LARMINIE, J. *Electric vehicle technology explained*. 2ª Ed. Chichester (England): John Wiley & Sons, 2012.
- FRAILE MORA, J. *Máquinas eléctricas*. 5ª Ed. Aravaca (Madrid): McGraw-Hill, 2003. ISBN 84-481-3913-5
- Varios autores. *Guía del vehículo eléctrico*. Madrid: Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, 2010.
- Apuntes de la asignatura de Electrotecnia de Ing. Técnica Industrial electrónica, Universidad de Zaragoza.
- Apuntes de la asignatura de Power Electronics and Electrical Machines, programa de robótica, University of Southern Denmark.
- <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4691/1/memoria.pdf>>
- <<http://blogs.elpais.com/coche-electrico/>>
- <http://www.bosch-tecnologíadelautomóvil.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/systems_for_electric_vehicles.html>
- <http://www.f2i2.net/documentos/JVE_Jun2011/08_ETSII_UPM_Motores_de_traccion_para_vehiculos_electricos.pdf>

- <<http://aedive.es/wp-content/uploads/2011/11/7.-Motores-asi%CC%81ncronos-con-rotor-de-cobre-para-vehi%CC%81culos-ele%CC%81ctricos-CEDIC.pdf>>
- <<http://www.tecmovia.com/>>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_el%C3%A9ctrico>
- <<http://vehiculoelectrico.info/>>
- <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1001&tip=7>>
- <<http://www.electric-cars-are-for-girls.com/electric-car-motors-ac-vs-dc.html>>
- <http://www.ehowenespanol.com/tipos-motores-sobre_10494/>
- <<http://www.teslamotors.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors>>
- <<http://www.motorpasionfuturo.com/industria/can-bus-como-gestionar-toda-la-electronica-del-automovil>>
- <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4691/1/memoria.pdf>>